

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ KAYNAKLI BÖLGESEL ISITMA SİSTEMLERİNİN  
İNCELENMESİ VE BİR ÜNİVERSİTE KAMPÜSÜNDEKİ  
BELİRLİ BÖLGE İÇİN MODELLENEREK DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Okan KARAOĞLU**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Programı**

**MAYIS 2019**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ KAYNAKLI BÖLGESEL ISITMA SİSTEMLERİNİN  
İNCELENMESİ VE BİR ÜNİVERSİTE KAMPÜSÜNDEKİ  
BELİRLİ BÖLGE İÇİN MODELLENEREK DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Okan KARAOĞLU  
(301161024)**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yakup Erhan BÖKE**

**MAYIS 2019**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 301161024 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Okan KARAOĞLU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “GÜNEŞ KAYNAKLI BÖLGESEL ISITMA SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ VE BİR ÜNİVERSİTE KAMPÜSÜNDEKİ BELİRLİ BÖLGE İÇİN MODELLENEREK DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Prof. Dr. Yakup Erhan BÖKE**      .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Dr. Öğr. Ü. Coşkun FIRAT**      .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Hakan DEMİR**      .....  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi**      :    **03 Mayıs 2019**  
**Savunma Tarihi**   :    **13 Haziran 2019**



## ÖNSÖZ

Öncelikle, çalışmam boyunca bilgisi ve tecrübesi ile beni doğruya yönlendiren ve desteğini esirgemeyen saygıdeğer danışmanım Prof. Dr. Erhan Böke'ye saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tasarım aşamasında gerekli olan bilgileri edinmemde kolaylık sağlayan İ.T.Ü. Rektörlüğü Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı ve Yazı İşleri çalışanlarına teşekkür ederim.

Çalışmam sırasında bilgisi ve özverisi ile desteğini esirgemeyen Sercan Kurtuluş'a teşekkürlerimi iletirim.

Son olarak, tez çalışmam boyunca desteğini esirgemeyen, sabır ve anlayışıyla bana kolaylık sağlayan hayat ortağım Elif Ceren'e, bugünlere ulaşmam için maddi manevi her türlü desteği verip her anımda sabır ve sevgiyle yanımda olan babam Recep ve annem Nuray'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Mayıs 2019

Okan Karaoğlu

Makina Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                                 |             |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>ÖZET.....</b>                                                                | <b>xv</b>   |
| <b>SUMMARY .....</b>                                                            | <b>xvii</b> |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                                                           | <b>1</b>    |
| 1.1 Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemler .....                                    | 2           |
| 1.1.1 Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemi Çeşitleri – Suyun Taşıma Şekline Göre. 2 |             |
| 1.1.1.1 Pasif (Doğal Akışlı) Sistemler .....                                    | 2           |
| 1.1.1.2 Aktif (Zorlanmış Akışlı) Sistemler .....                                | 3           |
| 1.1.2 Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemi Çeşitleri – Devre Tipine Göre .....      | 5           |
| 1.1.2.1 Direkt / Açık Devre Sistemler.....                                      | 5           |
| 1.1.3.1 Endirekt / Kapalı Devre Sistemler .....                                 | 6           |
| 1.2 Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemi Komponentleri .....                        | 8           |
| 1.2.1 Kolektör .....                                                            | 8           |
| 1.2.1.1 Düzlemsel Kolektörler .....                                             | 8           |
| 1.2.1.2 Vakum Tüplü Kolektörler.....                                            | 11          |
| 1.2.1.3 Yoğunlaştırıcı Kolektörler .....                                        | 14          |
| 1.2.1.4 Entegre Depolu Kolektörler .....                                        | 18          |
| 1.2.2 Kolektör Akışkanı .....                                                   | 19          |
| 1.2.3 Isı Değiştirici.....                                                      | 20          |
| 1.2.4 Sirkülasyon Pompası.....                                                  | 21          |
| 1.2.5 Kontrol Modülü.....                                                       | 21          |
| 1.2.6 Depolama .....                                                            | 22          |
| 1.2.6.1 Sezonluk Depolama .....                                                 | 22          |
| 1.2.6.2 Günlük Depolama .....                                                   | 26          |
| 1.2.7 Sistem Güvenlik Ekipmanları .....                                         | 28          |
| 1.3 Bölgesel Isıtma .....                                                       | 29          |
| 1.3.1 Isı ve Elektrik Üreten Bölgesel Isıtma Sistemleri .....                   | 30          |
| 1.3.1.1 Buhar Türbinli Sistemler.....                                           | 31          |
| 1.3.1.2 İçten Yanmalı Motorlu Sistemler.....                                    | 31          |
| 1.3.2 Sadece Isı Üreten Bölgesel Isıtma Sistemleri .....                        | 32          |
| 1.3.2.1 Isıtma Kazanlı Bölgesel Isıtma .....                                    | 32          |
| 1.3.2.2 Isı Pompalı Bölgesel Isıtma .....                                       | 32          |
| 1.3.2.3 Atık Isı Kaynaklı Bölgesel Isıtma .....                                 | 33          |
| 1.3.2.4 Güneş Enerjisi Kaynaklı Bölgesel Isıtma .....                           | 33          |
| 1.3.3 Bölgesel Isıtma Sistemlerinde Depolama .....                              | 34          |
| 1.3.4 Bölgesel Isıtma Sisteminde Enerjinin Dağıtımı.....                        | 34          |
| 1.4 Literatür Özeti .....                                                       | 36          |
| 1.5 Tezin Amacı .....                                                           | 42          |
| <b>2. GÜNEŞ ENERJİLİ BÖLGESEL ISITMA SİSTEMİNİN TASARLANMASI</b>                | <b>45</b>   |
| 2.1 Sistemin Kurulacağı Bölgenin Belirlenmesi .....                             | 45          |

|                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.2 Bölgedeki Sıcak Su İhtiyacı .....                            | 46        |
| 2.3 Bölgenin Güneş Enerjisi Potansiyeli .....                    | 48        |
| 2.4 Bölgesel Isıtma Sisteminin Tasarımı.....                     | 49        |
| <b>3. GÜNEŞ ENERJİLİ BÖLGESEL ISITMA SİSTEMİNİN TASARLANMASI</b> |           |
| .....                                                            | <b>53</b> |
| 3.1 T*SOL Modelleme Programı .....                               | 53        |
| 3.2 Sistem için T*SOL Modellemesinin Yapılması.....              | 54        |
| <b>4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....</b>                      | <b>69</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                            | <b>73</b> |
| <b>EKLER.....</b>                                                | <b>79</b> |

## KISALTMALAR

|                              |                                                          |
|------------------------------|----------------------------------------------------------|
| <b>DIN</b>                   | : Deutsches Institute for Normung                        |
| <b>ESRI</b>                  | : Coğrafi Bilgi Sistemi Yazılımı                         |
| <b>GEPA</b>                  | : Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası                      |
| <b>GESIS</b>                 | : Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemi                       |
| <b>GWth</b>                  | : Giga Watt Termal                                       |
| <b>MWth</b>                  | : Mega Watt Termal                                       |
| <b>OECD</b>                  | : Organisation for Economic Co-operation and Development |
| <b>T*SOL</b>                 | : Güneş Enerjili Isıtma Sistemi Modelleme Programı       |
| <b>TWth</b>                  | : Terra Watt Termal                                      |
| <b>TS</b>                    | : Türk Standartları                                      |
| <b><math>\Delta T</math></b> | : Sıcaklık Farkı                                         |



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 2.1 : Bölgesel Isıtma Sisteminin Dağıtım Şeması .....                 | 47 |
| Çizelge 2.2 : Bölgesel Isıtma Sisteminin Isı Merkezi.....                     | 47 |
| Çizelge 3.1 : Sistem İçindeki Su Tüketim Noktaları ve Tüketim Talepleri ..... | 59 |
| Çizelge 3.2 : Dağıtım Hattı Gidiş Boruları Ölçüleri ve Maliyetleri .....      | 66 |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1 : Pasif sistemin çalışma prensibi .....                                   | 3  |
| Şekil 1.2 : Pasif sistemin ülkemizde kullanılan bir örneği .....                    | 3  |
| Şekil 1.3 : Aktif sistemin çalışma prensibi .....                                   | 4  |
| Şekil 1.4 : Pasif sistem ile aktif sistemin karşılaştırılması .....                 | 4  |
| Şekil 1.5 : Bireysel Konutta Aktif Sistem Uygulaması .....                          | 5  |
| Şekil 1.6 : Açık Devreli Sistem .....                                               | 6  |
| Şekil 1.7 : Kapalı Devre Sistem.....                                                | 7  |
| Şekil 1.8 : Düzlemsel Kolektör.....                                                 | 9  |
| Şekil 1.9 : Akışkan Boruları Yerleşimi .....                                        | 10 |
| Şekil 1.10 : Düzlemsel Kolektörün Çatı Montajı Örneği .....                         | 10 |
| Şekil 1.11 : Vakum Tüplerin Güneş Işığı Takibi.....                                 | 11 |
| Şekil 1.12 : Düz Borulu Vakum Tüp Kolektör Çalışma Prensibi.....                    | 12 |
| Şekil 1.13 : U Borulu Vakum Tüp Kolektör Çalışma Prensibi .....                     | 12 |
| Şekil 1.14 : Vakum Tüp Kolektörde Tüp-Devre Arası Isı Değiştirici.....              | 13 |
| Şekil 1.15 : Örnek Vakum Tüp Kolektör Uygulaması .....                              | 13 |
| Şekil 1.16 : Parabolik Oluklu Kolektör Çalışma Prensibi .....                       | 15 |
| Şekil 1.17 : Parabolik Oluklu Kolektör Uygulaması .....                             | 15 |
| Şekil 1.18 : Parabolik Çanak Tip Kolektör Çalışma Prensibi .....                    | 16 |
| Şekil 1.19 : Parabolik Çanak Tip Kolektör Uygulaması .....                          | 16 |
| Şekil 1.20 : Güç Kulesi Sistemi Çalışma Prensibi.....                               | 17 |
| Şekil 1.21 : Güç Kulesi Sistemi Uygulaması.....                                     | 17 |
| Şekil 1.22 : Fresnel Kolektörleri Çalışma Prensibi .....                            | 18 |
| Şekil 1.23 : Entegre Depolu Kolektör Tipleri.....                                   | 19 |
| Şekil 1.24 : Duvar Sayısına Göre Isı Değiştirici Tiplerinin Karşılaştırılması ..... | 20 |
| Şekil 1.25 : Sirkülasyon Pompası .....                                              | 21 |
| Şekil 1.26 : Sıcak Su Depolu Sezonluk Depolama.....                                 | 23 |
| Şekil 1.27 : Sezonluk Depolama Sıcak Su Deposunun Toprak Altına Montaj Öncesi ..... | 23 |
| Şekil 1.28 : Su-Çakıl Dolu Çukurlu Sezonluk Depolama .....                          | 24 |
| Şekil 1.29 : Çukur Tipli Sezonluk Depolama Örnek Uygulaması .....                   | 24 |
| Şekil 1.30 : Sondaj Kuyulu Sezonluk Depolama .....                                  | 25 |
| Şekil 1.31 : Sondaj Kuyulu Sezonluk Depolamanın Çalışma Prensibi .....              | 25 |
| Şekil 1.32 : Sezonluk Güneş Enerjisinin Yeraltı Suyunda Depolanması .....           | 26 |
| Şekil 1.33 : Tek Serpantinli Boyler .....                                           | 27 |
| Şekil 1.34 : Çift Serpantinli Boyler .....                                          | 27 |
| Şekil 1.35 : Güneş Enerjili Su Isıtma Sisteminde Genleşme Tankı .....               | 28 |
| Şekil 1.36 : Emniyet Valfi .....                                                    | 29 |
| Şekil 1.37 : Buhar Türbinli Kombine Çevrim Sistemi .....                            | 31 |
| Şekil 1.38 : İçten Yanmalı Motorlu Kombine Çevrim Sistemi .....                     | 32 |
| Şekil 1.39 : Isı Pompalı Bölgesel Isıtma Sistemi.....                               | 33 |
| Şekil 1.40 : Isı Pompalı Bölgesel Isıtma Sistemi.....                               | 34 |

|                                                                                                        |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Şekil 1.41 : Kolektör Enerjisinin Tek Bölgede Toplayan Merkezi Sistem .....</b>                     | <b>34</b> |
| <b>Şekil 1.42 : Bölgesel Isıtma Sisteminin Yalıtımlı Dağıtım Boruları .....</b>                        | <b>35</b> |
| <b>Şekil 1.43 : Ülkelerin Güneş Enerjili Isıtma Sistemi Kurulu Kapasitelerine Göre Sıralaması.....</b> | <b>39</b> |
| <b>Şekil 1.44 : Esenyurt Termik Santrali.....</b>                                                      | <b>41</b> |
| <b>Şekil 1.45 : Soma Termik Santrali.....</b>                                                          | <b>42</b> |
| <b>Şekil 2.1 : İTÜ Ayazağa Kampüsü İçinde Belirlenen Bölge .....</b>                                   | <b>45</b> |
| <b>Şekil 2.2 : Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası .....</b>                                              | <b>48</b> |
| <b>Şekil 2.3 : Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası .....</b>                                              | <b>48</b> |
| <b>Şekil 2.4 : Sarıyer'in aylık güneşlenme süreleri (gün/saat) .....</b>                               | <b>49</b> |
| <b>Şekil 2.5 : Sarıyer'in aylık güneş ışıınımı (kWh/m<sup>3</sup>).....</b>                            | <b>49</b> |
| <b>Şekil 2.6 : Bölgesel Isıtma Sisteminin Dağıtma Şeması.....</b>                                      | <b>51</b> |
| <b>Şekil 2.7 : Bölgesel Isıtma Sisteminin Isı Merkezi.....</b>                                         | <b>52</b> |
| <b>Şekil 2.8 : Bölgesel Isıtma Sisteminin Tesisat Şeması .....</b>                                     | <b>52</b> |
| <b>Şekil 3.1 : T*SOL Programı İçerisine Sıcak Su İhtiyacının Girilmesi .....</b>                       | <b>55</b> |
| <b>Şekil 3.2 : Sistemin Aylık Bazda Kullanım Rejimi .....</b>                                          | <b>55</b> |
| <b>Şekil 3.3 : Sistemin Haftalık Bazda Kullanım Rejimi .....</b>                                       | <b>56</b> |
| <b>Şekil 3.4 : Sistemin Saatlik Bazda Günlük Kullanım Rejimi .....</b>                                 | <b>56</b> |
| <b>Şekil 3.5 : T*SOL Programı İçerisinde Kolektör Yerleşimi .....</b>                                  | <b>57</b> |
| <b>Şekil 3.6 : Buderus SKN 4.0 Dikey Düzlemsel Kolektör.....</b>                                       | <b>57</b> |
| <b>Şekil 3.7 : T*SOL Programı İçerisinden Buffer Tankı Seçimi.....</b>                                 | <b>58</b> |
| <b>Şekil 3.8 : T*SOL Programı İçerisinde Boyler Seçimi .....</b>                                       | <b>60</b> |
| <b>Şekil 3.9 : T*SOL Programı İçerisinde Primer Isı Değiştiricinin Seçimi .....</b>                    | <b>62</b> |
| <b>Şekil 3.10 : T*SOL Programı İçerisinde Sekonder Isı Değiştiricinin Seçimi .....</b>                 | <b>62</b> |
| <b>Şekil 3.11 : T*SOL Programında Finansal Analiz Parametrelerinin Seçimi .....</b>                    | <b>65</b> |
| <b>Şekil 3.12 : TVL Boru Çapı Belirleme Hesap Programı .....</b>                                       | <b>65</b> |
| <b>Şekil 3.13 : T*SOL Programı İçerisine Sistem Maliyetinin Eklenmesi .....</b>                        | <b>67</b> |
| <b>Şekil 3.14 : Sistemin Toplam İhtiyacı Karşılama Oranının Yıl İçindeki Dağılımı ...</b>              | <b>68</b> |
| <b>Şekil 3.15 : Kolektör Devresi Sıcaklıklarının Yıl İçindeki Dağılımı .....</b>                       | <b>68</b> |

# **GÜNEŞ KAYNAKLI BÖLGESEL ISITMA SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ VE BİR ÜNİVERSİTE KAMPÜSÜNDEKİ BELİRLİ BÖLGE İÇİN MODELLENEREK DEĞERLENDİRİLMESİ**

## **ÖZET**

Günümüzde fosil yakıtların tükeniyor olması ve ürettikleri CO<sub>2</sub> emisyonları ile çevreye zarar vermeleri, enerjinin verimli kullanılmasını sağlayacak stratejilere ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi zorunlu kılmıştır. Toplam enerji tüketiminin %32'sine ihtiyaç duyan konut sektörü ısınma enerjisi için enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı konusunda mesafe katetmiş durumdadır.

Bireysel ısınma sistemleri yerine bölgesel ısınma sistemlerinin kurulması ve ısınma için başta güneş olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, her iki yönelimi bir arada kullabilen yenilenebilir enerji kaynaklı bölgesel ısıtma sistemlerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Özellikle İskandinav ülkelerinde bu sistem tipinin örnekleri görülmektedir.

Türkiye'de ise yüksek güneş enerji potansiyeline ve güneş enerjili ısıtma sistemleri bazında Dünya'da Çin ile Amerika'nın ardından kurulu güç bakımından üçüncü sırayı alıyor olmasına rağmen güneş enerjisi kaynaklı bölgesel ısıtma sistemi bulunmamaktadır. Türkiye'deki kullanım tamamen bireysel ve ticari binalardaki tekil projelere yoğunlaşmıştır.

Bu tez çalışması, ülkemizde de güneş enerjili bölgesel ısıtma sistemi kullanımının mümkün olduğunu, T\*SOL programı üzerinden yapılan bir modelleme ile göstermektedir. Modelleme için İstanbul Teknik Üniversitesi'nin Ayazağa Kampüsü içerisinde 6 adet yurt binası ve bir adet kapalı spor salonu olan bölge seçilmiş ve güneş enerjili bölgesel su ısıtma sisteminin tasarımı yapılmıştır. Sistemin mevcutta kullanılan su ısıtma sistemlerine ön ısıtma yapmasını sağlayacak şekilde tasarlanması ile hali hazırda bulunan ısı kaynakları ve sistemlerinin kullanılmasıyla ilk yatırım maliyeti düşürülmüştür. Tasarımı yapılan sistem T\*SOL üzerinden modellenmiştir. Modelleme sırasında kolektör, ısı merkezi ve dağıtım hattı maliyetleri 687.456,5 TL olarak hesaba katılmıştır. Modelleme sonucuna göre tasarlanan sistemden yıl boyunca kullanım suyu ısıtması için elde edilen enerjinin 457.122,45 kW/saat olarak toplam ısı ihtiyacının %28,8'ini karşıladığı görülmüştür. Bu sayede sistem doğalgaz tasarrufu sağlamış ve CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmıştır. Toplamda %54,4 verime sahip olan sistemin yatırım geri dönüş süreninin 5,8 yıl olacağı hesaplanarak, sistemin verimli ve uygulanabilir olduğu kanıtlanmıştır. Ayrıca tasarlanan sistemin bölgesi içerisinde kalan İstanbul Teknik Üniversitesi, Ayazağa Kampüsü Spor Salonu için yapılan güneş enerjili su ısıtma sistemi tasarımı ve modellemesi çalışmasının sonuçları ile bu tez çalışmasında tasarlanan güneş enerjili bölgesel su ısıtma sisteminin tasarımı ve modellemesi çalışmasının sonuçlarının kabaca karşılaştırılmasının yapılarak bölgesel ısıtma sistemlerinin daha verimli olacağı tez çalışmasının değerlendirilerek çalışmanın geliştirilebilecek yönleri belirtilmiştir.



# **A RESEARCH ON SOLAR THERMAL DISTRICT HEATING SYSTEMS AND REVIEWING OF THESE SYSTEMS WITH A MODEL IN SPESIFIC AREA OF A UNIVERSITY CAMPUS**

## **SUMMARY**

Today, fossil fuels are about to run out in these days and energy demand is increasing because of the high increase on population. The energy demand is not the only problem. Fossil fuels also effects the nature because of the green house gases. The CO<sub>2</sub> emissions are the main problem that causes the global warming, which have various effects on the world's climate.

Because of these problems, changing the energy strategies to using the energy in more efficient way and using renewable energy sources became a must for the whole world. Buildings need 32% of total energy usage so; there are some improvements about this energy problem.

The main improvement about these problems is using renewable energy in buildings. Solar energy is the main renewable energy source and buildings using this source especially for heating. These systems started with basic water heating but right know buildings using for both domestic hot water consumption, heating system support and pool heating. There are also some systems that producing heat for industry process.

Building more district heating systems than individual heating systems and increase on usage of renewable energy, especially solar energy, gives a potential to use district heating systems with renewable energy. Because of the working principle of the solar energy systems, increase on heat demand also increase the efficiency. This effect is related to the increase on solar collectors, which is related directly to the system efficiency. Since the higher demand means higher efficiency in solar thermal systems, district heating strategies is the beneficial way to use the solar energy for heating. Scandinavian countries have most common applications with this strategy.

Turkey has a huge potential in solar irradiation potential and have the third place after the United States and China according to the total solar thermal collector. Turkey has the 3,3% of the total capacity of the world. People using the solar thermal systems since 1980s. It can be said that Turkey have the enough knowledge and experience in the solar thermal systems. Turkey mainly use solar heating system in individual or commercial buildings.

Eventhough Turkey have a wide experience and knowledge in solar thermal systems, there isn't any solar thermal district heating systems in whole country. There is'nt also any research or any project about this heating strategy.

Turkey's district heating systems are also limited. There are three main systems and just one of them using renewable energy for heating. This system is in Izmir region and using geothermal energy for heating the buildings near to Narlıdere-Balçove districts of Izmir region.

The aim of this project is proving that district heating strategy is the more efficient especially in solar thermal heating systems. This thesis will inspire the following researches and project about district solar thermal heating systems in Turkey.

This thesis will prove that using solar district heating systems in Turkey is feasible with help of T\*SOL modeling. T\*SOL is the system that developed by Valentine Software company. The first version of T\*SOL was started in 1993 so developers have enough experience about the solar thermal modelling. Moreover, their climate library and system components library is also wide enough and because of these advantages many big companies of solar thermal sector is already using this system for modelling their projects.

A district which have 6 dormitories and a sports center was chosed in Istanbul Technical University, Ayazaga Campus. Total capacity of these dormitories are 1.282 people. Moreover, 300 people uses the showers of the sports center in Ayazağa Campus.

System will have four main strategy. First strategy is using district heating type for heating. Second strategy is using this system for domestic hot water consumption. Third strategy is using a active solar thermal system with flat plate collectors. The last strategy is using existing systems for reducing the investment cost of the system.

Because of the first strategy, system will have an collector area and a heat transfer station will be used. Moreover, system will have an distribution pipelines which will be like the city water pipelines. Because of large distribuion system, heat transfer station will have additional pumps. Both second and forth strategys led the system to use pre-heating technique. This means solar thermal system will heat the cold municipal water before it gets in the existing system. Since the both buildings have their own heating system, district heating system will distribute the hot water to these buildings existing system. If the solar energy is enough for domestic hot water demand, the hot water from solar thermal district system will be used directly. However, if the heat is not enough for hot water demand, solar thermal district heating system will support the existing systems.

T\*SOL modelling program is used for this design. The selected area's climate data found in the T\*SOL's library. The Buderus SKN 4.0 flat plate collectors are chosen and the technical data of these col According to these modelling program, using 250 flat plate collector maket he system efficient and safe.

Total cost of collectors, heating plant and distribution line is calculated as 687.456,5 TL. T\*SOL modelling system also consider the energy costs inflation so Turkey's energy inflation is added as 17% to the model. The costs of natural gas and electricity is also added to the model. System's life span is determined as 20 years.

According to result of modelling, annual heat gain from the system is 457.122,45 kW/h which is 28,85% of annual heat demand for heating the domestic hot water. This system will save the natural gas and reduce the CO<sub>2</sub> emusions. System's calculated efficiency is 54,4% and calculated return on investment is 5,8 years. This results proves that system is feasible to use.

Moreover, results of this thesis is roughly compared with results of a thesis which was modelled a solar domestic hot water heating system for Sports Center of Istanbul Technical University, Ayazaga Campus. Results of this test was 6,6 years as the return on investment. This can be also a rough result for show that solar district heating systems are more efficient. End of the thesis, there are some suggestions for improvements to have a better comparison between individual and district solar heating systems.



## 1. GİRİŞ

Türkiye, coğrafi konumu ve iklimi sebebiyle yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelini belirlemek için Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından yapılan Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası'na (GEPA) göre ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.737 saat (ortalama günlük toplam 7,5 saat) ve ortalama yıllık toplam güneş enerjisi ise 1.527 kWh/m<sup>2</sup>.yıl (ortalama günlük toplam 4,2 kWh/m<sup>2</sup>) olarak görülmektedir.

Bu potansiyel Türkiye'de 2 temel şekilde enerjiye dönüştürülebilmektedir. Bunlar; ülkemiz için nispeten yeni olan fotovoltaik sistemleri ile elektrik enerjisi üretimi ve ülkemizde uzun yıllardır kullanılmakta olan güneş enerjili ısıtma sistemleri diğer adıyla Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemler (GESIS). Bu sistemlerin imalatı 1975 yılında başlanılmış olup 2016 yılına gelindiğinde 21. Yüzyıl için Yenilenebilir Enerji Politikaları Grubu tarafından hazırlanan Global Durum Raporu'na göre toplam GESIS kapasitesinde Çin ve Amerika'nın ardından Dünyada 3. konumda yer almaktadır.

Güneş enerjili su ısıtma sistemleri genel olarak tekil evler için yapılan sistemler, çoklu evler ve ticari binalar için yapılan sistemler ve güneş enerjili bölgesel ısıtma sistemleri olarak ayrılabilir. Gerek ülkemizde gerekse dünyada ağırlıklı olarak ilk iki sistem tipi kullanılmaktadır. Ancak 21. Yüzyıl için Yenilenebilir Enerji Politikaları Grubu'nun Global Durum Raporu'na göre özellikle Danimarka ve İsveç gibi sıcak su ihtiyacı yoğun olan Avrupa ülkelerinden başlayan bölgesel solar su ısıtma sistemleri verimlilikleri sebebiyle başta Avrupa olmak üzere dünyadaki çeşitli ülkelere yayılmaya başlamıştır.

Bu araştırmada Türkiye'de bir bölgesel güneş enerjili ısıtma sistemi tasarlanarak verimliliği ve uygulanabilirliği tartışılacaktır. Bu araştırma için pilot bölge olarak İstanbul Teknik Üniversitesi, Ayazağa kampüsü seçilerek bu kampüste belirlenecek birden fazla binanın sıcak su ihtiyacının, kampüs içerisinde tasarlanacak güneş enerjili bölgesel su ısıtma sistemi üzerinden giderilmesi sağlanacaktır.

## **1.1 Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemler**

Solar su ısıtma sistemler; sistemde ısıtılan suyun taşınma şekline göre, aktif sistemler ve pasif sistemler olarak; sistemde ısıtılan suyun kullanım şekline göre ise, direk ve endirekt sistemler olarak 2 farklı grup ve bunların 2 alt grubuna ayrılırlar. Bütün sistem tiplerinin ana elemanı, güneş ısını toplayarak su ısıtma işlemini gerçekleştiren kolektörlerdir.

Sistem tipine göre, depo, pompa, kontrol ünitesi ve ısı değiştirici gibi elemanlara da sahip olabilmektedirler. Kolektörde ısınan su, sistem tipine göre belirlenen şekilde direkt veya endirekt olarak kullanıma sunulmak üzere hazırlanmakta ve yine sistemin taşıma tipine göre kullanım alanına aktarılmaktadır. Sistem tipleri, sistemin verimi ve sistemin ilk yatırım maliyeti üzerinde doğrudan etkiye sahip olmaktadır.

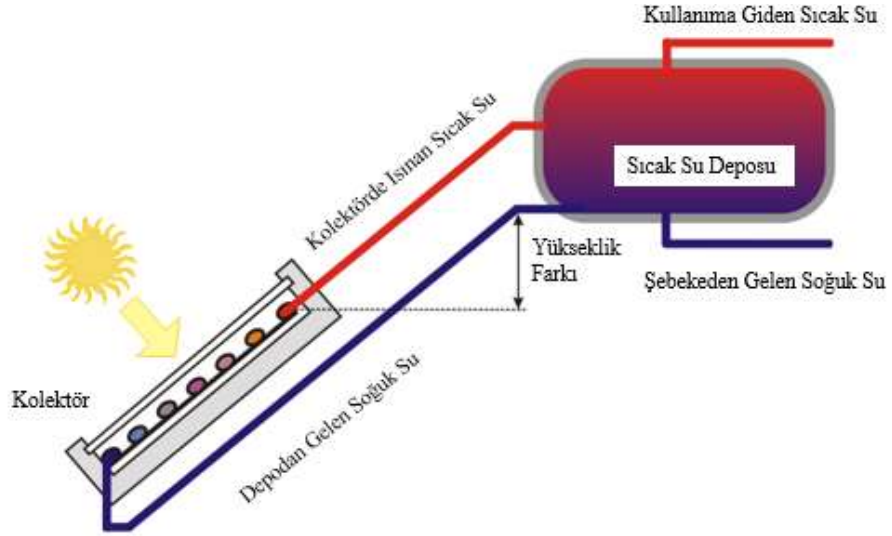
### **1.1.1 Güneş enerjili su ısıtma sistemi çeşitleri – suyun taşıma şekline göre**

#### **1.1.1.1 Pasif (doğal akışlı) sistemler**

Doğal akışlı/sirkülasyonlu olarak da adlandırılan bu sistem tipinde kolektörde ısınan suyun, ısıya dayalı pasif taşınım yöntemi ile kolektörden transferi sağlanır. Bu sistemlerde soğuk su kolektörün alt kısmından giriş yapar ve ısındıkça özkütlesinin azalması sebebiyle kolektör içerisinde yükselerek üst kısımdan çıkış yapar ve sistem tipine göre direkt kullanılmak veya ısı değiştiricine iletilerek endirekt olarak kullanılmak için ilgili alana aktarılır (Şekil 1.1).

Pasif sistemlerde, ısınan su doğal akış ile ilerlediği için deponun kolektöre yakın olması gerekmektedir. Bu sebeple bu sistemlerde depo, kolektörün hemen üzerinde konumlandırılmaktadır.

Pasif sistemler, basit olması, sirkülasyon pompası gerektirmemesi sebebiyle hem bakım masrafı hem de ek enerji maliyeti olmayan sistemlerdir. Bu sebeplerden ötürü özellikle ülkemizde yoğun olarak kullanılmaktadır (Şekil 1.2). Ancak bu sistemler, verimleri düşük olan, aktif sistemlere göre daha yavaş çalışan ve aşırı ısınma, donma olaylarına karşı daha hassas olan sistemlerdir. Bu sebeple günümüzde yerini aktif sistemlere bırakmaya başlamıştır.



**Şekil 1.1 :** Pasif sistemin çalışma prensibi [1].

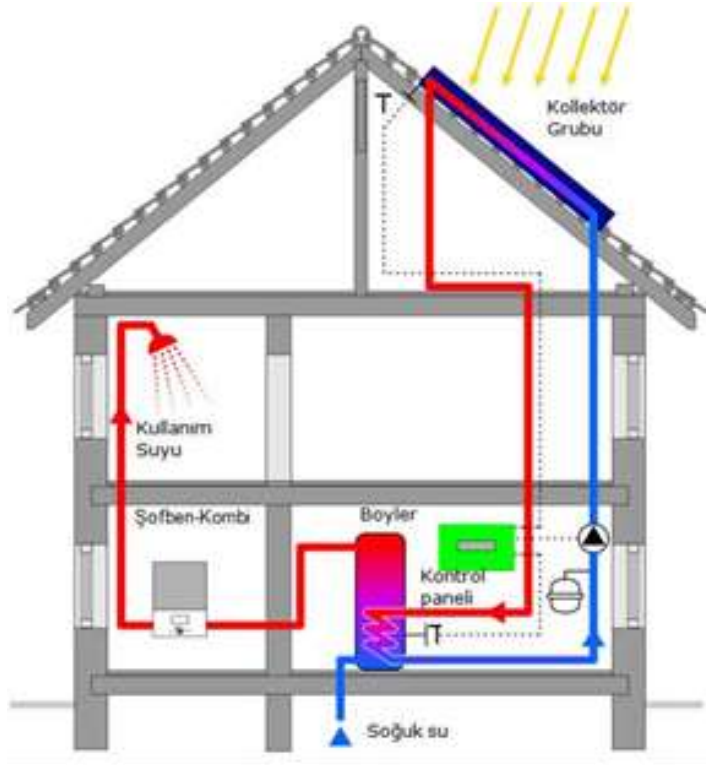


**Şekil 1.2 :** Pasif sistemin ülkemizde kullanılan bir örneği[2].

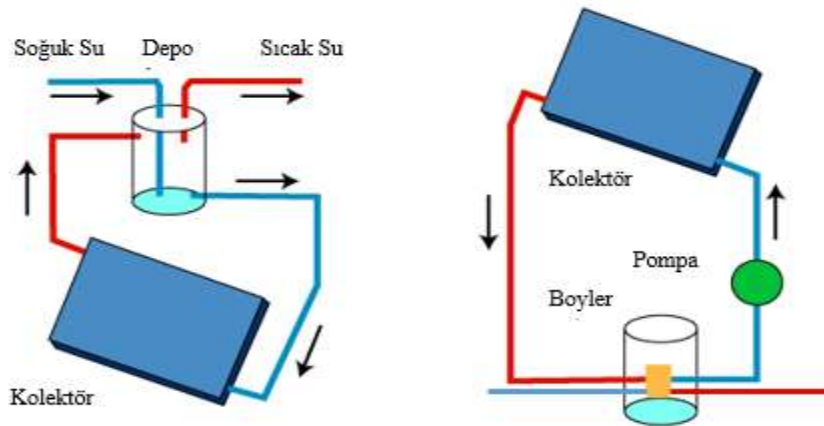
#### 1.1.1.2 Aktif (zorlanmış akışlı) sistemler

Aktif sistemlerde, kolektörlerde ısıtılan suyun zorlanmış taşınım prensibiyle kolektörden transferi sağlanır. Bu sistem içerisinde zorlanmış taşınım, bir sirkülasyon pompası vasıtasıyla sağlanır. Bu sebeple aktif sistemler, dışardan ek bir enerji kaynağına ihtiyaç duyarlar. Sistem içerisinde pompa olması sayesinde depo, kolektörden bağımsız olarak yerleştirilebilir. Bu durum özellikle ticari bina vb. su ihtiyacı yoğun olan alanlarda deponun aşağıya alınarak çatı üzerinde yük oluşumu ve alan kaybının önüne geçilmesini sağlar. Bu durum aynı zamanda deponun dış iklim şartlarından korunan bir ortama alınabilmesinin önünü açarak, ısı kayıplarının azaltılmasına yardımcı olur.

Ayrıca yine bu sayede mevcutta kullanılan su depoları veya boylerlerin kullanılmasını sağlar. Bu özelliği ise, sıcak su sisteminin elektrik veya doğalgaz gibi dış kaynaklar ile desteklenerek mevsim şartları sebebiyle yetersiz gelen güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin, destek sistemi olarak kullanılmasını sağlar. (Şekil 1.3). Aktif sistemler ile pasif sistemler kıyaslandığında, aktif sistemlerin ek bir ısı kaynağı ile desteklenebilmesi, en önemli özelliği olarak görülebilmektedir (Şekil 1.4).



Şekil 1.3 : Aktif sistemin çalışma prensibi [3].



Şekil 1.4 : Pasif sistem ile aktif sistemin karşılaştırılması [4].

Aktif sistemler, gelişen teknolojinin de etkisi ile elektronik kontrollere kavuşmuştur. Bu sayede sistemlerin, kombi,kazan vb. destek sistemler ile uyumlu çalışması, sistem içerisindeki pompanın verimli kullanılması ve güvenlik için kendi içinde gerekli önemleri alabilmesi sağlanmıştır (Şekil 1.5). Ayrıca bu sistemler sayesinde elde edilen sıcak su, kullanım suyu dışında ısıtmaya destek olarak da kullanılabilir.



**Şekil 1.5 : Bireysel Konutta Aktif Sistem Uygulaması [5].**

### **1.1.2 Güneş enerjili su ısıtma sistemi çeşitleri – devre tipine göre**

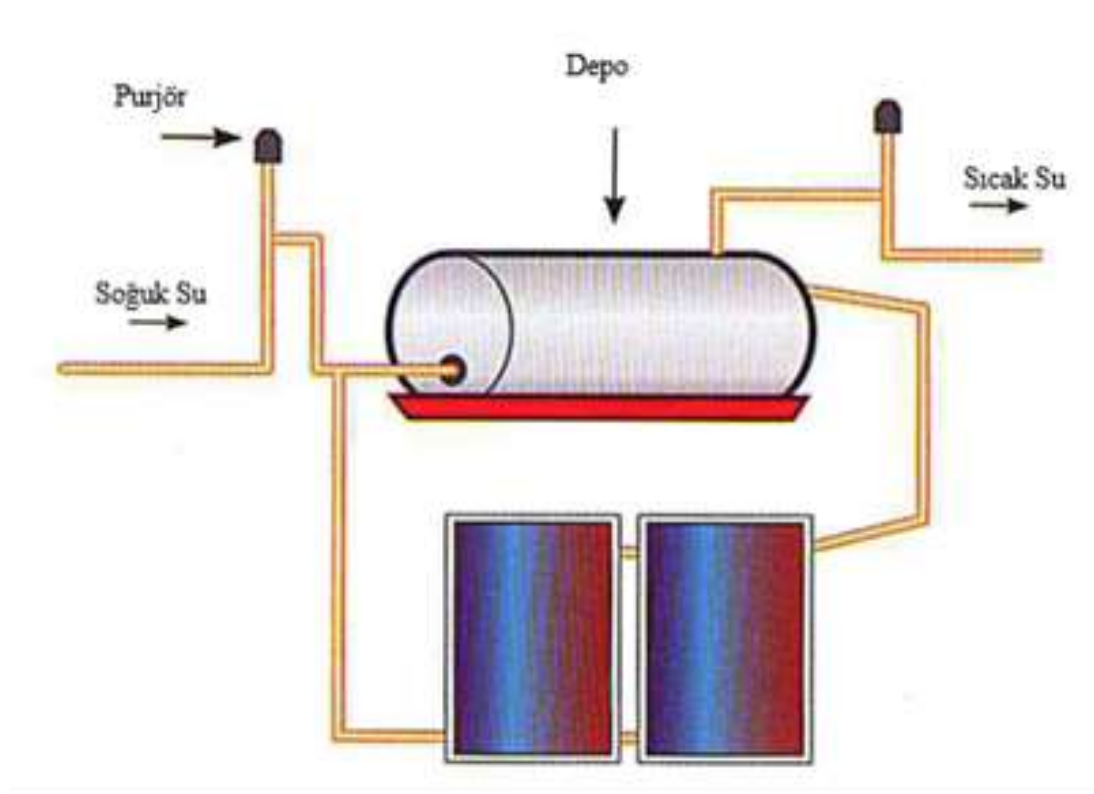
Güneş enerjili ısıtma sistemleri devre tiplerine göre direkt/açık devre ve indirekt/kapalı devre olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

#### **1.1.2.1 Direkt / açık devre sistemler**

Direkt ya da diğer adıyla açık devre sistemlerde, soğuk olan kullanım suyunun doğrudan kolektör dolaşımına girerek kolektör tarafında soğurulan güneş enerjisi ile ısınması sağlanmaktadır. Bu sistemler, ısı direkt olarak kullanım suyuna aktarıldığı için yüksek verimlilik ile çalışmaktadır. (Şekil 1.6). Ayrıca kolektörden gelen su direkt olarak kullanıldığı için ekstra yatırım maliyetine ihtiyaç yoktur. Direkt sistemler daha çok pasif sistemler ile kullanılmaktadır ancak aktif sistemler de açık devre olarak tasarlanabilir.

Bu sistemlerde suyun direkt olarak kullanılması verimi artırırken, sistemi doğa koşullarına ve suyun yapısına karşı korumasız bırakmaktadır. Düşük sıcaklıklarda su

sistem içerisinde donarak kolektörlere zarar verirken, yüksek sıcaklıklardan içerisinde bulunan suyun kaynamasıyla kolektörlerin üzerinde buhar oluşturarak, kolektör verimini düşürmektedir. Yine suyun korozyif etkisi de kolektörlere zarar vermekte ve sistemin ömrünü azaltmaktadır. Ayrıca şebeke suyu içerisindeki kireç vb. malzemelerin suyun ısınması ile çözerek kolektör içerisinde tortu bırakmasına ve bu sebeple akışın zayıflayarak kolektör veriminin azalmasına yol açmaktadır. Ülkemiz gibi yoğun içeriğe sahip sert şebeke sularına sahip yerlerde bu sistemler probleme yol açabilmektedir. Ayrıca farklı ilkim koşullarına karşı dayanıksız olan yapısı, yine ülkemizde yoğun olarak kullanılmamasının bir başka sebebidir.

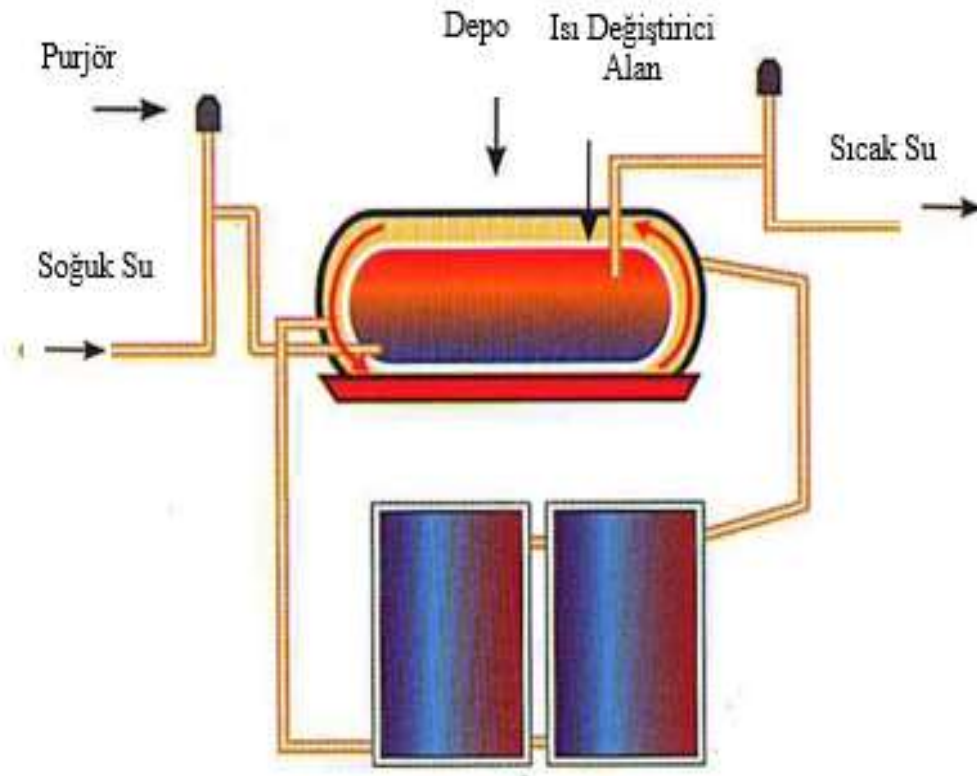


Şekil 1.6 : Açık Devreli Sistem [6].

#### 1.1.3.1 Endirekt / kapalı devre sistemler

Endirekt ya da kapalı devre olarak adlandırılan diğer sistemlerde ise, 2 farklı su çevrimi olmaktadır. Bu çevrimlerden biri, kullanım suyunu içinde barındırırken diğer çevrimde ise ısı transfer akışkanını barındırmaktadır. Kolektör sıvısının bulunduğu birincil çevrim, güneş enerjisinden aldığı ısıyı, ısı değiştiriciler vasıtasıyla kullanım suyunun bulunduğu ikincil çevrime aktarmaktadır. (Şekil 1.7). Kolektör sıvısı sadece su olabileceği gibi propilen glikoz bazlı antifrizler ile suyun karışımıyla elde edilen özel bir sıvı da olabilir. Direkt sistemlere kıyasla ısı konusunda daha verimsizlerdir.

Ayrıca direkt sistemlere göre daha fazla komponent barındırmasından dolayı ilk yatırım maliyetleri daha yüksek olmaktadır. Ancak sistem şebeke suyundan bağımsız olacağı için suyun içeriğinde bulunan kireç vb. tortu oluşturu maddelerden korunmuş olacaktır. Antifriz özellikli kolektör sıvılarının seçilmesiyle sistem, Aşırı sıcaklık sebebiyle sistemin buhar oluşturması veya 0°C ve altında sıvının donması gibi risklere karşı daha dayanıklı olacaktır. Antifrizli kolektör sıvısına ek olarak; aktif kapalı devre sistemlerinde, hava sıcaklığının takibini sağlayan otomatik kontrol üniteleri sayesinde kolektör sıvısını kolektörlerden çekip özel bir depoda olmasını sağlayabilir veya kolektör sıvısı sirkülasyonunu tersine çevirerek, şebeke suyunun bulunduğu depodan ısı alınarak kolektör içerisindeki sıvının donma noktasına ulaşması engellenebilir.



**Şekil 1.7 : Kapalı Devreli Sistem [6].**

Endirekt sistemlerde, kolektör sıvısının deposu ile şebeke suyunun iç içe tasarlanarak ısı değiştirici olarak depoların yüzeyleri kullanılabilir. Ancak günümüzde ısı yalıtımı ve tasarım konusunda daha fazla kapasite ve esneklik sağlaması sebebiyle ısı değişiminin yüksek verimli özel ısı değiştiriciler vasıtasıyla, şebeke deposu içerisinde sağlanması baz alınmaktadır.

## 1.2 Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemi Komponentleri

### 1.2.1 Kolektör

Güneş enerjisi sistem şeklinden bağımsız olarak, her sistemde bulunan en temel elemandır. Kolektör, güneş enerjisini toplayıp içerisindeki akışkana aktararak ısının su ısıtmada kullanılmasını sağlayan bir çeşit ısı değiştirici olarak görev yapar. Kolektör tipleri, düzlemsel kolektör, vakum tüplü kolektör, yoğunlaştırıcı kolektörler ve entegre depolu kolektörler olarak ayrılmaktadır.

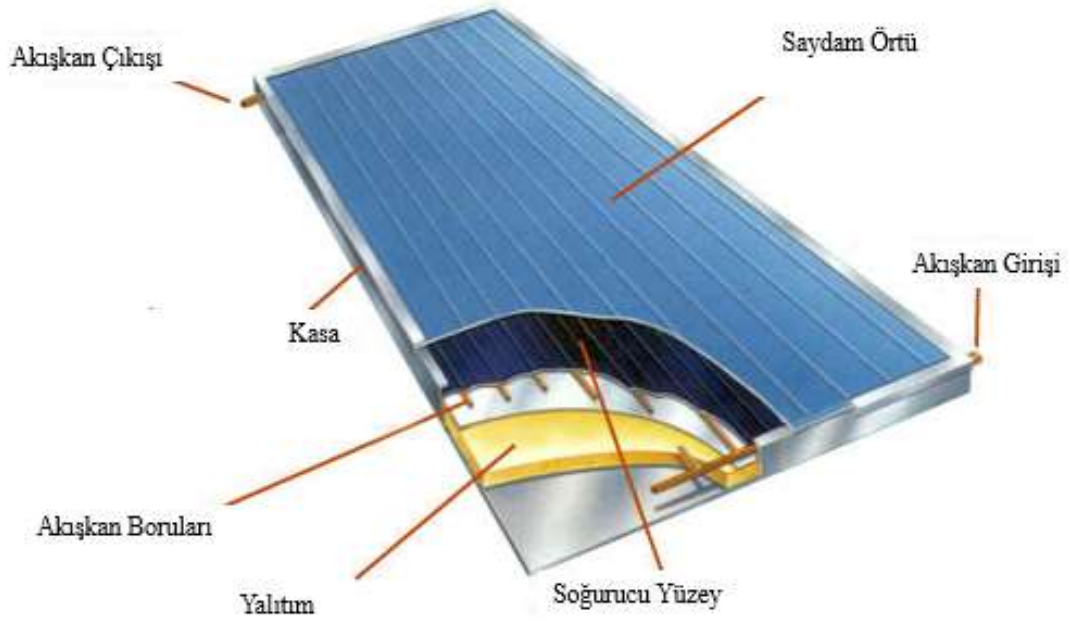
#### 1.2.1.1 Düzlemsel kolektörler

Düzlemsel kolektörler, ısının soğurulmasını sağlayan düzlemsel yüzey üzerinden geçen kılcal borular vasıtasıyla ısının akışkana aktarılmasını sağlayan kolektör tipidir. İlk örneklerinde tamamen soğurucu yüzey ve kılcal borulardan oluşuyor olsa da zamanla ısı yalıtımı ve kolektör ömrünü koruma amacıyla eklentiler yapılarak günümüzdeki haline ulaşmıştır. Günümüzde düzlemsel kolektörler saydam tabakalı ve saydam tabakası olmayan ve daha çok havuz ısıtma kolektörleri olarak adlandırılan iki temel sisteme ayrılmıştır. Düzlemsel kolektörler temel olarak saydam örtü, akışkan boruları, soğurucu yüzey, yalıtım ve kolektörü içerisinde barındıran kasadan oluşmaktadır(Şekil 1.8). Havuz ısıtma kolektörü olarak adlandırılan kolektörler bir kasa ve saydam örtüye sahip değildirler.

- Saydam Örtü

Geçirgen özelliğe sahip malzemelerden yapılan saydam örtü, temel olarak yalıtım ve kolektörün dış ortam etkilerinden koruma görevlerine sahiptir. Hafif ve dayanıklı olmalı ve kolektörü dış ortamdan gelebilecek malzemelere ve yoğun yağmur, dolu ve kar gibi iklim koşullarına karşı korumalıdır. Çizilmeye dayanıklı bir yapıda olması, kolektörün verimini uzun süre boyunca korunmasını sağlar.

Saydam örtünün güneşten gelen kısa dalga boylu ( $0,23-2,6\mu\text{m}$ ) güneş ışınlarını geçirgen ve özellikle kolektörün soğurucusundan yayılan uzun dalga boylu ( $2,6\mu\text{m}$  üzeri) ışınları ise soğuran malzemeler seçilmektedir [7]. Gerek ışın geçirgenliği gerekse kolektörü koruma görevini yapabilmesi için cam veya plastik bazlı cam takviyeli malzemeler saydam örtü olarak kullanılabilir.



**Şekil 1.8 : Düzlemsel Kolektör [8].**

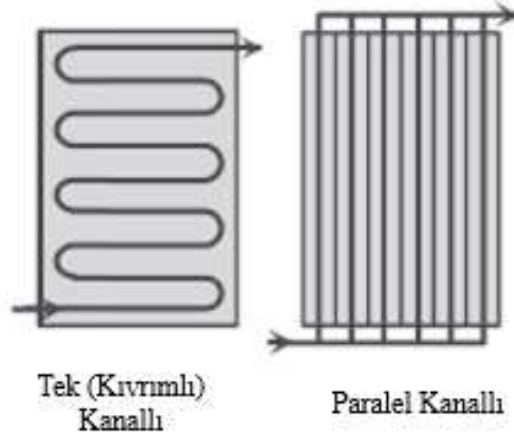
- Soğurucu Yüzey

Soğurucu yüzey, güneş enerjisinin toplanıp kolektör akışkanına geçtiği ısı değişiricisidir.

Isı değişirici olarak görev yapması sebebiyle, çelik bakır veya alüminyum malzeme kullanılmaktadır. Bu malzemelerin üzeri ise, soğurucu özelliklerinin artırılması için farklı özelliklerde siyah malzemeler ile kaplanmaktadır. Siyah krom, siyah nikel siyah bakır demir veya alüminyum oksit gibi malzemelerdir. Kolektörlerin soğurucu yüzeyinin yüksek soğurma katsayısıyla beraber düşük ısı yayma katsayısına sahip olarak güneşten gelen ısı enerjisinden optimum fayda sağlanması amaçlanmaktadır.

- Akışkan Boruları

Akışkan borularının yerleşimi kolektör verimi açısından önemlidir. İlk sistemler tek kanallı ve kanalın kıvrımlı bir yol ile seri bir serpantin şekilde kolektör içerisinde dolaşmasına dayalıydı. Ancak bu sistemlerde ısı eşit bir şekilde dağıtılamadığı için verimsiz olması ve kolektör içerisindeki sıvının kaynama noktasına yaklaşacak yüksek ısıya ulaşması sebebiyle yerini paralel kanallı sistemlere bırakmıştır. (Şekil 1.9). Bu sistemde kolektör içerisinde kısa ancak birbirine paralel birden fazla kanal bulunmakta ve bu kanallarda kolektör içerisindeki sıvı ısıyı eşit bir şekilde paylaşarak hem verimi ve akış hızı arttırmakta hemde sistemde buhar oluşma riskini engellemektedir.



**Şekil 1.9 : Akışkan Boruları Yerleşimi[9].**

- Yalıtım

Soğutucu yüzeyin altında bulunan yalıtım malzemesi, soğurucu yüzeyin ısı kaybederek kolektör dışına ısı atılmasını engeller. Ayrıca soğuk kış şartlarında kolektörün iç ısını koruyarak don oluşmasının engellenmesine yardımcı olur. Yalıtım malzemesinden, kolektör içerisinde oluşan yüksek sıcaklığa dayanması beklenir. Temel yalıtım malzemeleri; poliüretan köpük, cam yünü veya taş yünü olabilmektedir. [10].

- Kasa

Kasa, kolektörün dış etkenlerden ve iklim koşullarından korunmasını sağlayan ve kolektörü bileşenlerini bir arada tutan yapıdır. Sistem çoğunlukla bina çatılarına yerleştirildiği için sağlamlığının yanında hafif olması beklenmektedir (Şekil 1.10). Bu sebeple kasa malzemesi olarak çoğunlukla alüminyum profiller seçilmektedir. [10].



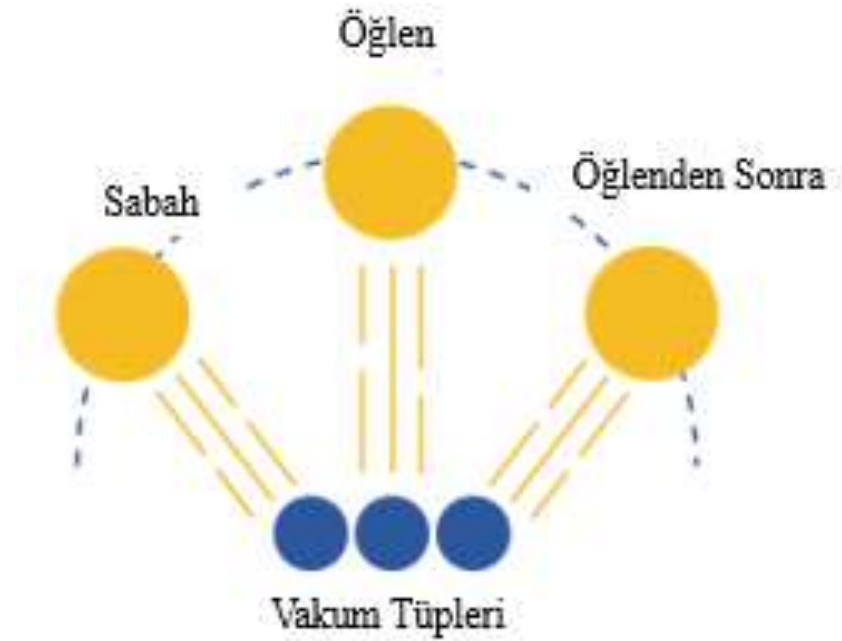
**Şekil 1.10 : Düzlemsel Kolektörün Çatı Montajı Örneği[11].**

### 1.2.1.2 Vakum tüplü kolektörler

Düzlemsel kolektörler, saydam örtü kısmından ısı kaybının engellenememesi ve düzlemsel yapısı sebebiyle gün içerisinde güneşin konumu değiştikçe veriminde değişiklik olması gibi dezavantajlara sahiptir. Aynı zamanda kolektörün hasar görmesi durumunda tüm kolektörün değiştirilmesi gerekmektedir. Bu dezavantajları sebebiyle vakum tüplü kolektörler geliştirilmiştir.

Vakum tüplü kolektörlerde, kolektör içerisinde bulunan vakum alanı yalıtım için kullanılmaktadır. Bu alan tüpün tamamını sardığı için yüksek oranda yalıtım sağlanmaktadır.

Vakum tüplerinin silindirik yapısı da kolektör veriminin gün içerisinde güneş konumunun değişmesi sebebiyle değişen güneş ışını açılarını aynı verimle soğurmasını sağlar. Bu özelliği ile aktif bir izleme mekanizması olmadan güneşin konumunu takip ettiği söylenebilir(Şekil 1.11).



Şekil 1.11 : Vakum Tüplerin Güneş Işığı Takibi[12].

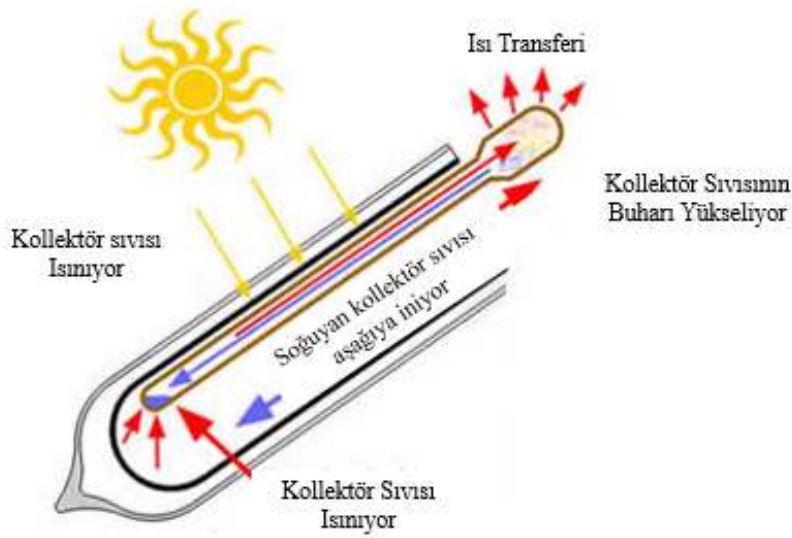
- Vakum Tüpleri

Vakum tüpler, borosilikatlı 2 cam tüpün iç içe geçmesi ile oluşurlar. İki cam tüpün arasındaki hava alınarak vakum ortamı oluşturulur. İçte kalan cam tüpün dışı soğurucu bir kaplama ile kaplanır. Bu kaplama çoğunlukla alüminyum ve azot karışımından oluşur ve püskürtme yöntemi ile kaplanır[10].

- Kolektör Borusu

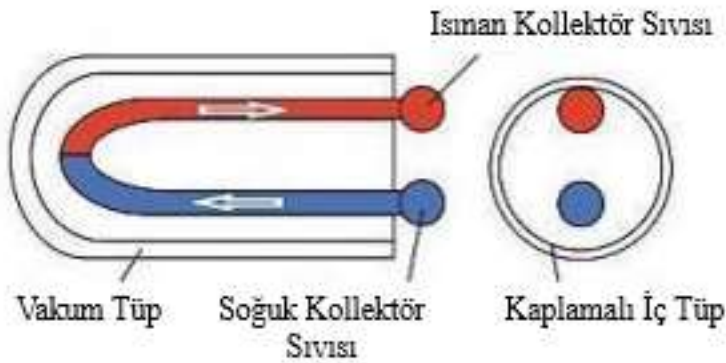
Kolektör borusu, iç vakum tüpün içerisinde yer alır. İç tüpün soğurduğu güneş ışınlarından gelen ısıyı kolektör akışkanına aktarmaktadır. Vakum tüplü kolektörlerde, soğurucu kanatlara sahip düz borular veya doğrudan kolektör sıvısı dolaşımı sağlayan U boru tipine sahip olan versiyonlar vardır.

Düz borulu tiplerde soğuyan kolektör sıvısı doğal akış ile tüpün altında doğru akarken, tüp içerisinde ısınan kolektör sıvısı buharlaşıp yukarı doğru yükselerek ısı değiştiriciye ilerler. (Şekil 1.12).



**Şekil 1.12 :** Düz Borulu Vakum Tüp Kolektör Çalışma Prensibi [13].

U borulu tiplerde ise, tek bir düz boru yerine U şeklinde boru iç tüpün içerisinde yer alır. Bu boru içerisinde iç tüp tarafından soğurulan ısı ile ısınarak ısı değiştiricisine geçer. (Şekil 1.13).



**Şekil 1.13 :** U Borulu Vakum Tüp Kolektör Çalışma Prensibi [14].

- Isı Değiştirici

Isı değiştiri, vakum tp içerisinde kazanılan ısının, kullanma suyuna aktarıldığı yerdir. Düz borulu tiplerde, buharlaşan kolektör akışkanının ısısını alarak kolektör akışkanının yeniden sıvı hale gelmesini sağlar. U borulu sistemde ise sadece sıvıdan sıvıya ısı değiştirici olarak görev alır(Şekil 1.14).



**Şekil 1.14 :** Vakum Tp Kolektörde Tp-Devre Arası Isı Değiştirici [15].

rnek bir vakum tüplü kolektör uygulaması Şekil 1.15’te sunulmuştur.



**Şekil 1.15 :** rnek Vakum Tp Kolektör Uygulaması [16].

### 1.2.1.3 Yoğunlaştırıcı kolektörler

Yoğunlaştırıcı kolektörlerde, geçirgen saydam yüzeyler yerine yansıtıcı yüzeyler bulunur ve bu yüzeyler ısıyı toplayan soğurucu alandan bağımsızdır. Yansıtıcı yüzeylerin amacı güneşten gelen ısıyı, soğurucu yüzeye odaklayarak, yüzey üzerinde optimum ısı enerjisinin oluşmasını sağlar. Bu yapısı sebebiyle, düzlemsel ve vakum tüplü kolektörlere kıyasla daha yüksek su sıcaklıkları sağlayabilir.

Kolektör akışkanının 100 – 350°C sıcaklıklarına yükselebilen orta sıcaklık uygulamaları ve 350°C üzerine yükselebilen yüksek sıcaklık uygulamaları mevcuttur. Yüksek sıcaklık uygulamaları ile ısı değiştiricisi vasıtasıyla buhar üretilerek elektrik üretiminde kullanılabilir. [17] Bu özelliği sayesinde sadece su ısıtma amacıyla değil, endüstri prosesleri için su ısıtma, elektrik üretimi gibi alanlarda da yoğunlaştırıcı kolektörler kullanılabilir.

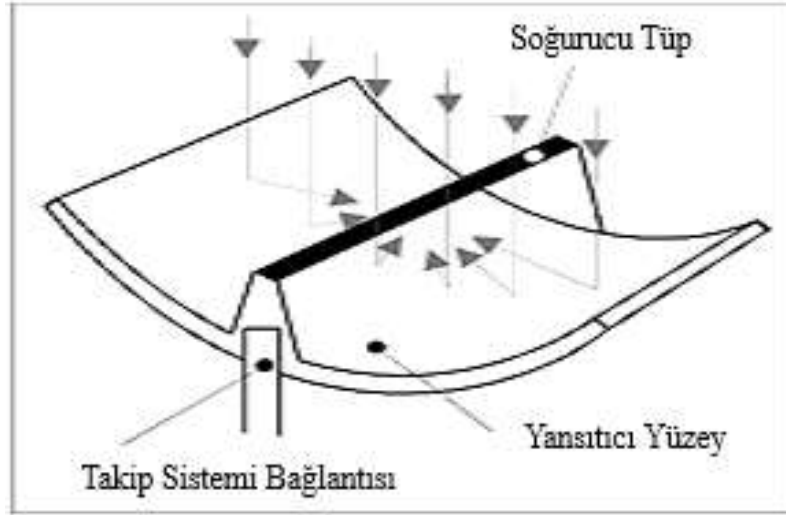
Sistemler, daha yüksek sıcaklıklara olanak sağlasa da güneşi takip etmesi gerekmektedir. Bunun için günümüzde otomasyonlu sistemler kullanılmaktadır. Ayrıca ilk yatırım ve bakım maliyetleri, diğer kolektör tiplerine göre daha fazla olmaktadır.

Temel olarak yoğunlaştırıcı kolektörler, parabolik oluklu kolektör, parabolik çanak tipi kolektör, solar güç kuleleri ve sabit düzlemsel (fresnel tip) kolektörler olarak dörde ayrılmaktadır.

- Parabolik Oluklu Kolektör

Bu kolektör şeklinde u tipinde parabolik bir yansıtıcı yüzey bulunmaktadır. Bu yüzeyin çizgisel odağında ise soğurucu yüzey ve içerisinde ise kolektör akışkanı yer almaktadır. Yansıtıcı yüzey optik yansımalar ile bütün güneş ışınlarını soğurucu yüzeye toplamaktadır (Şekil 1.16).

Yansıtıcı yüzey, verimi sabit tutabilmek ve güneş ışınlarını yakalayabilmek için manuel veya otomatik bir şekilde güneşi takip edebilmektedir. Tek eksenli veya iki eksenli takip mekanizmasına sahip olan iki farklı çeşidi mevcuttur(Şekil 1.17).



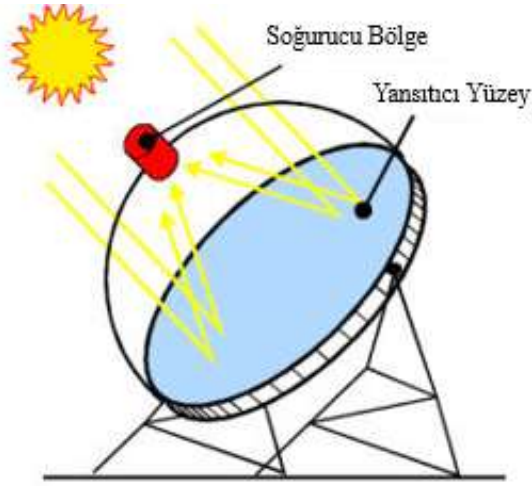
Şekil 1.16 : Parabolik Oluklu Kolektör Çalışma Prensibi[18].



Şekil 1.17 : Parabolik Oluklu Kolektör Uygulaması[19].

- Parabolik Çanak Kolektör

Bu kolektör tipinde, çanak antenlerdeki temel mantık kullanılır. Bellirli bir çanak formunu sağlayan yansıtıcı yüzey, güneş ışınlarını aynı çanak antenlerin uydu algılayıcıları gibi odak noktasında bulunan soğurucu yüzeye odaklar(Şekil 1.18). Yansıtıcı yüzey, çanak şekline sahip tek bir aynadan oluşabileceği gibi, birden fazla aynanın çanak formunda yerleştirilmesiyle de oluşabilir(Şekil 1.19). Aynı parabolik oluk tipindeki gibi, güneşi takip etmesi gerekmektedir ve iki eksende de güneşi takip etmesi için manuel veya otomatik sistemler kurgulanır.



**Şekil 1.18 :** Parabolik Çanak Tip Kolektör Çalışma Prensibi[20].

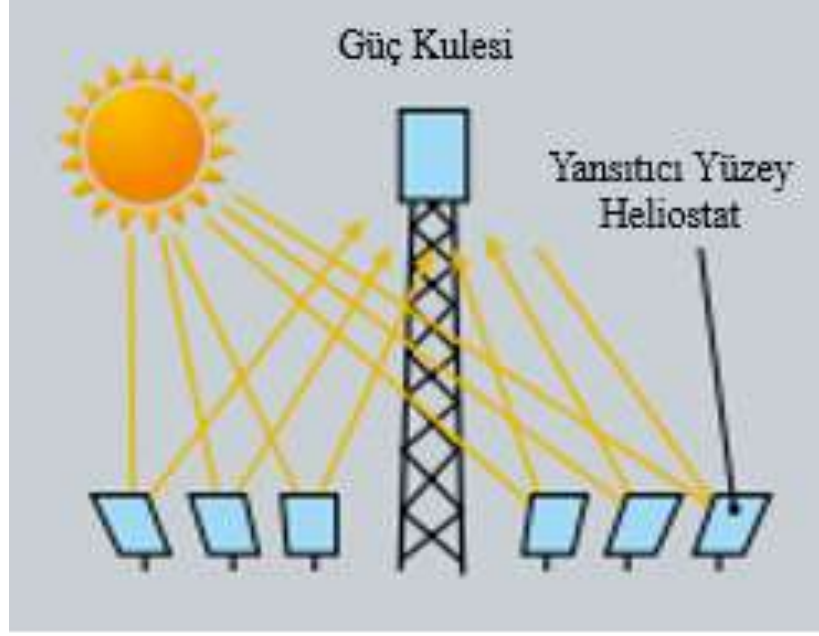


**Şekil 1.19 :** Parabolik Çanak Tip Kolektör Uygulaması [21].

- Güç Kuleleri

Güç kulelerinde birden fazla yansıtıcı yüzey vardır ve yansıtıcı yüzeyler, soğurucu bölgeden bağımsız olarak yerleştirilir. Bu kolektör tipindeki birbirinden bağımsız olan yansıtıcı yüzeyler, heliostat olarak adlandırılır. (Şekil 1.20). Yansıtıcı yüzeyler manuel veya otomatik sistemler ile güneş takibi yaparak, güneş ışınlarının soğurucu yüzeyde toplanmasını sağlar. Soğurucu yüzey, yansıtıcı yüzeylerin yukarısında kalacak şekilde bir kule üzerine yerleştirilir. Odaklanan güneş ışınları sayesinde yüksekte bulunan soğurucu yüzeyde, 500°C üzerinde sıcaklıklara erişilir. Bu sebeple

daha çok elektrik üretiminde kullanabilmek için su ısıtılarak buhar elde edilmesi amaçlanmaktadır. Şili'deki örnek bir güç kulesi tipi kolektör Şekil 1.21'de gösterilmiştir.



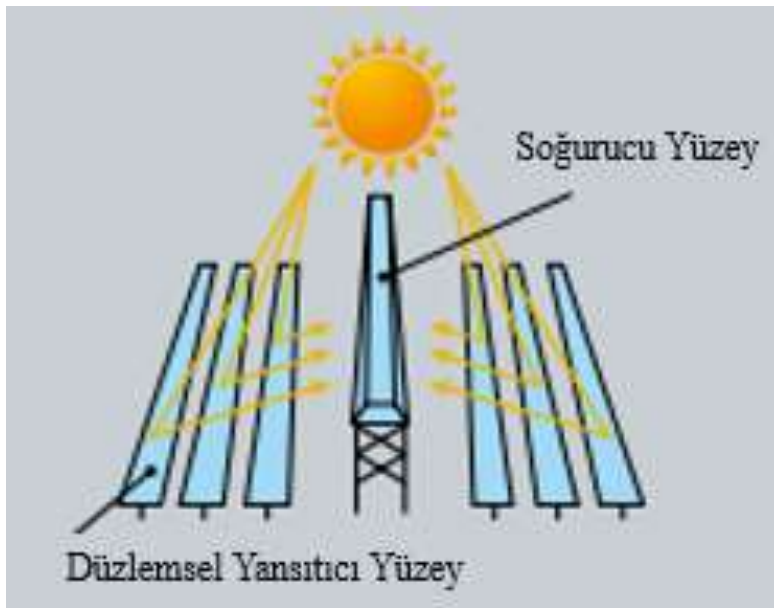
**Şekil 1.20 : Güç Kulesi Sistemi Çalışma Prensibi [22].**



**Şekil 1.21 : Güç Kulesi Sistemi Uygulaması [23].**

- Fresnel Kolektör

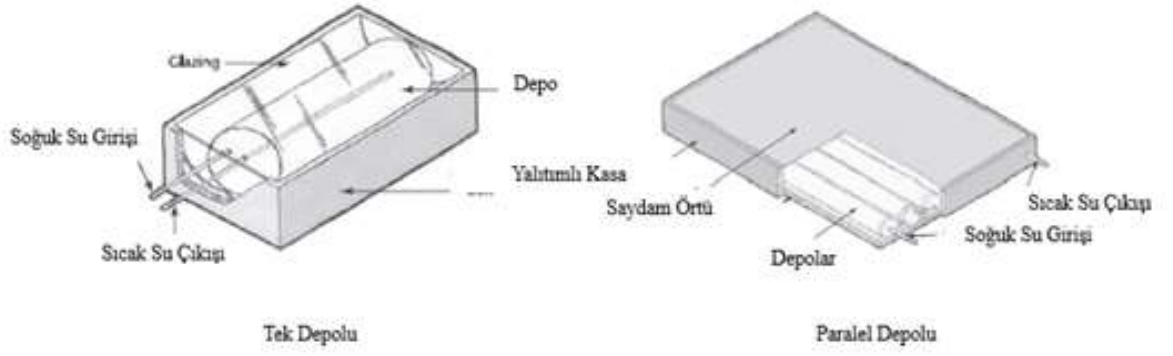
Fresnel tipi kolektörler temel olarak parabolik u tipi kolektörlere benzer ancak yansıtıcı olarak parabolik yüzey yerine parabolik bir şekil oluşturmak üzere birden fazla paralel eksenlerde yer alan düzlemsel yansıtıcıları kullanır. (Şekil 1.22). Aynı parabolik sistemde olduğu gibi fresnel kolektörlerinde de yansıtıcı yüzeylerin güneşi takip edecek şekilde hareket edebilmesini sağlayan manuel veya otomatik izleme ve yerleşimi sağlanır.



Şekil 1.22 : Fresnel Kolektörlerin Çalışma Prensibi[22].

#### 1.2.1.4 Entegre depolu kolektörler

Bu kolektör tipleri, çalışma mantığı olarak düzlemsel kolektörlere benzemektedir. Düzlemsel kolektöre göre farklılığı ise, kolektör içerisinde ısıtılan suyun, aynı zamanda kolektör içerisinde depolanıyor oluşudur. Bu sebeple kolektör içerisinde akışkan borulardan oluşan devreler yerine bir depo bulunmaktadır. Bu tek hacimli bir depo olabildiği gibi, birden fazla ufak deponun seri şekilde dizilip, düzlemsel kolektörlerdeki paralel kanallı yerleşime benzer bir şekilde kolektör içerisinde yerleştirilebilir (Şekil 1.23). Entegre depolu sistemler, açık devreli sistemlerdir. Direkt olarak kullanım suyu ısıtıldığı için, kolektör sıvısına ihtiyaç duyulmaz. Bu durumda açık devre sistemlerin iklim koşulları ve suyun sertliğine karşı zayıflıklarını taşımaktadır. Ayrıca deponun üzerindeki saydam örtü, güneşin olmadığı zamanlarda ısı kaybına yol açar. Bütün depo kapasitesinin kolektör içerisinde olması da kolektör ağırlığını ve boyutlarını arttırarak tasarım ve çatı yerleşiminde kısıtlara sebep olur.



**Şekil 1.23 : Entegre Depolu Kolektör Tipleri [10].**

### 1.2.2 Kolektör akışkanı

Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde temel olarak kullanılan akışkanlar; hava, su, propilen glikol hidro karbon yağlar ve silikondur. Kolektör akışkanının termal olarak stabil olması, çalışma sıcaklığı aralığında fazını koruması ve korozyona neden olmaması beklenmektedir. Ayrıca yüksek akışkanlık kapasitesi ile sistemin hızlı ve verimli çalışmasını sağlamalıdır. Beklentileri en iyi karşılayabilen akışkan havadır. Ancak hava, termal kapasitesinin düşük olması ve sızıntıya çok açık olması sebebiyle çok az tercih edilmektedir.

Su ise en güvenilir ve ucuz akışkan olmasına rağmen birçok şebeke suyundaki yoğun mineral içerikli sert sular, zamanla sistem içerisinde tortu yaparak sistem verimini düşürür. Suyun korozitif yapısı ise sistemin ömrünü düşürür. Günümüzde su kullanılacak sistemlerde paslanmaz çelik borular kullanılmakta, bu da maliyeti arttırmaktadır. Ayrıca kaynama ve donma noktaları birçok iklimde sistemin verimsiz çalışmasına hatta suyun sisteme zarar vermesine sebep olmaktadır. Açık devre sistemlerde sistemin yapısı gereği su kullanılmakta fakat kapalı devre sistemlerde su tercih edilmemektedir.[24].

Propilen glikol ise antrifiz adıyla da bilinen ve su ile belirli oranlarda karıştırılarak kullanılan akışkanlardır. Bu akışkan su ile karıştığında suyun korozitif etkisini ve donma noktasını düşürürken kaynama noktasını da arttırmaktadır. Bu sayede suyun dezavantajları azaltılmaktadır. Ancak bu akışkan zamanla pH dengesini kaybederek asidik hale gelmekte ve bu sebeple belirli aralıklarla akışkanın değiştirilmesi gerekmektedir. Hidrokarbon yağlardan ise, sadece sentetik yağların kolektör akışkanı olarak kullanılması önerilir. Sentetik yağlar su ile karıştırılmaz ve korozitif etkileri yoktur. Ayrıca propilen glikol/su karışımına göre daha uzun süre yapısını

korumaktadır. Ancak ısı kapasitesi ve akışkanlık olarak bu sıvı karışımının gerisindedir. Silikon bazlı kolektör akışkanları ise, korozitif olmayan yapıları, kaynama ve donma noktalarının çalışma sıcaklıklarının çok uzağında olması ve çok uzun süre yapısını koruması sebebiyle en dayanıklı akışkandır. Ancak düşük ısı kapasitesi ve düşük akışkanlığı sebebiyle sistemi verimsizleştirmektedir. Bu sebeplerden ötürü günümüzde kapalı devre sistemlerde propilen glikol/su karışımı 50/50, 40/60 ve 30/70 oranlarında kullanılmaktadır.[24]

### 1.2.3 Isı değıştirici

Açık devre sistemlerde, kullanma suyu direkt olarak kolektör içerisinde ısındığı için, kolektör aynı zamanda ısı değıştiricisi görevini görmektedir. Kapalı devre sistemlerde ise kolektör devresinde ısının akışkanın ısınıp kullanma suyuna aktarmak için gereklidir. Sistem içerisinde verim oranı en önemli parçalardan biridir.

Kolektör devresinde kullanılan akışkanın kullanım suyu devresine toksik içeriği, kokusu vb. sebeplerle karışmaması gereken sistemlerde, çift duvarlı; su, hava vb. akışkanların kullanıldığı sistemlerde ise tek duvarlı ısı değıştiriciler kullanılır.[24]. Bu sayede herhangi bir arıza ve problem durumunda sıvıların birbirine karışma riski ortadan kaldırılır (Şekil 1.24).



Şekil 1.24 : Duvar Sayısına Göre Isı Değıştirici Tiplerinin Karşılaştırılması [25].

#### 1.2.4 Sirkülasyon pompası

Pasif sistemlerde doğal akış sebebiyle pompa ihtiyacı söz konusu değildir. Ancak aktif ve sıvı akışkan kullanılan bütün sistemlerde depo ile kolektörler arasındaki akışını sağlamak amacıyla sirkülasyon pompasına ihtiyaç duyulur. (Şekil 1.25). Kapalı devre sistemlerde pompanın amacı kolektör sıvısının depo ve kolektör arasındaki akışını sağlarken, açık devre sistemlerde kullanım suyunun kolektöre ulaşmasını sağlamaktadır. Açık devre sistemlerde pompa komponentleri kullanım suyuna temas etmesi sebebiyle, paslanmaz çelik veya bronz kullanılması pompa ve sistem ömrünü korumak için gereklidir.



Şekil 1.25 : Sirkülasyon Pompası [24].

#### 1.2.5 Kontrol modülü

Kontrol modülü, sistemin durumunu takip ederek pompa vb. aktif sistemlerin kontrolü için gereklidir. Güneş enerjili sistemlerde pompa kontrolü, kolektördeki sıvı sıcaklığı ile ısının depolandığı alandaki sıcaklığın arasındaki  $\Delta T$  sıcaklık farkının takip edilmesi ile sağlanır. Temel olarak sistemlerde  $\Delta T$  6°C ila 10°C arasında olması durumunda kontrol modülü pompayı aktive ederek kolektördeki sıvıyı depolama veya ısı değiştiricisine taşıyarak kolektördeki ısının depolanmasını sağlar. Sistemdeki  $\Delta T$  2°C ila 4°C arasına ulaştığında ise sistem pompayı durdurarak enerji verimliliğine

katkı sağlar.[24] Donma önleyici özelliği bulunan sistemlerde, kolektördeki ısı donma noktasına ulaştığında pompanın tersine sirkülasyon yapmasını sağlayarak depolanan ısıнын bir miktarını kolektöre ulaştırır. Bu sayede kolektör içerisindeki sıvının donması önlenir ve sistem korunur. Günümüzde elektronik kontrol modülleri, ısıtma sistemindeki diğer cihazlar ( kazan, ısı pompası vb.) ile haberleşerek, güneş enerjili su ısıtma sisteminin bu cihazlar ile koordineli çalışmasına da yardımcı olmaktadır. Elektronik kontrol modülleri, sistemden kazanılan ısı enerjisini de ölçerek, güneş enerjili sistem sayesinde su ısıtmada sağlanan tasarrufu hesaplayıp kullanıcılara sunmaktadır.

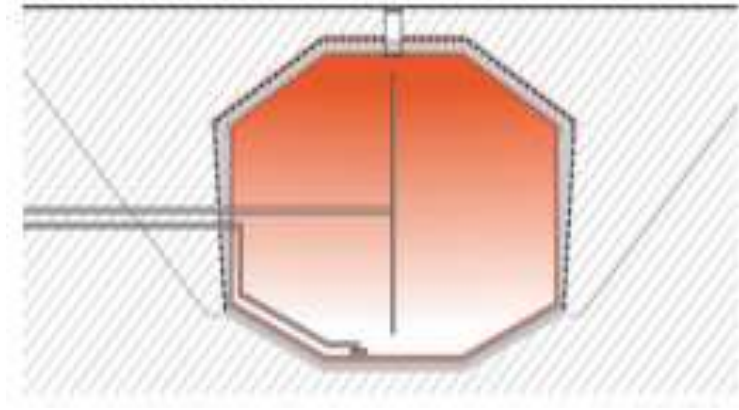
### **1.2.6 Depolama**

Güneş enerjili su ısıtma sistemleri, elde edilen termal enerjiyi, güneş enerjisinin yetersiz olduğu zamanlarda kullanılmak amacıyla depolamaktadır. Temel olarak termal enerji duyulur ısı, gizli ısı ve kimyasal reaksiyon sonucu termokimyasal olarak depolanabilir. Güneş enerjili su ısıtma sistemleri temel olarak termal enerjiyi duyulur ısı olarak depolamaktadır. Gizli ısı ve termokimyasal depolama, örnek uygulamaları olsa da günümüzde yeterli verimi sağlayamadıkları ve ticarileştirilemedikleri için yaygınlaşmamış ancak gelecekte kullanımlarının artması için çalışmaların devam etmektedir. Termal enerjinin duyulur ısı olarak depolanmasında sıvı veya katı formda madde, depolama aracı olarak kullanılır. [26] Duyulur ısı ile termal enerji depolama ise depo kapasitesilerine göre, sezonluk depolama ve günlük olarak ikiye ayrılmaktadır.

#### **1.2.6.1 Sezonluk depolama**

Sezonluk depolamada, güneş enerjisinden elde edilen sıcak suyun yeterli olmadığı mevsimlerde daha önceki mevsimlerde depolanan enerjinin desteğiyle yeterli sıcak suyun elde edilmesi amaçlanmaktadır. Sezonluk termal enerji, sıcak su deposu, sıvı-çakıl dolu çukur, yeraltı suyu ve sondaj kuyusu kullanarak olmak üzere 4 farklı şekilde depolanmaktadır. Bu yöntemler içerisinde sıcak su deposu içerisinde depolama, gerek yüksek spesifik ısı kapasitesi gerekse hızlı bir şekilde şarj-deşarj yapılabilmesi açısından en çok tercih edilen yöntem olarak yer almaktadır. Gerekli ısı ve sızdırmazlık yalıtımı sağlanan büyük depolar içerisindeki suyun ısıtılması ve ardından kullanım zamanı geldiğinde buradaki sıcak suyun depodan çekilmesi veya ısı değiştirici vasıtasıyla ısısının kullanım suyuna aktarılması mantığına

dayanmaktadır. Isınan suyun yükselmesi esasına dayanarak, kolektörden gelen güneş enerjisi ile ısınan su, deponun alt kısmından şarj edilir ve ardından sistemde kullanılmak için deponun üst kısmındaki su deşarj edilerek kullanılır. (Şekil 1.26). Depo için paslanmaz çelik veya beton kullanılmaktadır. Paslanmaz çelik bir deponun yeraltına yerleştirilmeden önceki fotoğrafı Şekil 1.27’de görülmektedir. Bu depolar çoğunlukla, alan kazanmak amacıyla yer altına yapılmaktadır. Tek bir depo kullanılabilirliği gibi, birden fazla bağlantılı depolar kullanılarak da ısı depolanması sağlanabilir. [27]



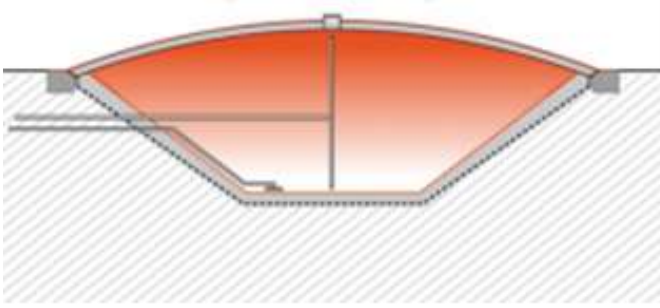
**Şekil 1.26 :** Sıcak Su Depolu Sezonluk Depolama [28].



**Şekil 1.27 :** Sezonluk Depolama Sıcak Su Deposunun Toprak Altına Montajı Öncesi [29].

Su ve çakıl dolu çukurun termal enerji deposu olarak kullanılmasında ise, zemine bir çukur açılıp, çukurdaki toprağın gerekli sızdırmazlık elemanları ile kaplanarak bir havuz oluşturulması sağlanır. Havuzun zemini ve yan duvarları çakıl ile kaplanarak havuzun iskeletini oluşturur. Oluşturulan bu havuz su ve çakıl ile tamamen doldurulur ve üst tarafında yalıtım ile kapatılması ile ısı deposu olarak kullanılır.

Aynı sıcak su deposunda olduğu gibi bu depo sisteminde de ısının yükselmesi prensibi ile, alt kademelerden şarj edilir ve üst kademelerden deşarj edilir. (Şekil 1.28). Bu depolama sistemi sıcak su deposuna göre daha kolay ve masrafsız bir şekilde hazırlansa da, spesifik ısı kapasitesinin daha düşüktür. Aynı miktarda ısı depolamak için su-çakıl deposunun, sıcak su deposuna göre %50 daha fazla olması gerekmektedir. Temeli bir çukur içerisinde ısı depolamaya dayandığı için literatürde çukur termal enerji deposu olarak da adlandırılmaktadır.



**Şekil 1.28 :** Su-Çakıl Dolu Çukurlu Sezonluk Depolama [28].

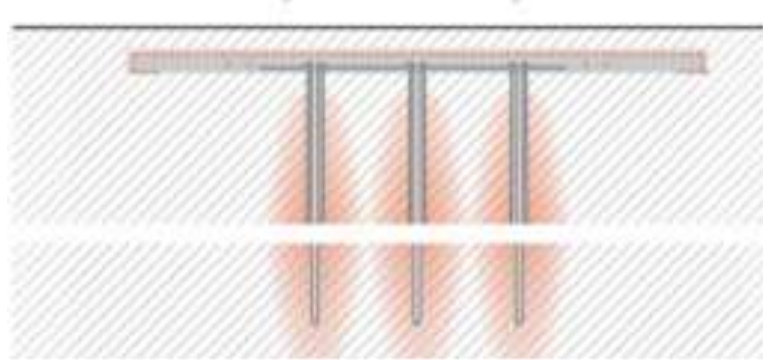
Danimarka'daki Dronninglund kentindeki 60.000 m<sup>3</sup> kapasiteli örnek çukur termal enerji deposu Şekil 1.29'da görülmektedir.[30]



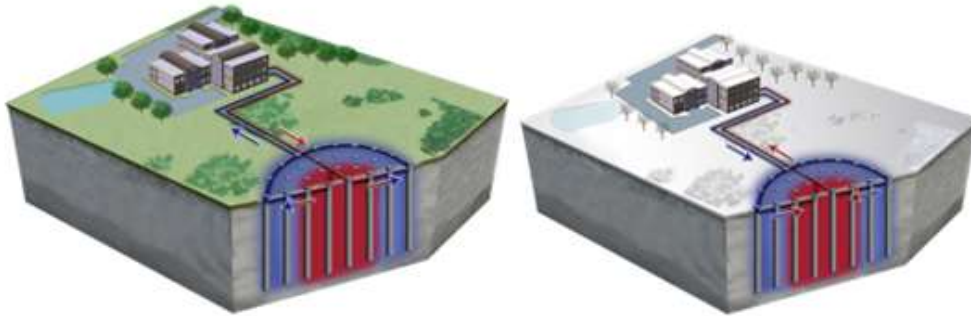
**Şekil 1.29 :** Çukur Tipli Sezonluk Depolama Örnek Uygulaması [30].

Sondaj kuyusunda termal enerji depolanmasında ise ısı enerjisi direkt olarak zemindeki malzemede depolanır. Bu malzemeler zemindeki kayaç veya toprak olabilir. Bu yöntemin kullanılabilmesi için sistemin kurulacağı zeminin jeolojik özellikleri araştırılmalıdır. Gerekli yeterliliği sağlayan zeminlerde, derinliği 30-100 m arasında değişen birden fazla sondaj kuyuları açılır. Açılan kuyuların üst yüzeyleri yalıtım ile kaplanır. (Şekil 1.30) Ardından kuyuların içerisine ısı aktarımını

sağlayacak U tipi borular yerleştirilir. Kolektörlerden toplanan enerji ile ısınan su bu borulardan geçirilerek, ısının zemine aktarılması sağlanır. Bu depo tipi, zemine doğru genişlemesi sebebiyle alandan tasarruf edilmesini sağlar. Ancak kayaç ve toprağın düşük spesifik ısı kapasitesi sebebiyle, aynı miktarda ısı depolayan sıcak su deposuna kıyasla 3 ila 5 kat daha büyük bir sondaj kuyulu termal enerji deposuna ihtiyaç duyulacaktır. Sondaj kuyulu termal enerji deposunun yaz-kış çalışma şekli Şekil 1.31’de gösterilmiştir.

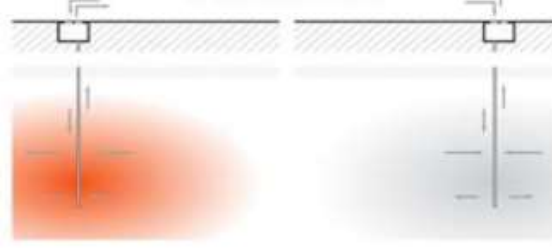


**Şekil 1.30 :** Sondaj Kuyulu Sezonluk Depolama [28].



**Şekil 1.31 :** Sondaj Kuyulu Sezonluk Depolamanın Çalışma Prensibi [31].

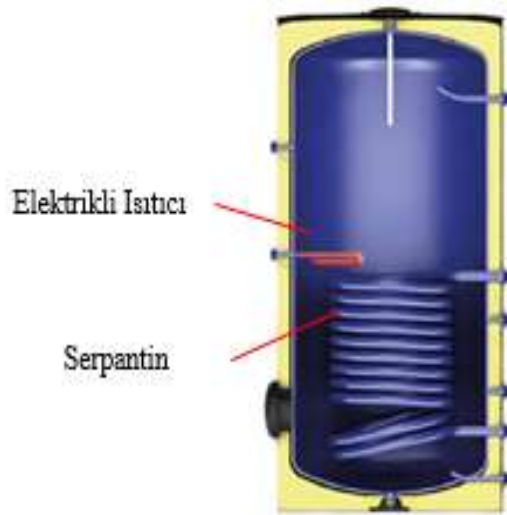
Yeraltı sularının termal enerji deposu olarak kullanılmasında ise, kolektörlerde ısınan suyun ısınını yeraltı sularında depolanması sağlanır. Bunun için birbirine bağlantısı olmayan birden fazla yeraltı su kaynağı gerekmektedir. Yeraltı su kuyularından biri, soğuk su kuyusu, diğeri ise sıcak su kuyusu olarak çalışmaktadır. Soğuk su kuyusundan çekilen su, kolektörden gelen ısı enerjisini ısı değiştiricisi ile alarak sıcak su kuyusuna aktarılır. (Şekil 1.32) Bu depolama sisteminin kurulumunda, gerekli jeolojik tetkiklerin yanında, jeokimyasal ve mikrobiyolojik tetkiklerinde yapılarak sistemin yer altı sularına ve yaşamına zarar vermediğinden emin olmak gerekmektedir. Aynı boyutlardaki sıcak su depolama sistemine göre %50 daha az depolama kapasitesine sahiptir.[28]



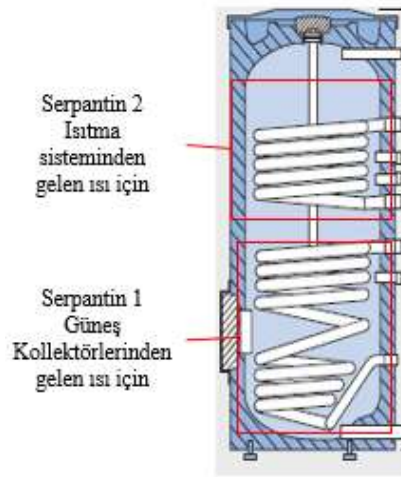
**Şekil 1.32 :** Sezonluk Güneş Enerjisinin Yeraltı Suyunda Depolanması [28].

### 1.2.6.2 Günlük depolama

Günlük depolamada, gün içerisinde güneş enerjisinden faydalanılamayan saatlerdeki sıcak su ihtiyacını karşılamak için yapılan kısıtlı miktardaki depolamadır. Günümüzde güneş enerjili depolama sistemlerinde ağırlıklı olarak bu yöntem kullanılmaktadır. Günümüzde en yaygın yöntem boylerler vasıtasıyla günlük ısı enerjisinin depolanmasıdır. Boylerde, sistemlerin sıcak kullanım suyu deposudur ve bu deponun büyüklüğü, sıcak su talebine göre doğru orantılı olacak şekilde seçilir. Boylerler ısı değiştiricisini de bünyesinde bulunduran depolama sistemleridir. Isı değiştirici yapısına göre cidarlı ve serpantinli olmak üzere iki farklı versiyonu vardır. Çift cidarlı sistemler, temel olarak 2 farklı su deposunun iç içe geçtiği ve içerideki depo yüzeyinin aynı zamanda ısı değiştirici olarak kullanıldığı sistemlerdir. Serpantinli boylerlerde ise, yalıtımlı ve tek cidara sahip bir depo bulunurken, deponun içerisinde ise serpantin adı verilen spiral ısı değiştiricisi bulunmaktadır[32](Şekil 1.33). Gerek verim gerekse hızlı bir şekilde ısı değişimi sağlaması nedeniyle günümüzde serpantinli boylerler yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu sayede ısı değişimi kullanım suyu deposunun içerisinde yapılarak, ısı kayıpları azaltılır. Isı değişimi de boyler içerisinde yapıldığı için bazı kaynaklar boyleri ısı değiştirici eleman olarak da görmektedir. Boylerler, standartlara göre çelik malzemelerden üretilir ve olası bir kaynama durumunda oluşabilecek yüksek basınçlara dayanıklı olması istenir.[33] Ayrıca içerisinde kullanım suyu barındırmasından dolayı günümüzde paslanmaz galvaniz çelik kullanılır ve iç yüzeyi yiyantum destekli camsı emaye malzeme ile kaplanarak hem boyleri hemde kullanım suyunu korumaktadır. Boylerler, güneş enerjisinin yetersiz olduğu zamanlarda, su ısıtmaya destek olmak için boylerlerin içerisine elektrikli ısıtıcı veya farklı bir ısı kaynağından gelen ısıtıcı akışkanın ısı transferi sağlayabilmesi için ek bir spiral tip ısı değiştirici bulunabilir. (Şekil 1.34). Boylerler, sıcak suyun depolandığı alan olarak da kullanılmaları sebebiyle, iyi bir ısı yalıtımına sahip olmalıdır.



**Şekil 1.33 : Tek Serpantinli Boyler [34].**



**Şekil 1.34 : Çift Serpantinli Boyler [35].**

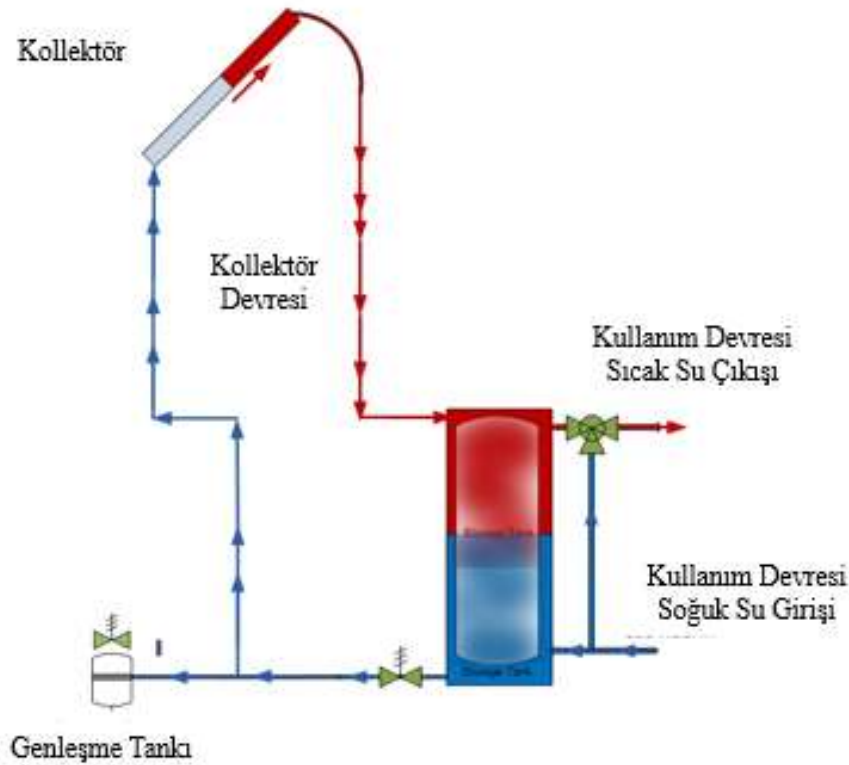
Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde, sistem güvenliği için ek ekipmanlar kullanılmaktadır. Bunlardan başlıcası, kapalı devre sistemlerde, kolektör akışkanı olarak sıvı malzeme kullanıldığı zaman kullanılması mecburi olan genişleme tankıdır. (Şekil 1.35). Genleşme tankları hem ısı sebebiyle sıvıda oluşan genleşmeyi absorbe ederken ısınan sıvının buharlaşmasında oluşan kayıplarında telafisini sağlar.[9] Ayrıca sistem içerisinde olası bir kaynama vb. sebeple basınç artışını dengelemek için kolektör devresine bir emniyet valfi eklenir. Bu valf, kolektör devresindeki basınç tasarımı izin verilen basıncın üzerine çıkılmasını engeller. Ayrıca sistemde oluşan havanın çıkması içinde bir prujör kullanılır. Bunlara ek olarak sistemin gözlemlenebilmesi ve kontrol edilebilmesi için basınç ve debi okuyucular ile elektronik termometreler kullanılır.

### 1.2.7 Sistem Güvenlik Ekipmanları

Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde, sistem güvenliği için ek ekipmanlar kullanılmaktadır. Bunlardan başlıcası, kapalı devre sistemlerde, kolektör akışkanı olarak sıvı malzeme kullanıldığı zaman kullanılması mecburi olan genleşme tankıdır. (Şekil 1.35). Genleşme tankları hem ısı sebebiyle sıvıda oluşan genleşmeyi absorbe ederken ısınan sıvının buharlaşmasında oluşan kayıplarında telafisini sağlar.[9].

Ayrıca sistem içerisinde olası bir kaynama vb. sebeple basınç artışını dengelemek için kolektör devresine bir emniyet valfi eklenir (Şekil 1.36). Bu valf, kolektör devresindeki basınç tasarımı izin verilen basıncın üzerine çıkılmasını engeller.

Ayrıca sistemde oluşan havanın çıkması içinde bir prujör kullanılır. Bunlara ek olarak sistemin gözlemlenebilmesi ve kontrol edilebilmesi için basınç ve debi okuyucular ile elektronik termometreler kullanılır.



Şekil 1.35 : Güneş Enerjili Su Isıtma Sisteminde Genleşme Tankı [36].



**Şekil 1.36 : Emniyet Valfi [37].**

### **1.3 Bölgesel Isıtma**

Bölgesel ısıtma temel olarak, bir veya birden fazla ısı kaynağı kullanılarak elde edilen ısınnın bir ısı merkezinde toplanıp yalıtımlı borular vasıtasıyla belirlenen bölgeye ısıtıcı akışkan vasıtasıyla yayılmasıdır. Bölgesel ısıtma yönetiminin tarihi 19.yüzyıl sonlarında sanayi tesislerinin bulunduğu bölgelerde başlarken, ilk ticari amaçla kurularak ısınnın satıldığı sistem 1921 yılında Hamburg’da kurulmuştur. Isı talebinin yoğun olduğu soğuk iklime sahip Kuzey Avrupa, Kuzey Amerika ve bazı Asya kıtası ülkelerinde bölgesel ısıtma sistemleri daha geniş ve yaygın kullanıma sahipken ılıman iklime sahip Akdeniz bölgesi ülkelerinde bu sistemler rağbet görmemiş ve genel olarak bireysel ısınma sistemleri tercih edilmiştir. 2016 yılı itibariyle sadece Avrupa’da 4.174 tane bölgesel ısıtma sistemi olduğu bilinmektedir. Bütün sistemlerin toplamı Avrupa’daki ısı ihtiyacının %10’unu karşılamaktadır. [38]. Sistemler tarihsel gelişimlerine göre 3 ayrı şekilde sınıflandırılmaktadır.

Birinci jenerasyon sistemler 19. Yüzyılın sonlarında sanayi devrimi ile ortaya çıkan buhar üretimiyle birlikte, yakıt olarak fuel-oil ve ısıtıcı akışkan olarak buharın kullanıldığı sistemler iken 1930’lu yıllarda itibaren başlayan ikinci jenerasyon sistemler fuel-oil yakıtlı kazanları kullanan ve ısıtıcı akışkan olarak kızgın suyun üretildiği sistemlerdir. Ayrıca ilk elektrik ve ısınnın birlikte üretildiği sistem bu jenerasyon içerisinde.

Günümüzdeki sistemlerin temeli olan üçüncü jenerasyon sistemler ise 1970’li yıllardan itibaren devreye giren fuel-oil dışında kömür biyokütle gibi yakıtlar ile ısı elde edilen sistemlerdir. Günümüzde ise dördüncü jenerasyona geçiş yapılmaktadır. Bu sistemler düşük sıcak sıcaklıklarda sıcak su üreterek yüksek verimlilik ile sıcak su dağıtımını sağlamaktadır. Ayrıca elektrik üretimi veya üretim proseslerinden açığa çıkan atık ısının ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıyla ısının elde edildiği sistemler olarak farklılaşmaktadırlar. [38]

Bu akışkan buhar, kaynar su ve sıcak su olabilir. Bölgesel ısıtma sistemleri, merkezi bir yerde ısıtma yapılması sebebiyle kayıpların azaltılması, ısıtma sisteminin kontrolü, birden fazla ısı kaynağının kullanılabilmesi ve atık ısı yenilenebilir kaynakların kullanılabilmesi sebebiyle avantajlı olsalar da, ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması sebebiyle planlı ve düzenli yerleşim bölgeleri tarafından kullanılabilir. Bölgesel ısıtma sistemi temel olarak ısı merkezi, dağıtım sistemi ve kullanıcı bağlantılarından oluşur. Sistem tek ısı merkezine sahip olabileceği gibi birden fazla ısı merkezine sahip sistemler de olabilmektedir.

Isı merkezleri, ısıyı üretmek dışında ısının depolanmasını da sağlamaktadır. İlk bölgesel ısıtma jenerasyonları depolamadan ısıyı direkt olarak sisteme vermektedir. Ancak günümüzde yenilenebilir enerji kullanımı yaygınlaşmıştır ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından gelen ısı miktarı gün ve mevsimler içerisinde dalgalandığı için üretilen ısının depolanması ihtiyacı görülmüştür. Depolama günlük depolama veya sezonluk depolama olabilir ve bu yöntemlerin detayları, güneş enerjili ısıtma sistemi elemanlarında belirtilmiştir.

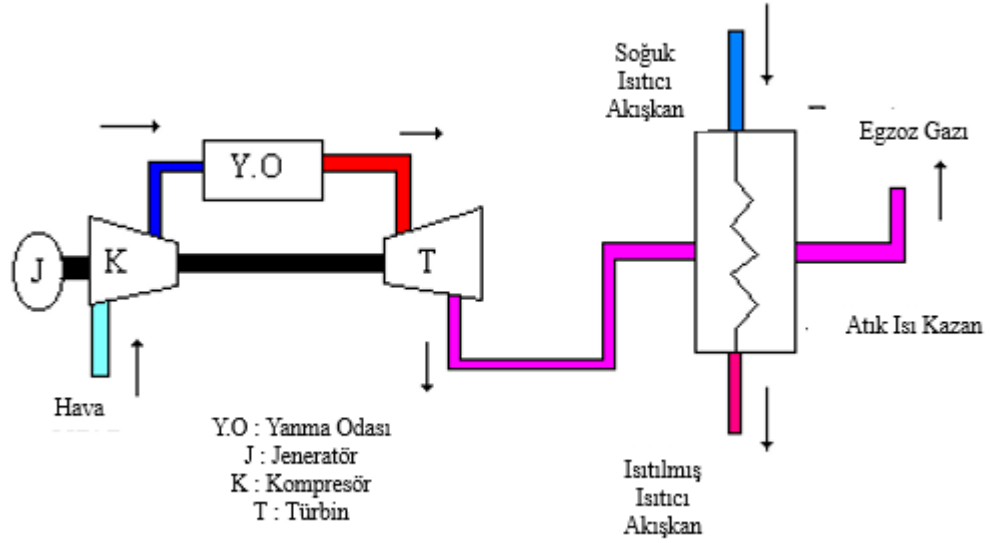
Bölgesel ısıtma sistemleri, sadece ısı üretenler ve elektrik ve ısıyı birlikte üreten kojenereasyon sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır.

### **1.3.1 Isı ve elektrik üreten bölgesel ısıtma sistemleri**

Isı ve elektrik üreten bölgesel ısıtma sistemlerinde, hem belirlenen bölgenin hem elektrik ihtiyacına yönelik üretim yapılırken, hem de bu üretim sırasında termodinamik yasaları sonucu oluşan ısının da kullanılarak bölgenin ısı ihtiyacına katkı sağlayan yüksek verimli sistemlerdir.

### 1.3.1.1 Buhar türbinli sistemler

Buhar türbinli sistemlerde, elektrik üretimini sağlayacak türbin hareketi, buhar basıncı ile sağlanır. Bu buhar ise sisteminin kazanında üretilen buhar sayesinde sağlanır.(Şekil 1.37) Türbindeki görevini yapan buhar ise geriye atık ısı olarak kalmaktadır. Buhardaki atık ısı atık ısı kazanına gönderilir. Bu noktada atık ısı kazanı, bölgesel ısıtma sisteminin ısı merkezi birimi haline gelir.

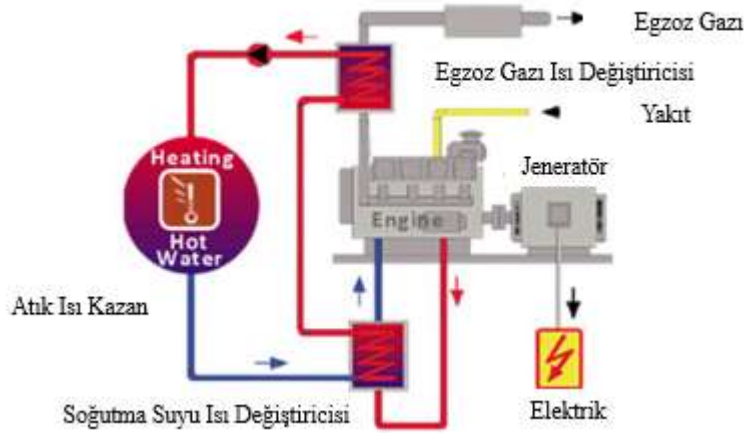


Şekil 1.37 : Buhar Türbinli Kombine Çevrim Sistemi[39].

Günümüzde buhar türbinli sistemler, buhar üretimi için yenilebilir enerji kullanmaktadır. Bu noktadaki en yoğun kullanım yoğunlaştırıcı kolektörlerin kullanıldığı güneş enerjili su ısıtma sistemleridir. Güneş enerjisi buhar üretiminde birincil kaynak olarak kullanılabilirdiği gibi destek kaynak olarak ön ısıtma için kullanılabilmektedir.

### 1.3.1.2 İçten yanmalı motorlu sistemler

İçten yanmalı motora sahip sistemlerde, benzin, dizel veya doğalgaz yakıt kullanarak elde edilen mekanik enerji, elektrik enerjisine çevrilirken motorda oluşan atık ısı ise bölgesel ısıtma sisteminin ısı kaynağı olarak kullanılmaktadır. Atık ısı hem motorun soğutulmasında kullanılan soğutma suyunun ısısı hem de egzoztan dışarı atılan sıcak gazların ısısıdır.(Şekil 1.38) Aynı buhar türbinli sistemlerde olduğu gibi bu sistemde de atık ısı kazanı, sistemin ısı merkezi haline gelmektedir.



**Şekil 1.38 : İçten Yanmalı Motorlu Kombine Çevrim Sistemi[40].**

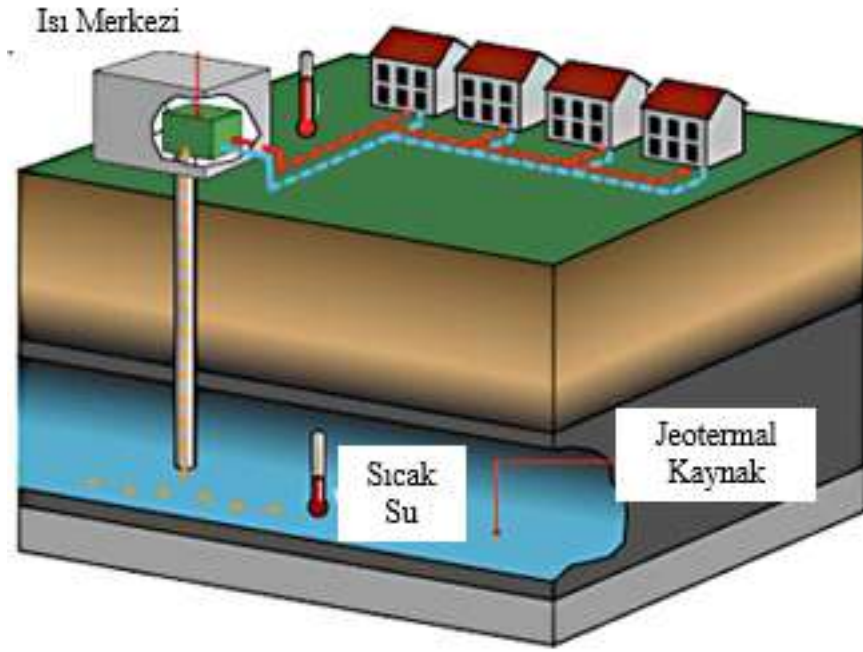
### 1.3.2 Sadece ısı üreten bölgesel ısıtma sistemleri

#### 1.3.2.1 Isıtma kazanlı bölgesel ısıtma

Bölgesel ısıtma sisteminin ısı merkezinde bir kazan olması durumunda, kazanda yakılan yakıt ile sıcak su, kızgın su veya buhar oluşturarak ısı üretir. Günümüzde yoğun olarak kömür, fuel-oil ve doğalgaz gibi fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil yakıtların dışında kereste, tezek vb. biyokütleler de günümüzde özellikle OECD de bulunmayan ülkelerde yoğun olarak kullanılmaktadır. Özellikle fosil yakıt kullanan sistemler çevre kirliliğine yol açsa da günümüzde de yaygın sistem olması ve ısıtma kazanlarının veriminin yeni teknolojiler ile %90'lara varan verimlere ulaşması sebebiyle bireysel ve merkezi ısınma sistemlerinde olduğu gibi bölgesel ısınma sistemlerinde de yoğun olarak tercih edilmektedirler.

#### 1.3.2.2 Isı pompalı bölgesel ısıtma

Bölgesel ısıtma sisteminde, ısı merkezi olarak bir ısı pompası kullanılması durumunda temel ısı kaynakları jeotermal enerji veya toprak olmaktadır. Bu sistemlerde ısı pompasının bulunduğu merkez, ısı merkezi olarak kullanılmaktadır. (Şekil 1.39). Isı pompalı bölgesel ısıtma sisteminin kurulması için bölgenin jeolojik özelliklerinin yeterliliği konusunda iyi araştırmalar yapılmalı, ayrıca sistemin kurulması durumunda yeraltına verilebilecek zararların önlenmesi için gerekli jeokimyasal ve mikrobiyoloji araştırmaların tamamlanması gerekmektedir.



**Şekil 1.39 : Isı Pompalı Bölgesel Isıtma Sistemi[41].**

#### **1.3.2.3 Atık ısı kaynaklı bölgesel ısıtma**

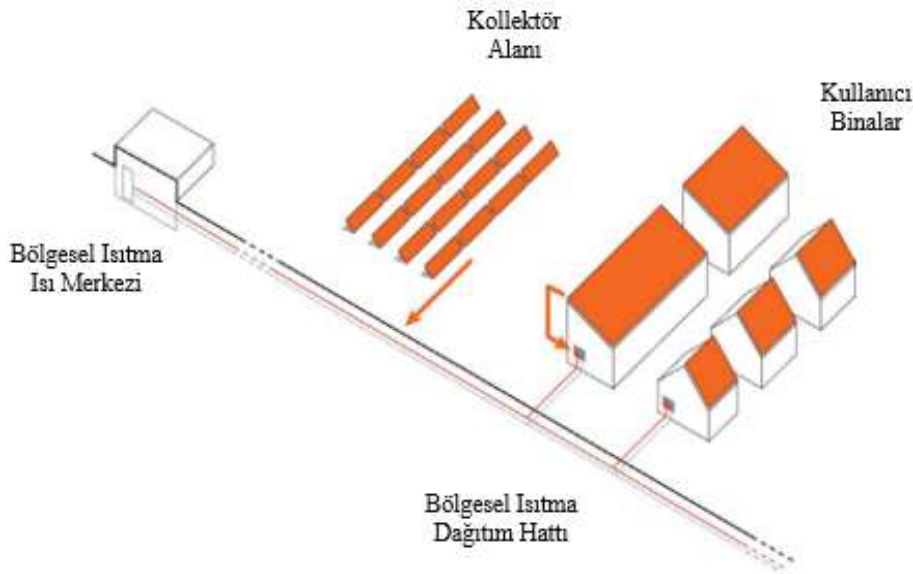
Atık ısı kaynaklı sistemler, üretim gibi yoğun ısı üreten proseslerdeki atık ısının, atık ısı kazanı vasıtasıyla kullanılmasına dayanır. Temel olarak elektrik ve ısı üreten kombine sistemlerdeki atık ısı ile aynı mantığa dayanır. Ancak burada atık ısıyı oluşturan elektrik üretimi değil ısı ve elektrik üretimi amacı taşımayan bir endüstriyel proses oluşturmaktadır.

#### **1.3.2.4 Güneş enerjisi kaynaklı bölgesel ısıtma**

Güneş enerjisinin ısıtma kaynağı olarak kullanılması özellikle kullanım suyu ısıtması kısmında bireysel kullanımda yoğun olarak tercih edilmektedir. 2015 yılı sonunda dünyadaki toplam güneş kolektörü kapasitesinin %63'lük kısmı bireysel ve ticari konutlardaki ısıtma için kullanılmaktaydı.[42] Ancak son yıllarda özellikle Kuzey Avrupa ülkeleri ve Çin bu sistem için yoğun araştırmalar ve yatırımlar yapmaktadır. Danimarka sadece 2016 yılında 31 yeni güneş enerjili bölgesel ısıtma sistemini devreye almış bulunmaktadır. Güneş enerji kaynaklı sistemlerin güneş enerjisinin toplanması için, kolektörlerin tek bir ısı merkezi alanına kurulabildiği gibi, sistemden faydalanan bütün binaların çatılarına kurulup, bütün kolektör devrelerinin ısı merkezinde toplanmasını sağlayabilecek dağınık bir sistem de kurulabilir. (Şekil 1.40 ve Şekil 1.41)



**Şekil 1.40 : Isı Pompalı Bölgesel Isıtma Sistemi[42].**



**Şekil 1.41 : Kolektör Enerjisinin Tek Bölgede Toplayan Merkezi Sistem [42].**

### 1.3.3 Bölgesel ısıtma sistemlerinde depolama

Bölgesel ısıtma sistemlerin elde edilen enerjinin depolanması ise güneş enerjili ısıtma sistemlerinin depolanmasında ele alındığı gibi, günlük ve sezonluk olarak ikiye ayrılmakta ancak sistemler çoğunlukla sezonluk depolamayı tercih edecek şekilde planlanmaktadır. Özellikle yenilenebilir enerjinin yoğun olarak kullanıldığı dördüncü nesil sistemlerde sezonluk depolama sistemleri kullanılmaktadır.

### 1.3.4 Bölgesel ısıtma sisteminde enerjinin dağıtımı

Isı merkezinde üretilen ısı enerjisi, çeşitli ısıtıcı akışkanlar vasıtasıyla binalar taşınmasını sağlayan boru hatları, enerjinin dağıtımını sağlar. Birinci nesil sistemlerde sıcak buhar üretilmesi sebebiyle, dağıtımda kullanılan ısıtıcı akışkanda sıcak buhar olurken; ikinci nesil sistemler, ısı merkezlerinde üretilen 100°C

zerindeki kızgın suyun borular içerisinde taşınmasını sağlamaktadır. nc nesil sistemler 100°C altındaki sıcak suyu taşırken yüksek verimin önemli olduğu güncel dördüncü nesil sistemler ise 70°C altında, çoğunlukla TS 1258 standartına göre 50°C olan kullanım sıcaklığına çok yakın olan sıcaklığa sahip suyu dağıtım borularında taşıtmaktadır.[43]

Bölgesel ısıtma sistemlerinin dağıtım boruları, şebeke dağıtım boruları gibi, toprak altından ilerlemektedir. Soğuk şebeke suyunun dağıtımında olduğu gibi borularda sürtünme kaynaklı basınç kaybı yaşanmakta ve pompa seçiminde bu basınç kayıpları göze alınmaktadır.

şebeke dağıtımına göre yaşanan ekstra kayıp ise boruların içerisinde sıcak akışkan bulunması sebebiyle yaşanan ısı kaybıdır. Bu yüksek sıcaklıkta akışkan taşıyan birinci ve ikinci nesilde çok daha yoğun olurken, özellikle düşük sıcaklıkta akışkan taşıyan dördüncü nesil sistemlerde, sıcak akışkan ile toprak arasındaki ısı farkının azalması sebebiyle yaşanan ısı kayıpları daha az olmaktadır. Ayrıca borular, özel termal ceketler ile kaplanarak yalıtılmaktadır.(şekil 1.42)



**şekil 1.42 :** Bölgesel Isıtma Sisteminin Yalıtımlı Dağıtım Boruları[44].

Bölgesel ısıtma dağıtım hattı, bina içlerindeki iletim hatlarına kadar ulaştırılır ve bina iletim hatları ile aralarında bir ısı değiştirici yerleştirilerek dağıtım hattının kapalı devre olması sağlanabileceği gibi özellikle kullanım sıcak suyunun dağıtımında suyun direkt olarak kullanılması için dağıtım ve iletim hatlarının birbirine direkt olarak bağlantılı olarak da kullanılabilir. [88]

Bölgesel ısıtma sistemlerinin dağıtım borularının ölçülendirmesinde, sıhhi tesitat ölçülendirmesindeki gibi, boru içerisindeki akışkan hızının sabit kalmasına yönelik hesap yapılmaktadır. Şebeke suyu dağıtım hatlarında olduğu gibi bölgesel ısıtmanın dağıtımında da sıcak su maksimum hızının 2 m/s olmasına izin verilmektedir. [45] Sıcak su hızının sabitlenmesi gibi, borularda yaşanan spesifik basınç kaybının sabitlenmesi ile boru ölçülendirmesi yapmayı öneren kaynaklarda literatürde mevcuttur. Bu kaynaklarda spesifik basınç kaybının 150-200 Pa/m olarak sabit tutulması ile gerekli boru çapının belirlenmesi önerilmektedir. [46] Her iki metodolojinin de temel formülleri denklem (1.1) ve denklem (1.2) de detaylı gösterilmiştir. [88]

$$d = \sqrt{[(Q_w \cdot SG / 3600 \cdot v) \cdot (4 / \pi)]} \quad (1.1)$$

$$\Delta p = (\mu \cdot \ell \cdot v^2) / (2 \cdot d \cdot SG) \quad (1.2)$$

Denklem (1.1)'de d borunun iç çapını [mm],  $Q_w$  suyun debisini [ $m^3/saat$ ], v ise suyun hızını [m/s] ifade etmektedir. Denklem (1.2)'de ise  $\Delta p$  spesifik basınç kaybını [Pa],  $\mu$  borunun sürtünme sabitini,  $\ell$  ise borunun uzunluğunu [m],  $\rho$  suyun özkütlesi [ $kg/m^3$ ], SG spesifik özkütle ( akışkan özkütlesini su özkütlesine oranı ) ve d ise boru iç çapını [mm] ifade etmektedir.

Denklemlere göre su hızını veya spesifik basınç kaybını sabit tutarak çapların hesaplanması ardından Alman DIN standartına göre bulunan çaplardan en yakını seçilmesi ile doğru boru çapı seçildir ve bu hesaptan sonra toplam boru kaybı hesaplanarak pompa seçimi yapılır.

#### 1.4 Literatür Özeti

Werner, dünyadaki bölgesel ısıtma ve soğutma sistemleri üzerine yaptığı incelemesinde, dünyadaki binalarda bölgesel ısıtmadan faydalanarak toplam ısı ihtiyacının %10'una yaklaştığı ancak bu dağılımın dengesiz olduğu, kimi ülkelerde ısı ihtiyacı %50'sinden fazlasını bölgesel ısıtma ile karşılarken kimi ülkelerde ise

bölgesel ısıtmanın hiç kullanılmadığını belirtmiştir. Özellikle Rusya ve Çin’de bölgesel ısıtma sistemleri, fosil yakıtlara bağımlı iken Avrupa’da yenilenebilir enerji ve atık ısı kullanımının dünya ortalaması üzerinde olduğu saptamıştır. Mevcut sistemlerin ikinci veya üçüncü jenerasyon ağırlıklı olduğu ancak günümüzdeki yenilenebilir enerji ve verimli binalara olan yönelim sebebiyle dördüncü nesil sistemlerin artabileceğini belirtmiştir. Araştırma kapsamında dünyada kullanılan bölgesel ısıtma sistemlerinin yasal mevzuatları ve fiyatlama stratejilerini de incelenmiştir.[47]

Sayegh ve arkadaşlarının yaptıkları araştırma ile Avrupa’daki bölgesel ısıtma sistemlerinin durumunu ve gelecekteki gidişat yönlerini sunmuşlardır. Bu araştırmaya göre Avrupa’daki kurulu bölgesel ısıtma sistemleri, bölgenin toplam ısınma ihtiyacının %10’unu karşılamaktadır. Ancak teknolojik gelişmeler ve Avrupa ülkelerinin bu konuya önem vererek çıkardıkları teşvikler ile bu oranın önümüzdeki yıllarda hızla artması beklenmektedir.[38]

Yenilenebilir enerji ve atık ısı kaynaklı dördüncü nesil bölgesel ısıtma sistemleri ile ilgili yapılan araştırmada ise, mevcut durumda dördüncü nesil sistemlerin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması ve binaların ve dağıtım şebekelerinin yüksek sıcaklıkta suya ihtiyaç duymaları sebebiyle dezavantajlı görünse bile son yalıtım teknolojileri ve düşük enerjili ihtiyacına sahip bina tasarımları sayesinde önümüzdeki yıllarda maliyet ve sürdürülebilirlik açısından daha üstün konumda olan dördüncü jenerasyon sistemlerin yaygınlaşacağı öngörülmektedir. [48]

Turski ve Sekret yaptıkları araştırma ile bölgesel ısıtma sistemi alt yapısında gerekli düzenlemeler yapıldığı zaman altyapının termal enerji deposu olarak da kullanabileceğini kanıtlamıştır. [49]

İtalya’da yapılan araştırma bir araştırma sonucunda, bölgesel ısıtma için gerekli olacak ısı yükünün öngürülmesine yönelik bir modelleme yöntemi geliştirilmiş ve geliştirilen bu yöntemin İtalya’nın Turin kentindeki mevcut bölgesel ısıtma sistemi üzerinde yapılan deneme çalışmaları ardından kullanılabilir bir modelleme yöntemi olduğu kanıtlanmıştır. [50]

Park ve arkadaşları tarafında Kore özelinde yapılan araştırmada, 2016 yılı sonunda ülkedeki konutların %16,1’i bölgesel ısıtma sistemlerinden faydalandığı anlaşılmaktadır. Isınma için harcanan yıllık miktara göre kıyaslandığında bölgesel

ısıtma sistemi, bireysel ısınma sisteminden yeni kullanıcılar için %50, mevcut sistemini değiştirecekler için ise %24 daha karlı bir sistem olmaktadır. Ayrıca bölgesel ısıtma sistemi karbondioksit emisyonlarının azalmasını sağlayacaktır. [51]

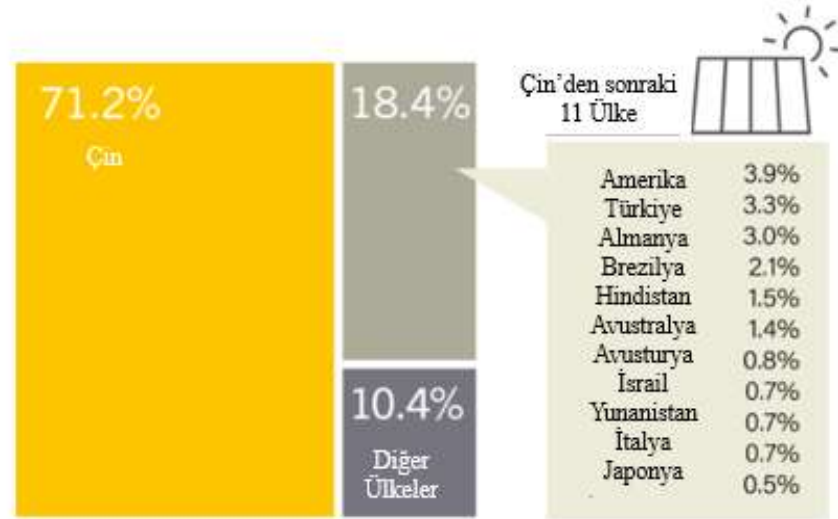
Schmidt ve arkadaşları, Almanya’da sezonluk depolama sistemlerine sahip bölgesel ısıtma uygulamalarını incelemiş ve bölgesel ısıtma sistemlerinde kullanılan dört temel sezonluk depolama tipi üzerinde araştırma yapmışlardır.[52]

Fisch ve diğerleri, Avrupa’da bulunan güneş enerjisi kaynaklı bölgesel ısıtma sistemlerini inceleyerek, günlük ve sezonluk depolamaya sahip sistemler üzerinde karşılaştırma yapmış ve araştırma sonucunda günlük depolama sistemlerinin toplam ısı ihtiyacının %10-%20’lik bir kısmını karşılayabilirken, sezonluk depolamaya sahip sistemlerin toplam ısı ihtiyacının %50-%70’lik oranlarında ısı sağlayabildiğini kanıtlamıştır.[53] Ayrıca Hooper, Kanada’daki bir ev üzerinden yaptığı araştırmasında sezonluk depolamaya sahip sistemin günlük depolamaya sahip sisteme göre %25 daha az kolektör alanına ihtiyaç duyacağını belirtmiştir. [54]

Antoniadis ve Martinopoulos, Yunanistan’ın Selanik şehri özelinde yaptıkları araştırmada, sezonluk termal enerji depolama tankı kullanarak güneş enerjisi kaynaklı sistem ile yıllık ısı ihtiyacının %52,3’ünü ve yıllık sıcak su ihtiyacının tamamının karşılanabileceğini modellemiştir.[26]

Özgen, 1990 yılında yaptığı çalışmada ısınmada güneş enerjisi kullanımı üzerine yaptığı çalışmada güneş enerjisinin ısınma amaçlı ve kullanım amaçlı sıcak su üretiminde kullanılabildiğini sunmuştur.[55]

Güneş enerjisinin ısıtma ve soğutma amaçlı kullanımına global bazda bakıldığında, 2017 sonu itibariyle toplam kurulu kolektör kapasitesi 675 milyon m<sup>2</sup> ve 472 GW<sub>th</sub> olarak gözükmemektedir. 2017 yılı boyunca 388 TW<sub>th</sub> ısı sağlayan bu kolektörler, ısınma için harcanacak 41.7 milyon ton yakıttan tasarruf sağlarken fosil yakıtlı ısıtma sırasında açığa çıkan 134.7 milyon ton CO<sup>2</sup> ‘in oluşmasını engellemiştir. Dünyada güneş enerjili su ısıtma sistem kullanımının ülkelere dağılımına baktığımızda, toplam kapasitenin %71,2’lik yüzdesi ile Çin açık ara lider konumundadır. Türkiye özeline baktığımızda ise toplam kapasitenin %3,3’ü ile dünyada Amerika’nın ardından kurulu kapasitede 3. ülke olarak yer almaktadır. Globalde en yüksek kurulu kapasiteye sahip 12 ülke ve bunların yüzdesel sıralaması Şekil 1.43’de detaylı olarak gösterilmektedir.



**Şekil 1.43 : Ülkelerin Güneş Enerjili Isıtma Sistemi Kurulu Kapasitelerine Göre Sıralaması[56].**

Dünyada güneş enerjili ısıtma sistemlerini suyun taşınma şekline göre kıyasladığımızda dünyadaki toplam kapasitenin %78'ini pasif sistemler oluştururken Avrupa'da bu oran %39'a düşmektedir. Dünyadaki sistemler kolektör tipine göre ayrıştırıldığında ise toplam kurulu kapasitenin %74'ü vakum tüp kolektör ve %26'sı düzlemsel kolektör iken Avrupa'da bu oran %24 vakum tüp kolektör ve %76 düzlemsel kolektör olarak ayrılmaktadır. Burdaki büyük farklılığın sebebi ise açık ara pazar lideri olan Çin'in pasif sistemler ile vakum tüp kolektör sistemlere daha fazla odaklanması nedeniyle globaldeki oranlara etki etmesinden kaynaklanmaktadır. [57]

Eskin, Türkiye'de güneş enerjisi kullanımının tarihi hakkında yaptığı aratırmada güneş enerjili sıcak su sistemlerinin imalatına ilk olarak 1975 yılında İzmir'de başlanıldığını 1980 yılı itibariyle konutlarda, 1988 yılı itibariyle de endüstrilerde hızlıca yaygınlaştığını göstermiştir. [58]

Kaçar ve Erinbay, yaptıkları araştırma ile kapalı devre güneş enerjili ısıtma sistemlerinin en önemli elemanlarından olan ısı değiştiricilerin tiplerini detaylıca inceleyerek bu tiplerin verimine ve performansına etki eden parametreleri araştırmıştır. [59]

Aslantürk ve Kara, güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde de depolama ve ısı değitirici olarak kullanılan boylerlerin modellemesini yaparak ısı değıştirici serpantinın yüzey alanı ve içërisinden geöen ısıtıcı akışkanın debisinin, boyler verimine olan etkisini araştırmıştır.[32]

Erkan, yaptığı çalışmada bir üniversite spor salonunun sıcak su ihtiyacı için, düzlemsel güneş kolektörlü bir sistem kullanarak tasarladığı sistem ile sıcak su ihtiyacının %50-52'lik oranda karşılarken yatırımın geri dönüş süresini ise 6,6 yıl olarak hesaplamıştır.[60]

Güneş enerjisi kaynaklı bölgesel ısıtma sistemleri incelendiğinde, dünyadaki toplam kapasitenin %90'ının Avrupa'da bulunduğu görülmektedir. 2017 yılı sonu itibariyle toplam kapasitenin %76'sı sadece Danimarka'da kurulu olan ve toplamda 932 MW<sub>th</sub> kurulu güce sahip güneş enerjili bölgesel ısıtma sistemlerinden gelmektedir. [56] Dünyanın en büyük güneş enerjili bölgesel ısıtma sistemi ise Silkeborg, Danimarka'da yer almaktadır. Toplamda 12.436 düzlemsel kolektöre sahip sistemin kurulu gücü 110 MW<sub>th</sub>'dir. Sistem Silkeborg'un yıllık ısınma ihtiyacının %20'lik kısmını karşılamaktadır. Sistem güneş enerjisinin yetmediği durumda destek vermek için doğalgaz yakıtlı ek kazanlara sahiptir.[61]

Pauschinger, yaptığı araştırmada güneş enerjili merkezi ısıtma sistemlerinin günümüzdeki teknolojisini ve sistem çeşitlerini, mevcutta kullanılan sistemler özelinde incelemiştir. Güneş enerjili bölgesel ısıtma sistemleri, bölgenin ısınma ihtiyacının %10-%50 oranında karşılamakta olduğu bu çalışmada belirtilmiştir. Toplamda 7 farklı güneş enerjili ısıtma sistemi çeşidinin bulunduğu ve bu çeşitlerin kolektörlerin merkezi-dağınık olmasına, ısıtma sağladığı bölge büyüklüğüne ve bölgesel ısıtma sistemine olan entegrasyon şekline göre ayrıştığı bu çalışmada belirtilmiştir. [42]

Melborne, Avusturalya'da bulunan Monash Üniversitesi, mevcut doğalgaz kaynaklı ve 8 MW<sub>th</sub> bölgesel ısıtma sistemlerine 1 MW<sub>th</sub> kapasiteli güneş enerjisi kaynaklı bölgesel ısıtma sistemi entegre etmeyi planlamıştır. 2017 yılı sonunda sistem 0,5 MW<sub>th</sub> kapasiteye ulaşmış durumdadır. Melborne'un Clayton bölgesinde bulunan bu kampüste 100'e yakın bina bulunmaktadır ve bölgesel ısıtma sistemi bütün binaların ısı ihtiyacını karşılamaktadır. Kızgın su üretilen güneş enerji kaynaklı bölgesel ısıtma sistemi, kampüsün yaz aylarındaki sıcak su ihtiyacını tamamen karşılarken, kış aylarında da doğalgaz kaynaklı sisteme destek görevini ön ısıtma sağlayarak sürdürmektedir. [62-64]

Türkiye’deki merkezi ısıtma sistemleri incelendiğinde, hem elektrik üretimi hem de ısı üretimi sağlayan kombine çevrime sahip ilk sisteminin Esenyurt Termik Santrali olduğu görülmektedir. (Şekil 1.44) Termik santralde elektrik üretimi sonrası açığa çıkan atık ısınn kullanılmasıyla, Esenkent bölgesine ısı enerjisi sağlamaktadır. Atık ısınn enerjisi ile kızgın su üretilmekte ve bu suyun dağıtımını sağlanmaktadır. Yapılan 20 yıllık anlaşma çerçevesinden yaklaşık 10.000 konutun ısınma ihtiyacı sistem tarafından karşılanmaktadır. Tesisin toplam ısı kapasitesi 180 MW<sub>th</sub> iken bugüne kadar tesisten çekilen maksimum ısı 65 MW<sub>th</sub> olmuştur.[65] Dağtekin ve arkadaşlarının yaptığı araştırmaya göre doğalgaz yakıtlı bu sistemde atık ısınn kullanılması ile sistemin toplam verimi %89,4 oranına ulaşırken yatırımın geri dönüş süresi ise 3,65 yıl olarak hesaplanmıştır. [66].

Termik santralli bölgesel ısıtmanın Türkiye’deki bir diğer örneği ise Manisa’nın Soma ilçesinde bulunan Soma Termik Santrali projesidir. (Şekil 1.45) Esenyurt projesine benzer bir şekilde, termik santralden çıkan atık ısınn kullanıldığı projede termik santralin yakıtı ise kömürdür. 2011 yılı sonunda planlanan sistemin, 2018 yılı sonuna kadar 10.000 konutun ısınma ihtiyacını karşılaması beklenmektedir. [67]

Türkiye’de elektrik üretimi sırasında açığa çıkan atık ısınn kullanımı dışında, fabrikalarda çıkan atık ısı kullanılarak ısı üreten bölgesel ısıtma sistemleri de mevcuttur. Bu sistemler şeker fabrikalarında, şeker üretim prosesi sırasında açığa çıkan atık ısıyı kullanmaktadır. Eskişehir Şeker Fabrikası 410, Kayseri Şeker Fabrikası 50 ve Ankara Şeker Fabrikası 280 konut ve bir sosyal tesisin ısı ihtiyacını karşılayan atık ısı kaynaklı bölgesel ısıtma sistemine sahiptir. Bu sistemler aynı zamanda Türkiye’nin ilk bölgesel ısıtma sistemleridir. [65]



**Şekil 1.44 : Esenyurt Termik Santrali[68].**



**Şekil 1.45 :** Soma Termik Santrali[69].

Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklı bölgesel ısıtma sistemi ise İzmir’de kurulu olan Balçova-Narlıdere Bölgesel Isıtma Sistemi’dir. Jeotermal ısı enerjisi kullanarak bölgesel ısıtma yapan sistem, ilk olarak 1980 yılında deneme amacıyla kurulmuş ancak alınan sonuçlar neticesinde 1996 yılından itibaren bölgesel ısıtma sistemi ilk olarak Balçova bölgesinden ardından ise 1998 yılında Narlıdere bölgesinde devreye alınmıştır. Sistem üzerinde yapılan geliştirmeler ile 2002 yılı sonunda 72 MWth ısı kapasitesine ve 2003 yılı sonunda 1.150.000 m<sup>2</sup> ısıtılan alan kapasitesine ulaşmıştır. [70]. Türkiye’de güneş enerjili merkezi ısıtma sistemi ile ilgili olarak literatüre kaydedilmiş herhangi bir kurulu sistem bulunmamaktadır.

### **1.5 Tezin Amacı**

Ülkemizde yüksek potansiyele ve kurulu güce sahip olan güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde, tekil sistemler yerine bölgesel solar su ısıtma sistemlerinin kullanılmasının daha verimli olacağı üzerinde, örnek bir modelde değerlendirilerek sunulması amaçlanmaktadır.

Bu amaçla, İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsü’nün sıcak su ihtiyacını karşılayacak bir güneş enerjili merkezi ısıtma sistemi tasarlanacaktır. Sistem sadece kullanım sıcak suyu sağlama amacıyla çalışacak ve mevcut kullanım sıcak suyu sağlayan sistemlere destek olarak çalışacaktır.

Sistemin birden fazla fazdan oluşabilen bir tasarım olarak belirlenecek ancak hesaplar ve tasarım detayları sadece 1 faz için yapılacaktır. T\*SOL isimli güneş enerjisi kaynaklı ısıtma sistemlerinin simülasyonunu sağlayan program ile sistemin simülasyonu yapılarak sistemden elde edilecek çıktılar değerlendirilecektir. Yapılan faz için Ayazağa Kampüsü vaziyet planı üzerinde tasarım modellendirilecektir.

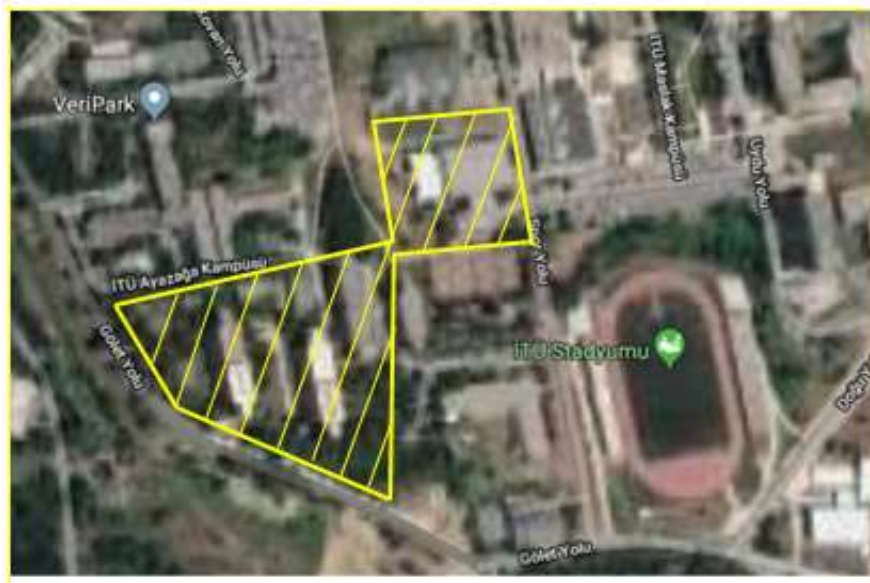
Elde edilen sonuçlar ile güneş enerjisinde bireysel ısıtma sistemlerinin tek çözüm olmadığı vurgulanacak ve dünyada da yoğun olarak kullanımına başlanılan güneş enerjili merkezi ısıtma sisteminin ülkemizdeki verimi ve uygulanabilirliği değerlendirilecektir.



## 2. GÜNEŞ ENERJİLİ BÖLGESEL ISITMA SİSTEMİNİN TASARLANMASI

### 2.1 Sistemin Kurulacağı Bölgenin Belirlenmesi

Bölgesel ısıtma sistemi için İstanbul Teknik Üniversitesi'nin Ayazağa Kampüsü kullanılacaktır. Kampüs içerisinde belirlenecek bir bölge için ısıtma sisteminin tasarlanması planlanmıştır. Güneş enerjili bölgesel ısıtma sisteminin sadece sıcak suyu ihtiyacını karşılamak amaçlayarak tasarlanması üzerinde durulmuştur. Bu sebeple kampüs içerisinde sıcak su kullanımı bulunan binalar üzerinde yoğunlaşmış ve bu sebeple yurt binalar, spor salonu ve lojmanların olduğu bölgeler ayrı ayrı incelenmiştir. Gerek kolektör ve ısı merkezi için yeterli boş alana sahip olması gerekse yoğun yurt binası olması sebebiyle İTÜ stadyumu ile Otomotiv Teknolojileri Araştırma Merkezi binası arasında bulunan alan, bölgesel ısıtma sistemi için seçilmiştir. Bu alandaki sıcak su kullanıcısı binalar; Prof. Dr. Ali İhsan Aldoğan Kız Öğrenci Yurdu , Altan Edige Kız Öğrenci Yurdu, Zeynep Birkan, Ayşe Birkan ve Ferhunde Birkan Kız Öğrenci Yurtları ile Ayazağa Kız Öğrenci Yurdu binalarıdır. (Şekil 2.1) Ayrıca yine yoğun sıcak su tüketimi olan ve bu bölgeye yakın olan spor salonu da sistemin kullanıcıları arasına katılmıştır.



Şekil 2.1 : İTÜ Ayazağa Kampüsü İçinde Belirlenen Bölge.

## 2.2 Bölgedeki Sıcak Su İhtiyacı

Bölgenin toplam sıcak su ihtiyacını belirlemek için bölge içerisindeki kullanıcı olan her bir binanın sıcak su ihtiyacının ayrı ayrı belirlenmesi ve toplam ihtiyaca ulaşılması gerekmektedir. Bu sebeple İstanbul Teknik Üniversitesi Rektörlüğü, Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'ndan belirlenen bölgedeki kullanıcı binaların planları ve kapasiteleri alınmıştır.

Altan Edige ve Prof. Dr. Ali İhsan Aldoğan kız öğrenci yurtları aynı plana sahiptir. Her iki yurt binası da 324 kişilik kapasiteye sahiptir. Her iki yurttan 2 kişilik odalara sahip iken, sıcak su kullanımı olan banyo ve tuvaletler odaların içerisinde yer almaktadır.

Zeynep Birkan ve Ayşe Birkan yurtları ise aynı plana sahip iken Zeynep Birkan 70, Ayşe Birkan ise 60 kişilik kapasiteye sahiptir. Her iki yurttan tek kişilik odalara sahip iken, sıcak su kullanımı olan banyo ve tuvaletler ise her kata ortak kullanım şeklinde sunulmaktadır.

Ayazağa ve Ferhunde Birkan yurtlarının planları benzer olsa da Ferhunde Birkan yurdunun toplam alanı Ayazağa yurdunun 2 katından daha fazladır. Kapasitelerine bakıldığında ise, Ferhunde Birkan Kız Öğrenci Yurdu 360 kişilik kapasiteye sahip iken Ayazağa Kız Öğrenci Yurdu 144 kişilik kapasiteye sahiptir. Ferhunde Birkan, 4'er kişilik odalara sahip iken Ayazağa 3'er kişilik odalara sahiptir ve her iki binada da banyo ve tuvaletler her kata ortak kullanıma açık şekilde bulunmaktadır.

Spor Salonu için bakıldığında ise, net bir kullanıcı sayısı verilemese de Yapı İşleri ve Teknik Daire'den verilen bilgiye göre günde ortalama 300 kişinin duş aldığı öngörülmektedir. Erkan, İTÜ Spor Salonu'nda güneş enerjili su ısıtma sistemi ile sıcak su eldesi için yaptığı araştırmada da günde 300 kişinin duş aldığı F-Chart simülasyonu kullanılarak kanıtlanmıştır. Bu sebeple spor salonunun kullanımı 300 kişi/gün olarak hesaba katılacaktır.[60] Bölgedeki toplam sıcak su ihtiyacı için TS 1258 standartı baz alınarak hazırlanan tablolar kullanılacaktır. [71-73]

TS 1258 standartına göre yurtlarda 45°C sıcaklıkta sıcak su kullanımında kişi başına 35 litre ila 70 litre arasında tüketim olması beklenmektedir. Tasarlanacak bölgesel ısıtma sisteminin 50°C olması planlandığı için toplamda kişi başına 50 litre/gün olarak tüketim hesabı yapılması kararlaştırılmıştır.

Spor salonları için ise ilgili standarda göre hazırlanan tablolara göre duş bulunduran salonlarda 45°C sıcaklıkta sıcak su kullanmında 50 litre ila 70 litre kişi başı tüketim olması beklenmektedir. Tasarlanacak sistemde tam kapasite bilinmediği için güvenli alanda kalmak adına 50°C su kullanılmasına rağmen kişi başına 80 l/gün'lük tüketimin hesaba katılması planlanmıştır. Bu hesaplara göre yurt binalarındaki toplam 1.282 kişinin günlük sıcak su tüketimi 64.100 litre iken spor salonundaki günlük 300 sporcunun sıcak su tüketiminin 24.000 litre sıcak su ihtiyacı olacağı hesaplanmıştır. Bu durumda toplam sıcak su ihtiyacı 88.100 litre olarak hesaplanmıştır. Toplam sıcak su ihtiyacının binalara olan dağılımı Çizelge 2.1'de detaylı olarak gösterilmiştir.

Binalarda bulunan toplam lavabo, duş ve mutfak evyesi sayıları Çizelge 2.2'de gösterilmiştir. Bu veriler ise bölgesel sıcak su sisteminde, boyler hesaplaması ve güneş enerjili ısıtmaya katkı sağlayacak kazanlardan ihtiyaç duyulan toplam kapasitenin hesaplanmasını sağlayacaktır.

**Çizelge 2.1 : Bölgedeki Binaların Sıcak Su Tüketimi.**

| Bina Adı                    | Kapasite | Kişi Başı Sıcak Su Tüketimi<br>Litre/Gün | Toplam Sıcak Su İhtiyacı<br>Litre/Gün |
|-----------------------------|----------|------------------------------------------|---------------------------------------|
| Prof. Dr. Ali İhsan Aldoğan | 324      | 50                                       | 16.200                                |
| Altan Edige                 | 324      | 50                                       | 16.200                                |
| Zeynep Birkan               | 70       | 50                                       | 3.500                                 |
| Ayşe Birkan                 | 60       | 50                                       | 3.000                                 |
| Ferhunde Birkan             | 360      | 50                                       | 18.000                                |
| Ayazağa                     | 144      | 50                                       | 7.200                                 |
| Spor Salonu                 | 300      | 80                                       | 24.000                                |

**Çizelge 2.2 : Bölgedeki Binalarda Bulunan Sıcak Su Tüketim Noktaları.**

| Bina Adı                    | Toplam Musluk Adedi | Toplam Duş Adedi | Toplam Evye Adedi |
|-----------------------------|---------------------|------------------|-------------------|
| Prof. Dr. Ali İhsan Aldoğan | 164                 | 162              | 9                 |
| Altan Edige                 | 164                 | 162              | 9                 |
| Zeynep Birkan               | 24                  | 24               | 6                 |
| Ayşe Birkan                 | 24                  | 24               | 6                 |
| Ferhunde Birkan             | 80                  | 76               | 8                 |
| Ayazağa                     | 40                  | 38               | 8                 |
| Spor Salonu                 | 41                  | 43               | 0                 |

### 2.3 Bölgenin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Tasarlanan bölgesel ısıtma sistemi, temel enerji kaynağı olarak güneş enerjisini kullanacaktır. Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli, Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı - Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından 1985-2006 yılları arasında yapılan güneş ışınımı ölçümlerine göre ESRI Solar Radiation Model kullanılarak hazırlanan Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) oluşturulmuştur. (Şekil 2.2) Türkiye güneş potansiyeline göre 4 farklı kuşağa ayrılmıştır. (Şekil 2.3) İstanbul 3. kuşak içerisinde yer almaktadır.

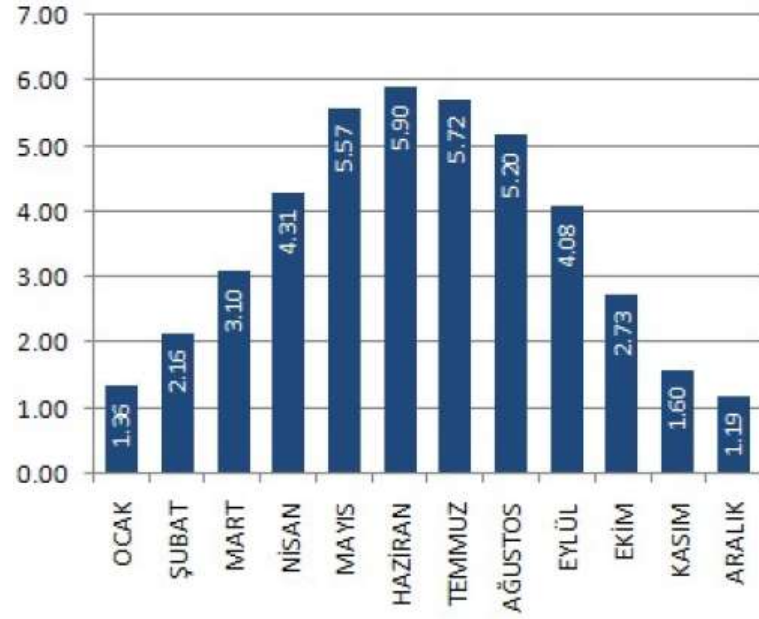


Şekil 2.2 : Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası[74].

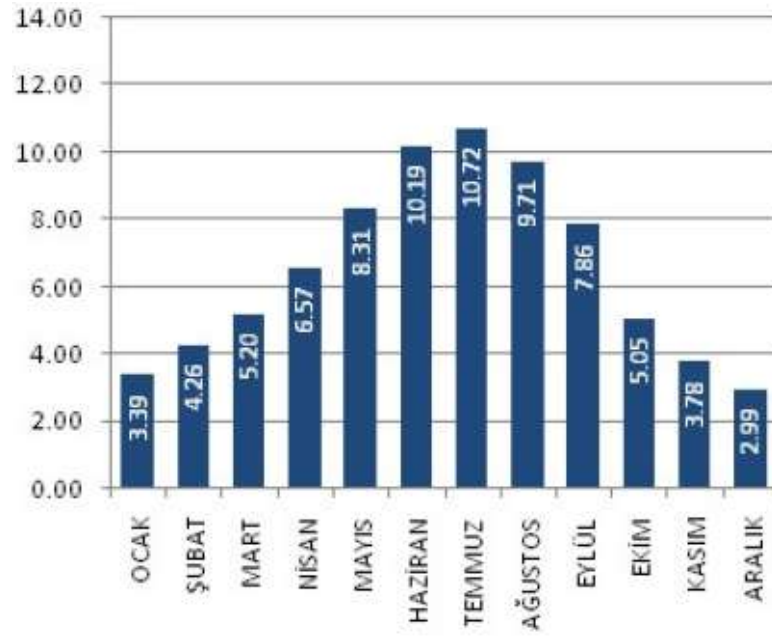


Şekil 2.3 : Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası[75].

İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsü'nün bulunduğu İstanbul'ın Sarıyer ilçesinde aylık güneşlenme süreleri ve güneş ışınım değerleri ise Şekil 2.4 ve 2.5'de detaylı olarak gösterilmiştir.



**Şekil 2.4 :** Sarıyer'in aylık güneşlenme süreleri (gün/saat)[74].



**Şekil 2.5 :** Sarıyer'in aylık güneş ışınlımı (kWh/m<sup>2</sup>)[74].

## 2.4 Bölgesel Isıtma Sisteminin Tasarımı

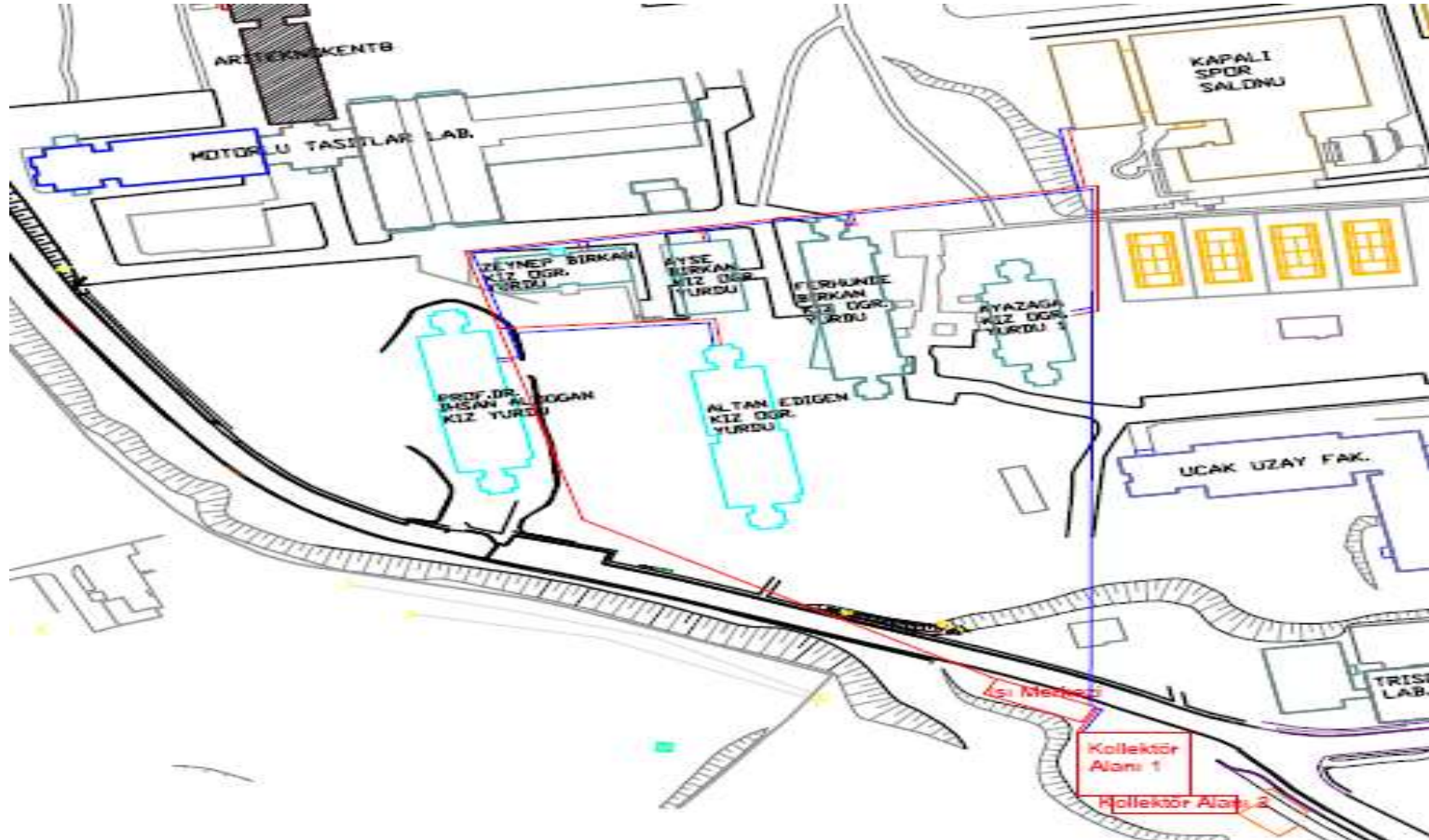
Temel olarak bölgesel ısıtma sisteminin, mevcutta binalarda bulunan boyler sistemlerine ön ısıtma yapmasını sağlayacak bir tesisat kurulması tasarlanmıştır. Bu sebeple kolektörden gelen ısı enerjisinin öncelikle ısı merkezindeki buffer tanklar vasıtasıyla ısı enerjisinin depolanması sağlanacaktır. Yüksek sıcak su ihtiyacı sebebiyle kolektörler ile buffer tank arasında bir plakalı ısı değiştirici kullanılacaktır. Bu tasarıma göre birincil devre kolektörler ile ısı değiştirici arasında olacaktır. İkincil

devre ise ısı değiştirici ile buffer tankı arasında olacaktır. Buffer tankında depolanan ısı enerjisinin ise bölgesel ısıtma dağıtım hattına verilecektir. Dağıtım hattıyla binalara ulaşan sıcak su, binalardaki ısı değiştiricileri vasıtasıyla şebeke suyuna enerjisini vererek ön ısıtma yapmaktadır. Güneş enerjisinden Ön ısıtma yapılan şebeke suyu ise boylere girecektir.

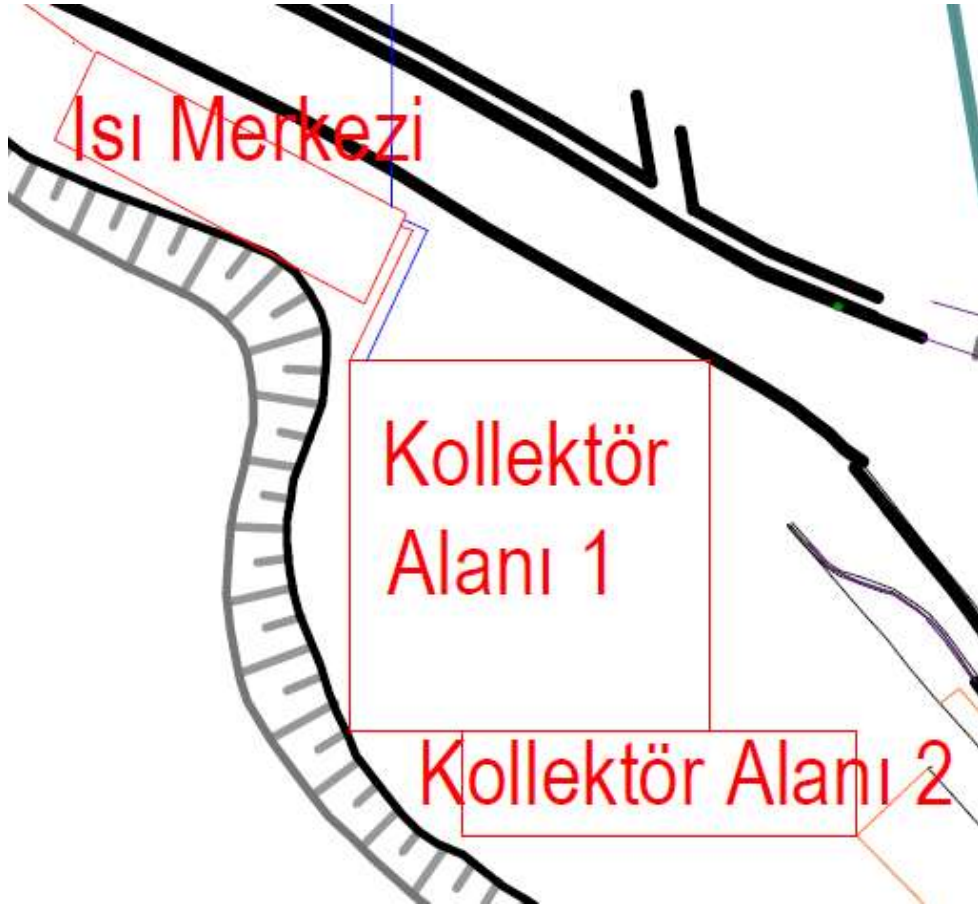
Bu plana göre dağıtım hattı üçüncül devre olacak, her bir binada bulunacak olan ısı değiştiriciler ile boylerler arasındaki hat ise dördüncül devre olacaktır. Üçüncül devre olan dağıtım hattı yurt binalar bir arada bulunması sebebiyle, sirkülasyon hattı olarak tasarlanmıştır. Üçüncül devrede, güneş sebebiyle yüksek sıcaklıklara ulaşılabileceği için, dördüncü devreye verilen sıcaklığı kontrol edebilmek için üçüncü devre ile ısı değiştiricisi arasında üç yollu vana koyularak güvenlik önlemi alınmıştır. Bu sayede binalardaki boylerlere yüksek sıcaklıkta su ulaştırarak kullanıcılarda sıcak su sebebiyle oluşan haşlanma riski ortadan kaldırılmıştır. Tasarlanan hattan, spor salonu alanına sirkülasyon hattından bir kolun ayrılması da tasarlanmıştır. Sirkülasyon hattının çift borulu olması planlanmıştır. Bölgesel ısıtma sisteminin temel dağıtım hattı tasarımı Şekil 2.6’da gösterilmektedir.

Bölgesel ısıtma sisteminin güneş kolektörleri ve ısı merkezi için, kampüsün güneyinde kalan yürüyüş yolunun en başında bulunan boş alanın kullanılması tasarlanmıştır. Kolektör alanı için, 1.039 m<sup>2</sup>’lik bir alan bırakılmıştır. Kolektör alanının %40’ının, kolektörlerin birbirini gölgelememesi için boş bırakılması planlandığında, 623,4 m<sup>2</sup>’lik alanın net kolektör alanı olarak kullanılabileceği hesaplanmıştır. Sistemin düzlemsel kolektör kullanması tasarlanmıştır. Isı merkezi ve kolektör alanının detayı Şekil 2.7’de gösterilmiştir.

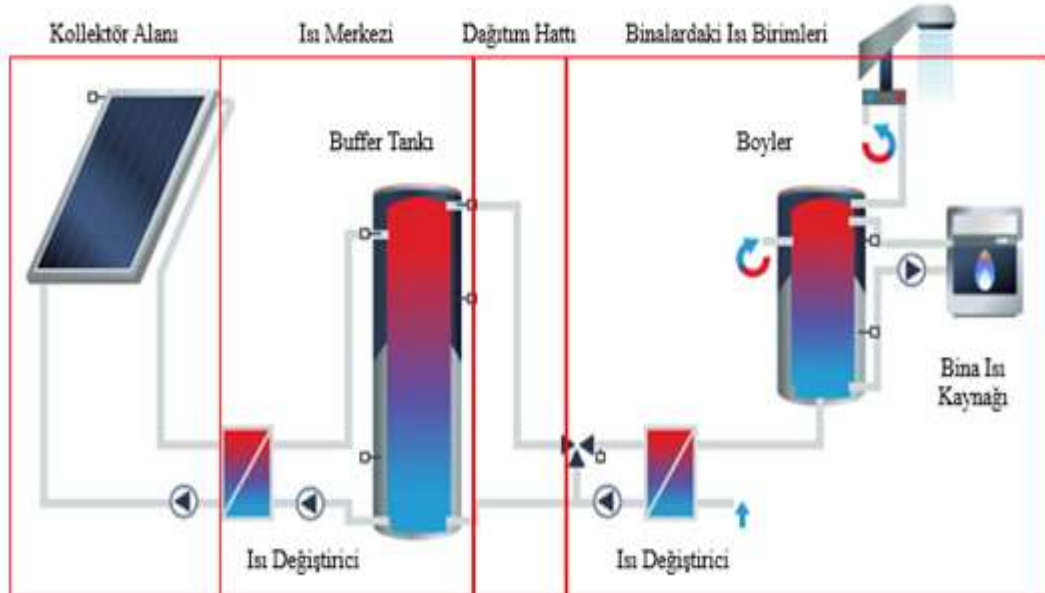
Sistem ön ısıtma sağladığı için binalardaki mevcut boylerler kullanılabilir. Ayrıca mevcut boylerlerin kullanılması sayesinde, güneş enerjisinden gelen sıcak suyun yetersiz geldiği anlarda, binalardaki mevcut ısı kaynaklarının devreye girerek boylerler için ek ısıtma kaynağı olarak görev yapması tasarlanmıştır. Kolektörlerin güney yönlü yerleştirilmesi ile güneş ışıınımdan maksimum faydalanılması planlanmıştır. Kullanma suyu ısıtması sağlayacak sistemlerde, kolektörlerin zemin ile olan açısının ise 30° ve 45° arasında olması önerilmektedir.[76] Bu sebeple kolektör açısının 30° olması planlanmıştır. Planlanan sistemin şeması, Şekil 2.8’de gösterilmektedir.



Şekil 2.6 : Bölgesel Isıtma Sisteminin Dağıtım Şeması.



Şekil 2.7 : Bölgesel Isıtma Sisteminin Isı Merkezi.



Şekil 2.8 : Bölgesel Isıtma Sisteminin Tesisat Şeması.

### **3. GÜNEŞ ENERJİLİ BÖLGESEL ISITMA SİSTEMİNİN TASARLANMASI**

#### **3.1 T\*SOL Modelleme Programı**

T\*SOL programı, Almanya merkezli Valentine yazılım firması tarafından tasarlanmış bir modelleme programıdır. Valentine firması, 30 yıllık geçmişi boyunca yenilenebilir enerji modellemeleri için yazılımlar tasarlamıştır. Firmanın T\*SOL yazılımı dışında fotovoltaik sistem modellemesi için PV\*SOL ve jeotermal enerjili sistemlerin modellenmesi için GeoT\*SOL yazılımları da mevcuttur. T\*SOL programının ilk versiyonu 1993 yılında tamamlanmış ve güncellemeler ile günümüze ulaşmıştır.[77]

T\*SOL programında, dünyadaki şehirlerin, uydu destekli haritaları mevcuttur. Sistemin kurulacağı nokta, konum verilerinin elle girilmesinin seçilebileceği gibi, sistem kütüphanesindeki şehir haritaları üzerinden seçilebilmektedir. Seçilen konuma göre sistem, gerekli güneş ve hava verilerini getirmektedir.

T\*SOL programı ile düzlemsel veya vakum tüplü kolektör tipleri kullanılarak güneş enerjili ısıtma sistemlerinin tasarlanması ve matematiksel modellenmesi sağlamaktadır. Programın kütüphanesinde, 8.000'den fazla meteoroloji merkezinin verileri bulunmaktadır. Modelleme yapılacak merkezin konumuna göre doğru güneş ışınım verilerini kullanmaktadır. Ayrıca yazılım piyasadaki kolektör firmalarının ürünlerini kütüphanesinde barındırmaktadır. Kolektörler dışında, piyasada bulunan buffer tanklar ve akümülayon tankları ile boylerler ve güneş enerjili ısıtma sistemlerine destek sağlayacak kazan ve ısı pompası sistemlerini de kütüphanesinde barındırmaktadır.

Yazılım kütüphanesinde farklı güneş enerjisi sistemlerinin tasarım şemaları da yer almaktadır. Sistem şemaları, kullanım sıcak suyu, ısıtma desteği veya kullanım suyu ile ısıtma desteğinin birlikte kullanıldığı sistemler olarak ayrılmaktadır. Program üzerinden kurulacak sistemin şeması seçilerek şema üzerindeki elemanları programa entegre kütüphane üzerinden yerleştirilmesi sağlanmaktadır.

Programın içerisinde, Alman DIN standartları kapsamında, farklı bina tipleri için kullanım rejimi tipleri de mevcuttur. Bu su kullanım rejimleri dışında, sistem içerisine özel kullanım rejimini de gün gün ve saat saat girilerek su ihtiyacının dağılımı yapılabilmektedir. Program, sistemdeki boru uzunluklarının girilmesi ile DIN standartların göre ortalama boru çapı kaybını kendisinin getirmesi veya sisteme manuel girilmesi ile borulardaki basınç kaybı hesabı ve sıcaklık kaybı hesabını yapmaktadır. T\*SOL yazılımı, tasarlanan sistemin fizibilitesine de yapılabilmektedir. Programa sistemin ilk yatırım maliyeti ile enerji maliyetleri eklenebilmektedir. Ayrıca sistem üzerine yatırım maliyeti için gerekli faiz miktarı ve enerji enflasyonu da girilerek yatırımın geri dönüş süresinin daha hassas olarak hesaplanabilmesi de sağlanmaktadır.[78]

### **3.2 Sistem için T\*SOL Modellemesinin Yapılması**

Öncelikle T\*SOL programı içerisinde, sistemin kurulacağı konum seçilir. T\*SOL’de tanımlı İstanbul haritası üzerinden, kolektör alanının bulunduğu konum seçilmiştir. Seçilen konuma göre, T\*SOL programı gerekli olan güneş ve hava durumu verilerini kütüphanesinden sistem içerisine eklemiştir.

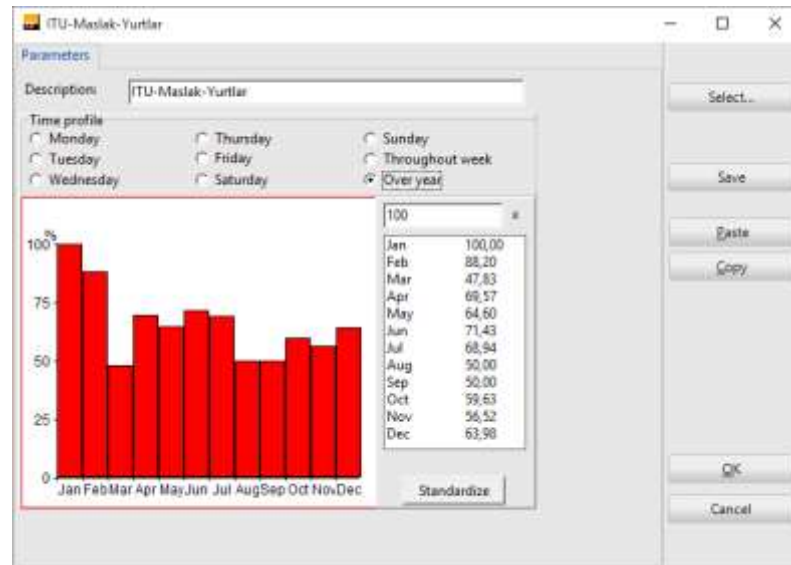
T\*SOL kütüphanesinden sistem şema tipi seçilir. Şema kütüphanesinden Şekil 2.8’e uyan şema seçilmesinin ardından, şema içerisine sistem bilgileri girilmiştir.

T\*SOL programına sistem için hesaplanan günlük sıcak su ihtiyacı  $88,1 \text{ m}^3$  olarak girilmiştir. Sistemde sağlanacak sıcak suyun  $50^\circ\text{C}$  olacağı sistem içerisine girilmiştir. Ayrıca sistem kütüphanesi içerisinde, şebeke suyu sıcaklıkları, en soğuk  $7,5^\circ\text{C}$  olarak Şubat ayında, en sıcak ise  $12,5^\circ\text{C}$  olarak Ağustos ayında geldiği standartlara dayandırılarak öngörülmüştür. Sıcak su ihtiyaç verilerinin programa işlenmesi Şekil 3.1’de detaylı olarak gösterilmiştir.

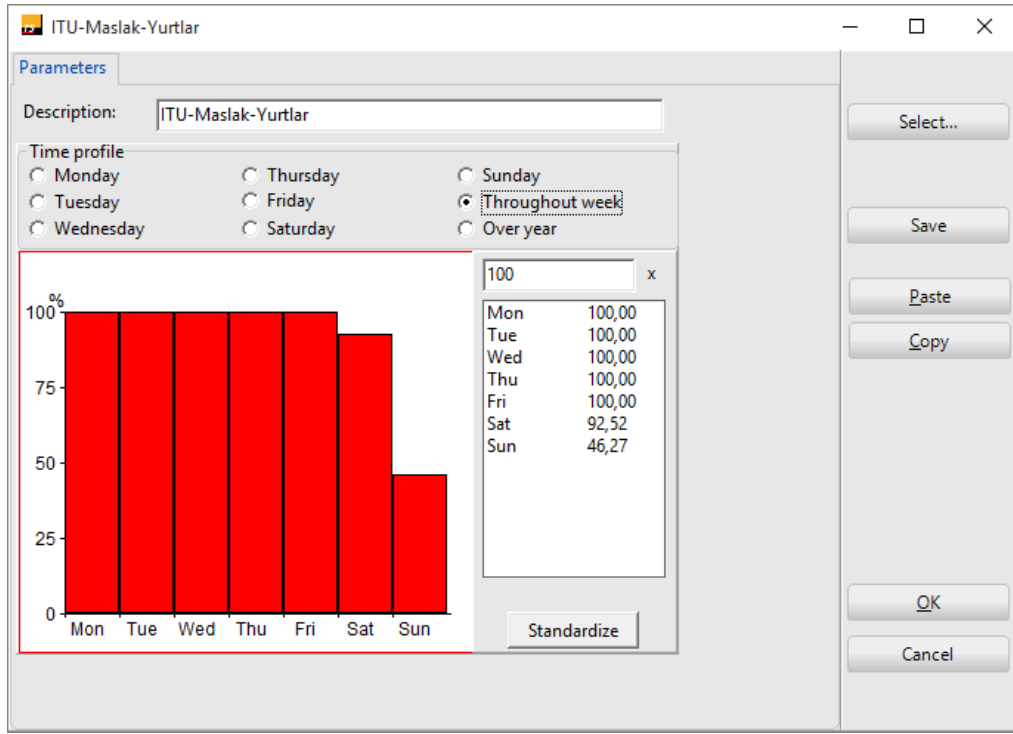
Program içerisine sistemin toplam su ihtiyacı girildikten sonra, sistemin su kullanım rejimi bilgisi girilecektir. Sistemde 2 farklı bina tipi bulunduğu için 2 ayrı su rejimi bulunmaktadır ancak T\*SOL programına sadece 1 rejim tipi girilememektedir. Sistemde yoğun kullanılan rejim tipi, yurt binalarının rejimi olduğu için yurt binasının rejimi ele alınacaktır. T\*SOL programında, DIN standartlarına göre bulunan hazır rejim planları içerisinde, yurt binası rejimi seçilir.

**Şekil 3.1 :** T\*SOL Programı İçerisine Sıcak Su İhtiyacının Girilmesi.

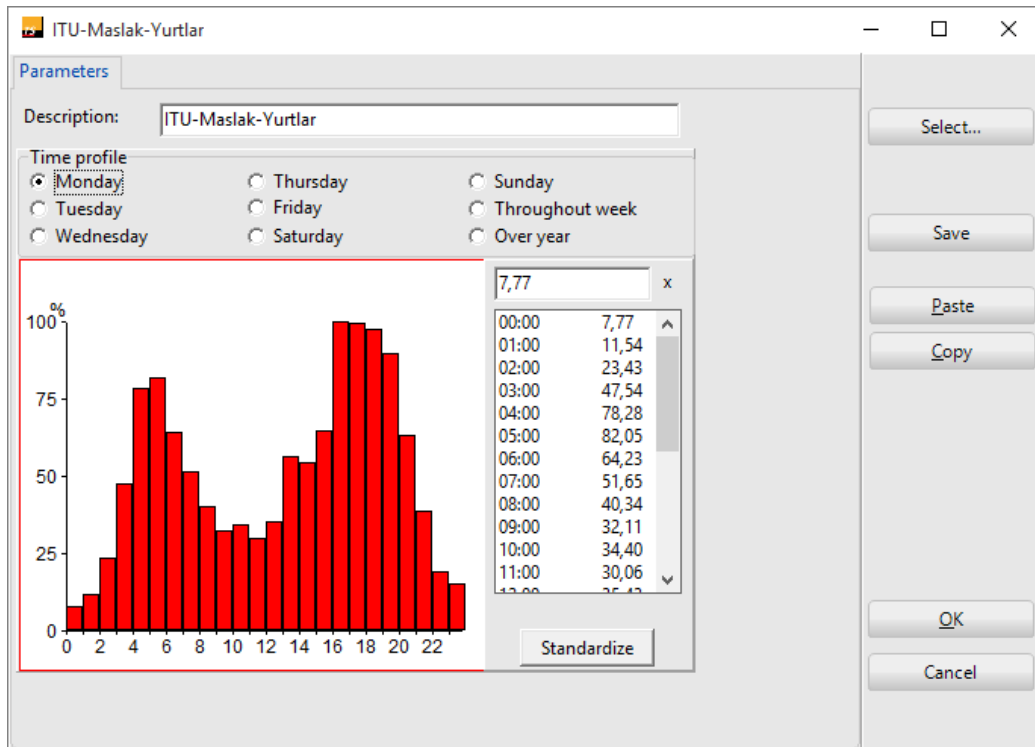
Bu rejim tipine göre yaz aylarında kullanım %25 dolaylarına inmektedir. Ancak İTÜ’de yaz okulu bulunması sebebiyle yurtların bir kısmının yaz okulu sırasında kullanıldığı varsayımı ile kullanım oranı %50 olarak güncellenmiştir. Aylık kullanım rejiminin detayı Şekil 3.2’de görülmektedir. Ayrıca T\*SOL programı, kullanım rejimini haftanın günlerine göre de ayarlamıştır. Program içerisinde yurtların kullandığı haftalık rejimde, hafta içi günleri günlük talebin %100’ünün kullanıldığı, haftasonu günlerinde ise bu kullanımın kademeli olarak %50 oranlarına kadar düştüğü görülmektedir. Haftalık kullanım rejiminin detayları ise Şekil 3.3’de verilmektedir. Sistemde kullanılan sıcak su rejiminin gün içerisindeki saat bazlı dağılımı ise Şekil 3.4’de detaylandırılmıştır.



**Şekil 3.2 :** Sistemin Aylık Bazda Kullanım Rejimi.



Şekil 3.3 : Sistemin Haftalık Bazda Kullanım Rejimi.

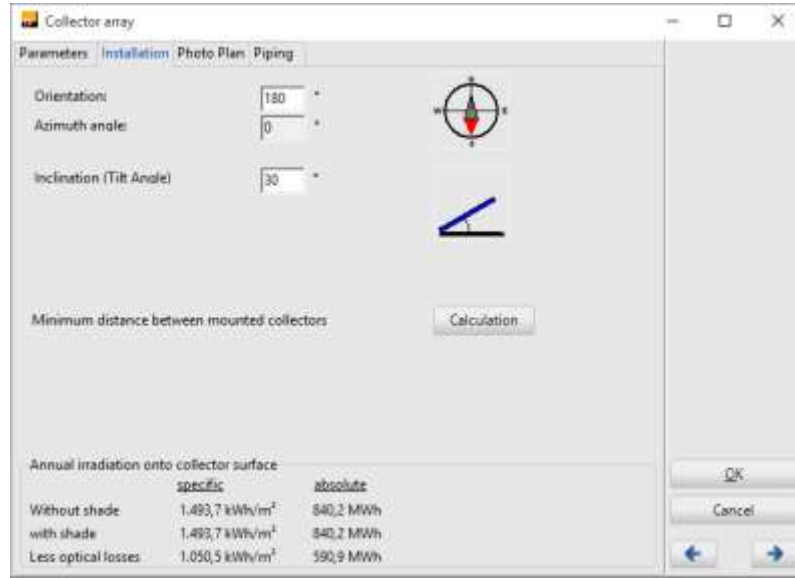


Şekil 3.4 : Sistemin Saatlik Bazda Günlük Kullanım Rejimi.

Sistemin konumu ve konum bilgisi ile gelen güneş-hava durumu bilgileri ile sistemin sıcak su ihtiyacı ve sıcak su kullanım rejimleri girildikten sonra sistemin tasarımının oluşturulmasını başlanılmıştır. Sistem içerisindeki kolektörlerin güneşe olan yönü ile yer ile olan açısı program içerisine girilmiştir. Kolektörlerin tamamen güneşe

bakacak şekilde tasarlanması ile azimuth açısı  $0^\circ$  olarak belirlenmiştir. Ayrıca tasarım aşamasında kolektörlerin yer ile  $30^\circ$ 'lik bir eğim açısı yapması kararlaştırılmıştır. Bu verilerin programı girilmesi, Şekil 3.5'de detaylıca gösterilmiştir.

Kolektör yerleşimi seçildikten sonra, kolektör seçimi yapılmıştır. Sistemin tasarımı sırasında düzlemsel kolektör kullanımına karar verildiği için, programın kütüphanesinden düzlemsel kolektörlerin bulunduğu alandan Buderus Logasol SKN 4.0 dikey tip kolektör seçilmiştir. Kolektörün fotoğrafı Şekil 3.6'de görülmektedir. Buderus SKN kolektörün teknik detayları ise EK'te sunulmaktadır. Sistemin kolektör adedinin seçimi ise, diğer elemanların tamamlanması ardından tamamlanacaktır.



Şekil 3.5 : T\*SOL Programı İçerisinde Kolektör Yerleşimi.



Şekil 3.6 : Buderus SKN 4.0 Dikey Düzlemsel Kolektör[79].

Sistem enerjisinin depolanmasında ise yazılım 29,65 m<sup>3</sup> toplam depolama hacimi önermektedir. Piyasada bulunabilecek en büyük buffer tankı 5 m<sup>3</sup> hacime sahiptir. Bu sebeple ısı merkezinin bulunduğu alanı da hesaba katılarak, depolama amacıyla 4 adet buffer tankının kullanılmasına karar verilmiştir. Buffer tankının yüksekliği 1,8 m olarak seçilmiştir. Yalıtım kalınlığı ise 100 mm olarak belirlenmiştir. Bu verilere göre T\*SOL, buffer tanklarından kaybedilecek toplam ısı kaybını hesaplamaktadır. Depolama seçiminin detayları Şekil 3.7’de görülmektedir.

**Şekil 3.7 : T\*SOL Programı İçerisinden Buffer Tankı Seçimi.**

Sistemin sıcak su ön ısıtma sistemi olması ve şebeke suyunun güneş enerjisinden alınan enerji ile ısıtılarak binalardaki mevcut boylerlere dağıtılması planlanmaktadır. Bu sebeple sistem içerisine yeni bir boyler yatırıma ihtiyaç yoktur. Ancak modelleme yapılırken yeni bir boyler kapasite hesabı yapılarak optimum boyler kapasitesinin hesabı yapılacaktır. Boyler hesabı yapılırken TS 1258 standardı baz alınarak binalar için depolama kapasitesi seçimi yapılacaktır.(Şekil 3.8). Sistem rejimi yurt ağırlıklı olduğu için, ve TS 1258 standartlarına göre binaların kullanım tipleri göze alındığında otel rejimin seçilmesinin doğru olması sebebiyle, boyler hesabında otel kullanım rejimi baz alınacaktır.[71] Bu aşamada tuvalet ve banyoların oda içerisinde bulunduğu Altan Edige ve Prof. Dr. Ali İhsan Aldoğan yurtlarındaki lavabolarda, standart kapsamında 9 lt/saat lavabo başına tüketim ön görülmektedir. Diğer yurt

binaları ve spor salonundaki lavabolar ise genel lavabo olarak dikkate alınacak ve 35 litre/saat lavabo başına tüketim hesabı dikkate alınacaktır. Duşların tüketiminde ise, TS 1258 standartına göre, genel ve özel kullanımdan bağımsız olarak duş başına 300 litre/saat tüketim değeri alınacaktır. Bu duruma göre bütün binalardaki sıcak su tüketim noktalarının dikkate alınmasıyla toplam tüketim miktarının durumu Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.1 : Sistem İçindeki Su Tüketim Noktaları ve Tüketim Talepleri.**

| Sıcak Su Tüketim Noktası Tipi | Toplam Sıcak Su Tüketim Noktası | Kullanım l/h | Toplam Kullanım l/h |
|-------------------------------|---------------------------------|--------------|---------------------|
| Özel Lavabo                   | 328                             | 9            | 2.952               |
| Genel Lavabo                  | 205                             | 35           | 7.175               |
| Eviye                         | 24                              | 120          | 5.520               |
| Duş Teknesi                   | 24                              | 300          | 159.900             |

TS 1258 standartına göre bir binadaki bütün su tüketim noktaları aynı anda çalışmayacaktır. Bu sebeple toplam ani tüketim miktarı, tüketim noktalarının toplam tüketim miktarlarının eş kullanım faktörü ile çarpılmasıyla ortaya çıkar. TS 1258 standartı kapsamında hazırlanan tablolara göre bu eş kullanım faktörü otel rejimleri için 0,25’dir.[72-73] Bu sebeple toplam ani tüketim miktarı 43.886,75 litre/saat olacaktır. Yine TS 1285 standartına göre toplam depolama miktarı ise, binanın ani tüketim miktarının depolama faktörü ile çarpımının ardından bulunacaktır. İlgili standarta göre otel rejimlerinde toplam depolama faktörü 0,8’dir. Bu sebeple ani tüketimin %80’i depolanacaktır. Bu durumda konforun etkilenmemesi için minimum 35.110 l/h boyler debisine ihtiyaç duyulacaktır.

Binalarda ağırlıklı olarak tek serpantinli Buderus SU 1000 boylerin kullanılması sebebiyle, modellemede bu boyler kullanılacaktır. Bu boylerin teknik detayları EK’te sunulmuştur.

Buderus SU 1000 kolektörün 45°C sürekli rejiminde sağladığı sıcak su debisi 2.747 litre/saat olmaktadır. Bu durumda sistemin minimum 13 adet boylere ihtiyacı söz konusudur. Mevcuttaki sayının daha fazla olmasına rağmen, modelleme sırasında minimum ihtiyaç olan 13 adet boyler kullanılacaktır.

Boylar sayısının arttırılması, sistem verimini ve işleyişini direkt olarak etkilemeyecek, sadece daha fazla ısı enerjisinin depolanmasını sağlamasıyla kolektör içerisindeki ısının daha hızlı düşmesine ve bu sayede sistemde buhar oluşmasının

engellenmesine yardımcı olacaktır. Direkt olarak verimin etkilenmemesi sebebiyle minimum boyler sayısının kullanılacağı modelleme, gerçek sistemin modellemesine yakın bir sonuç verebilecektir. T\*SOL programı içerisinde boyler seçiminin detayları Şekil 3.8’de gösterilmektedir.

**Şekil 3.8 : T\*SOL Programı İçerisinde Boyler Seçimi.**

Boyerlerdeki suyu ısıtmak için ise termodinamikin temel yasalarına dayanan ve TS 1285 standartı içerisinde yer alan serpantin ısı kapasitesi hesap Denklem 3.1’de gösterilmektedir.

$$Q_s = M_s \cdot c \cdot \rho \cdot (T_{\text{ç}} - T_g) \quad (3.1)$$

Denklem 3.1’de bulunan  $Q_s$  serpantin ısı kapasitesini,  $M_s$  ihtiyaç duyulan sıcak su debisi (litre/saniye),  $c$  suyun özgül ısısını ( $\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$ ),  $\rho$  suyun yoğunluğunu ( $\text{kg/l}$ ),  $T_{\text{ç}}$  kullanım sıcak suyunun boylerden çıkış sıcaklığı ( $^\circ\text{C}$ ) ve  $T_g$  ise boylere giren şebeke suyu sıcaklığını ifade etmektedir.

Hesaplanan boyler debisi 9,75 l/s iken, suyun özgül ısısı 4,18 kJ/kg°C, suyun yoğunluğu 0,997 kg/litre olarak alınmıştır [80] Sistemdeki kullanım sıcak suyu tasarım esnasında 50°C olarak belirlenmiştir. Ayrıca ortalama şebeke suyu sıcaklığı 10°C olarak kabul edilmiştir.

Bu verilere göre, Denklem 3.1 kullanılarak 1.625,8 kW ısı kapasitesi bulunmuştur. Bu hesaba göre, güneş enerjisinden gelecek faydanın %0 olması durumunda boylerlerdeki toplam talebe karşılayabilecek ısı kaynağının kapasitesi bulunmuştur. Tasarlanan sistemde her bir binanın kendi ısı kaynağı mevcuttur.

Yurtlarda ısı kaynağı olarak doğalgaz kazanı kullanılır iken, spor salonunda ısı pompası kullanılmaktadır [60]. Modelleme programı ise sadece tek bir ısı kaynağı sistemine izin vermektedir. Bu sebeple sadece ısıtma için ihtiyaç olacak 1.625,8 kW ısı kaynağı ihtiyacı için modelleme sırasında 1.900 kW kapasiteli Buderus Logano SK825 kazanının kullanılması kararlaştırılmıştır.

Sistem içerisinde 2 farklı ısı değiştirici plakalı eşanjör bulunmaktadır. Birinci ısı değiştirici, kolektörler ile buffer tankları arasındaki birincil ve ikincil devrenin arasında ısı transferini sağlamaktadır. Her iki devrede de birer sirkülasyon pompası bulunacaktır.

Pompalar, devreler arasında belirlenen bir  $\Delta T$  ısı farkı oluşana kadar kapalı konumda kalacak ve  $\Delta T$  belirlenen değer aştığı zaman devreye girerek akışkanların hareketini sağlayıp ısıнын buffer tanklarına aktarılmasını sağlar. Bu ısı değiştirici, kolektörlerden elde edilen ısı enerjisinin depolanmasını sağlayacağı için, literatürde genellikle kullanılan 10°C'lik  $\Delta T$  yerine 5°C'lik  $\Delta T$  kullanılacaktır.

Primer eşanjör olarak adlandırılacak ısı değiştirici ile birlikte, buffer tanklar ile ısı değiştirici arasındaki üçüncül ve ısı değiştiriciler ile boylerler arasındaki dördüncül devreler arasında ısı transferini sağlayacak sekonder bir ısı değiştirici bulunacaktır. Bu ısı değiştiricinin de  $\Delta T$  sıcaklık farkını 5°C olarak belirlenmiştir.

Her iki ısı değiştirici de sistemdeki ısı yüklerine göre T\*SOL tarafından önerilmektedir. Isı değiştiricilerin detaylı seçimleri Şekil 3.9'da ve Şekil 3.10'da detaylı olarak gösterilmektedir.

Collector loop heat exchanger (CL)

Parameters

☐ fixed

Manufacturer:

Type:

kA value:  W/K

☒ Specific: with respect to the maximum heat transfer rate

Mean logarithmic temperature difference (average temperature difference between counter current mass flows).

K

The maximum heat transfer rate depends on the general system size, eg on the collector area and/or the DHW requirements.

maximum heat transfer rate= 281,25 kW

kA value = maximum heat transfer rate/mean logarithmic temperature difference

OK

Cancel

← →

Şekil 3.9 : T\*SOL Programı İçerisinde Primer Isı Değiştiricinin Seçimi.

External heat exchanger (DHW)

Parameters

☐ fixed

Manufacturer:

Type:

kA value:  W/K

☒ Specific: with respect to the maximum heat transfer rate

Mean logarithmic temperature difference (average temperature difference between counter current mass flows).

K

The maximum heat transfer rate depends on the general system size, eg on the collector area and/or the DHW requirements.

maximum heat transfer rate= 399,59 kW

kA value = maximum heat transfer rate/mean logarithmic temperature difference

OK

Cancel

← →

Şekil 3.10 : T\*SOL Programı İçerisinde Sekonder Isı Değiştiricinin Seçimi.

Sisteme son olarak boru uzunlukları ve boru kayıpları girilecektir. T\*SOL programı içerisine sadece dağıtım sirkülasyon hattı girilecek ve sadece dağıtım hattındaki kayıplar dikkate alınacaktır. Dağıtım hattında çelik borular kullanılacaktır.

Tasarım esnasında, hat üzerindeki yükseklik farkları ölçülemediği için hesaba katılmayacaktır. T\*SOL programında, DIN standartları çerçevesinde borulardaki ortalama spesifik basınç kaybı, 2 m/s maksimum hıza sahip büyük ölçekli sistemler için 0,04 bar olarak önerilmektedir. Sistem modellemesinde, bu spesifik basınç kaybı dikkate alınacaktır. Tasarımdaki toplam dağıtım sirkülasyon hattının uzunluğu ise 899,95 metre olarak ölçülmüştür. T\*SOL programına ise dağıtım sirkülasyon hattı uzunluğu 900 metre olarak girilmiştir. T\*SOL programının finansal analiz modellemesi için sistemin ömrü 20 yıl olarak kabul edilmiştir. Modelleme programında mevduat maliyetinin hesaplanması için, merkez bankası verilerinden faydalanılmıştır. Yıllık borçlanma faizi olarak %25,5 ve bu yatırımın yapılmaması durumunda mevduatın getirebileceği fırsat maliyetini hesaplamak için gerekli mevduat faizi ise %22,5 olarak alınmıştır. [81]. Enerji maliyetleri için ise doğalgaz için 1,15 TL/m<sup>3</sup> ve elektrik için 0,415 TL/KWh değerleri kabul edilmiştir.[82-83] Ayrıca bu enerji maliyetlerinin, sistemin kullanıldığı süre boyunca artacağını göz önüne alarak, Türkiye'nin %17'lik enerji enflasyonu da modellemeye dahil edilmiştir.[84]T\*SOL eklenen bu verileri kullanarak yatırımın fizibilite hesabını yapacaktır.

Bu noktada T\*SOL faiz verilerini sistemin kurulması sırasında borç alınması durumunda sistemin borç faizi ile birlikte toplam maliyetini hesaplayabilecek kapasitededir. Ancak bu sistemde borç kullanılması öngörülmemektedir. Bu sebeple T\*SOL sisteminin bu özelliği devre dışı kalmaktadır. Son olarak sistemin işletme maliyetinin de %1 enflasyona uğrayacağı modellemeye eklenmiştir. Finansal parametrelerin T\*SOL programına eklenmesi Şekil 3.11'de detaylı olarak gösterilmektedir.

Sistem maliyetini belirlemeden önce, sistemin kolektör adetini netleştirmek gereklidir. Kolektör adeti belirlenirken, öncelikle tahmini bir sayı verilerek sistemin çalışması sağlanır ve ardından çıkan sonuçlara göre değişiklikler yapılarak sistemin gerekli kolektör adedinin belirlenmesi sağlanır.

Bu sebeple program üzerinden de 300 adetlik kolektör tahmini yapılarak, sistemin modellenmesi sağlanmıştır. Modelleme sonucunda, sistemin sonuçlarına bakıldığında, Ağustos ayında sistemdeki kolektör sıvısı sıcaklığının 100°C üzerine çıkacağı görülmektedir. Bu durumda kolektörlerde buhar oluşacağı için kolektör verimi düşecektir. Sistem içerisinde oluşacak olan buharın, kolektörlere ve sisteme zarar vermesinden dolayı, kolektör sıvısının 100°C altında kalacak şekilde seçilmesi gerekmektedir. Bu sebeple toplam kolektör adeti azaltılarak sistemdeki sıcaklığın azaltılması sağlanacaktır. Kolektör adetinin 250'ye düşürülmesi ile, sistemin sıcaklığının 100°C altında kalması sağlanacaktır. 250 kolektör ile yapılan modellemede, sistemde buhar oluşmayacağı görülmektedir. Bu sebeple modellemede 250 kolektör kullanılacaktır. Toplam maliyet hesaplamasında, kolektör maliyeti, ısı merkezindeki buffer tankların ve ısı değiştiricileri ile dağıtım sirkülasyon hattının maliyeti dikkate alınacaktır. Sistem içerisinde mevcut boylerler ve kazanlar kullanılacağı için bu ürünlerin maliyeti dikkate alınmayacaktır. Ayrıca montaj maliyetleri de değişkenlik gösterebileceği için bu araştırma kapsamında dikkate alınmayacaktır. Kolektör maliyeti için, modellemede kullanılan ürünün üreticisi Buderus firması ile görüşülmüştür. Ürünün liste fiyatı 380 € olarak belirtilmektedir ancak kolektör sayısı dikkate alındığı zaman, sistemin özel proje olarak değerlendirilerek, kolektörlerin birim maliyetinin 209 € olarak alınabileceği teklif edilmiştir. Bu sebeple, teklif edilen birim maliyet üzerinden ilerlenecektir. Modelleme sırasında Euro kuru olarak 16.04.2019 tarihli Merkez Bankası Euro kuru olan 6,5 TL olarak dikkate alınacaktır.[85] Bu durumda kolektörün birim maliyeti 1.358,5 TL olarak kabul edilecektir. Buffer tanklar için yapılan araştırmada, 5 m<sup>3</sup> kapasiteli bir tank için 17.000 TL olduğu araştırılmıştır ve bu fiyat dikkate alınacaktır.[86] Isı değiştirici olarak kullanılacak plakalı eşanjörler için ise Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nı yayınladığı ilgili kullanım sıcak suyu ısı değiştiricisi pozu olan 160.1107 pozundaki 3.110 TL fiyatı dikkate alınacaktır.[87] Bu pozdaki ısı değiştirici kapasitesi 400.000 kcal/saat'dir ve sistemdeki sekonder ısı değiştiricinin ısı kapasitesine uygundur. Primer ısı değiştirici ise bu kapasitenin yarısına ihtiyaç duymaktadır ancak birim fiyat olarak sekonder ısı değiştirici ile eşit kabul edilecektir. Dağıtım hattı maliyetinin belirlenmesi için ise, dağıtım hattının çaplarının belirlenmesi gerekmektedir. Dağıtım hattı çaplarının belirlenmesinde ise boru içerisindeki hızın 2 m/s olarak sabit kalması esasına dayanarak hesaplama yapılacaktır. Sistemdeki dağıtım hatlarının çelik borular kullanması tasarlanmıştır.

Boru çapı hesaplamasında esnasında suyun sıcaklığına göre özkütlesinin değişim oranı, %1 mertebelerinde değişiklik yarattığı için dikkate alınmayacaktır. Sistemin boru çaplarının hesaplanmasında, Denklem 1.1 ve Denklem 1.2'ye dayanan ve çelik borular için hesap yapan, TLV firmasının özel boru çapı hesap programı kullanılacaktır. Hesap programının detayı Şekil 3.12'de gösterilmektedir.

The image shows a software interface for pipe sizing calculations. It has a title bar 'Input Data' and a 'Units: SI(bar)' dropdown. The input fields are: Pipe Grade (DIN 2448), Pipe Length (0 m), Water Flow Rate (0 m³/h), and Maximum Allowable Velocity (2 m/s). There is a 'Show Advanced Options' link and a 'Calculate' button at the bottom.

**Şekil 3.12 : TVL Boru Çapı Belirleme Hesap Programı[88].**

Programdan elde edilen sonuçlara göre gidiş hattının ölçüleri ve bu ölçülere göre boru maliyetleri ise Çizelge 3.2'de gösterilmektedir. Gidip hattının toplam maliyeti 131.062,92 TL olacağı görülmektedir. Bu hattın ortalama maliyetinin 285,12 TL/m olacağı hesaplanmıştır. Modelleme sırasında ise bu ortalama maliyetin, modellemede kabul edilen 900 metrelik toplam boru hattı için olacağı kabul edilecektir. Bu sebeple toplam maliyetin 256.611,5 TL olarak hesaplanmıştır. Bu noktada toplam kolektör maliyeti 339.625 TL olarak hesaplanmıştır. Toplam buffer tank maliyeti ise 85.000 TL'dir. Toplam ısı değiştirici maliyeti ise 6.220 TL olmaktadır. Bu durumda sistemin ısıtma bölümü maliyeti 430.845 TL olarak hesaplanmıştır. Modelleme sisteminde yatırım maliyeti kısmına toplam ısıtma bölümü maliyeti eklenecektir.

The image shows a 'Financial analysis' window with a 'General' tab. The fields and their values are: Life span (20 Years), Interest on capital (23.5 %), Reinvestment return (22.5 %), Specific fuel costs (1.18 €/m³), Specific electricity costs (0.415 €/kWh), Cost escalation rate (17 %), and Inflation costs (1 %). There are 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom.

**Şekil 3.11 : T\*SOL Programında Finansal Analiz Parametlerinin Seçimi.**

**Çizelge 3.2 : Dağıtım Hattı Gidiş Boruları Ölçüleri ve Maliyetleri.**

| Boru Numarası | Boru Yeri                       | Uzunluk (m) | Borudaki Yük |                      | Boru Çapı           |                        | Maliyet            |            |
|---------------|---------------------------------|-------------|--------------|----------------------|---------------------|------------------------|--------------------|------------|
|               |                                 |             | l/s          | m <sup>3</sup> /saat | Hesaplanan Çap (mm) | Kullanılacak Çap (DIN) | Birim Maliyet TL/m | Maliyet TL |
| Boru 1        | Isı Merkezi - İhsan Aldoğan     | 196,55      | 270,12       | 972,43               | 437,2               | DN 450                 | 390                | 76.654,50  |
| Boru 2        | Ali İhsan Aldoğan - Altan Edige | 20          | 200,76       | 722,73               | 388,8               | DN 400                 | 345                | 6.900,00   |
| Boru 3        | Altan Edige - Zeynep Birkan     | 58,29       | 131,4        | 473,04               | 309,7               | DN 300                 | 273                | 15.913,17  |
| Boru 4        | Zeynep Birkan - Ayşe Birkan     | 30,53       | 120,6        | 434,16               | 309,7               | DN 300                 | 273                | 8.334,69   |
| Boru 5        | Ayşe Birkan - Ferhunde Birkan   | 36,95       | 109,8        | 395,28               | 309,7               | DN 300                 | 273                | 10.087,35  |
| Boru 6        | Ferhunde Birkan - Spor Salonu   | 58,48       | 75,72        | 272,59               | 260,4               | DN 250                 | 186                | 10.877,28  |
| Boru 7        | Spor Salonu - Ayazağa           | 58,87       | 17,52        | 63,07                | 107,1               | DN 100                 | 39                 | 2.295,93   |

Dağıtım hattının maliyeti ise spesifik yatırım maliyeti olarak modellemeye eklenecektir. T\*SOL programına yatırım maliyetinin eklenilmesine ilişkin detaylar Şekil 3.13’de detaylı olarak gösterilmektedir.

The screenshot shows the 'Financial analysis' window with the 'Investments' tab selected. The window is divided into several sections for inputting financial data.

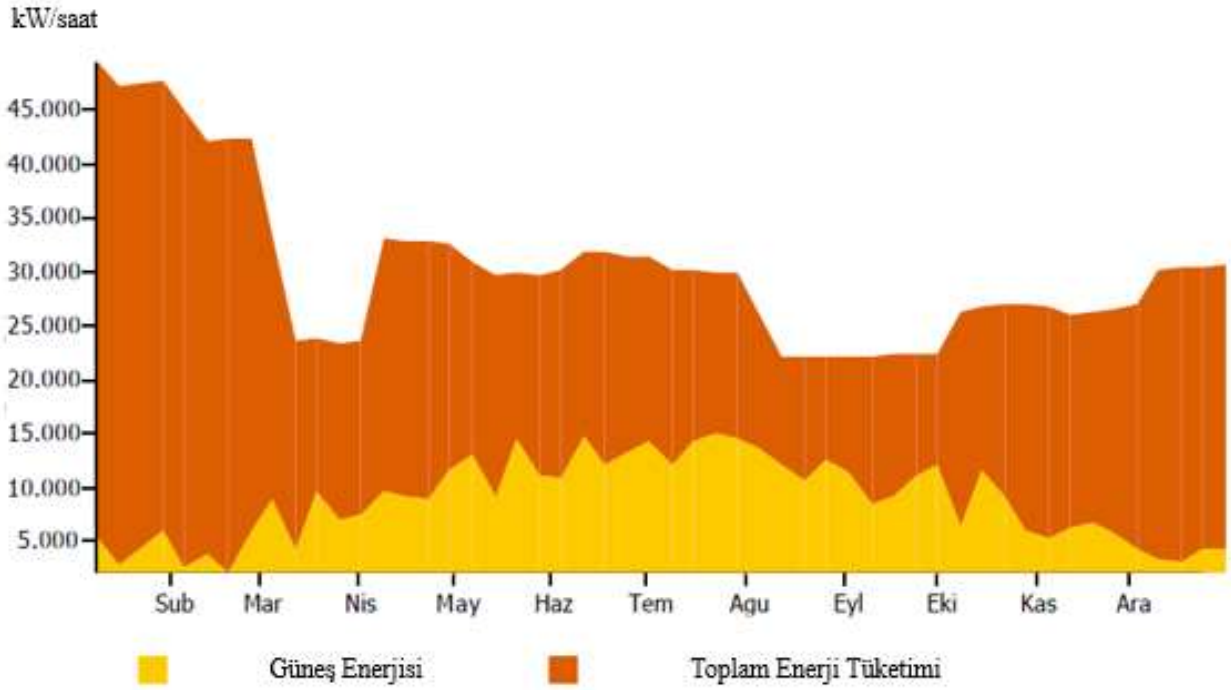
| Section                               | Parameter                     | Value    | Unit             | Calculated Value |
|---------------------------------------|-------------------------------|----------|------------------|------------------|
| Investments                           | Investments:                  | 687456,5 | €                | 687.457 €        |
|                                       | Spec. Investments:            | 0        | €/m <sup>2</sup> | 0 €              |
|                                       | <b>Total investments:</b>     |          |                  | <b>687.457 €</b> |
| Subsidies                             | Subsidy:                      | 0        | €                | 0 €              |
|                                       | Spec. Subsidy:                | 0        | €/m <sup>2</sup> | 0 €              |
|                                       | Proportional subsidy:         | 0        | %                | 0 €              |
|                                       | <b>Total of Subsidies:</b>    |          |                  | <b>0 €</b>       |
|                                       | <b>Less any loans:</b>        |          |                  | <b>0 €</b>       |
|                                       | <b>Remaining investments:</b> |          |                  | <b>687.457 €</b> |
| <b>Remaining investments annuity:</b> |                               | 44.098   | €                |                  |

At the bottom of the window, there are buttons for 'Reset to Default Settings', 'OK', and 'Cancel'.

**Şekil 3.13 : T\*SOL Programı İçerisine Sistem Maliyetinin Eklenmesi.**

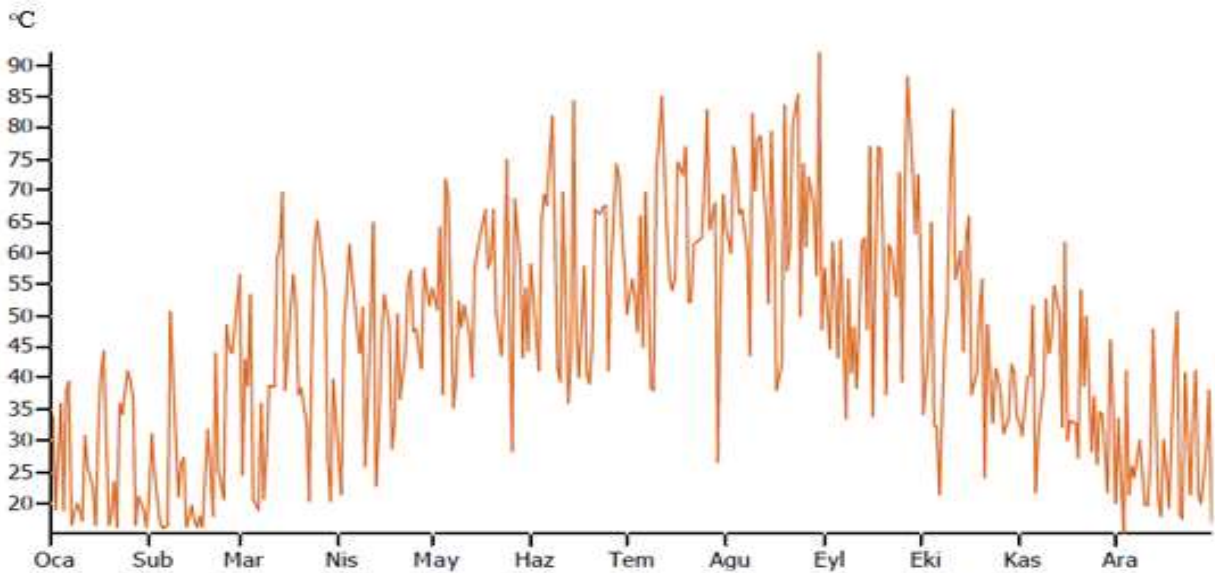
Sistem maliyetlerinin modellemeye eklenmesinin ardından, T\*SOL programı çalıştırılarak raporun elde edilmesi sağlanmıştır. Sistemin toplam ilk yatırım maliyeti 687.456,5 TL olmaktadır.

Yapılan modelleme sonucuna göre, sistemin toplam kolektör gücü 414,75 kW olmaktadır. Modelleme üzerinden hesaplanan kayıplar çıkarıldığı zaman yıl boyunca kullanım suyu ısıtması için elde edilen enerji ise 457.122,45 kW/h olmaktadır. Sistemin bir yıl boyunca ihtiyaç duyulan kullanım suyu ısıtması için gerekli enerji ise 1.489.403,47 kW/h olmaktadır. Buna göre sistem, toplam enerji ihtiyacının %28,8’lik kısmını karşılamaktadır. Bu sistem sayesinde bir yıl içerisinde 62.671 m<sup>3</sup> doğalgaz tasarrufu sağlanmıştır. Ayrıca fosil yakıt kullanılmadan elde edilen bu ısı enerjisi, yıl boyunca 132.526,75 kg CO<sub>2</sub> emisyonu üretilmesi engellemiştir. Sisteminin verimi ise %54,4 olarak hesaplanmıştır. Aylık bazda toplam ısı enerjisi ihtiyacı ve bu ihtiyacın güneş enerjili bölgesel su ısıtma sisteminden karşılanma oranı Şekil 3.14’de detaylı bir şekilde gösterilmektedir.



**Şekil 3.14:** Sistemin Toplam İhtiyacı Karşılama Oranının Yıl İçindeki Dağılımı.

Sistemin güvenilir ve verimli çalışıp çalışmadığını kontrol etmek için ise, kolektör devresindeki sıvının ulaştığı maksimum sıcaklıklara bakılması gerekmektedir. Modelleme tasarımı sırasında, bu sıcaklığın  $100^{\circ}\text{C}$  sıcaklığı aşması sebebiyle 250 kolektöre düşürülerek sistem güvenilirliği sağlanmıştır. Kolektör devresindeki sıcaklığın yıl içerisindeki dağılımı Şekil 3.15’de detaylı olarak görülmektedir.



**Şekil 3.15 :** Kolektör Devresi Sıcaklıklarının Yıl İçindeki Dağılımı.

#### 4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Günümüzde bütün dünya ülkelerinin gerek fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olması gerekse çevreye verdikleri zararlar sebebiyle enerji ihtiyaçları için alternatiflere yöneldikleri görülmektedir. Bir yandan enerjinin verimli kullanılması üzerine çalışmalar sürdürülürken, bir yandan da yenilebilir enerji kaynaklarına yönelerek fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması amaçlanmaktadır.

Toplam enerji tüketiminin %32'lik kısmı binalarda kullanılmaktadır. [89] Günümüzde Avrupa Birliği ülkelerinde toplam enerji tüketiminin %57'lik oranı ısınma amaçlı enerji tüketim söz konusu iken ülkemizde bu oran %70'i bulmaktadır. Su ısıtma amaçlı enerji tüketimi ise bu ısınma amaçlı tüketim içerisindeki %25'lik kısımda yer almaktadır. Bu sebeple binalardaki enerji tüketimini fosil yakıtlardan bağımsız hale getirmek, ekstra önem arz etmektedir. [90]

Konut sektöründe yalıtım üzerine yapılan geliştirmeler ile enerji ihtiyacı azaltılırken, bölgesel ısıtma sistemlerinin kullanımı ile ısıtma sistemlerinin enerji verimli kullanması noktasında da geliştirmeler yapılmıştır. Verimlilik alanı dışında, yenilenebilir enerji kullanımının artırılması da fosil yakıtlardan uzaklaşmayı hızlandırmıştır. Konut sektöründeki en yaygın yenilebilir enerji kaynağı ise güneştir. Güneşten özellikle su ısıtma ve ısıtma sistemlerine destek sağlamak amacıyla yoğun olarak faydalanılmaktadır ve gün geçtikçe faydalanma oranında artış gözlemlenmektedir.

Ülkemizde de 30 yılı aşkın bir geçmişe sahip olan güneş enerji kaynaklı ısıtma sistemleri, son yıllarda yapılan atılımlar sayesinde kurul güç ve kullanım noktasında ülkemizi dünya sıralaması içerisinde Çin ve Amerika'nın ardında üçüncü ülke konumuna yerleştirmiştir.[56] Ülkemizdeki güneş enerjili ısıtma sistemleri ağırlıklı olarak su ısıtma amaçlı kullanılmaktadır. Bu sistemler ise yoğun olarak bireysel tipte kullanılmaktadır. Bölgesel ısıtma sistemleri, bireysel ısıtma sistemlerine göre verimi arttırmaktadır ve günümüzde ülkemizden çok daha az kurulu güç kapasitesine sahip İskandinav ülkelerinde güneş enerjili bölgesel ısıtma sistemleri yoğun olarak

kullanılmaktadır. Ülkemizde ise köklü bir geçmişe ve kullanım alışkanlığına sahip olan güneş enerjili sistemlerin bölgesel ısıtma sistemi olarak kullanılması ne yazıkki henüz denenilmemiştir.

Bu çalışmada, güneş enerjili ısıtma sistemlerini bölgesel ısıtma stratejisi ile kullanmanın, sistemlerin verimini arttıracaklarını ve yatırımın geri dönüş süresini kısaltacaklarını göstermek amacıyla yapılmış örnek bir tasarım ve modellemeye yer verilmiştir. Örnek tasarım, İstanbul Teknik Üniversitesi, Ayazağa Kampüsü içerisinde belirlenen bir bölge sınırlı tutularak yapılmıştır. Belirlenen bölge, kampüsün güney batı yönünde kalmaktadır ve içerisinde sıcak su kullanımının yoğun olduğu 6 adet kız yurdu binasıyla hemen yakınlarında yer alan spor salonu binasını kapsamaktadır. Tasarlanan sistemin sadece güneş enerjili su ısıtma sistemi olması planlanmıştır. Kolektörlerin bölgeye yakın boş bir alanda, toprak üzerine montajlanması planlanmış ve hemen kolektör alanı yakınına bir ısı merkezi kurulması tasarlanmıştır. Isı merkezinde elde edilen ısı binalara dağıtılarak, binalarda hali hazırda kullanılmakta olan boylerlere bir ön ısıtma sağlayarak su ısıtmadaki kazan yükünün azaltılması amaçlanmıştır.

T\*SOL programı kullanılarak yapılan modelleme sonucunda %54,4 verime sahip bir sistem ile bölgedeki binaların tamamında su ısıtma için gerekli olan toplam enerjinin %28,8'lik kısmı güneş enerjisi ile sağlanmıştır. Sistem 62.671,0 m<sup>3</sup> doğalgaz tasarfunun yanında fosil yakıt kullanımı sonucunda 132.526,75 kg'lık CO<sub>2</sub> emisyonun üretilmesine engel olunmuştur.

Sistem maliyeti hesaplamasında kolektör maliyeti, ısı merkezindeki ısı değiştiriciler ile buffer tankların maliyeti ve dağıtım hattı maliyeti dikkate alınmış ve yapılan modelleme sonucunda yatırımın geri dönüş süresi olarak 5,8 yıl öngörülmüştür. Erkan (2017) yaptığı çalışmada, yine aynı kampüste bulunan spor salonuna odaklanarak güneş enerjili su ısıtma sistemi tasarlamış ve yapılan modellemeler sonucunda yatırımın geri dönüş süresini 6,6 yıl olarak öngörmüştür. Her iki çalışmanın sonuçlarını birebir kıyaslamak, seçilen hesap ve modelleme yöntemlerinin farklılığı ve sistemlerinde kullanılan ürünlerin farklılığı sebebiyle doğru olmayacaktır. Ancak temel olarak kabaca bir karşılaştırma yapıldığında, beklenildiği gibi bölgesel ısıtma sisteminin, bireysel ısıtma sistemine göre daha verimli olduğu görülmektedir.

Güneş enerjili bölgesel ısıtma sistemleri için, tasarım üzerinde değişiklikler yaparak daha verimli bir sistemin oluşturulması sağlanabilir. Örneğin sistemdeki ısı depolamayı sağlayan tankların kapasitesinin artırılması ile, kolektörde oluşan sıcaklıklar düşürülebilir. Bu sayede sistem daha fazla kolektörün kullanılmasına izin verebilecek bir yapıya sahip olacaktır. Bunlara ek olarak, bölgenin kapsamı artırılarak bölgesel ısıtma kullanılmasıyla gelen verim artışı sağlanabilir. Ayrıca dağıtım hattında da değişiklikler yapılarak verimlilik artırılabilir. Bütün binaların kazan ve boyler sistemleri tek bir ısı merkezinde toplanarak yüksek verimli ve tek merkezli bölgesel ısıtma ile bölgesel su ısıtma sisteminin entegre olarak çalışması kurgulanabilir.

T\*SOL programı ile bölgesel ısıtma modelleme programlarının entegre bir şekilde kullanılması ile daha net sonuçlar alınması sağlanabilir. Tasarım aşamasında kayıplar için yapılan kabuller yerine belirli deneyler ve detaylı çalışmalar sonucunda kayıp kabullerinin yapılması ile daha hassas bir verim analizi de mümkün kılınabilir. Ayrıca güneş enerjili bölgesel ısıtma sistemi ile güneş enerjili bireysel ısıtma sistemlerinin verimlerinin birebir karşılaştırılabilmesi için bölgesel ısıtma sistemi içerisinde yer alan her bir bina için ayrı ayrı bireysel ısıtma sisteminin kurgulanması ile verim ve yatırımın geri dönüş süresi karşılaştırmalarını daha sağlıklı yapılması sağlanabilir.

Temel olarak çalışma çok çeşitli yönlerden zenginleştirilebilir ancak bu çalışmanın ardından, ülkemizde güneş enerjisi kaynaklı bölgesel ısıtma sistemlerinin potansiyelinin gösterilebilmesi ve temel bir kıyas yapılabilmesi amaçlarına ulaşılabilmiştir. Ülkemizde güneş enerjili ısıtma sistemleri yüksek kapasiteye ve kurulu güce sahiptir ve bu potansiyeli bireysel kullanım tipi yerine bölgesel ısıtma tipi stratejilere yönlendirerek potansiyelin daha verimli kullanılması sağlanabilir.



## KAYNAKLAR

- [1] URL-1<<http://www.appropedia.org/File:Thermosyphon.gif>>, Erişim : 8.12.2018
- [2] URL-2<[http://www.normenerji.com.tr/menu\\_detay.asp?id=9032](http://www.normenerji.com.tr/menu_detay.asp?id=9032)>, Erişim : 8.12.2018
- [3] URL-3<<http://www.greenspec.co.uk/building-design/solar-collectors/>>, Erişim : 8.12.2018
- [4] URL-4<<https://www.thesisat.org/gunes-enerjisi-ile-sicak-su-temini.html>>, Erişim : 8.12.2018
- [5] URL-5<<http://www.raf.com.tr/urun/braas-gunes-enerjili-cati-sistemleri1/2006>>, Erişim : 11.12.2018
- [6] URL-6<<https://www.solargeysers.co.za/direct-and-indirect-solar-geysers>>, Erişim : 11.12.2018
- [7] Tiwari, G. N., and Shyam, A. T., 2016: Handbook of Solar Energy Theory, Analysis and Applications, Singapur, 171–219.
- [8] URL-8<<http://www.gunessistemleri.com/teknik.php>>, Erişim : 11.12.2018
- [9] Streicher, W., 2016: Solar Thermal Technologies For Domestic Hot Water Preparation And Space Heating, *Renewable Heating and Cooling Technologies and Applications.*, 9-39, İngiltere.
- [10] Ramlow, B., and Benjamin, N., 2010: Solar Water Heating--Revised & Expanded Edition : A Comprehensive Guide to Solar Water and Space Heating Systems, Gabriola Adası, Kanada : N.S. Publisher.
- [11] URL-9<<https://www.greenmatch.co.uk/solar-energy/solar-thermal/solar-collectors>>, Erişim : 15.01.2019
- [12] URL-10<<https://www.apricus.co.nz/apricus-design-features/>>, Erişim : 15.01.2019
- [13] URL-11<<https://www.buildinggreen.com/feature/solar-thermal-hot-water-heating-and-cooling>>, Erişim : 15.01.2019
- [14] URL-12<<http://www.haroonbrothers.com/renewable-energy/solar/solar-water-heater/pressure-series/u-pipe-series/>>, Erişim : 15.01.2019
- [15] URL-13<[http://www.solardimension.co.za/solar\\_energy.html](http://www.solardimension.co.za/solar_energy.html)>, Erişim : 22.01.2019

- [16] URL-14<<http://solarthermalpitsugoko.blogspot.com/2017/03/evacuated-tube-solar-thermal-collectors.html>>, Erişim : 22.01.2019
- [17] Ercoşkun, G. T., Keskin, A., Gürü, M. , ve Altıparmak D., 2013. Çift Oluklu Parabolik Oluk Tipi Güneş Kolektörünün Tasarımı, İmalatı Ve Performansının İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **28**, no. 4, pp. 855-863, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye
- [18] Kapucu, S., 2004. Prof.Dr Ahmet Ecevit PHYS 471 Güneş Enerjisi-1 Ders Notları [Powerpoint Slaytı]. 30.01.2019 tarihinde <<http://solarthermalpitsugoko.blogspot.com/2017/03/evacuated-tube-solar-thermal-collectors.html>> adresinden erişildi.
- [19] URL-15<<http://www.alternaturk.org/parabolik-kolektor.php>>, Erişim : 30.01.2019
- [20] URL-16<<https://www.solarpaces.org/how-csp-works/>>, Erişim : 02.02.2019
- [21] URL-17<<https://gaynwinters.wordpress.com/tag/steam-engine/>>, Erişim : 02.02.2019
- [22] URL-18<<https://www.samson.de/document/w02290en.pdf>>, Erişim : 02.02.2019
- [23] URL-19<<http://helioscsp.com/how-to-achieve-us63mwh-in-a-concentrated-solar-power-tower-project-with-storage/>>, Erişim : 02.02.2019
- [24] Plante, H. R., 2014. Solar Energy, Photovoltaics and Domestic Hot Water; A Technical and Economic Guide for Project Planners, Builders, and Property Owners, San Diego, Amerika : Elsevier.
- [25] URL-20<<https://www.deppmann.com/blog/monday-morning-minutes/14th-4/>>, Erişim : 12.02.2019
- [26] Antoniadis, C. N., Martinopoulos, G., 2017., Simulation of Solar Thermal Systems with Seasonal Storage Operation for Residential Scale Applications, *Procedia Environmental Sciences*, Vol. **38**, s. 405-412, Amerika : Elsevier.
- [27] Tao, T., Zhang, F., Zhang, W., Wan, P., Shen, X., Li, H., 2015., Low cost and marketable operational experiences for a solar heating system with seasonal thermal energy storage (SHSSTES) in Hebei (China), *Energy Procedia*, Vol. **70**, s. 267 - 274, Amerika : Elsevier.
- [28] URL-21<[https://www.solarthermalworld.org/sites/gstec/files/news/file/2016-07-27/task45\\_b\\_saisenal\\_storages.pdf](https://www.solarthermalworld.org/sites/gstec/files/news/file/2016-07-27/task45_b_saisenal_storages.pdf)>, Erişim : 28.02.2019
- [29] Jiao Q., Liu, W., Liu, G., Zhang, Y., Cai, J., Qin, H., 2015., Data measurement and analysis of a solar heating system with seasonal storage, *Energy Procedia*, Vol. **70**, s. 241 - 248, Amerika : Elsevier.
- [30] Sørensen, A. P., Schmidt, T., 2018., *Design and Construction of Large Scale Heat Storages for District Heating in Denmark*, 14th International Conference on Energy Storage, Adana, Türkiye 04.03.2019 tarihinde <[http://planenergi.dk/wp-content/uploads/2018/05/Soerensen-and-Schmidt\\_Design-and-Construction-of-Large-Scale-Heat-Storages-12.03.2018-004.pdf](http://planenergi.dk/wp-content/uploads/2018/05/Soerensen-and-Schmidt_Design-and-Construction-of-Large-Scale-Heat-Storages-12.03.2018-004.pdf)> adresinden erişildi.

- [31] URL-21<<http://underground-energy.com/our-technology/btes/>>, Erişim : 04.03.2019
- [32] Kara, A. Y., Arslantürk, C., 2003., Binalarda Kullanılan Boylerin Modellenmesi, *Tesisat Mühendisliği*, Sayı 73, s. 17 – 22.
- [33] TS-736, 2015. Sıcak Su Hazırlayıcılar (Boyerler) - Sıcak Su, Kaynar Su veya Buhar ile Çalışan, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [34] URL-22<<http://dorumak.com/urun-gruplari/sicak-su-uretim-sistemleri/tek-serpantinli-boyler/>>, Erişim : 15.03.2019
- [35] URL-23<<https://docplayer.biz.tr/2963435-2015-fiyat-listesi-yenilenebilir-enerjiler.html>>, Erişim : 15.03.2019
- [36] URL-24<<http://www.freehotwater.com/solar-thermal-101-calculating-the-expansion-tank-size/>>, Erişim : 17.03.2019
- [37] URL-25<[https://flamcogroup.com/media/files/whitepapers/ENG-whp\\_solar-installations\\_1DEF.pdf](https://flamcogroup.com/media/files/whitepapers/ENG-whp_solar-installations_1DEF.pdf)>, Erişim : 17.03.2019
- [38] Sayegh, M. A., Danielewicz, J., Nannou, T., Miniewicz, M., Jadwiszczak, P., Piekarska, K., Jouhara, H., 2017., Trends of European Research and Development in District Heating Technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 68, s. 1183 - 1192, Amerika : Elsevier.
- [39] URL-26<<http://www.oocities.org/siliconvalley/platform/6647/kojenen2.htm>>, Erişim : 23.03.2019
- [40] URL-27<<http://www.gonextgrid.com/nextgrids-superior-technology/chp-technology/internal-combustion-engines/>>, Erişim : 23.03.2019
- [41] URL-28<<https://inhabitat.com/heerlen-minewater-project/attachment/17493/>>, Erişim : 28.03.2019
- [42] Pauschinger, T., 2016., Solar Thermal Energy For District Heating, *Advanced District Heating and Cooling (DHC) Systems*, s. 99 - 120, Amerika : Elsevier.
- [43] URL-29<<https://www.linkedin.com/pulse/distribution-district-heating-4th-generation-oddgeir-gudmundsson>>, Erişim : 28.03.2019
- [44] URL-30<<https://www.enviropipe.co.uk>>, Erişim : 28.03.2019
- [45] Park, B., Imran, M., Hoon, I., Usman, M., 2017., Thermo-Economic Optimization Of Secondary Distribution Network Of Low Temperature District Heating Network Under Local Conditions Of South Korea, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 126, s. 117 - 133, Amerika : Elsevier
- [46] Nussbaumer, T., Thalmann, S., 2016., Influence Of System Design On Heat Distribution Costs in District Heating, *Energy*, Vol. 101, s. 496 - 505, Amerika : Elsevier
- [47] Werner S., 2017., International Review Of District Heating And Cooling, *Energy*, Vol. 137, s. 617 - 631, Amerika : Elsevier

- [48] Colmenar-Santos, A., Borge-Díez, D., Rosales-Asensio, E., 2017., District Heating and Cooling Networks in the European Union, Amerika : Elsevier
- [49] Sekret, R., Turski, M., Rosales-Asensio, E., 2018., Buildings And A District Heating Network As Thermal Energy Storages in The District Heating System, *Energy & Buildings*, Vol. **179**, s. 49 - 56, Amerika : Elsevier
- [50] Guelpa, E., Marincioni L., Capone M., Deputato, S. ve Verda, V., 2019., Thermal load prediction in district heating systems, *Energy*, Vol. **150**, Amerika : Elsevier
- [51] Park, C., Jeong, Y., Yoo, S. J., 2019., A Study Of Consumer Benefit From District Heating Service in Korea, *Energy Policy*, Vol. **129**, s. 958 - 966, Amerika : Elsevier
- [52] Schmidt, T., Mangold, D., Müller-SteinhagenPark, H., 2004., Central Solar Heating Plants with Seasonal Storage in Germany, *Solar Energy* Vol. **76**, s. 165- 174, Amerika : Elsevier
- [53] Fisch, M.N., Guigas, M., Dalenback , J.O., 1998, A Review of Large-Scale Solar Heating Systems in Europe, *Solar Energy* Vol. **63**, s. 355-366, Amerika : Elsevier
- [54] Patrice, P., Cynthia, A., Cruickshank, I. B., Wills, A., 2011, A Review of Available Methods for Seasonal Storage of Solar Thermal Energy in Residential Applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. **15**, s. 3341– 3359, Kanada
- [55] Özgen, N. M., 1990., Güneş Enerjisinden Isıtmada Yararlanma (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
- [56] Renewable Energy Policy Network for 21th Century., 2018., Renewables 2018 Global Status Report, Paris, Fransa
- [57] Weiss, W., Spörk-pür, M., 2018., Solar Heat Worldwide, Graz, Avusturya
- [58] Eskin, N., 2006., Türkiye'de Güneş Enerjisi Arastırma ve Gelistirme, *Tesisat Mühendisliği*, Sayı **91**, s. 74 - 82.
- [59] Kaçar, N. M., Erbay, L. B., 2013., Isı Değiştiricilerin Tasarımına Bir Bakış, *Mühendis ve Makina*, Sayı **644**, s. 14 - 42.
- [60] Erkan, M., 2017., Bir Üniversite Kampüsü Spor Kompleksi için Güneş Enerjisi İle Sıcak Su Eldesi Değerlendirmesi (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- [61] URL-31<<https://www.solar-district-heating.eu/silkeborg-gets-the-world-largest-solar-thermal-plant/>>, Erişim : 31.03.2019
- [62] URL-32<<https://www.monash.edu/news/articles/monash-to-become-australias-first-100-per-cent-renewable-energy-powered-university>>, Erişim : 31.03.2019
- [63] URL-33<<https://www.leading-edge-automation.com/monash-university-solar-farm/>>, Erişim : 31.03.2019

- [64] URL-34<<https://www.ecogeneration.com.au/monash-unis-solar-thermal-project-hits-its-target/>>, Erişim : 31.03.2019
- [65] alık, ., 2017., *Türkiye'deki rnek Kojenerasyon Blge Isıtma Uygulamaları*, 8. Enerji Verimliliği Forum Ve Fuarı, İstanbul, Türkiye 01.04.2019 tarihinde  
<<http://www.yegm.gov.tr/verimlilik/sunum2017/6.Enerji%20%C3%9Cretiminde%20Verimlilik%20%C4%B0%C3%A7in%20Ak%C4%B1ll%C4%B1%20B%C3%B6lgesel%20Is%C4%B1tma/Enerji%20%C3%9Cretiminde%20Verimlilik%20%C4%B0%C3%A7in%20Ak%C4%B1ll%C4%B1%20B%C3%B6lgesel%20Is%C4%B1tma.pdf>> adresinden erişildi.
- [66] Can, O. F., Celik, N., Dagtekin, I., 2009, Energetic–Exergetic-Economic Analyses Of a Cogeneration Thermic Power Plant in Turkey, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 36, s. 1044–1049, Amerika : Elsevier
- [67] URL-35<<https://www.enerjigunlugu.net/komur-diyari-soma-termik-atik-isi-ile-isinacak-19070h.htm>>, Erişim : 05.04.2019
- [68] URL-36<<http://www.lagosenerji.com/portfolios/esenyurt-termik-santrali>>, Erişim : 05.04.2019
- [69] URL-37<<https://www.istanbulhaber.com.tr/somayi-termik-santral-isitacak-haber-69728.htm>>, Erişim : 05.04.2019
- [70] Erdoğan, B., Toksoy, M., zerdem, B. Aksoy, N., 2006, Economic Assessment Of Geothermal District Heating Systems: A Case Study Of Balçova–Narlıdere, Turkey, *Energy and Buildings*, Vol. 38, s. 1053–1059, Amerika : Elsevier
- [71] TS-1258, 1983. Temiz Su Tesisatı Hesap Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [72] ISISAN, 1999, Mimarın Tesisat El Kitabı, (Isısan alışmaları No: 238), İstanbul, Türkiye
- [73] ISISAN, 2001, Sıhhi Tesisat Kitabı, (Isısan alışmaları No: 147), İstanbul, Türkiye
- [74] URL-38<<https://www.enerjiatlası.com/gunes-enerjisi-haritasi/turkiye>>, Erişim : 08.04.2019
- [75] Aksungur, K. M., Kurban, M., Filik, . B., 2011, Türkiye'nin Farklı Bölgelerindeki Güneş Işınım Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi, Elektrik Mühendisleri Odası, İstanbul, Türkiye
- [76] ISISAN, 2008, Yenilenebilir Enerjiler Ve Alternatif Sistemler, (Isısan alışmaları No: 375), İstanbul, Türkiye
- [77] URL-39<<https://www.valentin-software.com/en/company/history>>, Erişim : 11.04.2019
- [78] URL-40<<https://www.valentin-software.com/en/products/solar-thermal/14/tsol>>, Erişim : 11.04.2019
- [79] URL-41<<https://www.buderus.com/tr/tr/ocs/ticari-ueruenler/logasol-skn-40-735655-p/>>, Erişim : 11.04.2019

- [80] URL-42<<https://www.su.gen.tr/suyun-yogunlugu.html>>, Erişim : 11.04.2019
- [81] URL-43 <<https://tr.investing.com/central-banks/>>, Erişim : 12.04.2019
- [82] URL-44<<https://gazelektrik.com/s-s-s/dogalgaz-metrekup-fiyati>>, Erişim : 12.04.2019
- [83] URL-45<[www.epdk.gov.tr/Detay/DownloadDocument?id=ouEgzoqM1lg=>](http://www.epdk.gov.tr/Detay/DownloadDocument?id=ouEgzoqM1lg=>), Erişim : 12.04.2019
- [84] URL-46<<https://www.enerjiportali.com/2018-yilinda-elektrik-ve-dogalgaz-fiyatlarindaki-artis-enflasyonun-cok-uzerinde/>>, Erişim : 12.04.2019
- [85] URL-47<<https://tr.investing.com/currencies/eur-try>>Erişim : 16.04.2019
- [86] URL-48<<https://www.akakce.com/diger-beyaz-esya-urun/en-ucuz-mit-5000-lt-litre-buffer-tank-fiyati,326521705.html>>Erişim : 16.04.2019
- [87] URL-49<<https://www.birimfiyat.net/160.1107-kapasite-400.000-kcal-h-primer-devre-max-basinc-kaybi-3-mss-kullanım-sıcak-suyu-plakali-esanjoru>>Erişim : 16.04.2019
- [88] URL-50<<https://www.tlv.com/global/TI/calculator/water-pipe-sizing-velocity.html>>Erişim : 16.04.2019
- [89] Özyurt, G., 2009. Enerji Verimliliği, Binaların Enerji Performansı ve Türkiye’deki Durum, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, no. 457, pp. 32-34, Türkiye İnşaat Mühendisleri Odası, Türkiye
- [90] Öz, E. U., 2011. Konutlarda Enerji Kullanım Eğilimleri ve Tüketimin Çevre Faktörleri ile İlişkisi, Bursa Örneği, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, no. 123, pp. 57-67, Türkiye Makina Mühendisleri Odası, Türkiye

## **EKLER**

**EK A :** Buderis SKN 4.0 Kolektörlerinin Teknik Özellikleri

**EK B :** Buderus SU Boyler Serisinin Teknik Özellikleri

**EK C :** T\*SOL Programı Modelleme Sonucu Çıktıları



**EK A****Çizelge A.1 : Buderus SKN 4.0 Kolektörü Teknik Özellikleri.**

| Özellikler                                  | SKN 4.0           |
|---------------------------------------------|-------------------|
| Yerleştirme Şekli                           | Dik/Yatık         |
| Brüt Kolektör Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> ) | 2.37              |
| Net Absorber Alanı (m <sup>2</sup> )        | 2.25              |
| Verim (%)                                   | 77                |
| Kolektör Akışkan Hacmi (litre)              | 0,94/1,35         |
| Ağırlık (kg)                                | 40                |
| İşletme Üst Basıncı (bar)                   | 6                 |
| Kapatma Sıcaklığı (°C)                      | 194               |
| Yükseklik (mm)                              | 2017/1170         |
| Genişlik (mm)                               | 1170/2017         |
| Derinlik (mm)                               | 87                |
| Absorber Tipi/Kaplama                       | Al-CU/PVD kaplama |
| Kasa Malzemesi                              | Cam Elyaf         |
| Cam Kalınlığı (mm)                          | 3-Feb             |
| Cam Geçirgenliği                            | %92               |



**EK B****Çizelge B.1 : Buderus SU 1000 Boyler Teknik Özellikler.**

| Özellikler                                           | Buderus<br>SU.1000 |
|------------------------------------------------------|--------------------|
| Yükseklik (mm)                                       | 1920               |
| Boyerler çapı (izoleli) (mm)                         | 1070               |
| Net ağırlık (kg)                                     | 291                |
| Dolu toplam ağırlık (kg)                             | 1246               |
| Isı kaybı (W)                                        | 139                |
| Kullanılabilir toplam hacim (litre)                  | 955                |
| Kullanılabilir sıcak kullanım suyu miktarı<br>(45°C) | 1,410              |
| Maksimum soğuk su girişi debisi (litre/dakika)       | 99                 |
| Maksimum su sıcaklığı (°C)                           | 95                 |
| Kullanım suyu maksimum işletme basıncı (bar)         | 10                 |
| Serpantin yüzey alanı (m <sup>2</sup> )              | 3,7                |
| Nominal güçte ısıtma süresi                          | 51                 |



**EK C****Çizelge C.1 : T\*SOL Programı Modelleme Sonucu Çıktıları.**

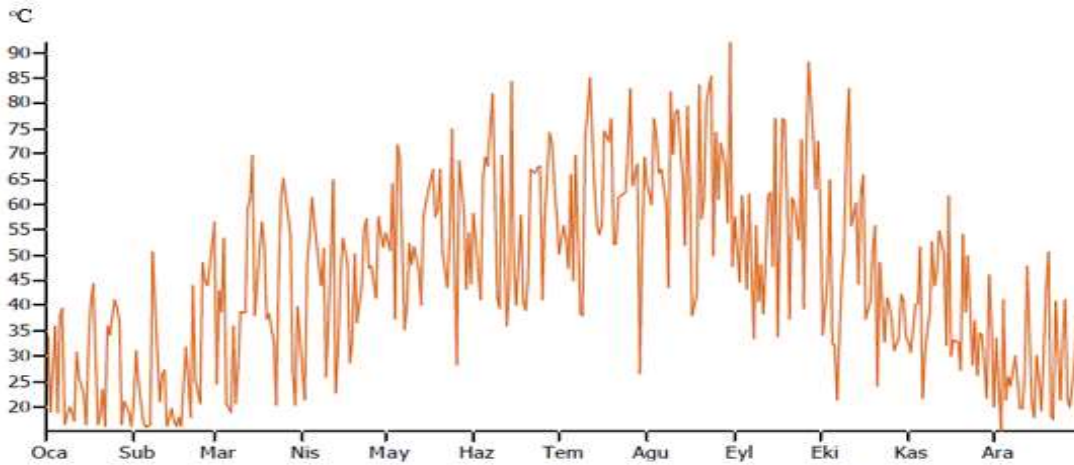
| Simülasyon Sonuç Kalemi                            | Sonuç Verisi            |
|----------------------------------------------------|-------------------------|
| Kurulan Toplam Kolektör Gücü                       | 414,75 kW               |
| Kurulan Toplam Kolektör Alanı                      | 592,5 m <sup>2</sup>    |
| Kolektör Yüzeyindeki Aktif Işınım                  | 840.216,42 kWh          |
| Kolektörlerden Gelen Enerji                        | 457.553,09 kWh          |
| Kolektör Devresinden Gelen Enerji                  | 455.944,52 kWh          |
| Sıcak Su için Gereken Toplam Enerji                | 1.489.403,47 kWh        |
| Güneş Enerjisinden Gelen Toplam Enerji             | 457.122,45 kWh          |
| Kazandan Gelen Toplam Enerji                       | 1.128.645,7 kWh         |
| Doğal Gaz Tasarrufu                                | 62.671,0 m <sup>3</sup> |
| Azaltılan CO2 Emisyonu:                            | 132.526,75 kg           |
| Sıcak Su Üretiminde Güneş Enerjisi Kullanım Oranı: | 28,8 %                  |
| Sistem Verimi                                      | 54,4 %                  |

**Çizelge C.2 : T\*SOL Programı Modelleme Sonucu Çıktıları – Bölge-Kullanım Verileri.**

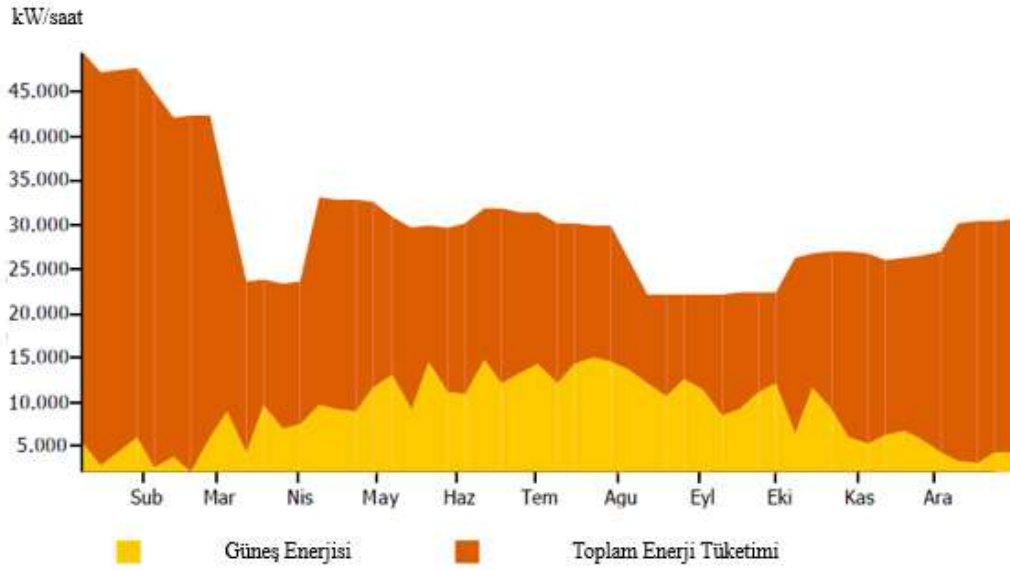
| Bölge ve Kullanım Veri Alanları | Sonuç Verisi                |
|---------------------------------|-----------------------------|
| Bölge Adı                       | Maslak_ITU                  |
| Toplam Yıllık Işınım Miktarı    | 1364,909 kWh/m <sup>2</sup> |
| Enlem                           | 41,1 °                      |
| Boylam                          | -29,02 °                    |
| Günlük Ortalama Kullanım        | 88,1 m <sup>3</sup>         |
| Kullanım Sıcaklığı              | 50 °C                       |
| Tüketim Profili                 | ITU-Maslak-Yurtlar          |
| Soğuk Su Sıcaklığı ( Şubat )    | 7,5 °C                      |
| Soğuk Su Sıcaklığı ( Ağustos )  | 12,5 °C                     |
| Sirkülasyon                     | Mevcut                      |

**Çizelge C.3 : T\*SOL Programı Modelleme Sonucu Çıktıları – Sistem Elemanları.**

| Modellemedeki Sistem Elemanları   | Miktar-Ölçü                      |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| Kolektör Üreticisi                | Buderus                          |
| Kolektör Modeli                   | Logasol SKN 4.0-                 |
| Kolektör Adedi                    | 250                              |
| Kolektör Toplam Brüt Yüzey Alanı  | 592,5 m <sup>2</sup>             |
| Kolektör Toplam Aktif Yüzey Alanı | 562,5 m <sup>2</sup>             |
| Kolektör Eğimi                    | 30 °                             |
| Kolektör Yönü                     | 180 °                            |
| Azimut                            | 0 °                              |
| Buffer Tank Üretici               | Standart                         |
| Buffer Tank Miktarı               | 4                                |
| Toplam Buffer Tank Hacmi          | 4 x 5 m <sup>3</sup>             |
| Boiler Üreticisi                  | Buderus                          |
| Boiler Tipi                       | Logalus SU.1000                  |
| Boiler Toplam Hacmi               | 13 x 1 m <sup>3</sup>            |
| Destek Isı Kaynağı Üreticisi      | Buderus                          |
| Destek Isı Kaynağı Tipi           | Logano S825L standardisiert 6bar |
| Destek Isı Kaynağı Kapasitesi     | 1900 kW                          |



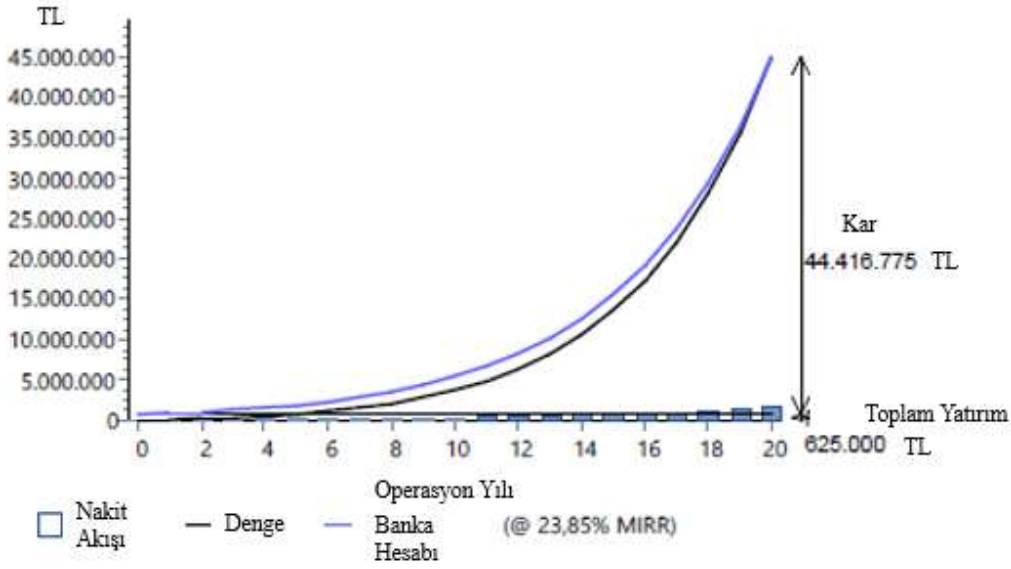
**Şekil C.1 : T\*SOL Programı Modelleme Sonucu Çıktıları – Sistem Sıcaklıkları.**



**Şekil C.2 : T\*SOL Programı Modelleme Sonucu Çıktıları – Sistem Kullanım Oranı.**

**Çizelge C.4 : T\*SOL Programı Modelleme Sonucu Çıktıları – Finansal Sonuçlar.**

| Finansal Analiz Kalemi          |                         |
|---------------------------------|-------------------------|
| Aktif Kolektör Yüzeyi           | 562,5 m <sup>2</sup>    |
| Sistem Getirici                 | 457.122,45 kWh          |
| Yıllık Yakıt Tasarrufu          | 62.671,0 m <sup>3</sup> |
| Ömür                            | 20 Yıl                  |
| Borçlanma Faizi                 | 25,5 %                  |
| Mevduat Faizi                   | 22,5 %                  |
| Enerji Enflasyonu               | 17,0 %                  |
| Toplam Maliyet                  | 1,0 %                   |
| Depo İle Boyler Arası Kayıplar  | 687.456,5 TL            |
| Teşvik                          | 0 TL                    |
| Borçlanma                       | 0 TL                    |
| Nakit Yatırım                   | 687.456,5 TL            |
| İlk Yılın İşletme Maliyeti      | 2.125 TL                |
| İlk Yıllık Tasarruf Miktarı     | 72.072 TL               |
| Güneş Enerjisi Maliyeti         | 0,357 TL/kWh            |
| Yatırımın Geri Dönüş Süresi     | 5,8 Yıl                 |
| Amortisman Süresi               | 19,6 Yıl                |
| Aktif Getiri Oranı              | 1.492,0 %               |
| Özsermaye Karlılık Oranı        | 1.492,0 %               |
| İç Karlılık Oranı               | 25,64 %                 |
| Günümüzdeki Net Değer           | 5.803 TL                |
| Kar                             | 44.416.775 TL           |
| Değiştirilmiş İç Karlılık Oranı | 23,85 %                 |



**Şekil C.1 :** T\*SOL Programı Modelleme Sonucu Çıktıları –Finansal Tablo.

**Çizelge C.5 :** T\*SOL Programı Modelleme Sonucu Çıktıları – Sistem Enerji Kayıpları.

| Enerji Kazan./Kayıp Alanı                      | kWh       |
|------------------------------------------------|-----------|
| Kolektör Yüzeyindeki Aktif Işınım              | 840.216   |
| Kolektördeki Optik Kayıplar                    | 249.334   |
| Kolektördeki Termal Kayıplar                   | 133.336   |
| Kolektörden Gelen Enerji                       | 457.553   |
| Kolektör Devresinden Isı Deposuna Giden Enerji | 455.945   |
| Kolektör Devresi İç Boru Kayıpları             | 304       |
| Kolektör Devresi Dış Boru Kayıpları            | 1.305     |
| Depo Kayıpları                                 | 809       |
| Depo İle Boyler Arası Kayıplar                 | 457.122   |
| Destek Enerji                                  | 1.612.342 |
| Boylere Ulaşan Destek Enerji                   | 1.128.646 |
| Boylere Kayıpları                              | 11.437    |
| Sirkülasyon Kayıpları                          | 85.064    |
| Boylerde Sağlanan Enerji                       | 1.489.403 |

## **ÖZGEÇMİŞ**

**Ad Soyad:** Okan KARAOĞLU

**İletişim :** okan.karaoglu @yandex.com

**Lisans :** 2016 İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Mühendisliği

## **ÖĞRENİM DURUMU:**

- **Lisans :** 2016 İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Mühendisliği

## **MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:**

- 06.2017 – 02.2018 Bosch Termoteknik – Projelendirme ve Fiyatlandırma Mühendisi
- 02.2018 - Saint-Gobain Aşındırıcılar – Satış Mühendisi