



GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ YARDIMIYLA ISI POMPASI SİSTEMİ PERFORMANS ANALİZİ

Halil İbrahim VURUCU

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Hacı Mehmet ŞAHİN**

**GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ YARDIMIYLA ISI POMPASI SİSTEMİ
PERFORMANS ANALİZİ**

Halil İbrahim VURUCU

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Hacı Mehmet ŞAHİN**

**KARABÜK
Ocak 2022**

Halil İbrahim VURUCU tarafından hazırlanan “GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ YARDIMIYLA ISI POMPASI SİSTEMİ PERFORMANS ANALİZİ ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hacı Mehmet ŞAHİN

.....

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 31/01/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Hacı Mehmet ŞAHİN (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Güven TUNÇ (GÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Halil İbrahim VURUCU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ YARDIMIYLA ISI POMPASI SİSTEMİ PERFORMANS ANALİZİ

Halil İbrahim VURUCU

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Hacı Mehmet ŞAHİN

Ocak 2022, 66 sayfa

Güneş enerjisi yenilenebilir bir enerji kaynağı olmasına rağmen elde edilmek istenilen verimi tek başına sağlayamadığından dolayı, elektrik enerjisine başvurularak istenilen verimlere ulaşmayı mümkün kılar. Bu çalışmada, ülkemizde bulunan üç farklı bölgeden ele alınan, üç şehrimiz üzerinde güneş enerjisi destekli ısı pompası uygulamasının analizlerinin yapılarak, hangi şehirde daha etkili ve daha uygun olduğu incelenmiştir. Ele alınan konutun üç bölge için ihtiyaç duyulan ısıtma enerjisi ve ısı kaybı hesaplamaları için TS 825 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Konut için gerekli hesaplamalarının yapılabilmesi için Autocad programından alınan veriler doğrultusunda gerekli duyulan ısı enerjisi ve ısı kaybı hesaplamaları elde edilmiştir. Ele alınan 3 şehirde 148,5 m² alana sahip olan konutun değişken veriler üzerinde ısıtma enerjisi ihtiyacı POLYSUN program kullanılarak hesaplanmıştır. Simülasyonda kullanılan değişken parametreler güneş kollektörü sayısıdır. Kullanılan program sayesinde ele alınan konut için ihtiyaç duyulan elektrik

tüketimi, ısıtma tesir katsayısı ve performans faktörü değişken parametreler göz önüne alınarak sistem üzerindeki etkilere grafiksel olarak ulaşılmıştır. Bu çalışma ile güneş kollektörü alanı arttıkça mevsimsel performans faktörünün arttığı ancak ısıtma tesir katsayısının azaldığı görülmüştür. Isıtma enerjisi için oluşturulan model sistemlerin performans faktörleri Bursa için ısı pompası 14,52 kW güneş kollektörü 8.35 kW, Antalya için ısı pompası 13,38 kW güneş kollektörü 7,26 kW, Ankara ısı pompası 16,59 kW güneş kollektörü 11,25 kW gücündedir. Kollektörler bu sistemlere ilave edildiğinde, performans faktörlerindeki artışın % 2- 13,3 aralığında olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Güneş enerjisi, ısı pompası, güneş kollektörü, ısıtma performansı.

Bilim Kodu : 92808

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

PERFORMANCE ANALYSIS OF A HEAT PUMP SYSTEM WITH THE HELP OF SOLAR COLLECTORS

Halil İbrahim VURUCU

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Energy Systems Engineering**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Hacı Mehmet ŞAHİN

January 2022, 66 pages

Although solar energy is a renewable energy source, since it cannot provide the desired efficiency on its own, it makes it possible to reach the desired efficiency by applying electrical energy. In this study, the analysis of solar assisted heat pump application on three cities in our country, which is discussed from three different regions in our country, is examined in which city it is more effective and more suitable. For the heating energy and heat loss calculations required for the three zones of the dwelling in question, TS 825 "Thermal Insulation Rules in Buildings" has been calculated. In order to make the necessary calculations for the house, the necessary heat energy and heat loss calculations were obtained in line with the data obtained from the Autocad program. The heating energy need of the house, which has an area of 148.5 m² in the 3 cities discussed, was calculated using the POLYSUN program on variable data. The variable parameters used in the simulation are the number of solar collectors. Thanks to the program used, the effects on the system have been reached graphically by

considering the variable parameters of the electricity consumption, heating effect coefficient and performance factor needed for the house in question. In this study, it has been observed that as the solar collector area increases, the seasonal performance factor increases, but the heating effect coefficient decreases. The performance factors of the model systems created for heating energy are heat pump 14.52 kW solar collector 8.35 kW for Bursa, 13.38 kW solar collector for Antalya 7.26 kW, Ankara heat pump 16.59 kW solar collector 11.25 kW. When collectors are added to these systems, it has been concluded that the increase in performance factors is in the range of 2-13,3%.

Key Word : Solar energy, heat pump, solar collector, heating performance.

Science Code : 92808

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Hacı Mehmet ŞAHİN’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. AMAÇ VE KAPSAM	2
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR TARAMASI.....	4
BÖLÜM 3	14
ISI POMPASI	14
3.1. ISI POMPASI ÇALIŞMA PRENSİBİ	14
3.2. ISI POMPASININ PERFORMANSI.....	15
3.3. ISI POMPASI KAYNAK TİPİNİN SEÇİMİ	16
3.4. HAVA KAYNAKLI ISI POMPASI	17
3.5. SU KAYNAKLI ISI POMPASI.....	17
3.6. TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI.....	18
3.7. GÜNEŞ KAYNAKLI ISI POMPASI	18
3.8. ISI POMPASININ OLUMLU OLUMSUZ YÖNLERİ.....	21
BÖLÜM 4	23
MATERYAL VE YÖNTEM	23

Sayfa

4.1. GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ ISI POMPASI SİSTEMLERİNİN PERFORMASININ İNCELENMESİ	23
4.2. MODELLENEN BİNA	23
4.3. ISI KAYBI HESABINDA KULLANILACAK OLAN VERİLER.....	25
4.4. BİNANIN ÖZGÜL ISI KAYBI HESABI.....	35
4.5. POLYSUN SİMÜLASYON PROGRAMI	43
 BÖLÜM 5	 50
BULGULAR VE TARTIŞMA	50
 BÖLÜM 6	 59
SONUÇLAR	59
 KAYNAKLAR	 63
 ÖZGEÇMİŞ	 66

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. İdeal buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi	16
Şekil 3.2. Seri kaynaklı ısı pompası paralel kaynaklı ısı pompaları.....	21
Şekil 3.3. Çift kaynaklı ısı pompası	21
Şekil 4.1. Polysun giriş ekranı.....	47
Şekil 4.2. Polysun konum ekranı.....	47
Şekil 4.3. Polysun system seçenekleri.....	48
Şekil 4.4. Polysun kollektör seçimi.....	48
Şekil 4.5. Polysun sonuçlar ekranı.	49
Şekil 4.6. Polysun detaylı analiz sekmeleri.....	50
Şekil 4.6. Polysun ayarlar seçenekleri.....	50
Şekil 5.1. 13,38 kW ısı pompasının ısıtma sistemine verdiği ısı enerji.	53
Şekil 5.2. 13,38 kW ısı pompası ısıtma sisteminin tükettiği toplam elektrik enerjisi	53
Şekil 5.3. 13,38 kW ısı pompası ısıtma sisteminde kollektör alanına göre sisteme verilen ısı enerjideki değişim	54
Şekil 5.4. 13,38 kW ısı pompasının ısıtma tesir katsayısının kollektör alanına göre değişimi	54
Şekil 5.5. 14,52 kW ısı pompasının ısıtma sistemine verdiği ısı enerji.	55
Şekil 5.6. 14,52 kW ısı pompası ısıtma sisteminin tükettiği toplam elektrik enerjisi.....	56
Şekil 5.7. 14,52 kW ısı pompası ısıtma sisteminde kollektör alanına göre sisteme verilen ısı enerjideki değişim	56
Şekil 5.8. 14,52 kW ısı pompasının ısıtma tesir katsayısının kollektör alanına göre değişimi	57
Şekil 5.9. 16,59 kW ısı pompasının ısıtma sistemine verdiği ısı enerji..	58
Şekil 5.10. 16,59 kW ısı pompası ısıtma sisteminin tükettiği toplam elektrik enerjisi.....	58
Şekil 5.11. 16,59 kW ısı pompası ısıtma sisteminde kollektör alanına göre sisteme verilen ısı enerjideki değişim	59
Şekil 5.12. 16,59 kW ısı pompasının ısıtma tesir katsayısının kollektör alanına göre değişimi	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Mahal iç sıcaklıkları.	26
Çizelge 4.2. Binalarda ısıtılmayan bölgelerin sıcaklıkları.....	27
Çizelge 4.3. Bina dış kabuğunda kullanılan yapı malzemelerinin ısı iletkenlik katsayıları ve yüzeylerin ısı taşınım dirençleri.....	29
Çizelge 4.4. Yön artırım katsayısı.	31
Çizelge 4.5. Kat yükseklik artırım çizelgesi.....	32
Çizelge 4.6. Kapı ve pencerelerin sızdırganlık katsayıları.	33
Çizelge 4.7. Oda durum katsayısı.	34
Çizelge 4.8. Bina durum katsayısı.	34
Çizelge 4.9. Isı kaybı hesap çizelgesinin doldurulması için gerekli simgeler.....	35
Çizelge 4.10. Isı yalıtım bölgeleri için ortalama dış sıcaklıklar.....	36
Çizelge 4.11. Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değeri.....	38
Çizelge 5.1. Antalya ili için güneş kolektör alanına bağlı yıllık çalışma saatleri... 55	
Çizelge 5.2. Bursa ili için güneş kolektör alanına bağlı yıllık çalışma saatleri.....	57
Çizelge 5.3. Ankara ili için güneş kolektör alanına bağlı yıllık çalışma saatleri. ..	60

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

ADP : Dış pencere alanı (m^2)

A_i : “i” yönündeki toplam pencere alanı (m^2)

AK : Kapı alanı (m^2)

A_n : Bina kullanım alanı (m^2)

AT : Tavan alanı (m^2)

A_t : Döşeme alanı (m^2)

A_y : Yapı bileşenleri alanı (m^2)

a : Hava sızdırma katsayısı (m^3/h)

c : Havanın özgül ısısı (kcal/kgK)

E_{ik} : Isı üreticinin/pompasının tükettiği toplam elektrik enerjisi (kWh)

E_{sol} : Kollektör alanına gelen solar radyasyon miktarları (kWh)

E_b : Birincil enerji oranı (birimsiz)

E_{top} : Tüketilen toplam elektrik miktarı (kWh)

F_w : Camlar için düzeltme faktörü (kWh)

$g_{i,ay}$: “i” yönündeki saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü (birimsiz)

H : Binanın durum katsayısı (Wh/m^3K)

H : Binanın özgül ısı kaybı (W/K)

HT : İletim yoluyla olan ısı kaybı (W/K)

H_v : Havalandırma yoluyla olan ısı kaybı (W/K)

$I_{i,ay}$: “i” yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışıınımı şiddeti (W/m^2)

ℓ : Pencere veya kapının açılan kısmının çevresi (m)

Q_z : Artırmalı ısı kaybı (W)

Q_o : Artırmızsız ısı kaybı (W)

Q_s : Hava sızıntısı ısı kaybı (W)

Q_{kul} : Sisteme verilen toplam enerji

Q_{ik} : Isı üreticinin/pompasının sisteme verdiği enerji (kWh)
 Q_{et} : Isıtma ve sıcak su üretimi enerji talebi (kWh)
 Q_{su} : Sıcak su üretimine harcanan enerji bakımından sistemlerin karşılaştırılması (kWh)
 Q : Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (kWh)
 $r_{i,ay}$: “i” yönünde saydam yüzeylerin aylık ortalama gölgelenme faktörü
 R : Oda durum katsayısı (birimsiz)
 SF_n : Solar enerjinin toplam tüketimi karşılama oranı (%)
 SPF : Mevsimsel performans faktörü (birimsiz)
 t : Yıllık ısıtma süresi (s)
 U : Yapı bileşenlerinin toplam ısı geçiş katsayısı ($W/m^2 K$)
 V_h : Havalandırılan hacim (m^3)
 $V_{brüt}$: Binanın ısıtılan brüt hacmi (m^3)
 Z_d : Birleştirilmiş artırım katsayısı (%)
 Z_h : Yön artırım katsayısı (%)
 Z_w : Kat yüksekliği artırım katsayısı (%)
 Z_a : Soğuk dış yüzey ısı kaybı artırım katsayısı
 Z_v : Kesintili ısıtma rejimi artırım katsayısı
 Z_e : Köşe açıklıkları etki katsayısı (birimsiz)
 ρ : Havanın yoğunluğu (kg/m^3)
 ΔT : Yapı bileşenin iki tarafındaki sıcaklık farkı (K)
 ΔT : İç ve dış sıcaklık farkı (K)
 VI : Hacimsel hava değişim debisi (m^3/h)
 η_{ay} : Kazançların aylık ortalama kullanım faktörü (birimsiz)
 θ_i : Aylık ortalama iç sıcaklık ($^{\circ}C$)
 θ_e : Aylık ortalama dış sıcaklık ($^{\circ}C$)
 $g^{\perp}$: Laboratuvar şartlarında ölçülen yüzeye dik gelen ışın için camın güneş enerjisi geçirme faktörü (birimsiz)
 α_i : İç yüzeyin yüzeysel ısı taşınım katsayısı ($W/m^2 K$)
 α_d : Dış yüzeyin yüzeysel ısı taşınım katsayısı ($W/m^2 K$)
 λ : Isıl iletkenlik değeri ($W/m K$)
 $\Phi_{s,ay}$: Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı (W)
 $\Phi_{i,ay}$: Aylık ortalama iç kazançlar (W)

$\Phi_{g,ay}$: Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları (W)

KISALTMALAR

ITK : Isıtma Tesir Katsayısı

SDIP : Solar Destekli Isı Pompası

TKIP : Toprak Kaynaklı Isı Pompası

HKIP : Hava Kaynaklı Isı Pompası

SD HKIP : Solar Destekli Hava Kaynaklı Isı Pompası

SD SKIP : Solar Destekli Su Kaynaklı Isı Pompası

SDTKIP : Solar Destekli Toprak Kaynaklı Isı Pompası

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerji yaşamın devamlılığı için vazgeçilmez bir unsur olmasının yanı sıra ulusların gelişmesinde ve yaşam kalitesinin artırılmasında öncü bir unsur olmaktadır. Enerjide sürekliliğin sağlanması, enerji ve enerji kaynaklarının verimli kullanılarak ekonomideki yükünün azaltılması, dışa bağımlılığın azaltılarak arz güvenliğinin sağlanması, yenilenebilir kaynakların enerji üretimindeki payının artırılması üzerine çalışmalar devam etmektedir. Fosil yakıtların tükenme riskiyle karşı karşıya kalması, oluşturduğu çevre kirliliği, bu durumun dolaylı olarak ekosisteme ve canlı hayatına bir tehdit oluşturması yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi günden güne arttırmaktadır. Ancak yenilenebilir kaynakların fosil yakıtların yerini alabilmesi için bazı teknik ve ekonomik problemler bulunmaktadır. Bu problemler yenilenebilir kaynakların fosil yakıtlarla hibrit kullanılmasıyla aşılabılır seviyededir. Sanayi sektöründe yenilebilir kaynakların payının arttığı görülmektedir. Ancak konut sektöründeki tüketim (yaklaşık %30) sanayi sektörüne yakın seyretmektedir. Bu nedenle konut sektöründe yapıların ısıtılması ve sıcak su hazırlanmasında yenilenebilir kaynakların kullanılması gibi bir iyileştirme ülke genelinde önemli derecede emisyon azaltımı sağlayacaktır. Konutlarda kullanılması açısından değerlendirildiğinde en uygun temiz ve yenilenebilir kaynak güneş enerjisi olmaktadır. Bazı kıyı kesimlerinde fosil yakıt kullanımının yasak olması, ya da bazı meskenlerde kullanım konforu ve temizliği açısından ısı pompaları tercih edilmektedir. Isı pompalarının kaynağının elektrik olması dolayısıyla doğrudan emisyonu sıfırdır böylece bulunduğu bölgenin hava kalitesini düşürmez. Elektrikli ısıtıcılara ve klimalara göre daha verimli ve konforlu iklimlendirme sağladıklarından dolayı tercih edilmektedirler. Isı pompaları ısıtma ve kullanım sıcak suyunun hazırlanması için güneş kolektörleriyle hibrit olarak çalıştırılmaktadır. Bu durum sayesinde güneşlenme süresi boyunca kullanılan kolektör alanına bağlı olarak ısı pompasının elektrik tüketimi azalacaktır. Bu çalışmada, ülkemizde bulunan üç farklı bölgeden ele alınan, üç şehrimiz üzerinde

güneş enerjisi destekli ısı pompası uygulamasının analizlerinin yapılarak, hangi şehirde daha etkili ve daha uygun olduğunun incelenmiştir.

1.1. AMAÇ VE KAPSAM

Konutlarda ve iş yerlerinde ısınma amaçlı hem ulaşılabilirliği hem de ekonomikliği sebebiyle fosil kaynaklı bir yakıt olan kömür kullanımını yaygındır. Fosil yakıtların kullanımının artmasına bağlı olarak şehirlerde çevre kirliliğinin artması bu yönde birtakım çalışmaları gündeme getirmiştir. Bu nedenle pek çok şehirde doğalgaz altyapısı sağlanmış olup konut ısıtmasında kullanılmaktadır. Ancak hala doğalgaza erişimi olmayan şehirler de mevcuttur. Bu şehirler için ısı pompaları konforlu kullanımlarıyla güçlü bir alternatiftir. Bu çalışmanın amacı farklı bölgelerden ele alınan 3 şehir için POLYSUN simülasyon programı kullanılarak ısı pompasının ısıtma tesir katsayısını (ITK) ve güneş destekli ısıtma sisteminin performans faktörünün (SPF), güneş enerjisinin ısıtma sistemi üzerindeki karşılama oranının (SF_n) hesaplanması ve sistemin toplam elektrik tüketiminin 3 farklı bölge şartları için belirlenmesidir. Bu doğrultuda çalışmada 3 bölge için güneş kollektörü ve ısı pompasının ısıtma yükü için performans katsayısı simülasyon programı sayesinde incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Bu tezin bilimsel hedefleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Hava kaynaklı ısı pompasının ısıtma tesir katsayısının (ITK) hesaplanması,
- 3 farklı bölgede güneş enerjisi destekli ısı pompası ısıtma sistemlerinin performans faktörünün (SPF) tespit edilmesi,
- Güneş enerjisinin ısıtma sistemi üzerindeki destek oranının hesaplanması
- Isı pompasının kapasitesinin yetmediği durumlarda güneş kollektörü kullanmanın akılcı bir çözüm olup olmadığının tespit edilmesi,
- Güneş kollektörü alanına bağlı olarak tüketilen toplam elektrik ve performans faktöründeki yüzdesel değişiminin incelenmesi.

Bu tez kapsamında POLYSUN simülasyon programı kullanılmış olup 3 farklı bölge şartlarında ısıtma sistemlerinin performans faktörü değerleri bulunarak, güneş

enerjisinin ısıtma sistemi üzerindeki karşılama oranı öğrenilmiştir. Güneş kolektörü sayısı değiştirilerek sisteme sağlanan ısı enerji değerleri ve tüketilen elektrik enerjisi ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ayrıca hava kaynaklı ısı pompasının ısıtma tesir katsayısının ve sistemin performans faktörünün kolektör alanına bağlı değişimi incelenmiştir.



BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Ele aldığımız üç şehrin merkeze uzak yaşam alanlarında hava kirliliğinin önlenmesi amacıyla kirletici oranı yüksek olan fosil yakıt kullanımının yasak olması dolayısıyla alternatif temiz yakma sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumda ısı pompaları cazip bir fırsat olarak öne çıkmasına rağmen bu cihazın ele aldığımız üç şehirdeki elektrik tüketiminin bilinmiyor olması bir dezavantaj olarak karşısına çıkmaktadır. Isı ihtiyacı ve ısı kaybı hesabı ile kabataslak bir elektrik tüketimi program kullanılmadan da hesaplanarak yıllık faturalandırma yapılabilir. Bu çalışmada, ülkemizde bulunan üç farklı bölgeden ele alınan, üç şehrimiz üzerinde güneş enerjisi destekli ısı pompası uygulamasının analizlerinin yapılarak, hangi şehirde daha etkili ve daha uygun olduğunun incelenerek bir sonuca ulaşmaktır. Ancak POLYSUN simülasyon programı, hesaplamaları tarafımızdan yapılan ısı ihtiyacı ve ısı kaybı değerlerini baz alarak yıllık dış hava sıcaklığı, güneş radyasyonu ve iç ortam sıcaklığına göre ihtiyaç olan elektrik enerjisini zamana göre anlık olarak hesaplayan bir programdır. Kullanılan güneş kollektörü sayısına bağlı ısıtma sistemi üzerindeki karşılama oranının verilmesiyle kaç adet kollektör kullanılması gerektiğine bu şekilde karar verilebilmektedir. Bu sayede amaçlanan 3 farklı bölgenin karşılaştırmasıyla elde edilen sonuçlar ışığında bu yatırımların hangi bölgeler için daha uyumlu olduğunun belirlenmesini sağlamaktır.

Hava, toprak, su ve güneş kaynaklı ısı pompalarının ısıtma tesir katsayıları üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda sistem verimi farklı parametreler baz alınarak deneysel olarak ya da simülasyon yardımıyla incelenmektedir. Kapsamlı analizler daha çok simülasyon yardımıyla yapılmış olup küçük güçteki ısı pompalarıyla sıcak su üretim performansı deneylerle incelenmiştir. Evin ısı kaybına göre ısı pompası sisteminin boyutlandırılması yapılırken sistem boyutunun artması

maliyeti arttıracığından yardımcı sistem olarak güneş enerjisi yaygın olarak kullanılmaktadır.

Abou-Ziyan vd. (1996) geleneksel ısı pompası, geleneksel solar hava ısıtıcı ve iki seri bağlı güneş destekli ısı pompası sistemini bilgisayar programıyla incelemiştir. İş akışkanları olarak R22, R404A ve R134A kullanmıştır. Isı pompasının performans karakteristiklerini farklı soğutucu akışkanlar, geniş aralıktaki buharlaştırıcı sıcaklığı (0-45 °C), yoğuşurucu sıcaklığı (50-70 °C) ve havanın debisini (1000-2000 kg/h) kullanarak incelemişlerdir. Soğutucu akışkanlar için ısı pompasının performansı karşılaştırıldığında düşük sıcaklıktaki uygulamalar için R134A'nın, R22'ye göre daha iyi bir seçenek olduğu görülmüştür. Ayrıca R134A sistemin ısıtma tesir katsayısını R404A ya göre %23 daha fazla arttırmıştır. Kahire'de bir yıllık meteorolojik veriler kullanılarak geleneksel solar hava ısıtıcı ve solar destekli ısı pompası sistemlerinin performansı ve işletme koşulları değerlendirilmiştir. Solar destekli ısı pompası sistemleri (SDIP), geleneksel hava ısıtıcısı ve geleneksel ısı pompası sistemleriyle karşılaştırıldığında en iyi işletme karakteristiklerine sahip olduğu görülmüştür. Sistemde R134A kullanımı ısıtma tesir katsayısında % 50 bir artış ve kollektör alanının azalmasını sağlamaktadır. Ayrıca ekonomik analiz SDIP'nin uygun maliyetli bir sistem olduğunu gösterir, geleneksel ısı pompası ve solar hava kollektörüyle oranlandığında değerler sırasıyla 0,587 ve 0,794'tür.

Dikici (2004) çalışmasında konutların ısıtılması amacıyla ısı pompalarının farklı kombinasyonları ile sistemin ısıtma tesir katsayısını ölçmüştür. Güneş kaynaklı, hava kaynaklı ve toprak kaynaklı ısı pompalarının, güneş ve toprak, güneş ve hava, toprak ve hava kaynaklı ısı pompalarının bir diğer deyişle altı farklı kombinasyonun ısıtma tesir katsayısını ölçmek için deney düzeneği kurmuştur. Deneyleri 2002-2003 yılları arasında Aralık'tan Mart ayına kadar olan ısıtma sezonu boyunca yapmıştır ve soğutucu akışkan olarak Freon 22 kullanmıştır. Yaptığı deneyler sonucunda bu altı kombinasyon içerisinde en yüksek ısıtma tesir katsayısına sahip olan sistemlerin, Aralık'ta toprak kaynaklı ısı pompası (ITKsistem=1,63), Ocak'ta güneş ve hava kaynaklı ısı pompası (ITKsistem=3,43), Şubat ve Mart aylarında ise güneş ve toprak kaynaklı ısı pompası (ITKsistem değerleri sırasıyla 3,34 ve 3,06) olduğu sonucuna varmıştır.

Çağlar (2006) ısı pompası ve vakum tüplü kollektörleri kullanarak 8-23 Kasım 2006 tarihinde Ankara da yaptığı deneylerde soğutucu akışkan olarak R407C kullanmıştır. Kollektörlerin deposuna ısı pompasının buharlaştırıcısını yerleştirerek sistem verimini deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Farklı çevresel, tasarım ve çalışma 6 parametrelerinin sistemin performansı üzerine olan etkilerini incelemek için matematik modele dayalı olan bir bilgisayar simülasyon programı geliştirmiştir. Elde edilen teorik sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırmıştır ve geliştirilen matematiksel modelin deneysel sonuçlarla uyumunu incelemiştir. Sonuç olarak güneş destekli ısı pompasının maksimum ısıtma tesir katsayısını 4,85 olarak bulmuştur. Isıtma tesir katsayısı termodinamiğin ikinci kanununa göre ise %4,8-27,4 arasında değişmektedir.

Kılıç (2006) çalışmasında 2006 yılında Mart ayı boyunca 11:00-14:00 saatleri arasında Ankara'da güneş enerjisi destekli ısı pompasının performansını deneysel olarak incelemiştir. Kollektör, ısı pompasının buharlaştırıcısı olarak kullanılmıştır. Soğutucu akışkan olarak R404A kullanılmıştır. Sonuç olarak güneş destekli ısı pompası ile sıcak su üretiminde ısıtma tesir katsayısını 3,79 olarak hesaplamış ve güneş kollektörüyle dış ortamdan çekilen ısı miktarı arttıkça sistemin ısıtma tesir katsayısının arttığını gözlemlemiştir.

Gündüz (2007) yaptığı çalışmada Bilecik ilinde güneş enerjisi destekli ısı pompasının çalışma prensibi ve sistem elemanlarını teorik olarak incelemiştir. Bir dairenin ısıtılması ve sıcak su temini için gereken enerjinin ne kadarının kollektörlerden karşılandığını incelemek için su-glikol karışımının dolaştığı kollektörleri ve R134A'nın dolaştığı ısı pompası sistemini kullanmıştır. Soğutucu akışkanın termodinamik özelliklerini kullanarak buharlaştırıcıda ısı çukurundan çekilen ısı yükünü 6,04 kW, kompresörün elektrik tahrik gücünü 3,84 kW olarak bulmuştur. Sistemin Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında ek ısıtıcıya ihtiyaç duyacağını belirtmiş ve sistemin ITK değerini 3,1 olarak bulmuştur.

Georgiev, (2008) ısı pompası ve düzlemsel kollektörlü bir sistemi deneysel olarak incelemiştir. Tasarlanan deney düzeneğini ITK'nın ve sistem veriminin (η_s) değerlendirilmesi için test süresince kullanmışlardır. Birbirini izleyen sonuçlar şu

şekildedir: Daha düşük yoğunlaştırıcı sıcaklığında ITK ve η_s en yüksek değerlere sahiptir, yüksek buharlaştırıcı sıcaklığında ITK ve η_s en yüksektir.

Siyahhan (2009) çalışmasında güneş enerjisi kaynaklı ısı pompası destekli ısıtma sisteminin performans incelemesini yapmıştır. Yıl boyunca güneş enerjisinin kullanılabilirliğini incelemiştir. Antalya ili için güneş enerjisinin sistem tarafından ne kadar etkili kullanıldığını araştırmak için enerji ve ekserji analizlerini nümerik yöntemle yapmıştır.

Ceylan (2010) yaptığı çalışmada iki katlı bir binanın güneş enerjisi destekli hava kaynaklı ısı pompasıyla döşemeden ısıtılmasının analizini yapmıştır. Ankara gibi kışı sert geçen bir bölgede hava kaynaklı ısı pompasının ve güneş enerjisinin performansını incelemiştir. Binanın ısı kaybını 19,2 kW olarak hesaplamış, 18,5 kW'lık ısı pompası seçmiş ve 13,92 m² 'lik kollektör kullanmıştır. Sonuç olarak bu sistemi doğalgazlı sistemle karşılaştırarak yılda 580,2 m³ tasarruf sağlayacağını hesaplamıştır

Aktaş vd. (2010) havalı güneş kollektörü ve hava kaynaklı ısı pompası kullanarak deney düzeneği tasarlamışlardır. Kollektörden gelen ve yoğunlaştırıcıdan geçerken sıcaklığı artan hava kurutma fırınına verilir, kurutulacak malzemenin nemi havaya karışır ve atık hava buharlaştırıcıya kaynak olarak kullanılır.

Karagiorgas vd. (2010) hava kaynaklı ısı pompası ve solar havalı kollektörlerin kullanıldığı Yunanistan'da bir binayı direkt ve indirekt modda deneysel olarak ve simülasyonla incelemişler ve sonuçları karşılaştırmışlardır. TRNSYS ve TSAGAİR simülasyon modelini kullanmışlardır. Direkt modda evin içinden çekilen hava kollektörlerde ısıtılıp tekrar eve geri gönderilirken indirekt modda dışarıdan alınan hava kollektörlerle ısıtılır, buharlaştırıcının girişinde karışım odasında dış havayla karıştırılarak buharlaştırıcıya verilir. Direkt ve indirekt moddaki sistemin ITK değerlerini deneysel çalışmada sırasıyla 3,33 ve 4,94, simülasyon sonucunda sırasıyla 3,58 ve 5,32 olarak bulmuşlardır. İki günlük deneysel ve simülasyon sonuçları arasında 8 direkt modda %7.54 ve %11.56'lık, indirekt modda %7,64 ve %16,65'lik hata payı olduğunu hesaplamışlardır.

Çakır ve Çomaklı (2011) çalışmalarında buharlaştırıcı- kollektör hava debisini ve sıcaklığı değiştirerek havadan havaya ısı pompasının ısıtma tesir katsayısını ve ekserji verimini incelemişlerdir.

Doğan (2012) çalışmasında üç katlı bir villanın güneş enerjisi destekli hava kaynaklı ısı pompasıyla (HKIP) ve güneş enerjisi destekli toprak kaynaklı ısı pompasıyla (TKIP) döşmeden ısıtılmasının ayrı ayrı analizini yapmış ve sistemleri enerji ve ekonomi yönünden kıyaslamıştır. Her iki sistemde kullanım sıcak suyu öncelikle güneş enerjisi tarafından ısıtılmış ve ısı pompasıyla desteklenmiştir. Ankara gibi kışı sert geçen bir bölgede güneş enerjisi destekli TKIP'nın ısıtma tesir katsayısının güneş enerjisi destekli HKIP'a göre çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Güneş enerjisi destekli TKIP işletme maliyeti açısından, standart kazana göre çok daha ekonomik olurken yatırım maliyeti açısından daha pahalı olduğu sonucuna ulaşmıştır. Standart kazan sistemi baz alınarak güneş enerjisi destekli TKIP'ın geri ödeme süresini 21 yıl olarak hesaplamış, diğer ısı pompasının işletme maliyeti standart kazana göre yüksek olduğundan hesaba katmamıştır.

Kegel (2012) Kanada Montreal bölgesinde üç farklı konut tipi için solar destekli hava kaynaklı ısı pompası (SD HKIP), solar destekli su kaynaklı ısı pompası (SD SKIP) ve 9 solar destekli toprak kaynaklı ısı pompası (SD TKIP) sistemlerini TRNSYS programıyla incelemiştir. Isı pompalarının farklı kombinasyonları için yaşam döngüsü maliyet analizi yapmıştır. Soğuk iklimlerde hava kaynaklı ısı pompalarının (HKIP) performansını arttırmaya çalışırken toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP) sistemlerine de maliyetleri yüzünden alternatif üretmeye çalışmıştır. Yıllık enerji tüketimleri ve maliyet analizlerini birbirleriyle karşılaştırmış, kombine sistemlerin HKIP ve TKIP sistemlerine göre tasarruf yüzdelerini hesap etmiştir. Üç ev tipide değerlendirildiğinde SD HKIP sistemlerinin SD SKIP sistemlerine göre yıllık en düşük enerji tüketimine sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Sistemin yaşam döngüsü maliyet analizi, performansı geliştirmek için solar kollektörlerin ısı pompalarıyla birlikte kullanmanın faydasının bu sistemlerin yüksek ilk yatırım maliyetlerinin üstesinden gelemediği sonucuna varmıştır. HKIP üç ev türü içinde en düşük yaşam döngüsü maliyet analizine sahiptir. Fakat Quebec eyaletindeki düşük elektrik fiyatları ve ısı pompası

sistemlerinin üstün enerji tasarrufundan dolayı yardımcı sistemlerin ilk yatırım maliyetlerini karşılamamanın zor olduğu sonucuna varmıştır.

Deng vd. (2012) yaptığı çalışmada karbondioksitli ısı pompası ve solar kolektörleri içeren solar birleşik bir sistem kurmuş, sistemi simülasyon ve optimizasyon işlemleriyle incelemişlerdir. CO₂'li ısı pompasının ortalama ısıtma tesir katsayısını 2,38 ve tüm ısıtma mevsimi için solar kolektörlerin sistemdeki payını %69 bulmuşlardır.

Öztürk ve Erbay (2012) oluşturdukları ortamda farklı sıcaklık ve nem değerleri için hava kaynaklı ısı pompası su ısıtıcısını deneysel olarak incelemişlerdir. Tüm sistemin performansının çevre şartlarına bağlı olduğunu, tersinmezliğin en yüksek kompresörde en düşük kısılma vanasında olduğunu tespit etmişlerdir.

Aydın (2013) vakum tüplü kolektörleri ve hava kaynaklı ısı pompasını kullanarak 26.04.2012-29.04.2012 tarihlerinde 10:30-16:00 saatleri arasında 3 gün süreyle Karabük'te deneyler yapmıştır. Isı pompasının buharlaştırıcısını kolektör deposunun içine yerleştirmiştir. Güneşin olduğu günlerde saate göre kolektör deposundaki sıcaklık değişimini incelemiş ve güneşin olmadığı günlerde yalnızca ısı pompasıyla bu deneyi tekrarlamıştır. Güneş ışınımının olmadığı zaman diliminde ısı pompasının ısıtma tesir katsayısını ve güneş ışınımıyla birlikte ısı pompasının ısıtma tesir 10 katsayısını sırasıyla 1,43 ve 2,072 olarak tespit etmiştir. Kolektör kullanımıyla sistem verimliliğinde %45 artış olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Çifci ve Yılmazoğlu (2013) hava kaynaklı ısı pompasının deneysel termodinamik analizini yapmışlar ve ısı transferine bağlı ekserji kaybı teriminin ihmal edilebilirliğini araştırmışlardır.

Amin ve Hawlader (2013) Singapur'daki solar destekli ısı pompası sistemlerini değerlendirmiştir. Birleşik solar ısı pompası sistemlerini geliştirmek amacıyla Singapur'un meteorolojik şartlarında buharlaştırıcı-kolektör kullanarak sistem performansını değerlendirmişlerdir. Burada üç farklı sistem tanımlanmıştır: (1) sıcak su üretimi için sırsız buharlaştırıcı-kolektörün kullanıldığı solar destekli ısı pompası

sistemi (SDIP); (2) sıcak su üretimi ve kurutma için buharlaştırıcı-kollektör ve havalı kollektörün kullanıldığı SDIP; (3) güneş enerjisini, çevre havasını ve atık ısıyı kullanan birleşik SDIP sistemidir. Su ısıtması için SDIP sisteminin ısıtma tesir katsayısı kompresörün devir hızının artmasıyla azalırken, kollektör alanının artırılmasıyla artmaktadır. Bu sistem için ayrıca su sıcaklığının zamanla değişiminin deneysel ve simülasyon sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Su ısıtması ve kurutma için SDIP sisteminde deneysel olarak ve simülasyonla solar radyasyonun artışıyla su sıcaklığının artışı incelemiştir. Solar radyasyonun değişimine bağlı olarak hava kollektörünün ve buharlaştırıcı-kollektörün verimlerindeki değişimini incelemiştir. Sistemin ısıtma tesir katsayısının zamana bağlı değişimini deneysel ve teorik olarak incelemiştir, deneysel sonuç 6,5 olurken teorik olarak bu sonuç 7,5'a yaklaşmaktadır. Birleşik SDIP sisteminde, tanktaki suyun sıcaklığını soğutucu akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimini incelemiştir. İklimlendirilen odadaki soğutucu akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıklarını ve oda sıcaklığının zamanla değişimine bakmışlardır. Sırsız buharlaştırıcı-kollektör düşük işletme sıcaklığından dolayı hem güneş enerjisini hem de çevre sıcaklığını yutar. Bu sebeple sırsız buharlaştırıcı-kollektörlerin verimi havalı kollektörlerden daha yüksek bulunmuştur ve yaklaşık %80-90 verime sahiptir. Birleşik ısı pompası sistemi güneş enerjisi, çevre enerjisi veya atık ısıyı kullanarak tekli veya çoklu modlarda çalıştırılabilmekte ve sistem ısıtma tesir katsayısı 8'e kadar çıkabilmektedir.

Stark vd. (2014) sıcak su hazırlama ve ortam ısıtması için solar termal sistem ve hava kaynaklı ısı pompasının üç farklı kombinasyonunu Almanya'da müstakil evler ve 11 apartmanlarda 2012 yılı için incelemiştir. Bazı kombine solar termal ve hava kaynaklı ısı pompası sistemleri için seçici saha testi sonuçları, ısı pompası sistem performansının yanı sıra güneş enerjisi kazanımlarını da arttırmak için montaj ve işletme kontrolüne ilişkin önemli bir gelişmeye hala gerek duyulduğunu göstermektedir. Ayrıca ısı pompasının buharlaştırıcısındaki buz çözme olayının direk ve dolaylı energetic gücü belirlenmiş ve bu gücün azaltılması için solar termal ısıtmanın kullanımı ve daha uygun buz çözme stratejileri olarak adlandırılan farklı yaklaşımları tartışmışlardır.

Çavuş ve Usta (2015) çalışmalarında solar kolektörleri ısı pompasının buharlaştırıcısı olarak kullanarak su deposuna yerleştirdikleri yoğuşturucu ile depodaki suyu ısıtmışlardır. Kış ayları için sistemin ITK'sını hesaplamışlar ve yerden ısıtma ya da kullanım suyu ısıtmak için ısı pompasının kullanılabilir olduğu sonucuna varmışlardır.

Buker ve Riffat (2016) çalışmalarında düşük sıcaklıkta su ısıtma uygulamaları için solar destekli ısı pompası sistemlerinin kullanıldığı sistemleri incelemişlerdir. İnceledikleri çalışmalarda genel olarak solar kolektör ve ısı pompası bir su deposunu ısıtmakta ya da buharlaştırıcı kolektör deposuna yerleştirilmektedir. Isıtma sisteminde kolektörler buharlaştırıcı olarak kullanılmakta ya da iki buharlaştırıcıdan birisi kolektör deposuna yerleştirilirken diğeri hava kaynaklı olarak çalıştırılmaktadır.

Chen vd. (2016) ortam ısıtması için solar destekli CO₂ ısı pompası üzerine deneysel ve teorik olarak çalışmışlardır. Ortam ısıtması ve sıcak kullanım suyunu, solar kolektörler ve ısı pompası tarafından ısıtılan tanktaki su ile sağlamışlardır.

Liu vd. (2016) bir kompozit ısı değiştirici tasarlamışlardır. Solar kolektörde dolaşan akışkan kompozit ısı değiştiriciden geçerken ısınıp soğutucu akışkana aktarır ve böylece hava kaynaklı ısı pompası mahali ısıtır. Üç farklı çalışma modunu incelemişler ve solar kolektörlerin desteklediği ısı pompası sisteminde ısıtma kapasitesinin arttığını görmüşlerdir.

Bornatico vd. (2012) çalışmalarında kullanım suyu ve konut ısıtması için yardımcı kaynak olarak kullanılacak solar termal sistemin parçalarının simülasyonu için POLYSUN, optimizasyonu için MATLAB programlarını kullanmışlardır.

Dott vd. (2012) çalışmalarında konutlar için solar radyasyonun direk ve dolaylı kullanımı ve farklı sistem konfigürasyonları ile kombine solar ve ısı pompası sistemlerini POLYSUN simülasyon programı yardımıyla incelemişlerdir.

Bornatico vd. (2013) enerji sistemlerinin hızlı optimizasyonu için bir model oluşturmuşlar modelin doğruluğu test etmek için sistemi POLYSUN ve TRNSYS

programlarında simüle etmişler ve sonuçların birbirine yakın olduğunu gözlemlemişlerdir.

Good vd. (2014) şehirlerdeki binalarda solar enerji potansiyelinin optimizasyonu için POLYSUN ve PVsyst programlarını kullanmışlardır. Lerch vd. (2014) solar kollektör ve hava kaynaklı ısı pompası sistemlerinin farklı kombinasyonlarını TRNSYS'deki dinamik sistem simülasyonları vasıtasıyla incelemişlerdir. Aynı kollektör alanına sahip iki sistemde buharlaştırıcı havasının ısıtılmasıyla kullanılan elektrik enerjisi %1-2 oranında düşmüş, sistemin ısıtma tesir katsayısı 3,65'den 3,68'e yükselmiştir ve kollektörlerin seçici kaplanmasıyla da arttırılmıştır. Tek başına ısı pompası sistemi, solar kollektörlerle oluşturulan kombinasyonlarla karşılaştırıldığında sistemin ısıtma tesir katsayısının 2,55'den 3,53-3,70 arasında değiştiğini program aracılığıyla bulmuşlardır.

Carbonell vd. (2014a) kullanım suyu ve konut ısıtması için kombine solar termal ve ısı pompası sistemlerini TRNSYS ve POLYSUN programlarını kullanarak simüle etmiş ve sonuçları karşılaştırmışlardır. İki program arasındaki farkı hava kaynaklı sistemde %4, toprak kaynaklı sistemde ise %14 olarak elde etmişlerdir.

Rommel vd. (2014) çalışmalarında kullanma sıcak suyunun ön ısıtılması için sırsız PV/T kollektörlerinin deneysel olarak test etmişler ve sistemin simülasyonu için POLYSUN programını kullanarak ısıtma tesir katsayısını hesaplamışlardır.

Carbonell vd. (2014b) ısıtma ve yerel sıcak su hazırlanması için ısı pompalarının solar termal sistemle kombinasyonun potansiyel faydasını incelemişlerdir. Avrupa'da farklı iklimlerde müstakil evlerde ısı pompası ve kombine sistemi karşılaştırmak için POLYSUN simülasyon programını kullanmışlardır.

Hou ve Xu (2015) farklı eğim ve azimut açılarında düzlemsel kollektörlerin simülasyonu için POLYSUN programını kullanmışlar, çıkış suyunun sıcaklığını ve kollektörlerdeki solar radyasyonu incelemişlerdir.

González ve Yousif (2015) çalışmalarında Akdeniz'in merkezindeki Gozo adasında net sıfır enerjili bir otel elde edebilmek için enerji verimliliği ölçümlerine dikkat 15 etmişlerdir. Sürdürülebilir enerji ve yüksek verimli sistemlerin performansını değerlendirmek için POLYSUN yazılımını kullanmışlardır.

Good vd. (2015) çalışmalarında net sıfır enerjili Norveç binaları için farklı solar enerji çözümlerini POLYSUN simülasyon programını kullanarak karşılaştırmışlardır. Bessa ve Prado (2015) çalışmalarında konutlardaki karbondioksit emisyonunun azaltılması amacıyla kullanılan pasif teknolojiler ve solar su ısıtma sistemlerini karşılaştırmışlardır. Dimensol, EnergyPlus, F-Chart, Polysun, RETScreen, SAM, Transol, T*Sol ve Watsun programlarında solar su ısıtma sistemlerinin simülasyonunu yapmışlar ve programları belirli parametreleri baz alarak karşılaştırmışlardır ve POLYSUN en yüksek puanı almıştır.

Ghafoor ve Fracastoro (2015) çok amaçlı solar termal sistemlerin maliyet açısından etkinliği ve çok amaçlı PV tabanlı ısı pompaları ile karşılaştırmalarını yaptıkları çalışmalarında POLYSUN programından yararlanmışlardır.

Shipkovs vd. (2015) en kuzeydeki soğuk enlemlerde simülasyon programında halihazırda hiçbir sistemin olmadığı gerçeğini göz önünde bulundurarak ilk önce POLYSUN programında bulunan modelleri değerlendirmişler ve 5 yıllık meteorolojik verileri içeren dinamik simülasyon programını geliştirmişlerdir. Solar soğutma sistemini çoklu simülasyonlar kullanarak optimize etmişlerdir. Sistemin farklı elementlerinin çalışma performansı üzerindeki etkisini değerlendirmişler ve verilen iklim koşulları için en uygun modeli geliştirmişlerdir.

BÖLÜM 3

ISI POMPASI

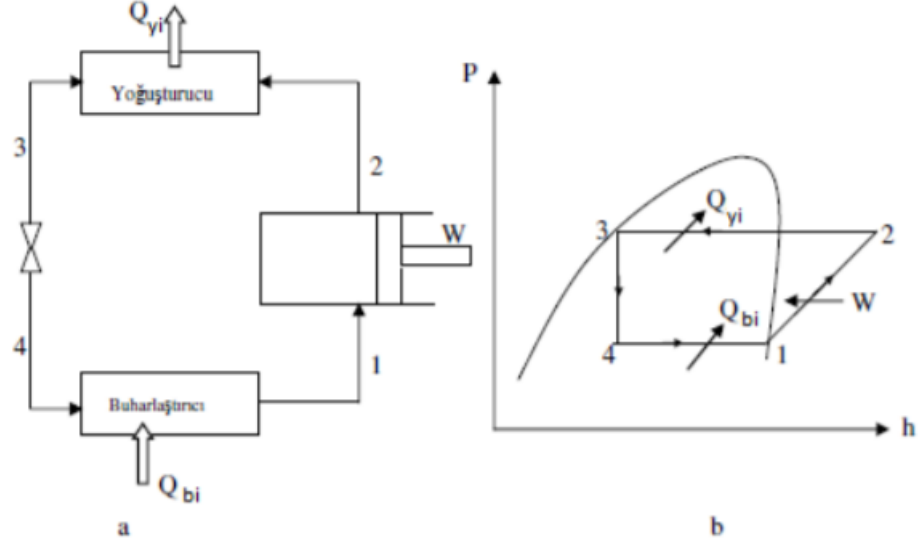
Isı pompaları, iklimlendirme sistemlerinde ısıtma ve soğutma uygulamaları için kullanılmalarının yanı sıra kurutma ve sıcak su ihtiyacının karşılanması amacıyla da kullanılmaktadırlar. Isı pompalarının çalışabilmeleri için düşük sıcaklıklı bir ortamdan aldıkları ısıyı yüksek sıcaklıklı bir ortama vermeleri için dışardan net bir iş girişi olmak zorundadır (Kılıç, 2006).

Isı akışı azalan sıcaklık yönünde bir başka deyişle yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru olmaktadır. Bunun tersine bir akış ancak termodinamiğin ikinci yasasında belirtildiği üzere iş girişi ile mümkün olabilmektedir. Isı pompaları bu yasa çerçevesinde bir ısı kuyusundan çektikleri ısıyı, ısıtılacak ortama vermektedirler (Çengel ve Boles, 2011).

3.1. ISI POMPASI ÇALIŞMA PRENSİBİ

Isı pompaları dört ana elemandan oluşmuşlardır; buharlaştırıcı, kompresör, yoğunlaştırıcı ve kısılma vanası. Isı pompaları ve soğutma makinaları bir çalışma prensibine göre çalışmaktadırlar ve dolaşan akışkana soğutucu akışkan adı verilmektedir. Buhar sıkıştırımlı ideal soğutma çevrimin tesisat şeması ve P-h diyagramı Şekil 3.1’de verilmiştir. Soğutucu akışkan kompresöre (1) doymuş buhar olarak girer ve izantropik olarak sıkıştırılır. Daha sonra (2) halinde kızgın buhar olarak yoğunlaştırıcıya girer ve akışkandan çevreye ısı geçişi sonucu yoğunlaştırıcıdan (3) halinde doymuş sıvı olarak ayrılır. Akışkan daha sonra bir genleşme valfi ile buharlaştırıcı basıncına kısılr ve böylece soğutucu akışkanın sıcaklığı ısı çekilecek ortam sıcaklığının altına düşer. Soğutucu akışkan sıvı-buhar karışımı olarak buharlaştırıcıya (4) girer ve ortamdan ısı alarak tümüyle buharlaşarak kompresöre girer (Gündüz, 2007). Pratik bir kural olarak, buharlaştırıcı sıcaklığındaki her 1°C artma

veya yoğunlaştırıcı sıcaklığındaki her 1°C azalma ısıtma tesir katsayısını % 2-4 mertebesinde iyileştirir (Çengel ve Boles, 2011).



Şekil 3.1. (a) İdeal buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi, (b) P-h diyagramı.

Termodinamiğin birinci kanunu olan enerjinin korunumu kanunu çerçevesinde buharlaştırmacıda çevre kaynaklardan çekilen ısı ve kompresörde çekilen elektrik enerjisinin toplamı yoğurturucuda ortama verilen enerjiye eşit olmak zorundadır. Bu nedenle yoğurturucudaki ısı atımını arttırmak için buharlaştırmacıdaki ısı çekimini arttırmak gereklidir.

3.2. ISI POMPASININ PERFORMANSI

Soğutma makinaları ve ısı pompalarının görevlerini yerine getirmeleri Denklem 4.1 ve 4.2’de ifade edilen soğutma tesir katsayısı (STK) ve ısıtma tesir katsayısı (ITK) 35 formülleri ile ölçülmektedir. Burada dikkat edilirse STKSM ve ITKIP değerinin birden büyük olabileceği görülebilir. Denklem 3.1 ve 3.2 belirli Q_{buh} ve Q_{yog} değerleri için karşılaştırıldığında $ITKIP = STKSM + 1$ olduğu görülmektedir. STKSM değeri her zaman sıfırdan büyük olduğundan, bu bağıntı ısı pompasının ısıtma tesir katsayısının 1’den büyük olduğunu göstermektedir. Bu durum ısı pompasının en kötü durumda bile bir elektrikli ısıtıcı gibi çalışarak tükettiği elektrik enerjisi kadar ısı enerjisi eve besleyeceğini göstermektedir. Gerçek uygulamalarda Q_{yog} ’ın bir bölümü borulardan

ve kanallardan çevreye geçebilir ve dış hava sıcaklığının çok düşük olduğu zamanlarda ısıtma tesir katsayısı 1'in altına düşebilir. Bu durumda ısı pompası elektrikli ısıtıcı gibi çalıştırılır ya da diğer bir ısıtma sisteminde yakıt (doğalgaz, propan, mazot) devreye alınabilir (Çengel ve Boles, 2011).

$$STK_{SM} = \frac{\text{İstenen Çıkış Değeri}}{\text{Gerekli Giriş Değeri}} = \frac{\text{Soğutma Etkisi}}{\text{İş Girdisi}} = \frac{Q_{buh}}{W_{komp}} \quad (3.1)$$

$$ITK_{IP} = \frac{\text{İstenen Çıkış Değeri}}{\text{Gerekli Giriş Değeri}} = \frac{\text{Isıtma Etkisi}}{\text{İş Girdisi}} = \frac{Q_{yog}}{W_{komp}} \quad (3.2)$$

Isı pompası sistemlerinde defrost sisteminin verimliliği, seçilen kompresörün ve motorun verimliliği, buharlaştırıcı ve yoğuşturucu tasarımı etkinlik katsayısını etkileyen parametrelerdir. Defrost sisteminin en kısa zamanda en az enerji ile buz çözmesi beklenir, kompresörün sıkıştırma veriminin yüksek olması ve ısı değiştiricilerin ısı geçişleri dikkate alınarak en iyi şekilde tasarlanmış olması beklenmektedir (Aktaş, 2007).

Isıtma sistemlerinde ısı pompasının performans katsayısı ITK ile ifade edilirken tüm ısıtma sisteminin etkinlik katsayısı mevsimsel performans faktörü (SPF) ile ifade edilmektedir. Isıtma sisteminde, sisteme verilen enerjinin çekilen elektrik yüküne bölünmesiyle yıllık performans faktörü hesaplanır. Isıtma sistemi güneş enerjisiyle desteklendiği zaman güneş enerjisinden gelen enerji ısı pompasının sisteme verdiği enerji ile toplanarak çekilen elektrik yüküne bölünür ve SPF elde edilir. Güneş enerjisiyle desteklenen ısıtma sisteminde SPF daha yüksek çıkacaktır çünkü güneş enerjisi elektrik tüketmeden sisteme ısı sağlamaktadır.

3.3. ISI POMPASI KAYNAK TİPİNİN SEÇİMİ

Isı pompaları kaynak olarak hava, su, toprak, güneş, jeotermal ve atık ısı kullanılmaktadırlar. Hava, su, toprak ve güneş kaynaklı ısı pompalarına aşağıda değinilmiştir

3.4. HAVA KAYNAKLI ISI POMPASI

Havanın her zaman bulunabilen bir kaynak olması, düşük ilk yatırım ve düşük işletme bakım maliyetine sahip olması hava kaynaklı ısı pompalarını diğerlerine göre avantajlı bir duruma getirmektedir. Kapasite hesabı yapılırken, normal olarak yıllık ısı ihtiyacının tamamı olmamakla beraber büyük bir oranda sağlanmasına çalışılarak sistem tasarımı yapılır. Pik durumlarda ortaya çıkacak ısı ihtiyacı ise ısıtıcılarla sağlanır. Bu ısıtıcılar elektrikli ısıtıcılar olabileceği gibi kazan da olabilir. Yazın soğutma ihtiyacının hepsi ısı pompası tarafından karşılanmak istendiğinde ise, ısı pompasının boyutlarının artmasıyla maliyetleri artacak ve havanın nem kontrolü zayıflayacaktır. Bunun yanı sıra sıcaklığın sürekli ve çabuk değişmesi en büyük mahsurudur. Kış aylarında hava içerisinde çok büyük miktarlarda su buharı, buharlaştırıcı üzerinde yoğunlaşır ve düşük hava sıcaklıklarında donar. Oluşan buz tabakası buharlaştırıcı üzerinden defrost işlemiyle bertaraf edilir. Hava, boruda dolaşan soğutucu akışkanla arasında 5-10 °C'lik bir fark olması için buharlaştırıcıya fan yardımıyla üflenmektedir. Buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcı arasındaki sıcaklık farkı azaldıkça sistem performansı artacaktır (Yamankaradeniz vd., 2013).

3.5. SU KAYNAKLI ISI POMPASI

Kuyu, göl, nehir ve deniz suyunun ısı pompasına ısı kaynağı olarak kullanılmasının yanı sıra şehir şebekesinden elde edilen su da kullanılabilir. Göl, nehir gibi yer üstü sularında sıcaklık sürekli değişmesine rağmen değişim hava da olduğu kadar değildir. Türkiye'nin batı bölgelerinde yer üstü sıcaklığının genellikle 0 °C'nin altına düşmemesi de ayrı bir avantajdır. Diğer bir avantajı da ısı değiştiricilerinde ısı geçişinin yüksek olmasıdır. Kuyu suyu kullanıldığında enerjisi düşmüş olan su kaynak sıcaklığını düşürmemesi için başka bir yere atılmasını gerektirir. Tek seferlik ve 37 yüksek debilerde su kullanımı kuyu suyundan yararlanma olanaklarını kısıtlamaktadır. Sondaj ve bakım maliyetlerinin yüksek oluşu kaynağın miktarının ve kalitesinin muammasa olması gibi sebepler kullanımını pek de azaltmamıştır ancak kuyu suyu kullanımı küçük tesisler için ekonomik değildir. Korozyondan kaçınmak için su kalitesi testi yaptırılmalıdır (Erdem, 2007).

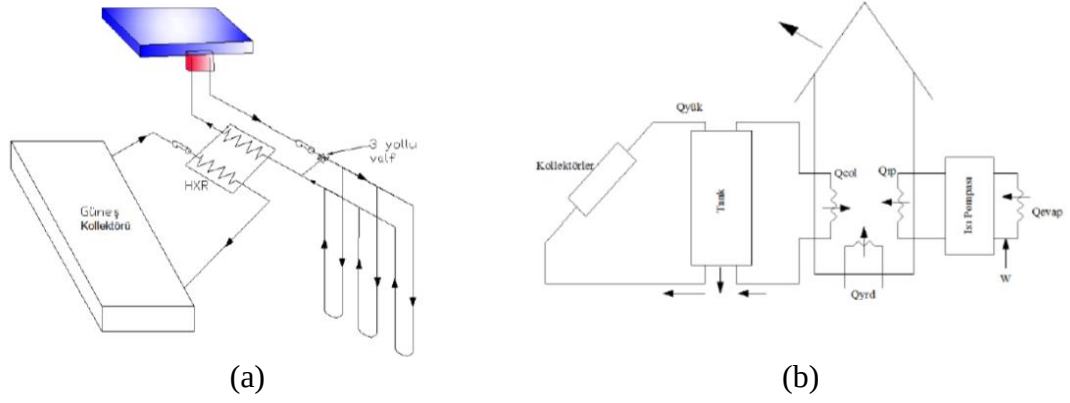
3.6. TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASI

Toprak sıcaklığının havaya göre yıl içerisinde çok değişmemesi ve sürekli kullanılabilir aralıkta kalmalarından dolayı özellikle karasal iklimlerde avantajlıdır. Toprak kışın havadan daha sıcak yazın ise daha serindir. Toprağa yatay veya dikey olarak serilen borulardan soğutucu akışkan ya da daha ucuz olması bakımından salamura geçirilerek toplanan enerji, ısı pompasının buharlaştırıcısında enerjisini akışkana aktarmaktadır. Toprağa yerleştirilecek olan ısı değiştiricisinin seçimini ve boyutlandırılmasını etkileyen parametreleri sıralayacak olursak: Toprağın yoğunluğu, bileşimi, içerdiği nem miktarı ve gömme derinliğidir. Projelendirmede güçlük yaratan sebeplerden bir diğeri ise toprağın özelliklerinin zamana bağlı olarak değişmesidir. Toprak kaynaklı ısı pompalarında ısı çekilirken ısı değiştiricisine yakın bölgelerde toprak sıcaklığı düşeceğinden nem miktarı ve toprak özellikleri değişir. Salamura sıcaklığı da düşer, böylece ısıtma tesir katsayısı etkilenecek performansı düşer. Soğuk yörelerde, ısıtma yapıldığı süre içerisinde toprağa yeteri kadar ısı girişi olmazsa; kış aylarında topraktan sürekli çekilen ısı nedeniyle, toprağın donma tehlikesi de mevcuttur. Bu olumsuzluklara ilave olarak hava kaynaklı makinelerle göre %30-50 arasında daha pahalı olmaları en temel dezavantajlarından birisidir. Toprak kaynaklı ısı pompası hava kaynaklı ısı pompasıyla karşılaştırıldığında, işletilmeleri için daha az enerji tüketmeleri, havadan daha kararlı bir enerji kaynağı olmaları, son derece düşük dış hava sıcaklığında bile ek ısı kaynağı gerektirmemeleri, daha az soğutucu akışkan kullanmaları (eğer toprak ısı değiştiricisinde salamura dolaştırılırsa), tasarımlarının daha basit olması dolayısıyla daha az bakım gerektirmeleri gibi avantajları mevcuttur (Erdem, 2007).

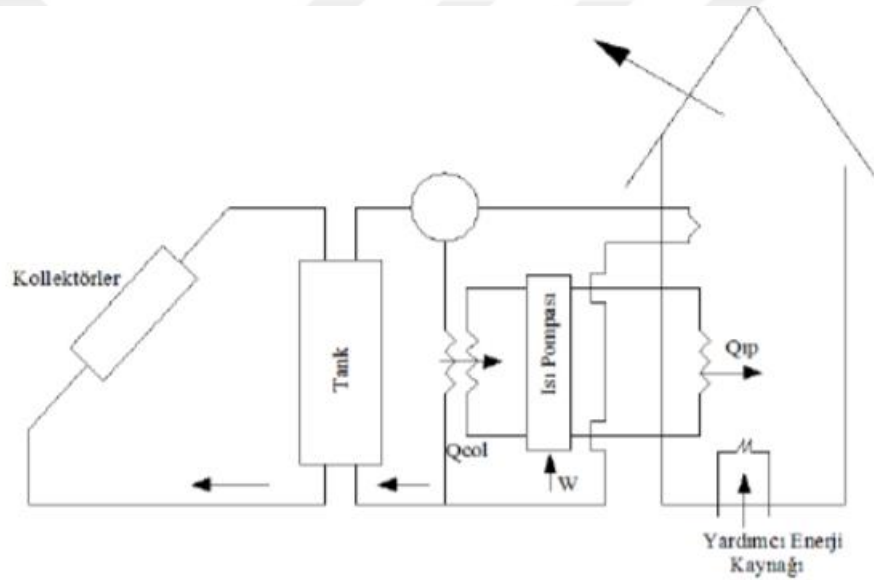
3.7. GÜNEŞ KAYNAKLI ISI POMPASI

Isı pompasının buharlaştırıcısının ısı kaynağı olarak güneş enerjisinden faydalanılması, buharlaştırıcıdaki sıcaklığının yüksek seçilmesine ve ısıtma etkinliğinin yükselmesine imkân vermektedir. Bazı uygulamalarda toprak ısı değiştiricisinin uzunluğunu azaltmak için de güneş enerjili ek sistemler kullanılmaktadır. Güneş enerjisinden kaynak olarak yararlanmak için direkt ve endirekt sistem olmak üzere iki alternatif mevcuttur. Direkt sistemlerde kolektörler

buharlaştırıcı olarak sistemde yer alırken, endirekt sistemlerde kollektörlerden geçirilen su veya su buharı sayesinde sisteme enerji verilir. Direkt sistemlerde güneş panellerinde yer alan soğutucu akışkan atmosfer ısısı yardımıyla buharlaştırılır. Buhar kompresör tarafından sıkıştırılarak yoğuşturucuya girer, burada gaz halden sıvı hale geçerken enerjisini tank içerisindeki suya verir, sıvı haldeki soğutucu akışkan güneş paneline geri döner ve çevrim tekrarlanır. Endirekt sistemlerde ise güneş enerjisiyle içi su dolu bir depo ısıtılır ve buharlaştırıcı depodaki su içerisine daldırılarak enerji transferi sağlanır. Böylece güneş kollektörleri sisteme ek ısı sağlayarak sistemin verimini artırır. Güneş kollektörleri sisteme seri, paralel ve çift kaynaklı olmak üzere üç şekilde entegre edilebilir. Seri sistemlerde ısı pompası güneş enerjisinin ısıttığı depodan enerji alırken, paralel sistemlerde ısı pompası enerjiyi dış atmosferden alır, güneş enerjisi direkt evi ısıtmada kullanılır. Çift kaynaklı sistemde ise seri ve paralel sistemlerin bir arada olduğu bir ısıtma mevzu bahisdir. Ancak hava kaynağında olduğu gibi kış günlerinde güneş enerjisi de az olduğundan, yardımcı bir ısıtma sistemine ihtiyaç vardır. Seri sistemde hava kaynaklı ısı pompasının buharlaştırıcısı su deposunun içerisinde bulunurken, su ve toprak kaynaklı ısı pompalarında ise Şekil 3.2'deki gibi akışkan ısıtılmaktadır. Şekil 3.2b'de görüldüğü üzere paralel sistemlerde ısı pompası enerjiyi sadece atmosferden, sudan ya da topraktan alır ve güneş kollektörleri evi ısıtmada kullanılır. Böylece sistemdeki toplam kullanılabilir enerji iki farklı kaynaktan çıkan enerjilerin toplamı olarak alınabilir. Seri ve paralel kaynaklı sistemlerin bir karışımı olan çift kaynaklı ısı pompası sistemlerinde iki tane buharlaştırıcı bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi su deposu tankına yerleştirilirken diğeri hava kaynaklı buharlaştırıcı olarak kullanılmaktadır. Şekil 3.3'de görülen sistem kaynak olarak sadece güneş enerjisini, hava kaynaklı ısı pompasını ya da güneş enerjisi destekli ısı pompasını kullanabilmektedir. Sistem seri ve paralel sistemin avantajlarını 39 içermektedir bu nedenle ısıtma tesir katsayısı yüksektir. Fakat havanın soğuk olduğu kış günlerinde güneş enerjisinin yetersiz olduğu durumlar için yardımcı kaynak olarak elektrik ya da fosil yakıt her üç sistem içinde kullanılmaktadır (Özsolak, 2011).



Şekil 3.2. (a) Seri kaynaklı ısı pompası, (b) Paralel kaynaklı ısı pompası.



Şekil 3.3. Çift kaynaklı ısı pompası.

Hava, toprak, su ve güneş kaynaklı ısı pompalarının ısıtma tesir katsayıları üzerine çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda sistem verimi farklı parametreler baz alınarak deneysel olarak ya da simülasyon yardımıyla incelenmektedir. Kapsamlı analizler daha çok simülasyon yardımıyla yapılmış olup küçük güçteki ısı pompalarıyla sıcak su üretim performansı deneylerle incelenmiştir. Evin ısı kaybına göre ısı pompası sisteminin boyutlandırılması yapılırken sistem boyutunun artması maliyeti arttıracığından yardımcı sistem olarak güneş enerjisi yaygın olarak kullanılmaktadır.

Isı pompaları işletme şekillerine göre monovalent, bivalent ve multivalent olmak üzere üçe ayrılır. Isı üreticisi sadece bir çeşit kaynaktan enerjisini temin ediyorsa monovalent (tekli) işletme şekline göre çalışmaktadır. Bivalent (ikili) işletme şeklinde ısı üreticisi tüm ısı ihtiyacını daima iki farklı ısı üreticisinden karşılamaktadır. Multivalent (çoklu) işletme şeklinde ısı ihtiyacı birbirinden farklı ikiden daha fazla enerji üreticisi tarafından karşılanmaktadır (Kılıç, 2006).

3.8. ISI POMPASININ OLUMLU OLUMSUZ YÖNLERİ

Isı pompaları iklimlendirmenin sağlandığı diğer teknolojilere alternatif oluşturmakla birlikte kullanılan kaynaklara göre bazı olumlu ve olumsuz yönlere sahiptir. Olumlu yönleri;

- Yüksek etkinlik katsayısı ve kararlı kapasite,
- Tasarım esnekliği,
- Bakım ve işletmesinde zahmet gerektirmediğinden konforlu bir yaşam tarzı sunması,
- Bakım giderlerinin düşük, ekipman ömrünün uzun olması,
- Kontrol üniteleri ve ekipmanlarının anlaşılmasının kolay olması,
- Doğrudan emisyon salmadığı için bulunduğu yerleşim biriminin hava kalitesini düşürmemesi,
- Herhangi bir ek cihaz gerektirmeden aynı cihazla ısıtma ve soğutma yapılabilmesi olumlu yönlerini oluşturmaktadır.

Olumsuz yönleri;

- İlk yatırım giderlerinin yüksek olması,
- Toprak ya da suyu kaynak olarak kullanacak ısı değiştiricisinin tasarımı ve yerleştirilmesini yapacak nitelikli tasarımcı ve müteahhit sayısının sınırlı olması,
- Performansın kaynağa bağlı olmasıdır (Hepbaşlı ve Ertöz, 1999).

Hava, su, toprak ve güneş kaynaklı ısı pompalarına bakıldığında konutlar için hava kaynaklı ısı pompasının daha kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Bu tez

alışmasında oluşturulan model sistemlerde düzlemsel güneş kollektörleri ısıtma ve 41 sıcak su sistemine direkt olarak bağlanmıştır. Böylece kullanım sıcak suyu talebinin ve ısıtma enerjisi ihtiyacının az olduğu durumlarda ısı pompasının çalışmasına gerek kalmamaktadır.



BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ ISI POMPASI SİSTEMLERİNİN PERFORMASININ İNCELENMESİ

Villa kömür kullanımının yasak olduğu ve doğalgazın erişmediği kıyı bölgelerde konutun ısıtılması ve kullanım sıcak suyunun hazırlanması için ısı pompasının ve güneş kollektörünün kullanıldığı durumlar için incelenmiştir. Düşük kapasitede ısı pompası ve çok sayıda kollektör kullanmanın mı yoksa yeterli kapasitede ısı pompası ve düşük sayıda kollektör kullanmanın mı daha iyi bir çözüm olduğuna simülasyon sonuçları ile karar verilmiştir. Simülasyonda kullanılan bir diğer parametre ise kollektör alanıdır. Kullanılan güneş kollektörleri düzlemsel olup sayıları 0 ile 10 arasında alanları ise 0 ile 20 m² arasında değişmektedir.

Programa tarafımızdan girilen değerler, ısı ihtiyacı, ısı kaybı, kişi sayısı, kullanım suyu sıcaklığı, konum, dış hava sıcaklığı, küresel radyasyon ve rüzgar hızı değerleridir. Bu değerler girildikten sonra ısıtma sistemi için uygun ısı pompası, tank, güneş kollektörleri ve ısıtıcı seçilir. Farklı sistem kombinasyonları için, sisteme verilen toplam enerji (Q_{kul}), tüketilen toplam elektrik miktarı (E_{top}), ısı pompasının sisteme verdiği ısıl enerji (Q_{hp}), çektiği elektrik yükü ve ısıtma tesir katsayısı, sistemin mevsimsel performans faktörü, güneş enerjisinin ısıtma ve sıcak su hazırlama sistemi üzerindeki katkı yüzdesi (SF_n), güneş kollektörü alanına bağlı olarak tüketilen toplam elektrik ve performans faktöründeki yüzdesel değişim yıllık bazda incelenmiştir.

4.2. MODELLENEN BİNA

Bu çalışmada bir villanın ısıtma tesisatı projelendirilmiştir. Projenin çizimi Autocad'de yapılmış olup Ek I'da verilmiştir. Projenin çizimi ve hesaplamaların

yapılmasında Autocad 2016 programından faydalanılmıştır. Söz konusu villa için güneş destekli hava kaynaklı ısı pompası ısıtma sisteminin performans faktörü Bursa, Antalya ve Ankara için incelenmiştir. Isıtma sisteminin tasarımının yapılabilmesi amacıyla bazı bilgiler gerekmektedir. Bu bilgiler aşağıda verilmiştir:

- Villa, Bursa, Antalya ve Ankara’da bulunmaktadır.
- Betonarme olarak inşa edilen villa bodrum kat ve zemin kat olmak üzere iki katlı olup tuğla çatılı olacaktır. Binada bodrum kat ve çatı arası da 46 kullanılmayan alan olduğu için ısıtılmamaktadır. Mimari proje villada kullanılan tüm yapı bileşenleri için esas kabul edilmiştir.
- Villaların bulundukları bölgelerde su şebekesi, su deposu, basınçlandırma sistemi kanalizasyon, ulaşım, telekomünikasyon, trafo, elektrik ve buna benzer alt yapılar bulunmaktadır.
- Yapıda enerjinin etkin kullanımının sağlanması amacıyla ısı yalıtım yönetmeliğine uygun yapı elemanları kullanılmıştır.
- Yapı ayrık nizamda, serbest durumda ve normal bölgede bulunmakta olup 1’inci işletme rejimine haizdir. Isı kayıp hesaplarında mahaldeki iç kazançlar hesaba katılmamıştır.
- Güneş enerjisi destekli ısı pompası sisteminin performansını ölçmek ve simülasyonunu yapmak amacıyla “POLYSUN” simülasyon programı kullanılmıştır.

Yıllık ısı ihtiyacının hesaplanması ve ısıtma tesisatının projelendirilmesine ilişkin olarak mevcut yayın ve standartlardan faydalanılmıştır. Bu standartlar, TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları ve TS 2164 Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kuralları olmak üzere iki tanedir. TS 825’te belirtilen hesaplama yöntemi, binada kullanılan yapı malzemelerinin söz konusu derece gün bölgesi için sınırlandırılan değerleri geçmesinin engellenmesi ve konutun yalıtım kalınlığının iyi bir şekilde belirlenmesi için kullanılmaktadır. Ülkemizde mevcut binaların iklimlendirilmesi amacıyla kullanılan enerji miktarının hesaplanmasında standart bir metodun olması, tüketimin azaltılarak tasarruf edilmesinin sağlanması amacıyla TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardı düzenlenmiştir. Binalardaki ısı kayıplarının azaltılması ve enerji tasarrufunun sağlanmasına yönelik usul ve esasların düzenlenmesi için Binalarda Isı

Yalıtım Yönetmeliği düzenlenmiştir. Hesaplamaların yapılmasında bu yönetmelikten faydalanılmıştır.

4.3. ISI KAYBI HESABINDA KULLANILACAK OLAN VERİLER

Bu bölümde Bursa, Antalya ve Ankara illerinde bulunan ve güneş destekli hava kaynaklı ısı pompası ile ısıtılacak olan bir villanın projesi ele alınmış olup, yapı bileşenleri tespit edilerek, yıllık ısı ihtiyacı ve ısı kaybı hesabı yapılmıştır. Çizelge 4.1’de yapıya ait projenin hazırlanmasında TS 825 ve TS 2164 standart ve normlarına bağlı kalınarak verilmiştir.

Çizelge 4.1. Mahal iç sıcaklıkları (TS 2164 kalorifer tesisatı projelendirme kuralları).

Mahal Adı	Kış (°C)
Salon	22
Yatak Odaları	20
Giriş Holü	20
Yemek Salonu	22
Oturma Odası	22
Çalışma Odası	22
Banyolar	26
Mutfak	20
Depo	20

Projelendirmesi yapılan villanın ayrıntılı hesaplamaları ekler kısmında görülmektedir. Villa, bodrum ve zemin kat olmak üzere iki katlıdır ancak sadece zemin kat ısıtılacağından 423,2 m² brüt kapalı alana sahiptir. Odalar arasında sıcaklık farkı bulunduğu için iç duvarlar hesaba katılmıştır.

Simülasyon programına girilen aylık ısı kaybı değerlerinde ısıtılmayan bölgelerin sıcaklıkları dış ortam sıcaklıklarına göre extrapolasyon yapılarak bulunmuştur. Aylık değerler Muğla ilinin meteorolojiden alınan dış sıcaklık verilerine göre hesaplanmıştır. Odalar arası sıcaklık farkı bulunduğu için iç duvarlar da hesaba katılmıştır. Binalarda ısıtılmayan bölgelerin sıcaklıkları Çizelge 4.2’te verilmiştir.

Çizelge 4.2. Binalarda ısıtılmayan bölgelerin sıcaklıkları.

Dış sıcaklıklar	3	0	-3	-6	-9	-12	-15	-18	-21	-24	-27
Çatı arasındaki ısıtılmayan mahaller											
W/m ² K											
U < 2,33	9	7	4	2	-1	-3	-6	-8	-11	-13	-16
2,33 < U ≤ 5,82	6	4	1	-1	-4	-6	-9	-11	-14	-16	-19
U > 5,82	3	1	-2	-4	-6	-9	-12	-14	-17	-19	-22
İçeriye veya bodruma kapı ya da pencere, bir kısmı ısıtılmış mahallerle çevrili	15	14	12	10	9	7	5	3	2	0	-1
Dış kapı veya pencere, bir kısmı ısıtılmış mahallerle çevrili	10	8	6	5	3	1	0	-2	-4	-6	-7
Döşeme altındaki toprak sıcaklığı	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Dış duvara bitişik toprak sıcaklığı	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5
Merkezi ısıtmalı evlerin bitişik sıcaklığı	15										
Mahalli ısıtmalı evlerin bitişik sıcaklığı	10										
Kazan dairesi	20										
Kömürlük	10										

Isı transferinin meydana gelmesinde ısı akışının olduğu yüzeyin ısıl iletkenlik direnci etkili olmakta ısı kaybının azaltılması için yalıtım yapılarak bu direnç arttırılmaya çalışılmaktadır. Bu nedenle yapıların ısıl geçirgenlik katsayıları hesaplanmaktadır. Bir

yapı bileşeninin ısıl geçirgenlik katsayısı aşağıdaki eşitlikle hesaplanır. Denklem 4.1 (TS 825, 2008).

$$U_D = 1 / (R_i + R_D + R_e) \quad (4.1)$$

Burada,

R_i : İç yüzeyin yüzeysel ısı taşınım direnci (m^2K/W)

R_D : Duvarın ısı iletim direnci (m^2K/W)

R_e : Dış yüzeyin yüzeysel ısı taşınım direnci (m^2K/W)

Hesaplamalarda kullanılan yapı elemanlarının ısı transfer katsayıları ile iç ve dış yüzeylerin ısı taşınım dirençleri Çizelge 4.3'te verilmiştir. Yapı bileşeninin ısı iletim direnci hesaplanırken tek tabakalıysa Denklem 4.2 çok tabakalı ise Denklem 4.3 kullanılarak hesaplanır.

$$R = d / \lambda \quad (4.2)$$

d : Yapı bileşenini oluşturan tabakanın kalınlığı (m)

λ : Yapı bileşenini oluşturan malzemenin ısı transfer katsayısı (W/mK)

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots \quad (4.3)$$

Burada d_1, d_2, d_3 duvarı oluşturan farklı malzeme tabakalarının kalınlığı, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ ise her bir tabakanın ısı transfer katsayılarıdır ve Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Bina dış kabuğunda kullanılan yapı malzemelerinin ısı iletkenlik katsayıları ve yüzeylerin ısı taşınım dirençleri (TS 825, 2008).

Yapı malzemesi ve yüzeyin			Isı iletkenlik katsayısı	
S. No	Adı	Sembolü	Değeri	Birimi
1	Kireç harcı, kireç çimento harcı (iç sıva)	λ	0,870	W/mK
2	Yatay delikli tuğlalarla duvarlar	λ	0,450	W/mK
3	Yüzeyi pürüzlü veya pürüzlü ve kanallı levhalar (poliüretan sert köpük)	λ	0,031	W/mK
4	Çimento harcı	λ	1,4	W/mK
5	Normal beton, doğal agrega ya da mıcır kullanılarak yapılmış beton (donatılı beton)	λ	2,1	W/mK
6	Mineral ve bitkisel lifli yalıtım malzemeleri	λ	0,040	W/mK
7	Yüzeyi düzgün ciltli levhalar	λ	0,028	W/mK
8	Duvar iç yüzeyin yüzeysel ısı taşınım direnci	R_i	0,13	W/mK
9	Duvar dış yüzeyin (dış havaya açık) yüzeysel ısı taşınım direnci	R_e	0,04	W/mK
10	Tavan iç yüzeyinin yüzeysel ısı taşınım direnci	R_i	0,13	W/mK
11	Tavanın (üzeri ısıtılmayan çatılı) çatıya bakan dış yüzeyinin yüzeysel ısı taşınım direnci	R_e	0,08	W/mK
12	Taban (yukarıdan aşağıya ısı iletimi olan) iç yüzeyinin yüzeysel ısı taşınım direnci	R_i	0,17	W/mK
13	Taban (ısıtılmayan ortama açık) dış yüzeyinin yüzeysel ısı taşınım direnci	R_e	0,17	W/mK
14	Pencereler	U_p	2,1	W/mK
15	Kapılar (ağaç)	U_k	3,5	W/mK

Isı kaybını hesaplamada kullanılan bir diğer bölüm zamlar bölümüdür. Zamlar bölümünde (Z), birleştirilmiş artırım katsayısı (ZD), yön artırım katsayısı (ZH), kat yüksekliği artırım katsayısı (ZW) kullanılmıştır. Birleştirilmiş artırım katsayısı (ZD), ısınmanın kesintili ya da sürekli olup olmamasından kaynaklanan kesintili ısıtma rejimi artırımı (Zv) ve soğuk dış yüzey alanından dolayı soğuk dış yüzey ısı kaybı artırımı (Za) olmak üzere iki bileşene sahiptir. Zv binanın kesintili ısıtılması durumunda soğuyan yapı bileşenlerinin ve ısıtma sistemi elemanlarının tekrar eski sıcaklığına getirilmesi için göz önüne alınması gereken ısı kapasitesi artırımındır.

Birleştirilmiş artırım katsayısı işletme durumu ve Denklem 4.4'ten elde edilen D katsayısına bağlı olarak Çizelgeden okunur.

$$D = \frac{Q_0}{A_{top}(T_{iç}-T_{dış})} \quad (4.4)$$

Bu denklemdeki sembollerin anlamları aşağıdaki gibidir.

Q_0 : Artırımsız ısı kaybı (W),

A_{top} : Isı kaybı hesaplanan hacmi çevreleyen tüm yüzeylerin alanları toplamı (m²),

$T_{iç}-T_{dış}$: İç ve dış ortam sıcaklıkları arası fark (K),

D : Z_d artırımında kullanılan katsayı (W/m²K).

İşletme durumu	D (W/m ² K)			
	0,12-0,34	0,35-0,80	0,81-1,73	≥ 1,74
			% Z_D	
1. İşletme	7	7	7	7
2. İşletme	20	15	15	15
3. İşletme	30	25	20	15

Isıtma tesisatının çalıştırılmasında verilen araya göre 3 tip işletme şekli tanımlanmıştır. Tesisat sürekli çalışmakta yalnız geceleri ateş azaltılmaktaysa (genellikle konutlar) 1. tip işletme, kazan her gün 10 saat tamamen söndürülmekteyse (genellikle işyerleri) 2.

tip işletme ve kazan her gün 14 saat veya daha uzun süre söndürülmekteyse (genellikle işyerleri) 3. tip işletme olarak tanımlanmaktadır.

Ülkemiz kuzey yarımkürede bulunduğundan güneş ışınlamından dolayı güneye bakan hacimler ısınırken kuzeye bakan hacimler soğumaktadır. Bu nedenle yön artırım değerleri uygulanmaktadır. Yön artırım değerleri Çizelge 4.4’da verilmiştir.

Çizelge 4.4. Yön artırım katsayısı (TS 2164 kalorifer tesisatı projelendirme kuralları).

Yön	G	GB	B	KB	K	KD	D	GD
Z_H	-5	-5	0	5	5	5	0	-5

Birkaç kattan sonra rüzgar hızı arttığından dolayı ısı kaybı artmaktadır. Bu nedenle dikkate alınması gereken bir diğer parametre kat yüksekliği artırımı olup Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Kat yükseklik artırım çizelgesi.

Kat →	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
↓ Arttırımı												
%0	*3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	3.2.1	4.3.2.1	5.4.3.2.1
%5	4.	4.	5.4	5.4	5.4	6.5.4	6.5.4	6.5.4	6.5.4	6.5.4	7.6.5.4	8.7.6.5.4
%10		5.	6.	6.	7.6	8.7	9.8.7	9.8.7	9.8.7	9.8.7	10.9.8	11.10.9
%15				7.	8.	9.	10.	10.	11.	12.11.10	13.12.11	14.13.12
%20								11.	12.	13.	14.	15

Isı kayıpları iletim ve taşınım yolu ile olmasının yanı sıra enfiltasyon (sızıntı) yolu ile de olmaktadır. Odada, hava sızıntısı yoluyla olan ısı kaybı, pencere ve kapı aralıklarından dış ve iç ortamdaki havanın basınç farkı nedeniyle sızan soğuk havadan kaynaklanmaktadır. Odanın toplam ısı kaybı, artırılmış ısı kayıplarının, enfiltasyon kayıpları ile toplanmasıyla hesaplanır. Enfiltasyon kayıpları hesabı Denklem 4.5'te verilmiştir.

$$Q_s = \frac{1}{3,6} \sum (\alpha \ell) RH \Delta T Z_e \quad (4.5)$$

Bu ifadedeki sembollerin anlamları aşağıdaki gibidir.

Q_s : Sızıntı yoluyla ısı kaybı (W),

a : Sızdıranlık katsayısı (m^3 /mh),

ℓ : Dış duvarlar üzerinde bulunan pencere veya kapıların açılan kısımlarının çevre uzunluğu (m),

$\Sigma (a.\ell)$: Dış duvarlar üzerinde bulunan pencere veya kapıların açılan kısımlarının çevre uzunluğu (m^3 /h),

R : Oda durum katsayısı (Yapı iç hacminin rüzgar geçirgenlik katsayısı, boyutsuz)

H : Bina durum katsayısı (rüzgar etkinliği katsayısı, kJ/m^3K),

ΔT : İç ve dış sıcaklıklar arasındaki fark (K),

Z_e : Köşe açıklıkları etki katsayısı (her iki dış duvarında pencere olan odalar için 1,2 diğer odalar için 1 alınır).

Kapı yada pencerelerden 9,8 Pa değerindeki bir basınç farkı sonucu 1 metre aralıktan 1 saat süresince oda içerisine giren hava miktarı (m^3) hava sızdırma katsayısı (a) ile tanımlanmaktadır. Hava sızdırma katsayıları TS 2164'ten alınmış olup Çizelge 4.6'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.6. Kapı ve pencerelerin sızdırganlık katsayıları (a).

Malzeme	Pencere veya kapı şekli	a (m ³ /mh)
Ahşap çerçeve	Tek pencere	3
	Çift camlı pencere	2,5
	Çift pencere	2
Plastik çerçeve	Tek veya çift camlı pencere	2
	Tek pencere	1,5
Çelik veya metal çerçeve	Çift camlı pencere	1,5
	Çift pencere	1,2
İç kapılar	Eşiksiz kapılar	40
	Eşikli kapılar	15
Dış kapılar aynen pencere gibi hesaplanır		

İçeri giren havanın akıp gidebilme durumunu gösteren oda durum katsayısı (R), hava akımına oda durumunun gösterdiği direnci belirtmek için kullanılmaktadır. Çoğu 54 durumda pencerelerden içeri sızan hava kapılardan dışarı sızmaktadır. Bu durumda R katsayısı $\Sigma (a \cdot \ell)$ ile hesaba katılan hava miktarını azaltmaktadır. Tam olarak hesabı zor olduğundan normal ebatta pencereleri ve kapıları olan odalar için R=0,9 alınırken, büyük pencereleri buna karşılık tek bir iç kapısı olan odalar için R=0,7 alınır. R katsayısı pencere malzemesi, kapının aralıklı veya aralıksız oluşu ve Denklem 4.6'nın sonucuna göre Çizelge 4.7'dan seçilir (Karakoç, 2001).

$$\frac{A_{DP}}{A_{IK}} = \frac{\text{Dış pencere alanı}}{\text{İç kapıların alanı}} \quad (4.6)$$

Çizelge 4.7. Oda durum katsayısı (R).

	İç kapı	A_{DP}/A_{IK}	R
Tahta veya plastik çerçeve	Aralıklı	$A_{DP}/A_{IK} < 3$	0,9
	Aralıksız	$A_{DP}/A_{IK} < 1,5$	0,9
Çelik veya metal çerçeve	Aralıklı	$A_{DP}/A_{IK} < 6$	0,9
	Aralıksız	$A_{DP}/A_{IK} < 2,5$	0,9
Tahta veya plastik çerçeve	Aralıklı	$3 < A_{DP}/A_{IK} < 9$	0,7
	Aralıksız	$1,5 < A_{DP}/A_{IK} < 3$	0,7
Çelik veya metal çerçeve	Aralıklı	$6 < A_{DP}/A_{IK} < 20$	0,7
	Aralıksız	$2,5 < A_{DP}/A_{IK} < 6$	0,7

Çizelge 4.8. Bina durum katsayısı (H) kJ/m³K.

Bölgenin durumu	Binanın durumu	Bina durum katsayısı	
		Bitişik nizam	Ayrık nizam
Normal bölge	Mahfuz ¹	1	1,42
	Serbest ²	1,72	2,43
	Çok serbest ³	2,51	3,52
Rüzgarlı bölge	Mahfuz ¹	1,72	2,43
	Serbest ²	2,51	3,52
	Çok serbest ³	2,60	4,73

- Korunmuş durum: normal genişlikteki cadde ve sokaklarla ayrılmış ve toplu halde inşa edilmiş yüksekliği diğerlerine göre fazla olmayan yerdeki binalar
- Serbest durum: bahçeli evler tipinde geniş araziye serpiştirilmiş veya şehir içinde şehrin diğer kesimlerine göre daha yüksek kotta inşa edilmiş binalar
- Çok serbest durum: deniz, içdeniz, göl kıyıları, ırmak kenarları veya ağaçsız yüksek kotlu yerdeki binalar.

Çizelge 4.9. Isı kaybı hesap çizelgesinin doldurulması için gerekli simgeler.

Simgesi	Yapı bileşenin adı/yönü
ÇCP	Çift camlı pencere
DD1	Dış duvar
DD2	Kolon
DD3	Kiriş
Dö	Döşeme
DK	Dış kapı
Ta	Tavan
D	Doğu
B	Batı
K	Kuzey
G	Güney
GB	Güney Batı
KB	Kuzey Batı
KD	Kuzey Doğu
GD	Güney Doğu

Çizelge 4.10. Isı yalıtım bölgeleri için ortalama dış sıcaklıklar (TS 825, 2008).

Aylar	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge
Ocak	8,4	2,9	-0,3	-5,4
Şubat	9,0	4,4	0,1	-4,7
Mart	11,6	7,3	4,1	0,3
Nisan	15,8	12,8	10,1	7,9
Mayıs	21,2	18,0	14,4	12,8
Haziran	26,3	22,5	18,5	17,3
Temmuz	28,7	24,9	21,7	21,4
Ağustos	27,6	24,3	21,2	21,1
Eylül	23,5	19,9	17,2	16,5
Ekim	18,5	14,1	11,6	10,3
Kasım	13,0	8,5	5,6	3,1
Aralık	9,3	3,8	1,3	-2,8

TS 825 binalarda ısı yalıtım kuralları standardında Türkiye derece gün değerlerine göre 4 farklı ısı yalıtım bölgesine ayrılmıştır. Her bölgenin aylık ortalama dış ortam sıcaklıkları Çizelge 4.10'te verilmiştir.

Bir yapının yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı aylık net ısı ihtiyaçlarının toplanmasıyla bulunur. Güneş enerjisi kazançlarının ve iç kazançların, ısı kaybından çıkarılmasıyla elde edilen aylık net ısı ihtiyacı, ortamı belirli bir konfor sıcaklığında tutmak için gerekli olan enerjidir. Aylık ve yıllık net ısı ihtiyaçlarının hesabı Denklem 4.7 ve 4.8'de gösterilmiştir.

$$Q_{ay} = \text{Isı kayıpları} - \text{Isı kazançları} \quad (4.7)$$

$$Q_{yıl} = \sum Q_{ay} \quad (4.8)$$

Isıtılacak mahal, döşeme/tabana, tavan, dış duvar, kapı ve pencereler olmak üzere kendisini çevreleyen sınır yüzeylerinden ısı kaybeder. Bahsedilen yapı elemanlarının alanlarını hesaplamak için dıştan dışa ölçüler kullanılır. Dikkate alınan mahalın tamamı aynı sıcaklığa kadar ısıtılıyor yahut ortamlar arasındaki sıcaklık farkı 4 K'den fazla değilse, ortalama bir sıcaklık hesaplanarak konut tek hacimli olarak kabul edilir. Ancak sıcaklık farkı 4 K'den fazla ise, farklı sıcaklıktaki ortamlar için ayrı ayrı hesap

yapılır. Aylık bazda ısıtma enerjisi ihtiyacı Denklem 4.9'daki gibi hesaplanmaktadır (TS 825, 2008).

$$Q_{ay} = [H (\Theta_i - \Theta_e) - \eta_{ay} (\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay})] t \quad (4.9)$$

Bu eşitliklerde,

$Q_{yıl}$: Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (Joule)

Q_{ay} : Aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı (Joule)

H : Binanın özgül ısı kaybı (W/K)

Θ_i : Aylık ortalama iç sıcaklık (°C)

Θ_e : Aylık ortalama dış sıcaklık (°C)

η_{ay} : Kazançların aylık ortalama kullanım faktörü (Birimsiz)

$\Phi_{i,ay}$: Aylık ortalama iç kazançlar (W)

$\Phi_{s,ay}$: Aylık ortalama güneş enerjisi kazancı (W)

t : Isıtma süresi (saniye olarak bir ay = 86400 x 30) (s)

Eşitlik 4.9'daki ısıtma enerjisi ihtiyacının negatif olduğu aylar sıfır kabul edilir. Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplanırken dikkate alınmaz.

4.4. BİNANIN ÖZGÜL ISI KAYBI HESABI

Binanın özgül ısı kaybı birim zamanda 1 °C sıcaklık farkından sıcak ortamdan soğuk ortama doğru iletim, taşınım ve havalandırma yoluyla meydana gelen ısı geçişi olarak adlandırılmaktadır. Binanın özgül ısı kaybı (H), Denklem 4.10'daki gibi ifade edilmektedir. Burada H_T , iletim ve taşınım yoluyla olan ısı kaybı iken H_V havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybıdır

$$H = H_r + H_v \quad (4.10)$$

İletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybı:

Yıllık ısıtma enerjisi hesabında öncelikle konuttaki dış duvar, pencere, kapı, kolon, kiriş, taban/döşeme ve tavan alanları hesaplanır. Bulunan binanın özgül ısı kaybı çizelgesi doldurularak yapıların ısı geçirgenlik katsayıları (U) ve HT değeri bulunur. r. Bulunan U değerlerinin TS 825 hesap metodunda her derece gün bölgesi için ayrıca belirtilen sınır değerlere uygunluğuna Çizelge 4.11’den bakılarak karar verilir. Bu değerler bölgelere göre tavsiye edilen üst limit değerleri olup uygulanmasına dair herhangi bir zorunluluk bulunmamaktadır.

Çizelge 4.11. Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri.

	UD (W/m ² K)	UT (W/m ² K)	Ut (W/m ² K)	UP (W/m ² K)
1. Bölge	0,70	0,45	0,70	2,4
2. Bölge	0,60	0,40	0,60	2,4
3. Bölge	0,50	0,30	0,45	2,4
4. Bölge	0,40	0,25	0,40	2,4

İletim yoluyla gerçekleşen ısı kaybının hesabı Denklem 4.11’de gösterilmiştir.

$$H_T = \sum AU + 1U_1 \quad (4.11)$$

Burada $\sum AU$ terimi yapı bileşenlerinden meydana gelen ısı kaybını, $1U_1$ ise yapıdaki ısı köprülerinden meydana gelen ısı kaybını ifade eder. Yapı bileşenlerinden meydana gelen ısı kaybı daha açık bir şekilde denklem 4.12’deki gibi ifade edilebilir. Bu çalışmada ele alınan binadaki yapı elemanlarında ısı yalıtımının iyi şekilde yapıldığı bu nedenle yoğuşma ve ısı köprüsünün meydana gelmediği kabul edilir.

$$\sum AU = U_D A_D + U_P A_P + U_k A_k + 0,8U_T A_T + 0,5U_t A_t + U_d D_d + 0,5U_{ds} A_{ds} \quad (4.12)$$

Burada $U_D A_D$ duvarlardan, $U_P A_P$ pencerelerden, $U_k A_k$ kapılardan, $0,8U_T A_T$ üzeri havalandırılmayan çatı ile örtülü tavandan, $0,5U_t A_t$ toprağa temas eden tabandan,

$U_D A_D$ dış hava ile temas eden taban alanından, $0,5 U_{ds} A_{ds}$ düşük sıcaklıktaki iç ortamlara temas eden yapı bileşeninden olan ısı kayıplarıdır. İncelenen konutta $U_D A_D$ ve $0,5 U_{ds} A_{ds}$ ile olan ısı kayıpları mevcut değildir. Bu durumda eşitliğin son hali Denklem 4.13'te gösterilmiştir.

$$\sum AU = U_D A_D + U_P A_P + U_k A_k + 0,8 U_T A_T + 0,5 U_t A_t \quad (4.13)$$

Yapı elemanlarının bazılarında meydana gelen ısı kaybının belirli oranlarda düşürüldüğü görülmektedir. Bunun sebebi dış havaya açık olmayan durağan ortamlarda meydana gelen ısı kaybının (toprağa temas eden düşey duvarlar hariç) belirli oranlarda daha az olmasıdır. Üzeri havalandırılan çatı veya dış ortama açık olan tavanın ısı kaybı azaltmadan alınırken üzeri havalandırılmayan çatı olan tavanın ısı kaybı 0,8 katsayısı ile çarpılarak ısı kaybı hesabına dahil edilir. Yukarıdan aşağıya ısı transferinin meydana geldiği tabanda ve düşük sıcaklıklı ortama bakan yapı elemanlarında ısı kaybı 0,5 katsayısı ile çarpılarak hesaba dahil edilir. Yapı elemanlarında kullanılan katsayı, dış havaya kapalı durağan ortam, ısıtılan bir ortamdaki sıcaklığın tabanda minimum tavanda maksimum olacak şekilde dağılım göstermesi, ısı transferinin yukarı ve yatay doğrultuda daha fazla ilerlemesi şeklinde etkenlere bağlı olarak farklılık göstermektedir (TS 825, 2008).

Hesabı yapılan binada, yapı kabuğunu oluşturan dış duvarlar; tuğladan oluşan duvarlar ve kolonlar olmak üzere iki parçadan oluşmakta olup Denklem 4.14'te gösterilmektedir.

$$U_D A_D = U_{D1} A_{D1} + U_{D2} A_{D2} \quad (4.14)$$

Denklem 4.13 duvarda bulunan farklı yapı elemanlarının da eklenmesiyle Denklem 4.15'teki gibi ifade edilebilir.

$$\sum AU = U_{D1} A_{D1} + U_{D2} A_{D2} + U_P A_P + U_k A_k + 0,8 U_T A_T + 0,5 U_t A_t \quad (4.15)$$

Bu eşitlikte,

U_{D1} : Dış havaya açık, taşıyıcı olmayan (tuğla, gaz beton) duvarın ısı transfer katsayısı (W/m²K)

U_{D2} : Dış havaya açık, taşıyıcı betonarme (kolon, kiriş) duvarın ısı transfer katsayısı (W/m²K)

U_p : Pencerelerin ısı transfer katsayısı (W/ m² K)

U_k : Dış kapıların ısı transfer katsayısı (W/ m² K)

U_T : Tavanın (üzeri ısıtılmayan çatı) ısı transfer katsayısı (W/ m² K)

A_{D1} : Dış havaya açık, taşıyıcı olmayan (tuğla, gaz beton) duvarın alanı (m²)

A_{D2} : Dış havaya açık, taşıyıcı betonarme (kolon, kiriş) duvarın alanı (m²)

A_p : Pencerelerin alanı (m²)

A_k : Dış kapıların alanı (m²)

A_T : Tavanın (üzeri ısıtılmayan çatı) alanı (m²)

A_t : Tabanın (toprağa/ısıtılmayan ortama bitişik döşeme) alanı (m²)

Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı

Binalarda doğal veya mekanik olmak üzere iki farklı şekilde yapılabilen havalandırma ile daha sağlıklı ve konforlu bir yaşam alanı oluşturulur. Havalandırmanın doğal veya mekanik olmasına göre bina içindeki hava debisi ile hava değişim sayısı farklılık göstermektedir. Hava değişim sayısı binanın konumuna, yapı elemanlarına ve sızdırmazlık durumuna bağlıdır. Bu çalışmada incelenen binada doğal havalandırma yapıldığından $n_h = 0,8$ 1/h alınır. Havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı genel olarak Denklem 4.16'daki gibi ifade edilirken, doğal havalandırma ile gerçekleşen ısı kaybı Denklem 4.17 ile hesaplanmaktadır (TS 825, 2008).

$$H_v = \rho x c x V^1 \quad (4.16)$$

$$H_v = \rho x c x n_h x V_h \quad (4.17)$$

Bu eşitliklerde,

ρ : Havanın yoğunluğu (kg/m^3)

c : Havanın özgül ısısı (J/kgK)

V^1 : Hacimsel hava değişimi debisi (m^3/h)

n_h : Hava değişim sayısı ($1/\text{h}$)

V_h : Havalandırılan hacim (m^3) ve $V_h = 0,8 \times V_{brüt}$ olarak alınır

$V_{brüt}$: Binanın ısıtılan brüt hacmi (m^3) (TS 825, 2008).

Doğal havalandırma yoluyla gerçekleşen ısı kaybı hesaplanırken 20°C ve 100 kPa için kabul edilen ρ ve c değerleri kullanılmaktadır. Sıcaklık ve basınçtaki dalgalanmalar, giren ve çıkan hava arasındaki entalpi artışı ihmal edilerek çözüm yapılmıştır. Doğal havalandırma için hava değişim sayısı n_h , $0,8\text{ 1/h}$ olarak alınır. Yoğunluk ($1,184\text{ kg/m}^3$) ve özgül ısı (1006 J/kgK) tablodan okunan değerleri Denklem 5.17’de yerine yazılarak Denklem 5.18 elde edilir.

$$(\rho \times c)3600 = (1,184 \times 1006) 3600 = 0,33\text{ Wh/m}^3/\text{K}$$

$$H_v = 0,33 \times n_h \times (0,8 \times V_{brüt}) \quad (4.18)$$

Binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesabı

Binada iletim, taşınım ve havalandırma yoluyla olan özgül ısı kaybı (W/K), iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkı ile çarpılarak ısı kaybı bulunur. Her ay için sıcaklık farkları değiştiğinden ısı kayıpları farklı çıkacaktır. Bu nedenle hesaplama aylık olarak yapılmaktadır. Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, aylık olarak hesaplanan ısı kayıplarından, iç ısı ve güneş enerjisi kazançlarının çıkarılmasıyla elde edilmektedir. Aylık ortalama iç ısı kazançları $\Phi_{i,ay}$ ve aylık ortalama güneş enerjisi kazançları $\Phi_{s,ay}$ binanın ısı kazançlarını oluşturmaktadır. Bir binanın aylık ısı enerjisi ihtiyacı Denklem 4.19’da gösterilmektedir.

$$Q_{ay} = [H(\theta_i - \theta_e) - n_{ay}(\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay})]t \quad (4.19)$$

Aylık ısı kazançları bir kazanç kullanım faktörü ile azaltılarak ısı kayıplarından çıkarılarak aylık net ısı ihtiyacı bulunmaktadır.

Aylık ortalama ısı kayıpları

Denklem 4.19’da verilen $H(\Theta_i - \Theta_e)$ terimi binanın aylık ısı kayıplarını ifade etmektedir. $(\Theta_i - \Theta_e)$ aylık ortalama iç ve dış sıcaklıklar arasındaki farktır. Konutlar için iç sıcaklıklar Ek J’de 19 °C olarak verilmesine rağmen incelenen villa için yatak odaları 20 °C, salon ve oturma odası 22 °C, banyolar 26 °C olarak alınacaktır. Dış sıcaklık değerleri derece gün bölgelerine (Çizelge 5.13) göre belirlenmiş olmasına rağmen daha doğru sonuçlar için Muğla ili için meteorolojiden alınan aylık ortalama dış sıcaklık değerleri (Çizelge 4.14) kullanılacaktır. Isıtma sezonunda bulunan her ay için ayrı ısı kaybı hesabı yapılır.

Aylık ortalama iç kazançlar

Aylık ortalama iç kazançlar ($\Phi_{i,ay}$) sıcak su sisteminden, yemek pişirme işleminden, insanlardan, aydınlatma sisteminden ve binalarda kullanılan elektrikli cihazlardan kaynaklanan ısı kazançlarından oluşmaktadır. Bu çalışmada iç kazançlar her ay için sabit kabul edilmiştir. Binaların kullanım alanına göre kabul edilecek iç kazanç değerleri farklılık göstermektedir. Konutlarda, okullarda, normal donanımlı binalarda $\Phi_{i,ay} \leq 5 \times A_n$, yüksek enerji kazançlı binalarda $\Phi_{i,ay} \leq 10 \times A_n$ olarak alınmaktadır. A_n binanın m² olarak kullanım alanıdır ve Denklem 4.20’deki gibi hesap edilir.

$$A_n = 0,32 \times V_{brüt} \quad (4.20)$$

$\Phi_{i,ay}$ değeri binanın bulunduğu bölgeden ve yapı bileşenlerinden bağımsız bir büyüklük olduğundan çeşitli derece gün bölgelerinde yer alan binalar için de aynı değerler geçerlidir.

Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları

Binalar güneş enerjisiyle aktif ve pasif yollardan ısınmaktadırlar. Ancak pasif güneş enerjisi sistemlerinden sağlanan ısı kazançları hesaplamaya dahil edilmez. $\Phi_{s,ay}$ yalnızca pencerelerden olan ısı kazançlarını içermektedir. Aylık ortalama güneş enerjisi kazançları ($\Phi_{s,ay}$) Denklem 4.21 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\Phi_{s,ay} = \sum r_{i,ay} \chi g_{i,ay} \chi I_{i,ay} \chi A_i \quad (4.21)$$

Burada,

$r_{i,ay}$: i yönünde saydam yüzeylerin gölgelenme faktörü

$g_{i,ay}$: i yönünde saydam elemanların güneş enerjisi geçirme faktörü

$I_{i,ay}$: i yönünde dik yüzeylere gelen aylık ortalama güneş ışıınımı şiddeti (W/m²)

A_i : i yönünde toplam pencere alanı (m²)

$I_{i,ay}$: değerleri tüm bölgeler için sabit kabul edilerek Ek H'den alınır.

Binanın bulunduğu yerleşim bölgesinin durumuna göre $r_{i,ay}$ belirlenir ve yıl boyunca sabit kaldığı kabul edilir. Etrafında ayırık (müstakil) ve az katlı (3 kata kadar) binaların bulunduğu yerleşim bölgeleri için $r_{i,ay} = 0,8$, etrafında ağaçlardan kaynaklanan 65 gölgelenmeye maruz kalıyorsa $r_{i,ay} = 0,6$, etrafında bitişik nizam veya çok katlı binaların bulunduğu yerleşim bölgeleri için $r_{i,ay} = 0,5$ olarak alınır. Pencerelerin güneş enerjisi geçirme faktörü $g_{i,ay}$ Denklem 4.22 kullanılarak hesaplanır.

$$g_{i,ay} = F_w + \chi g_{\perp} \quad (4.22)$$

Bu denklemde F_w camlar için düzeltme faktörüdür ve 0,8 alınır. $g_{\perp}$ laboratuvar şartlarında ölçülen ve yüzeye dik gelen ışın için camın güneş enerjisi geçirme faktörüdür. Ölçülen değerlerin olmaması durumunda tek cam için 0,85, çok katlı (berrak) cam için 0,75, ısı geçirgenlik değeri ≤ 2 W/m²K olan ısı yalıtım birimleri için 0,50 değerleri kullanılabilir.

Kazanç kullanım faktörü

Isı kazançlarının (özellikle gündüz vakitlerinde) ısı kayıplarından fazla olduğu zamanlar bulunmaktadır veya ısı kazançları ısıtmanın gerekmediği zamanlarda gelebilir. İç ortam sıcaklık kontrolü ideal değildir ve bir miktar ısı yapı elemanlarında depolanır. Bu sebeplerden dolayı aylık ısı kazançları kazanç kullanım faktörü (η_{ay}) denilen bir katsayı ile azaltılarak hesaba katılmaktadır. Aylık ortalama kazanç kullanım faktörü Denklem 4.23 ile hesaplanmaktadır.

$$\eta_{i,ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})} \quad (4.23)$$

Bu denklemde KKO_{ay} kazanç kullanım oranı olarak tanımlanır ve ısı kazançlarının ısı kayıplarına oranıdır (Denklem 4.24). Eğer KKO_{ay} 2,5 ve üzerinde bir değer almışsa o ay için ısı kaybı olmadığı kabul edilir (TS 825, 2008).

$$KKO_{ay} = (\Phi_{i,ay} + \Phi_{s,ay}) / H(\Theta_i - \Theta_e) \quad (4.24)$$

Villanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı hesaplanarak 14386,5 kWh (51749928,7 kJ) bulunmuş olup Ek F’de verilmiştir. Villanın ısı yalıtımının 2. Derece gün bölgesine uygunluğunun belirlenmesi için Denklem 4.26 kullanılır. Aşağıda verilen eşitlikler odanın net yüksekliği (döşeme üstünden döşeme altına) 2,60 m’den büyük olduğu için $V_{brüt}$ ile ilişkili olan $Q'_{2.DG}$ denklemi Ek C’den seçilir.

$$A_{top}/V_{brüt} = \frac{456,7}{423,2} = 1,08 \quad (4.25)$$

$$Q'_{2.DG} = 21,95x (A_{top}/V_{brüt}) + 10,34 = 34,02 \quad (4.26)$$

Denklem 4.26’den 34,02 kWh/m³ villanın birim hacim başına tüketmesi gereken en yüksek değeridir. Villanın yıllık enerji tüketimi, 14386,5 kWh, brüt hacmi 423,2 m³ olup birim hacim başına enerji tüketimi 33,99 kWh/m³’dür. 34,02 > 33,99 olduğundan binadaki yalıtım yeterlidir.

4.5. POLYSUN SİMÜLASYON PROGRAMI

Mevzubahis villanın ısıtılmasında ısıtma sistemlerinin incelenmesi amacıyla POLYSUN simülasyon programı kullanılmıştır. Bu program solar-termal kollektörler, fotovoltaik paneller, jeotermal sistemler, ısı pompaları (hava/su/toprak) ve geleneksel yakma sistemleriyle bir sistem tasarlamaya ve binaların ısıtma/soğutma olarak iklimlendirilmesine olanak tanımaktadır. Birçok örnek şablonu bulundurduğu gibi sistem tasarlamaya da uygundur. POLYSUN simülasyon programı Vela Solaris tarafından geliştirilen yenilenebilir enerji sektörüne yönelik lisanslı bir yazılım programıdır. Sistemlerin kurulumlarından önce denenmesi, tasarlanan sistemin bilgisayar ortamında modellenmesi ile oluşabilecek hataların en aza indirgenmeleri sağlanmaktadır. POLYSUN simülasyon programı yerel enerji sistemlerinin tasarımı ve analizi için geniş bir fonksiyonellik sunmaktadır (Bornatico vd., 2012; Witzig vd., 2010). POLYSUN, diğer yazılımlarla doğrulanan ve doğru sonuçları olan kullanımı basit, zaman tasarrufu sağlayan profesyonel bir sistem tasarımıdır (Ghafoor ve Fracastoro, 2015). Geniş bir ölçekte verilen bölge için solar sistem simülasyonlarının doğruluğu, solar radyasyon ve nem gibi parametreler için gerçek verilerin ulaşılabilirliğine bağlıdır. Programda, meteorolojik veriler dünya çapında 8055 hava istasyonundan alınan ölçümlere dayanan Meteororm veri tabanından sağlanmaktadır. Verilen herhangi bir bölge için, en yakın hava istasyonu verilerini interpolate ederek sonuca ulaşır (Meteotest, 2000). Bir diğer seçenek ise incelenen bölge için gerekli 67 meteorolojik verilerin sisteme yüklenmesidir. Bu çalışmada ele alınan üç şehir için meteorolojinin sayfasından alınan radyasyon, dış hava sıcaklığı ve rüzgar hızı değerleri programa tanıtılarak ısıtma sistemleri çözümlenmiştir. Bu program sayesinde ısı ve elektrik üretimiyle ilgili bütün bağıl sistem parametreleri hesaplanmaktadır.

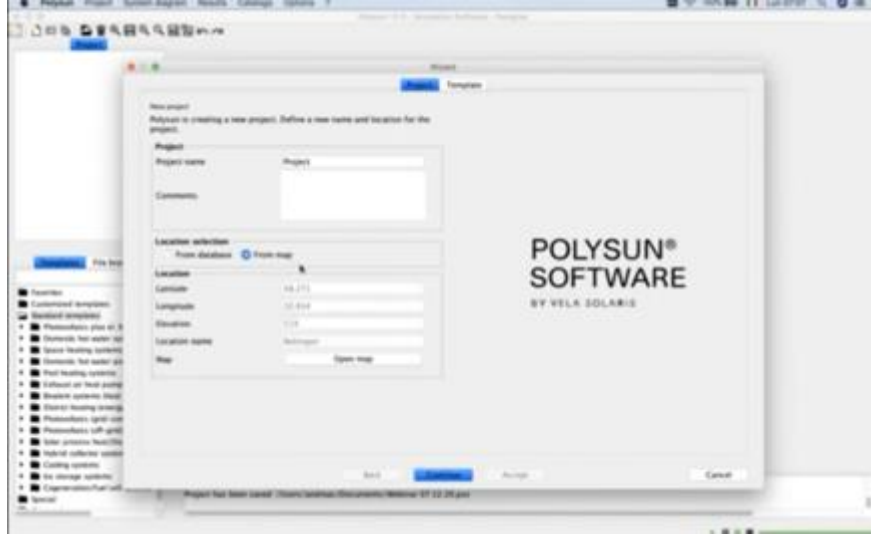
Bu program kullanılırken aşağıdaki basamaklar takip edilmiştir:

- Yeni bir sistem diyagramı yaratılır,
- Esas alınan konutun fotoğrafı yüklenir,
- Isıtmanın gerçekleşeceği koordinatlar haritadan seçilir,
- Aylık hava verileri sisteme girilir (küresel radyasyon, dış sıcaklık, rüzgar hızı),

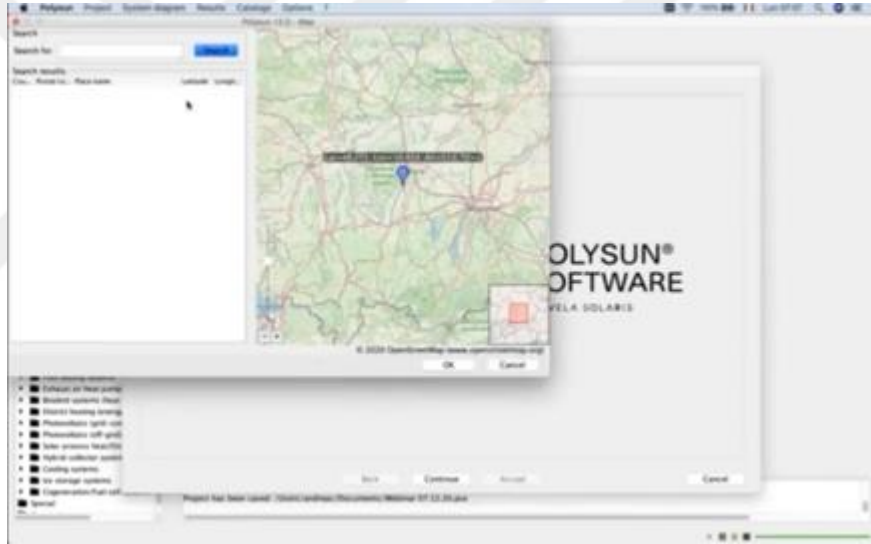
- Isı enerjisi ihtiyacı, ısı kaybı hesabı, evin toplam alanı, ortam sıcaklığı, kullanım suyu sıcaklığı ve günlük tüketim miktarı simülasyon programına tanıtılır.
- Kollektör, tank, ısı pompası, ısıtıcı tipi, konut seçilerek sistem kurulumu tamamlanır,
- Mevcut sistem çalıştırılır ve yıllık simülasyon sonuçları 10'ar dakikalık zaman aralıklarıyla elde edilir.

Sistemde ekipmanlar seçildikten sonra debi, sıcaklık, karışım vanaları, solar çevrim, ısı kaynağı, kullanım sıcak suyu ve ev ısıtması kontrol ekipmanları ile istenen ayarlarda tutulmaktadır. Tanktan ısıtma çevrimine ve kullanım sıcak suyuna giden borular kontrol ekipmanlarına tanıtılmakta ve istenen sıcaklık aralığı değerleri girilmektedir. Ayarlanan sıcaklık değerlerinin sağlanamaması durumunda, gerekli enerji talebi sağlanamadı ve kullanım sıcak suyu talebi karşılanamadı şeklinde uyarılar vermektedir. Bu uyarılar radyatör sayısının az seçilmesi, tankın küçük hacimli olması, ısı pompasının düşük güçte seçilmesi ya da kollektör sayısının yetersiz olmasından meydana gelebilmektedir. Bu nedenle hata vermiş olduğu parametrelerin sistem üzerindeki etkisinin sonuçları bulgular ve tartışma bölümünde verilmiştir.

Program veri tabanından konumunuzu seçebilirsiniz, yazılıma entegre edilmiş dünya çapındaki hava durumu verilerine sahibiz, böylece Avrupa'dan, Kuzey Amerika ve Asya'dan örnekler alabilir veya nerede olursanız olun, map uygulamasından seçebilir, böylece örnek atayabilirsiniz, ayrıca şehir adı da yazabilirsiniz ve ardından otomatik olarak onaylayabilirsiniz. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilmiştir.

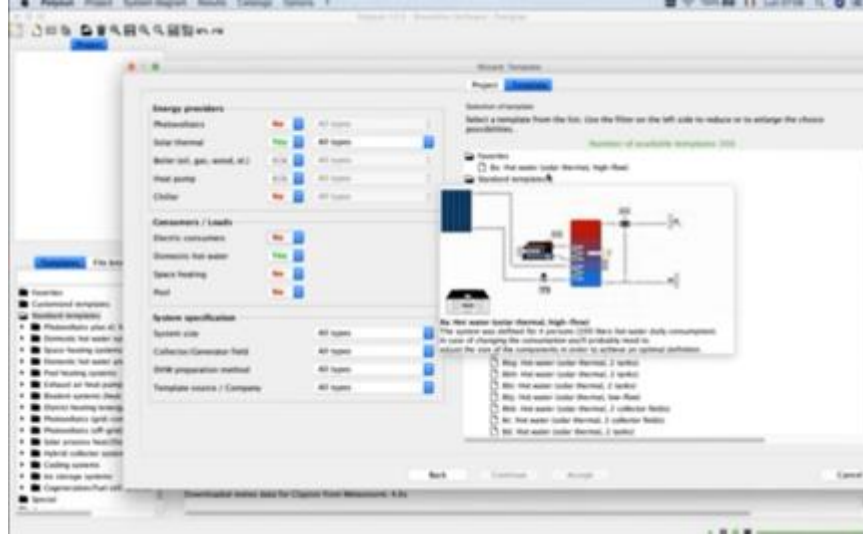


Şekil 4.1. Polysun giriş ekranı.



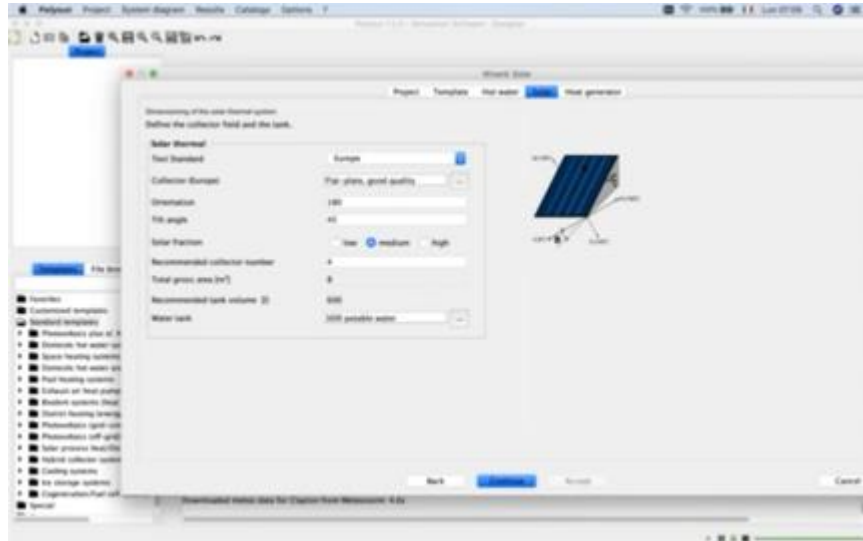
Şekil 4.2. Polysun konum ekranı.

Seçtiğiniz konuma göre enerji sağlayıcılarına ve yüklerine göre sisteminizi seçme olanağına sahip olabilirsiniz ve yaklaşık 1000 sistem içerir, bu nedenle seçim çok büyükse polysun, sisteminizi seçmeniz için size çok yardımcı oluyor, ayarlarınızı burada yapabilirsiniz ve sağda 6 ile 10 arasındaki yeri görürsünüz. Fareni üzerine getirdikten sonra çizim düzenini görebilir, böylece amaçlarınıza uygun bir sistem seçebilir, böylece bunu kullanabilirsiniz. Şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.3. Polysun system seçenekleri.

Böylece daha sonra doğrudan ara yüzü gördüğünüzde daha fazla ayrıntı için bazı ayarları yapabilirsiniz, burada güneş enerjisi ile ilgili veri tabanından kollektörünüzü seçtikten sonra, son zamanlarda size seçtiğiniz konumdaki sıcaklık için belirli bir sayı kollektörü ve depolama tanklarını doğrudan listeden seçmenize olanak sağlar. Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4. Polysun kollektör seçimi.

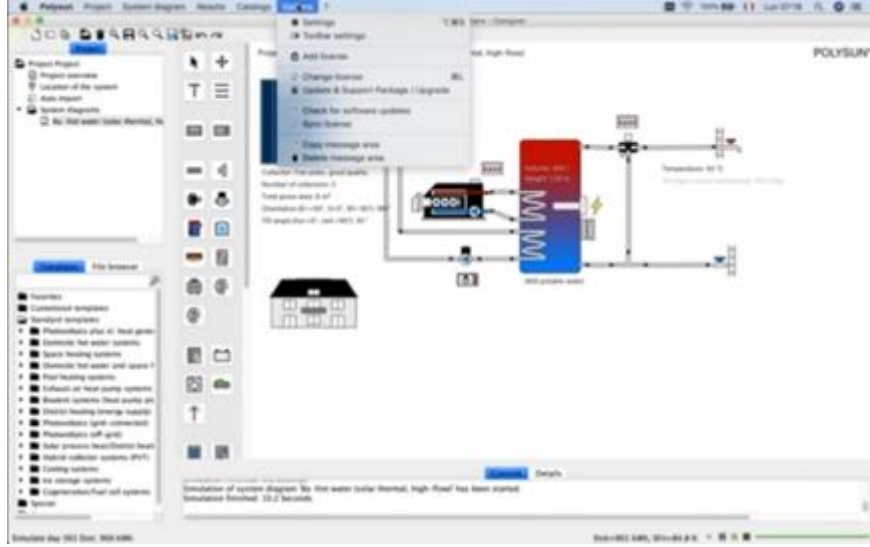
Sihirbazı tamamladıktan sonra otomatik olarak ilk sonuçları alacaksınız ve yapay sisteminizi simülasyon sayesinde test edebilirsiniz. Şekil 4.5’te verilmiştir.



Şekil 4.5. Polysun sonuçlar ekranı.

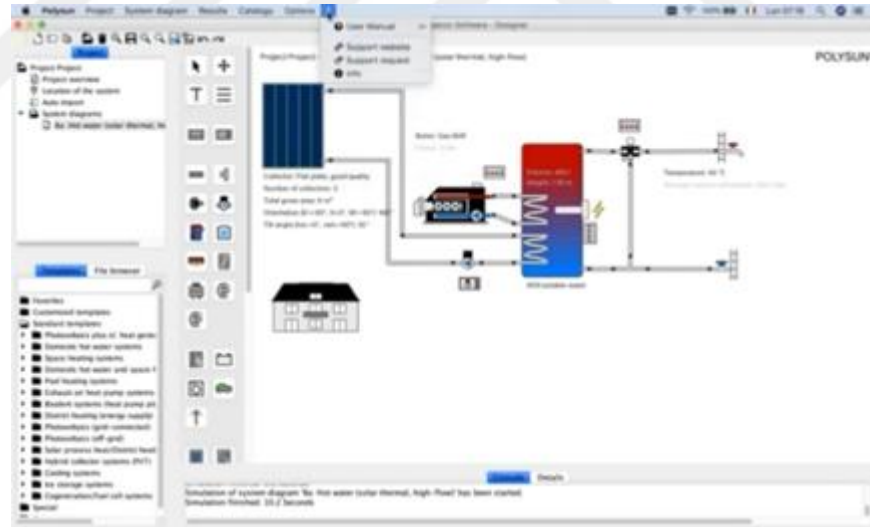
Ayrıntılara gidip, bileşen sonuçlarına gidebilirsiniz, burada tüm sistem 24 saatin üzerinden ortalama sıcaklıklarını, Çalışma sırasındaki sıcaklıkları, bol miktarda depolama olayını da tek sıcaklık olarak adlandırır ve burada olan şeyin özelliklerini de simüle etmek için gerekli olan on iki katmanımız olduğunu fark edeceksiniz. daha derine inebilirsiniz ve her ay için ortalama sıcaklıkları ya da Belirli anların sıcaklığını öğrenebilirsiniz.

Polysun programında sistemi detaylı bir şekilde analiz edebiliyorsunuz ve görmek istediğiniz değerleri seçebiliyorsunuz birçok farklı sonuç türü bulmanızı mümkün kılıyor. Şekil 4.6'da varılmıştır.



Şekil 4.6. Polysun detaylı analiz sekmeleri.

Kendi bileşenlerinizi, konumunuzu, dilinizi seçebilirsiniz, örneğin finansal Analiz için para biriminizi ve bölgenizi değiştirebilirsiniz. Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7. Polysun ayarlar seçenekleri.

Finansal analist için aynı zamanda bir kullanım kılavuzu mevcut, neredeyse 300 sayfa uzunluğunda olduğunu görebileceğiniz bir kullanım kılavuzu mevcut bu kullanım kılavuzunda farklı simülasyon sonuçları, olasılık hesaplaması ve polysun programı için YouTube üzerinden videolu anlatımlarının da mevcut olduğunu göreceksiniz bunları izleyebilir ve polysun hakkında daha fazla konuda fikir sahibi olabilirsiniz.

Artıları:

- Isı pompası ve solar termal sistem tasarımları
- Türkçe raporlama
- Veri gerçekçiliği

Eksileri:

- Manuel yapılan tasarım – tasarım hataları
- Sistem kayıpları ve gölgeleme ile ilgili eksikler
- PV modülü – inverter uyum hesaplama

BÖLÜM 5

BULGULAR VE TARTIŞMA

Türkiye'nin 3 farklı bölgesinden ele alınan 3 ilinde bir villanın ısıtılması POLYSUN simülasyon programı kullanılarak incelenmiştir. Hava kaynaklı ısı pompasının ısıtma tesir katsayısının ve sistemin performans faktörünün güneş kolektörü alanına bağlı değişimi incelenmiştir. Güneş kolektörlerinin sağladıkları ek enerjiyle ısı pompalarına sistemlerinde enerji talebinin karşılanma oranı ve güneş kolektörü ile toplam tüketimin karşılanma oranı incelenmiştir. Bu çalışma ile;

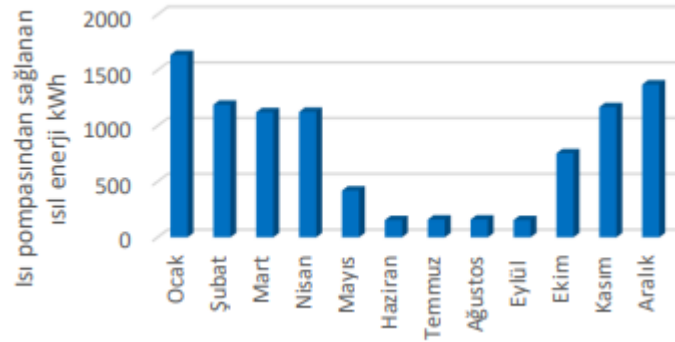
- Farklı kapasitede güneş kolektörlerinin seçilmesinin ısıtma sistemine olan etkisi,
- Isı pompasının kapasitesinin yetmediği durumlarda güneş kolektörü kullanmanın akılcı bir çözüm olup olmadığı,
- Güneş kolektörü alanına bağlı olarak tüketilen toplam elektrik ve performans faktöründeki yüzdesel değişim incelenmiştir.

Villanın ısı enerjisi ihtiyacının karşılanması için güneş kolektörü alanı değiştirilerek simülasyonlar yapılmıştır. Bu çalışma ile güneş kolektörü alanı arttıkça mevsimsel performans faktörünün arttığı ancak ısıtma tesir katsayısının azaldığı görülmüştür. Isıtma enerjisi için oluşturulan model sistemlerin performans faktörleri Bursa için ısı pompası ısıtma yükü 14,52 kW güneş kolektörü 8,35 kW, Antalya için ısı pompası ısıtma yükü 13,38 kW güneş kolektörü 7,26 kW, Ankara ısı pompası ısıtma yükü 16,59 kW güneş kolektörü 11,25 kW gücündedir. Kolektörler bu sistemlere ilave edildiğinde, performans faktörlerindeki artışın % 2- 13,3 aralığında olduğu sonucuna varılmıştır. Bu simülasyonlar ile düşük güçte ısı pompası kullanıldığında toplam talebin ne kadarının karşılandığı ve güneş kolektörü sayısı arttırılsa dahi talebin tamamen karşılanamadığı görülmüştür. Düşük güçteki ısı pompaları talebi karşılayamadığından kolektör sayısının arttırılmasına bağlı olarak ısı pompası

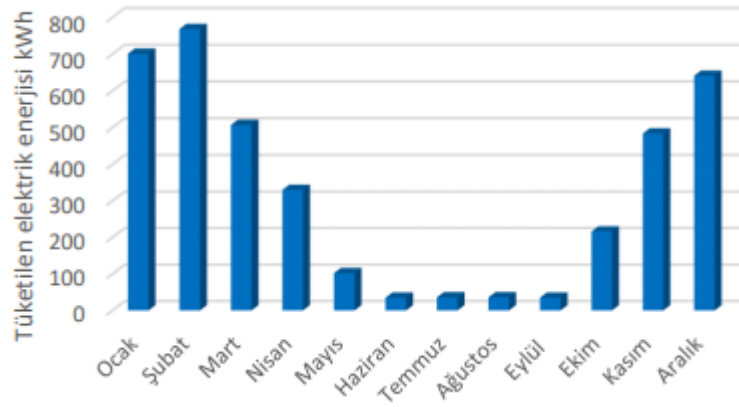
tarafından sisteme verilen ısıl enerji ve tüketilen toplam elektrik enerjisi miktarında bir değişme görülmemiştir. Ancak seçilen ısı pompası tek başına talebi karşılayabiliyorsa eklenen her güneş kolektörü sayesinde ısı pompası tarafından sisteme sağlanan ısıl enerji ve tüketilen toplam elektrik enerjisinde azalma meydana gelmiştir.

Yapılan simülasyonlarda elde edilen sonuçlar ışığında 13,38 kW, 14,52 kW ve 16,59 kW ısıtma gücündeki ısı pompalarının tek başlarına enerji ihtiyacını karşılabildikleri görülmüştür. İki kolektörden sonra yapılan kolektör sayısı arttırımı ısı pompasının sisteme verdiği ısıl enerji ve tükettiği elektrik enerjisi miktarını azaltmamaktadır. Kolektör alanının arttırılması ısıtma sistemine verilen ısıl enerjiyi, güneş enerjisinin sisteme verdiği ısıl enerjiyi ve güneş enerjisinin karşılama oranını arttırmaktadır.

Güneş enerjisinin sistemdeki karşılama oranının artması sistemin performans faktörünü de arttırmaktadır. Antalya ili için ısı pompasının sisteme verdiği enerjinin ısıtma ihtiyacının çok olduğu Ocak ve Aralık aylarında olduğu Şekil 5.1’de görülmektedir. Isıtma sisteminde ısı pompasının ve dolaşım pompalarının tükettiği toplam elektrik miktarı Şekil 5.2’de görülmektedir.

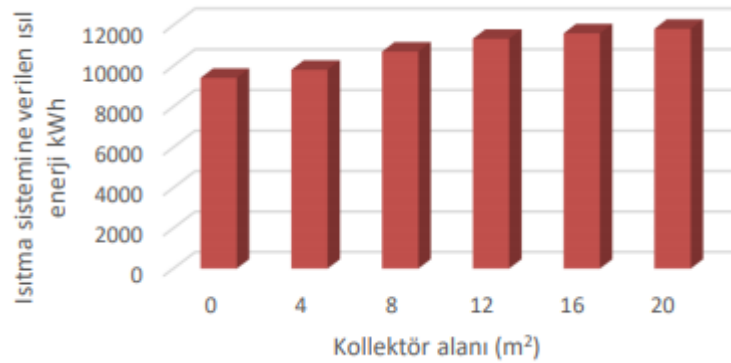


Şekil 5.1. 13,38 kW ısı pompasının ısıtma sistemine verdiği ısıl enerji.

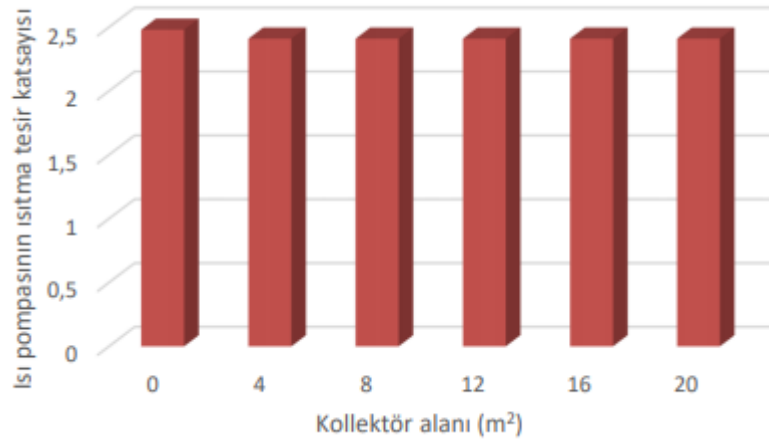


Şekil 5.2. 13,38 kW ısı pompası ısıtma sisteminin tükettiği toplam elektrik enerjisi.

Evin enerji talebi sabittir, bu nedenle ısıtma sistemine verilen ısıl enerjinin sabit olması beklenmektedir. Ancak ısı pompası tek başına talebi karşılayamadığından kollektör alanındaki artışa bağlı olarak talebi karşılayana değin ısıtma sistemine verilen ısıl enerjinin artması beklenmektedir. Mevcut ısı pompası 20 m² alana sahip kollektör ile desteklense dahi sisteme 13380 kWh enerji verilebilmektedir. Isıtma sistemine verilen ısıl enerjinin kollektör alanına bağlı değişimi Şekil 5.3'te verilmiştir. Isı pompasının ısıtma tesir katsayısının kollektör alanına göre değişimi Şekil 5.4'da verilmiştir ve ısı pompasının ITK'sının sabit kaldığı görülmektedir.



Şekil 5.3. 13,38 kW ısıtma gücünde ısı pompası ısıtma sisteminde kollektör alanına göre sisteme verilen ısıl enerjideki değişim.



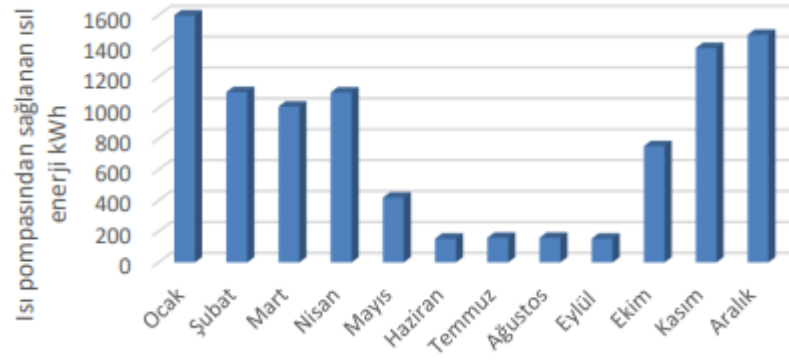
Şekil 5.4. 13,38 kW ısıtma gücünde ısı pompasının ısıtma tesir katsayısının kollektör alanına göre değişimi.

Aynı zamanda Antalya ili için kollektör alanına bağlı olarak yıllık çalışma saatleri çizelge 5.1.'de verilmiştir.

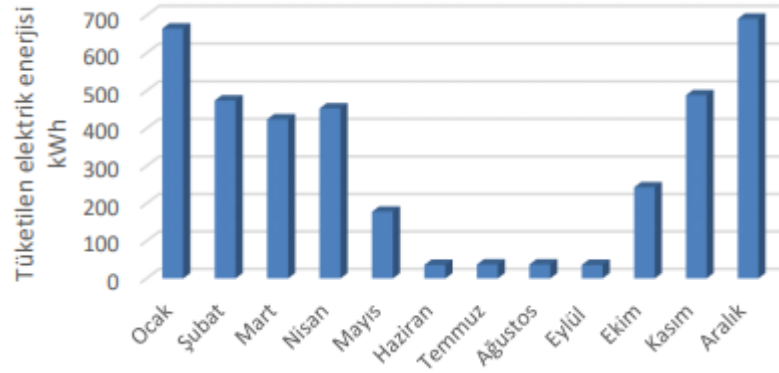
Çizelge 5.1. Antalya ili için güneş kollektör alanına bağlı yıllık çalışma saatleri.

Antalya	Güneş kollektörü alanı (m²)	SPF	Çalışma saati yıllık
7,26 kW	0	2,52	4100
	4	2,73	3649
	8	3,02	3316
	12	3,15	3207
	16	3,22	3098
	20	3,29	2981

Bursa ili için ısı pompasının sisteme verdiği enerjinin ısıtma ihtiyacının çok olduğu Ocak ve Aralık aylarında olduğu Şekil 5.5'de görülmektedir. Isıtma sisteminde ısı pompasının ve dolaşım pompalarının tükettiği toplam elektrik miktarı Şekil 5.6'de görülmektedir.

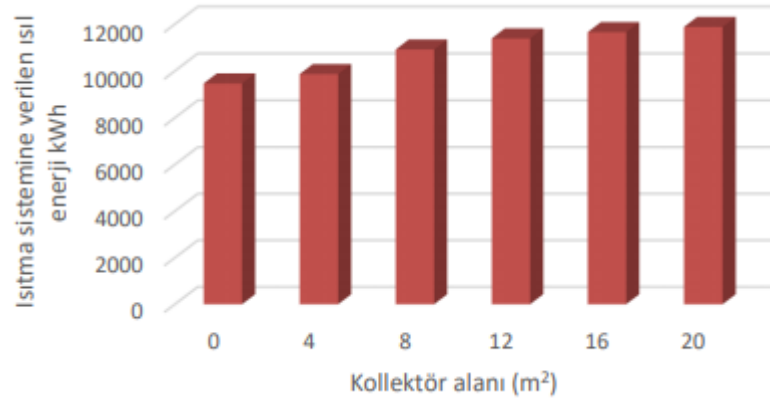


Şekil 5.5. 14,52 kW ısıtma gücünde ısı pompasının ısıtma sistemine verdiği ısı enerji.

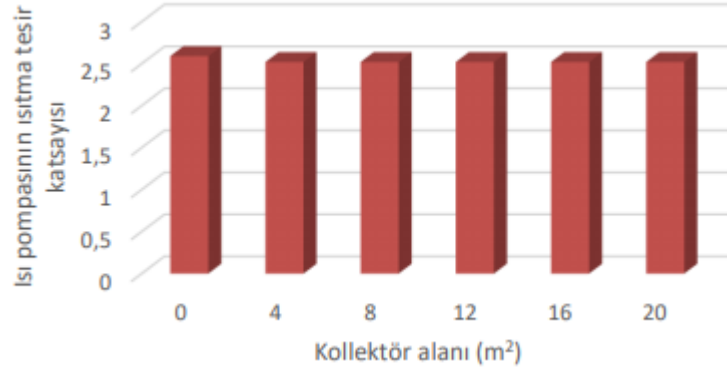


Şekil 5.6. 14,52 kW ısıtma gücünde ısı pompası ısıtma sisteminin tükettiği toplam elektrik enerjisi.

Evin enerji talebi sabittir, bu nedenle ısıtma sistemine verilen ısı enerji miktarının sabit olması beklenmektedir. Ancak ısı pompası tek başına talebi karşılayamadığından kollektör alanındaki artışa bağlı olarak talebi karşılayana değin ısıtma sistemine verilen ısı enerjinin artması beklenmektedir. Mevcut ısı pompası 20 m² alana sahip kollektör ile desteklense dahi sisteme 14520 kWh enerji verilebilmektedir. Isıtma sistemine verilen ısı enerjinin kollektör alanına bağlı değişimi Şekil 5.7’te verilmiştir. Isı pompasının ısıtma tesir katsayısının kollektör alanına göre değişimi Şekil 5.8’da verilmiştir ve ısı pompasının ITK’sının sabit kaldığı görülmektedir.



Şekil 5.7. 13,38 kW ısıtma gücünde ısı pompası ısıtma sisteminde kollektör alanına göre sisteme verilen ısı enerjideki değişim.



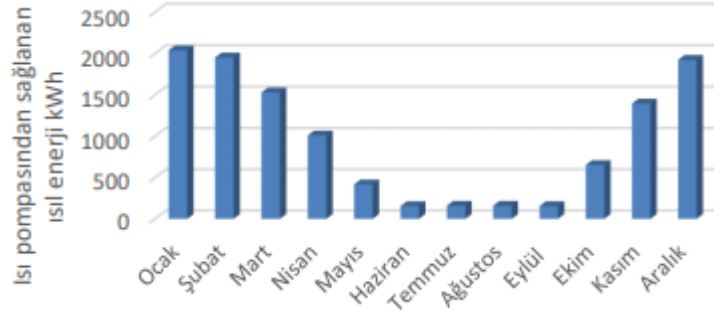
Şekil 5.8. 13,38 kW ısıtma gücünde ısı pompasının ısıtma tesir katsayısının kollektör alanına göre değişimi.

Aynı zamanda Bursa ili için kollektör alanına bağlı olarak yıllık çalışma saatleri çizelge 5.2.'de verilmiştir.

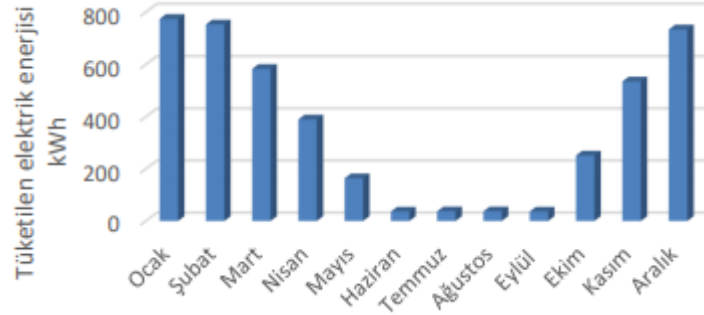
Çizelge 5.2. Bursa ili için güneş kollektör alanına bağlı yıllık çalışma saatleri.

Bursa	Güneş kollektörü alanı (m²)	SPF	Çalışma saati yıllık
8,35 kW	0	2,67	3621
	4	2,86	3015
	8	3,07	2762
	12	3,22	2648
	16	3,26	2487
	20	3,29	2464

Ankara ili için ısı pompasının sisteme verdiği enerjinin ısıtma ihtiyacının çok olduğu Ocak ve Aralık aylarında olduğu Şekil 5.9’de görülmektedir. Isıtma sisteminde ısı pompasının ve dolaşım pompalarının tükettiği toplam elektrik miktarı Şekil 5.10’de görülmektedir.

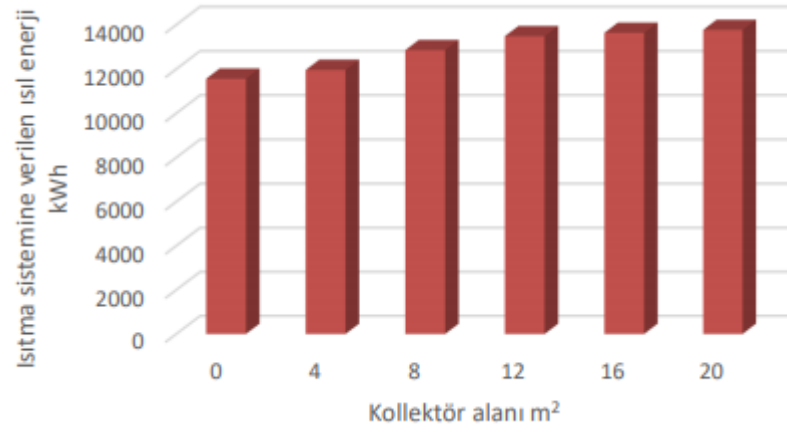


Şekil 5.9. 16,59 kW ısıtma gücünde ısı pompasının ısıtma sistemine verdiği ısı enerjisi.



Şekil 5.10. 16,59 kW ısıtma gücünde ısı pompası ısıtma sisteminin tükettiği toplam elektrik enerjisi.

Evin enerji talebi sabittir, bu nedenle ısıtma sistemine verilen ısı enerjisinin sabit olması beklenmektedir. Ancak ısı pompası tek başına talebi karşılayamadığından kollektör alanındaki artışa bağlı olarak talebi karşılayana değin ısıtma sistemine verilen ısı enerjisinin artması beklenmektedir. Mevcut ısı pompası 20 m² alana sahip kollektör ile desteklense dahi sisteme 16590 kWh enerji verilebilmektedir. Isıtma sistemine verilen ısı enerjisinin kollektör alanına bağlı değişimi Şekil 5.11’te verilmiştir. Isı pompasının ısıtma tesir katsayısının kollektör alanına göre değişimi Şekil 5.12’de verilmiştir ve ısı pompasının ITK’sının sabit kaldığı görülmektedir.



Şekil 5.11. 16,59 kW ısıtma gücünde ısı pompası ısıtma sisteminde kollektör alanına göre sisteme verilen ısı enerjideki değişim.



Şekil 5.12. 16.59 kW ısıtma gücünde ısı pompasının ısıtma tesir katsayısının kollektör alanına göre değişimi.

Aynı zamanda Ankara ili için kollektör alanına bağlı olarak yıllık çalışma saatleri çizelge 5.3.'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Ankara ili için güneş kollektör alanına bağlı yıllık çalışma saatleri.

Ankara	Güneş kollektörü alanı (m ²)	SPF	Çalışma saati yıllık
11,25 kW	0	2,86	3471
	4	2,97	2958
	8	3,13	2662
	12	3,21	2515
	16	3,26	2447
	20	3,3	2434

Isıtma gücü 13,38, 14,52 ve 16,59 kW olan ısı pompalarında elektrik tüketiminin kollektör alanı değişmesine rağmen sabit kaldığı görülmektedir. Bu durum ısı pompası kapasitesinin yetersiz seçilmesinden kaynaklanmaktadır. On adet kollektör (20 m²) eklendiğinde dahi enerji talebi karşılanamadığından ısı pompasından sisteme verilen ısı enerji ve ısı pompasının tükettiği elektrik enerjisi miktarı sabit kalmaktadır. Enerji talebini karşılayan 13,38, 14,52 ve 15,34 kW ısıtma gücünde ısı pompalarının kullanıldığı ısıtma sistemlerinde ise performans faktöründeki değişim oranının düşük olmasının sebebi kollektör alanı arttıkça ısı pompasının sisteme verdiği ısı enerji miktarının azalmasından ileri gelmektedir. Ele alınan 3 şehir göz önüne alındığında bu sistemin Antalya bölgesi için daha uygun olduğu kanısına varıyoruz ısı pompasının harcadığı güç ve güneş kollektörlerinin sisteme sağladığı etkiden dolayı burdan yola çıkarak konum itibarıyla güneşlenme süresine bağlı olarak sıralamayı Antalya, Bursa ve Ankara olarak belirleyebiliriz.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Ele alınan üç şehirde bulunan villanın ısıtılması ve yıllık sıcak su ihtiyacının temini POLYSUN simülasyon program kullanılarak incelenmiştir. Sırasıyla ısı ısı enerjisi ihtiyacı ve ısı kaybı hesapları programa tanıtılmıştır. Üç farklı şehirde ısı pompasının ısıtma tesir katsayısının ve sistemin performans faktörünün güneş kolektörünün alanına bağlı değişimi incelenmiştir. Düşük kapasitedeki ısı pompalarının kullanılan ısıtma sistemlerinde enerji talebinin karşılama oranı ve güneş kolektörü ile toplam tüketimin karşılama oranı üç şehir ele alınarak incelenmiştir.

Bu çalışma ile;

- Farklı kapasitede ısı pompası seçilmesinin ısıtma sistemine olan etkisi,
- Isı pompasının kapasitesinin yetmediği durumlarda güneş kolektörü kullanmanın akılcı bir çözüm olup olmadığı,
- Yaz dönemindeki sıcak su ihtiyacının güneş kolektörü ile karşılanmasının elektrik tüketimine olan etkisi,
- Güneş kolektörü alanına bağlı olarak tüketilen toplam elektrik ve performans faktöründeki yüzdesel değişim incelenmiştir.

Bu simülasyonlar ile düşük güçte ısı pompası kullanıldığında toplam talebin ne kadarının karşılandığı ve güneş kolektörü sayısı arttırılrsa dahi talebin tamamen karşılanmadığı görülmüştür. Düşük güçteki ısı pompaları talebi karşılayamadığından kolektör sayısının arttırılmasına bağlı olarak ısı pompası tarafından sisteme verilen ısı ısı enerjisi ve tüketilen toplam elektrik enerjisi bir değişimi görülmemiştir. Ancak seçilen ısı pompası tek başına talebi karşılayabiliyorsa eklenen her güneş kolektörü sayesinde ısı pompası tarafından sisteme sağlanan ısı ısı enerjisi ve tüketilen toplam elektrik enerjisinde azalma meydana gelmiştir. Simülasyonda kullanılan bir diğer parametere

ise kolektör sayısı ya da alanıdır. Sayıları 0 ila 10 arasında alanları ise 0 ila 20 m² arasında değişen düzlemsel güneş kolektörleri kullanılmıştır. Isı pompası kapasitesi ve kolektör alanı değiştirilerek üretilen modeller yarı dinamik simülasyon program olan POLYSUN program ile modellenmiştir. Simülasyon ve hesaplamalar sonucunda Ankara için ısı pompası 16,59 kW, Antalya için 13,38 kW ve Bursa için 14,52 kW güçlerinde ısı pompası seçimi uygun görülmüştür. Bunlara destek olarak Ankara 11,25 kW, Antalya 8,35 kW, Bursa 7,26 kW güçlerinde güneş kolektörleri seçimleri uygun görülmüştür.

Elde edilen bu sonuçların ileride yapılacak deneysel çalışmalara zemin hazırlayacağı ve ekipman seçimini kolaylaştıracağı düşünülmektedir. İncelenen sistemler deneysel olarak kurulabilir ve sonuçlar karşılaştırılarak polysun simülasyon programının tutarlılığı araştırabilir. Program dünya genelinde birçok şehri karşılaştırmaya müsaade ettiğinden dolayı benzer iklime sahip diğer bölgelerdeki konut ile tüketimlerinde karşılaştırabilir.

Isıtma sisteminde mevzu bahis villa için 3 bölgeye en uygun kombinasyonu seçmek amacıyla ısı pompası kapasitesi ve kolektör alanı değiştirilerek modelin simülasyonu yapılmıştır. Bu simülasyonlarda havadan suya ısı pompası 13,38 kW, 14,52 kW, 16,59 kW olmak üzere üç farklı kapasitede incelenmiştir. Simülasyonda kullanılan bir diğer parametre ise kolektör alanıdır. Alanları ise 0 ile 20 m² arasında değişen düzlemsel güneş kolektörleri kullanılmıştır. Kolektör alanı değiştirilerek üretilen modeller yarı dinamik simülasyon programı olan POLYSUN ile modellenmiştir. Villanın iç ortam sıcaklığı 20 °C kabul edilerek hesaplanmıştır.

İncelenen üç bölge için sistem modeli içerisinde en uygulanabilir olan sistemler 13,38 kW, 14,52 ve 16,59 kW ısı pompasının kullanıldığı sistemlerdir. Arttırılan kolektör alanları ısıtma sisteminin performansını arttırmakta ancak ısı pompasının ısıtma tesir katsayısını azaltmaktadır. Ayrıca kolektör alanının arttırılması ilk kurulum maliyetini arttıracığı ve özellikle apartmanlarda kurulum yapılacak yer bulma zorluğu yaratması dolayısıyla uygulanabilirlikten uzaklaşmaktadır.

Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

Isı pompası kapasitesinin yetersiz seçilmesi sonucu enerji talebi karşılanamadı şeklinde simülasyon programı hata vermiştir. Isı pompasının düşük kapasite seçilmesi durumunda kollektör alanının 4 m^2 'den 20 m^2 'ye kadar arttırılması ısı pompasının sisteme verdiği enerjide ve tükettiği elektrik miktarında bir değişime sebep olmamıştır.

Isı pompası kapasitesinin talebi karşılamada yeterli olduğu 13,38 kW, 14,52 kW ve 16,59 kW ısı pompalarında kollektör alanının arttırılması ısı pompası tarafından sisteme verilen enerjide ve elektrik tüketiminde azalma sağlamıştır. Sisteme verilen ısı enerji miktarı aynı kalırken toplam elektrik tüketiminin azalması sistemin performans faktörünün artmasını sağlamıştır.

Solar kollektör brüt alan 0 ile 20 m^2 arasında değişmektedir. Solar kollektör alanının arttırılması ısıtma sisteminin performansını arttırmaktadır. Çünkü güneşten gelen enerjinin sisteme verilmesi sırasında sadece sirkülasyon pompaları elektrik çekmektedir. Bu sırada sistemin performans faktörü artarken, ısı pompasının ITK katsayısının azaldığı sonucuna varılmıştır. Isı pompaları yüksek buharlaştırıcı ve düşük yoğunlaştırıcı sıcaklığında yüksek verimle çalışmaktadırlar. Kuyu ve kaynak sıcaklığı arasındaki farkın azalması yoğunlaştırıcıdan tanka ısı aktarımını zorlaştırmaktadır. Kollektör kullanımıyla tanktaki sıcaklığın artması ve ısı pompasının tam kapasite çalıştırılmamasından dolayı ısı pompasının ısıtma tesir katsayısı azalmaktadır.

Elde edilen bu sonuçların ileride yapılacak deneysel çalışmalara zemin hazırlayacağı ve ekipman seçimini kolaylaştıracağı düşünülmektedir. İncelenen sistemler deneysel olarak kurulabilir ve sonuçlar karşılaştırılarak Polysun simülasyon programının tutarlılığı araştırılabilir. Program dünya genelinde birçok şehri karşılaştırmaya müsaade ettiğinden benzer iklime sahip bir diğer bölgedeki konut ile tüketimler karşılaştırılabilir. Bu çalışma üç bölge için konutun elektrik tüketiminin fotovoltaik panellerle karşılanması durumu ve sistemde fosil yakıt kullanımı da dahil edilerek genişletilebilir. Çok haneli sitelerin yıllık enerji ihtiyaçlarının ve kullanım sıcak suyu ihtiyacının karşılanması için sistemler tasarlanabilir ya da mevcut şablondan

seçilebilir. Ayrıca ülkedeki kWh elektrik üretimi başına salınan CO² miktarı biliniyorsa ısı pompası ve güneş kollektörü kullanımını sayesinde tasarruf edilen kilogram CO² miktarı bulunabilmektedir.

Ele alınan 3 şehir göz önüne alındığında bu sistemin Antalya şehri için ısı pompası gücü 13,38 kW güneş kollektörlerinin sağladığı güç 7,26 kW, Bursa şehri için ısı pompası gücü 14,52 kW güneş kollektörlerinin sağladığı güç 8,35 kW ve Ankara şehri için ısı pompası gücü 16,59 kW güneş kollektörlerinin sağladığı güç 11,25 kW olarak belirlenmiştir. Bu sistem analizleri ışığında ele alınan villanın bulunduğu konum, seçilen ısı pompası gücü, güneş kollektör alanlarına göre göre değişkenlik gösterdikleri net bir şekilde anlaşılmaktadır. Hazırlanan tez çalışmasının amacından yola çıkıldığı taktirde bu ısıtma sistemlerinin Antalya bölgesi için daha uygun olduğu kanısına varıyoruz ısı pompasının harcadığı g ve güneş kollektörlerinin sisteme sağladığı etkiden dolayı burdan yola çıkarak konum itibarıyla güneşlenme süresine bağlı olarak sıralamayı Antalya, Bursa ve Ankara olarak belirleyebiliriz.

KAYNAKLAR

1. Abou-Ziyan, H.Z., Ahmed, M.F., Metwally, M.N. ve Abd El-Hamed, H.M. “Solar-assisted R22 and R134a heat pump systems for low-temperature applications”, ***Applied Thermal Engineering***, 17 (5): 455-469 (1997).
2. Abdul Aziz, M.A., Mat, S. ve Sopian, K. “Technology Review of Solar Assisted Heat Pump System for Hot Water Production”, ***Latest trends in renewable energy and environmental informatics***, 2-4 April, North Atlantic University Union, Kuala Lumpur, Malezya, 65-75 (2013).
3. Abdulkarem, A.H, “***Ankara Şartlarında Güneş Enerjisi ile Bir Ortamın Döşemeden Isıtılması ve Sistemin Isıl Performansının Belirlenmesi***”, Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi, Ankara, 103, (2008).
4. Aktaş, M. ve Kara, M. Ç. “Güneş enerjisi ve ısı pompalı kurutucuda dilimlenmiş kivi kurutulması”, ***Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.***, 28 (4) : 734-741 (2013).
5. Aktaş, M., Ceylan, İ., Doğan, H. ve Aktekeli, Z. “Güneş enerjisi destekli, ısı pompalı kırmızıbiber kurutucusunun tasarımı, imalatı ve performans deneyleri”, ***Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi***, 30 (1) : 111-120 (2010).
6. Amin, Z.M. ve Hawlader, M.N.A. A “Review on solar assisted heat pump systems in Singapore”, ***Renewable and Sustainable Energy Reviews***, 26 : 286- 293 (2013).
7. Anonim, “***Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi***”, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Ankara, Haziran, 246 (2009).
8. Anonim, “***Review and Comparison of Different Solar Energy Technologies***”, Global Energy Network Institute, San Diego, Kaliforniya, Ağustos, 56 (2011).
9. Anonim, “***Enerji Sektörü Raporu***”, T.C. Güney Ege Kalkınma Ajansı, 106 (2012).
10. Anonim, “***Türkiye için Düşük Karbonlu Kalkınma Yolları ve Öncelikleri***”, WWF-Türkiye, WWF-Türkiye ve İstanbul Politikalar Merkezi, 76 (2015).
11. Atalay, A. “***Güneş Enerjisi Yardımıyla Açık ve Kapalı Yüzme Havuzlarının Isıtılması***”, Yüksek Lisans, Ege Üniversitesi, İzmir, 77 (2011).
12. Aydın, A. “***Isı Pompası Destekli Vakum Tüplü Kollektörde Su Isıtıcısının Deneysel İncelenmesi***”, Yüksek Lisans, Karabük Üniversitesi, Karabük, 41 (2013).

13. Bakırcı, K., Çomaklı, K., Özyurt Ö. ve Yılmaz, M. “Güneş Kaynaklı Isı Pompasının Enerji ve Ekserji Analizi”, *Mühendis ve Makina*, 50 (590): 26-32 (2009).
14. Bilgen, E. ve Takahashi, H. “Exergy analysis and experimental study of heat pump systems”, *Exergy An International Journal*, 2 : 259–265 (2002).
15. Bornatico, R., Hüseyi, J., Witzig, A. ve Guzzella, L. “Surrogate modelling for the fast optimization of energy systems”, *Energy*, 57 : 653-662 (2013).
16. Bornatico, R., Pfeiffer, M., Witzig, A. ve Guzzella, L. “Optimal sizing of a solar thermal building installation using particle swarm optimization”, *Energy*, 41 : 31-37 (2012).
17. Buker, M.S. ve Riffat, S.B. “Solar assisted heat pump systems for low temperature water heating applications: A systematic review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55:399–413 (2016).
18. Carbonell, D., Haller, M.Y., Philippen, D., ve Frank, E. “Simulations of combined solar thermal and heat pump systems for domestic hot water and space heating”, *Energy Procedia*, 48:524–534 (2014a).
19. Carbonell, D., Haller, M.Y. ve Frank, E. “Potential benefit of combining heat pumps with solar thermal for heating and domestic hot water preparation”, *Energy Procedia*, 57:2656–2665 (2014b).
20. Ceylan, T. “*İki Katlı Bir Binanın Güneş Enerjisi Destekli Hava Kaynaklı Isı Pompasıyla Isıtılması ve Sıcak Su Eldesinin Analizi*”, Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi, Ankara, 116 (2010).
21. Chen, J.F., Dai , Y.J. ve Wang, R.Z. “Experimental and theoretical study on a solar assisted CO2 heat pump for space heating”, *Renewable Energy*, 89:295- 304 (2016).
22. Çağlar, A. “*Theoretical and Experimental Performance Analysis of A Solar Assisted Heat Pump*”, Yüksek Lisans, Middle East Technical University, Ankara, 109 (2006).
23. Çakır, U. ve Çomaklı, K. “*Hava kaynaklı bir ısı pompasının farklı çalışma şartları altında termodinamik performans analizi*”, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 13/16 Nisan, İzmir, 1: 179-187 (2011).
24. Çanka-Kılıç, F. “Güneş Enerjisi, Türkiye’deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri”, *Mühendis ve Makine*, 56 (671) : 28-40 (2015).
25. Çavuş, D. ve Usta, H. “Evaporatörü direkt güneş destekli ısı pompasının tasarımı, imalatı ve performans deneyleri”, *Gazi University Journal of Science*, 3(3):535-544 (2015).

26. Çelik, M., “*Turizm yapılarının güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin optimum kullanımı açısından değerlendirilmesi (Antalya örneği)*”, Yüksek Lisans, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 135 (2008).
27. Çifci, M. ve Yılmazoğlu, M.Z. “Hava Kaynaklı Bir Isı Pompasının Deneysel Termodinamik Analizi”, *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 17-20 Nisan, İzmir, 1: 1015-1022 (2013).
28. Doğan, A.R. “*Güneş Enerjisi Destekli Alternatif Isıtma Sistemlerinin Enerji ve Ekonomi Yönünden Karşılaştırılması*”, Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi, Ankara, 251 (2012).
29. Georgiev, A. “Testing solar collectors as an energy source for a heat pump”, *Renewable Energy*, 33 : 832-838 (2008).
30. Kahraman, G. “*Güneş Enerjisi Destekli Mahal Isıtmasının Matematiksel Modellenmesi*”, Yüksek Lisans, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 113 (2005).
31. Kılıç, H. “*Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompasının Tasarımı, İmalatı ve Performans Deneyleri*”, Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi, Ankara, 80 (2006).
32. Kılıç, Ç. F. “Türkiye’deki Yenilenebilir Enerjilerde Mevcut Durum ve Teşviklerindeki Son Gelişmeler”, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 52 (614) : 103-115 (2011).
33. Lerch, W., Heinz, A. ve Heimrath, R. “Evaluation of combined solar thermal heat pump systems using dynamic system simulations”, *Energy Procedia*, 48 : 598-607 (2014).
34. İnternet: Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü, “2021 Ankara İlimize Ait Genel İstatistik Verileri”<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=ANKARA>
35. İnternet: Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü, “2021 Bursa İlimize Ait Genel İstatistik Verileri”<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=BURSA>
36. İnternet: Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü, “2021 Antalya İlimize Ait Genel İstatistik Verileri”<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=ANTALYA>

ÖZGEÇMİŞ

Halil İbrahim VURUCU ilk ve orta öğrenimini Bursada tamamladı. Bursa Çimento Fabrikası Anadolu Teknik Lisesi Elektrik Elektronik Bölümü'nden mezun oldu. 2014 yılında Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2019 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2019 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını 2022 yılında devam ediyor.