



T. C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ISI POMPASI DESTEKLİ GÜNEŞ ENERJİLİ BİR SU ISITMA SİSTEMİNİN  
TRNSYS PROGRAMI İLE SİMÜLASYONU

Gamze KANDIRMIŞ

Doç. Dr. Salih COŞKUN  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bursa- 2017  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Gamze KANDIRMIŞ tarafından hazırlanan 'Isı Pompası Destekli Güneş Enerjili Bir Su Isıtma Sisteminin TRNSYS Programı ile Simülasyonu' adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Doç. Dr. Salih COŞKUN

**Üye:** Doç. Dr. Salih COŞKUN  
U.Ü. Mühendislik Fakültesi  
Teknik Bilimler M.Y.O

**Üye:** Doç. Dr. Erhan FULAT  
U.Ü. Mühendislik Fakültesi  
Makine Mühendisliği

**Üye:** Yrd. Doç. Dr. Kemal Furkan SÖKMEN  
Euras Teknik Üniversitesi  
Doğa Bil. Mim. Ve Mühendislik Fakültesi  
Makine Mühendisliği



İmza



İmza



İmza

**Yukarıdaki Sonucu Onaylarım**

**Prof. Dr. Ali BAYRAM**

Enstitü Müdürü

25/11/2018 (Tarih)



**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

14/04/2017

**Gamze KANDİRMİŞ**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ISI POMPASI DESTEKLİ GÜNEŞ ENERJİLİ BİR SU ISITMA SİSTEMİNİN TRNSYS PROGRAMI İLE SİMÜLASYONU

**Gamze KANDİRMİŞ**

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Salih COŞKUN

Ülkemizde kullanım sıcak suyu elde etmek için farklı enerji kaynaklarından yararlanılmaktadır. Güneş enerjisi, elektrik ve doğal gaz bunlardan en yaygın olanlarıdır. Güneş enerjili sistemlerde, kış aylarında gereken sıcak su ihtiyacı depolama tankına yerleştirilen elektrikli ısıtıcılar yardımıyla karşılanmaktadır. Bu da işletme maliyetini artırmaktadır. Bu çalışmada İzmir şartları için geleneksel güneş enerjili bir su ısıtma sisteminin (SDHW) bu dezavantajını ortadan kaldırmak amacıyla bu sisteme bir ısı pompası ilave edilerek geliştirilen ısı pompası destekli güneş enerjili (HP\_SDHW) bir su ısıtma sistemi tasarlanmış ve her iki sistemin, TRNSYS programı yardımıyla zamana bağlı analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bunların dışında aynı şartlarda sıcak su elde etmek için yaygın olarak kullanılan elektrikli (EDHW) ve gaz yakıtlı (GDHW) su ısıtma sistemleri de TRNSYS programı yardımıyla analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada, gün içerisinde belirli saatlerde (sabah 06.00, 08.00 ve akşam 20.00, 22.00) 15 dakikalık 600 lt/h debideki 55°C sıcaklıkta kullanım suyu istenen evsel bir uygulama esas alınmıştır. Sistemlerin yıl boyunca enerji tüketimleri ve maliyetleri incelenip yıllık performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu değerlendirmeler sonucunda HP\_SDHW sisteminin, EDHW sistemine göre %70, geleneksel SDHW sistemine göre %38 daha az elektrik tükettiği tespit edilmiştir. Bunların dışında GDHW sistemi ekonomik olsa da, bu sistemin fosil yakıt kullanması dezavantajı olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş Enerjisi, Isı Pompası, TRNSYS

**2017, viii + 71 sayfa.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **SIMULATION OF A HEAT PUMP ASSISTED SOLAR WATER HEATING SYSTEM WITH TRNSYS SOFTWARE**

**Gamze KANDIRMIŞ**

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Doç. Dr. Salih COŞKUN

Different energy sources are used to obtain domestic hot water for use in our country. Solar energy, electricity and natural gas are the most commons among these sources. In solar powered systems, the required hot water in the winter months is met with the help of electric heaters placed in the storage tank and this increases operating costs. In this study, a water heating system with heat pump assisted solar energy (HP\_SDHW) developed by adding a heat pump to conventional solar energy water heating system was designed to eliminate disadvantages of SDHW system for Izmir conditions, both systems are analyzed by transient simulation system software TRNSYS. In addition to these, electrical water heating system (EDHW) and gas- fired water heating system (GDHW) which are widely used to obtain domestic hot water under the same conditions were also analyzed by TRNSYS software and results are compared. Analyzes are based on same application that desired domestic hot water with 600lt/h flow-rate and 55°C temperature at specific times in a day (06.00 a.m. – 08.00 a.m. and 08.00 p.m. -10.00 p.m.) for 15 min. periods. The annual energy consumption and costs of the systems were analyzed and annual performance evaluations were carried out. As a result of these evaluations, the HP\_SDHW system consumes 70% less electricity than the EDHW system and 38% less than the conventional SDHW system. Apart from these, although the GHDW system is economical, it has the disadvantageous of using fossil fuels.

**Key Words:** Solar Energy, Heat Pump, TRNSYS

**2017, vii +71 pages.**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, enerji analizi konusunda dünyada büyük bir öneme sahip olan ve ülkemizde henüz yaygın bir kullanıma sahip olmayan TRNSYS programı kullanılarak İzmir şehrine ait bir örnek enerji analiz çalışması gerçekleştirilmiştir.

Hayatım boyunca hiçbir zaman maddi ve manevi desteğini esirgemeyen ve beni bugünlere getiren aileme, büyük bir sevgi, özveri ve sabırla her zaman bana destek ve yardımcı olan eşim Kürşad' a, tez çalışmamın planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşturulmasında ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın danışman hocam Doç. Dr. Salih Coşkun' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Gamze KANDIRMIŞ

14/04/2017

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Eysel Sıcak Su Sistemleri.....	3
2.2. Depolama Tanklı Su Isıtıcıları .....	3
2.3. Güneş.....	4
2.3.1. Güneş ve Yapısı .....	4
2.3.2. Güneş Enerjisi .....	4
2.3.3. Güneş Enerjisinin Avantajları .....	5
2.3.4. Türkiye’de Güneş Enerjisi .....	5
2.3.5. Güneş Kolektörleri .....	7
2.4. Güneş Enerjili Isıl Sistemler .....	10
2.5. Güneş Enerjili Sistemin Performansının Arttırılması İçin Isı Pompası Kullanımı. 11	11
2.6. Simülasyonun Tanımı Ve Önemi .....	12
2.7. Kaynak Taraması.....	15
3. MATERYAL ve METOD .....	21
3.1. TRNSYS Programının Tanıtılması .....	21
3.2. Sistemlerde Kullanılan TRNSYS Bileşenleri .....	22
3.2.1. Su Çekimi Kontrol Elemanı .....	23
3.2.2. Eysel Su Tankı .....	24
3.2.3. Vanalar 28	28
3.2.4. Harici Yardımcı Isıtıcı.....	28
3.2.5. Pompalar.....	30
3.2.6. Düz Plakalı Güneş Kolektörü.....	31
3.2.7. Isı Eşanjörü.....	33
3.2.8. Hava Veri Okuyucu.....	34
3.2.9. Sudan Suya Isı Pompası .....	35
3.2.10. Diferansiyel Kontrol Elemanı .....	36
3.2.11. Grafik Çıktısı.....	37
3.2.12. Yazıcı .....	38
3.2.13. İşlemci .....	38
3.3. Su Isıtma Sistemlerinin TRNSYS Programında Modellenmesi .....	38
3.3.1. Elektrik Kullanılan Su Isıtma Sistemi Modeli .....	39
3.3.2. Geleneksel Güneş Enerjisi Kullanılan Su Isıtma Sistem Modeli.....	40
3.3.3. Isı Pompası Destekli Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemi Modeli.....	42
3.3.4. Doğalgaz Kullanılan Su Isıtma Sistemi Modeli.....	44
4. BULGULAR .....	46
4.1. Elektrik Kullanılan Sistem Modeli Simülasyon Sonuçları .....	47
4.2. Geleneksel Güneş Enerjisi Kullanan Sistem Modeli Simülasyon Sonuçları .....	49
4.3. Isı Pompası Destekli Güneş Enerjili Sistem Modeli Simülasyon Sonuçları.....	52
4.4. Doğalgaz Kullanılan Sistem Modelinin Simülasyon Sonuçları.....	57

4.5. TRNSYS ile Modellenen Sistemlerin Karşılaştırılması.....	59
4.5.1. Elektrikli Sistem İle Güneş Enerjili Sistemin Karşılaştırılması.....	59
4.5.2. Elektrikli Sistem İle Isı Pompası Destekli Güneş Enerjili Sisteminin Karşılaştırılması .....	60
4.5.3. Geleneksel Güneş Enerjili Sistem İle Isı Pompası Destekli Güneş Enerjili Sistemin Karşılaştırılması .....	61
4.6. Sistemlerin Maliyet Analizi .....	62
4.7. HP_SDHW Sisteminin İlk Yatırım Maliyeti .....	65
5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....	66
KAYNAKLAR.....	68
ÖZGEÇMİŞ .....	71



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

$C_{pf}$	Akışkan özgül ısısı
$C_{pc}$	Soğuk taraf akışkan özgül ısısı
$C_{ph}$	Sıcak taraf akışkan özgül ısısı
$m_i$	Akışkan giriş debisi
$m_o$	Akışkan çıkış debisi
$m_c$	Soğuk taraf debisi
$m_h$	Sıcak taraf debisi
$W_{max}$	Maksimum pompa gücü
$W_{hp}$	Kompresörün çektiği güç
$T_i$	Akışkan giriş sıcaklığı
$T_o$	Akışkan çıkış sıcaklığı
$T_{DHW}$	Kullanım suyu sıcaklığı
$T_{set}$	Ayar noktası sıcaklığı
$T_h$	Tanka gelen akışkan sıcaklığı
$T_L$	Tanktan ayrılan akışkan sıcaklığı
$Q_{loss}$	Kayıp ısı miktarı
$Q_{fluid}$	Akışkan ısı miktarı
$Q_{tank\_aux}$	Tank içindeki ısıtıcı kapasitesi
$Q_{aux}$	Harici ısıtıcı kapasitesi
$UA$	Toplam ısı transfer katsayısı
$\gamma_i$	Giriş kontrol fonksiyonu
$\gamma_o$	Çıkış kontrol fonksiyonu
	Verim
$\rho$	Yoğunluk
$\varepsilon$	Isı eşanjörü etkinliği
$V$	Tank hacmi
$\theta$	Geliş açısı
$SF$	Güneş Fraksiyonu
$U_L$	Kolektör termal kayıp katsayısı
$A$	Kolektör alanı
$FR$	Kolektörden ısı uzaklaştırma faktörü

### Açıklamalar

### Kısaltmalar

EDHW	Elektrikli Su Isıtma Sistemi
GDHW	Gaz Yakıtlı Su Isıtma Sistemi
HP_SDHW	Güneş Enerjisi ve Isı pompası Destekli Su Isıtma Sistemi
IAM	Geliş Açısı Düzenleyici
SDHW	Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemi

### Açıklamalar

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2. 1. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli (Anonim 2017c).....	6
Şekil 2. 2. Düzlemsel yüzeyli güneş kolektörü.....	8
Şekil 2. 3. Vakumlu güneş kolektörü.....	9
Şekil 2. 4. Harici bir ısı eşanjörüne sahip geleneksel güneş enerjili su ısıtma sistemi ...	10
Şekil 2. 5. Isı pompası şematik resmi.....	11
Şekil 2. 6. Isı Pompalı Destekli Güneş Enerjili Evsel Sıcak Su Sistemi .....	12
Şekil 2. 7. Simülasyon sürecinin aşamaları.....	13
Şekil 3. 1. Bir günlük su çekim profilleri.....	23
Şekil 3. 2. Isıl tabaklaşma için katmanlı tank.....	24
Şekil 3. 3. Katmanlar arası akışlar.....	26
Şekil 3. 4. Dağıtım vanası ve karışım vanası konumu.....	28
Şekil 3. 5. TRNSYS ısı eşanjör modeli (Anonim 2006).....	33
Şekil 3. 6. TRNSYS diferansiyel kontrol.....	36
Şekil 3. 7. EDHW sisteminin TRNSYS modeli.....	40
Şekil 3. 8. SDHW sisteminin TRNSYS modeli.....	41
Şekil 3. 9. Çift tanklı HP_SDHW sisteminin TRNSYS modeli.....	42
Şekil 3. 10. GDHW sisteminin TRNSYS modeli.....	45
Şekil 4. 1. Gün içerisinde planlanan saatlerde çekilen su debisi ve sıcaklığı .....	46
Şekil 4. 2. Dağıtım vanasından suyun by-pass edilmesi.....	47
Şekil 4. 3. Bir günlük EDHW sistemi üzerinde sıcaklıklar ısı yük dağılımları .....	48
Şekil 4. 4. Bir gün içerisinde (Şubat ayı) SDHW sistemi üzerindeki sıcaklık ve ısı yük dağılımları.....	49
Şekil 4. 5. Bir gün içerisinde (Temmuz ayı) SDHW sistemi üzerindeki sıcaklık ve ısı yük dağılımları .....	50
Şekil 4. 6. Bir gün içerisinde (Şubat ayı) ısı pompasının kaynak ve yük sıcaklıkları .....	53
Şekil 4. 7. Bir gün içerisinde (Şubat ayı) HP_SDHW sistemi üzerindeki sıcaklık ve ısı yük dağılımları .....	54
Şekil 4. 8. Bir gün içerisinde (Temmuz ayı) ısı pompasının kaynak ve yük sıcaklıkları .....	55
Şekil 4. 9. Bir gün içerisinde (Temmuz ayı) HP_SDHW sistemi üzerindeki sıcaklık ve ısı yük dağılımları .....	56
Şekil 4. 10. Bir günlük GDHW sisteminin sıcaklık ve ısı yükleri.....	58
Şekil 4. 11. Gaz yakıtlı ısıtıcının girdi ve çıktıları (Anonim 2017f).....	58
Şekil 4. 12. Sistemlerin toplam enerji yüzdeleri .....	63
Şekil 4. 13. Sistemlerin toplam işletme maliyetleri.....	64

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2. 1. Türkiye’ de aylık güneşlenme süreleri .....	6
Çizelge 2. 2. Türkiye’ nin bölgelere göre yıllık güneşlenme süreleri .....	7
Çizelge 3. 1. Eysel su tank parametreleri .....	27
Çizelge 3. 2. Yardımcı tank Parametreleri .....	27
Çizelge 3. 3. Harici ısıtıcı parametreleri .....	29
Çizelge 3. 4. Sirkülasyon pompa parametreleri .....	31
Çizelge 3. 5. Güneş kolektörü parametreleri .....	33
Çizelge 4. 1. EDHW sisteminin yıllık simülasyon sonuçları .....	48
Çizelge 4. 2. SDHW sisteminin yıllık simülasyon sonuçları .....	51
Çizelge 4. 3. HP_SDHW sisteminin yıllık simülasyon sonuçları .....	57
Çizelge 4. 4. GDHW Sisteminin yıllık simülasyon sonuçları .....	59
Çizelge 4. 5. EDHW ve SDHW sistemlerinin enerji miktarları .....	59
Çizelge 4. 6. EDHW ve SDHW sistemlerinin enerji miktarları .....	60
Çizelge 4. 7. SDHW ve HP_SDHW sistemlerinin enerji miktarları .....	61
Çizelge 4. 8. Sistemlerin performans karşılaştırması .....	62
Çizelge 4. 9. Sistemlerin yıllık elektrik-yakıt tüketim ve maliyetleri .....	64
Çizelge 4. 10. HP_SDHW sistemini oluşturan elemanlar ve maliyetleri (2017 Ocak ayı döviz kuruna göre) .....	65

## 1. GİRİŞ

Binaların birçoğunda iki ana ısı yük oluşur. Bunlar: konutun ısıtılması ve kullanım suyunun ısıtılmasıdır. Kullanım suyunun ısıtılması için harcanan ısı enerjisi, binadaki toplam enerji ihtiyacına oranla az olmasına karşın, sistemin sebep olduğu enerji kayıpları bu oranı yükseltmektedir. Binalardaki ısı enerjisinin yaklaşık %15-20' si kullanım sıcak suyu elde etmek için kullanırken son yıllarda özellikle kent hayatındaki insanların yaşam standartları ve buna bağlı olarak hijyen ihtiyaçlarının artması bu oranı biraz yükseltmiştir. Hatta binalardaki dış yalıtım metotlarının yaygınlaşması ile konut ısıtma için harcanan enerji miktarı azalınca bu oran yaklaşık %25 olmuştur. (Gürenli ve ark. 2012)

Günümüzde kullanım suyu ısıtmak için dünyada ve ülkemizde birçok farklı tasarım ve uygulamaya sahip sistemler giderek artmaktadır. Bunun en önemli sebebi, artan konfor ve hijyen ihtiyaçları dışında enerji ve su tasarrufu sağlamaktır. Türkiye' de de son dönemlerde enerji tasarrufu konusunda yapılan düzenlemeler doğrultusunda, geleneksel sistemlerin yerini birçok yeni teknolojik sistem ve cihazlar almıştır. Enerji verimliliği açısından daha verimli enerji sistem tasarımları üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Bu yönde yapılan çalışmalar ya deneysel test sistemleri ya da enerji sistemleri ile ilgili yazılım programları yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Deneysel test sistemleri üzerinde yapılan çalışmalar uzun süreli ve maliyetli çalışmalar olup, enerji yazılım programlarını kullanmak bu süreçleri kısaltmakta ve maliyeti düşürmektedir. Ayrıca sistem üzerinde gerçekleştirilmesi düşünülen değişikliklerin kolay ve hızlı bir şekilde yapılmasını sağlamaktadır. Daha hızlı ve esnek bir çözüm sunmaktadır.

Dünyanın enerji kaynaklarının sınırlı olması gerçeğinin son yıllarda giderek daha fazla anlaşılması, ülkeleri enerji bilançolarını yeniden gözden geçirmeye yöneltmiştir. Gerek devletlerin ve gerekse büyük ulusal firmaların özellikle 2000' li yıllarda ön plana çıkan enerji ve üretim politikaları, kısaca şu şekilde özetlenebilir: Bir yandan enerji güvencesi sağlanacak, diğer yandan ekonomik gelişme elde edilecek ve bunun yanı sıra da çevre korunacaktır.

Son yıllarda fosil yakıtların gittikçe tükenmesi, bu yakıtların yarattığı çevre kirliliği gibi sorunlar ve enerji talebinin her geçen gün artması, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına talebi önemli hale getirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları jeotermal enerji, dalga enerjisi, rüzgar enerjisi, güneş enerjisidir. Güneş enerjisinin diğer enerji türlerine göre çok sayıda avantajı vardır. Her şeyden önce bol, temiz ve yerel uygulamalar için elverişlidir. Enerjiye ihtiyaç duyulan hemen hemen her yerde güneş enerjisinden yararlanmak mümkündür. Dışa bağlı olmadığından, çıkabilecek ekonomik bunalımlardan bağımsızdır.

Ülkemiz güneş enerjisi yönünden oldukça şanslı bir coğrafi yapıya sahiptir. Yoğun olarak güneş alan ülkemizde, bu enerjiyi kullanmak, gerek çevre kirliliği gerekse enerji ekonomisine katkı sağlaması bakımından son derece önemlidir. Bu enerjiden yararlanmak için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu temiz enerjiyi, kaynak olarak kullanıp, ısı pompası vasıtasıyla düşük sıcaklıklardaki ısı enerjisini daha yüksek sıcaklıklara taşımak mümkündür.

Isı pompalarının elektrikli ısıtmaya nazaran daha ekonomik olmaları, çevre kirliliğine neden olmamaları, istenildiğinde hem ısıtma hem de soğutma amaçlı kullanılabilmesi nedeniyle üzerinde sıkça çalışılan bir konu olmuştur. Bulunan sonuçlar arasında ısı pompaları, düşük enerji tüketimleri, yüksek performans katsayıları ve çevreye zarar vermemeleri gibi özellikleri ile dikkat çekmektedir. Örneğin; hava kaynaklı ısı pompaları, gaz kazanlara göre %20' ye kadar ve elektrik sistemlerine göre ise %70' e kadar daha az enerji harcayarak yılda 2 tondan fazla karbon salınımını azaltabilmektedir. (Anonim 2017a)

## **2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI**

### **2.1. Eysel Sıcak Su Sistemleri**

Su ısıtma, suyun başlangıç sıcaklığının üzerinde bir sıcaklığa ısıtılması için bir enerji kaynağı kullanan termodinamik bir işlemdir. Sıcak suyun tipik evde kullanımı, pişirme, temizleme, banyo ve yerden ısıtma içerir.

Bir su ısıtıcısı, şebeke sisteminden veya kuyudan gelen soğuk suyun sıcaklığını yükseltmek için enerji kullanır. Çoğu zaman, sıcak su bir tankta depolanır. Bundan farklı olarak şofben veya tanksız olması durumunda su sadece ihtiyaç duyulduğu zamanlarda isteğe bağlı olarak da ısıtılabilir. Sürekli olarak sıcak su temini sağlayan cihazlara su ısıtıcıları denir. Konutlarda, yerden ısıtma dışında kullanılmak üzere ısıtılan içilebilir suya, evsel sıcak su (DHW) denir.

Eysel sıcak su elde etmek için fosil yakıtlar (doğalgaz, sıvılaştırılmış petrol gazı vb.) veya katı yakıtlar yaygın olarak kullanılır. Ancak bu fosil yakıtlar, en önemli sera gazı olarak kabul edilen karbon dioksit salarak küresel ısınmaya yol açmaktadır. Bundan dolayı, temiz bir enerji olan yenilebilir enerji kaynakları araştırılmakta ve tercih edilmektedir.

### **2.2. Depolama Tanklı Su Isıtıcıları**

Depolama tanklı su ısıtıcıları bugün evlerde kullanılan yaygın sistemlerdir. Sıcak su sistemlerinde genellikle elektrik, gaz veya yağ kullanılır ve kullanım sıcak suyu ihtiyaç duyuluncaya kadar bir tankta depolanır. Depolama tankında, kullanım suyu sıcaklığını belirli bir ayar noktası sıcaklığına yakın tutmak ve bu sıcaklığı muhafaza edebilmek için elektrikli ısıtıcılar, bunları devreye sokan bir termostat ve kontrol elemanları bulunur. Böylece sürekli olarak aynı sıcaklıkta su talebi karşılanmış olur.

Çoğu ev tipi su depoları, çeşitli sıcaklıktaki suyun yoğunluk farklarına bağlı olarak farklı sıcaklıklarda katmanlar oluşmaktadır. Sıcak su yoğunluk farkından dolayı tankın en üst noktasında yer alırken, tankın alt kısımlarında daha soğuk su yer almaktadır.

## 2.3. Güneş

Enerji üretimi ve kullanımı gelişmişliğin en önemli göstergelerinden biridir. Günümüze kadar ve halen, fosil yakıtlar en temel enerji üretimi kaynaklarıdır. Gerek bunların rezervlerinin tükenmekte oluşu ve sürekli artan fiyatları, gerekse kullanımından kaynaklanan çevre sorunları, yeni ve temiz enerji kaynakları arayışını hızlandırmıştır. Güneş enerjisinin de yer aldığı yenilenebilir enerji kaynakları bu nedenle önem kazanmıştır.

### 2.3.1. Güneş ve Yapısı

Güneş ısı ve ışık yayan yüksek sıcaklıktaki bir gaz kütesidir. Dünyadan 150 milyon km uzaklıkta olmasına rağmen güneşin yaydığı ışınlar yeryüzüne 8 dakikada ulaşmaktadır. Güneş yüzeyindeki sıcaklık 57 400°C olup saniyedeki radyasyonu 1490 cal' dir. Güneşin yapısında %81,76 oranında Hidrojen (H) ve %18,17 oranında Helyum (He) atomları mevcuttur. 4 H atomu kimyasal reaksiyonla 1 He atomuna dönüşür ve açığa çıkan kütle farkından dolayı büyük bir enerji meydana gelir. Saniyede 564 milyon ton H atomu He atomuna dönüşür. (Anonim 2017b)

### 2.3.2. Güneş Enerjisi

Doğal bir füzyon reaktörü olan güneşte her saniye 564 milyon ton H atomu, 560 milyon ton He atomuna dönüşmekte ve kaybolan 4 milyon ton kütle karşılığında  $386 \times 10^{15}$  MJ enerji açığa çıkmaktadır. Güneşten bir saniyede ortaya çıkan enerjinin güç olarak değeri  $3,86 \times 10^{17}$  MW' tır. Dünyanın çapına eşit dairesel alan üzerine çarpan güneş gücü 173 milyon kW civarındadır. Dünyanın yıllık ticari enerji ihtiyacı  $11 \times 10^6$  MW iken güneşten gelen güç bunun 16 000 katından fazladır. Dünya atmosferine ulaşan güneş ışınımı veya güneş sabiti  $1353 \text{ kW /m}^2$ , dir. Yeryüzüne ulaşan maksimum güneş ışınımı ise 0,3-2,5 µm dalga boyları arasında 1 kV/h (Kilovolt/saat) kadardır. Yeryüzünün yaşanılabilir bölgelerine ulaşabilen güneş enerjisi iklime ve zamana bağlı olarak 3-30 Mj/m<sup>2</sup>-gün arasında değişir. Güneş enerjisi kolektörlerde toplanır. Bir ev çatısı büyüklüğünde 100 m<sup>2</sup>, lik kolektörde depolanabilen güç 70 kV değerindedir. Bu ise %40 verime sahip 130 kV/h veya 14 galon petrol ya da bir insan ağırlığı kadar taşkömürü eş değeridir. Dünyanın tüm yüzeyine bir yıl boyunca gelen güneş enerjisi

0,709 x 10<sup>14</sup> TEP (ton eş değeri petrol) kadardır. Bu değer dñyanın bilinen petrol rezervinin 716 ve kömür rezervinin 157 katıdır. (Anonim 2017c)

### 2.3.3. Güneş Enerjisinin Avantajları

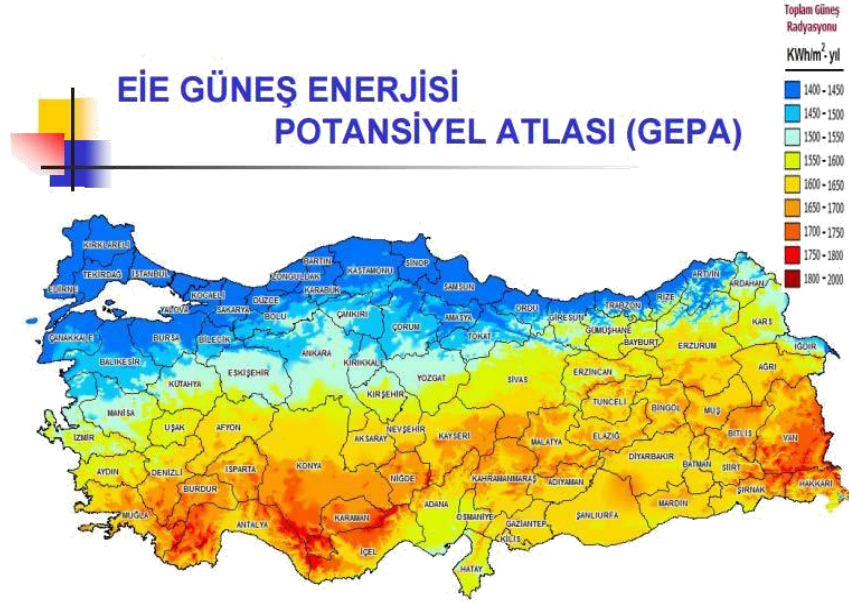
- Güneş ışınımı fazla olan birçok ÷lkede faydalanılabilir.
- Temiz bir enerji türüdür.
- Tükenmeyen bir enerji kaynağıdır.
- Karmaşık teknolojilere ihtiyaç duyulmamaktadır.
- İşletme masrafları çok azdır.
- Doğabilecek ekonomik bunalımdan etkilenmez.
- Güneş enerjisi saf bir enerji türüdür. Gaz, duman, toz, karbon veya kükürt gibi zararlı maddeleri yoktur.
- Güneş enerjisinin bir diğer özelliği, nakliye masrafı olmaksızın her yerden temin edilebilir olmasıdır.

### 2.3.4. Türkiye’de Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneşten gelen ve hiçbir işletme masrafı olmayan bir enerji kaynağıdır. Coęrafik olarak 36 – 42° kuzey enlemleri arasında bulunan ÷lkemiz, güneş kuşaağı bölgesinde yer almaktadır. Türkiye’ nin güneş kuşaağının bu bölümünde olması güneş enerjisini iyi derecede alması sağlamaktadır. Türkiye’ nin güneşlenme süresi ve güneş ısınımı şiddeti değerleri temel alındığında, tüm yüzeyine bir yılda düşen güneş enerjisi  $3517 \times 10^{12}$  kJ olarak hesaplanmıştır. Yani Türkiye’ nin bir yılda aldığı güneş enerjisi 80 milyar TEP (ton eş değer petrol)’tir. Bu enerji  $1115 \times 10^8$  kJ’ a karşılık gelmektedir. (Anonim 2017c)

Şekil 2.1’ de görüldüğü gibi Türkiye’ nin en fazla güneş alan bölgesi Güneydoęu Anadolu Bölgesi olup, ikinci sırada Akdeniz Bölgesi gelmektedir. Güneydoęu Anadolu Bölgesi ÷lkemizin enerji bakımından en zengin bölgesidir. Bu bölgeye gelen yıllık toplam güneş enerjisi miktarı  $1460 \text{ kW/m}^2$  ve yıllık toplam güneşlenme süresi ise 2993 saattir. Bunun yanında Karadeniz Bölgesi Türkiye’ nin en az güneş enerjisi potansiyeline sahip bölgesidir.





Şekil 2. 1. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli (Anonim 2017c)

Türkiye' nin aylık ve yıllık toplam güneş enerjisi ve güneşlenme süresi Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2' de gösterilmektedir.

Çizelge 2. 1. Türkiye' de aylık güneşlenme süreleri

Türkiye'nin Aylık Ortalama Güneş Enerjisi Potansiyeli			
Kaynak: EİE Genel Müdürlüğü			
Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (Kcal/cm <sup>2</sup> -ay) (kWh/m <sup>2</sup> -ay)		Güneşlenme Süresi (Saat/ay)
Ocak	4,45	51,75	103,0
Şubat	5,44	63,27	115,0
Mart	8,31	96,65	165,0
Nisan	10,51	122,23	197,0
Mayıs	13,23	153,86	273,0
Haziran	14,51	168,75	325,0
Temmuz	15,08	175,38	365,0
Ağustos	13,62	158,40	343,0
Eylül	10,60	123,28	280,0
Ekim	7,73	89,90	214,0
Kasım	5,23	60,82	157,0
Aralık	4,03	46,87	103,0
Toplam	112,74	1311	2640
Ortalama	308,0 cal/cm <sup>2</sup> -gün	3,6 kWh/m <sup>2</sup> -gün	7,2 saat/gün

**Çizelge 2. 2.**Türkiye’ nin bölgelere göre yıllık güneşlenme süreleri

Türkiye'nin Yıllık Toplam Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı		
Kaynak: EİE Genel Müdürlüğü		
BÖLGE	TOPLAM GüNEŞ ENERJİSİ (kWh/m <sup>2</sup> -yıl)	GÜNEŞLENME SüRESİ (Saat/yıl)
G.DOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İç ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

### 2.3.5. Güneş Kolektörleri

Güneş kolektörleri, güneş ışığını ısı enerjisiye dönüştüren toplayıcıdır. Kolektörler güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan, ısı ve elektrik enerjisini doğal kaynaklardan üretmeyi sağlayan yapılardır. Bu kolektörler su ısıtma sistemlerinde ve güneş panellerinde kullanılırlar. Güneş enerjisi uygulamalarında kolektörler tarafından güneş ışığı yatay bir düzlem tarafından emilir ve bir akışkana aktararak akışkanın iç enerjisi artırılır. İç enerjinin artışıyla suyun sıcaklığı artar.

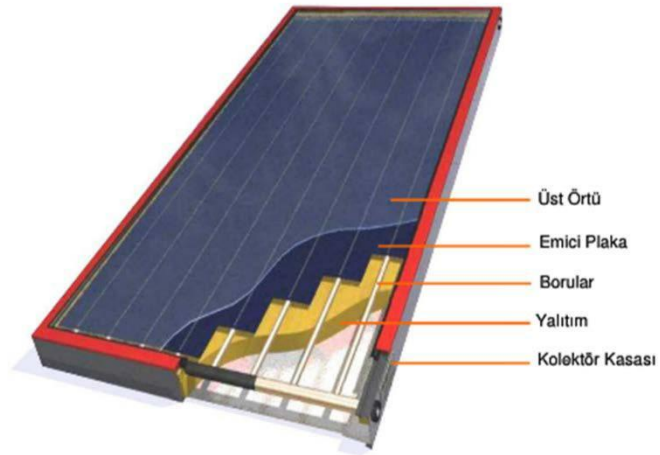
Son yıllarda gelişen kaplama teknikleri ile yüksek verimli emici yüzeyler üretilmektedir. Ayrıca güneş ışığını yansıtmayan ve mekanik zorlanmalara son derece dayanıklı olan cam yüzeyler üretilmektedir. Bu gelişmeler kolektörlerin veriminde ciddi artışlar sağlamıştır.

Sıcak su üretimi için kullanılan, birbirinden farklı özelliklere sahip birçok kolektör vardır. Bunlar;

- Düzlemsel yüzeyli güneş kolektörleri
- Vakumlu güneş kolektörleri
- Odaklamalı (yoğunlaştırıcı) tip güneş kolektörleri

### Düzlemsel Yüzeyli Güneş Kolektörleri

Düzlemsel yüzeyli güneş kolektörleri, güneş enerjisinin toplandığı ve bu ısı enerjisinin herhangi bir akışkana aktarıldığı (sıvı ya da hava) araçlardır. En çok evlerde sıcak su ısıtma amacıyla kullanılmaktadır. Ulaştıkları sıcaklık 70°C civarındadır. Düzlemsel güneş kolektörleri, Şekil 2.2' de görüldüğü gibi üsten alta doğru, camdan yapılan üst örtü, camlı emici plaka, metal veya plastik absorban plaka, arka ve yan yalıtım ve bu bölümleri içine alan bir kasadan oluşmuştur. Kolektörler, yörenin enlemine bağlı olarak güneşi maksimum alacak şekilde, sabit bir açıyla yerleştirilirler.



Şekil 2. 2. Düzlemsel yüzeyli güneş kolektörü

### **Vakumlu Güneş Kolektörleri**

Cam vakumlu tüpler, güneşli su ısıtıcıların ve kolektörlerin esas parçasıdır. Şekil 2.3' te olduğu gibi her vakum tüp iki cam tüpten oluşur.

Vakum tüplü güneş enerjisi ile su ısıtma sistemleri bulutlu havalarda oldukça avantajlıdır, çünkü bu vakum tüpler bulutlardan gelen zayıf yoğunluktaki ışınımı emebilmektedir. Düzlemsel güneş kolektörleri ile kıyaslandığında rüzgarlı ve sıcaklığın az olduğu günlerde bile vakum tüplü güneş kolektörleri vakum izolasyonundan dolayı daha verimlidirler.



**Şekil 2. 3.** Vakumlu güneş kolektörü

### **Odaklamalı Tip Güneş Kolektörleri**

Doğrusal yoğunlaştırıcı termal sistemlerin en yaygınıdır. Kolektörler, kesiti parabolik olan yoğunlaştırıcı dizilerden oluşur. Kolektörün iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş enerjisini, kolektörün odağında yer alan ve boydan boya uzanan siyah bir absorban boruya odaklarlar. Kolektörler genellikle, güneşin doğudan batıya hareketini izleyen tek eksenli bir izleme sistemi üzerine yerleştirilirler. Enerjiyi toplamak için absorban boruda bir sıvı dolaştırılır. Toplanan ısı, elektrik üretimi için enerji santraline gönderilir.

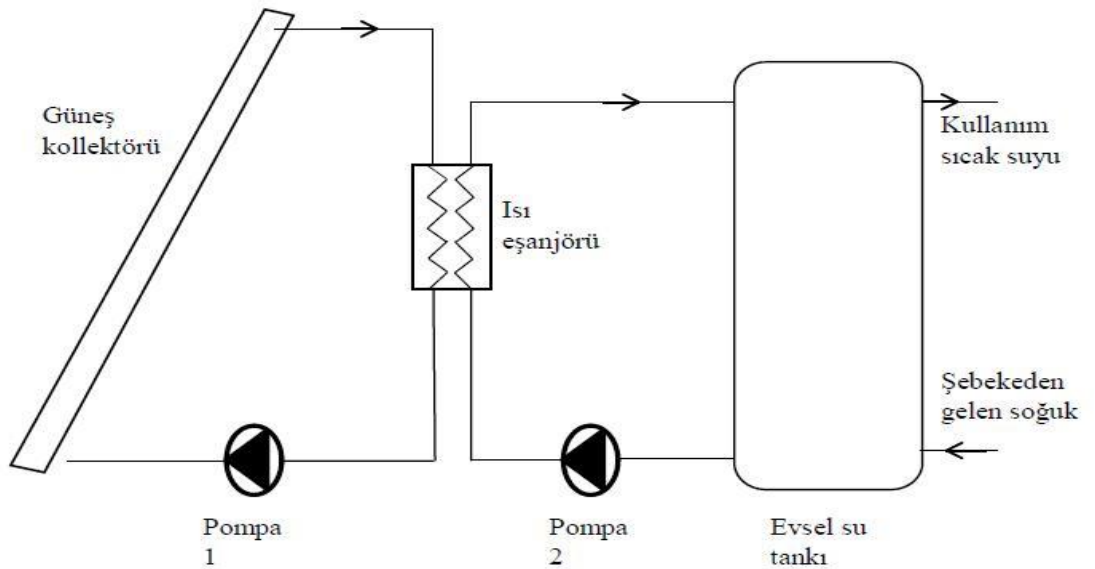
Bu sistemler yoğunlaştırma yaptıkları için daha yüksek sıcaklığa ulaşabilirler (350-400°C).

## 2.4. Güneş Enerjili Isıl Sistemler

Güneş enerjili ısı sistemler genellikle alan ısıtma-soğutma veya kullanma suyu şartları için tercih edilir. Bu sistemlerin prensibi, güneş radyasyon enerjisini güneş kolektörleri kullanarak ısı biçiminde toplamaktır.

Kolektörler içindeki çalışma sıvısı, ısıyı absorbe eder ve çalışma sıvısı su olduğu takdirde ya bir ısı eşanjörü yoluyla ya da doğrudan depolama alanına enerjiyi transfer eder (Cruickshank 2009)

Güneş enerjisi olduğunda, ısı depolama gereklidir ve depolanan bu enerji daha sonra ısıtma ve sıcak kullanım suyu lazım olduğunda kullanılır. Soğuk iklimlerde, geleneksel güneş enerjili sıcak su sistemleri, Şekil 2.4' te gösterildiği gibi bir antifriz solüsyonunu kolektörden harici bir ısı eşanjörünün kaynak tarafına sirküle eden bir pompaya sahiptir. Şekilde görülen diğer pompa ise suyun depolama tankından harici ısı eşanjörünün yük tarafına dolaştırılmasını sağlar. Güneş radyasyonunun yetersiz olduğu durumlarda, güneş enerjisi depolamak, yerden ısıtma ya da sıcak su taleplerini karşılamak için yaygın olarak kullanılır.

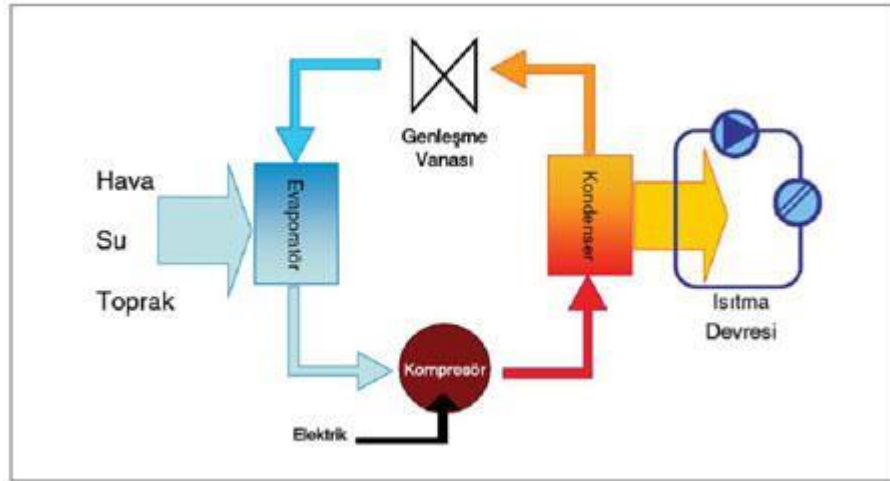


Şekil 2. 4. Harici bir ısı eşanjörüne sahip geleneksel güneş enerjili su ısıtma sistemi

## 2.5. Güneş Enerjili Sistemin Performansının Arttırılması İçin Isı Pompası Kullanımı

Son yıllarda birçok ülkede güneş, toprak, çevre havası veya yenilenebilir enerji kaynaklarıyla çalışan ısı pompaları hem ısıtma hem de soğutma için oldukça popüler bir tercih olmaktadır. Isı pompaları, ısıyı düşük sıcaklıktaki ısı kaynağından yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağına aktarma prensibine dayanan sistemlerdir. Genellikle elektrikle çalışır, ancak verilen ısı enerjisinin miktarı, tüketilen elektrik enerjisinin birkaç katından fazladır. Çıkış enerjisinin giriş enerjisine oranı, performans katsayısı (COP) olarak adlandırılır.

Isı pompalarında, kondenserde yüksek sıcaklıkta dışarı atılan ısıdan su, hava veya başka bir akışkanın ısıtılması sağlanır. Amaç sıcak kullanım suyu, ısınma, kurutma ve benzeri işler için sıcak su, sıcak hava elde edebilmektir. Isı pompası sistemleri, ısının çekildiği kaynaklara göre su, hava ve güneş kaynaklı gibi değişik isimler ile anılırlar. Isı pompası Şekil 2.5' te şematik olarak gösterilmektedir.

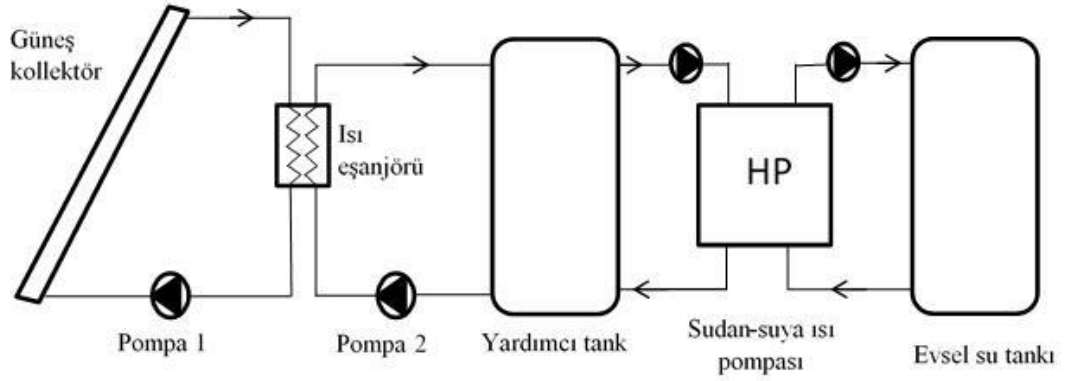


Şekil 2. 5. Isı pompası şematik resmi

Türkiye’de yaz aylarında güneş radyasyonu ve ortam sıcaklığı daha yüksektir. Bu nedenle, evsel su ısıtmasında yardımcı olmak için güneş enerjisi kullanıldığında, yaz aylarında kışa kıyasla çok daha fazla enerji toplanıp depolanır. Bu nedenle, yedek su

ısıtıcısı (elektrik veya gaz), depolama tankının şarj edilmesi için yılın daha soğuk aylarında daha fazla enerji tedarik etmektedir.

Bütün enerjiyi sağlamak için yedek ısıtıcıya güvenmek yerine, evsel su ısıtmasına yardımcı olmak için bir ısı pompası kullanmak daha etkilidir. Bu, elektriğin daha verimli bir şekilde kullanılmasını sağlar. Sisteme bir ısı pompası uygulamak ve ilave yardımcı tank eklemek kolektör girişine daha soğuk akışkan ileterek güneş döngüsünün çalışmasına da büyük fayda sağlayabilir (Şekil 2.6). Isı pompasından elde edilen bu fayda, sistemin toplam güneş fraksiyonunu artırmaya yardımcı olabilir.

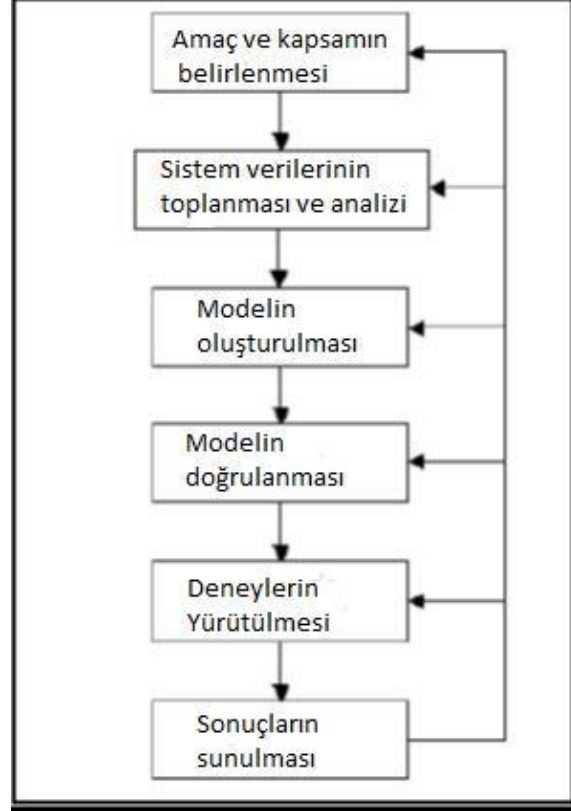


Şekil 2. 6. Isı Pompalı Destekli Güneş Enerjili Evsel Sıcak Su Sistemi

## 2.6. Simülasyonun Tanımı Ve Önemi

“Benzetim” anlamına da gelen simülasyon; karmaşık bir sistemin basitleştirilmiş bir modelini oluşturarak, gerçek sistemin davranışını tahmin etmek, değişik stratejileri değerlendirebilmek ve analiz etmek için oluşturulan bu modeli kullanma süreci olarak tanımlanabilir. Diğer bir tanımla simülasyon, incelenen bir gerçek uygulamanın, belli bir zaman diliminde istenilen gerçek karakteristiklerini tahmin etmek amacıyla sistemin matematiksel, mantıksal bir modelinin geliştirilmesi ve bu sistem üzerinde deneyler yapılması sürecidir. Simülasyon sürecinin aşamaları Şekil 2.7’ de görülmektedir. Bilgisayar simülasyon programları ise gerçek sistemlerin bilgisayar ortamına aktarılmasıdır. Bu simülasyon programları, yaygın olarak, ısı sistemlerinin etkileşimi,

ısıtma ve soğutma yükleri ile enerji tüketim hesaplamalarında kullanıldığı için “bina enerji simülasyon programları” olarak nitelendirilmekte ve geliştirilmektedir. Bir simülasyon çalışması, sistem henüz tasarım aşamasındaysa, çalışmaya uygun değilse ve karmaşık bir sistemin davranışı analiz edilecekse kullanılır.



**Şekil 2. 7.** Simülasyon sürecinin aşamaları

Bir simülasyon çalışmasının temel amaçları şöyle sıralanabilir:

- ✓ Gerçek sistemi, kurulan model üzerinden tanıyıp araştırmak, değişik kararları ve seçenekleri gerçek sistemde hiçbir değişiklik yapmadan deneyebilmek ve bu değişikliklerin etkisini gözlemlemek,
- ✓ Belirli kararların sonuçlarını ve gidişatlarını tahmin etmek,
- ✓ Gözlemlenen sonuçların sebeplerini belirlemek,
- ✓ Yatırım yapmadan önce problem alanlarını belirlemek,
- ✓ Sistemin bütünlüğünü ve fizibilitesini test etmek.



Simülasyon çalışması problem çözmeye son derece etkilidir. Dolayısıyla, simülasyon, farklı amaçları gerçekleştirmek için değişik alanlarda uygulanabilen ve günümüzde üretim ve hizmet sektöründe de yaygınlaşan bir yöntem olmuştur. Pek çok konuda olduğu gibi simülasyon kullanmanın da birçok avantajı yanında bazı dezavantajları mevcuttur.

#### Simülasyon Sisteminin Avantajları

- Bir sistemin uzun bir zaman boyunca çalışmasına ve sonuçlarının irdelenmesine imkân verir.
- Sistem verilerinin detaylı olmadığı durumlarda kullanılabilir.
- Simülasyon modeli üzerinde daha sonra yapılacak analiz için veri, çoğu kez gerçek hayatta olduğundan daha ucuz elde edilir.
- Simülasyon, bir sistemdeki karmaşık etkileşimleri, analiz ve bunlar üzerinde deney yapma olanağı sağlar.
- Simüle edilen sistemin ayrıntılı gözlemi, sistemin daha iyi anlaşılmasını, daha önce görülmemiş eksikliklerinin giderilmesini, daha etkin fiziksel ve operasyonel bir sistemin kurulmasını sağlayabilir.
- Değişik koşullar altında sistemin nasıl olacağı hakkında çok az veya hiçbir veriye sahip olmadığımız yeni durumlar üzerinde deney yapma amacıyla kullanılabilir.

#### Simülasyon Sisteminin Dezavantajları

- Simülasyonda bilgisayara olan bağımlılık, çalışmanın uzun sürmesine pahalı olmasına neden olur ve geliştirilmesi zor modellerdir.
- Simülasyon modellerinin düşünce yapısı, gerçek sistemle ilgili ancak tahminlerde bulunmayı sağlar
- Bazen probleme en iyi çözümü bulmak yerine alternatif çözümleri karşılaştırır.
- Simülasyon sonuçlarının incelenen sistemi doğru yansıtması için modelin geçerliliği çok önemlidir.

## 2.7. Kaynak Taraması

İnsanlar, binlerce yıl boyunca güneşin muazzam gücünün farkında olmuşlardır. Birçok uygarlığın eski mimarisi, genellikle güneşin aydınlatma veya ısıtma için pasif olarak kullanılmasını sağlamıştır. Güneş enerjisi teorisinin ilk çalışmaları, Hottel ve ark. (1942, 1954, 1963), Whillier ve ark. (1955), Bliss (1959) başta olmak üzere güneş enerjisinin öncülerince yapılmıştır. Bu çalışmalar daha sonradan 1974 yılında Duffie ve Beckman tarafından bir kitap şeklinde özetlenerek sunulmaktadır.

Isıtma uygulamaları için kullanılan ilkel aktif güneş kolektörlerinin hesapları 19. yüzyıla kadar uzanmaktadır (Perlin 2012). İlk belgelenmiş sistemlerden biri, silindirik bir tanktan oluşup, siyah boyalı bir çatı üzerine monte edilmiştir. O zamandan beri, güneş ısıtma sistemleri, dışa monte edilmiş kolektör, iç depo ve sirkülasyon pompaları da dahil olmak üzere birden fazla elemandan oluşmaktadır. Sistem konfigürasyonları sayısız olup, uygulama ve çevre şartlarına bağlıdır. Güneş enerjisi ısıtma uygulamaları için depolama teknikleri son yüz yıl içinde önemli ölçüde gelişmiştir. Güneş enerjisini toplama ve depolama sisteminin ayrı bileşenlere ayrılmasının yanı sıra, depolama yöntemleri ve malzemeleri araştırılmıştır. Kış aylarındaki 0°C' nin altındaki sıcaklıklarda oluşan donma sorununu gidermek için, normal su yerine glikol-su karışımı kullanılmaya başlanmıştır.

Güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemleri ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Günerhan ve ark. (2007), bina uygulamaları için güneş enerjili sıcak su hazırlama sistemlerinin performans değerlendirmesini yapmışlardır. Bayram (2000), kolektör ve ısı ileticileri birbirinden farklı dolaylı ve doğrudan dolaşımli olan altı adet sıcak su hazırlama sisteminin ısı performanslarını karşılaştırmıştır. Ekmekçi ve ark. (2001), Kocaeli İli için bir güneş enerjili su ısıtma sistemi ve boyutlandırılması konusunda çalışmış yapılan deneyler sonucunda düzlemsel yüzeyli güneş kolektörlerinde verimi arttıran en önemli parametrenin kolektör bünyesindeki yutucu yüzey kaplaması olduğunu gözlemlemiştir. Altuntop ve ark. (2001), güneş enerjisi tesisatı kolektör ve boru bağlantılarında yapılan hataların ısı verime etkisini deneysel olarak incelemişlerdir.

Güneş enerjili sıcak su sistemlerinde kullanılan depolama tankında, yeterince ısı depolamak ve bu ısıyı yüksek kalitede kullanmak amacıyla ısıl tabakalaşma metodu kullanılmaktadır. Isıl tabakalaşma, sıcak ve soğuk su arasındaki yoğunluk farklarından dolayı oluşan kuvvetler etkisiyle, tank içerisindeki farklı sıcaklıklardaki suyun birbirine karışmasını en aza indirmektedir. Rosen (2001) güneş enerjili su depolama tankı olarak tabakalı tankların kullanılmasının depolama ve toplama verimliliğini arttırdığı gösterilmiştir. Mazman ve ark. (2009) ise depolama sisteminin ısıl yoğunluğunu artırmak ve izotermal depolama ortamı sağlamak için güneş enerjili ısıtma sistemlerinde faz değiştirme malzemelerinin kullanımını araştırmışlardır.

Isı pompalarının kurulum maliyetleri pahalıdır ancak uzun süreçte diğer sistemlere göre daha tasarruflu olmaktadır. İlk yatırım maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen ısı pompası sistemlerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu sistemlerde ısı kaynağı olarak genellikle su, toprak ve hava kullanılmaktadır. Isı pompası teknolojisi oldukça eski olmasına rağmen ülkemizde de kullanımı son yıllarda artış göstermeye başlamıştır. Ülkemizin güneş kuşağında yer alması güneş enerjisi ve ısı pompaları için yüksek performans sağlaması beklenmektedir.

Isı pompası fikri 1824 yılında Carnot tarafından ortaya atılmıştır. Carnot buhar çevriminin ters çalıştırılması ile ortamdan ısı çekilerek başka bir yüksek sıcaklık ortamına bu ısının aktarılabilceğini gözlemlemiştir. Pratikte bu prensiple çalışan ısı pompası ise 1852 yılında William Thompson ve daha sonra Lord Kelvin tarafından denenmiştir (Ülkü 1987).

Daha sonraki yıllarda, ısı pompaları hakkında çalışmalar devam etmiştir. Kaygusuz (1992) Karadeniz Bölgesi'ndeki güneş enerjisi destekli ısı pompalı bir sistem ile konutların ısıtılabilceğini incelemek için bir çalışma yapmıştır. Çalışmada ısı pompalı bir sistem kurulmuş ve bu sistem üç değişik biçimde çalıştırılıp ortamın ısıtılması gözlenmiştir. Deneyde kolektör giriş-çıkışı, depo giriş-çıkışı, ısı değiştirici giriş-çıkışı, depo içi, dış ortam, ısıtılan ortam, kondenser giriş-çıkış sıcaklıkları periyodik olarak kontrol edilmiştir. Seri ve paralel sistemlerde buharlaştırıcı, kondenser ve kompresörün giriş-çıkış basınçları ölçülmüştür. Bu ölçümlerden faydalanılarak sistemlerin birbirine

göre üstünlükleri ele alınmıştır. Ayrıca bu sistemler ekonomik yönden de birbirleriyle karşılaştırmak amacıyla iki farklı analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemlerden ilki sistemin ekonomik ömrü boyunca sağladığı tasarruflar, ikincisi ise geri ödeme süresi yöntemidir. Yapılan çalışmalar sonunda Karadeniz Bölgesi'nin meteorolojik yapısı nedeniyle konutların tek basına güneş enerjisi ile ısıtılamayacağı sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte güneş enerjisi destekli ve enerji depolu seri ve paralel ısı pompası sistemlerinin ısıtmada gerekli olan ısı yükünü karşılama yüzdelerinin daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Sistemlerden sağlanan net ısı miktarına bağlı olarak yapılan ekonomik analiz sonucunda seri ısı pompası sisteminin paralel sisteme göre daha ekonomik olduğu anlaşılmıştır. Tüm bu çalışmalar sonucunda güneş destekli ve enerji depolu seri ısı pompası sistemlerinin Karadeniz Bölgesi'ndeki konutların ısıtılması için önerilebileceği sonucuna varılmıştır

1998' de Yamankaradeniz ve ark. İstanbul' da 7 aylık kış sezonu boyunca güneşli günler için güneş enerjisi destekli ısı pompasının teorik ve deneysel incelemelerini yapmışlardır. Araştırmada elde edilen teorik bulgular ve deneysel sonuçlar karşılaştırılarak sonuçlar grafiksel olarak verilmiştir. Günlük ortalama kolektör verimi ve güneş radyasyonu, kondenserdeki aylık ortalama ısı transferi, aylık ortalama soğutma kapasitesi, sistem için ortalama COP değeri gibi özellikler incelenmiştir. Teorik sonuçların deneysel değerlerle uyum içinde olduğu bulunmuştur ve ısı pompası sistemlerinin endüstride kullanımının yararlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Başka bir çalışmada 2001 yılında Utlu, İzmir ili için güneş enerjisi destekli ısı pompalarının tasarımı konusunda araştırma yapmıştır. Bu çalışmasında Utlu, belirli bir ortamın (proje binası) güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemi ile ısıtılabilmesini incelemiştir. Bu çalışmada sistemin termodinamik analizi yapılmış, sistemdeki soğutucu akışkanların çalışma koşulları ve termodinamik özellikleri incelenmiştir. Freon-22 soğutucu akışkanının kullanımının uygun olacağı belirlenmiş ve güneş ışınımının sistem için elverişli olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca ısıtılacak ortamın ısı kayıpları belirlenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda oluşturulan sistemin ekonomik açıdan ilk yatırım maliyetinin diğer sistemlere göre daha maliyetli olduğu ancak uzun vadede daha avantajlı olacağı öngörülmüştür.

Hawlder ve ark. 2005 yılında güneş enerjisi destekli bir ısı pompası sistemi üzerinde çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada sistemde R134a soğutucu akışkanı kullanılmış ve güneş kolektörü olarak da düz levhalı kolektör kullanılarak deneysel ve teorik incelemeler yapılmıştır. Sonuç olarak kolektör alanı, güneş ısınım şiddeti, kompresör hızı gibi faktörlerin sistem performansını önemli ölçüde etkilediği gözlemlenmiştir. Ekonomik analiz sonucunda ise sistemin yaklaşık iki yıllık bir minimum geri ödeme süresine ihtiyaç duyduğu ortaya konmuştur.

Kuang ve ark. (2003) düz plakalı kolektöre sahip güneş destekli ısı pompası sistemi üzerinde çalışmışlardır. Kuzey Çin şartlarında bir sıcak su depolama tankı ve su kaynaklı bir ısı pompası sisteminin ısıl performansını, deneysel olarak incelemiştir. Elde edilen sonuçlardan, bir güneş destekli ısı pompası sisteminin gelişimi ve ilk dizaynında yardımcı olabilecek bazı önemli sonuçlar ve öneriler elde etmişlerdir.

Güneş enerjisi ve ısı pompası teknolojilerinin tek bir sisteme dahil edilmesi büyük ölçüde enerji tasarrufu sağladığı bazı çalışmalarda belirtilmiştir. Terrel'in 1970' lerde yaptığı ilk prototip sistemi aracılığıyla HP\_SDHW sistemi ile SDHW sisteminin etkinliğini karşılaştırmıştır. Fakat HP\_SDHW geleneksel SDHW sistemine göre daha avantajlı olmadığını savunmuştur. Bu durumun aksine, ısı pompası teknolojisi son 30 yılda geliştirilerek, performans ve güvenilirliği önemli ölçüde artırılmıştır. Bu iyileştirmeler, HP\_SDHW sistemlerinin tekrar incelenmesini gerektirmiştir.

Chandrashekar ve ark. 1980'lerin başında, Kanada' daki 7 ayrı şehir için 6 adet HP\_SDHW sisteminin ekonomik fizibilitesini keşfetmek için bilgisayar modelleri kullanmıştır. Yapılan bu çalışmada HP\_SDHW sisteminin çok katlı binalar için uygun olduğunu ifade etmiştir. Bununla birlikte, HP\_SDHW sistemlerinin uygulanabilirliğini etkileyen bir çok faktör, son 30 yılda, kamu hizmetleri maliyetleri, ekipman maliyetleri, ekipman verimliliği ve bina yükleri de dahil olmak üzere büyük ölçüde değiştiği için bu bulgular göz önüne alınarak tekrar araştırılmaya başlanmıştır.

Bridgeman ve ark. (2008), bir ısı pompası vasıtasıyla birbirine bağlanan güneş ve depolama döngülü bir sistemin performansını araştırmıştır. Kingston, Ontario, Kanada'

daki laboratuvar testleri ile doğrulanmış bilgisayar simülasyonlarından, COP değerleri 2,8' den 3,3' arası sonuçlar elde edilmiştir.

Nuntaphan ve ark. (2009), Bridgeman ve ark.'ın çalışmasına benzer, güneş kolektörüne ısı pompası ile bağlı depolama tanklı sistemi test etmişler. Tayland' da yürütülen bu çalışmada, güneş enerjisi sistemine bir ısı pompasının eklenmesinin depolama tankındaki sıcak su sıcaklıklarını önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir. Sözü edilen iki çalışmada, güneş enerjisi toplamak için ısı pompasının her zaman çalıştırılması gerektiği belirtilmiştir. Sıcaklığı artırmak için ısı pompasına ihtiyaç duyulmayan birçok durum vardır, bu nedenle ısı pompasının sürekli çalışması fazla elektrik kullanımına sebep olmuştur.

Scott Sterling (2011), yaptığı çalışmada TRNSYS kullanarak Kanada, Ottawa, Ontario şartlarında dört ayrı sistem modellemiştir. Isı pompası farklı konumlandırılmış iki farklı model HP\_SDHW sistemi, geleneksel bir SDHW sistemi ve EDHW ile karşılaştırmıştır. SDHW sisteminin güneş fraksiyonu 0,58 olarak, HP\_SDHW sistemlerin sırayla güneş fraksiyonlarını ise 0,66 ve 0,67 bulmuştur. Bu çalışmada da, güneş enerjili bir sisteme bir ısı pompasının eklenmesiyle güneş fraksiyonunun artabileceğini göstermiştir. Sterling tarafından incelenen iki HP\_SDHW sisteminde, farklı kapasitelerde ısı pompaları kullanmıştır. Birinci HP\_SDHW sisteminin yardımcı tankı ısıl bir tampon görevi gördüğü için sistemi daha da büyük bir kapasite ile çalıştırabilmiş ve sistemi donmaya karşı korumuştur. İkinci HP\_SDHW sisteminde ısı pompasının güneş döngüsü içinde çalıştığı ve önemli bir ısıl depolama tankına sahip olmadığı için ısı pompası daha küçük bir kapasitesi ile sınırlanmıştır. Sterling, sistemlerin ekonomik fizibilitesini değerlendirmek için gerçek bir uygulama ile maliyet analizi yapılmasını önermiştir.

HP\_SDHW sisteminin artan ekipman maliyetleri ve servis ömrü, geleneksel alternatiflerle karşılaştırma yapılmasını da önermiştir.

Chu (2014), yaptığı çalışmada, Kanada şartlarında bir ev için ısıtma, soğutma ve evsel kullanım sıcak su yüklerini dengeleyen, çift tanklı güneş enerjisi destekli ısı pompası içeren entegre bir sistem tasarlamıştır. Sistemin performansı üzerine çeşitli parametrelerin etkilerini araştırmak için TRNSYS programı kullanmıştır. Bu

parametreler, depo konfigürasyonlarını, güneş kolektörünün boyut ve yönünü, ısı pompası boyutunu ve kontrollerini içermektedir. Buna ek olarak, deneysel bir çalışma ile, ısı pompası performansı ve depolama tankındaki ısıl tabakalaşma arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Deneysel sonuçlar, düşük debilerde ısı pompasının performans katsayısının azaldığını göstermiştir. Bununla birlikte, çalışma daha düşük debilerde, kondenser boyunca daha yüksek sıcaklık artışları gözlenmiş ve tank içinde tabakalaşma daha yüksek seviyelerde elde edilmiş ve ancak yardımcı enerji tüketimi azaltılarak sistemin genel performansını artırılabilmiştir. Bu sonuç, sistemin Kanada'da konut sektöründe enerji tüketimini azaltma potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir.

### **3. MATERYAL VE METOD**

#### **3.1. TRNSYS Programının Tanıtılması**

TRNSYS (Transient Simulation System), 1970' lerde Wisconsin Üniversitesi, Güneş Enerjisi Laboratuvarı ve Colorado Üniversitesi Güneş Enerjisi Uygulamaları Laboratuvarı tarafından geliştirilmiştir ve 1975 yılında kullanılmaya başlanmıştır. TRNSYS programı FORTRAN diliyle yazılmış bir programdır. TRNSYS, enerji simülasyonu için yaklaşık 35 yıl boyunca kullanılmış ve geliştirilmiş olan bir yazılım paketidir. Kullanıcı, zamana bağlı sistemlerin performanslarını değerlendirir. Esas olarak binalar için kullanılır, pompanın küçültülmüş boyutundan bütün bir binanın büyüklüğüne kadar çok farklı sistemleri simüle edebilir (Anonim 2004).

TRNSYS, grafiksel bir ara yüze ve geniş bir bileşen kütüphanesine sahiptir. Program, modüler yapıya sahip bir sistem olması ile bütün aktif ve pasif sistemlere ait detaylı analizleri gerçekleştirebilmektedir. Bir model oluşturmak için, kullanıcının TRNSYS kütüphanesinde bulunan grafiksel bileşenleri seçip birbiri ile bağlaması gerekir. Her bir bileşen türü, TRNSYS simülasyon motorundaki matematiksel bir modelle tanımlanır. Kullanıcı, her bileşenin parametrelerini sağlayıp giriş ve çıkışları ile bağlamalıdır. Simülasyon motoru daha sonra girilen dosyayı belirtilen zaman adımına bağlı olarak çalıştırır. Her adımda, yazılım sistemi çözer ve yakınsama oranını hesaplar. Çıktılar farklı biçimlerden, Excel dosyalarından, grafiklerden vb. olabilir. Daha önce belirtildiği gibi, bileşenler ilgili kütüphaneler arasından seçilir. TRNSYS kütüphanesinde yaklaşık 150 standart bileşen bulunur. Bununla birlikte, standart bileşenleri geliştirmek için başka kütüphaneler de oluşturulmuştur.

TRNSYS' de kullanıcı ara yüzüne önem verilmiştir. Kullanıcılar, tasarımı alt sistemlere bölebilir, farklı sistemleri birleştirebilir, malzeme yapısını inceleyebilir, 1000' e yakın bölgenin meteorolojik bilgilerine ulaşabilir ve enerji uygulamalarında bunun gibi birçok işlemi gerçekleştirebilirler. TRNSYS genellikle binaların ısıtma, soğutma, enerji giderleri, yenilenebilir enerji teknolojileri ve HVAC sistemleri için kullanılmaktadır.



Simülasyonu oluşturan her bileşen FORTRAN diliyle tanımlanmış bir TYPE numarası ile ifade edilir. Bu numara bileşenin fonksiyonunu tanımlar ve diğer bileşenlerden ayırt edilmesini sağlar (Anonim 2010). TRNSYS programında yeni bileşenler de tanımlanabilir. Kullanıcı FORTRAN dilini kullanarak yeni bileşene ait matematiksel tanımlamayı formüle edebilir. Simülasyonun doğru sonuçlar vermesi simülasyonun bileşenlerinin doğru tanımlanmasına, girdi ve çıktı dosyalarının doğru eşleştirilmesine bağlıdır.

Kullanıcının, mevcut bileşenleri bir projeye eklemesi ve istenilen sistemi oluşturmak için etkileşimde bulunduğu diğer bileşenlere bağlamasına olanak tanıyan bir programdır. Her bileşen, kullanıcı tarafından belirtilen çeşitli parametreleri ve sistemin etkileşimde bulunduğu diğer bileşenlerden gelen girdileri okuyan bir matematik modeli temel alır. Tüm matematiksel modeller, her bir bileşenin çeşitli çıktıları üretmek için parametrelerini ve girdilerini kullanarak sistemi bir araya getirir. Çıktılar, kullanıcı tarafından analiz edilmesi için harici bir dosyaya veya bir grafik bileşenine gönderilebilir.

TRNSYS geçici sistemler ile ilgilenir, böylece kullanıcının simülasyon hesaplamaları için kullanılacak olan toplam süreyi ve zaman adımını ayarlaması gerekmektedir. Zaman periyodu, modelin simüle edileceği toplam süre ve zaman adımı ile matematiksel modeller tarafından yapılan hesaplamalar arasındaki simüle edilmiş süre miktarıdır. Örneğin, bir saatlik zaman adımı kullanılırsa, her bileşen zaman adımının başlangıcında çeşitli girdileri okur ve bu koşullarda bir saatlik bir döneme dayanan çıktılar üretir. Bu zaman adımı hesaplandıktan sonra girdiler ve çıktılar güncellenir ve simülasyon bir sonraki zaman adımına geçer. Bu işlem, belirlenen zaman periyoduna erişilinceye kadar devam eder (Anonim 2006).

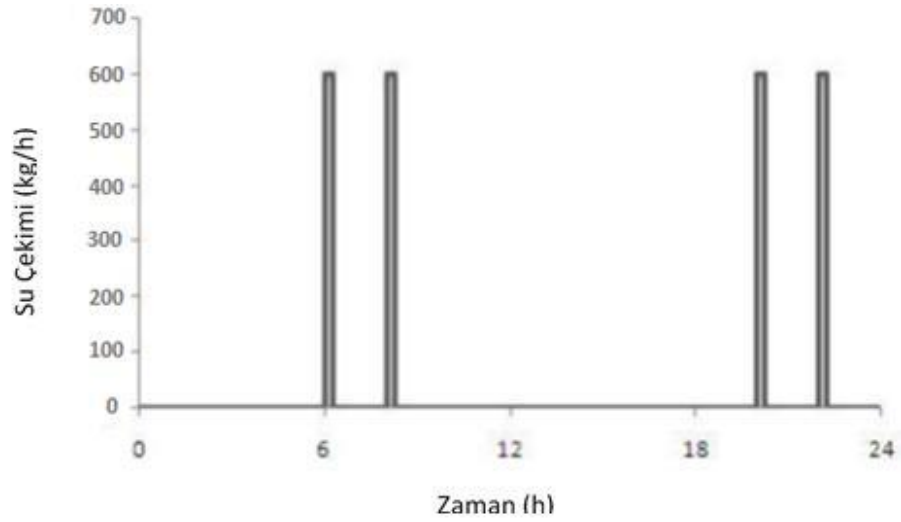
### **3.2. Sistemlerde Kullanılan TRNSYS Bileşenleri**

Bu tez için düşünülen evsel sıcak su sistemleri TRNSYS kullanılarak modellenmiştir ve simüle edilmiştir. Simülasyon için önemli olan çeşitli parametreler, girdiler ve çıktılar ile birlikte temel fonksiyonlar bu bölümde anlatılmıştır. Bu çalışmadaki sistemlerde tank, ısı eşanjörü ve ısı pompası bileşenlerinin sıcak tarafında “Kaynak” ve soğuk tarafında “Yük” ifadeleri kullanılmıştır.

### 3.2.1. Su Çekimi Kontrol Elemanı

Sistemlere uygulanan su çekme profilini belirtmek için, tüm modellerde su çekme elemanı kullanılmıştır. Bu bileşen, bir döngü boyunca çeşitli zamanlarda fonksiyonun değerini belirten ayrı veri noktaları grubu tarafından zamana bağlı bir fonksiyon oluşturur. (Anonim, 2006). Bu veri noktaları, kullanıcı tarafından su çekim elemanı parametrelerinde ve tüm simülasyon periyodu boyunca tekrarlanarak oluşturulan döngüsü tarafından belirlenmiştir.

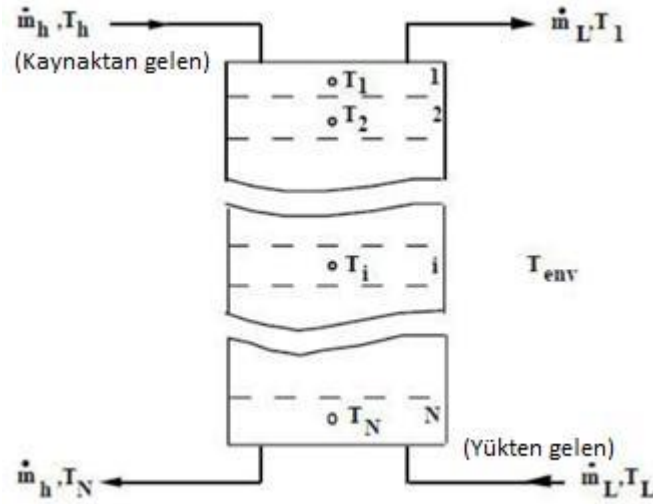
Bu tezde analiz edilen tüm modellere aynı yük profili uygulanmıştır. Sabah 06.00, 08.00 ve akşam saat 20.00, 22.00’ de 15 dakika süreyle 600 lt/h debilik su çekimleri gerçekleştirilmiştir. Bu durum aşağıda Şekil 3.1’ de gösterilmiştir. Bu modül ile su çekimi boyunca evsel su tankının alt kısmına soğuk şebeke suyu sağlanmıştır. Soğuk şebeke suyu sağlandığında aynı hacimde sıcak suyun evsel su tankının üst kısmındaki yüke aktarıldığı varsayılarak tank modellenmiştir.



Şekil 3. 1. Bir günlük su çekim profilleri

### 3.2.2. Evsel Su Tankı

Bu çalışmada modellenen tüm sistemlerdeki tanklar, değişken girişler ve üniform kayıplara sahip 10 adet katmana ayrılmış su depolama tankı Şekil 3.2’ de gösterildiği gibi modellenmiştir. Tank içinde sıcaklık farklarından dolayı ısıl tabakalaşma meydana gelmektedir. Bu sıcaklık dağılımları, akışkanın yoğunluğa göre konumlanmasını sağlamıştır. Yoğunluk farkına bağlı olarak sıcak ve yoğunluğu az olan akışkan yükselerek tankın üst bölümünde konumlanmıştır. Böylece tankın alt kısmı daha soğuk olacak şekilde ısıl tabakalaşma meydana gelmiştir. Bu tank, giren akışkanın kendi sıcaklığına en yakın katmandan eklenmesine izin veren değişken giriş konumlarına göre modellenmiştir. Bu özellik, çeşitli sıcaklıklardaki akışkan hacimleri arasındaki karıştırma miktarını büyük ölçüde azaltarak tankın içindeki ısıl tabakalaşmayı geliştirmeye yardımcı olmuştur (Cruickshank 2009).



Şekil 3. 2. Isıl tabaklaşma için katmanlı tank

Tank içerisinde, her bir katmandan yukarı ve aşağı akan akışkanların, her bir katmana girmeden önce tamamen karıştırıldığı varsayılmaktadır. Şekil 3.3’ te belirtildiği gibi,  $m_1'$  in  $m_4'$  e eklendiğini,  $m_2'$  in  $m_3'$  e eklendiğini, yukarı veya aşağı doğru bir bileşke akışı olduğunu gösterir. Daha sonra, Denklem 3.1’ de belirtildiği gibi i katmanında bir enerji dengesi (kayıplar ihmal) olur (Klein 1976):

$$\dot{Q}_{\text{out}} = \sum_{j=1}^n \dot{Q}_{\text{out},j} + \dot{Q}_{\text{out,tank}} \geq \dot{Q}_{\text{in}} \quad (3.1)$$

Enerji akışları ve iç enerjideki değişimler aşağıda belirtilen denklemlere göre hesaplanır:

Tanktan çevreye olan kayıp Denklem 3.2 ile hesaplanmaktadır:

$$\dot{Q}_{\text{out,tank}} = \sum_{i=1}^n \dot{Q}_{\text{out},i} + \dot{Q}_{\text{out,tank}}$$

Yükten aktarılan enerji miktarı Denklem 3.3' e göre hesaplanır. (3.2)

$$\dot{Q}_{\text{in}} = \dot{Q}_{\text{in,tank}} + \dot{Q}_{\text{in,env}}$$

Kaynaktan aktarılan enerji miktarı Denklem 3.4' e göre hesaplanır. (3.3)

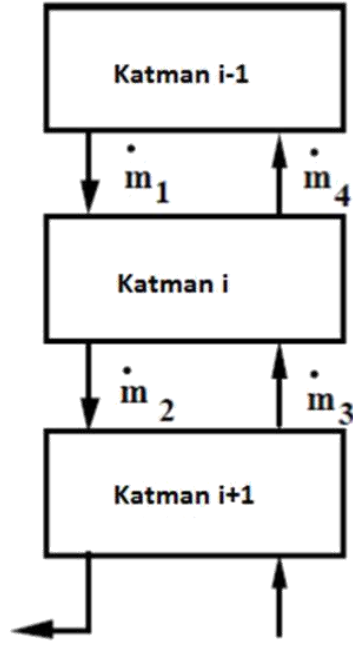
$$\dot{Q}_{\text{out,tank}} = \dot{Q}_{\text{out,tank}} + \dot{Q}_{\text{out,env}}$$

(3.4)

Tanktaki iç enerji değişimleri Denklem 3.5' e göre hesaplanır:

$$\dot{Q}_{\text{in}} - \dot{Q}_{\text{out}} = \dot{Q}_{\text{in}} - \dot{Q}_{\text{out}} = 1$$

(3.5)



**Şekil 3. 3.** Katmanlar arası akışlar

Bu tankın parametreler menüsünde birçok tank özelliği belirlenir. Bunlar: Tank hacmi, akışkan özgül ısı, akışkan yoğunluğu, tank kayıp katsayısı, katman sayısı (N) ve tank yüksekliği, ısıtıcı sayısı, her ısıtıcının konumu, termostat konumu, her ısıtıcının maksimum ısıtma kapasitesi, her ısıtıcı için ayar noktası ve ölü bant sıcaklıklarıdır.

Evsel su tank parametreleri Çizelge 3.1' de gösterilmektedir. Yardımcı tank parametreleri ise Çizelge 3.2' de gösterilmektedir.

Katmanlı tankın, yedi girdisi ve yedi çıktısı vardır. Girdiler; kaynak sıcaklığı ve debisi, yük sıcaklığı ve debisi, çevre sıcaklığı, ana ve yardımcı ısıtıcı için kontrol sinyalleridir. Ortam sıcaklığı tüm sistemler için 22°C' ye ayarlanmıştır ve tank kayıplarını belirlemek için kullanılmıştır. Tank içindeki her iki ısıtıcıyı devreye sokup çıkararak iki ayrı kontrol elemanı ile kontrol edilmektedir. Isıtıcılar için belirtilen ayar noktası ve ölü bant sıcaklıklarıyla birlikte tankta elektrikli ısıtmayı sağlamak için "1" e (Açık konuma) ayarlanmıştır. Çıktılar: kaynak sıcaklığı ve debisi, yük sıcaklığı ve debisi, ısı kayıpları, yükün enerji miktarı ve yardımcı ısıtma miktarıdır.

**Çizelge 3. 1.** Evsel su tank parametreleri

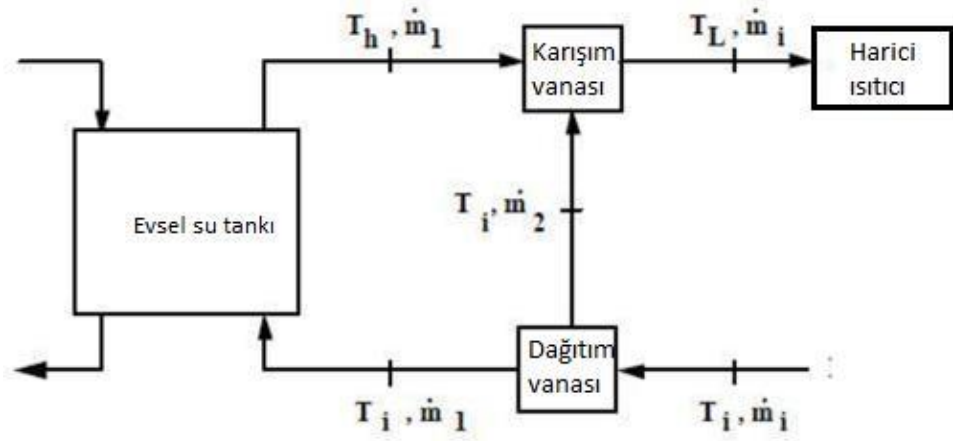
PARAMETRE	DEĞER	BİRİM
Tank hacmi	0,35	m <sup>3</sup>
Akışkan özgül ısısı	4,19	kJ/kg.K
Akışkan yoğunluğu	1000	kg/m <sup>3</sup>
Tank kayıp katsayısı	3	kJ/kg.m <sup>2</sup> .K
Tank yüksekliği	1,2	m
Tank bölme sayısı	10	adet
Tank ısıtıcı sayısı	2	adet
Ana ısıtıcı konumu	2	-
Ana ısıtıcı kapasitesi	2	kW
Ana ısıtıcı ayar noktası sıcaklığı	55	°C
Ana ısıtıcı ölü bant sıcaklığı	5	°C
Yardımcı ısıtıcı konumu	8	-
Yardımcı ısıtıcı kapasitesi	2	kW
Yardımcı ısıtıcı ayar noktası sıcaklığı	30	°C
Yardımcı ısıtıcı ölü bant sıcaklığı	5	°C

**Çizelge 3. 2.** Yardımcı tank Parametreleri

PARAMETRE	DEĞER	BİRİM
Tank hacmi	0.5	m <sup>3</sup>
Akışkan özgül ısısı	3,29	kJ/kg.K
Akışkan yoğunluğu	1000	kg/m <sup>3</sup>
Tank kayıp katsayısı	3	kJ/kg.m <sup>2</sup> .K
Tank yüksekliği	1,2	m
Tank bölme sayısı	10	adet
Tank ısıtıcı sayısı	2	adet
Ana ısıtıcı konumu	2	-
Ana ısıtıcı kapasitesi	2	kW
Ana ısıtıcı ayar noktası sıcaklığı	-5	°C
Ana ısıtıcı ölü bant sıcaklığı	5	°C
Yardımcı ısıtıcı konumu	8	-
Yardımcı ısıtıcı kapasitesi	2	kW
Yardımcı ısıtıcı ayar noktası sıcaklığı	-10	°C
Yardımcı ısıtıcı ölü bant sıcaklığı	5	°C

### 3.2.3. Vanalar

Modellenmiş sistemlerin tümünde kullanılan dağıtım vanası, su çekimi sırasında evsel su tankının üstündeki suyun sıcaklığı ayar noktası sıcaklığının üzerine çıkmadığından emin olmak için gereklidir. Sıcak su, tankın en üst katmanından çekildiğinde, eksilen hacim kadar soğuk su tankın alt kısmına şebeke suyundan tedarik edilmektedir. Eğer evsel su tankının üst kısmından çekilen suyun sıcaklığı, istenilen ayar noktası sıcaklığının üzerinde ise, dağıtım vanası şebeke suyunun bir kısmını karışım vanasına gönderip sıcak kullanım suyu ile karıştırarak ayar noktası sıcaklık derecesine kadar soğutur. Evsel su tankının üstündeki sıcaklık istenilen su sıcaklığının altında ise, kullanım suyunu istenilen ayar sıcaklığına getirmek için karışım vanasından sonra yaklaşık 2 kW kapasiteli bir harici elektrikli ısıtıcı yerleştirilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3. 4. Dağıtım vanası ve karışım vanası konumu

### 3.2.4. Harici Yardımcı Isıtıcı

Isıtıcı; kontrol sinyali ( $\gamma$ ) 1' e eşit olduğunda ve istenilen ayar noktası ( $T_{set}$ ) sıcaklığından daha düşük olduğunda, kullanım suyunu ayar noktası sıcaklığına getirmek için, kullanıcı tarafından tanımlanan maksimum ısıtıcı kapasitesine ( $Q_{max}$ ) eşit veya ondan daha az oranda ısı ilave etmek amacıyla devreye girer.

Eğer  $T_i \geq T_{set}$  olursa ısıtıcı devreye girmez. ( $\gamma = 0$ )

Isıtıcının enerji dengesi aşağıdaki denklemlere göre hesaplanır:

Isıtıcıdaki çıkış akışkan sıcaklığı Denklem 3.6' ya göre hesaplanmaktadır.

$$T_{out} = \frac{C_{min}(T_{in} + T_{out}) + C_{max}(T_{in} - T_{out})}{C_{min} + C_{max}} \quad (3.6)$$

Isıtıcı verimliliği  $\epsilon = \frac{T_{out} - T_{in}}{T_{max} - T_{in}}$  olduğu durumlarda akışkana aktarılan ısı miktarı Denklem 3.7' ye göre hesaplanmaktadır:

$$Q = C_{min}(T_{out} - T_{in}) \quad (3.7)$$

Ortalama akışkan sıcaklığı:

$$T_{avg} = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \quad (3.8)$$

Isıtıcı kaybı:

$$Q_{loss} = C_{min}(T_{in} - T_{out}) \cdot (1 - \epsilon) \quad (3.9)$$

Burada;  $\epsilon = \frac{T_{out} - T_{in}}{T_{max} - T_{in}}$  olur ve aşağıdaki denklemden hesaplanır.

$$\epsilon = \frac{C_{min}(T_{out} - T_{in})}{C_{min}(T_{max} - T_{in})} \quad (3.10)$$

Çizelge 3.3' te görüldüğü gibi bu çalışmada, harici ısıtıcı ile ilgili hiçbir kayıp olmadığı ve ısıtıcı verimliliğinin 1 olduğu varsayılmıştır.

**Çizelge 3. 3.** Harici ısıtıcı parametreleri

PARAMETRE	DEĞER	BİRİM
Maksimum ısıtıcı kapasitesi	2	kW
Akışkan özgül ısısı	4,19	kJ/kg.K
Toplam kayıp katsayısı	0	kJ/h.K
Harici ısıtıcı verimliliği	1	-



Harici ısıtıcının beş girdisi ve beş çıktısı vardır. Girdiler: akışkan giriş sıcaklığı ve debisi, kontrol sinyali, ayar noktası sıcaklığı ( $T_{set}$ ) ve çevre sıcaklığıdır ( $T_{env}$ ). Tüm sistemler için ayar noktası sıcaklığı  $55^{\circ}\text{C}$  ve kontrol sinyali 1 (Açık) olarak ayarlanmıştır. Tankın üstünden çekilen su sıcaklığı  $55^{\circ}\text{C}$ ' nin altındaysa harici ısıtıcı devreye girer. Eğer  $55^{\circ}\text{C}$ ' nin üzerinde ise, harici ısıtıcı kapanır. Kayıpların sıfır olduğu varsayılmıştır, bu nedenle çevreye olan ısı kaybı yoktur. Çıktılar: akışkan çıkış sıcaklığı ve debisi, harici ısıtıcı tarafından suya verilen ısı miktarı ( $Q_{aux}$ ), harici ısıtıcıdan olan kayıplar ve akışkana aktarılan ısı miktarıdır ( $Q_{fluid}$ ).

### 3.2.5. Pompalar

Bu pompa bileşeni, 0 ile 1 arasında olması gereken değişken kontrol sinyalini ve kullanıcı tarafından tanımlanan maksimum debiyi esas alarak bir kütleli debi hesaplar. Pompa güç tüketimi; ya kütleli debinin doğrusal bir fonksiyonu olarak ya da kütleli debi ile güç tüketimi arasındaki kullanıcı tanımlı bir ilişki ile hesaplanabilir.

Birçok sistemde sürekli akış modülasyonu yoktur ve kontrol sinyali ya 0 ya da 1' dir. Bu durumda, çıkış debisi ve kullanılan güç ya sıfırdır ya da ikisi de maksimum değerdedir.

Çıkış sıcaklığı Denklem 3.11' e göre hesaplanmaktadır:

$$= + \frac{\dots}{\dots} \quad (3.11)$$

Burada  $f$  dönüşüm katsayısı olup, pompa gücünün ısı enerjisiye dönüşen miktarını ifade eden bir parametredir.

Çıkış kütleli debinin sadeleştirilmiş hali Denklem 3.12' deki gibidir:

$$= \dots \quad (3.12)$$

Pompanın tükettiği güç aşağıdaki denkleme göre hesaplanır.

$$= \dots \quad (3.13)$$

Güneş döngüsü olan sistemlerde tanklardan suyu ve glikol karışımını sirküle etmek için sabit hızlı pompalar kullanılmıştır. Pompalar, çalışma sırasında 60 kJ/h elektrik enerjisi

tüketerek, debisi 100 kg/h olan akışkan dolaştırmışlardır. Bu tez için düşünülen sistemler için, pompalar çalışma esnasında sabit bir debi sağlamak için her zaman %100 güç ile çalıştırılmıştır. Bu parametreler Çizelge 3.4' te verilmektedir.

**Çizelge 3. 4.** Sirkülasyon pompa parametreleri

PARAMETRE	DEĞER	BİRİM
Max. debi	100	kg/h
Akışkan özgül ısısı	3,29	kJ/kg.K
Max. güç	60	kJ/h
Dönüşüm katsayısı	0,05	-
Güç katsayısı	1	-

Pompa bileşeni, üç girdi ve üç çıktıya sahiptir. Girdiler: akışkan giriş sıcaklığı, debisi ve kontrol sinylidir. Çıktılar: akışkan çıkış sıcaklığı, debisi ve güç tüketimidir.

### 3.2.6. Düz Plakalı Güneş Kolektörü

Bu bileşen çeşitli kolektör türlerinin ısı performansını modeller. Kolektörler bir dizi şeklinde, seri ve paralel bağlanmış olabilirler. Bir kolektör dizisinin ısı performansı, seri haldeki modül sayısına ve her modülün özelliklerine göre belirlenir. Kullanıcı, akışkan sıcaklığı ile ortam sıcaklığı farkının güneş radyasyonuna oranına ( $\Delta T / I_T$ ) karşı standart verim testlerinden elde edilen sonuçları elde etmelidir. Güneş enerjisi ısı kolektör verimliliği, Hottel-Whillier denkleminde elde edilebilir (Duffie ve Beckman 1991).

$$\frac{\Delta T}{I_T} = \frac{(\Delta T)}{I_T} \cdot \frac{(\Delta T)^2}{I_T^2} \quad (3.14)$$

Denklemin 3.14 aşağıdaki gibi yeniden yazılıp düzenlendiğinde aşağıdaki denklem elde edilir: Denklem 3.15 'de  $\Delta T$ ,  $(T_i - T_a)$  'e eşittir.

$$= 0 \quad - 1 \quad \cdot \frac{(\Delta T)}{I_T} - 2 \quad \cdot \frac{(\Delta T)^2}{I_T^2} \quad (3.15)$$

Bu denklem genel güneş enerjisi kolektörü ısı verimlilik denklemidir. Isıl verimlilik üç parametre ile tanımlanır:  $a_0$ ,  $a_1$  ve  $a_2$ . Bu üç parametre, ASHRAE standartlarına göre test edilen ve SRCC (Güneş Enerjisi Derecelendirme ve Sertifika Kuruluşu) tarafından derecelendirilen kolektörler için geçerlidir. (SRCC 1995)

Güneş destekli sistemlerde, düz plakalı geliş açısı düzenleyici (IAM) güneş kolektörü kullanılmıştır. Kolektördeki IAM değeri (geliş açısı düzenleyici), modelin her zaman adımında emilen yararlı güneş enerjisi miktarını belirlemesine yardımcı olur. Kullanılan IAM korelasyonu Denklem 3.17' de verilmiştir. (ASHRAE 2003)

$$\frac{I_{u, IAM}}{I_u} = 1 - 0.0015 \left( \frac{I_u}{I_{u, IAM}} - 1 \right) - 0.0015 \left( \frac{I_u}{I_{u, IAM}} - 1 \right)^2 \quad (3.16)$$

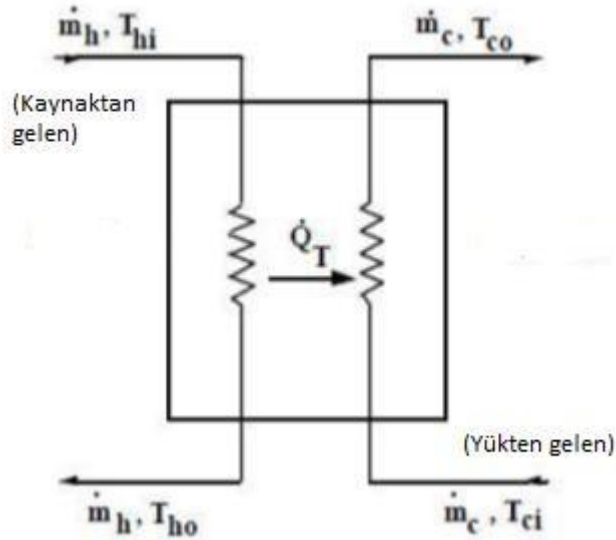
TRNSYS düz plakalı güneş kolektör modülünde, parametreler menüsünde kolektörlerin alanını, yönü, eğimi ve kolektör boyunca dolaştırılan çalışma akışkanının özgül ısısı kullanıcı tarafından girilmektedir (Çizelge 3.5). Bu çalışmada kolektör alanı  $4 \text{ m}^2$  olan, eğim açısı  $45^\circ$  ve azimutu  $0^\circ$  olup güneye konumlandırılan düz plakalı bir adet güneş kolektörü seçilmiştir. Kolektörde dolaşan akışkan glikol-su karışımı olup, özgül ısısı  $3,29 \text{ kJ/k.K}$ ' dir (Anonim 2017). Kullanılan kolektörün sekiz girdisi mevcuttur. Bunlar; giriş sıcaklığı, giriş debisi, ortam sıcaklığı, gelen radyasyon, toplam yatay radyasyon, yatay yayılmış radyasyon, geliş açısı ve kolektör eğimidir. Çıktılar: çıkış sıcaklığı, çıkış debisi ve faydalı enerji kazancıdır.

**Çizelge 3. 5.** Güneş kolektörü parametreleri

PARAMETRE	DEĞER	BİRİM
Kolektör adedi	1	-
Kolektör alanı	4	m <sup>2</sup>
Akışkan özgül ısısı	3,29	kJ/kg.K
Test edilen debi	40	kg/h.m <sup>2</sup>
Kolektör verimliliğinin y-kesiti(ao)	0,8	-
Verimlilik eğimi	13	kJ/h.m <sup>2</sup> .K
Verimlilik eğrisi	0,05	kJ/h.m <sup>2</sup> .K <sup>2</sup>
1. derece IAM katsayısı (bo)	0,2	-
2. dereceden IAM katsayısı (b1)	0	-

### 3.2.7. Isı Eşanjörü

Toplanan güneş enerjisini, kullanım suyuna aktarmak için, bir çapraz akışlı ısı eşanjörü kullanılmıştır. Eşanjörün güneş döngüsü tarafında (kaynak) soğuk kış günlerinde donma riskine karşı su-glikol karışımı kullanılmıştır. Isı eşanjörünün şeması Şekil 3.5' te gösterilmiştir. Isı eşanjörünün sıcak taraf (kaynak) ve soğuk taraf (yük) ısı hesaplamaları aşağıdaki dört denkleme göre hesaplanır.



**Şekil 3. 5.** TRNSYS ısı eşanjör modeli (Anonim 2006)

Soğuk taraftaki suyun ısı kapasitesi denklem (3.17) ile hesaplanırken,

$$C_c = \dot{m}_c \cdot c_p \cdot (T_{c2} - T_{c1}) \quad (3.17)$$

Sıcak taraftaki karışımın ısı kapasitesi ise (3.18) nolu denklemle hesaplanır.

$$C_h = \dot{m}_h \cdot c_p \cdot (T_{h1} - T_{h2}) \quad (3.18)$$

$C_{max} = C_h$  ve  $C_c$ 'nin maksimum değerine eşittir.

$C_{min} = C_h$  ve  $C_c$ 'nin minimum değerine eşittir.

Çapraz akışlı ısı eşanjörü etkinliği aşağıdaki Denklem 3.19' ye göre hesaplanır:

$$\epsilon = \frac{1 - \exp(-NTU(1 - R))}{1 - R \exp(-NTU(1 - R))} \quad (3.19)$$

Çapraz akışlı ısı eşanjörünün beş girdisi ve altı çıktısı vardır. Girdiler: kaynak giriş sıcaklığı ve debisi, yük giriş sıcaklığı ve debisi ve eşanjörün toplam ısı transfer katsayısıdır. Çıktılar: kaynak çıkış sıcaklığı ve debisi, yük çıkış sıcaklığı ve debisi, ısı transfer oranı ve ısı eşanjörü etkinliğidir. Ayrıca, kaynak ve yük tarafındaki akışkanların özgül ısıları eşanjörün ekran menüsünün parametreler bölümüne girilmektedir. Analiz edilen sistemler için kaynak tarafı % 50-50 glikol-su karışımını (özgül ısı 3,29 kJ/kg·K), yük tarafı saf suyu (özgül ısı 4,19 kJ/kg·K) temsil etmiştir (Anonim 2017d).

### 3.2.8. Hava Veri Okuyucu

Bu modül kullanıcı tarafından belirlenen bir veri dosyasından düzenli aralıklarla meteorolojik verileri okumak ve bilgileri sisteme aktarmak için kullanılmaktadır. Bu çalışmada İzmir, Çiğli için alınan meteorolojik veriler güneş kolektörü için kullanılmıştır. Veri okuyucu, meteoroloji bilgilerini istenen birim sistemine dönüştürür ve her zaman adımı için radyasyon değerlerini belirlemektedir.

Hava veri okuyucunun üç girdisi ve yirmiden fazla çıktısı mevcuttur. Girdiler: zemin yansımaları, yüzey eğimi ve yüzey azimut açısıdır. Zemin yansımaları, güneş radyasyonunun ne kadarının kolektör etrafındaki zeminden yansıtılacağını belirlemek için matematiksel model tarafından kullanılmıştır. Karla kaplı olmayan ve analiz edilen

iki güneş yardımcı sistem için kullanılan zeminlerde, 0,2 (% 20) bir yansımaya katsayısı değeri kullanılmıştır. Çıktılar: Ortam sıcaklığı, eğimli yüzey üzerindeki toplam radyasyon, yatayda toplam radyasyon, yatayda dağınık gökyüzü radyasyonu, eğimli yüzey için geliş açısı ve eğik yüzey eğimidir.

### 3.2.9. Sudan Suyu Isı Pompası

Bu model için seçilen ısı pompasına ait performans değerlerini içeren, harici olarak girilen bir veri dosyası gerekmektedir. Bu veri dosyası, kullanıcı tarafından belirlenen, giriş yük ve kaynak sıcaklıklarının çeşitli kombinasyonlarında ısı pompasının kapasitesi ve güç tüketimi için katalog verilerinden oluşmaktadır. Basitçe ısı pompası bileşeni giriş yük ve giriş kaynak sıcaklıklarını okumak, bu durum için kapasite ve güç tüketimini belirlemek için harici dosyayı kullanır. Isı pompası için COP değeri denklem 3.20 ile hesaplanır:

$$= \frac{Q_{\text{ısı pompası tarafından çekilen ısı miktarı}}}{P_{\text{ısı pompası tarafından tüketilen güç miktarı}}} \quad (3.20)$$

Isı pompası tarafından çekilen ısı miktarı  $Q_{\text{ısı pompası tarafından çekilen ısı miktarı}}$  denklem (3.21) ile hesaplanır:

$$= \dots \quad (3.21)$$

Burada;  $Q_{\text{ısı pompası tarafından çekilen ısı miktarı}}$  yük kapasitesi yani ısı pompası tarafından atılan ısı miktarını,  $P_{\text{ısı pompası tarafından tüketilen güç miktarı}}$  ise ısı pompası tarafından tüketilen güç miktarını ifade etmektedir.

Kaynak tarafı (source) ve yük tarafı (load) çıkış sıcaklığı aşağıda belirtilen denklemlerle hesaplanmaktadır:

$$\dots \quad (3.22)$$

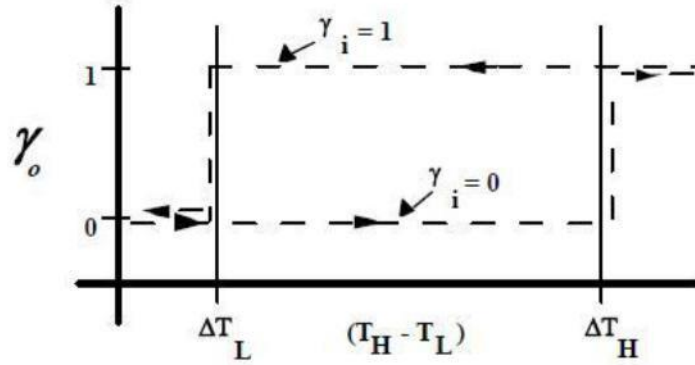
$$\dots \quad (3.23)$$

Bu bileşen için kullanılan girdiler: giriş kaynağı sıcaklığı ve debisi, giriş yük sıcaklığı ve debisi, ısıtma kontrol sinyalidir. Çıktılar ise, çıkış kaynağı sıcaklığı, kaynak debisi, çıkış yük sıcaklığı, yük debisi, kaynaktan ısı transferi, ısı pompası gücü ve performans katsayısıdır (COP).

### 3.2.10. Diferansiyel Kontrol Elemanı

Diferansiyel kontrol elemanı, güneş enerjili sistemlerinin çalışmasını kontrol etmek için kullanılan ana bileşendir. Bu bileşen, ya 0 (kapalı) ya da 1 (açık) olan bir çıkış kontrol fonksiyonu ( $\gamma_o$ ) oluşturmaktadır. Kontrol fonksiyonunun değeri; iki ölü bant sıcaklık farkı olan  $\Delta T_H$  ve  $\Delta T_L$  ile belirtilen üst ve alt sıcaklıklar olan  $T_H$  ve  $T_L$  arasındaki fark ile karşılaştırılarak belirlenir. Bir sonraki zaman adımı için çıkış kontrol fonksiyonu ( $\gamma_o$ ), giriş kontrol fonksiyonu ( $\gamma_i$ ) olarak kullanılır, çünkü çıkış kontrol fonksiyonunun ( $\gamma_o$ ) yeni değeri Şekil 3.6' da gösterilen kontrol elemanının bir önceki değerine bağlıdır.

(Anonim 2006)



Şekil 3. 6. TRNSYS diferansiyel kontrol

Eğer kontrol elemanı açıksa ( $\gamma_i=1$ ); alt ölü bant sıcaklığı  $\Delta T_L$ , alt ve üst giriş sıcaklığı arasındaki fark ( $T_H-T_L$ ) ile karşılaştırılır. Sıcaklık farkı alt ölü bant sıcaklığı altına düşene kadar kontrol elemanı açık kalmaya devam edecektir. Benzer olarak; zaman adımında kontrol elemanı kapalıysa ( $\gamma_i=0$ ), üst ölü bant sıcaklığı  $\Delta T_H$ , alt ve üst giriş sıcaklığı arasındaki fark ile karşılaştırılır. Sıcaklık farkı üst ölü bant değerinden daha büyük olana kadar kontrol elemanı devre dışı kalacaktır.

Güvenlik nedenleriyle, bir yüksek limit kesme sıcaklığı da tanımlanır. Bu değer ekran menüsünde parametre sekmesinde kullanıcı tarafından ayarlanır. Ölü bant sıcaklık koşulları her ne olursa olsun, izleme sıcaklığı yüksek limit kesme sıcaklığını aşarsa kontrol fonksiyonu devre dışı kalacaktır.

Pompalar ve ısı pompasının çalışmasını bu diferansiyel kontrol elemanı aşağıda belirtilen eşitliklere göre sağlar.

*1.durum; Eğer Kontrol Elemanı Önceden Açıkça*

Eğer  $\gamma_i = 1$  ve  $T_L \leq (T_H - T_L)$ ,  $\gamma_o = 1$

Eğer  $\gamma_i = 1$  ve  $T_L > (T_H - T_L)$ ,  $\gamma_o = 0$

*2.durum; Eğer Kontrol Elemanı Önceden Kapalıysa*

Eğer  $\gamma_i = 0$  ve  $T_H \leq (T_H - T_L)$ ,  $\gamma_o = 1$

Eğer  $\gamma_i = 0$  ve  $T_H > (T_H - T_L)$ ,  $\gamma_o = 0$

Kontrol elemanının altı adet girdisi ve bir adet çıktısı mevcuttur. Girdiler: üst giriş sıcaklığı ( $T_H$ ), alt giriş sıcaklığı ( $T_L$ ), sıcaklık izleme, giriş kontrol fonksiyonu ( $\gamma_i$ ), üst ölü bant ( $\Delta T_H$ ) ve alt ölü bant ( $\Delta T_L$ ) değerleridir. Çıktı ise sadece kontrol fonksiyonudur ( $\gamma_o$ ).

### **3.2.11. Grafik Çıktısı**

Simülasyon boyunca seçilen sistem değişkenlerini görüntülemek için kullanılmaktadır (Anonim 2006). Çok kullanışlı bir modüldür. Çünkü kullanıcının sistemden beklediği sonuçlar grafik olarak sağlanmaktadır. Simülasyon işlemi başladıktan sonra, grafik çıktısında belirtilen değişkenler, ekranda ayrı bir pencerede gösterilebilir. Örneğin, toplam zaman periyodunun belirli bir zaman bölümü için simülasyon sonuçlarını incelemek mümkündür. Kullanıcı, grafiğin sol ve sağ eksenini tanımlayan değişken sayısını belirleyebilir.



### 3.2.12. Yazıcı

Sistemin ayrıntılı simülasyon sonuçlarının çıkarılması için kullanılan ana bileşen yazıcıdır. Bu modülden alınan veriler bir Excel dosyasına aktarılarak çözüm aşamaları takip edilebilir.

### 3.2.13. İşlemci

İşlemci, yazıcı ile kombinasyon halinde çalışır. İşlemci Denklem 3.24' ü kullanarak tüm simülasyon periyodu boyunca tanımlanan zamana bağlı değişen verileri (enerji miktarları ve tüketimleri) entegre eder ve çıktı sonuçlarını daha sonra analiz için yazıcıya gönderir.

$$=f \quad (3.24)$$

Kullanıcı tarafından işlemcinin hesaplayacağı girdi sayısı belirlenir ve eşit miktarda çıktı üretilir. İşlemci tanımlanan değişkeni ( $X_i$ ) belirlenen zaman periyodu boyunca integre ederek çözümlene yapar ve zaman periyodu (saatlik, günlük, haftalık vb.) sonundaki toplam değeri ( $Y_i$ ) hesaplar. Zaman periyodu kullanıcı tarafından belirlenen zaman adımlarına bölünerek istenilen hassasiyette çözümlene elde edilebilir.

## 3.3. Su Isıtma Sistemlerinin TRNSYS Programında Modellenmesi

İzmir, Çiğli şartlarındaki modellenen dört sistem, yıllık operasyon boyunca (8760 saat) performanslarını gözlemlemek üzere analiz edilmiştir. Daha hassas sonuçlar elde etmek için simülasyon zaman adımı 0,015 saat (54 sn) olarak ayarlanmıştır. Tüm sistemlerde su çekim kontrol elemanı kullanılıp daha önce bahsedildiği gibi gün içerisinde dört ayrı zamanda on beş dakikalık 600 lt/h debide su çekimi için evsel su tankından 55°C sıcaklıkta kullanım suyu elde edilmesi hedeflenmiştir.

Güneş döngüsü olan sistemlerde, alanı 4 m<sup>2</sup>, eğim açısı 45° ve azimut açısı 0° olan güneşe konumlandırılan düz plakalı bir adet güneş kolektörü seçilmiştir. Pompa debisi 100 kg/h ve pompa gücü 60 kJ/h olarak seçilmiştir. Pompalar çalışma esnasında sabit bir akış oranı sağlamak için her zaman %100 güç ile çalıştığı kabul edilmiştir.

Her sistemde kullanılan evsel su tankı 350 L hacminde ve 1,2 m boyunda olup ısı tabakalaşmayı sağlamak için on eşit katmana bölünmüştür. Yük gereksinimlerini sağlamak için tüm sistemlerde evsel su tankına 2 kW'lık iki adet yardımcı ısıtıcı yerleştirilmiştir. Ana ısıtıcı ve termostat ikinci katmana, yardımcı ısıtıcı ve termostatı sekizinci katmana konumlandırılmıştır. Bazı sistemlerde bu ısıtıcılar çalışmayıp, enerji tedarik etmek için yedek olarak bulundurulmaktadır.

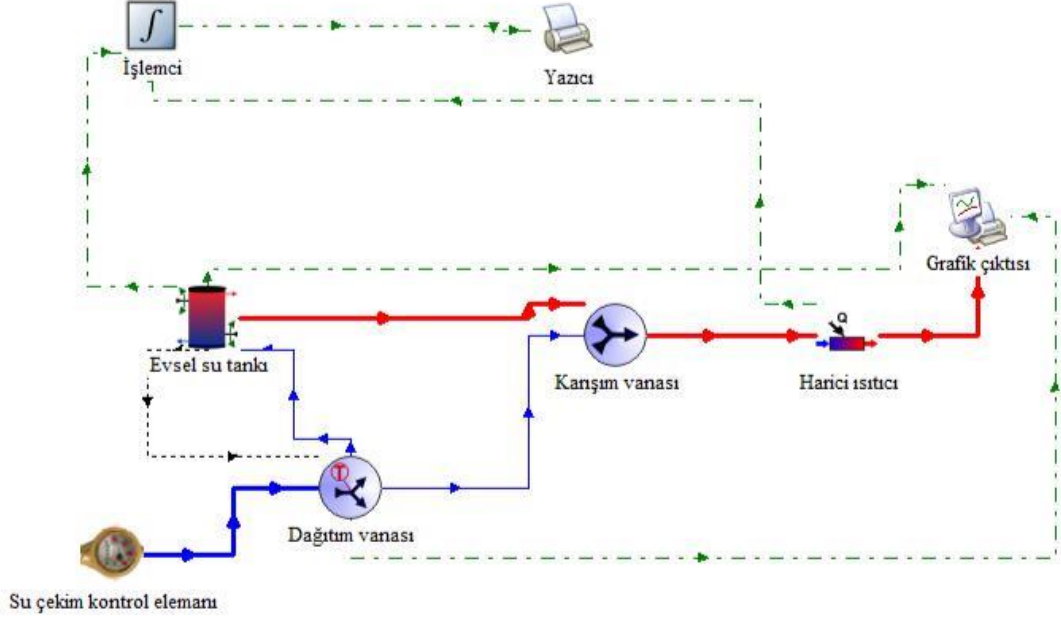
Tüm sistemlerde bulunan dağıtım vanası evsel su tankından eksilen hacmi tamamlamaktadır. Ayrıca evsel su tankından ayar noktası sıcaklığından daha yüksek sıcaklıkta su geldiğinde, dağıtım vanası şebekeden çektiği suyu (15°C), soğutmak için karışım vanasına göndermektedir. Kullanım suyu ayar noktası sıcaklığından daha düşük elde edildiği takdirde, istenilen kullanım suyu sıcaklığını elde etmek için karışım vanasından sonra ilave bir harici ısıtıcı (2 kW) eklenmiştir. Bu harici ısıtıcıların kayıplarının olmadığı varsayılmıştır.

Tüm TRNSYS modellerinde; düz çizgiler akışkanın güzergâhını, kesikli ve noktalı çizgiler ise ana bileşenleri otomasyon, işlemci, yazıcı ve grafik çıktısı gibi diğer bileşenlere bağlamak için kullanılmıştır.

### **3.3.1. Elektrik Kullanılan Su Isıtma Sistemi Modeli**

İncelenen ilk temel sistem elektrikli evsel sıcak su sistemidir. Su çekimlerinin yanı sıra sistemin sahip olduğu tek dış etkileşim çevreye olan ısı kayıplardır. Bu sistem Şekil 3.7' de gösterildiği gibi evsel su tankı, su çekim kontrol elemanı, dağıtım vanası, karışım vanası ve harici ısıtıcıdan oluşmaktadır. İşlemci, yazıcı ve grafik çıktısı bileşenleri sistemin performansını analiz etmek ve simülasyon sonuçlarını grafik ve tablo olarak görüntülemek amaçlı kullanılmıştır. Yük gereksinimlerini karşılamak için evsel su tankının 2. ve 8. katmanlara sırasıyla ana ve yardımcı ısıtıcı olmak üzere iki adet (2 kW'lık) dahili ısıtıcılar yerleştirilmiştir. Evsel su tankındaki ana ısıtıcının ayar noktası sıcaklığı 55°C ve ölü bant sıcaklığı 5°C, yardımcı ısıtıcının ayar noktası sıcaklığı 30°C ve ölü bant sıcaklığı 5°C olarak ayarlanmıştır. Evsel su tankındaki ana ısıtıcı, 2. katmandaki su sıcaklığı 50°C'e ve altına düştüğünde devreye girmekte ve suyun sıcaklığı 55°C oluncaya kadar devrede kalmaktadır. 8. katmanda bulunan yardımcı ısıtıcı ise bu katmandaki su sıcaklığı 25°C'e düştüğünde devreye girmektedir.

Ana ısıtıcının devreye girmesi için şartlar oluşmadan, yardımcı ısıtıcı devreye girmemektedir.

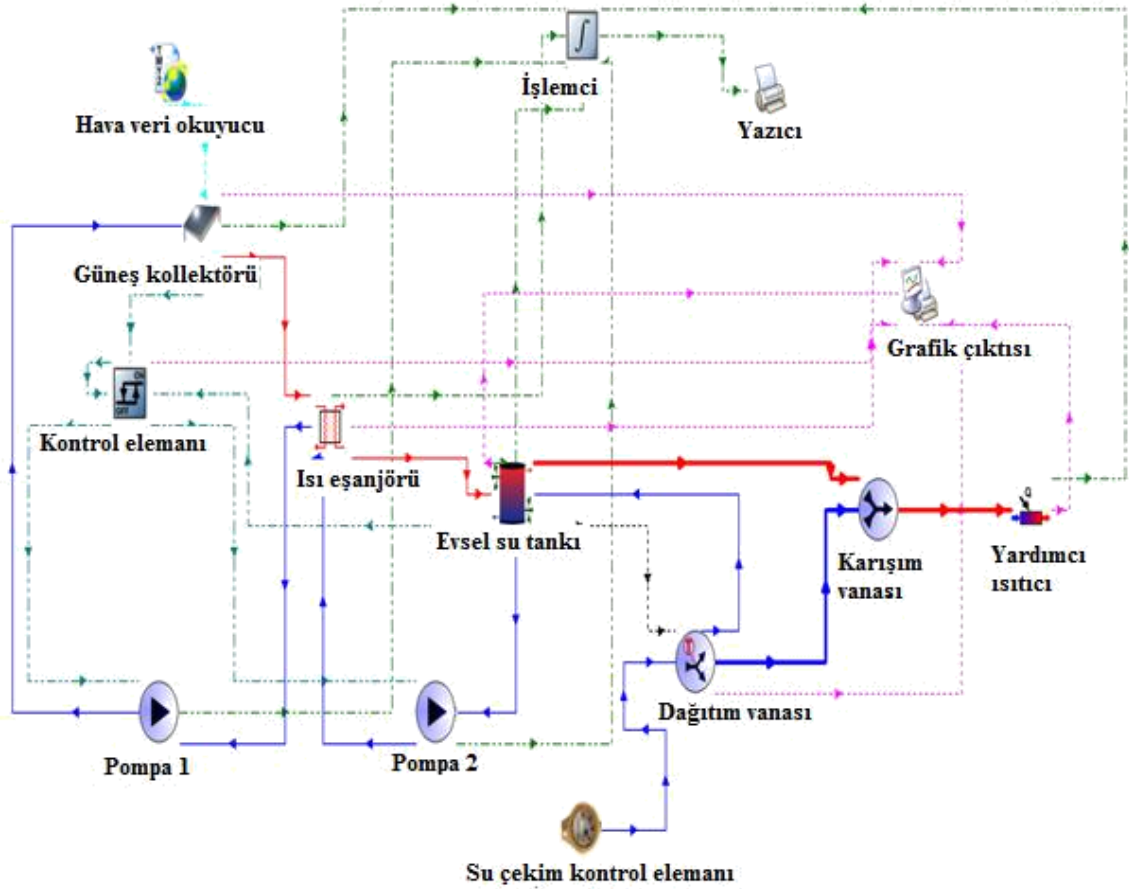


Şekil 3. 7. EDHW sisteminin TRNSYS modeli

### 3.3.2. Geleneksel Güneş Enerjisi Kullanılan Su Isıtma Sistem Modeli

Güneş enerjisinden yararlanan bu sistem; Şekil 3.8' de gösterildiği gibi düz plakalı bir güneş kolektöründen, güneş ve hava verilerini okumak için bir veri okuyucudan, bir sirkülasyon pompasından, güneşten gelen enerjiyi evsel su tankı tarafına aktarmak için bir ısı eşanjöründen, ısı eşanjörüyle evsel su tankı arasında ısı alışverişini sağlayan ikinci bir sirkülasyon pompasından oluşmaktadır. Ayrıca güneş döngüsü otomasyonu için bir kontrol elemanı da mevcuttur.

Bu sistemde sıcak su taleplerini karşılamak için öncelikle güneş enerjisi kullanılmıştır. Güneş enerjisinin yeterli olmadığı özellikle kış aylarında, evsel su tankı içerisine 2. ve 8. katmanlara yerleştirilen 2 adet 2 kW' lık elektrikli ısıtıcılar devreye girmiştir. Ayrıca soğuk günlerde donmayı önlemek için güneş döngüsünde glikol-su karışımı dolaştırılmıştır.



Şekil 3. 8. SDHW sisteminin TRNSYS modeli

EDHW sistemin aksine, güneş enerjisinin fazla olduğu zamanlarda evsel su tankında istenilen  $55^{\circ}\text{C}$  sıcaklıktan daha yüksek sıcaklıklarda su depo edilmiştir. Çünkü mevcut bir enerji olan güneş enerjisini depolayıp ihtiyaç halinde kullanmak enerji tasarrufu sağlamıştır. Enerjiyi depolamak güneş olmadığı zamanlarda ısıtıcıların yükünü hafifletmiştir. Bu yüksek sıcaklıktaki suyun depolanmasından dolayı dağıtım vanası kullanım suyunu soğutmak amaçlı sıklıkla devreye girmiştir. Bu sistemde de evsel su tankı içindeki ısıtıcılar 2. ve 8. katmana konumlandırılıp ayar noktası sıcaklıkları, ölü bant sıcaklıkları ve çalışma mantıkları EDHW sistemi ile aynıdır.

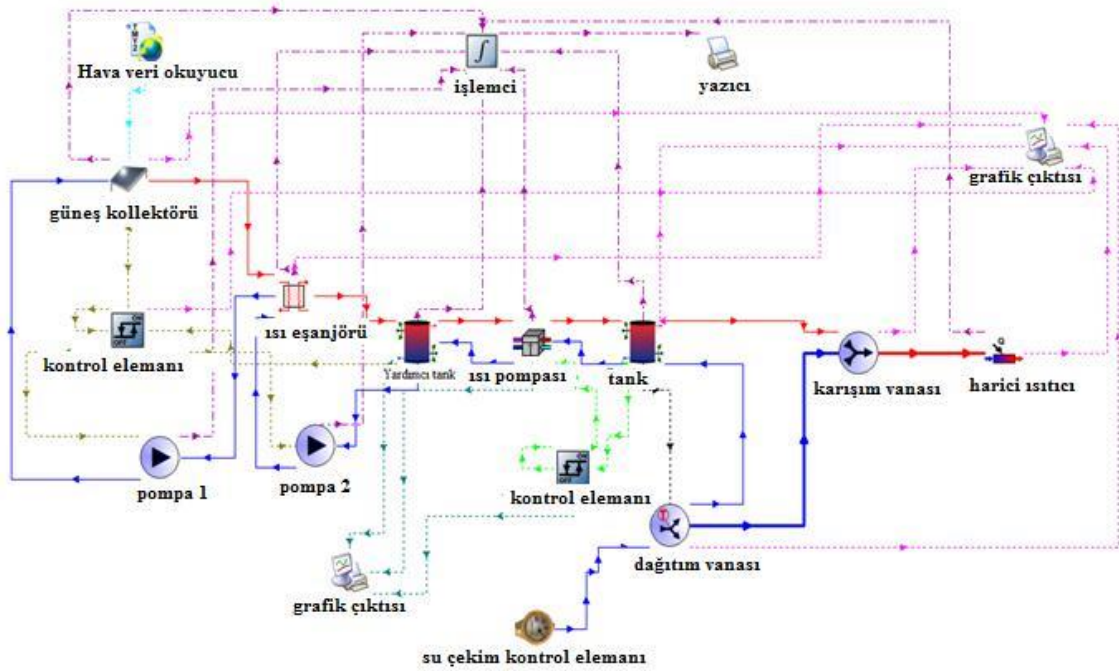
Güneş döngüsü otomasyonu için bir diferansiyel kontrol elemanı kullanılmıştır. Bu bileşenin, ya 0 (kapalı) ya da 1 (açık) olan bir çıkış kontrol fonksiyonu ( $\gamma_o$ ) oluşturmak için üst-alt ölü bant sıcaklıkları ve yüksek limit kesme sıcaklığı tanımlandığından daha önceki bölümlerde bahsedilmiştir. Bu sistemde üst ölü bant sıcaklığı ( $\Delta T_H$ )  $5^{\circ}\text{C}$  ve alt

ölü bant sıcaklığı ( $\Delta T_L$ )  $2^\circ\text{C}$  olarak belirlenmiştir. Kontrol elemanı toplanacak güneş enerjisinin olup olmadığını belirlemek için evsel su tankının altındaki soğuk su sıcaklığını ( $T_L$ ) ve güneş kolektörünün çıkış sıcaklığını ( $T_H$ ) gözlemleyerek ikisi arasındaki farka ( $T_H - T_L$ ) bakmıştır. Kolektör çıkışındaki glikol-su karışım sıcaklığı ile tankın altındaki suyun sıcaklığı arasındaki fark  $5^\circ\text{C}$  veya  $5^\circ\text{C}'$  den fazla olduğunda, bu güneş enerjisini toplamak için pompalar devreye girmektedir. Sistem, bu sıcaklık farkı

$2^\circ\text{C}'$  nin altına düşene kadar çalışmaya devam etmiştir. Kontrol elemanı aynı zamanda, evsel su tankının üst kısmındaki suyun sıcaklığını izleyerek, yüksek limit kesme sıcaklığını kullanarak fazla ısınmamasını sağlamıştır. Bu sıcaklık  $90^\circ\text{C}$  olarak belirlenmiştir. Böylece çalışma sırasında bu sıcaklığa ulaşıldığında, pompalar durup tanktaki suyun kaynaması önlenmiştir.

### 3.3.3. Isı Pompası Destekli Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemi Modeli

Bu sistem geleneksel güneş enerjili sisteme, enerji depolamak amaçlı yardımcı bir tank ve bir sudan suya ısı pompası eklenerek oluşturulmuştur. Sistemin TRNSYS modeli Şekil 3.9' da görülmektedir.



Şekil 3. 9. Çift tanklı HP\_SDHW sisteminin TRNSYS modeli

Bu sistemde güneş döngüsü tarafı, SDHW sistemi ile benzer şekilde çalışmakta olup, evsel su tankı yerine yardımcı tanka bağlanıp ısı depolama yapılmıştır. Ayrıca, evsel su tankından farklı olarak, yardımcı tankın nispeten yüksek ısı kapasiteye ihtiyacı olduğu göz önüne alınarak 500 L olarak boyutlandırılmıştır. Bu sistemde evsel su tankı enerji ihtiyacı, içerisindeki yardımcı ısıtıcılar yerine ısı pompası kullanılarak yardımcı tanktan sağlanmıştır.

Sistemdeki her iki tank içerisinde EDHW sisteminde olduğu gibi 2 kW kapasiteli dahili ısıtıcılar mevcuttur. Evsel su tankında olduğu gibi yardımcı tankta da ısıtıcılar 2. ve 8. katmanda konumlandırılmıştır. Yardımcı tank içerisindeki ana ısıtıcı, 2. katmandaki su sıcaklığı  $-10^{\circ}\text{C}$ ' e düştüğünde devreye girmektedir. Yardımcı ısıtıcı, 8. katmandaki su sıcaklığı  $-15^{\circ}\text{C}$ ' e düştüğü zaman devreye girmektedir. Yardımcı ısıtıcının devreye girme ön koşulu, ana ısıtıcı şartlarının sağlanmasıdır. Aksi takdirde devreye girmemektedir.

TRNSYS modelinde kullanılan sudan suya ısı pompası için yük ve kaynak sıcaklıklarına göre belirlenen katalog verilerinden oluşturulan harici bir dosya gerekmektedir. Bu harici dosya ısı pompasının güç tüketiminin ve enerji miktarlarının hesaplanmasında yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada, ısı pompası harici dosyasını oluşturmak için Trane EXW 060 modeline ait katalog verileri kullanılmıştır (Anonim 2017e).

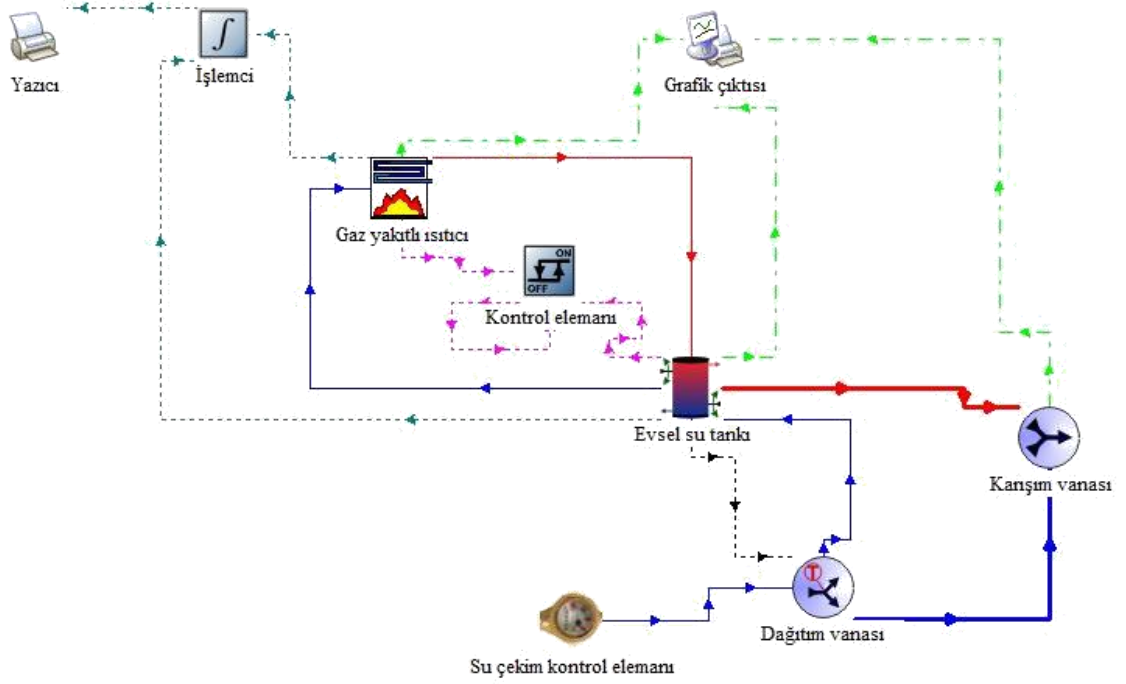
Bu sistemde yardımcı tankta depolanan güneş enerjisinin, evsel tanka aktarılması esnasında ısı pompası iki şekilde çalışmaktadır. Birincisi, yardımcı tank en üst sıcaklık değeri  $55^{\circ}\text{C}$ ' nin altındaysa ısı pompası, düşük sıcaklıktaki kaynaktan çektiği enerjiyi yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağına atma özelliğini kullanıp, devreye girerek, yardımcı tanktaki enerjiyi evsel su tankına aktarmaktadır. İkincisi, güneşin etkinliğinin yüksek olduğu yaz aylarında, yardımcı tank en üst sıcaklık değeri  $55^{\circ}\text{C}$ ' nin üzerine çıktığında ise, ısı pompası kompresörü devreden çıkarak ısı pompası bir ısı eşanjörü mantığında (by-pass döngüsü) çalışmaktadır. Harici dosyada mevcut  $55^{\circ}\text{C}$ ,  $70^{\circ}\text{C}$ ,  $89^{\circ}\text{C}$  giriş kaynak sıcaklıklarına ait veriler, ısı pompasının ısı eşanjörü mantığında çalışmasında kullanılan verilerdir. Böylece yardımcı tanktaki enerji, ısı pompası sirkülasyon pompaları yardımıyla evsel tanka by-pass edilmektedir. Bu durumda harcanan güç tüketimi azalmaktadır, çünkü enerjiyi aktarmak için sadece pompa gücü kullanılmaktadır.

Bilindiği üzere pompanın harcadığı güç, kompresörün harcadığı güce oranla oldukça düşüktür.

Kontroller, bu sistemin etkin çalışmasını sağlamak için çok önemlidir. Kontrol edilmesi gereken güneş döngüsü ve ısı pompası döngüsü olmak üzere iki ayrı döngü vardır. Bu sistemde de güneş döngüsü, geleneksel SDHW sistemindeki gibi tamamen aynı şekilde kontrol edilmiştir. Toplanan güneş enerjisi yardımcı tankta depolanmıştır. Kontrol edilen için ikinci döngü, evsel su tankına enerji sağlamak için kullanılan ısı pompasıdır. Güneş döngüsünde olduğu gibi aynı tür diferansiyel kontrol elemanı tercih edilmiştir, ancak farklı bir biçimde kullanılmıştır. Evsel su tankının üstündeki sıcaklık, kontrol ünitesi tarafından alt giriş sıcaklığı ( $T_L$ ) olarak okunmuştur ve  $55^{\circ}\text{C}$  sabit başlangıç noktası sıcaklığı, üst giriş sıcaklığı olarak kontrol ünitesine girilmiştir. Bu kontrol elemanında üst ölü bant sıcaklığı ( $\Delta T_H$ )  $3^{\circ}\text{C}$  ve alt ölü bant sıcaklığı ( $\Delta T_L$ )  $0^{\circ}\text{C}$  olarak belirlenmiştir. Böylece kontrol elemanı  $55^{\circ}\text{C}$  sıcaklık ile evsel su tankının üstündeki sıcaklık arasındaki farkı gözlemlemiştir. Yani, evsel su tankının üstündeki su sıcaklığı  $52^{\circ}\text{C}$  altına düştüğünde ve  $55^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa ısıtılana kadar ısı pompası devreye girmiştir. Bu dar sıcaklık aralığı, evsel su tankının sürekli olarak depo edilmesi için kullanılmıştır. Tank içindeki elektrikli ısıtıcıların görevini ısı pompası üstlenmesinden dolayı, bu ısıtıcılar devreye girmemişlerdir. Ayrıca evsel su tankında su sıcaklığı,  $55^{\circ}\text{C}$ ' nin üzerine çıkmadığından dolayı da, dağıtım vanası devreye girmemiştir.

#### **3.3.4. Doğalgaz Kullanılan Su Isıtma Sistemi Modeli**

Bu sistemde diğer sistemlerden farklı olarak, sıcak su taleplerini karşılamak için gaz yakıtlı bir ısıtıcı kullanılmıştır. Yakıt olarak doğal gaz kullanılmıştır. Sistemin TRNSYS modeli Şekil 3.10' da görülmektedir. Gazlı ısıtıcıda ısıtılan su evsel su tankına gönderilmektedir. Su çekiminden sonra evsel tankta sıcaklığı düşen su, bir pompa yardımıyla tekrar ısıtılmak amacıyla gaz yakıtlı ısıtıcıya geri gönderilmektedir. Pompa, gaz yakıtlı ısıtıcı modülünün içinde mevcuttur.



Şekil 3. 10. GDHW sisteminin TRNSYS modeli

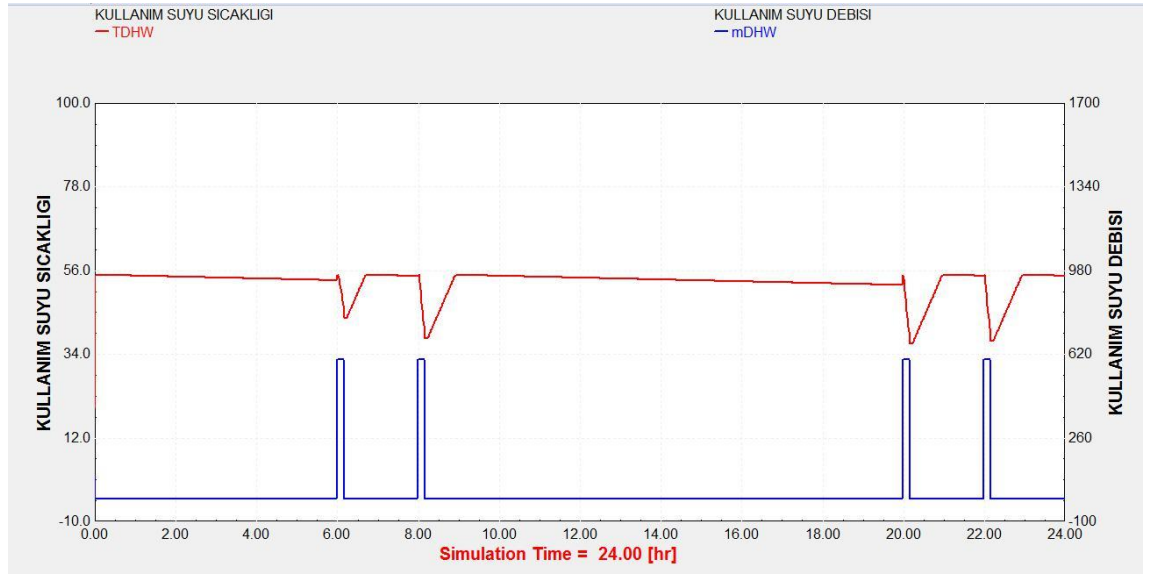
Gaz yakıtlı ısıtıcının otomasyonu için güneş döngüsünde olduğu gibi kontrol elemanı kullanılmıştır. Kontrol elemanı aracılığıyla gaz yakıtlı ısıtıcının çıkış sıcaklığını üst giriş sıcaklığı ( $\Delta T_H$ ) olarak, evsel su tankının altındaki sıcaklık alt giriş sıcaklığı ( $\Delta T_L$ ) olarak belirlenmiştir. Güneş döngüsünde olduğu gibi alt ve üst ölü bant sıcaklıkları sırasıyla  $5^\circ\text{C}$  ve  $2^\circ\text{C}$ ' dir. Yani ısıtıcı çıkışındaki su sıcaklığı ile evsel su tankı altındaki su sıcaklığı arasındaki fark  $5^\circ\text{C}$  veya  $5^\circ\text{C}$ ' den fazla olduğunda ısıtıcı devreye girmekte ve sıcaklık farkı  $2^\circ\text{C}$ ' nin altına düşene kadar çalışmaya devam etmektedir. Bu sistemde su çekim elemanı, dağıtım ve karışım vanalarının çalışma prensipleri elektrikli sistem ile aynıdır.



#### 4. BULGULAR

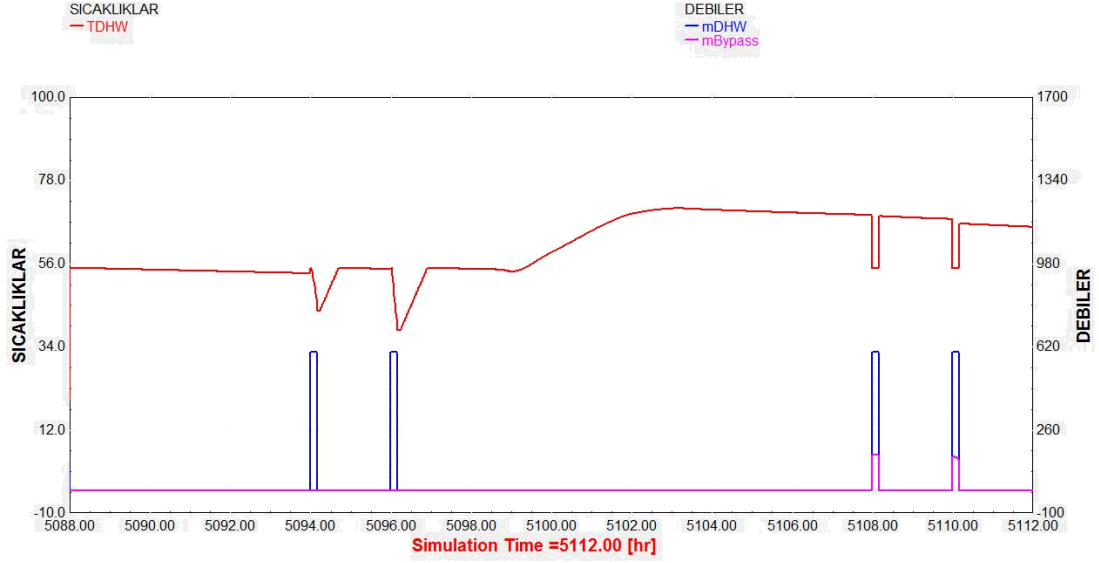
Her bir sistem için simülasyon sonuçları ve yıllık performans değerleri, sistemlerin toplam enerji dengesi bu bölümde anlatılmıştır. Sistemlerin yıllık yükleri hesaplanıp birbirleri ile karşılaştırma yapılmıştır. Böylece sistemlerin birbirlerine göre avantajları incelenmiştir.

Tüm sistemlerde Şekil 4.1’ de gösterildiği gibi 55°C sıcak su talebini karşılamak için sabah saat 06.00, 08.00 ve akşam 20.00, 22.00’de on beşer dakika süreyle 600 lt/h debi ile su çekimleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. 1. Gün içerisinde planlanan saatlerde çekilen su debisi ve sıcaklığı

Sistemlerde sıcak kullanım suyu tankın üst kısmından çekilir ve dağıtım vanası yardımıyla tankta eksilen su şebekeden tankın alt kısmından girer. Tankın üst kısmından çekilen suyun sıcaklığı 55°C’ den fazla ise yine dağıtım vanası devreye girerek by-pass hattı oluşturup (15°C şebeke suyunun karışım vanasına gönderilmesi) suyu istenilen sıcaklığa getirir. Bahsedilen bu durum Şekil 4.2’ de görülmektedir.

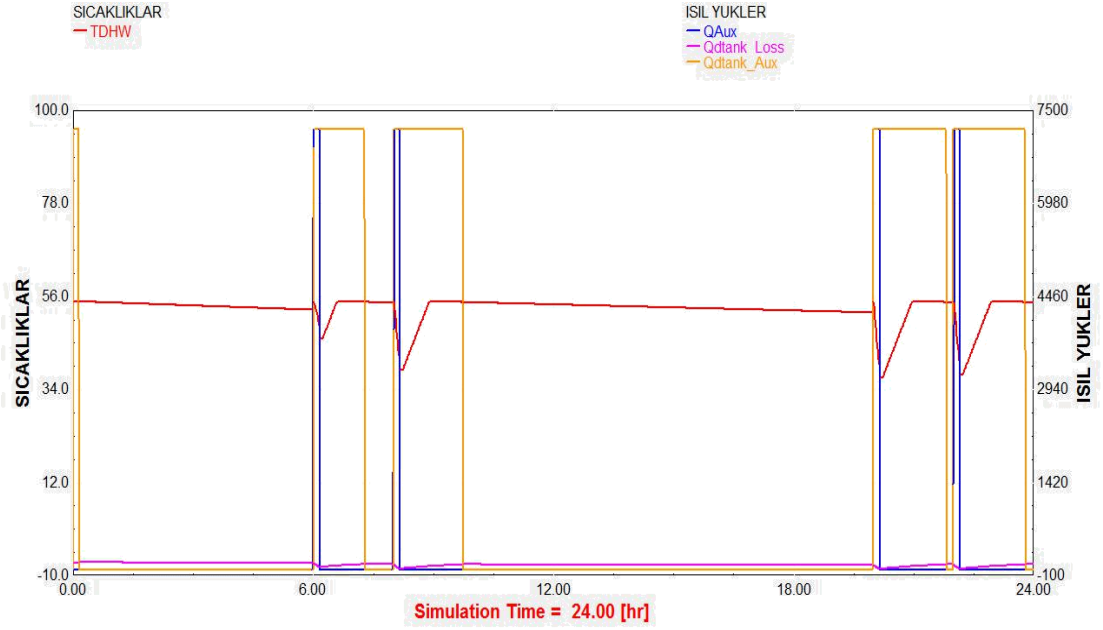


**Şekil 4. 2.** Dağıtım vanasından suyun by-pass edilmesi

#### 4.1. Elektrik Kullanılan Sistem Modeli Simülasyon Sonuçları

EDHW sistemindeki enerji dengesi basittir. Evsel su tankındaki ısıtıcılar ve harici ısıtıcı sistemin tüm enerjisini tedarik ederler. Kullanılan bu ısıtıcıların kapasiteleri sabit olup, SDHW sistemindeki gibi dış ortam koşullarına (güneş enerjisi) bağlı olarak suya verilen enerji miktarı değişmemektedir. Bu nedenle simülasyon boyunca grafik üzerinde benzer eğriler gözlenmektedir.

Her gün su çekimleri sabittir ve ısıtıcılar tankın üstündeki suyun sıcaklığını 55°C'lik ayar noktası sıcaklığına yakın tutmayı amaçlar. Sistemin su çekimi dışında tek dış etkileşimi 22°C' lik ortam sıcaklığında olan tank kayıplarıdır. Şekil 4.3' te görüldüğü gibi dört noktadaki ani sıcaklık düşüşleri gün içerisindeki su çekim saatlerine denk gelmektedir. Tankın üst sıcaklığı 50°C' nin altına düştüğünde, tank içindeki yardımcı ısıtıcılar suyu 55°C' ye ısıtana kadar açılmaktadır. Grafikten gözlemediği gibi EDHW sistemi beklendiği gibi çalışmıştır.



**Şekil 4. 3.** Bir günlük EDHW sistemi üzerinde sıcaklıklar ısı yük dağılımları

Toplam sistem yükü ( $E_{load}$ ); tanktaki ısıtıcıların ve harici ısıtıcının suya verdikleri enerjiden tank kayıplarının çıkartılması ile elde edilir. Simüle edilen yıl için EDHW sisteminin enerji dengesi Denklem 4.1' deki gibidir.

$$E_{load} = E_{Aux} + E_{Tank\_Loss} - E_{Tank\_Aux} \quad (4.1)$$

Çalışma süresi boyunca sistemin elektrik tüketimi ve toplam kayıpları Çizelge 4.1' de verilmektedir.

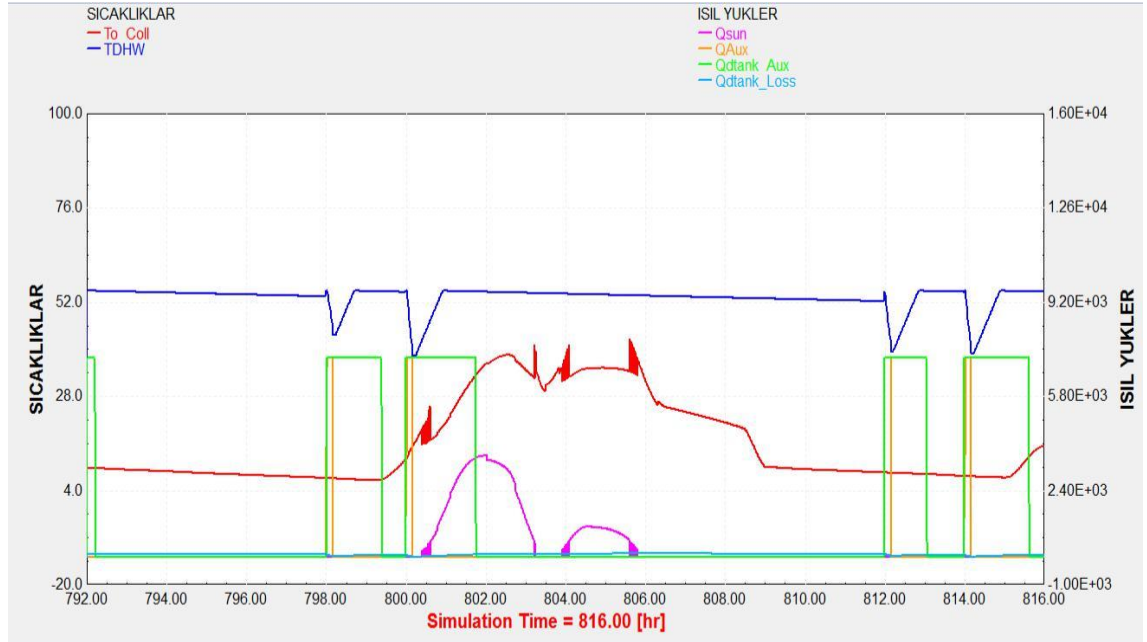
**Çizelge 4. 1.**EDHW sisteminin yıllık simülasyon sonuçları

	<b>Enerji miktarları (MJ/yıl)</b>
Tank ısıtıcıları ( $Q_{dtank\_Aux}$ )	19060
Harici ısıtıcı ( $Q_{Aux}$ )	1617
Toplam tank kayıpları ( $Q_{dtank\_loss}$ )	700
Toplam elektrik tüketim ( $E_T$ )	20677

#### 4.2. Geleneksel Güneş Enerjisi Kullanan Sistem Modeli Simülasyon Sonuçları

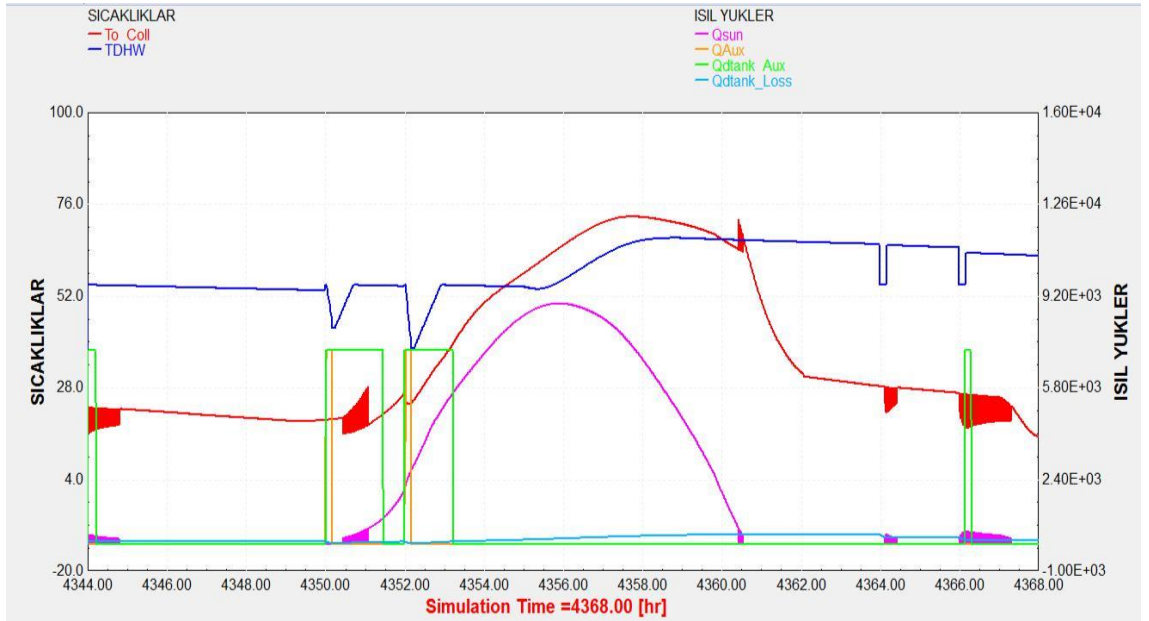
EDHW sistemine güneş döngüsü eklenerek suyun ısınmasına yardımcı olmak için güneş enerjisi kullanılmıştır. Güneş enerjisi toplamak için akışkan güneş kolektörü ve ısı eşanjöründen pompalar vasıtasıyla dolaştırılmıştır. Elektrikli sistemin aksine SDHW sisteminin koşulları ve performansı dış ortamdaki büyük ölçüde etkilenmiştir. Bu durum göz önüne alındığında, yıl boyunca günden güne sıcaklıkların, güneş döngüsünün ve ısıtıcıların değişken olduğu gözlemlenir.

Şekil 4.4’ te görüldüğü gibi Şubat ayında bir kış gününde, sabah saat 06.00 ve 08.00 civarlarındaki su çekiminde güneş etkisi tam anlamıyla olmadığı için tank içindeki su, tank ısıtıcıları ve harici ısıtıcı yardımıyla ısıtılmıştır. Şubat ayında güneş etkisi az olmasına rağmen bir miktar güneş enerjisi ısı eşanjörü vasıtasıyla evsel su tankına aktarılıp depolanmıştır. Depolanan bu güneş enerjisi akşam saat 20. 00’ deki su çekimi esnasında kullanılmış olup, suyu 55°C’ te tutmak için yeterli olmadığından tank içindeki ısıtıcılar ve harici ısıtıcı az da olsa devreye girmiştir. Saat 22.00’ deki su çekiminde ise yine ısıtıcılar devrededir.



Şekil 4. 4. Bir gün içerisinde (Şubat ayı) SDHW sistemi üzerindeki sıcaklık ve ısıl yük dağılımları

Bunun aksine Temmuz ayında bir yaz günü güneş etkinliği daha erken saatlerde başlamış ve daha fazla güneş enerjisi toplanmıştır. Bu durum Şekil 4.5’ te gösterilmektedir. Sabah saat 06.00’ daki su çekiminde güneş olmadığı için yine sistemdeki ısıtıcılar devrededir. Şubat ayına göre sabah saat 08.00’ deki su çekiminde güneşin etkisi az da olsa görüldüğü için ısıtıcılar bir miktar devreye girmiştir. Öğle saatlerinde artan güneş enerjisi Şubat ayına göre çok daha fazladır ve suyu ısıtmak için toplanıp depo edilir. Güneş enerjisi sayesinde tankın üstündeki su sıcaklığı yaklaşık 65°C’ dir. Depo edilen bu sıcaklıktaki su akşam saat 20.00 ve 22.00’ deki su çekimlerinde kullanılmıştır. Isıtıcılar saat 20.00’ de devreye hiç girmeyip, 22.00’ de az miktarda girmiştir. Hatta kullanım suyunu bir miktar soğutup 55°C sıcaklığa getirmek için dağıtım vanası devreye girerek şebekeden soğuk su by-passı yapmıştır.



**Şekil 4. 5.** Bir gün içerisinde (Temmuz ayı) SDHW sistemi üzerindeki sıcaklık ve ısı yük dağılımları

Güneş enerjisi sayesinde ısıtıcılar daha az devreye girmiş ve elektrikten tasarruf sağlanmıştır. Toplam enerjinin ne kadarının güneş enerjisinden karşılandığı güneş fraksiyonu olan Denklem 4.2 ile ifade edilmiştir.

=+

(4.2)

Burada,  $Q_{sun}$ , güneşten gelen enerji miktarı,  $E_T$  ise suyu ısıtmak için tüketilen toplam enerji miktarıdır. SF değeri, karşılaştırma yapmak ve güneş destekli sistemlerin performansını değerlendirmede yardımcı olmak için kullanılan bir ifadedir. Tüm simülasyon periyodu için toplam elektrik tüketimi, toplanan faydalı güneş enerjisi, güneş fraksiyonu ve tank kayıpları Çizelge 4.2' de verilmektedir. Çizelge 4.2' de görüldüğü gibi, SDHW sisteminde yıllık toplam enerjinin yaklaşık %60' ı (güneş fraksiyonu) güneş enerjisi tarafından sağlanmıştır.

Toplam sistem yükü; tanktaki ısıtıcıların, harici ısıtıcının, güneşten gelen ısı enerjisi ve pompaların harcadıkları güç toplamından tank kayıplarının çıkartılması ile elde edilir. Simüle edilen yıl için SDHW sisteminin enerji dengesi Denklem 4.2' deki gibidir.

\_+++++\_

(4.3)

**Çizelge 4. 2.** SDHW sisteminin yıllık simülasyon sonuçları

	<b>Enerji miktarları (MJ/yıl)</b>
Tank ısıtıcıları ( $Q_{dtank\_Aux}$ )	8594
Harici ısıtıcılar ( $Q_{Aux}$ )	887
Pompalar ( $W_{pump}$ )	388
Toplam tank kayıpları( $Q_{dtank\_loss}$ )	1607
Toplam elektrik tüketim ( $E_T$ )	9869
Toplanan güneş enerjisi ( $Q_{sun}$ )	14907
Güneş fraksiyonu (SF)	0.60

### 4.3. Isı Pompası Destekli Güneş Enerjili Sistem Modeli Simülasyon Sonuçları

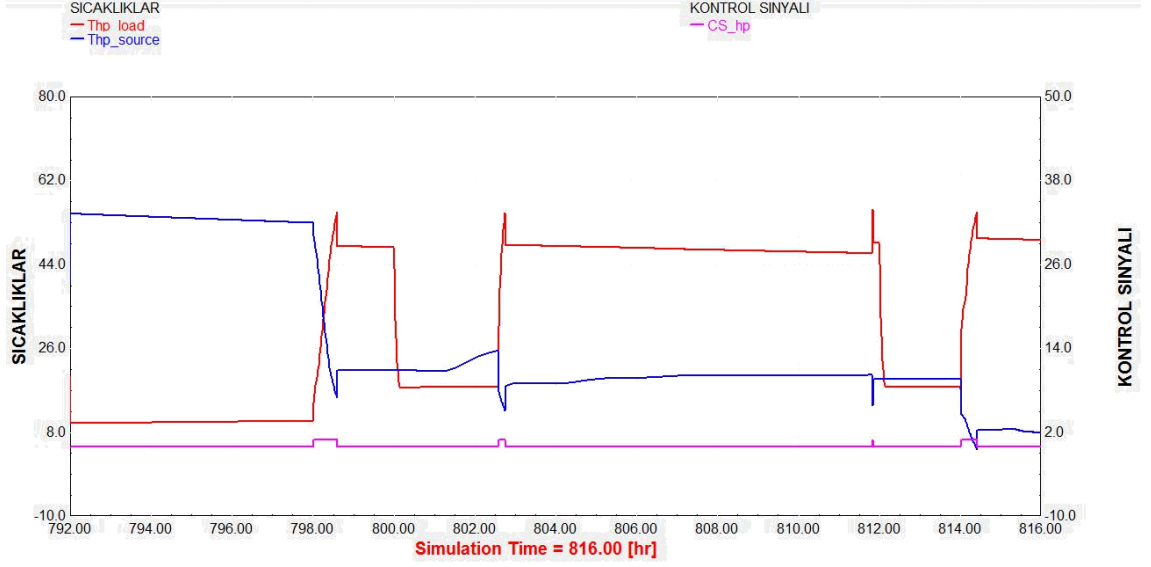
Bu sistem, SDHW sistemine ilave olarak yardımcı bir tank ve ısı pompası eklenerek oluşturulmuştur. SDHW sistemi gibi dış ortam koşulları, çift tanklı HP\_SDHW sisteminin performansını ve durumunu büyük ölçüde etkilemiştir. Simüle edilen yıl için HP\_SDHW sisteminin enerji dengesi Denklem 4.4 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$+ \quad \quad \quad +++++ \quad \quad \quad + \quad +$$

(4.4)

Güneş döngüsüne eklenen yardımcı tank ve ısı pompası sayesinde güneşin etkinliğini artırıp daha fazla faydalı güneş enerjisi elde edilmiştir. Bu sistemde, elektrikli yardımcı ısıtıcılar yerine evsel tanka enerji tedarik etmek için ya ısı pompası çalışır ya da eşanjör by-pass devreye girmiştir. Yardımcı tankın üstündeki sıcaklık  $55^{\circ}\text{C}$  ve  $55^{\circ}\text{C}$ ' den fazla ise, çift tanklı HP\_SDHW sistemi için kullanılan harici ısı pompası dosyasından, eşanjör by-pass çalışma özelliğindeki geçiş verileri okunmuştur. Geçiş olaylarının tamamı, artan güneş enerjisinden elde edilen yüksek yardımcı tank sıcaklıklarına bağlı olarak Mayıs ile Eylül arasında gerçekleşmiştir. Bu durumun yaklaşık %90' ı, saat 08.00' da on beş dakika su çekilmesinin bitmesinden sonra gerçekleşmiştir. Bu durumlarda, yardımcı tanktaki sıcaklık  $55^{\circ}\text{C}$ ' nin üstüne yükseltip gün boyunca şarj edilmiştir. Su çekme işleminden sonra evsel su tankının üstündeki sıcaklık  $52^{\circ}\text{C}$ ' nin altına düştüğü zamanlarda bu tanktaki suyu  $55^{\circ}\text{C}$ ' e çıkarana kadar ısı pompası devreye girmiştir.

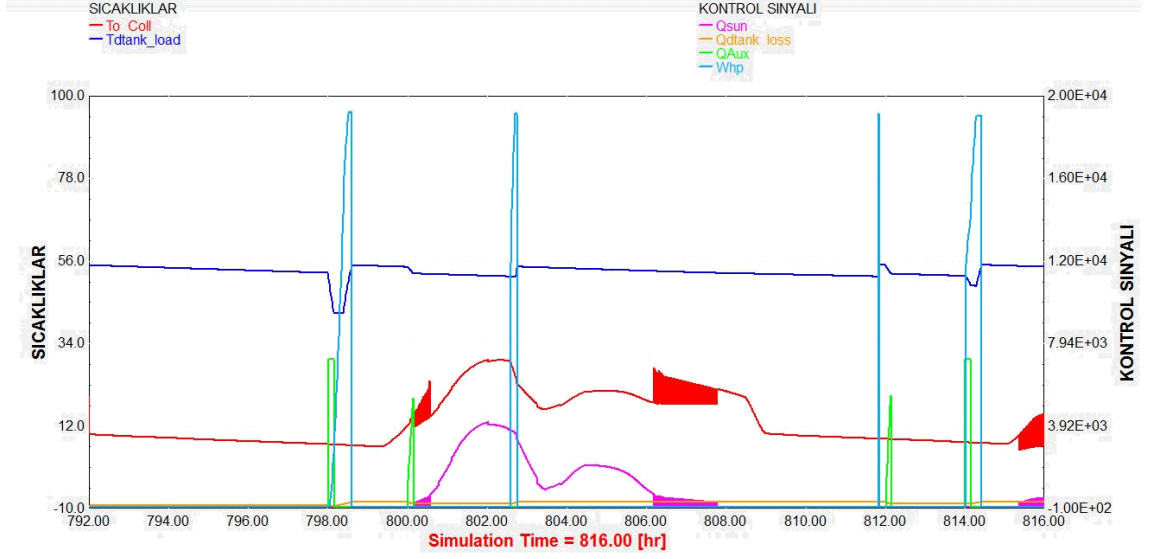
Şekil 4.6' da görüldüğü gibi Şubat ayındaki bir günde ısı pompasının çalışma sinyali (CS\_hp) ve ısı pompası çıkış yük ve kaynak sıcaklıkları görülmektedir. Çıkış kaynak sıcaklığı ( $T_{hp\_source}$ ) güneş etkinliği az olduğu için çok fazla yükselmemiştir.



**Şekil 4. 6.** Bir gün içerisinde (Şubat ayı) ısı pompasının kaynak ve yük sıcaklıkları

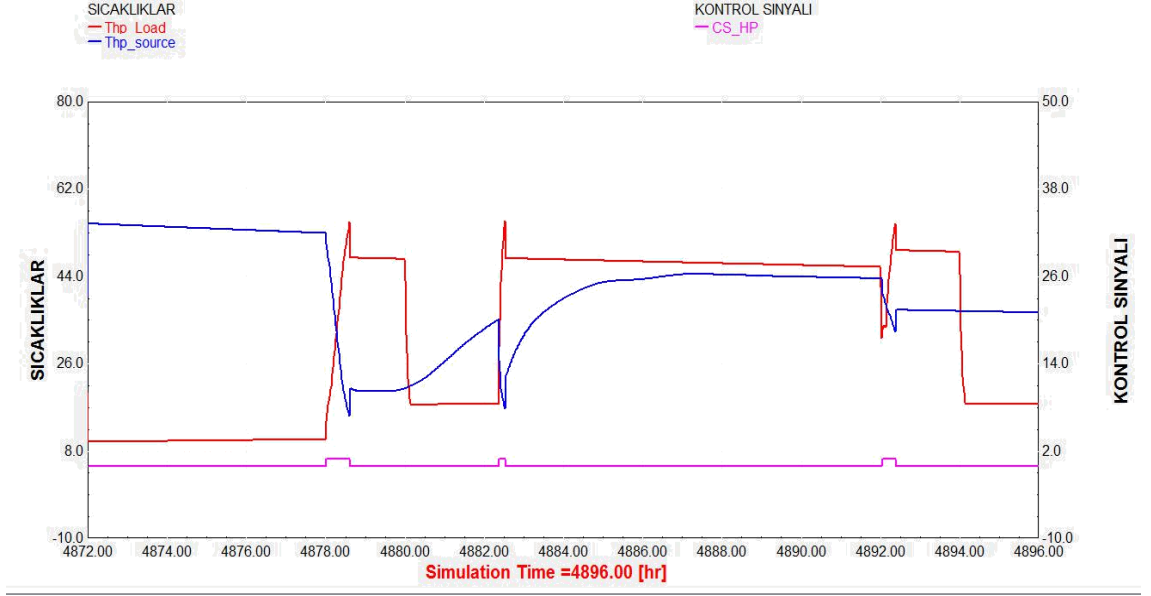
Şekil 4.7’ de belirtildiği gibi Şubat ayında bir günde güneş döngüsünün çalışma süresi yaklaşık yedi saattir. Grafikten görüldüğü gibi su çekimleri sırasında kullanım suyu sıcaklığı düşmektedir ve ısı pompası genelde bu vakitlere denk gelecek şekilde devreye girmektedir. Sabah saat 06.00’ daki su çekiminde güneş olmadığı için harici ısıtıcı ve ısı pompası devreye girerek istenilen su sıcaklığını muhafaza edip evsel su tankına aktarmıştır. Sabah saat 08.00’ deki su çekimde ise evsel su tankındaki sıcaklık az miktarda düştüğü için yalnızca harici ısıtıcı devreye girmiştir. Isı pompasına, çalışacağı sıcaklığa kadar düşmediği için, ihtiyaç duyulmamıştır. Bu saatlerden sonra güneşin etkinliği başlamış olup yardımcı tanka yüklenir. Su çekimleri olmadığı için depo edilir. Bu sırada evsel su tankındaki sıcaklık  $52^{\circ}\text{C}$ ’ nin altına düştüğünde ısı pompası devreye girerek yardımcı tankta depo edilen güneş enerjisini evsel su tankına aktarır. Böylece tanktaki su istenilen  $55^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa getirilir. Akşam saatlerindeki su çekiminde sıcaklık düştüğü için ısı pompası ve harici ısıtıcı bir miktar devreye girerek istenilen su sıcaklığını muhafaza etmeye devam eder.





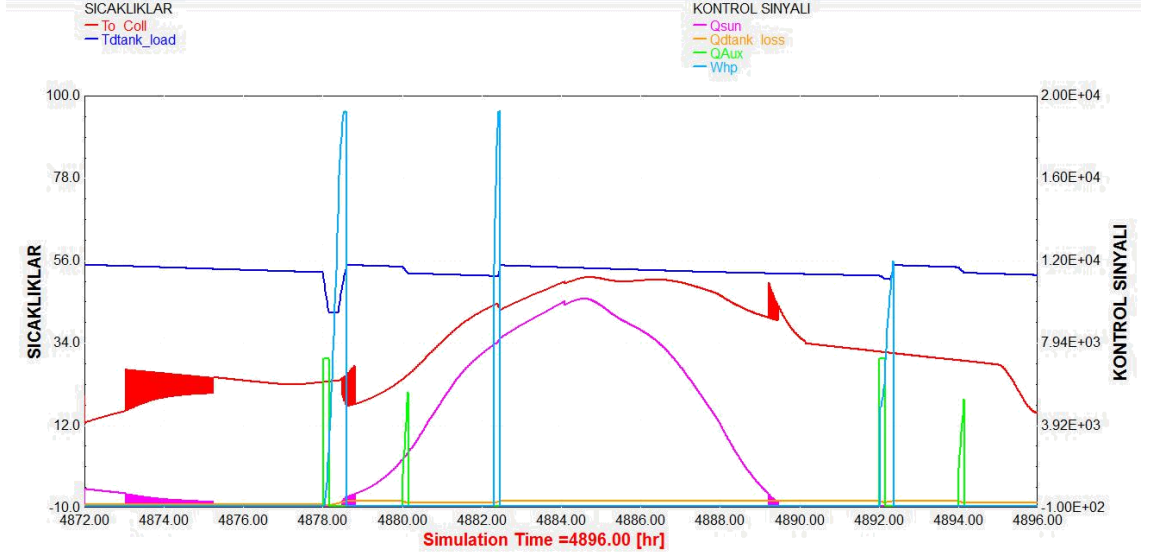
**Şekil 4. 7.** Bir gün içerisinde (Şubat ayı) HP\_SDHW sistemi üzerindeki sıcaklık ve ısı yük dağılımları

Daha önce belirtildiği gibi yaz aylarında güneş radyasyonunun yoğunluğu yüksektir. Bu durum yardımcı tank sıcaklıklarına daha fazla yansır. Yardımcı tank sıcaklığı Temmuz ayında daha yüksek olduğu için enerji, ısı pompası vasıtasıyla daha yüksek bir oranda aktarılır ve daha yüksek sıcaklıklar elde edilir. Böylece yaz aylarında ısı pompası daha az elektrik tüketimiyle çalışır. Şekil 4.8' de görüldüğü gibi Temmuz ayındaki bir günde ısı pompası sinyali ve çıkış sıcaklıkları görülmektedir. Bu grafikten, Şubat ayına göre kaynak sıcaklığı ( $T_{hp\_source}$ ) daha yüksek olduğu gözlemlenir.



**Şekil 4. 8.** Bir gün içerisinde (Temmuz ayı) ısı pompasının kaynak ve yük sıcaklıkları

Şekil 4.9’ da görüldüğü gibi Temmuz ayındaki bir günde güneş radyasyonu beklenildiği gibi fazla olup yaklaşık on saattir. Sabah saat 06.00 ve 08.00’deki su çekimlerinde güneş olmadığı için, sistem bu saatlerde yine Şubat ayındaki belirttiğimiz güne benzer çalışmıştır. Bu saatlerden sonra güneş radyasyon etkisi başlamış olup güneş enerjisi depo edilmiştir. Yine ısı pompası eşanjör by-passı devreye girerek yardımcı tankta depo edilen güneş enerjisini evsel su tankına aktarmaktadır. Şubat ayındaki günden farklı olarak, akşam saatlerindeki su çekimlerinde gün içinde depolanan bu güneş enerjisi ve harici ısıtıcı ile istenilen sıcaklık muhafaza edilmiştir. Sadece akşam 08.00’ deki su çekimde evsel su tankındaki sıcaklık  $52^{\circ}\text{C}$ ’ nin altına düştüğünde ısı pompası çok az miktarda çalışmıştır. Bunun dışında devreye girdiği gözlenmemiştir.



**Şekil 4. 9.** Bir gün içerisinde (Temmuz ayı) HP\_SDHW sistemi üzerindeki sıcaklık ve ısıl yük dağılımları

Tüm simülasyon periyodu için toplam elektrik tüketimi, toplanan faydalı güneş enerjisi, güneş fraksiyonu ve tank kayıpları Çizelge 4.3' te verilmektedir. Tüm simülasyon boyunca evsel su tankındaki ısıtıcıların çalışmadığı hem grafikler hem de tablo sonuçlarında gözlenmektedir. Tanktaki ısıtıcıların çalışmama sebebi, onun yerine ısı pompasının devreye girmesidir. Tank içindeki ısıtıcılar yedek olarak kullanılsa da ihtiyaç duyulmamıştır.

**Çizelge 4. 3.** HP\_SDHW sisteminin yıllık simülasyon sonuçları

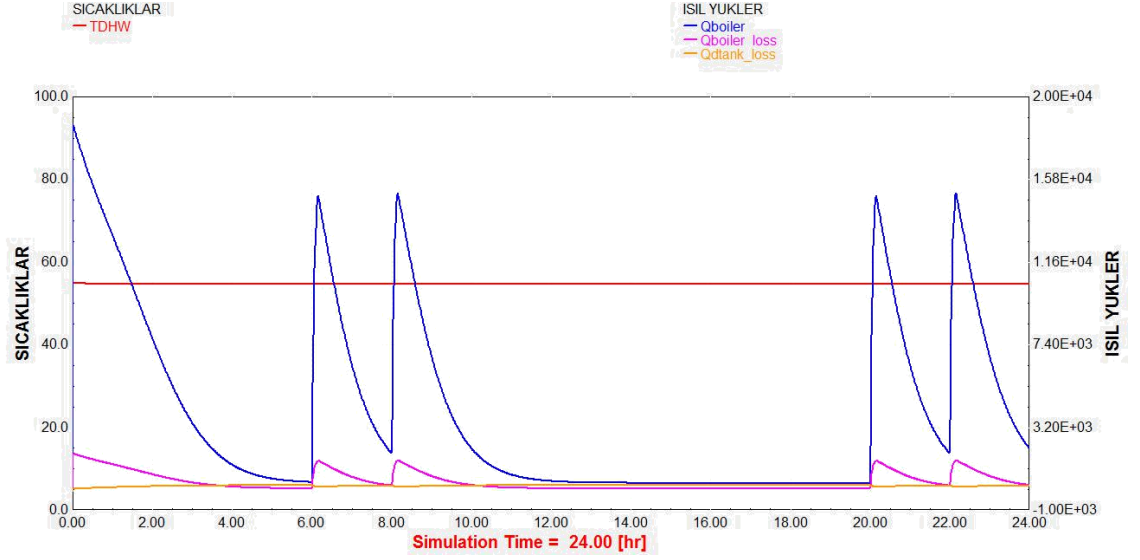
	<b>Enerji miktarları (MJ/yıl)</b>
Evsel su tankı ısıtıcıları( $Q_{\text{ftank\_Aux}}$ )	0
Yardımcı tank ısıtıcıları( $Q_{\text{dtank\_Aux}}$ )	30
Harici ısıtıcı ( $Q_{\text{Aux}}$ )	1060
Pompalar ( $W_{\text{pump}}$ )	445
Isı pompası ( $W_{\text{HP}}$ )	4600
Toplam tank kayıpları ( $Q_{\text{dtank\_loss}}$ )	2125
Toplam elektrik tüketim ( $E_T$ )	6135
Toplanan güneş enerjisi( $Q_{\text{sun}}$ )	18411
Güneş fraksiyonu (SF)	0.75

#### **4.4. Doğalgaz Kullanılan Sistem Modelinin Simülasyon Sonuçları**

Modellenen bu sistemde yakıt olarak doğalgaz seçilmiştir. Toplam sistem yükü; gaz yakıtlı ısıtıcı tarafından suya verilen enerjiden, ısıtıcı kaybı ve tank kaybı çıkarılarak bulunur. Simüle edilen yıl için enerji dengesi Denklem 4.5' teki gibidir.

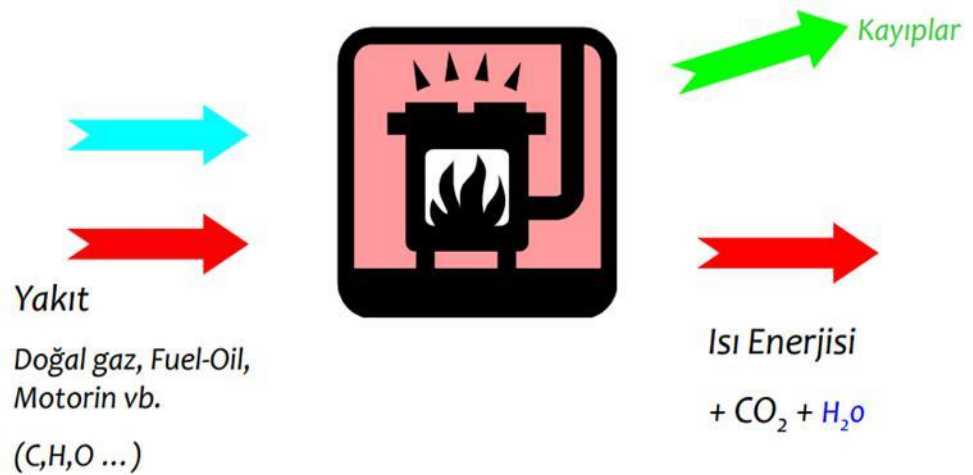
$$\dot{Q}_{\text{sun}} = \dot{Q}_{\text{aux}} + \dot{Q}_{\text{loss}} + \dot{Q}_{\text{tank}} \quad (4.5)$$

Bu sistemde istenilen 55°C sıcaklığı sağlayabilecek kapasitede gaz yakıtlı ısıtıcı seçilmiştir (55 000 kJ/h). Şekil 4.10' da görüldüğü gibi bu gaz yakıtlı ısıtıcı sayesinde kullanım suyu sıcaklığı 55°C' de sabit tutularak evsel su tankında depolanır ve su ihtiyacı olduğu zamanlarda kullanılır. Gaz yakıtlı ısıtıcı istenilen sıcaklığı sağladığı için evsel su tankındaki ısıtıcılar devreye girmemektedir.



**Şekil 4. 10.** Bir günlük GDHW sisteminin sıcaklık ve ısı yükleri

Şekil 4.11’ de görüldüğü gibi kullanılan yakıttan, belli bir ısı enerjisi sağlanırken belli bir miktarda da kayıp olacaktır. Bu sistemde hem ısıtıcıdan hem de evsel su tank ından çevreye kayıplar olur. Bunun sebebi ısıtıcıda çevreye göre çok yüksek sıcaklıklar elde edilmesi ve tanka da aynı sıcaklığı aktarmasıdır.



**Şekil 4. 11.** Gaz yakıtlı ısıtıcının girdi ve çıktıları (Anonim 2017f)

Tüm simülasyon periyodu için tüketilen enerji, ısıtıcıda ve tanktaki kayıplar Çizelge 4.4’ te görülmektedir.

**Çizelge 4. 4.** GDHW Sisteminin yıllık simülasyon sonuçları

	<b>Enerji miktarları (MJ/yıl)</b>
Tank ısıtıcıları ( $Q_{dtank\_Aux}$ )	0
Toplam tank kaybı ( $Q_{dtank\_loss}$ )	2360
Toplam tüketilen enerji ( $Q_{boiler}$ )	24578
Boylar kaybı ( $Q_{boiler\_loss}$ )	3116

#### 4.5. TRNSYS ile Modellenen Sistemlerin Karşılaştırılması

##### 4.5.1. Elektrikli Sistem İle Güneş Enerjili Sistemin Karşılaştırılması

EDHW sisteminde evsel su tankındaki suyu ısıtmak için elektrikli ısıtıcılardan yararlanılırken, SDHW sisteminde elektrikli ısıtıcıların yanında güneş enerjisinden de yararlanılmıştır. Yapılan simülasyon sonuçlarına bağlı olarak hesaplanan her iki sistemin yıllık enerji miktarları Çizelge 4.5’ te verilmiştir. Sonuç olarak SDHW sisteminin, EDHW sistemine göre %52 daha az elektrik tükettiği tespit edilmiştir.

Çünkü güneş enerjisi yardımcı ısıtıcıların gereksinimleri büyük ölçüde azaltmıştır. Güneş enerjisi girdisi “serbest enerji” olarak düşünülebilir.

**Çizelge 4. 5.** EDHW ve SDHW sistemlerinin enerji miktarları

	<b>EDHW enerji miktarları (MJ/yıl)</b>	<b>SDHW enerji miktarları (MJ/yıl)</b>
Tank ısıtıcıları	19060	8594
Harici ısıtıcılar	1617	887
Pompalar	-	388
Toplam tank kayıpları	700	1607
Toplam elektrik tüketim	20677	9869
Toplanan güneş enerjisi	-	14907
Güneş fraksiyonu (SF)	-	0.60

SDHW sistemindeki kayıplar, EDHW sistemine göre 2,3 kat daha fazladır. Bunun sebebi evsel su tankına güneş döngüsünden, daha yüksek sıcaklıklarda suyun aktarılmasıdır.

#### 4.5.2. Elektrikli Sistem İle Isı Pompası Destekli Güneş Enerjili Sisteminin Karşılaştırılması

EDHW sisteminin aksine, HP\_SDHW sisteminde hem güneş döngüsünden hem de ısı pompasından yararlanılmıştır. Çizelge 4.6' da her iki sistemin yıllık enerji miktarları ve kayıpları verilmiş olup, buna göre HP\_SDHW sistemi, EDHW sisteminden %70 daha az elektrik tükettiği tespit edilmiştir. Bu sistemde hem güneş enerjisi hem de ısı pompası sayesinde yardımcı ısıtıcılara ihtiyaç azalmıştır. Evsel su tankında istenilen sıcaklıkta kullanım suyu elde edebilmek için ısı pompasının kullanılması, sistemi daha verimli hale getirmiştir.

**Çizelge 4. 6.** EDHW ve SDHW sistemlerinin enerji miktarları

	<b>EDHW enerji miktarları (MJ/yıl)</b>	<b>SDHW enerji miktarları (MJ/yıl)</b>
Tank ısıtıcıları	19060	30
Harici ısıtıcı	1617	1060
Pompalar	-	445
Isı pompası	-	4600
Toplam tank kayıpları	700	2125
Toplam elektrik tüketim	20677	6135
Toplanan güneş enerjisi	-	18411
Güneş fraksiyonu (SF)	-	0.75

HP\_SDHW sistemindeki kayıplar, EDHW sistemine göre 3 kat daha fazladır. Bunun sebebi; HP\_SDHW sisteminde ilave bir yardımcı tankın olması ve ısı pompası aracılığıyla kullanım suyunun evsel su tankına daha yüksek sıcaklıklarda muhafaza edilmesidir.

#### 4.5.3. Geleneksel Güneş Enerjili Sistem İle Isı Pompası Destekli Güneş Enerjili Sistemin Karşılaştırılması

Her iki sistemde, su ısıtılmasında güneş enerjisi kullanılmaktadır. SDHW sisteminde güneşin yeterli olmadığı zamanlarda elektrikli ısıtıcılar devreye girmekte ve enerji maliyetlerini artırmaktadır. Bu olumsuz durumu ortadan kaldırmak için SDHW sistemine bir ısı pompası ve yardımcı bir tank ilave etmenin etkileri Çizelge 4.7' de verilen enerji miktarları karşılaştırılarak gösterilmiştir.

**Çizelge 4. 7.** SDHW ve HP\_SDHW sistemlerinin enerji miktarları

	<b>SDHW enerji miktarları (MJ/yıl)</b>	<b>HP_SDHW enerji miktarları (MJ/yıl)</b>
Tank ısıtıcıları	8594	30
Harici ısıtıcı	887	1060
Pompalar	388	445
Isı pompası	-	4600
Toplam tank kayıpları	1607	2125
Toplam elektrik tüketim	9869	6135
Toplanan güneş enerjisi	14907	18411
Güneş fraksiyonu (SF)	0.60	0.75

Simülasyon sonucunda, HP\_SDHW sistemindeki toplam elektrik tüketiminin, SDHW sistemine göre yaklaşık %38 daha az olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi, ısı pompası kullanılması nedeniyle kolektöre daha soğuk akışkan gönderilmesine imkan verilmesidir. Böylece güneş döngüsü çalışma süresi ve buna bağlı olarak yardımcı tankın ısı depolama verimliliği artmaktadır. Bu nedenle, çift tanklı HP\_SDHW sistemi tarafından daha fazla güneş enerjisi toplanmış ve gereken toplam elektrik enerjisi azalmıştır. HP\_SDHW sistemi için sadece toplam elektrik tüketiminin %75' inden fazlasını ısı pompası tarafından gerçekleştirilirken, SDHW sisteminde ise elektrik tüketiminin yaklaşık %87' sini yardımcı ısıtıcılar gerçekleştirilmiştir.



HP\_SDHW sisteminin kayıpları, SDHW sistemine göre yaklaşık %24 daha fazladır. SDHW sisteminde, yaz aylarında yüksek sıcaklıklardan dolayı kayıplar oluşsa da, HP\_SDHW sisteminde daha fazla kayıp vardır. Çünkü güneş etkisi dışında, ısı pompası yardımıyla sürekli yüksek sıcaklıklarda muhafaza edilen kullanım suyu mevcuttur. Ayrıca ısı pompası ve yardımcı tank ilavesi, çift tanklı HP\_SDHW sistemindeki güneş döngüsünün çalışma sürelerini, güneş yoğunluğu az olan günlerde de artırmaya yardımcı olmuştur.

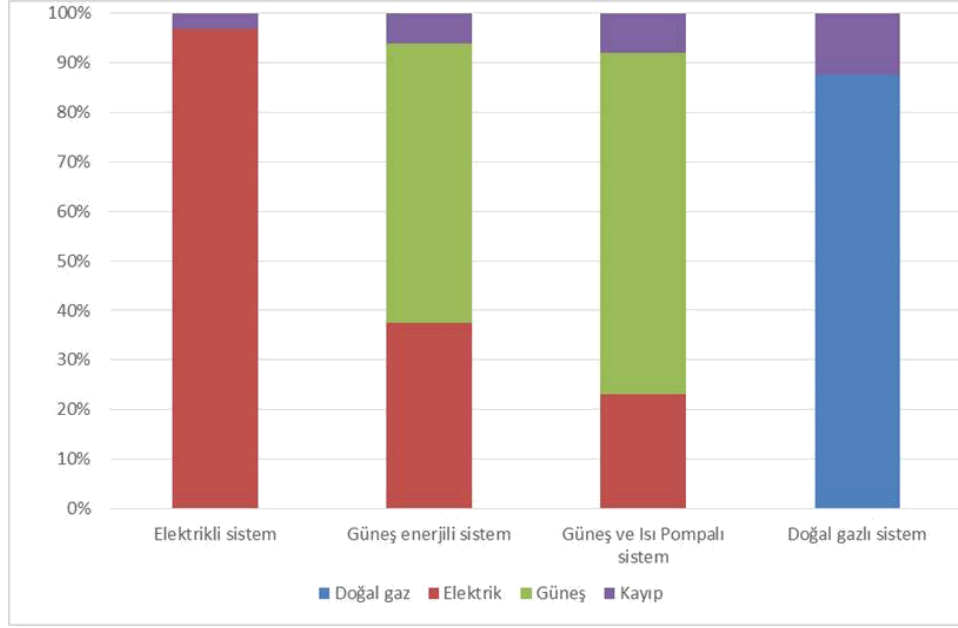
#### 4.6. Sistemlerin Maliyet Analizi

Her bir sistem için toplam elektrik tüketimi, güneş enerjisi miktarı ve doğal gazlı sistem için doğal gaz tüketim Çizelge 4.8' de özetlenmiştir. Güneş enerjisi kullanan sistemlerde ısı pompasının, SF oranını yükselttiği gözlenmektedir. Tüm sistemlerin yıl boyunca aynı miktarda enerji sağlamadığına dikkat edilmelidir.

**Çizelge 4. 8.** Sistemlerin performans karşılaştırması

Sistem	(MJ)	(MJ)	(MJ)	SF
EDHW	-	20677	-	-
SDHW	-	9869	14907	0.60
HP_SDHW	-	6135	18411	0.75
GDHW	22328	-	-	-

Çeşitli kaynaklardan gelen enerji miktarları her sistem için toplam enerjinin yüzdesi Şekil 4.12' de gösterilmektedir.



**Şekil 4. 12.** Sistemlerin toplam enerji yüzdeleri

Doğalgazlı sistem dışındaki tüm sistemlerin maliyet analizi Denklem 4.6' ya göre yapılmıştır.

Toplam maliyet =

$$\frac{ET \cdot \text{Birim fiyat}}{}$$

(4.6)

Doğal gaz kullanılan sistemde Denklem 4.7' ye göre toplam tüketim ve maliyet hesaplanmıştır.

$$\text{Toplam maliyet} = \frac{\text{Enerji tüketimi}}{(\text{Qalt ısı değer} \cdot \eta)} \cdot \text{Birim fiyat} \quad (4.7)$$

$$\text{Qalt ısı değer} = 8250 \text{ kcal/m}^3 = 34485 \text{ kJ/m}^3$$

$$\eta = 0.93$$

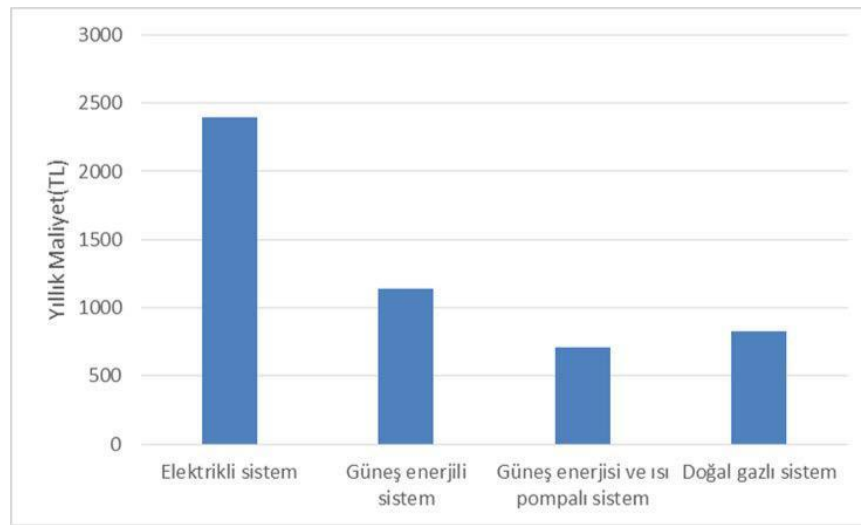
Birim fiyatlar ve verimler için 18 Ekim 2016 tarihli konut verileri kullanılmıştır. (Anonim 2017g)

Tüm sistemlerin yıllık tüketim ve maliyetleri Çizelge 4.9' a gösterilmektedir.

**Çizelge 4. 9.** Sistemlerin yıllık elektrik-yakıt tüketim ve maliyetleri

Sistem	Yakıt tüketimi (m <sup>3</sup> )	Elektrik tüketim (kWh)	Birim fiyat (TL/kWh, TL/m <sup>3</sup> )	Verim	Toplam maliyet (TL/yıl)
EDHW	-	5743.6	0.412427	0.99	2393
SDHW	-	2741.4	0.412427	0.99	1142
HP_SDHW	-	1704.17	0.412427	0.99	710
GDHW	766.4	-	1.084965	0.93	831

Şekil 4.13' te görüldüğü gibi en düşük yıllık işletme maliyetine, çift tanklı HP\_SDHW sahiptir. Tasarıma bir ısı pompası uygulanması genel elektrik tüketimini azaltmaya, güneş fraksiyonunu artırmaya ve böylece yıllık işletme maliyetini azaltmaya yardımcı olmuştur. Isı pompası, toplam elektrik tüketimini düşürürken sistemin güneş döngüsü tarafından elde edilen çalışma sürelerini ve verimliliklerini artırarak daha fazla güneş enerjisi toplamasına izin vermiştir. EDHW sistemine güneş döngüsü eklenerek SDHW sistemi oluşturulması işletme maliyetini %52 oranında düşürmüştür. SDHW sistemine ek bir tank ve ısı pompası eklenmesi ise işletme maliyetini %32 oranında daha da düşürmüştür. Bunların dışında doğal gazlı sistem, elektrikli ve güneş enerjili sisteme göre da ekonomik olduğu belirlenmiştir. Fakat ısı kaynağının fosil yakıt olması, karbon salınımının olması, tedarik etme açısından dışa bağımlı olması bu sistemin dezavantajlarıdır.



**Şekil 4. 13.** Sistemlerin toplam işletme maliyetleri

#### 4.7. HP\_SDHW Sisteminin İlk Yatırım Maliyeti

Bu tez için değerlendirilen sistemler arasında en verimli ve işletme maliyeti en düşük olan HP\_SDHW olmuştur. HP\_SDHW' nin ilk yatırım maliyeti, sistemdeki ana elemanların (ısı pompası, güneş kolektörleri, tanklar gibi.) ürün kataloglarından ve bayiliklerinden alınan fiyatlara göre hesaplanmıştır. Diğer yardımcı elemanlar için ortalama fiyatlar belirlenerek hesaba dâhil edilmiştir. Birim fiyatlar Çizelge 4.10' da belirtilmektedir.

**Çizelge 4. 10.** HP\_SDHW sistemini oluşturan elemanlar ve maliyetleri (2017 Ocak ayı döviz kuruna göre)

Elemanın adı	Birim Fiyatı (TL)
Güneş kolektörü (4 m <sup>2</sup> )	2000
Evsel su tankı (350 L)	3800
Yardımcı tank (500 L)	4200
Su kaynaklı ısı Pompası	22 000
Isı eşanjörü	200
Sirkülasyon pompası (100 L/h) (2 adet)	500
Otomasyon	2000
Vanalar	300
Toplam ekipman maliyeti	35 000

HP\_SDHW sisteminin diğer sistemlere göre ilk yatırım maliyetinin yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi birçok ekipmanın döviz bazlı tedarik edilmesi ve bu tür sistemlerin henüz ülkemizde üretilmemesidir. Fakat HP\_SDHW sistemlerinin uzun dönemde elektrik faturalarının daha düşük olması, fosil yakıt kullanmaması, bunun yerine yenilenebilir enerji kullanması, güvenilir ve yüksek verimli bu sistemlerin bazı bölgelerde kazançlı olmasını sağlar.

Yüksek yatırım giderlerine karşın ısı pompalarının değişik alanlarda kullanımı giderek de yaygınlaşmaktadır. İlk yatırım maliyeti yüksek olmasına rağmen, işletme giderlerini %40 -50 civarında azaltabileceği tahmin edilmektedir.

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, dört farklı su ısıtma sistemi TRNSYS programı yardımıyla modellenmiş ve analiz edilmiştir. Enerji ve maliyet analizi sonucunda modellenen dört sistemden, dikkate alınan koşullar altında en düşük yıllık işletme maliyetine HP\_SDHW sisteminin sahip olduğu tespit edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda SDHW sisteminde güneş fraksiyonu %60 olarak elde edilirken, HP\_SDHW sisteminde ise bu değer %75 olarak elde edilmiştir. HP\_SDHW sisteminde ısı pompası kullanılması nedeniyle, yardımcı tanktaki ısıtıcılar daha düşük sıcaklıklarda devreye girmiştir. Böylece, güneş kolektörüne daha soğuk akışkan gönderilerek, sistemin güneş döngüsü tarafındaki çalışma süreleri ve verimlilikleri artırılarak daha fazla güneş enerjisi depolanması sağlanmıştır. Daha fazla güneş enerjisi depolanması elektrikli ısıtıcıların daha az devreye girmesini sağlamış ve elektrik tüketimini azaltmıştır. HP\_SDHW sisteminde yıllık toplam elektrik tüketiminin, SDHW sistemine göre yaklaşık %38 daha az olduğu tespit edilmiştir. Sterling (2011) Kanada (Ottawa) şartları için TRNSYS programı kullanarak yaptığı çift tanklı güneş ve ısı pompalı çalışmasında, HP\_SDHW sisteminin geleneksel SDHW sistemine göre %25 daha az elektrik tükettiğini tespit etmiştir. Ülkemize göre daha az güneş enerjisine sahip Kanada şartlarında elde edilen bu değer, bu çalışmada İzmir şartları için elde edilen sonucu destekler nitelikte olduğu görülmektedir.

Yapılan maliyet analizi sonucunda HP\_SDHW sisteminin ilk yatırım maliyetinin, şu anki şartlarda evsel bir uygulama için yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ülkemizde, günümüzde sıcak su elde etmek için GDHW (doğalgazlı) sistemleri ve güneş ışınımının bol olduğu bölgelerde ise geleneksel SDHW sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Fosil yakıt kullanılan GDHW sistemlerinin, küresel ısınmaya büyük ölçüde etki eden karbon dioksit salınımına sebep olduğu bilinmektedir. Fosil yakıtların çevreye verdiği bu zararların yanında, dışa bağımlı bir kaynak olması ve günün birinde tükeneceği göz önüne alındığında, yenilenebilir enerji kaynaklarına ve bu kaynakları kullanan sistemlere dönüş gerçekleşecektir. Analiz sonucunda, en düşük işletme maliyetine sahip HP\_SDHW sisteminin ilk yatırım maliyetinin yüksek olması sebebiyle, günümüz şartlarında, GDHW sistemi gibi kullanımının yaygınlaşmadığı görülmektedir. Fakat ülkelerin enerji politikaları açısından, yenilenebilir enerji kaynaklarına ve ısı pompası gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanan cihazlara yönelmeleri, bu cihazların

maliyetlerinin ilerleyen yıllarda düşmesini sağlayacaktır. Böylece, sıcak su elde edilmesinin yanı sıra konutların ısıtılmasında da ısı pompası kullanımını yaygınlaştırması öngörülmektedir.

Sistemlerin uygulanabilirliği incelenirken simülasyon programlarının yanında, prototip sistemler inşa edilmeli ve bu sistemlerden elde edilen deneysel veriler, simülasyon verileriyle karşılaştırılmalıdır. Bu çalışmada sadece simülasyon verilerinden elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Daha sonraki çalışmalarda, elde edilen bu simülasyon verilerinin deneysel verilerle desteklenmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca bu çalışmada elde edilen sonuçların sadece göz önüne alınan simülasyon koşulları için geçerli olduğunu ve bu sistemlerin performanslarının birçok değişkene bağlı olduğunu da belirtmek gerekmektedir. Üzerinde çalışılan HP\_SDHW sisteminin performansına etki eden birçok faktör mevcuttur. Bunlar; sistemin bulunduğu iklim şartları, su çekim zamanı ve debisi, kolektör boyutu, tank boyutu vb. faktörlerdir. Bu parametrelerin etkilerinin incelenmesi ayrı bir çalışma konusudur. Bu kapsamda ülkemizin farklı iklim bölgeleri için HP\_SDHW sisteminin performansının incelenmesi de planlanmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Anonim, 2004**, T.E.S.S. Component Libraries v.17.01 for TRNSYS v17.0 and the TRNSYS Simulation Studio, Parameter/Input/Output Reference Manual, Thermal Energy System Specialists, LLC.
- Anonim, 2006**, TRNSYS: A Transient Simulation Program, Madison.University of Wisconsin, Solar Energy Laboratory.
- Anonim, 2010**, TRNSYS 17, a Transient System Simulation program, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison.
- Anonim, 2017a**, <http://www.r-e-a.net/renewable-technologies/heat-pumps>.
- Anonim, 2017b**, <http://www.eere.energy.gov.tr>, Solar energy basics.
- Anonim, 2017c**, <http://www.eie.gov.tr>, Güneş enerjisi potansiyel atlası.
- Anonim, 2017d**, [www.engineeringtoolbox.com](http://www.engineeringtoolbox.com), Heat exchangers.
- Anonim, 2017e**, [www.trane.com](http://www.trane.com), Model EXW060, Trane ürün kataloğu.
- Anonim, 2017f**, <http://klima.mitsubishielectric.com.tr>, Çevre vizyonu.
- Anonim, 2017g**, [www.dosider.org/dosya/belgeler/18-ekim-2016-yakit-fiyatları-konut.xls](http://www.dosider.org/dosya/belgeler/18-ekim-2016-yakit-fiyatları-konut.xls).
- Nuntaphan, A., Chansena, C., Kiatsiriroat, T. 2009**. Performance analysis of solar water heater combined with heat pump using refrigerant mixture. *Applied Energy*, 86, 748-756.
- ASHRAE, 2003** - Standard 93-2003: Methods of testing to determine the performance of solar collectors, ASHRAE, Atlanta.
- Bridgeman, A., Harrison, S. 2008**. Preliminary Experimental evaluations of indirect solar assisted heat pump systems. *3rd Canadian Solar Building Conference*, Fredericton, NB, Canada
- Bayram, A. 2001**. Farklı Yapım Özelliklerine Sahip Doğal Dolaşımli Güneşli Su Isıtma Sistemleri için Deneysel Karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 25 – 49.
- Cruickshank, C. A. 2009**. Evaluation of a Stratified Multi-Tank Thermal Storage for Solar Heating Applications. *Ph.D. Dissertation*, Queen's University, Kingston, ON, Canada,
- Çengel, Y.A., Boles, M.A. 1996**. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik Türkçe birinci basım. McGraw-Hill – Literatür ortak yayını, İstanbul.
- De Wilde, P., Voorden, V. 2003**. Computational Support For The Selection Of Energy Saving Building Components. *Proceedings of Building Simulation'03 Conference*, IBPSA 2003, Eindhoven, Netherlands, 1409-1416.
- Duffie J.A., Beckman W.A. 1991**. *Solar Engineering of Thermal Processes – Second Edition*, Wiley-Interscience, New York.
- Ekmekçi, İ., Dizdar, H., Özçelebi, S. 2001**. Kocaeli İli İçin Bir Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemi ve Boyutlandırılması. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi*, Kayseri, 2001, Bildiriler Kitabı, 35 – 42.
- Günerhan H., Hepbaşlı A. 2007**. Exergetic Modeling and Performance Evaluation of Solar Water Heating Systems for Building Applications. *Energy and Buildings*, 39, 509-516.
- Gürenli M., Atamtürk U. 2012**. Türkiye’de Yaygın Olan Kullanım Sıcak Suyu Sistemlerine Genel Bir Bakış Hızlı Boyler ve Depo Şarj Sisteminin Karşılaştırmalı Analizi. *Tesisat Mühendisliği*, 129, 51-61

- Hawladar, M.N.A., Chou S.K., and Ullah M.Z. 2001.** The Performance of a Solar Assisted Heat Pump Water Heating System. *Applied Thermal Engineering*. 21 (10),1049-1065.
- H. Hottel, B. Woertz, 1942,** Performance of flat-plate solar-heat collectors, Trans. ASME. 64.
- H. Hottel, 1954,** Performance of flat- plate energy collectors. Trans. Conf. Use of Solar Energy. 1955, Tucson,Arizona, U.S.A
- Hottel, H., Whillier, A. 1955.** Evaluation of flat-plate solar collector performance, Trans. Conf. Use of Solar Energy. 1955, Tucson,Arizona, U.S.A
- Hottel, H., Erway, D. 1963.** Collection of solar energy, Introduction to the Utilization of Solar Energy, Ed. Zarem AM, McGraw-Hill Book Company.
- Duffie, J.A., Beckman, W.A. 1974.** Solar energy thermal processes, in, University of Wisconsin- Madison, Solar Energy Laboratory, Madison, WI,
- Chu, J. 2014.** Evaluation of a Dual Tank Indirect Solar-Assisted Heat Pump System for a High Performance House. *Msc. Thesis*, Carleton University, Ottawa,
- Perlin, J. 2012.** California Solar Center - Solar Thermal History. [Online]. [http://www.californiasolarcenter.org/history\\_solarthermal.html](http://www.californiasolarcenter.org/history_solarthermal.html)
- Kaygusuz, K. 1992.** Karadeniz’ deki Konutların Güneş Destekli Isı Pompaları Yardımıyla Isıtılabilirliğinin İncelenmesi. *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Klein, S.A. 1976.** A Design Procedure for Solar Heating Systems. *Ph.D. Thesis*, Department of Chemical Engineering, University of Wisconsin-Madison.
- Kuang, Y. H. 2003** Experimental Study on Solar Assisted Heat Pump system For Heat Supply, *Energy Conversation and Management*. 44, 1089-1098
- Lavan Z.,Thompson J. 1977.** Experimental Study of Thermally Stratified Hot Water Storage Tanks, *Solar Energy*,19, 519–524.
- Rosen, M.A. 2001.** The exergy of stratified thermal energy storages. *Solar Energy*. 71 (3) 173-85,
- Chandrashekar, M., Le, N.T., Sullivan, H.F., Hollands, K.G.T. 1982.** A comparative study of solar assisted heat pump systems for Canadian locations. *Solar Energy*. 28 (3), 217-226.
- Mazman, M., Cabeza, L.F., Mehling, H. 2009.** Utilization of phase change materials in solar domestic hot water systems. *Renewable Energy*, 34, 1639-1643.
- Terrel, R.E. 1979.** Performance and analysis of a "series" heat pump-assisted solar heated residence in Madison, Wisconsin. *Solar Energy*, 23, 451-453.
- Bliss, R.W. 1959.** The derivations of several “plate-efficiency factors” useful in the design of flat-plate solar heat collectors, *Solar Energy*, 3 (4), 55-64.
- Altuntop, N., Tekin, Y., İlbaş, M. 2001,** “Güneş Enerjisi Tesisatı Kolektör ve Boru Bağlantılarında Yapılan Hataların Isıl Verime Etkisinin Deneysel İncelenmesi. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Kayseri, 2001, Bildiriler Kitabı, 43 – 52.
- Sterling, S.J. 2011.** Feasibility Analysis of Two Indirect Heat Pump Assisted Solar Domestic Hot Water Systems," University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, *MSc Thesis*.
- Solar Rating and Certification Corporation. 1995.** SRCC Standard 100. Test Methods and Minimum Standards for ertifying Solar Collectors. Available on [www.solar-ratings.org](http://www.solar-ratings.org)



- Utlu, Z. 1999.** İzmir Koşullarında Güneş Enerjisi Destekli Isı Pompası Tasarımı. *Yüksek Lisans Tezi*. Ege Üniversitesi. Bornova-İzmir.
- Ülkü, S. 1986.** Adsorption heat pumps. *Journal of Heat Recovery Systems*, 6(4), 277-284.
- Yamankaradeniz, R., Horuz, I. 1998.** The theoretical and experimental investigation of the characteristics of solar-assisted heat pump for clear days. *International communications in heat and mass transfer*, 25(6), 885-898.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gamze KANDIRMIŞ  
Doğum Yeri ve Tarihi : Afşin, 22/07/1989  
Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Afşin Anadolu Lisesi, 2003-2007  
Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Lisans : Makine Mühendisliği Bölümü, 2008-2012  
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 2015-2017  
Çalıştığı Kurum ve Yıl : Özgül Treyler A.Ş.,Konya, 2012-2013  
Kayahan Hidrolik A.Ş. 2013-2014  
İletişim(e-posta) : gamzepehlivn@gmail.com