

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**BİR ÜNİVERSİTE KAMPÜSÜ SPOR KOMPLEKSİ İÇİN GÜNEŞ
ENERJİSİYLE SICAK SU ELDESİ DEĞERLENDİRMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa ERKAN

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

ARALIK 2017

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**BİR ÜNİVERSİTE KAMPÜSÜ SPOR KOMPLEKSİ İÇİN GÜNEŞ
ENERJİSİYLE SICAK SU ELDESİ DEĞERLENDİRMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mustafa ERKAN
(301091107)**

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Coşkun FIRAT

ARALIK 2017

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301091107 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Mustafa ERKAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "BİR ÜNİVERSİTE KAMPÜSÜ SPOR KOMPLEKSİ İÇİN GÜNEŞ ENERJİSİYLE SICAK SU ELDESİ DEĞERLENDİRMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd.Doç.Dr. Coşkun FIRAT**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Üner ÇOLAK**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Ahmet Talat İnan

Marmara Üniversitesi

Teslim Tarihi : 17 Kasım 2017
Savunma Tarihi : 12 Aralık 2017



ÖNSÖZ

Tez çalışmamın bütün aşamalarında bilgisi ve desteği ile yolumu aydınlatan danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Coşkun FIRAT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma için ihtiyaç duyulan bilgilerin paylaşılmasındaki desteklerinden ötürü İ.T.Ü. Yapı İşleri Müdürlüğü ve çalışanları Sn. Volkan TURHAN ve Sn. Naci BAYHAN'a teşekkürü borç bilirim.

Aralık 2017

Mustafa ERKAN
Makina Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Isıl Güneş Enerjisi Kullanımı	2
1.1.1 Düşük sıcaklık kolektörleri	2
1.1.1.1 Isıtma, soğutma ve havalandırma uygulamaları	3
1.1.1.2 Proses ısısı	3
1.1.2 Orta sıcaklık kolektörleri	4
1.1.2.1 Güneş enerjisi ile kurutma	4
1.1.2.2 Pişirme	4
1.1.2.3 Damıtma	4
1.1.3 Yüksek sıcaklık kolektörleri	5
1.2 Güneş Enerjisi Su Isıtma Sistemleri	5
1.2.1 Güneş Enerjisi Su Isıtma Sistemi Çeşitleri	8
1.2.1.1 Aktif ve Pasif Sistemler	8
1.2.1.2 Direkt ve endirekt sistemler	12
1.3 Güneş Enerjisi Toplayıcıları	15
1.3.1 Düz Plakalı Kolektörler	16
1.3.2 Vakum Tüplü Kolektörler	21
1.3.3 Yoğunlaştırıcı (Odaklayıcı) Kolektörler	28
1.4 Literatür Özeti	33
1.5 Tezin Amacı ve Yöntem	40
2. SİMÜLASYON YÖNTEMİ	43
2.1 F-CHART	43
2.2 SAM (System Advisor Model)	44
2.3 TRNSYS (Transient System Simulation Tool)	45
3. KOMPLEKSİN BULUNDUĞU LOKASYONDA GÜNEŞ DEĞERLERİ VE SIKAK SU TÜKETİMİ	47
3.1 Lokasyonda Güneş Enerjisi Değerleri	47
3.2 Spor salonu sıcak su tüketimi	51
4. KAMPÜS SPOR KOMPLEKSİ İÇİN BİR GÜNEŞ ENERJİLİ SU ISITMA SİSTEMİNİN SAYISAL MODELLENMESİ VE DEĞERLENDİRİLME ..	55
4.1 F-Chart Programı ile Sistem Değerlendirmesi	56
4.2 SAM Programı ile Sistem Değerlendirmesi	60
4.3 TRNSYS Programı ile Sistem Değerlendirmesi	64
4.4 Değerlendirme	67
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	71

KAYNAKLAR.....	73
EKLER.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	91



KISALTMALAR

CSP	: Concentrated Solar Power
ICS	: Integrated Collector Storage
MENA	: Middle East and North Africa
NREL	: National Renewable Energy Laboratory
SAM	: System Advisor Model
TRNSYS	: Transient System Simulation Tool



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Saydam tabakada yaygın olarak kullanılan malzeme özellikleri	18
Çizelge 1.2 : Emici yüzeyde yaygın olarak kullanılan malzeme özellikleri.....	20
Çizelge 1.3 : İTÜ spor salonu doğalgaz tüketim verileri.....	52
Çizelge 1.4 : Piyasadaki diğer kolektör birim fiyatları.....	68
Çizelge 1.5 : İTÜ spor salonu gerçekleşen enerji tüketim miktarı ve tutarları.....	69





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Güneş bacası çalışma sistemi	3
Şekil 1.2 : Utah-A.B.D.'de madencilik sektöründe kullanılan bir buharlaştırma havuzu	3
Şekil 1.3 : Güneş enerjisi kullanan damıtma sistemi şematiği.	5
Şekil 1.4 : Güneş kolektörü 1	6
Şekil 1.5 : Güneş kolektörü 2	6
Şekil 1.6 : Güneş kolektörü 3	6
Şekil 1.7 : Güneş enerjisi su ısıtma sistemi elemanları	7
Şekil 1.8 : Güneş enerjisi su ısıtma sistemi şematiği.....	7
Şekil 1.9 : Kolektör sıvısının donması durumuna bir örnek.....	8
Şekil 1.10 : Aktif güneş enerjisi su ısıtma sistemi.....	9
Şekil 1.11 : a) Aktif endirekt sistem b) Aktif endirekt geri beslemeli sistem	9
Şekil 1.12 : Güneş enerji su ısıtma sistemi kontrol birimi örneği	10
Şekil 1.13 : Pasif sistem akış yönü gösterimi (termosifon sistemi).....	11
Şekil 1.14 : Türkiye'de yaygın kullanılan pasif güneş enerjisi su ısıtma sistemi örneği	12
Şekil 1.15 : Entegre depolu pasif güneş enerjisi su ısıtma sistemi	12
Şekil 1.16 : a) Direkt pasif ve b) Direkt aktif güneş enerjisi su ısıtma sistemi şematikleri	13
Şekil 1.17 : Aktif solar sistem örneği	13
Şekil 1.18 : Entegre depolu kolektör sistemi.....	14
Şekil 1.19 : Entegre depolu kolektör örneği	15
Şekil 1.20 : Kolektöre gelen güneş ısısı akış şeması	16
Şekil 1.21 : Düz Plakalı Kolektör	17
Şekil 1.22 : Düz plakalı kolektör kesiti ve alt elemanları.....	17
Şekil 1.23 : Akışkan hattı geometrisi tipleri	19
Şekil 1.24 : Boru kanatçık tipi örneği.....	20
Şekil 1.25 : Düz plakalı kolektör uygulama örneği	21
Şekil 1.26 : Vakum tüplü kolektör genel görünüm	22
Şekil 1.27 : Vakum tüplü kolektör güneş ışınım şematiği.....	23
Şekil 1.28 : Vakum tüplü kolektör çalışma şematiği.....	23
Şekil 1.29 : Vakum tüpü kesiti.....	24
Şekil 1.30 : Isı borusu enerji döngüsü	24
Şekil 1.31 : Doğrudan akışlı vakum tüplü kolektör şematiği	25
Şekil 1.32 : Farklı kesitlerdeki doğrudan akışlı uygulamalar	25
Şekil 1.33 : Vakum tüplü kolektör akış görseli	26
Şekil 1.34 : Vakum tüplü kolektör dağıtıcı birimi.....	26
Şekil 1.35 : Vakum tüplü kolektör dağıtıcı birim akış görseli.....	27
Şekil 1.36 : Vakum tüplü kolektör sistemi örneği	27
Şekil 1.37 : Yoğunlaştırıcı kolektör takip sistemi örneği	28
Şekil 1.38 : Parabolik Oluk Kolektör Şematiği	29
Şekil 1.39 : Parabolik oluk kolektörlü güneş enerjisi sistemi.....	29

Şekil 1.40 : Parabolik oluk kolektör	30
Şekil 1.41 : Parabolik çanak kolektör örneği	30
Şekil 1.42 : Çanak yansıtıcı örneği	31
Şekil 1.43 : Güç kulesi sistemi örneği 1	32
Şekil 1.44 : Gündüşürücüler (heliostats).....	32
Şekil 1.45 : Güç kulesi sistemi örneği 2	33
Şekil 1.46 : 2010-2015 yenilenebilir enerji kapasitesi büyüme oranları grafiği.....	34
Şekil 1.47 : Ülkelerin ısı güneş enerjisi kapasiteleri.....	35
Şekil 1.48 : Güney Afrika'da günlük 200 m3 evsel sıcak kullanım suyu için ısı güneş enerjisi sistemi örneği.....	36
Şekil 1.49 : Danimarka'da evlerin sıcak kullanım ihtiyacını karşılamak üzere kurulmuş ısı güneş enerjisi sistemi örneği.....	36
Şekil 1.50 : Mauritius, Kumaş Boyama fabrikası proseslerinde kullanılacak sıcak suyun karşılanmasına yönelik kurulan ısı güneş sistemi örneği.....	36
Şekil 1.51 : Tilaran, Kosta Rika Kahve kurutma prosesinde kullanılacak sıcak suyun karşılanmasına yönelik kurulan ısı güneş sistemi örneği	37
Şekil 1.52 : Jiangsu Printing and Dyeing, Çin 9.000 m2 alana kurulu proses suyu ön ısıtma amaçlı ısı güneş sistemi örneği	38
Şekil 3.1 : İTÜ Ayazağa spor salonu konumu.	47
Şekil 3.2 : Küresel ışınım haritası	48
Şekil 3.3 : Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası	48
Şekil 3.4 : Türkiye aylık güneş enerjisi potansiyeli dağılımı	49
Şekil 3.5 : İstanbul aylık güneş ışınımı değerleri (kWh/m2).....	49
Şekil 3.6 : İstanbul aylık güneşlenme süreleri (sa)	50
Şekil 3.7 : Sarıyer aylık güneş ışınımı değerleri (kWh/m2)	50
Şekil 3.8 : Sarıyer aylık güneşlenme süreleri (sa)	51
Şekil 3.9 : F-chart su tüketimi hesabı için yapılan tersine çalışma verileri.	52
Şekil 3.10 : Günlük sıcak su tüketimine bağlı f-chart analizi sonucu ve doğalgaz tüketim değeri ile uyumu.	53
Şekil 4.1 : "Active Domestic Hot Water System" verileri.	57
Şekil 4.2 : Sistemde kullanılan SU-1000 model boyler teknik çizimi.	57
Şekil 4.3 : Vaillant solar systems VFK 125V modeline ait teknik veriler.	58
Şekil 4.4 : Ekonomik parametreler.	58
Şekil 4.5 : Kolektör sayısı, güneş enerjisi yükü ve kazanç grafiği.	59
Şekil 4.6 : 20-60 adet kolektör için güneş enerjisi yükü ve kazanç grafiği.	59
Şekil 4.7 : F-chart simülasyon sonucu 46 adet ısı güneş kolektörü için sistemin ekonomik ve ısı çıktıları.	60
Şekil 4.8 : Sıcak su ihtiyacı ve sistem verileri.	61
Şekil 4.9 : Kolektör ve ısı sistem parametreleri.....	62
Şekil 4.10 : İlk yatırım maliyetleri.....	62
Şekil 4.11 : Yıllık performans kaybı.....	63
Şekil 4.12 : Sıcak su ihtiyacı için harcanan aylık enerji.	63
Şekil 4.13 : SAM analiz sonucu ısı güneş enerjisi ile kazanımlar.....	64
Şekil 4.14 : TRNSYS sistem şematigi.	64
Şekil 4.15 : TRNSYS yük verisi değerleri.....	65
Şekil 4.16 : TRNSYS pompa verileri.	65
Şekil 4.17 : TRNSYS güneş kolektörü verileri.....	66
Şekil 4.18 : TRNSYS analiz sonucu grafiği.	67
Şekil 4.19 : Aylık güneş yükü sonuç karşılaştırması.	68
Şekil 4.20 : İTÜ spor salonu ısı güneş enerjisi sistemi model görünümü 1.	70

Şekil 4.21 : İTÜ spor salonu ısı güneş enerjisi sistemi model görünümü 2.	70
Şekil A.1 : F-chart programı kullanıcı arayüzü.	84
Şekil B.1 : SAM programı kullanıcı arayüzü.	86
Şekil C.1 : TRNSYS programı kullanıcı arayüzü.	88
Şekil D.1 : Vaillant VFK Teknik bilgiler 1.	889
Şekil D.2 : Vaillant VFK Teknik bilgiler 2.	89
Şekil E.1 : Buderus SU-1000 Teknik bilgiler 1.....	90
Şekil E.2 : Buderus SU-1000 Teknik bilgiler 2.....	90
Şekil E.3 : Buderus SU-1000 Teknik bilgiler 3.....	90





BİR ÜNİVERSİTE KAMPÜSÜ SPOR KOMPLEKSİ İÇİN GÜNEŞ ENERJİSİYLE SICAK SU ELDESİ DEĞERLENDİRMESİ

ÖZET

Son yıllarda artan enerji ihtiyacına ve küresel ısınma etkilerinin belirgin olarak gözlemlenebilir olmasına bağlı olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı daha da önem kazanmıştır. Tüm dünyada ulaşımdan iklimlendirmeye, sanayiden evsel kullanımlara kadar tüm enerji tüketim noktalarında, artan enerji fiyatları ve toplumsal bilinçlenmeyle birlikte enerji tüketim alışkanlıkları da teknolojik gelişmelere bağlı olarak değişmektedir.

Bu çalışmanın amacı, bir üniversite spor kompleksi için güneş enerjisi ile sıcak su eldesini değerlendirebilmek amacıyla örnek olay çalışması gerçekleştirmektir.

Bu tez çalışmasında güneş enerjisi kullanılarak elde edilen sıcak su kullanım alanı olarak İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Spor Salonu seçilmiştir. Doğru bir sistem modellemesi yapabilmek amacıyla, yapılan analiz çalışmasına girdi olarak verilen tüm veriler son 1 yıl içinde tesiste gerçekleşen değerlerden alınmıştır.

İhtiyaç duyulan sıcak suyun ısı güneş enerjisi kullanılarak elde edilmesi için öngörülen sistem modellemesi F-chart, TRNSYS ve SAM programları ile analiz edilmiştir. Tez çalışması sürecinde deneysel ölçüm yapma imkanı bulunamadığından, literatürde güneş enerjisi kullanılarak sıcak su elde edilen sistem modellemelerinde ve deneysel doğrulama çalışmalarında yaygın olarak kullanılan, güvenilirliğini kanıtlamış 3 farklı program ile modelleme analizi yapılarak, sıcak su ihtiyacını karşılamak amacıyla güneş enerjisi kullanımı değerlendirmesinin sağlam temellere dayanması hedeflenmiştir. Her üç programda da tasarlanan modele ait çıktıların birbirlerine yakın olması hedeflenen modelleme yaklaşımını güçlendirmiştir.

Çalışma sonucunda İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Spor Salonu'na ait sıcak su ihtiyacının bir bölümünün ısı güneş enerjisi ile karşılanması amacıyla yapılacak yatırımın geri ödeme süresinin makul olduğu görülmüştür. Ancak yapılacak yatırımla kurulması planlanan sistemin, mevcut çatı konstrüksiyonu taşıma kapasitesinin güçlendirilmesi ihtiyacını da beraberinde getireceği görülmüş olup, oluşan bu ilave maliyet kaynağının, çalışmanın amacı göz önünde bulundurularak şu an için göz ardı edilmesinin uygun olacağı sonucuna varılmıştır.



ASSESSMENT OF SOLAR WATER HEATING APPLICATION FOR A UNIVERSITY SPORTS CENTER

SUMMARY

Today, especially for developing countries, increasing population and technological advancements caused the need of energy production to increase dramatically. The growing electrical energy need has been tried to be compensated by using coal, oil and natural gas, the so-called fossil fuels. The procurement problems of oil, which has a wide range of use, caused by political developments easily affected the energy industry in the most of the countries and caused a global economical crisis.

At the end of 20th century, greenhouse effects which has been created by high level of fossil fuel consumption, increased seriously. According to a detailed climate modelling, research which has shown that extreme weather temperatures, floods, great fires and severe drought can be seen in most places and those environmental disasters may also cause serious ecological system problems.

All these negativities made fossil fuel consumption and accordingly the greenhouse effects as global problems. Thus, renewable energy sources such as solar energy, wind energy, geothermal energy, hydraulic energy, hydrogen and biomass energy have been the focus of interest while the application research are being prioritized and encouraged by the most of the countries.

Solar energy is the most popular and oldest source of energy for humanity among renewable energy resources as it supplies an enormous amount of energy each and everyday. According to the studies, entrance of the caves during the first age were built towards the southeast direction in order to provide solar energy. In a similar manner, at ancient Greece, the cities were planned and built while taking into consideration of minimum solar shading for each house as to provide maximum solar energy. Such examples support that the solar energy is one of the oldest sources of energy that humankind use.

Today, the solar energy has a wide range of use, such as generating electricity, obtaining hot water, drying foods and goods, obtaining water via desalination etc.. Solar water heating systems as preheating systems, have many applications in the industry. On the other hand, solar water heating systems for domestic hot water usage are the most common and well known application of using solar energy.

In this thesis, firstly, a literature search has been done in terms of solar water heating applications and related studies. It is seen that there are various number of studies according to specify the effects of geographical location, climate data, sizing of the sub-assemblies of the system such as water storage tank, number of collectors, mass flow rate etc., effects of collector types and tilt angle, performance of building integrated systems. Moreover, thermal performance of the systems had been analysed by measured real data and modelling simulation comparisons.

It is also seen that the sport center solar hot water applications are mostly based on the assumptions of daily hot water usage. Also, in most of studies hot water needs

can partially be provided by solar hot water systems, while pay back periods of the systems are a bit longer than the expectations.

This thesis aims for the assessment of a solar water heating application for a university campus sport center by simulating a case study. The simulation has been made by using 3 different softwares: F-chart, TRNSYS and SAM. The main idea behind using 3 different softwares is to strengthen the analysis by using most popular and reliable softwares as there was no chance to do any experimental measurements during the thesis study.

F-chart, TRNSYS and SAM softwares have been introduced and the capabilities of the softwares have been presented and detailed user manuals have been given at the appendix.

Istanbul Technical University Ayazaga Campus Sports Center has been chosen for the case study.

In order to provide a strong base for the analysis, real energy consumption data has been obtained from the university authorities and aimed to be used as input values for the software modellings. Since there is no water flow-meter on the cold water input line, the daily hot water need has been calculated by using real natural gas consumption and the technical specification of the current boiler system. The design of the solar hot water system is mainly based on an integration to the current heat pipe system. So, current equipments' technical data has also been used to determine solar heating systems' sizing.

Due to the easiness of supply, "Vaillant Solar Systems VFK 125" model named flat plate collector is chosen as the solar water heating system. "Vaillant Solar Systems VFK 125"s technical document has also given at the appendix.

According to software analysis outputs, it is seen that solar hot water system which contains 46 Vaillant Solar Systems VFK 125 collector is the most cost effective one while above the 50 ea of collectors, solar water heating system has no economic advantage even solar fraction values are being increased. Furthermore, system is able to produce 50,9 – 52,4% of average annual solar fraction with a payback period of 6.6 years. It is also seen that output of each software is in the similar value range and supports each other.

And finally, in order to provide a visual imagery of the system, by using "Sketchup" software and "Skelion" plugin, different angle of views has been given according to real world geometrical data.

Consequently, the assessment of solar water heating application for a university campus has been performed based on a case study of Istanbul Technical University Ayazaga Campus's sport center. The obtained approximate values of 3 widely used software has increased the reliability of the assessment. It is seen that a solar water heating system investment of the need of 50-52% of hot water energy can be provided by solar energy with an average pay back time.

According to real consumption values, in summer, while the solar energy rates are the highest, because of the university is out of education terms, usage rate of the sports center is low. Thus, this may cause to reduce performance of the solar water heating system.

On the other hand, during the examination of the current roof, it is also seen that the current roof system's carrying capacity will not be appropriate for such a solar water

heating system. The main aim for this thesis let us to neglect this extra cost item at this point of assessment.

It is mainly aimed to increase solar energy field of application with this thesis. For further studies, alternative solutions can be applied in order to increase the efficiency of the solar water heating system. For example, hot water needs of near places, such as cafeteria or dormitory, can be collectively supplied by a one bigger scaled (central) solar water heating system. It should be taken into consideration that for further studies, real time consumption data would be also very crucial.





1. GİRİŞ

Günümüzde sanayi devrimi ile başlayıp hayatın her alanına yayılan teknolojik gelişmeler ve hızla artan nüfus, özellikle gelişmekte olan ülkelerde yüksek miktarlarda enerji üretimi ihtiyacı doğurmuştur. Artan elektrik enerjisi ihtiyacı kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar kullanılarak sağlanmaya çalışılmıştır. Özellikle birçok alanda yaygın olarak kullanılan petrolün siyasi gelişmelere bağlı olarak tedarikinde yaşanan sorunlar, etkisini enerji piyasasında çok hızlı göstererek enerji birim fiyatlarında hızlı bir yükselişe ve dolayısıyla da küresel çapta ekonomik krizlerin yaşanmasına sebep olmuştur. Bununla birlikte, fosil yakıt kullanımı sebebiyle oluşan sera etkisi ile küresel ısınma 20.yüzyılın sonlarında giderek artmıştır. Yapılan detaylı iklim modellemelerine göre 2100 yılında küresel ortalama yüzey sıcaklığının 1-3,5 °C arasında artacağı, buna bağlı olarak da deniz seviyesinde 15-95 cm artış oluşabileceği, bazı bölgelerde aşırı yüksek sıcaklıklar, taşkınlar, yangın ve şiddetli kuraklık olayları, yangınlar ve bunlara bağlı olarak ekolojik sistem işlevselliğini de içeren ciddi tehlikeler yaşanabileceği öngörülmektedir [1]. Bütün bu olumsuzluklar fosil yakıt kullanımını ve dolayısıyla sera gazı etkilerini küresel bir sorun haline getirmiş güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, dalga enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji, hidrojen ve biyokütle enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının ilgi odağı olmasına ve bunların bir alternatif enerji kaynağı olarak kullanımına yönelik çalışmaların önceliklendirilmesine yol açmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında bir enerji kaynağı olarak kullanım geçmiş en eski ve yaygın olan güneş enerjisidir. Yapılan araştırmalarda güneş enerjisinden faydalanmak amacıyla ilk çağda yapılan mağara girişlerinin güneydoğu istikameti doğrultusunda olmasına özen gösterilmesi, Antik Yunan çağında inşa edilen ev cephelerinin güneşe baktığı ve şehir yerleşim planlarının evlerin birbirinin güneşlenmesini kesmemesine dikkat edilerek oluşturulması, Roma İmparatorluğu'nda konut pencerelerinde cam kullanılmasına başlanarak güneş enerjisinden fayda sağlanmaya çalışılması ve bunun mimari açıdan yasalarla zorunlu hale getirilmesi gibi örnekler güneş enerjisinin çok uzun zamandır kullanıldığını desteklemektedir [2]. Günümüzde kullanılan güneş kolektörlerinin bilinen ilk

uygulaması 1700'lü yıllarda Horace de Saussure tarafından tasarlanan, tek tarafı cam ve içi siyaha boyalı yalıtılmış bir sıcak kutuyla başlamış olup, ticari kullanım amaçlı alınan ilk patent 1891 yılında Clarence M. Kemp tarafından, yalıtılmış ve tek tarafı cam bir kutu içerisindeki siyaha boyalı su tankından oluşan, "Climax" isimli ısı güneş kolektörüne alınmıştır [2]. Güneş enerjisi sistemleri, 20. yüzyıl boyunca yaşanan teknolojik gelişmelerle birlikte evsel sıcak su ihtiyacının karşılanması amaçlı ısı sistemlerinden, hesap makinelerine, elektrik enerjisi üretim tesislerinden saatlere kadar birçok alanda yer bulmuş, yenilenebilir enerji kaynakları içinde de en yaygın kullanılan kaynak haline gelmiştir.

Bu tez çalışmasında, İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Spor Salonu sıcak su ihtiyacının güneş enerjisi ile eldesine yönelik değerlendirme yapılması hedeflenmiştir. Yapılan modellemede mevcut su ısıtma sistemi altyapısına entegre edilecek bir düz plakalı aktif ısı güneş enerjisi sisteminin, mevcut sıcak su ihtiyacının ne kadarlık bölümünü karşılayabileceği ve yapılacak yatırıma ilişkin geri ödeme sürelerinin uygunluğu ele alınmaya çalışılmıştır. Değerlendirme için gerekli modelleme ve analiz çalışmasının literatürde yaygın olarak kullanılan ve güvenilirliği ile kabul görmüş 3 ayrı yazılımla gerçekleştirerek yapılacak değerlendirmenin doğruluğunun ve güvenilirliğinin sağlanması amaçlanmıştır.

1.1 Isıl Güneş Enerjisi Kullanımı

Güneş enerjisi, yaygın olarak ısı ve elektrik enerjisi elde etmek için kullanılmaktadır. Günümüzde ısı güneş enerjisi sistemleri ile sıcak su eldesi için kullanılan sistemler en yaygın kullanılan ve en fazla gelişme gösteren yenilenebilir enerji teknolojisidir [3].

Isıl güneş enerjisi kolektörleri ulaşabildikleri çalışma sıcaklıklarına bağlı olarak genellikle düşük, orta ve yüksek sıcaklık kolektörleri olarak 3 sınıfta incelenmektedir.

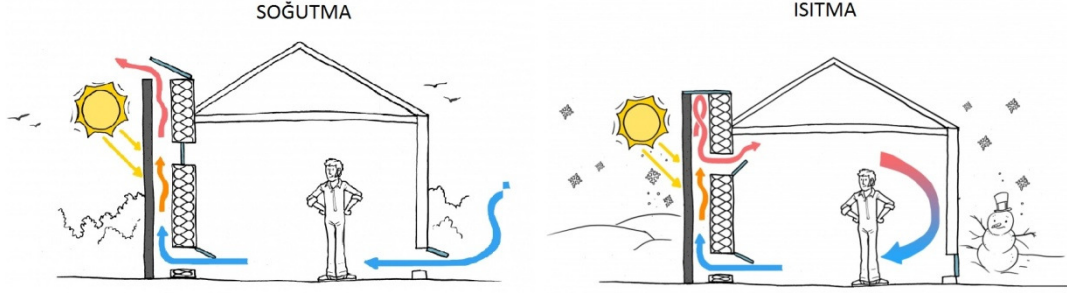
1.1.1 Düşük sıcaklık kolektörleri

Düşük sıcaklık kolektörleri ısı transferi için su ya da hava kullanan, genellikle ortam ısıtmada ya da proses ısısı elde etmek amacıyla kullanılan sistemlerdir.

Düşük sıcaklık kolektörleri iklimlendirme ve proses ısısı olarak sınıflandırılabilir.

1.1.1.1 Isıtma, soğutma ve havalandırma uygulamaları

Isıl güneş enerjisi kullanılarak uygulanan iklimlendirme sistemlerinden güneş bacası yada ısıl baca, pasif bir havalandırma sistemi olup güneş enerjisini bir ısıl kütlede toplayarak ortam iklimlendirilmesinde kullanan sistemlerdir. Roma İmparatorluğu döneminden beri kullanılan güneş bacaları (örnek Şekil 1.1) Orta Doğu'daki evlerde günümüzde de yaygın olarak kullanılmaktadır [4].



Şekil 1.1 : Güneş bacası çalışma sistemi [5].

1.1.1.2 Proses ısısı

Deniz suyundan tuz elde edildiği buharlaştırma havuzu uygulaması en eski güneş enerjisi uygulamalarından birisi olup, düşük sıcaklıklı proses ısısı temin sistemlerine iyi bir örnektir. Buharlaştırma havuzları günümüzde deniz suyundan tuz eldesine ilişkin uygulamalar ile madencilik sektöründe (örnek Şekil 1.2) çözünmüş katıların sıvılardan ayrıştırılması amaçlı ticari uygulamalarda kullanılmaktadır [4].



Şekil 1.2 : Utah-A.B.D.'de madencilik sektöründe kullanılan bir buharlaştırma havuzu [6].

1.1.2 Orta sıcaklık kolektörleri

Orta sıcaklık kolektörleri evsel ve ticari sıcak su ihtiyacının karşılanması amaçlı kullanılan ısı güneş sistemleridir. Bu tarz kolektörler basınçlı glikol, geri akış, seri besleme gibi sistemler ile kullanılabilir. Ayrıca, akışın olmadığı durumlarda yüksek sıcaklık gerilimi riskini tamamen ortadan kaldıran “daimi ıslak kolektör” gibi tasarımsal iyileştirmeler de yaygın kullanıma bağlı olarak sürekli geliştirilmektedir. Güneş enerjisi ile kurutma, pişirme ve damıtma uygulamaları orta sıcaklık kolektörlerinin yaygın olarak kullanıldığı uygulama alanlarıdır [7].

1.1.2.1 Güneş enerjisi ile kurutma

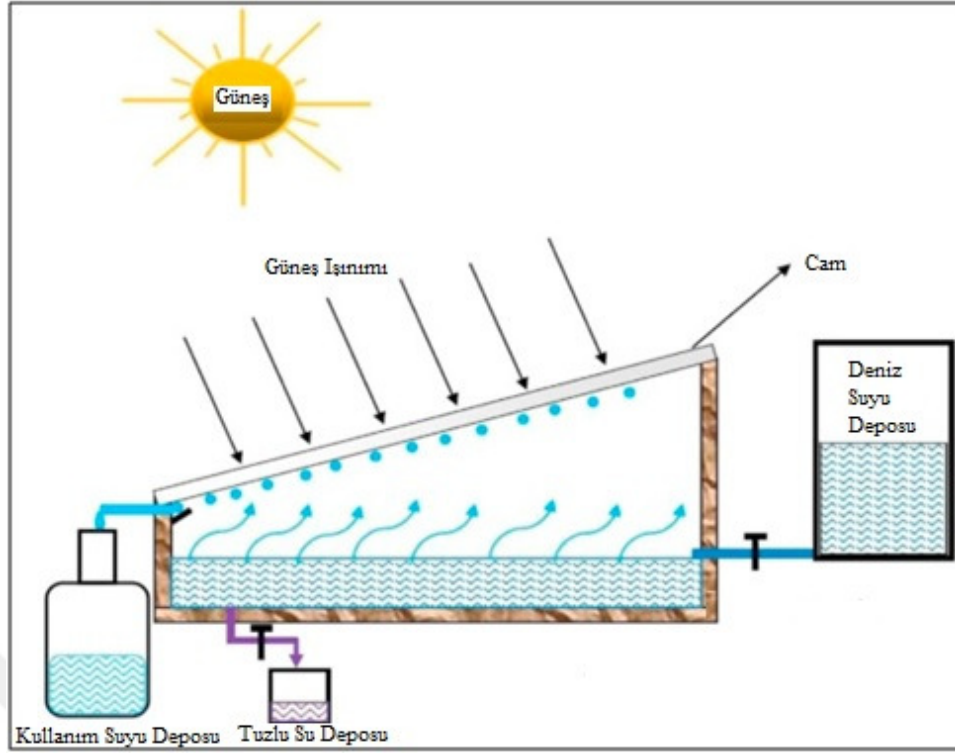
Bu uygulama sınıfının en yaygın kullanımı meyve, tahıl ve balık gibi yiyeceklerin güneş enerjisi ile kurutulmasında görülür. Böylelikle hem sağlıklı hem de düşük maliyetli bir nihai ürün ortaya çıkmış olur. Ek olarak inşaat uygulamalarında ya da yakıt amaçlı kullanılacak ahşapların nemden güneş enerjisi ile arıtılması süreci de güneş enerjisi ile kurutma uygulamaları arasında yer almaktadır [5].

1.1.2.2 Pişirme

Orta sıcaklık kolektörlerine iyi bir örnek olan güneş ocakları, pişirme, kurutma ve pastörizasyon gibi süreçler için gerekli enerjinin güneş enerjisinden temin edilmesini sağlar. Temel seviye bir güneş ocağı yada kutu pişirici, saydam bir kapak ve ısı olarak izole edilmiş duvarlardan oluşur. İleri seviyeli güneş ocaklarında yoğunlaştırıcı yansıtıcılar kullanarak ışığın pişirme bölümüne odaklanması sağlanır. Böylelikle 350°C sıcaklık seviyelerine çıkıp hızlı pişirme imkanı sunabilmektedirler [4].

1.1.2.3 Damıtma

Temiz suyun bulunmadığı bölgelerde temiz su elde edilmesi amaçlı güneş enerjili damıtıcılar yaygın olarak kullanılır. Bu tarz bölgelerde güneş enerjili damıtma sistemleri bölge halkı için çok büyük önem taşır. Damıtma sistemleri güneş enerjisini kullanarak deniz suyunu ısıtıp buharlaştırır. Buharlaştıran su havuzun üst bölümünde yer alan cam kapağın alt yüzeyinde yoğunlaşarak temiz suya dönüşür ve kapağın bitimindeki depoda birikerek toplanır. Şekil 1.3.’de güneş enerjili bir damıtma sistemine ait şematik sunulmuştur [4].



Şekil 1.3 : Güneş enerjisi kullanan damıtma sistemi şematığı.

1.1.3 Yüksek sıcaklık kolektörleri

Elektrik üretimi için ihtiyaç duyulan yüksek sıcaklıklara ulaşabilmek amacıyla güneş ışığı ayna ve lensler yardımıyla yoğunlaştırılır. Bu tekniğe konsantre güneş enerjisi adı verilir (Concentrated Solar Power-CSP). Yoğunlaştırıcı tipteki yüksek sıcaklık kolektörleri daha az sayıda kolektör ile yüksek verim elde etme imkanı sağlamakla birlikte, toplam kolektörlerin kaplayacağı toplam alanın azaltılmasına bağlı olarak uygulama için de avantaj sağlanmış olur.

Yüksek sıcaklık kolektörlerine bağlı buhar türbin verimleri 600°C seviyesine kadar %41 oranındadır. 600°C üzerindeki sıcaklıklara çıkıldıkça türbin verimi büyük oranda artsa da, yüksek sıcaklığa bağlı farklı malzemelerin kullanılmasına ihtiyaç duyulması sistemin yatırım maliyetlerini arttırmaktadır [4].

1.2 Güneş Enerjisi Su Isıtma Sistemleri

Güneş enerjisi su ısıtma sistemlerinin en temel birimi güneş kolektörleridir (Şekil 1.4 ve Şekil 1.5).



Şekil 1.4 : Güneş kolektörü 1 [9].



Şekil 1.5 : Güneş kolektörü 2 [10].

Bununla birlikte, depo, sirkülasyon pompası, ısı değiştirici, kontrol ünitesi (Şekil 1.6 ve Şekil 1.7) gibi birimler de sistemin diğer alt birimlerini oluşturur.

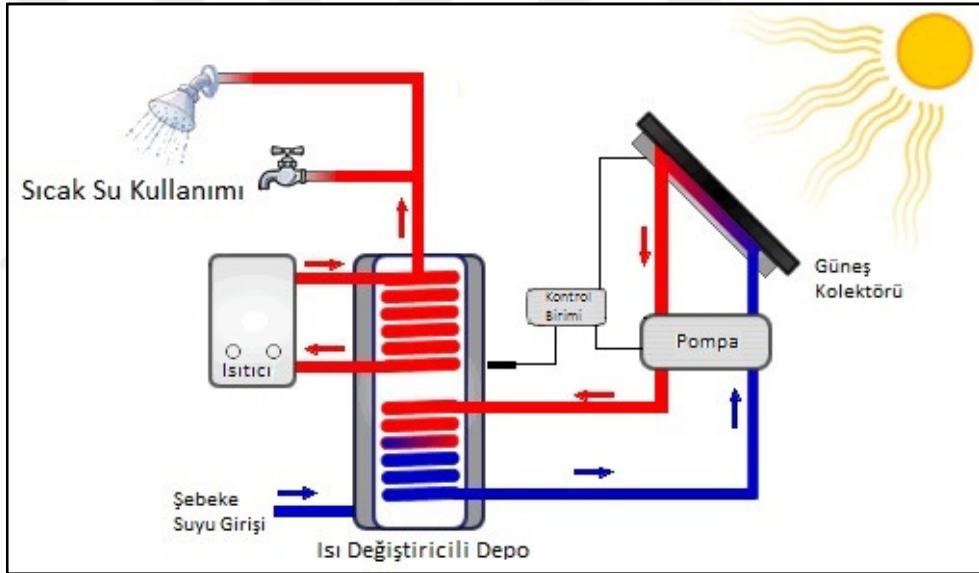


Şekil 1.6 : Güneş kolektörü 3 [11].



Şekil 1.7 : Güneş enerjisi su ısıtma sistemi elemanları [12].

Standart çalışma şematığı Şekil 1.8’de görülebilen güneş enerjisi ile su ısıtma sistemlerinin kurulum amacı, sistemin kurulacağı bölgedeki iklim ve kullanılabilir alan gibi başlıca ihtiyaçlar doğrultusunda farklı sistem konfigürasyonları oluşturulabilir.



Şekil 1.8 : Güneş enerjisi su ısıtma sistemi şematığı [13].

Güneş enerjisi ile su ısıtma sistemlerinde, sistemin karmaşıklığı ve büyüklüğünü belirleyen ana parametreler;

- İhtiyaç duyulan sıcak su miktarı ve sıcaklığı
- Mevsimsel sıcaklık değişimleri ve güneş ışınım miktarı
- Gece ve gündüz döngüsünde dış ortam sıcaklığı değişimleri
- Kullanım suyu veya kolektör sıvısının aşırı ısınma olasılığı
- Kullanım suyu veya kolektör sıvısının donma olasılığı (Şekil 1.9.) olarak belirtilebilir [7].



Şekil 1.9 : Kolektör sıvısının donması durumuna bir örnek [14].

Sistemlerin asgari gereksinimleri genellikle kolektör giriş ve çıkış suyu sıcaklığının en düşük olduğu, yani kış aylarındaki sıcak su miktarı ve sıcaklığına bağlı olarak belirlenir. Sistemin sağlayacağı maksimum kazanım ise yine ihtiyaç doğrultusunda, sistem sıvısı aşırı ısınmayacak ve gereksiz sistem elemanı alımıyla yatırım maliyetini yükseltmeyecek şekilde sağlanabilir. [8].

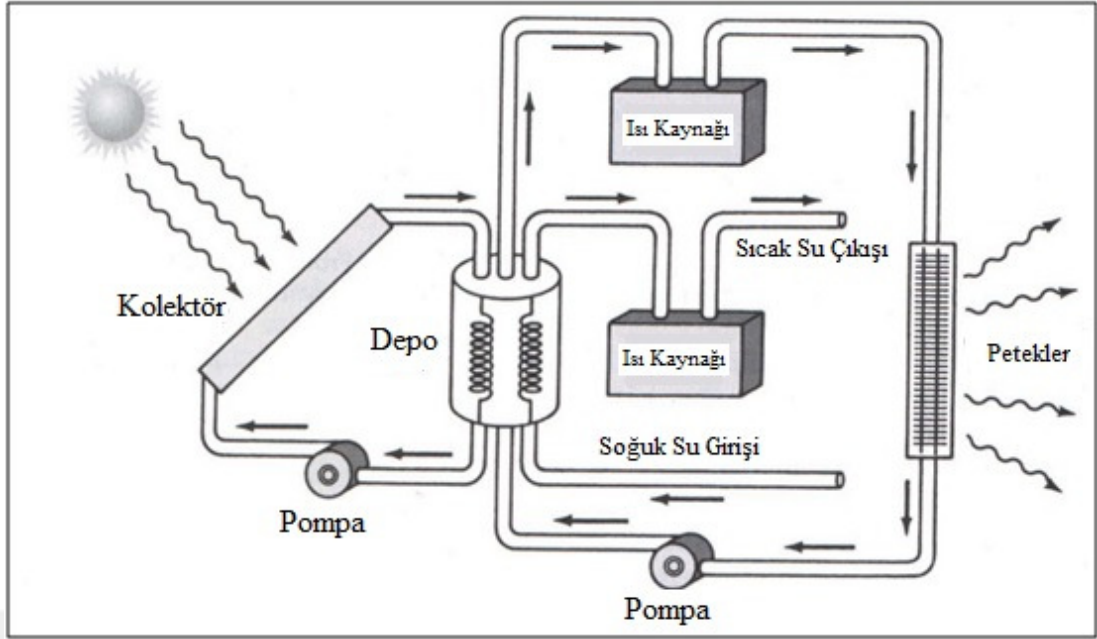
1.2.1 Güneş Enerjisi Su Isıtma Sistemi Çeşitleri

Güneş enerjisi su ısıtma sistemleri genellikle aktif veya pasif sistemler olarak iki ana grupta sınıflandırılır.

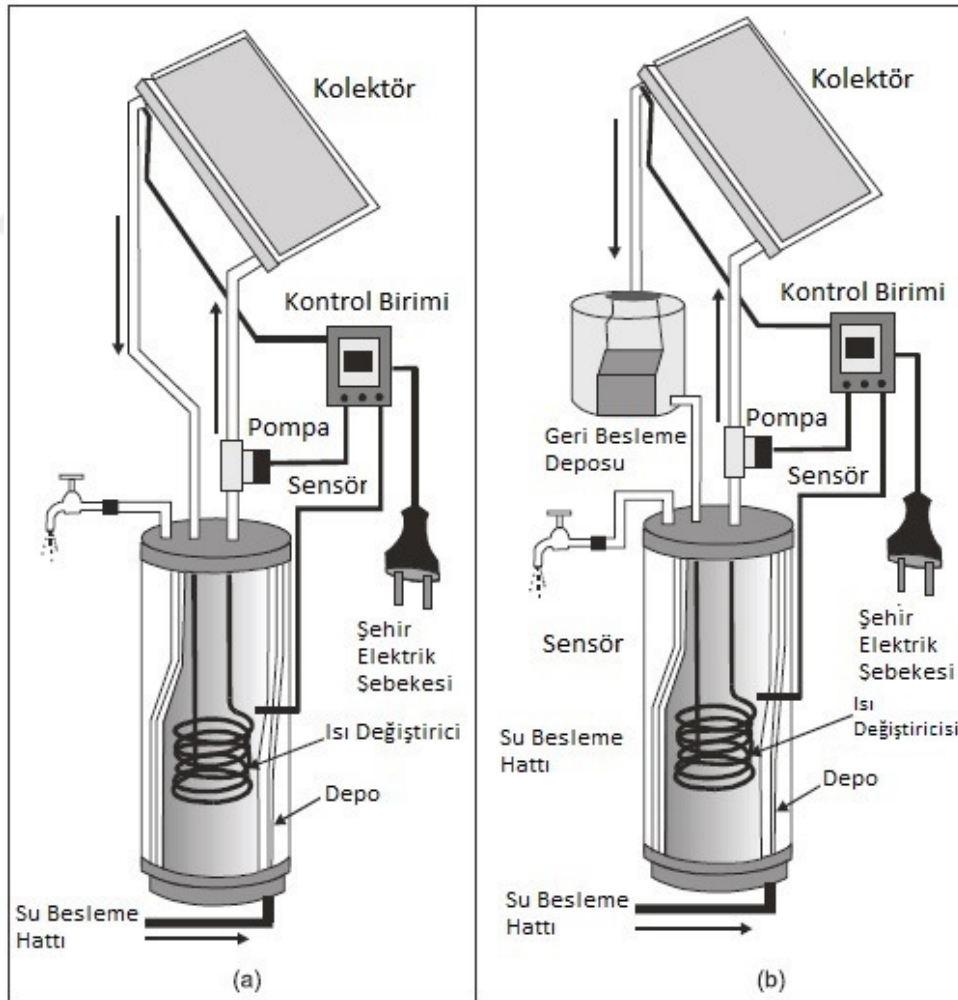
Isıl güneş kolektörleri ayrıca direkt (açık döngü) veya endirekt (kapalı döngü) olarak da nitelendirilirler. Direkt sistemlerde ısıl güneş kolektöründe güneş enerjisi ile ısıtılan su, doğrudan kullanım suyu olarak sisteme verilir. Endirekt sistemlerde ısı transferi akışkanı olarak kolektörlerde ısınan akışkan ısı değiştiricisi yardımıyla ısı enerjisini kullanım suyuna aktararak tekrar kolektöre döner.

1.2.1.1 Aktif ve Pasif Sistemler

Aktif sistemler, sistemin çalışması için dışarıdan bir enerji kaynağı ihtiyacı duyan sistemler olup, güneş enerjisi ile su ısıtma sistemlerinde bu dış kaynak genellikle akışkanın sirkülasyonu için kullanılan elektrikli bir pompadır (Şekil 1.10 ve Şekil 1.11).



Şekil 1.10 : Aktif güneş enerjisi su ısıtma sistemi [15].



Şekil 1.11 : a) Aktif endirekt sistem b) Aktif endirekt geri beslemeli sistem [4].

Aktif indirekt sistemlerin ilk yatırım maliyetleri diğerlerine göre daha yüksek olsa da;

- Depolama tankının kolektörlerden daha alt seviyeye konulabilmesi ile sistem tasarımının daha esnek yapılabilmesini sağlaması ve varsa eski depolama tanklarının kullanılabilmesini mümkün kılması
- Depolama tankının daima görünmeyen/kullanılmayan bir alana yerleştirilebilmesi imkanı sunması
- Depolama tankının kısmen veya tamamen iklimlendirilmiş bölümlere konulabilmesine bağlı olarak ısı kayıplarının minimize edilebilmesi imkanı sunması
- Geri besleme tanklarının kullanılabilme imkanı sunması
- Üst seviye verim sağlaması
- Sistemin daha kontrol edilebilir olması gibi avantajları sebebiyle güneş enerjisi su ısıtma sistemleri arasında yaygın olarak tercih edilen bir modeldir. [16,17].

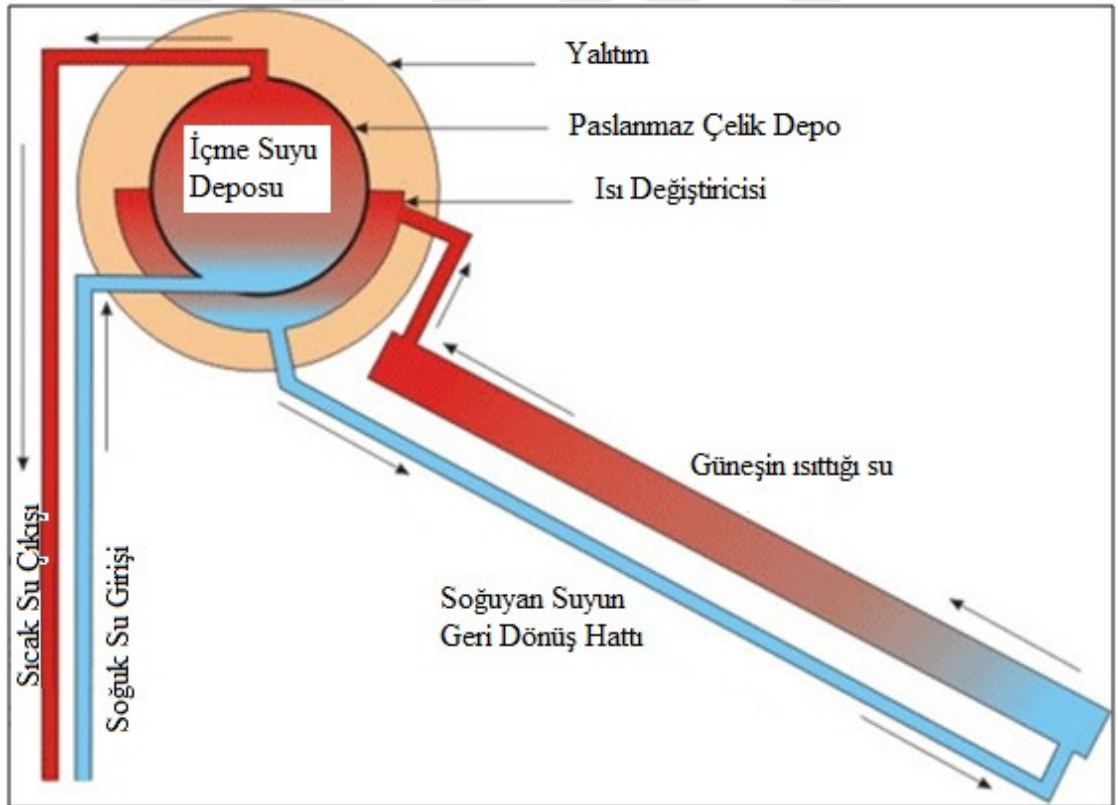
Günümüzde modern aktif ısı güneş sistemlerinde kullanılan elektronik kontrol birimleri, sistemi kontrol eden verilerin güncellenebilmesi ya da sisteme destek olacak elektrik veya doğalgazlı enerji kaynağı ile iletişim kurabilmesi, uzaktan erişim, güvenlik fonksiyonları ya da sıcaklık verilerinin okunabilmesi gibi geniş yelpazede fonksiyonellik imkanı sunan birimlerdir (Şekil 1.12).



Şekil 1.12 : Güneş enerji su ısıtma sistemi kontrol birimi örneği [18].

Yaygın kullanılan kontrol birimi tipi ısıl güneş kolektöründen çıkan akışkan sıcaklığı ile depolama tankı içindeki su sıcaklığı farkını ölçen diferansiyel kontrol birimleridir. Standart bir aktif sistemde kolektördeki su sıcaklığı depo suyu sıcaklığından 8-10°C kadar yüksek olması durumunda pompa devreye girer ve fark 3-5°C seviyesine düştüğünde ise devreden çıkar. Böylelikle kullanım suyunun kolektörden gelen sudan daima bir ısı kazanımı olması sağlanmakla birlikte pompanın sürekli açılıp kapanması engellenmiş olur. Direkt sistemlerde ise ısı değiştiricisi kullanılmadığından, kolektör ve depo suyu sıcaklığı farkı 4°C seviyesine çıktığında sistem aktif hale gelir [4].

Pasif güneş enerjisi ısıtma sistemlerinde su veya ısı transferini sağlayan akışkanın sirkülasyonu tamamen ısıya dayalı taşınım yoluyla sağlanır (Şekil 1.13 ve Şekil 1.14) [19]. Pasif güneş enerjisi ısıtma sistemleri, düşük ilk yatırım maliyetleri ve yok sayılabilecek bakım maliyetleri sebebiyle öne çıksa da aktif sistemler ile kıyaslandığında çok düşük sistem verimliliklerinin yanında aşırı ısınma ve donma gibi risklere karşı korunmasız sistemlerdir [20].

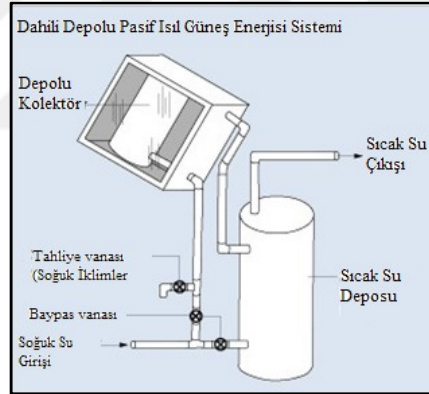


Şekil 1.13 : Pasif sistem akış yönü gösterimi (termosifon sistemi) [18].



Şekil 1.14 : Türkiye’de yaygın kullanılan pasif güneş enerjisi su ısıtma sistemi örneği [21].

Pasif güneş enerjisi su ısıtma sistemlerine bir diğer örnek de Şekil 1.15’te görülen Entegre Depolu Pasif Isıl Güneş Enerjisi Sistemi olarak gösterilebilir.

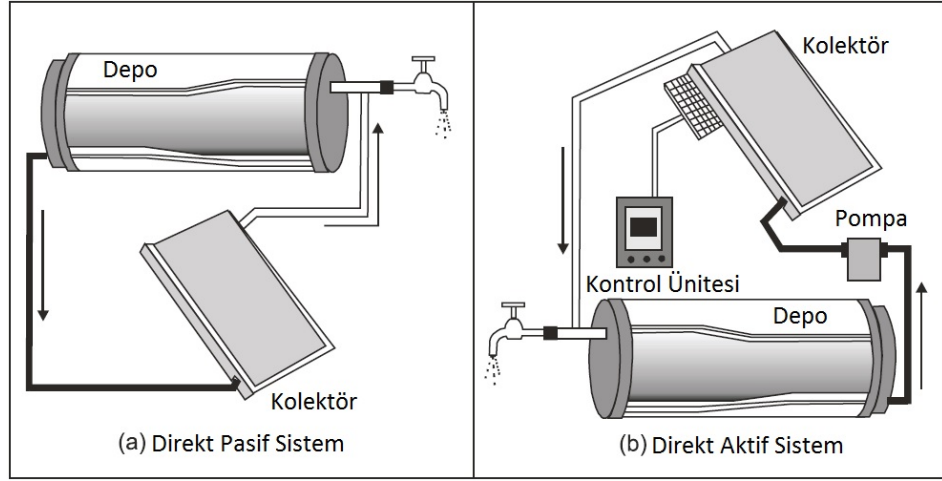


Şekil 1.15 : Entegre depolu pasif güneş enerjisi su ısıtma sistemi [22].

1.2.1.2 Direkt ve endirekt sistemler

Direkt ya da diğer adıyla açık devre sistemler kolektörden çıkan suyu doğrudan kullanım suyu olarak kullanan sistemlerdir (Şekil 1.16). Endirekt sistemlere göre ilk yatırım maliyetleri daha düşük olup, kolektörlerden depolama tankına yüksek verimle ısı transferi sunarlar. Ancak bununla birlikte,

- Aşırı ısınma riskine karşı korunma kabiliyetlerinin olmaması
- Donma riskine karşı korunma kabiliyetlerinin olmaması
- Şebeke suyunun sert olduğu yerlerde kolektörlerde tortu birikmesi gibi dezavantajlara sahiptir [16].



Şekil 1.16 : a) Direkt pasif ve b) Direkt aktif güneş enerjisi su ısıtma sistemi şematikleri [4].

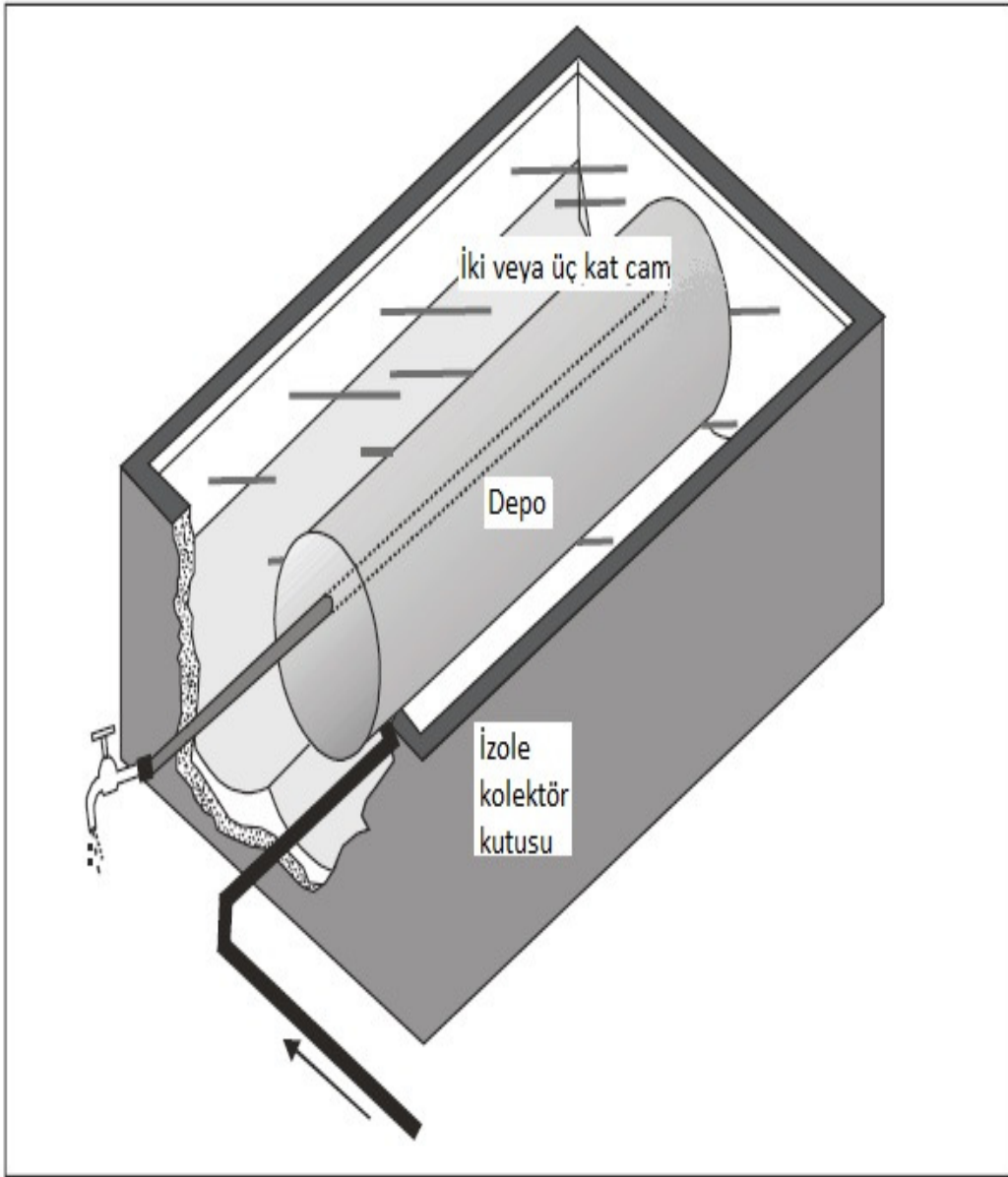
Genellikle soğuk iklimli bölgelerde donma riskinin yüksek olması sebebiyle tercih edilmezler. Çünkü akışkanın donmasına bağlı olarak kolektörün zarar görmesi durumunda kolektörün zarar görmüş bölümlerinden su kaçaqlarına sebep olarak sistemi kullanılmaz hale getirecek ve yüksek bakım maliyetleri oluşacaktır.

Endirekt ya da diğer adıyla kapalı devre sistemlerde, kullanım suyu ile kolektör sıvısını, ısı transferi akışkanını, birbirinden ayıran ve birbirleri arasında ısı geçişi sağlayan ısı değiştiriciler kullanılır. En yaygın ısı transferi akışkanları su ve genelde propilen glikol kullanan antifriz-su karışımlarıdır [23,24]. İlk yatırım maliyetleri yüksek olsa da endirekt sistemler donma ve aşırı ısınma gibi risklerine karşı koruma imkanı sunarlar. Şekil 1.16'da direkt pasif ve direkt aktif (Şekil 1.17) güneş enerjisi su ısıtma sistemlerine ait şemalar sunulmuştur.



Şekil 1.17 : Aktif solar sistem örneği [25].

Entegre depolu kolektör (Integral Collector Storage) sistemleri (Şekil 1.18) hem kolektör hem de depolama görevi gören bir depo kullanır. Bu depo yalnızca üst yüzeyi güneş enerjisi toplama amaçlı camla kaplı, diğer yüzeyleri yalıtılmış bir yapıdan oluşur (Şekil 1.19). Düzlemsel ve silindirik kolektörlerden daha basit yapıda ve daha düşük ilk yatırım maliyetleri ile öne çıkmakla birlikte, büyük depolama biriminin tam dolu olması durumu göz önünde bulundurulduğunda, çatının taşıma kapasitesinin artırılması için oluşan ilave maliyetler handikap oluşturur. Bununla birlikte, özellikle geceleri cam ile kaplı üst geniş üst yüzeyden büyük oranda ısı kaybı yaşanması sebebiyle yalnızca ılıman iklimlerde kullanımı uygundur [26].



Şekil 1.18 : Entegre depolu kolektör sistemi [4].



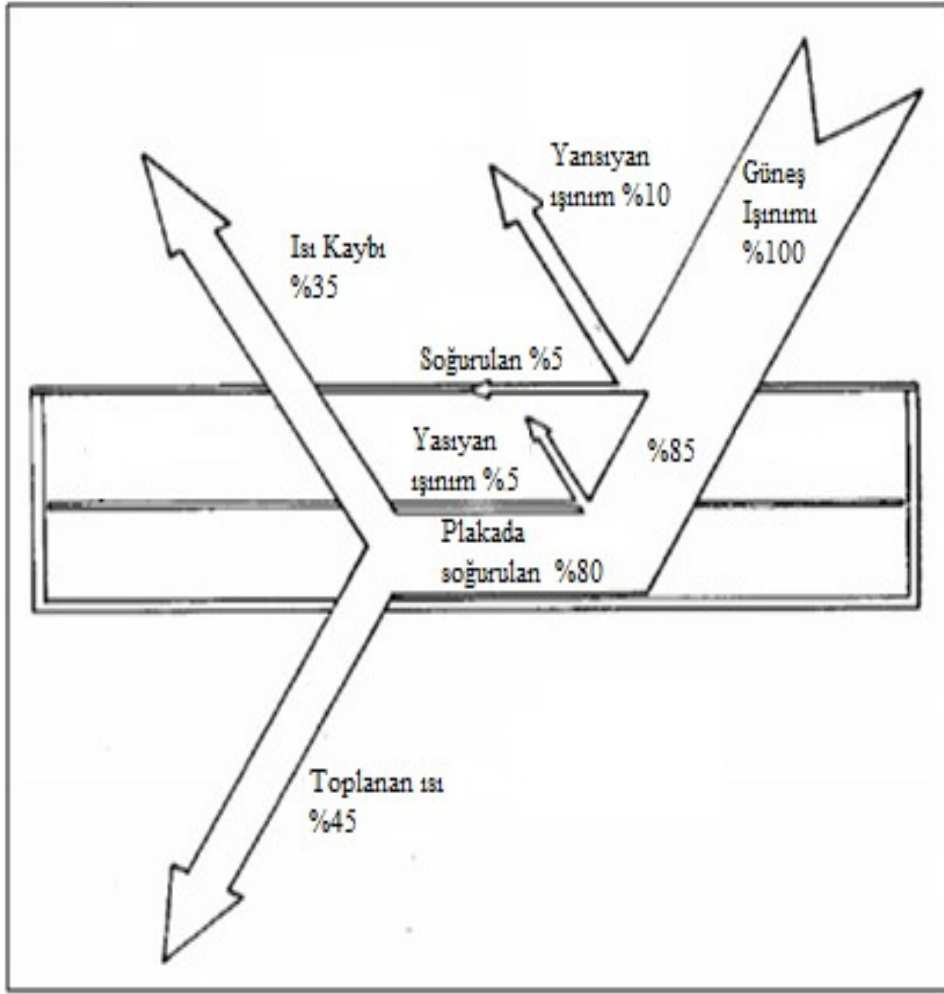
Şekil 1.19 : Entegre depolu kolektör örneği [27].

Konveksiyon yolu ile depolama sistemi, entegre depolu kolektör sistemlerine çok benzemekle birlikte, kolektör ve deponun birbirinden tamamen bağımsız olması sebebiyle deponun iyi bir izolasyon ile korunup ısı kayıplarının minimize edilmesine imkan sağlarlar. Ayrıca ısıl güneş kolektörleri depodan daha alt seviyede olduğundan, gece boyuca soğuyacak sistemdeki soğuk bölüm kolektör içerisinde kalır ve depodaki su sıcaklığının düşmesi engellenmiş olur [8].

1.3 Güneş Enerjisi Toplayıcıları

Isıl güneş enerjisi kolektörleri güneşten gelen ısı enerjisini bir akışkana aktaran birimlerdir. Bu süreçte iki ana fiziksel faktör önem kazanır.

Herhangi bir sıcak cisim belirli bir süre sonra çevresi ile ısıl dengeye ulaşır. Şekil 1.20'de şematiği sunulan ve ısı kaybı ile sonuçlanan bu süreç iletim, taşınım ve ışınım yoluyla ısı transferini doğurur. Bir ısıl güneş kolektörünün verimliliği kolektör yüzeylerinden gerçekleşen ısı kayıpları ile ters orantılıdır [28]. Bu yüzden kolektörler ısıl kayıpların minimize edilmesi amaçlı izole edilmektedirler.

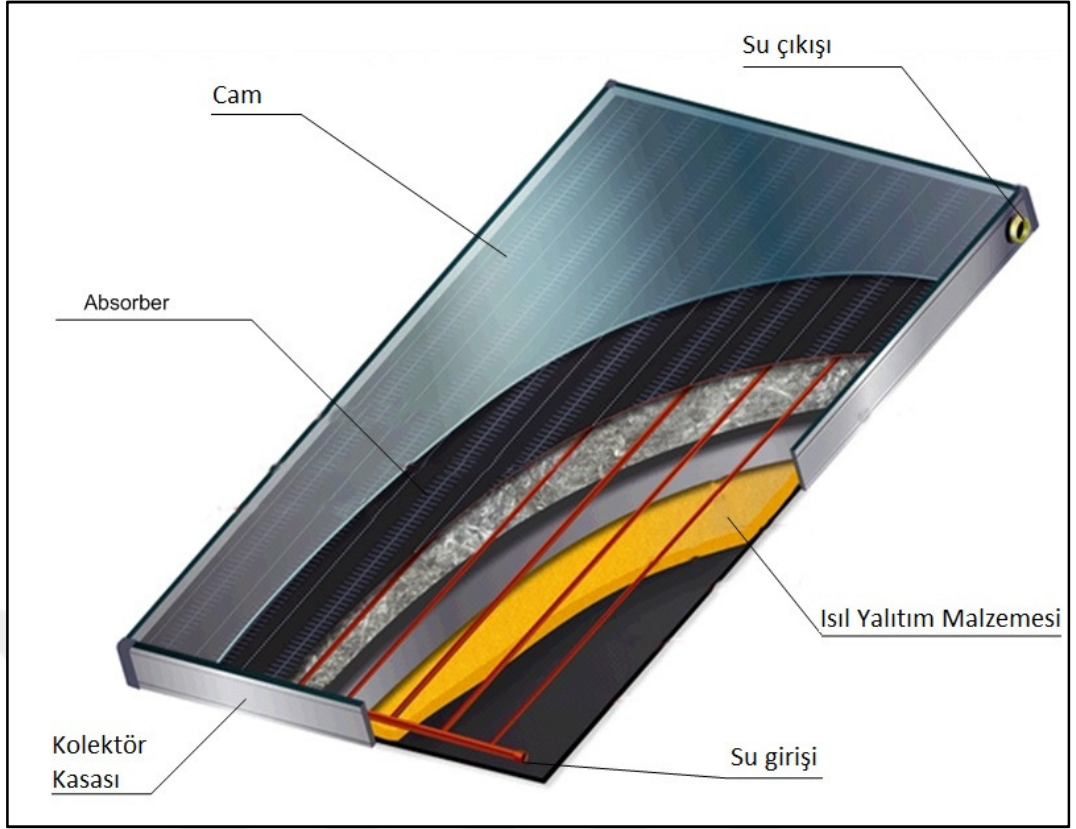


Şekil 1.20 : Kolektöre gelen güneş ısısı akış şeması [29].

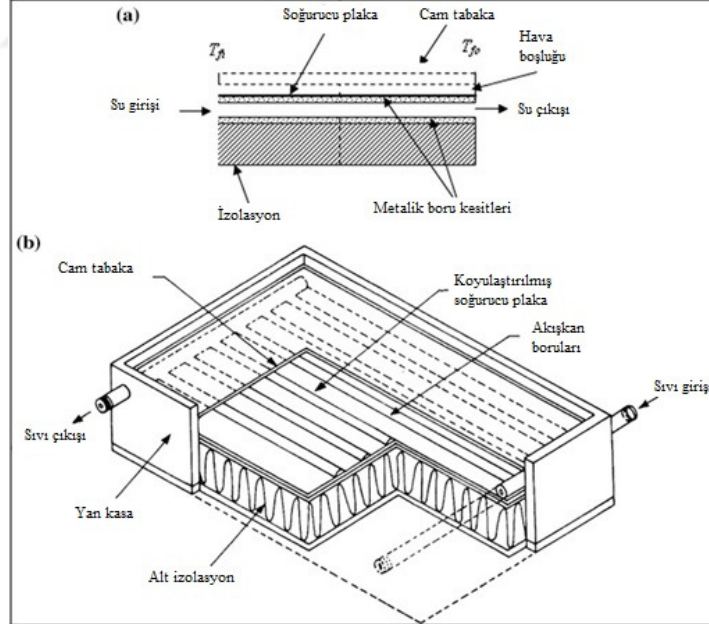
Kolektördeki ısı akış şematığı Şekil 1.20’de sunulmuştur. Bu doğrultuda yüksek verimlilik elde edebilmek için kolektörlerin izolasyonunu artırılması yönünde çalışmalar gerçekleştirilmiştir [30]. Bu temelde çeşitlenen kolektör tipleri düz plakalı, vakum tüplü, yoğunlaştırıcı ve entegre depolu olarak listelenebilir.

1.3.1 Düz Plakalı Kolektörler

Düz plakalı kolektörler güneş enerjisini toplayarak bir akışkana aktaran çeşitli tür ve biçimlerdeki ısı eşanjörleri olup, 60°C-100°C çalışma aralığında en yaygın kullanılan kolektör tipidir. Genellikle birisi üst birisi alt tarafta olmak üzere iki akışkan bağlantısı mevcuttur. Bu iki ana hat birbirlerine çok sayıda dar borular vasıtasıyla bağlanırlar. Isı transferi akışkanı, su veya alkol/su karışımı, kolektörün alt bağlantısından, girişinden, depo veya ısı değiştiricisinden pompalanarak kolektörün içinden geçerek ısınır ve üst bağlantısından, çıkışından, kolektörü terkeder. Şekil 1.21’de düz plakalı kolektör şeması ve Şekil 1.22’de kesit detayı sunulmuştur.



Şekil 1.21 : Düz Plakalı Kolektör [31].



Şekil 1.22 : Düz plakalı kolektör kesiti ve alt elemanları [32].

Düz plakalı kolektörü oluşturan elemanlar incelendiğinde;

Cam / Saydam Tabaka: Düz plakalı kolektörün en üst bölümünde yer alan cam ya da saydam tabakanın görevi, güneş ışınlarının emici yüzeye geçmesine izin verip, alt

bölümündeki emici yüzeyi dış ortamdan izole ederek ısı kayıplarını en aza indirmektedir. Bu bölüm için en yaygın kullanılan malzeme cam olmakla birlikte, genel olarak 0,23-2,6µm aralığındaki kısa dalga boyu için geçirgen, $\geq 2,6\mu\text{m}$ değerindeki dalga boyları için ise opak özellik gösteren malzemeler (Çizelge 1.1) tercih edilir [4]. Plastik film veya levhalar da kısa dalga boyundaki yüksek geçirgenlikleri sayesinde tercih edilen alternatif malzemeler arasındadır [33]. Düz plakalı kolektörlerin hemen hepsinde düşük demir oranına sahip temperli cam kullanılır. Temperli cam, yoğun dolu yağışlarında dahi kırılmadan sorunsuz çalışabildiğinden, düz plakalı kolektörler en sağlam kolektör tipi olarak değerlendirilir. Bir veya birden fazla sayıda cam / saydam tabaka da kullanılabilir.

Çizelge 1.1 : Saydam tabakada yaygın olarak kullanılan malzeme özellikleri [12].

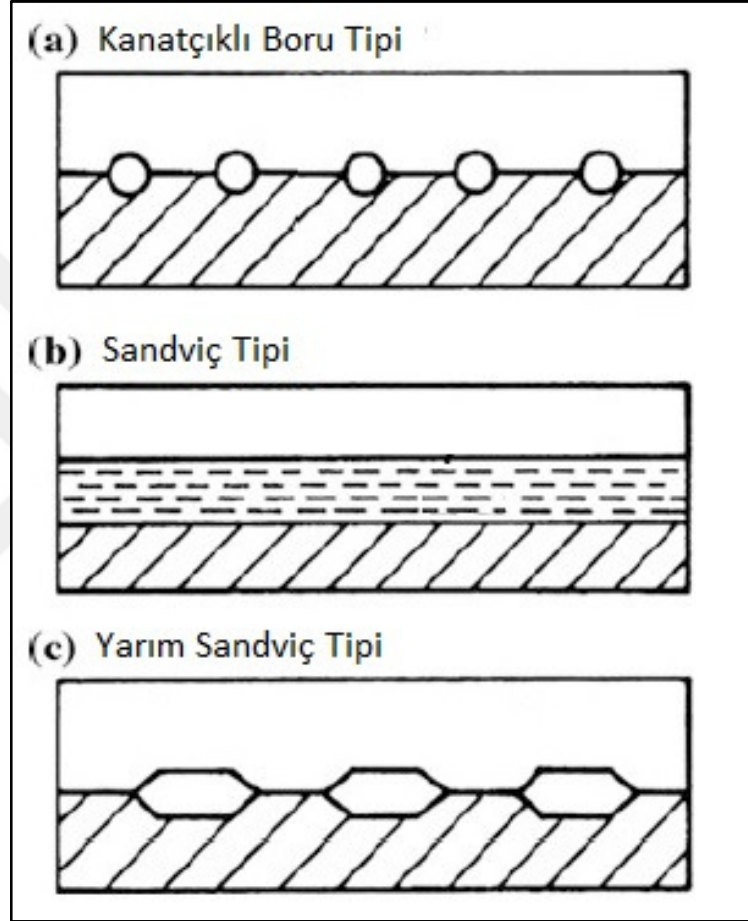
Malzeme	Kalınlık[mm]	Kırma İndisi	Güneş Işınımı	Neşredilen Işınım	Dayanıklılığı [°C]
Lexan	3,2	1,586	0,73	0,02	120-130
Akrilik	3,2	1,49	0,8	0,02	80-90
Teflon	1,34	1,34	0,9	0,26	200
Tedlar	1,45	1,45	0,88	0,21	110
Mylar	1,65	1,65	0,8	0,18	150
Sunlite	1,54	1,54	0,75	0,08	90
Düzgün Cam	1,52	1,52	0,79	0,02	230
Temperli Cam	1,52	1,52	0,79	0,02	230-260

Emici Yüzey ve Akışkan Boruları: Cam/Saydam tabakanın bir alt bölümünde yer alan emici yüzey ve akışkan boruları, emici yüzey ile soğurulan ısı enerjinin akışkana aktarıldığı bölüm olduğundan düz plakalı kolektörlerin en önemli parçasını oluştururlar.

Emici yüzey malzemesi olarak genellikle bakır, alüminyum veya çelik yaygın olarak kullanılmaktadır. Bazı malzemelere ait teknik özellikler Çizelge 1.2’de verilmiştir. Emici yüzey kaplamasının azami ölçüde ısı enerjisi tutabilmesi amacıyla yüksek soğurma katsayısı (α) ve düşük yayma katsayısı (ϵ) değerlerine sahip olması gerekmektedir [4]. Bununla birlikte emici yüzey ve akışkan borularının bulunduğu bölümün yan ve alt yüzeylerinin iyi izole edilmesi, ısı kayıplarının azaltılmasına bağlı olarak verimliliği arttıracığından büyük önem taşımaktadır.

Düz plakalı kolektörlerin su ısıtma uygulamalarında kullanılan akışkan boru geometrisi boru-kanatçık, sandviç, yarım sandviç olarak 3 bölüme ayrılır (Şekil 1.23). Boru kanatçık tipi (Şekil 1.24) düz plakalı kolektörler, bakır gibi yüksek ısı

iletkenlik katsayısına sahip malzemeler kullanılarak evsel sıcak su uygulamalarında (Şekil 1.25), sandviç tipi düz plakalı kolektörler genelde düşük seviye ısı iletkenlik katsayısına sahip plastik malzemeler kullanılarak yüksek debi kapasiteleri sayesinde yüzme havuzu ısıtma uygulamalarında, yarım sandviç tipi düz plakalı kolektörler ise orta seviye ısı iletkenlik katsayısına sahip çelik veya alüminyum gibi malzemeler de genel uygulamalarda kullanılır [4].



Şekil 1.23 : Akışkan hattı geometrisi tipleri.

Düz Plakalı Kolektörlerin ısı kayıpları performansına etkiyen en büyük faktördür. Bu sebeple ısı iletim yolu kaynaklı kayıplar 2 adet cam/saydam tabaka kullanımı ile azaltılabilir, ancak bu da emici yüzeye ulaşabilecek güneş ışınımını azaltacaktır. Bununla birlikte, dış ortam sıcaklığı ile emici yüzey sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkının düşük olduğu ortamlarda, ısı kaybı daha az olacağından tek cam tercih edilirken, sıcaklık farkının yüksek olduğu durumlarda çift cam tabakası kullanımı daha yüksek performans açısından tercih edilmektedir [4].

Çizelge 1.2 : Emici yüzeyde yaygın olarak kullanılan malzeme özellikleri [12].

Kaplama	Alt Tabaka	Güneş Işınım YUtma oranı	Neşretme Oranı	Çalışma Sıcaklığı [°C]	Neme Direnci
Siyah Krom	Bakır	0,95-0,97	0,08-0,14	316	İyi
Siyah Krom	Çelik	0,91-0,97	0,07-0,16	427	Zayıf
Nikel üzeri Siyah Krom	Bakır-Çelik	0,9-0,95	0,09-0,15	427	Çok İyi
Nikel üzeri Siyah Krom	Alüminyum	0,95	0,5		Çok İyi
Siyah Nikel	Çelik	0,89-0,96	0,07-0,17		?
Nikel üzeri Siyah Nikel	Çelik - Bakır	0,87-0,96	0,07-0,10	288	Değişken
Siyah Bakır	Bakır	0,85-0,95	0,10-0,15	200	Zayıf
Siyah Bakır	Al-Ni	0,81-0,93	0,10-0,15		?
Demir Oksit	Çelik	0,85	0,08	427	İyi
Alüminyum oksit	Çelik	0,85-0,95	0,11-0,34	900	?



Şekil 1.24 : Boru kanatçık tipi örneği [34].

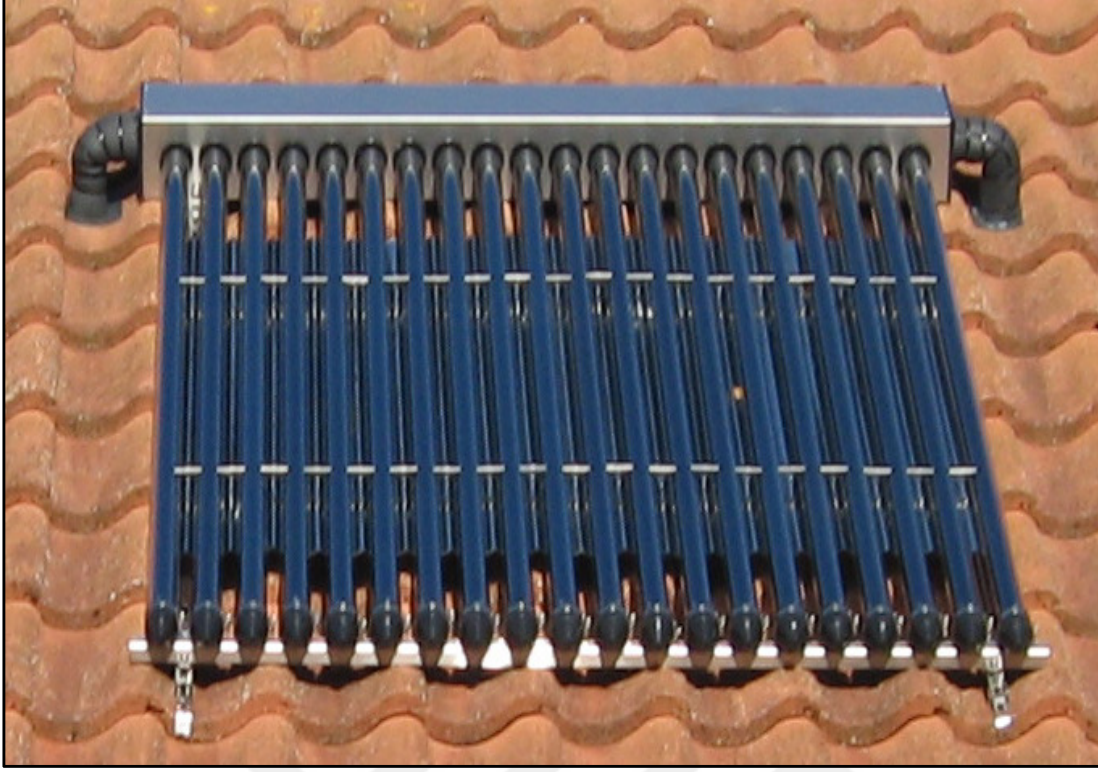


Şekil 1.25 : Düz plakalı kolektör uygulama örneği [35].

1.3.2 Vakum Tüplü Kolektörler

Düz plakalı kolektörlerde yan ve alt yüzeylerin iyi şekilde izolasyon imkanı varken, güneş enerjisini toplayan geniş üst yüzeye bakıldığında, bu alandaki ısı kayıplarının giderilmesi için izole edilmesi mümkün değildir.

Bu kısıtlama bilim insanlarını güneş ışınlımından faydalanılırken aynı zamanda ısı yalıtımın da sağlanabileceği alternatif bir yol arayışına yönlendirmiştir. Sonuç olarak vakum tüplü kolektörler geliştirilmiştir [2]. Vakum tüplü kolektörlere ilişkin örnek şema Şekil 1.26'da verilmiştir.

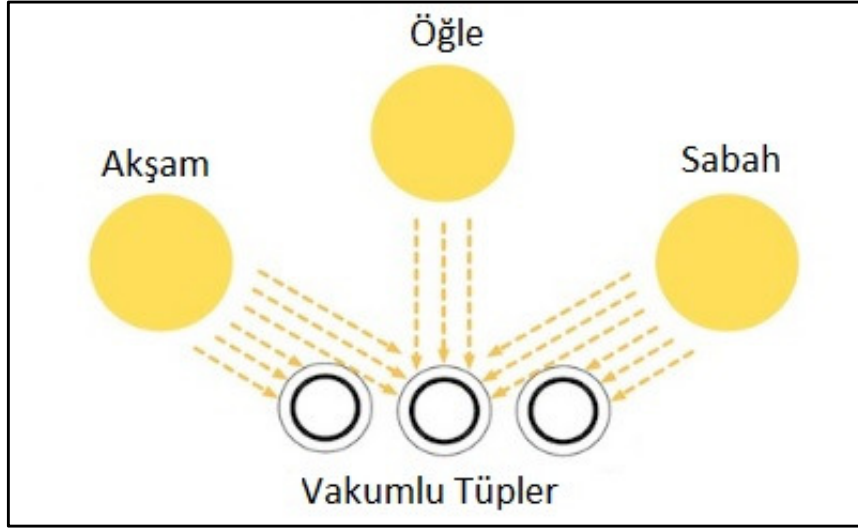


Şekil 1.26 : Vakum tüplü kolektör genel görünüm [36].

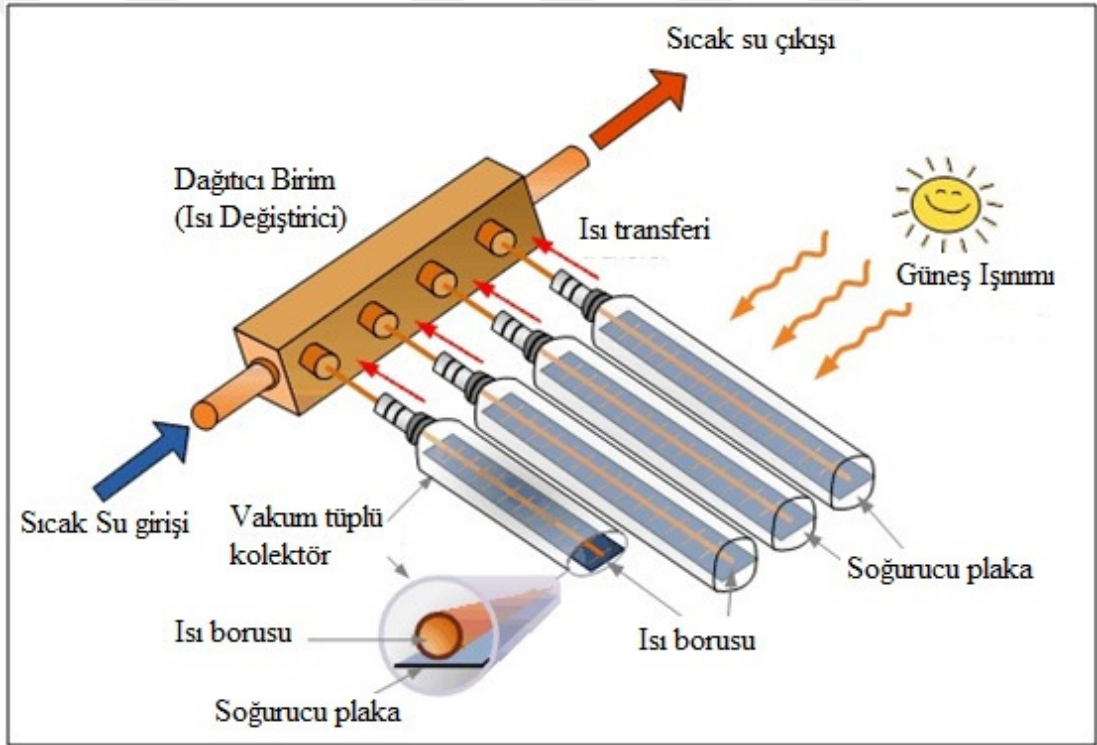
Vakum tüplü kolektör birbirine seri şekilde bağlanmış cam tüplerden oluşur. Cam tüplerin silindirik formda olmasından ötürü güneş ışığı daima yüzeye dik ulaşır. Böylelikle sistem tasarımı içinde pasif bir takip sistemi entegre edilmiştir. Güneş ışınlarının çok düşük açıyla ulaştığı sabah ve akşam saatlerinde bu sayede yüksek bir verimle, evsel ve sanayi amaçlı yüksek sıcaklık ihtiyacı duyulan uygulamalarda yaygın olarak kullanılırlar (Şekil 1.27).

Isı kayıplarının önüne geçilebilmesi sayesinde, vakum tüplü kolektörler (Şekil 1.28) diğer kolektör tiplerine göre 100°C - 120°C gibi yüksek sıcaklıklara ulaşma imkanı sağlar. Absorbsiyonlu soğutma sistemleri gibi yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalarda ihtiyaç duyulan sıcak su eldesi için en çok tercih edilen kolektör tipidir [2].

Bunun yanında, sızdırmazlığı sağlanmış vakum ortamı, özellikle güneşli yaz aylarında, sistem sıcaklığının aşırı yükselmesi ve vakum tüplerinin kırılma riski oluşturmaktadır. Ayrıca kış aylarında, her ne kadar sistem sıcaklığı 50°C mertebesine çıkabilse de vakum tüpünün dış yüzeyi, vakum ortamına bağlı olarak ısınmayacağından, özellikle karlı havalarda günlük yapılması gereken temizlik işlemi de, tüpler için ayrı bir kırılma riski teşkil edecektir [37].



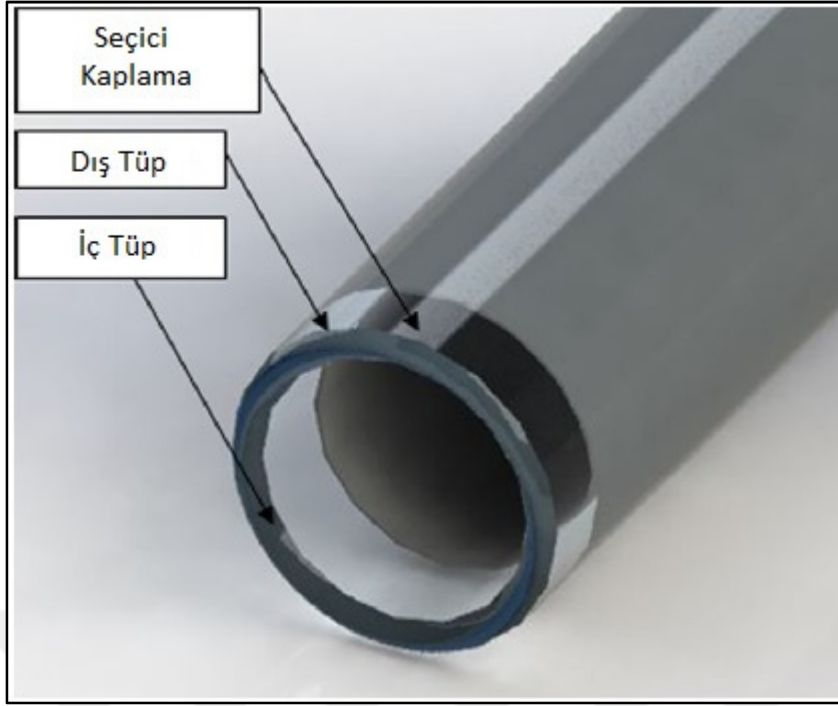
Şekil 1.27 : Vakum tüplü kolektör güneş ışınım şematiği [36].



Şekil 1.28 : Vakum tüplü kolektör çalışma şematiği [37].

Vakum tüplü kolektörleri oluşturan 3 temel alt birim incelendiğinde;

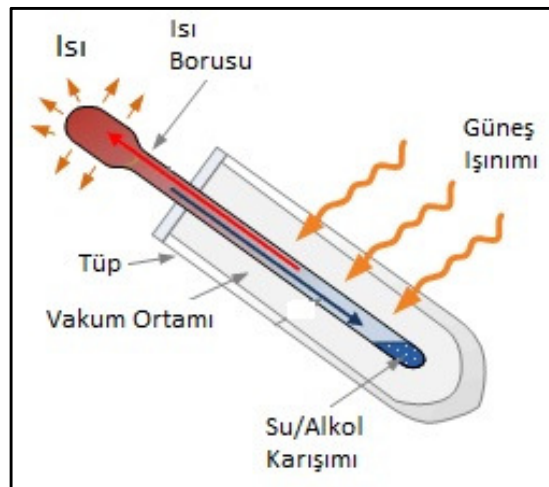
Vakum tüpleri: Vakum tüpleri güneş enerjisinin absorbe ederek kullanılabilir hale getiren birimdir. Her bir tüp genellikle sertleştirilmiş borosilikat (pyrex) malzemesinden üretilmiş olup içerisinde bir emici plaka taşır. İki cam katman arasındaki vakum ortamı sayesinde ısı kaybına karşı yüksek ısı izolasyonu sağlanırken, dış yüzeydeki soğurucu kaplama sayesinde istenilen dalga boyundaki güneş ışınımının emilmesini sağlar (Şekil 1.29).



Şekil 1.29 : Vakum tüpü kesiti [38].

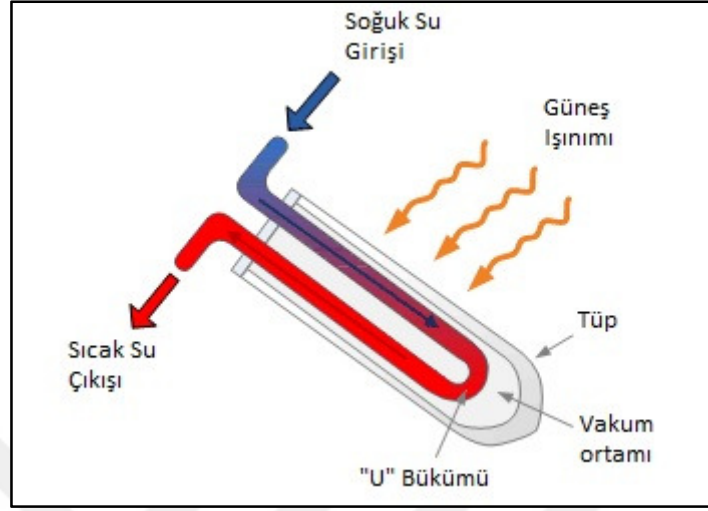
Isı borusu ve soğurucu plaka: Vakum tüpleri içerisinde yer alan ve absorbe edilen güneş enerjisini dağıtıcı birime iletip akışkana aktarılmasını sağlayan birimdir. Genellikle bakırdan yapılan ısı borusu içerisinde vakum ortamı sağlanmış olup içerisinde az miktarda alkol-su karışımı mevcuttur.

Isı borusu içerisindeki karışım güneş enerjisi ile ısınan emici plakadan aldığı ısı ile buharlaşarak borunun üst bölümlerine doğru hareket eder. Dağıtıcı birim içerisinde, gelen suya ısı enerjisini aktarır ve yoğunlaşarak tekrar alt bölüme doğru hareket eder. Böylelikle ısıl döngü sağlanmış olur (Şekil 1.30).

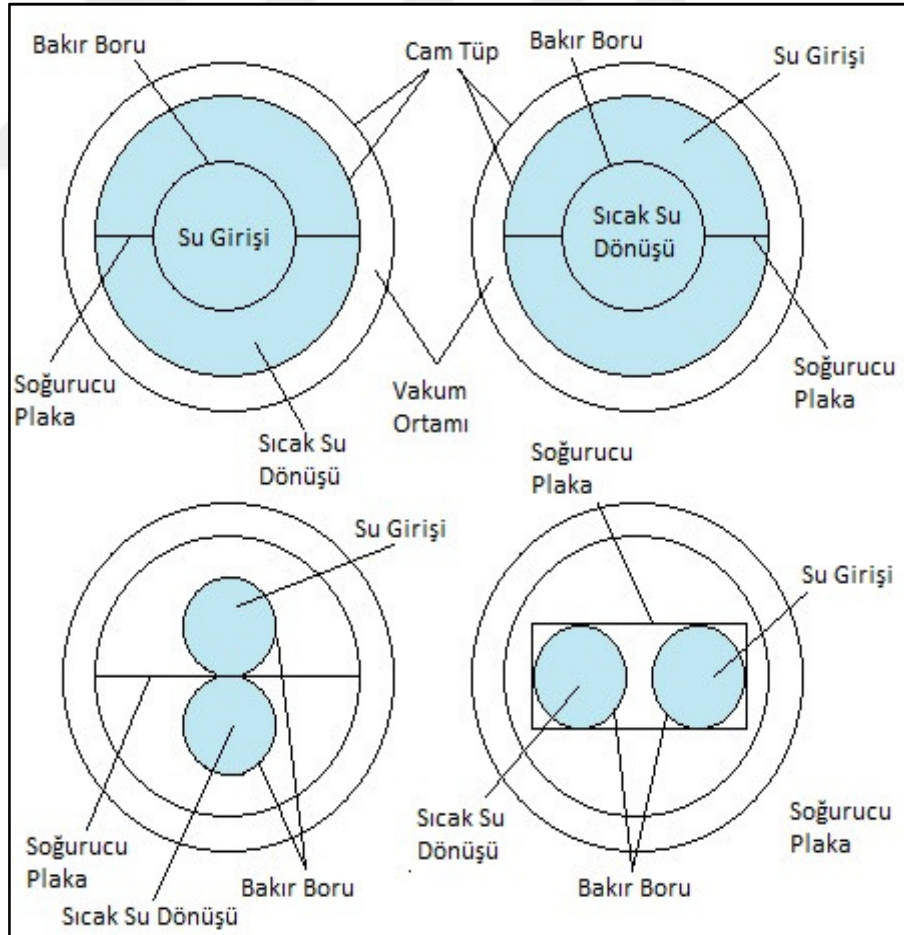


Şekil 1.30 : Isı borusu enerji döngüsü [37].

Bununla birlikte ısı borusu kullanmayıp, içerisinde doğrudan su dolaşımı ile ısı transferi sağlayan kolektör tipleri de mevcut olup, doğrudan akışlı vakum tüplü kolektörler olarak adlandırılırlar (Şekil 1.31 ve Şekil 1.32)

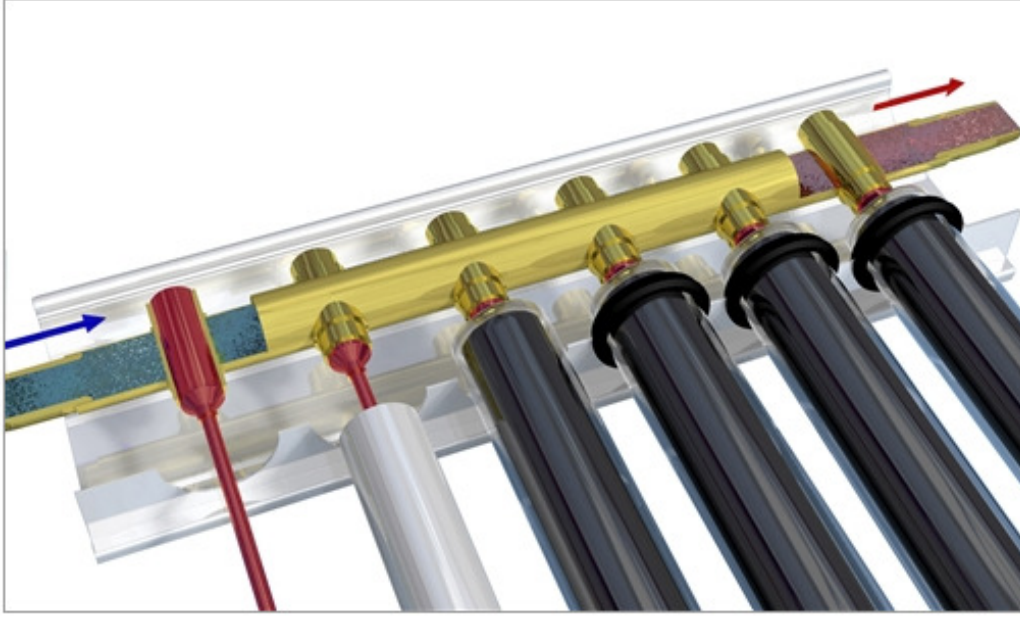


Şekil 1.31 : Doğrudan akışlı vakum tüplü kolektör şematigi [37].



Şekil 1.32 : Farklı kesitlerdeki doğrudan akışlı uygulamalar.

Vakum tüplü kolektörlerdeki akışa ait görsel Şekil 1.33'te sunulmuştur.

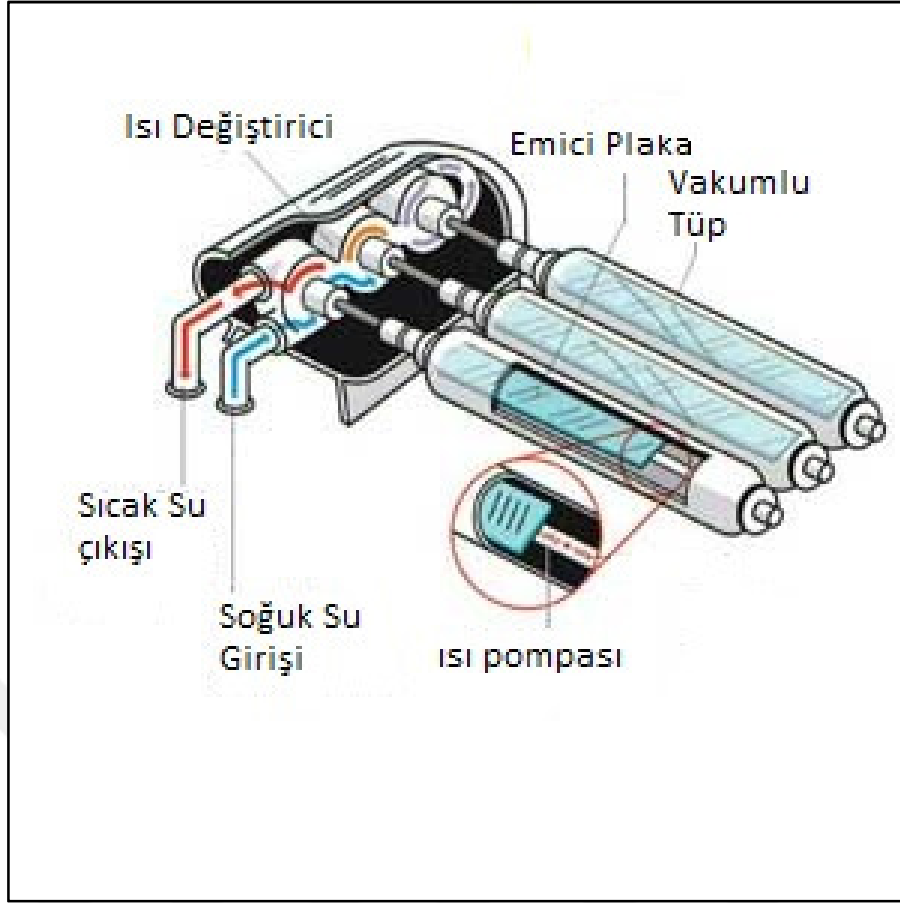


Şekil 1.33 : Vakum tüplü kolektör akış görseli [39].

Dağıtıcı birim (manifold): Vakum tüpleri içerisindeki ısı boruları veya direkt akış ile elde edilen güneş enerjisinin kullanım suyuna aktarıldığı bölümdür. Şekil 1.34, Şekil 1.35 ve Şekil 1.36'da dağıtıcı birime ait kesit şematikleri ve sistem görselleri sunulmuştur.



Şekil 1.34 : Vakum tüplü kolektör dağıtıcı birimi [40].



Şekil 1.35 : Vakum tüplü kolektör dağıtıcı birim akış görseli [41].



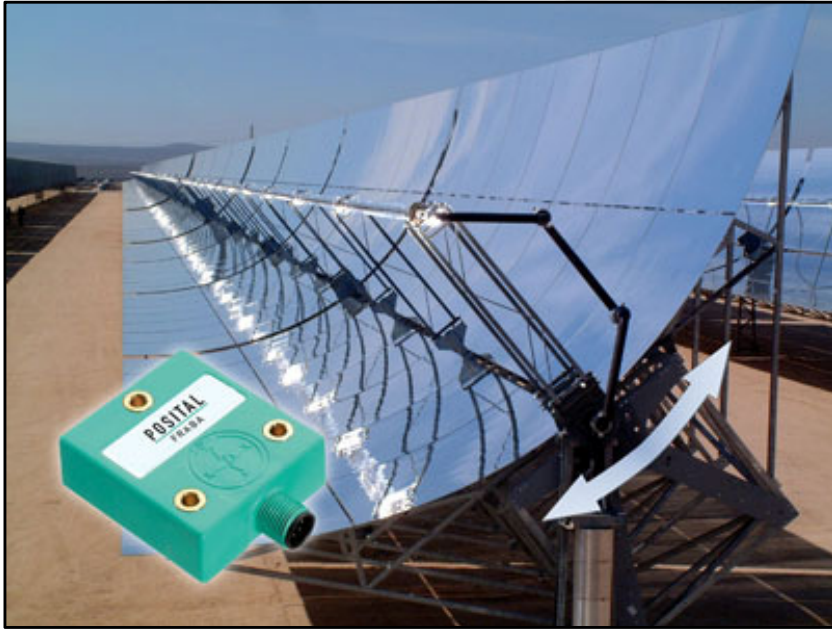
Şekil 1.36 : Vakum tüplü kolektör sistemi rneği [40].

1.3.3 Yoğunlaştırıcı (Odaklayıcı) Kolektörler

Yoğunlaştırıcı (Odaklayıcı) kolektörler güneş enerjisini, emici plakanın bulunduğu bir odak noktasına, yansıtıcı parabolik yüzeyler ile toplayıp yoğunlaştırarak sıcak su elde edilmesini sağlayan sistemlerdir.

İklimlendirme, merkezi enerji üretimi veya yüksek sıcaklıkta su ihtiyacı duyan çeşitli sanayi uygulamalarında diğer kolektör tipleri yeterli sıcaklığa ulaşamamaktadır. Bu yüzden genellikle ısı güneş sistemleri proses ön ısıtma birimleri olarak kullanılmış ardından talep edilen sıcaklığa ulaşılması için diğer ısı kaynaklarının kullanıldığı sistemler tasarlanmıştır. Yoğunlaştırıcı kolektörler, optik olarak güneş ışınlarını belirli bir bölgeye yansıtip odaklayarak çok yüksek sıcaklıklara ulaşma imkanı sunarak bu sistemlere alternatif oluşturmuştur.

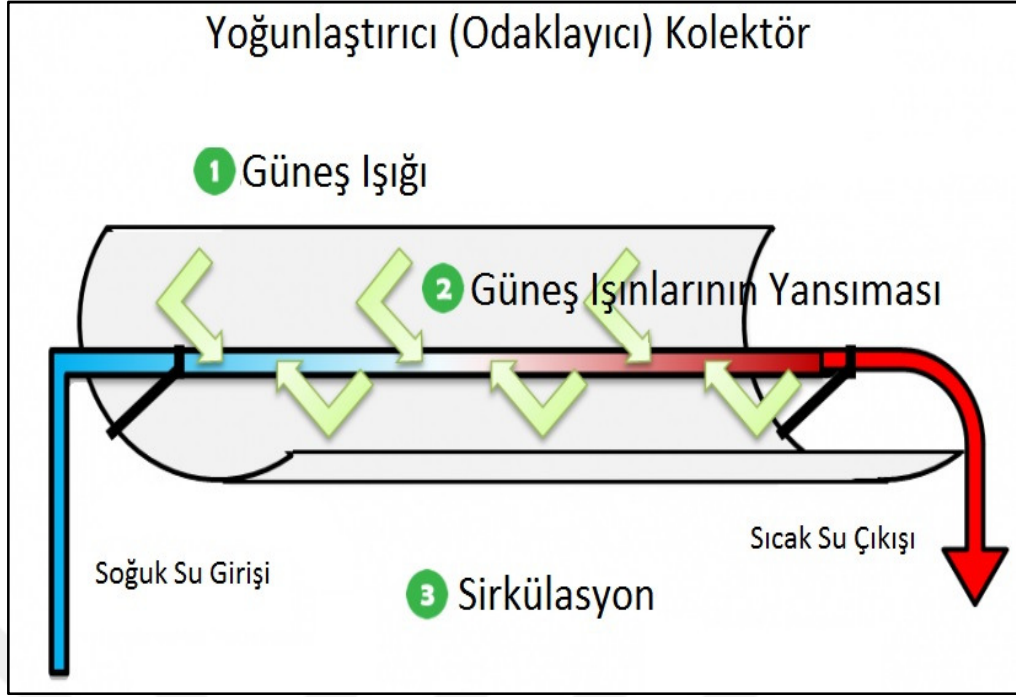
Yoğunlaştırıcı kolektörler ile yüksek verim elde edilmek istenirse, reflektör aynaların güneşlenme süresi boyunca, güneşi yörüngesini takip etmeye yarayan “takip sistemi” ile sistem daha verimli kullanılabilir (Şekil 1.37) [42].



Şekil 1.37 : Yoğunlaştırıcı kolektör takip sistemi örneği [42].

Yoğunlaştırıcı kolektörler genel olarak 3 sınıfta incelenebilir.

- **Parabolik Oluk Kolektörler** : Yaygın olarak kullanılan ve parabolik yapıları (Şekil 1.38) ile güneş enerjisini odak eksenindeki alıcı tüpe aktaran yoğunlaştırıcı kolektör tipidir (Şekil 1.39).



Şekil 1.38 : Parabolik Oluk Kolektör Şematiği [44].

- Genellikle odak ekseninde olmak üzere tek eksenli takip sistemleri ile birlikte kullanılırlar (Şekil 1.40) [43].



Şekil 1.39 : Parabolik oluk kolektörlü güneş enerjisi sistemi [45].



Şekil 1.40 : Parabolik oluk kolektör [46].

- **Parabolik Çanak Kolektörler:** Parabolik yansıtıcılar ilk bakışta büyük uydu çanağına benzemekle birlikte, çanak kolektörlere kıyasla güneş ışınımını bir eksen yerine tek noktaya odaklanmasını sağlayan sistemlerdir (Şekil 1.41).



Şekil 1.41 : Parabolik çanak kolektör örneği [47].

Çanak yansıtıcıların (Şekil 1.42), bilgisayar destekli olarak iki eksende güneşi takip etme yetenekleri mevcuttur. Odak noktasında 1000°C'lık sıcaklık

seviyelerine çıkma imkanı sunarlar. Bu duruma bağı olarak özellikle elektrik enerjisi üretiminde yaygın olarak kullanılırlar. Mevcut sistemler arasında en yüksek verime sahip olan kolektör tipi olsalar da ilk yatırım maliyetlerinin çok yüksek olması en büyük dezavantajlarıdır [47].



Şekil 1.42 : Çanak yansıtıcı örneği [48].

- **Güç Kuleleri:** İki eksenli hareketli aynalar ya da gündüştürücüler (heliostat) yardımıyla güneş ışınlarının, içerisinde sentetik yağ, eriyik tuz ya da hava içeren ve kulenin üst bölümüne yakın konuşlandırılmış bir boyler (alıcı) veya boruya yönlendirildiği sistemlerdir (Şekil 1.43 ve Şekil 1.44).



Şekil 1.43 : Güç kulesi sistemi örneği 1 [50].



Şekil 1.44 : Gündüşürücüler (heliostats) [48].

- Boylerin 500°C seviyesine çıkıp oluşturduğu buhar, bir türbine aktarılır ve elektrik enerjisi üretilmiş olur (Şekil 1.45). Güneşin olmadığı saatlerde elektrik üretimi için ısıl depolama işleminin tuz eriyiğine yapıldığı ısıl depolama yapılan uygulamaları mevcuttur [49].

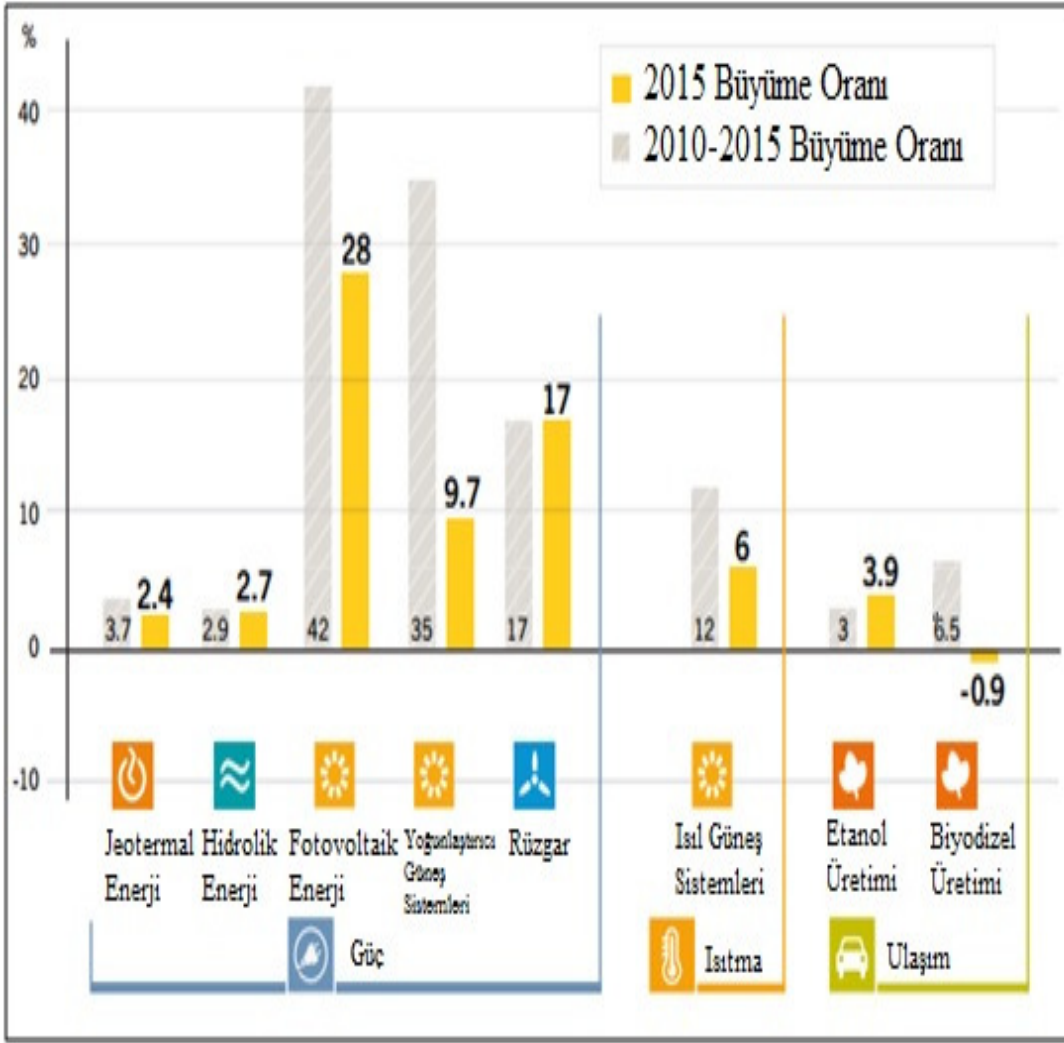


Şekil 1.45 : Güç kulesi sistemi örneği 2 [48].

1.4 Literatür Özeti

Enerji, tüm dünyada hem sosyal hem de ekonomik açıdan gelişimin en önemli unsurudur. Gelişmekte olan ülke yönetimleri artan enerji ihtiyacını ucuz, kesintisiz, güvenilir ve temiz yollardan tedarik etmek için mevcut kaynaklarını çeşitlendirmeye çalışırlar. Günümüzde yaygın olarak kullanılan fosil yakıtların dengesiz dağılımı ve mevcut rezervlerin artan taleple birlikte giderek azalması, alternatif enerji kaynakları kullanımına yönelik çalışmaların artmasına sebep olmuştur [51-53]. Yapılan modellemelerde mevcut fosil yakıt tüketim hızının, doğanın yeni fosil yakıt üretim hızından 105 kat daha hızlı olduğu ve rezervlerin de 2050 yılında tükeneceği öngörülmüştür [54,55].

Yenilenebilir enerji kaynakları özellikle elektrik ve sıcak su üretimi süreçlerinde mevcutta kullanılan fosil yakıtlar ve geleneksel yöntemlere çok güçlü bir alternatif olma kapasitesine sahiptir. Şekil 1.46'da 2010-2015 yılları arasındaki yenilenebilir enerji üretim kapasitesi artış hızı ile yalnızca 2015 yılına ait yenilenebilir enerji kapasitesi artış oranlarını kıyaslayan grafik görülmektedir. 2015 yılına ait bir yıllık gelişme oranının, önceki beş yıla ait toplam gelişme oranından yüksek oluşu, yenilenebilir enerjiyi teşvik eden hükümet politikalarının ve bu konuda artan duyarlılığın göstergesidir.

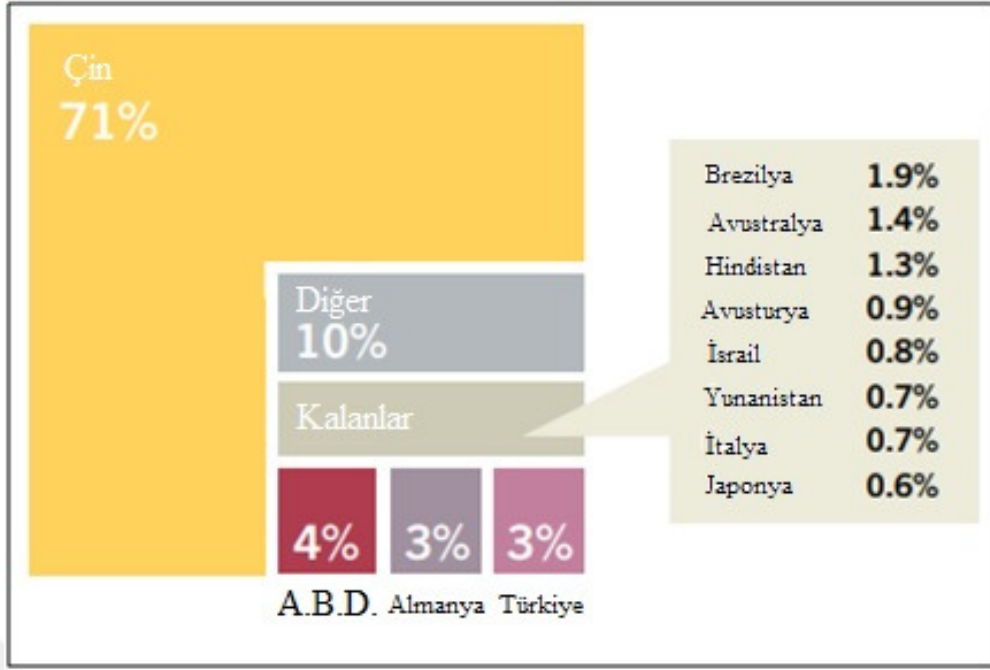


Şekil 1.46 : 2010-2015 yenilenebilir enerji kapasitesi büyüme oranları grafiği [56].

1980 yılından bu yana güneş enerjisi kullanımı yıllık ortalama %30 oranında sürekli olarak artmaktadır [57]. Ayrıca güneş enerjisi ısı, pompası sistemi ile birlikte kullanımına bağlı olarak kendisine farklı potansiyel uygulama alanları da bulmaktadır [58].

Geçtiğimiz 50 yıl boyunca, ısıl güneş sistemi teknolojilerinin birincil uygulama alanı evsel kullanım amaçlı sıcak su elde edilmesi olup, 2014 yılı sonu itibari ile toplam kurulu güneş kolektörü gücünün %64'lük bölümünü evsel sıcak su eldesi uygulamaları oluşturmaktadır [59].

Güneş enerjisi kullanan ülkeler arasındaki kurulu sistemlerin güç dağılımına bakıldığında, Çin küresel lider konumunda olup ardından Almanya, A.B.D., Türkiye, Brezilya ve Hindistan gibi ülkeler gelmektedir. Ülke bazında dünyadaki kurulu güneş enerjisi sistemi kapasite dağılım yüzdesi Şekil 1.47'de sunulmuştur[56].



Şekil 1.47 : Ülkelerin ısı güneş enerjisi kapasiteleri [56].

Ülke hükümetlerinin de teşvik ve desteği sayesinde, büyük ölçekli güneş enerjili su ısıtma sistemlerine yönelik yatırımlar farklı sektör ve uygulama alanlarında sürekli olarak artmakta ve ısı güneş enerjisi kullanımını arttırmaktadır. Evsel sıcak su kullanım ihtiyacı için Güney Afrika’da 2008 yılında kurulan ve günlük 200 m³ sıcak su üretim kapasitesine sahip ve Energyhouse Africa (TAS) tarafından desteklenen ısı güneş enerjisi sistemi (Şekil 1.48) [60], Danimarka’da (Şekil 1.49) belirli bir bölgedeki tüm hanelerin sıcak su ihtiyacını karşılamak amacıyla kurulan ve tekil sistemlere göre ilk yatırım maliyetinin %15-25 daha az olduğu görülen ve 2020 yılına kadar sayısının 100’ü aşması beklenen büyük ölçekli ısı güneş enerjisi sistemleri [61], Mauritius’da bir kumaş boyama fabrikasında (Şekil 1.50) proseste kullanım amacıyla ihtiyaç duyulan sıcak suyun karşılanması amacıyla kurulan ve yıllık 44.000lt’lik fosil yakıt tüketimi ihtiyacını ortadan kaldıran ısı güneş enerjisi sistemi (Şekil 1.50) [62], Tilaran-Kosta Rika’da bir kahve kurutma sistemine entegre edilen toplam 860 m²’lik alana kurulu ısı güneş enerjisi sistemi (Şekil 1.51) [63], 2011 yılında Çin “Jiangsu Printing And Dyeing” firmasında toplam 9.000 m² lik alanı kaplayan ve proses suyu ön ısıtması amacıyla kurulan ısı güneş enerjisi sistemi (Şekil 1.52) [64], Yunanistan’da bir süt üretim fabrikasında proseste kullanılmak üzere ihtiyaç duyulan sıcak suyun eldesi amacıyla kurulan 706 kW’lık ısı güneş enerjisi sistemi [65] gibi birçok farklı uygulama alanında farklı sıcaklıklar için ısı güneş enerjisi sistemleri kullanılmaktadır.



Şekil 1.48 : Güney Afrika’da günlük 200 m³ evsel sıcak kullanım suyu için ısıtıl güneş enerjisi sistemi örneği [60].



Şekil 1.49 : Danimarka’da evlerin sıcak kullanım ihtiyacını karşılamak üzere kurulmuş ısıtıl güneş enerjisi sistemi örneği [61].



Şekil 1.50 : Mauritius, Kumaş Boyama fabrikası proseslerinde kullanılacak sıcak suyun karşılanmasına yönelik kurulan ısıtıl güneş sistemi örneği [62].

Spor salonlarında duş ve lavabolarda kullanım amacıyla ihtiyaç duyulan sıcak suyun ısıtıl güneş enerjisi sistemleri ile karşılanmasına yönelik değerlendirme çalışmaları incelendiğinde; Bai ve arkadaşları, Hong Kong’da yerleşik bir spor salonunun sıcak

su eldesinin ısı kaynağı destekli fotovoltaik-termal sistemler ile karşılanması durumu için TRNSYS ile sistem modellemesi gerçekleştirilmiş olup, fotovoltaik termal birimlerin verimliliğini %76 olarak belirlenirken sistem geri ödeme süresini 10,52 yıl olarak sunmuşlardır [66]. Wang ve arkadaşları, Shenyang JianZhu Üniversitesi spor salonu sıcak su ihtiyacının ısı güneş enerjisi ile karşılanması durumunu ele alıp modelleyerek en verimli kolektör açısı ve doğrultusunun güneşe istikametinde ve 40°-45° eğimle konumlandırıldığında elde edildiğini ortaya koymuşlardır [67]. “Cedro” [68] firması, İspanya’da yerleşik Pavello spor salonunda kullanılmak üzere ihtiyaç duyulan sıcak suyun ısı güneş enerjisi sistemlerinden karşılanmasına yönelik yaptığı çalışmada, günlük 2.200 lt lik sıcak su ihtiyacını toplam 45 m²’lik alanı kaplayan bir güneş kolektörü ile sağlamıştır [69]. Moia ve arkadaşları, Mallorca-İspanya’da bulunan bir spor salonuna ait 16 yıllık ısı güneş enerjisi sisteminin yenilenmesine yönelik yaptıkları çalışmada sistem verimliliğinin artırılabilirliğini incelemiş, kontrol sistemi değişimi, depo kapasitesi artırımı, yüksek verimlilikte ve daha fazla sayıda güneş kolektörü kullanımı ve yeni bir ısı kaynağı kullanımı ile mevcut sistem verimliliğini %14 oranında yükseltebileceklerini, yatırımın geri ödeme süresinin ise 3 yıldan kısa sürede tamamlanacağını ortaya koymuşlardır [70]. Spor salonu sıcak su eldesi ile ilgili yapılan çalışmalara genel olarak bakıldığında, yapılan modellemelerin günlük sıcak su tüketimi varsayımları üzerine kurulduğu, hayata geçirilen projeler ve tasarlanan modellerin de ele alınan salona ait sıcak su ihtiyacının belirli bir bölümünü karşılamaya yönelik olduğu görülmektedir.



Şekil 1.51 : Tilaran, Kosta Rika Kahve kurutma prosesinde kullanılacak sıcak suyun karşılanmasına yönelik kurulan ısı güneş sistemi örneği [63].



Şekil 1.52 : Jiangsu Printing and Dyeing, Çin 9.000 m² alana kurulu proses suyu ön ısıtma amaçlı ısı güneş sistemi örneği [64].

Sürekli artan uygulamalar ile birlikte yapılan inceleme ve çalışmalara bakıldığında, Kaygusuz, ısı güneş enerjisi sistemlerinde enerji depolaması amacıyla malzemenin faz değişimi enerjisi kullanılabilirliğini deneysel ve teorik olarak incelemiş, depolanan enerji ile çıkış suyu sıcaklığı arasındaki değişim süreci izlemiştir [71].

Tsilingiris, orta güneşlilik seviyesindeki bölgelerde evsel kullanım amacıyla ihtiyaç duyulan sıcak su ihtiyacının karşılanmasına yönelik geliştirdiği düşük maliyetli ve büyük ölçekli ısı güneş enerjisi sistemi tasarısını, uzun vadeli kazanımlarıyla birlikte teorik analiz ile destekleyerek sunmuştur [72].

Mohsen ve Akash, Ürdün'de evsel sıcak su ihtiyacının karşılanması amacıyla ısı güneş enerjisi sistemleri ile LPG ve gaz yağı gibi diğer enerji kaynaklarını kullanan ısıtma sistemlerini karşılaştırmış, ısı güneş enerjisi sisteminin ekonomik ve ısı kazanç açılarından diğer sistemlere göre en avantajlı seçenek olduğu göstermiştir [73].

Morrison, boyler karakteristiklerinin termosifon tipi pasif ısı güneş sistemlerindeki etkisini incelemiş, ısı değiştirici karakteristiğinin depo içerisindeki sıcaklık geçişine etkilerini incelemiştir [74].

Kalogirou, evsel kullanım amacıyla depolanmış su sıcaklığındaki değişimleri ve kullanılabilir enerjiyi analiz etmiş, 30'dan fazla deneysel çalışmadan aldığı veriler ile yapay sinir ağı kullanarak yaptığı karşılaştırmada yaptığı öngörü performansına ait hata oranının %7.1-9.7 arasında olduğunu göstermiştir [75].

Kalogirou ve Panteliou, termosifon tipi pasif ısı güneş enerjisi sistemlerinin evsel sıcak su eldesi amacıyla kullanımı örneğini sundukları yapay sinir ağı modeli ile uzun vadeli performans analizi yapmış, test edilen ve modellenen 30 sistemde yaptıkları uzun vadeli öngörü doğrulamışlardır [76].

Diakoulaki, Yunanistan'da ısı güneş enerjisi sistemleriyle mevcut durumda elektrik ve fosil yakıt kullanan enerji kaynaklarını fayda maliyet analiz ile karşılaştırmıştır. Çalışmasının sonucunda ısı güneş enerjisi sistemlerinin kullanılmaya başlanması durumunda sosyal ve ekonomik açıdan fayda sağlayacağı ancak doğal gazın günümüz teknolojisi ile güneş enerjisine göre halen daha avantajlı olduğunu belirtmiştir [77].

Furbo ve Shah, ısı güneş enerjisi sistemlerinde 2 adet cam/saydam tabaka kullanımının güneş kolektörü verimliliğine ve sistemin ısı performansına etkisini değerlendirmişlerdir. Gerçekleştirilen karşılaştırmalı analizlerinde, yansımaz yüzeylere bağlı olarak geçirgenliğin %5-9 oranında artarak kolektör verimliliğini %4-6 arasında arttırdığını görmüşlerdir [78].

Thür, bir ısı güneş enerjisi sisteminin verimlilik ve gerçekleşen kazanımlarını, aynı sistemde kullanılan boylara ait ölçülen ve hesaplanan yakıt tüketim değerleriyle karşılaştırmış, sonucunda yakıt tasarrufu potansiyelinin, güneş enerjisi ile sağlanacak ısı kazanımdan çok daha yüksek olabileceğini sunmuştur [79].

Hobbi ve Siddiqui, Montreal-Kanada'da müstakil bir evin sıcak su ihtiyacının düz plakalı kolektör kullanan endirekt aktif ısı güneş enerjisi sistemi ile elde edilmesi örneğini modellemiştir. Kolektör alanı, akışkan tipi, kolektördeki akışkan debisi, depo hacmi, ısı değişimi verimliliği, soğurucu madde özelliği ve kalınlığı gibi parametreleri TRNSYS ile optimize ederek tasarladıkları sistemin, evsel kullanım ihtiyacının yaz aylarında %83-97'sini, kış aylarında ise %30-62'lik bölümünü karşılayabileceğini göstermişlerdir [80].

Zhao, evsel kullanım amacıyla sıcak su eldesi amaçlı bina yanal yüzeyine entegre bulunduğu ısı güneş enerjisi sisteminin, düşük maliyet ile yüksek verimlilik

sunmasının yanında, fosil yakıt tüketimi ve buna bağlı olarak sera gazı emisyon miktarındaki azalmaları sunmuştur [81-83].

Cassard, Amerika Birleşik Devletleri'nde bir müstakil ev çatısına kurulacak ısı güneş enerjisi sisteminin ekonomik verimliliğini değerlendirmiştir. Ortalama bir konut tüketim verilerine göre, tasarlanan sistemin sıcak su ihtiyacı için harcanacak enerjiyi %50-85 oranında düşürdüğü, 1600-2600 kWh'lık yıllık enerji tasarrufu sağladığını ortaya koymuştur [84].

Ayompe ve Duffy, Dublin-İrlanda'da kurulan ısı borulu vakum tüpü kolektörü kullanılarak oluşturulan ısı güneş enerjisi sisteminin ısı performansını analiz etmiştir. Elde ettikleri veriler doğrultusunda en yüksek sistem çıkış sıcaklığı 70,3°C ölçüldüğünde deponun en alt seviyesindeki sıcaklığın 59,5°C olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca sistemin yıllık enerji ihtiyacının %33,8'ini karşılarken, kolektör verimliliğinin %63,2 ve sistem verimliliğinin de %52 olduğunu belirtmişlerdir [85].

Artan kurulu kapasite değerleri ile birlikte ısı güneş enerjisi sistemlerine yönelik çok sayıda çalışma yapıldığı görülmektedir. Yapılan çalışmalar genel olarak sınıflandırıldığında; sistemi oluşturan elemanlara ait yerleşim, ölçüsel seçim, verimlilik, optimizasyon, yapıya entegre sistemler, coğrafi konum ve iklim etkilerine yönelik çalışmalar [71, 74, 80, 86-94, 114-116], sistemin ısı performansı ve model öngörüsü çalışmaları [74-76, 78, 80-83, 88, 91, 93-100, 112-113], gerçek ölçüm sonuçları ve modelleme çıktıları karşılaştırılarak yapılan, doğrulama ve uygunluk değerlendirmesi bazlı çalışmalar [72, 74-76, 78, 81, 83, 88, 90-92, 95-98, 100-103, 106-111], ısı güneş enerjisi sistemlerinin yaygınlaştırılması ve enerji piyasasındaki yerine yönelik yapılan çalışmalar [78-79, 84, 104-105] olarak ayrıştırılabilir.

1.5 Tezin Amacı ve Yöntem

Bu çalışmanın amacı, bir üniversite spor kompleksinde ihtiyaç duyulan sıcak su ihtiyacının güneş enerjisinden eldesini değerlendirebilmek amacıyla farklı modelleme ve analiz programları kullanılarak bir örnek olay çalışması gerçekleştirmektir.

Yapılan durum çalışması için İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Spor Salonu seçilmiştir. Doğru bir sistem modellemesi yapabilmek amacıyla analize girdi oluşturan tüm veriler son bir yıl içinde gerçekleşen değerlerden alınmıştır.

Spor salonunda ihtiyaç duyulan sıcak suyun güneş enerjisi kullanılarak elde edilmesi için yapılacak analizde tez çalışması sürecinde deneysel veri alınamaması sebebiyle, F-chart, TRNSYS ve SAM gibi yaygın olarak kullanılan üç ayrı modelleme yazılımı ile analiz edilmesinin uygun olacağı değerlendirilmiştir. Güvenilirliğini kanıtlamış üç farklı yazılım ile yapılan analiz çalışmasının, spor salonunda ihtiyaç duyulan sıcak suyun ısıl güneş enerjisi sistemi ile karşılanmasına yönelik modeli daha güvenilir kılacağı ve yapılacak değerlendirme doğruluğunu arttıracaağı dşnlmştir.

Isıl güneş kolektörleri için kullanılabilcek çatı yüzeyi alanı uydu görüntülerine bağlı olarak “SketchUp” programı ile modellenerek gerçekçi ve uygulanabilir bir sonuç elde edilmeye çalışılmıştır.

Çalışma sonucunda İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Spor Salonu’na ait sıcak su ihtiyaının ısıl güneş enerjisi ile karşılanması için düşük yatırım maliyeti ile temiz ve yenilenebilir enerji kullanımı mevcut sisteme entegre edilebilirliğine ve yenilenebilir enerji kullanımının önemine dikkat çekilmeye çalışılacaktır.



2. SİMÜLASYON YÖNTEMİ

2.1 F-CHART

“F-chart”, 1975’ten beri ısı enerjisi analizi yazılımları yapan “F-chart Software” firmasına ait ve firma yöneticisi ve F-chart metodunun geliştiricileri S.A. Klein ve W.A. Beckman tarafından yazılmış, güneş enerjisi sistemi analiz ve tasarım programıdır.

Programın kütüphanesinde mevcut bilgiler doğrultusunda düz plakalı, vakum tüplü, yoğunlaştırıcı kolektörler ile birlikte tek veya iki eksenli güneş takip sistemi seçimi yapılabilmektedir [117].

Ayrıca, yapılacak analiz ve modellemenin doğruluğunu arttırmak ve kullanıcıya yardımcı olmak adına programda tanımlı çeşitli sistemler mevcuttur. Aktif evsel sıcak su sistemi (Active Domestic Hot Water), akışkan yataklı depolama ve evsel sıcak su eldesi (Pebble-Bed Storage Space & DHW), ısı enerjisinin bir depoda tutulduğu sistemler (Water Storage Space & DHW), ısı depo sistemleri (Building Storage), pasif ısı kazanım sistemi (Passive Direct Gain), hem kolektör hem depolama görevi gören duvardan oluşan pasif sistem (Passive Storage Wall), havuz ısıtma sistemi (Pool Heating), belirli bir sıcaklığın üzerini beslemek üzere kullanılan genel ısıtma sistemleri (General Heating System), dahili depolama birimli kolektör sistemleri (Integral Collector Storage) gibi birçok uygulama ve amaca uygun olarak sistem seçimi imkanı verilmektedir [117].

Bununla birlikte, F-chart sisteme ait gerekli parametreler girildikten sonra, nakit akışına bağlı ömür devri boyunca ekonomik analiz yapılabilmesi, 300’den fazla lokasyona ait iklim verilerini kütüphanesinde barındırması, ihtiyaç durumunda iklim verilerinin aylık bazda değişkenlik imkanı ile sisteme eklenebilmesi, iki eksenli eğim açısının düzenlenebilmesi, hem İngiliz ve SI birimleri ile çalışabilmesi ve Windows işletim sisteminin tüm versiyoları ile çalışabilmesi gibi büyük avantajları sebebiyle dünyada hem akademik hem de ticari amaçlı yaygın olarak kullanılmaktadır [117].

Şirketin eğitime verdiği destek ve özveri doğrultusunda akademik çalışmaları desteklemek amacıyla kullanılacak akademik lisansları mevcut olup, web adresi üzerinden firma ile iletişim kurulabilir [117].

F-chart kullanımına ait detaylı bilgi Ek-A'da sunulmuştur.

2.2 SAM (System Advisor Model)

SAM, Amerikan Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı'nın finansal desteği ile geliştirilmiş, yenilenebilir enerji sistemlerinin performans ve ekonomik verilerinin hesaplanmasını sağlayan bir programdır.

SAM, yenilenebilir enerji sistemleri için araştırmacılar, proje yöneticileri, ekipman üreticileri gibi farklı gruplar tarafından finansal, teknolojik ve yatırım değerlendirmesi amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır [118].

SAM programı fotovoltik sistemler, yoğunlaştırıcı kolektörlerden oluşan güneş enerjisi sistemleri, ısı güneş enerjisi sistemleri, rüzgar enerjisi sistemleri, jeotermal enerji sistemleri, biyokütle enerjisi sistemleri ve konvansiyonel güç sistemleri gibi birçok alanda performans analizi yapma yeteneğine sahiptir. Finansal modelleme bölümünde tasarlanan projede elektrik enerjisi satışı veya satın alınması durumları için lokasyona ait standart birim fiyatları sunmakla birlikte, varsa satış sözleşmesine ait anlaşılan bir birim fiyat verisi de kullanıcı tarafından sistem verisi olarak girilebilmektedir [118].

SAM'in Microsoft Excel sayfalarından veri okuyabilmesi, tüm yenilenebilir enerji kaynakları için modelleme ve analiz yapabilmesi, yazılım geliştiricileri için sunduğu yazılım geliştirme kiti (SDK) sayesinde SAM simülasyonlarının yazılımcının kendi C/C++, C#, Java, Python ve MATLAB gibi uygulamalarında da kullanılabilmesi gibi avantajları sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır [118].

Programaya ait web adresi üzerinden SAM ve SDK programlarına ait kurulumlar ücretsiz olarak tedarik edilebilmektedir [118].

SAM programı kullanımına ait detaylı bilgi Ek-B'de sunulmuştur.

2.3 TRNSYS (Transient System Simulation Tool)

TRNSYS, “Thermal Energy System Specialists, LLC” firmasına ait, sürekli olmayan bir sistem davranışını esnek grafik tabanlı arayüzü ile benzetim yapan bir programdır.

TRNSYS, literatürde çok geniş olarak ısı ve elektrik enerjisi sistemlerinin simülasyonu ve performans değerlendirilmesi için kullanılsa da, aynı başarı ile trafik akışı veya biyolojik gelişmeler gibi farklı dinamik modeller için de başarı ile kullanılabilir [119].

TRNSYS programı iki bölümden oluşmaktadır. Bunlardan ilki kullanıcı girdilerini alıp işleyerek, sistemi tekrarlayıp çözen, sistem değişkenlerini çizdiren çekirdek birimdir. İkincisi ise, sistem komponentlerini oluşturan geniş kütüphanesidir. Standart bir kullanım paketi ile birlikte gelen kütüphane verileri arasında pompalardan çok bölmeli binalara, rüzgar türbinlerinden elektrolizörlere, iklim verisi işlemcilerinden ekonomik rutinlere, standart iklimlendirme elemanlarından yeni geliştirilen teknolojik elemanlara kadar geniş bir yelpazede yaklaşık 150 model bulunmaktadır [119].

TRNSYS, 35 yıllık ticari bir geçmişi ve tecrübesi ile geniş kullanıcı tabanlı ve esnek modelleme yapısı sayesinde, merkezi bina modellemesi, bina modellemesi, ısı güneş enerjisi sistemleri, ısı transferi sistemleri, yüksek sıcaklık güneş enerjisi sistemleri, jeotermal ısı pompası sistemleri, biyokütle ve kojenerasyon gibi güç santrali sistemlerinde, yeni teknoloji ürün değerlendirmelerinde, hidrojen yakıtlı pili sistemlerinde, rüzgar enerjisi ve fotovoltaik sistemler gibi farklı uygulama alanlarında araştırmacılar ve ticari amaçlı kullanıcılar tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır [119].

TRNSYS programına ait ücretsiz demo kurulumuna ve program ile ilgili detaylı bilgilere web adresi üzerinden erişilebilmektedir [119].

TRNSYS programı kullanımına ait detaylı bilgi Ek-C’de sunulmuştur.



3. KOMPLEKSİN BULUNDUĞU LOKASYONDA GÜNEŞ DEĞERLERİ VE SICAK SU TÜKETİMİ

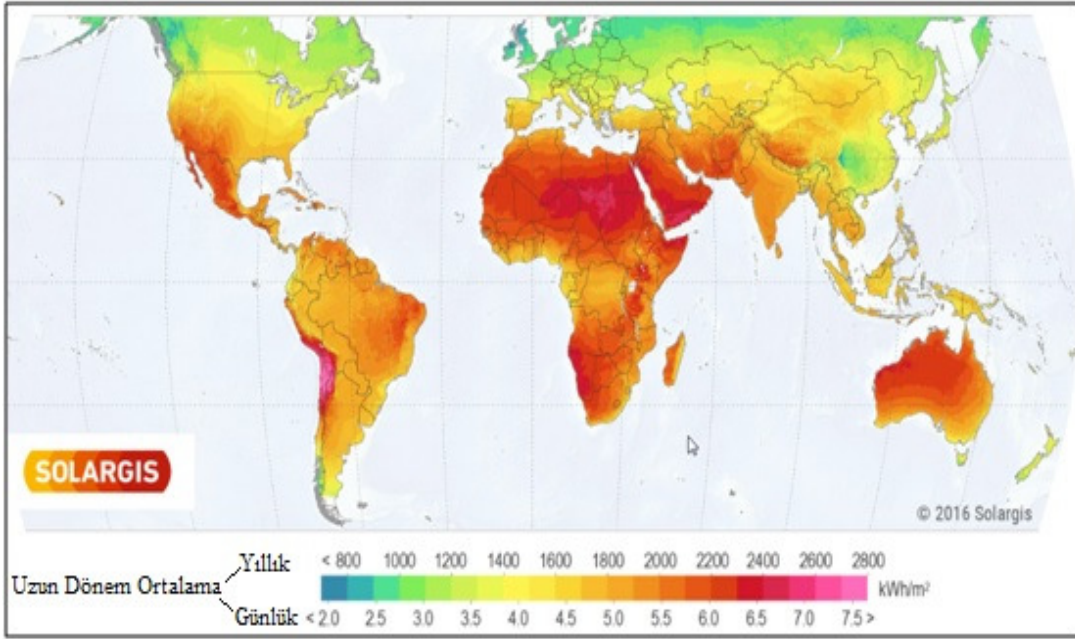
Örnek olay çalışmasında ele alınacak olan İTÜ Ayazağa Spor Salonu 41.103069 Kuzey enlemi ve 29.021407 Doğu boylamında yer almaktadır. Çalışmanın yapılacağı güneşlenme değerleri için TRNSYS, F-Chart ve SAM programlarının kütüphanelerinde tanımlı İstanbul iline ait hava verileri kullanılmış olmakla birlikte, İstanbul-Sarıyer'e ait detay güneş enerjisi verileri bölüm 3.1'de sunulmuştur.



Şekil 3.1 : İTÜ Ayazağa spor salonu konumu.

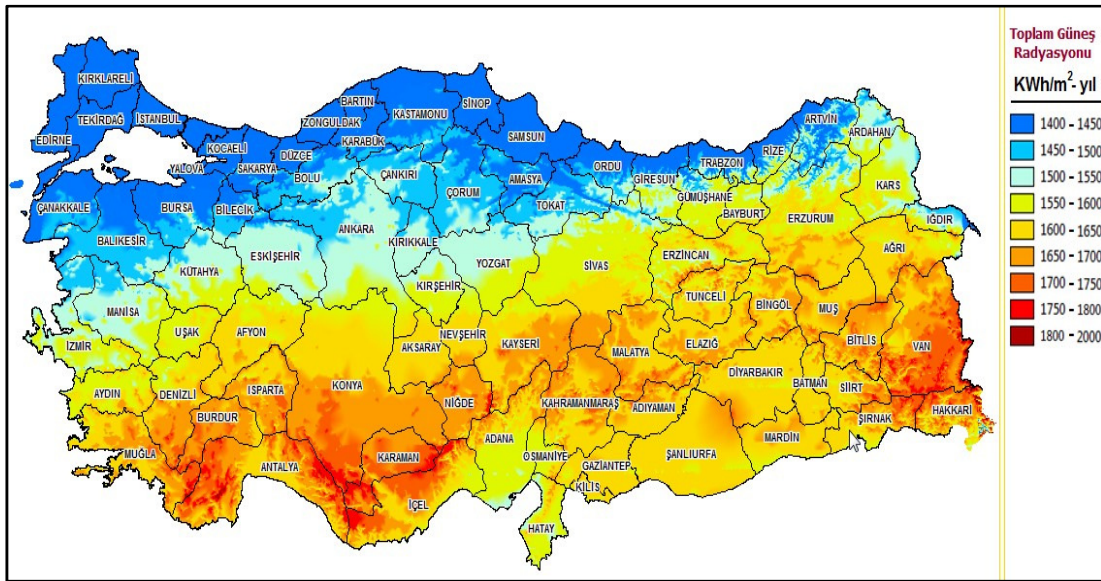
3.1 Lokasyonda Güneş Enerjisi Değerleri

Türkiye her ne kadar Mısır, Şili, Suudi Arabistan, Libya, Çad (MENA bölgesi) gibi yüksek güneş ışınımı yoğunluk değerlerine sahip olmasa da, coğrafi konumu sebebiyle birçok ülkeye kıyasla güneş enerjisi potansiyeli olarak avantajlı konumdadır (Şekil 3.2).

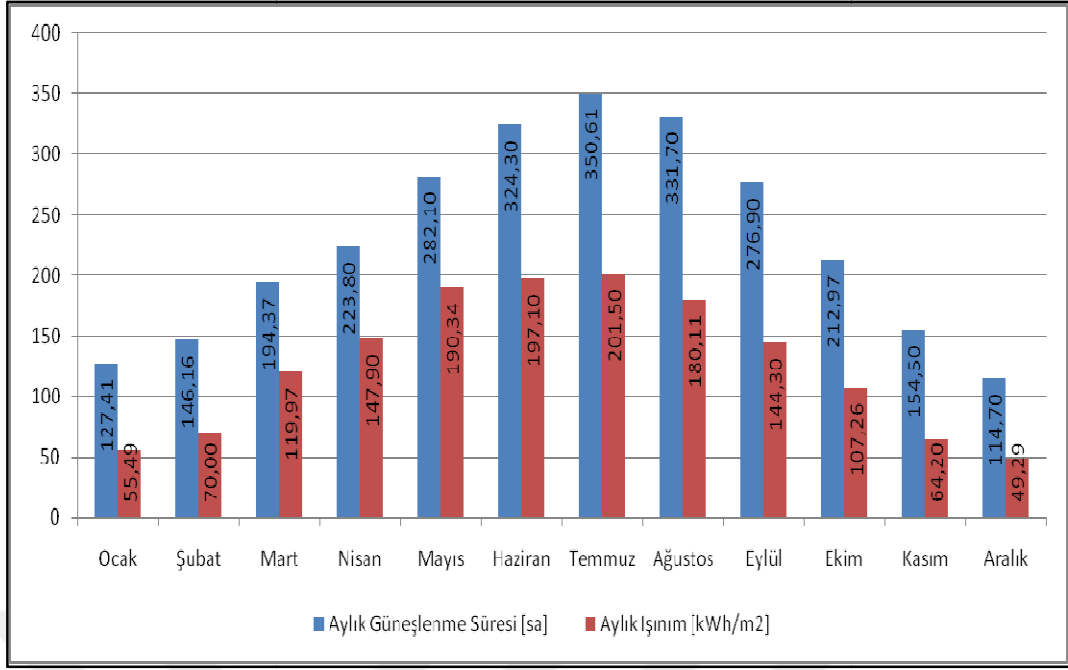


Şekil 3.2 : Küresel ışınım haritası [120].

“ESRI Solar Radiation Model” ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nde (DMİ) mevcut 1985–2006 yılları arasında ölçülen güneş ölçüm değerleri kullanılarak oluşturulan ülkemize ait güneş enerjisi potansiyel atlası Şekil 3.3’de ve aylık potansiyel dağılımı Şekil 3.4’de sunulmuştur. Görülebileceği üzere güneş enerjisi potansiyelinin en yüksek olduğu bölgeler Güneydoğu Anadolu bölgesi ve Akdeniz bölgesidir [121].

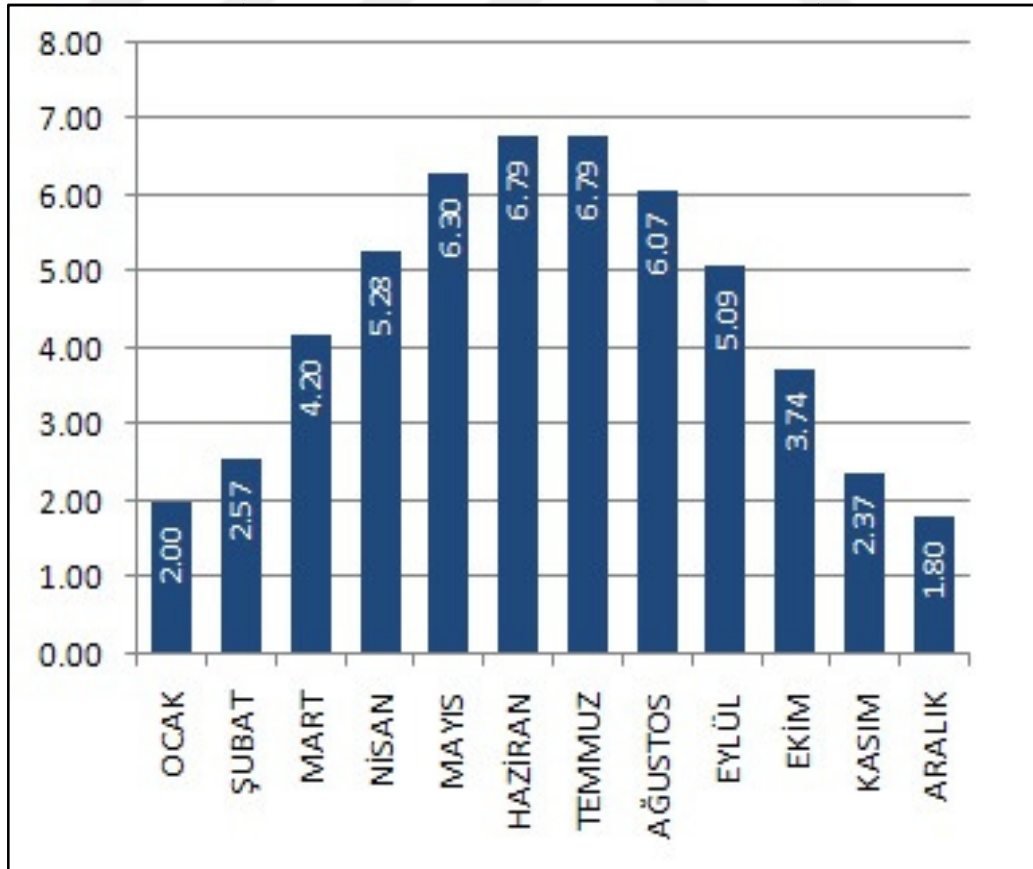


Şekil 3.3 : Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası [121].

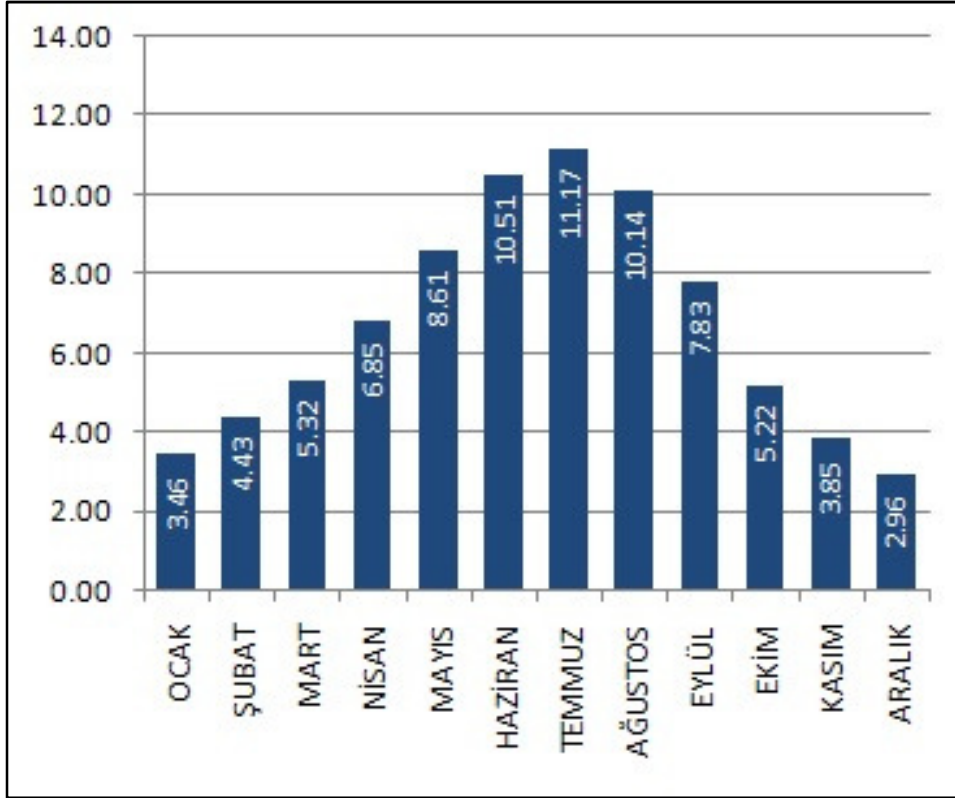


Şekil 3.4 : Türkiye aylık güneş enerjisi potansiyeli dağılımı[121].

İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Spor Salonu'nun bulunduğu İstanbul iline ait güneş ışınımı ölçüm verileri İstanbul ili için Şekil 3.5. ve Şekil 3.6' da sunulmuştur.

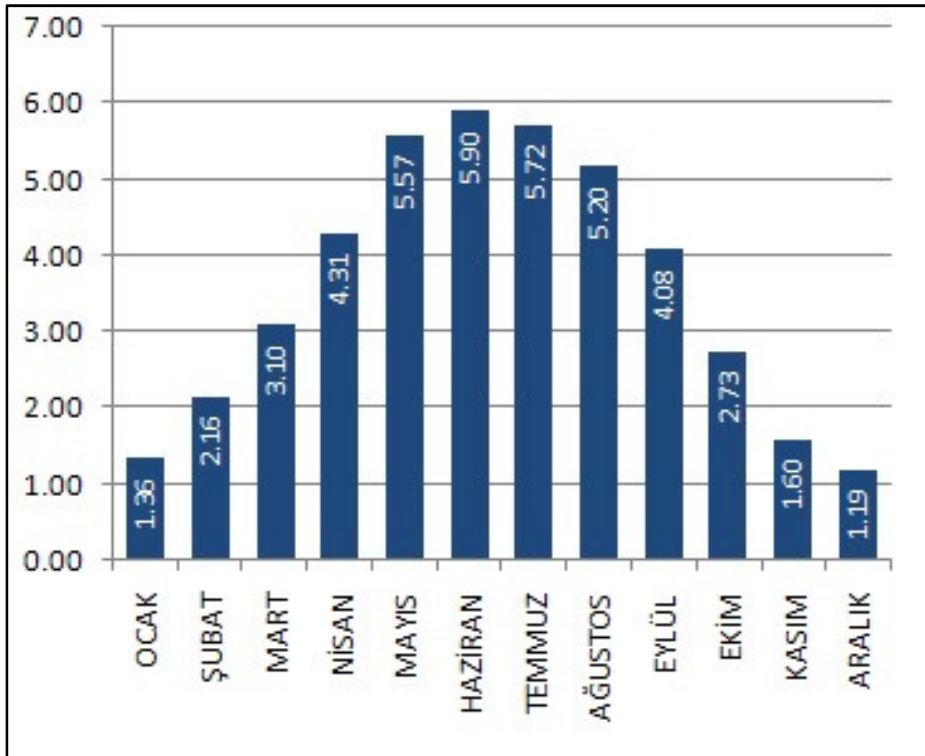


Şekil 3.5 : İstanbul aylık güneş ışınımı değerleri (kWh/m²) [121].

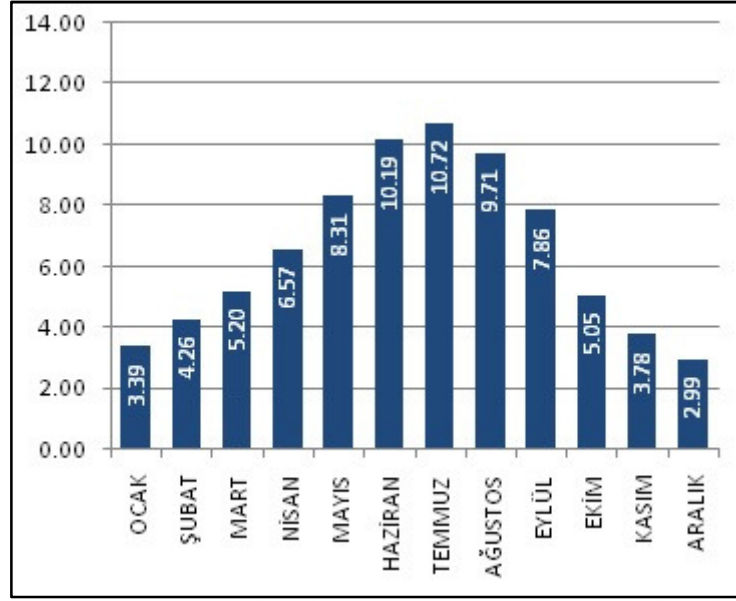


Şekil 3.6 : İstanbul aylık güneşlenme süreleri (sa) [121].

İTÜ Spor salonunun bulunduğu Sarıyer ilçesine ait veriler ise Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de sunulmuştur.



Şekil 3.7 : Sarıyer aylık güneş ışınımı değerleri (kWh/m²) [121].



Şekil 3.8 : Sarıyer aylık güneşlenme süreleri (sa) [121].

3.2 Spor salonu sıcak su tüketimi

Tez çalışması kapsamında kullanılmak üzere İTÜ Spor Salonu gerçekleşen sıcak su tüketim değerleri İTÜ Yapı İşleri Müdürlüğü'nden talep edilmiş, ancak mevcut durumda su giriş hatları üzerinde herhangi bir sayaç yer almadığından, gerçekleşen su tüketimine ilişkin ölçüm değeri alınamamıştır. Bunun yanında, Müdürlük tarafından tahmini olarak günlük ortalama 300 kişinin duş aldığı belirtilmiştir.

Yapılan duş süresi alışkanlığı araştırmasına göre ortalama bir duş boyunca toplam 80 litrelik su kullanılmaktadır [122]. Bu veriye bağlı olarak; Günlük sıcak su kullanım miktarı : $80 \text{ litre/duş} \times 300 \text{ duş} = 24 \text{ m}^3$ sıcak su olmalıdır.

Sıcak su çıkış sıcaklığı 50°C olması durumunda, konfor kullanım sıcaklığına göre, 20°C 'lik şebeke suyu ile birlikte sıcak su kullanım miktarı duşlarda tüketilen toplam su miktarına göre %70 oranında olacaktır.

Bu duruma bağlı olarak günlük sıcak su tüketim miktarının $24 \text{ m}^3 \times 0,70 = 16,8 \text{ m}^3$ olması beklenmektedir.

Çizelge 1.3'de İTÜ Spor Salonu'nun 2017 yılına ait doğalgaz tüketim miktar ve tutarları görülmektedir. Tahmin edilen su tüketim miktarı uygunluğunun kontrolü için F-chart programı yardımıyla bir doğrulama çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışmada, mevcut doğal gaz ile sıcak su üretim sisteminin hem ısınma hem de sıcak su kullanımı için ortak kullanılmasına bağlı olarak, yalnızca sıcak su kullanımını baz

alabilmek adına, ısınma ihtiyacının olmadığı yaz aylarındaki doğalgaz tüketim miktarları göz önünde bulundurulmuştur.

Çizelge 1.3 : İTÜ spor salonu doğalgaz tüketim verileri.

İlgili Dönem	Fatura Tutar [TL]	Damga Vergisi [TL]	İlk Okuma Tarihi	Son Okuma Tarihi	Doğalgaz Tüketim [Sm ³]	Fatura Dönemindeki Gün Sayısı	Günlük Doğalgaz Tüketimi [Sm ³]	30 Günlük D.gaz Tüketimi [Sm ³]
Ocak	27.309	219	04.01.17	02.02.17	18.777	29	647	19.410
Şubat	9.098	73	03.02.17	03.03.17	6.008	28	215	6.450
Mart	8.167	66	04.03.17	04.04.17	5.565	31	180	5.400
Nisan-Mayıs	5.569	78	05.04.17	01.06.17	3.830	57	67	2.010
Haziran	1.181	9	02.06.17	04.07.17	828	32	26	780
Temmuz-Ağustos	1.231	10	05.07.17	05.09.17	874	62	14	420
Eylül	916	7	06.09.17	02.10.17	641	26	25	750

Haziran ayı gün sayısına bağlı olarak fiili doğalgaz tüketimi 780 Sm³ yani 8.300 kWh'dir.

F-chart ile yapılan tersine doğrulama işlemine göre, sistemin sahip olduğu 4 adet 1000lt kapasiteli SU-1000 model numaralı boyler teknik verileri kullanılmış ve Haziran ayında sıcak su kullanımı için 8.300 kWh'lık ya da 30GJ'lük enerji ihtiyacı oluşması için günlük sıcak su kullanımının 7,5m³ seviyesinde olması gerektiği görülmüştür. (Şekil 3.9. ve Şekil 3.10.)

Şekil 3.9 : F-chart su tüketimi hesabı için yapılan tersine çalışma verileri.

	Solar [GJ]	Dhw [GJ]	Aux [GJ]	f []
Jan	55.1	31.33	19.60	0.374
Feb	72.2	28.30	10.63	0.624
Mar	115.3	31.33	4.52	0.856
Apr	160.2	30.32	0.00	1.000
May	169.9	31.33	0.00	1.000
Jun	197.0	30.32	0.00	1.000
Jul	205.8	31.33	0.00	1.000
Aug	207.5	31.33	0.00	1.000
Sep	180.8	30.32	0.00	1.000
Oct	127.0	31.33	1.03	0.967
Nov	48.9	30.32	19.58	0.354
Dec	51.8	31.33	20.61	0.342
Year	1591.4	368.88	75.96	0.794

Şekil 3.10 : Günlük sıcak su tüketimine bağlı f-chart analizi sonucu ve doğalgaz tüketim değeri ile uyumu.

Gerçekleşen doğalgaz tüketim verilerine ve mevcut ısıtma sistemine ait teknik veriler doğrultusunda yapılan çalışma sonucunda, İTÜ spor salonuna ait günlük sıcak su tüketim değerinin $7,5 \text{ m}^3$ olduğu görülmüştür. Yapılan analiz çalışmalarında da bu değer esas alınmıştır.



4. KAMPÜS SPOR KOMPLEKSİ İÇİN BİR GÜNEŞ ENERJİLİ SU ISITMA SİSTEMİNİN SAYISAL MODELLENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu tez çalışmasının temel amacı İTÜ Spor Salonu sıcak su ihtiyacının ısı güneş enerjisi sistemi ile karşılanabilirliğini ve yapılacak yatırımın uygun olup olmadığını değerlendirmektir. Bu kapsamda, mevcut sıcak su ihtiyacını karşılayabilecek ısı güneş enerjisi sistemine ait parametrelerin belirlenebilmesi için, tez çalışması sırasında deneysel ölçüm alınması imkanı bulunmadığından, literatürde yaygın olarak kullanılan ve güvenilirliğini kanıtlamış üç farklı modelleme yazılımı ile sistem analizi yapılarak yüksek güvenilirlikte bir değerlendirme hedeflenmiştir. Bu çalışmada modelleme yazılımlarının kullanım alanları ve üstünlükleri kısaca özetlenirse;

F-chart, aktif veya pasif güneş enerjisi sistemlerinde ısı verimlilik ve ekonomik fayda açısından analiz ve modelleme imkanı sağlayan bir yazılımdır. Dahili kütüphanesinde yer alan iklim verileri ve detaylı sistem parametresi tanımlama kolaylığı ile her bir parametrenin ısı verimliliğe olan etkisini grafiksel olarak sunması ile amaçlanan çalışmaya en uygun ekipman ve sistem seçimine yardımcı olması ile araştırmacılar, proje yöneticileri ve üreticiler tarafından ısı güneş enerjisi sistemi analizlerinde güvenilir bir modelleme ve analiz programı olarak kullanılmaktadır.

SAM, güneş enerjisi sistemlerinin yanında rüzgar enerjisi sistemleri, jeotermal enerji, biyokütle enerji sistemleri gibi tüm yenilenebilir enerji sistemleri uygulamalarında verimlilik analizi yapma kabiliyetine sahip bir programdır. F-chart'a göre farklı sistem tiplerinde analiz ve modelleme imkanı sunabilmesi sebebiyle yenilenebilir enerji sistemi projelerinde daha yaygın olarak kullanılmaktadır. İklim verileri, sistem parametreleri, yatırım maliyeti ve detaylı finansal verilerin proje sonucuna olan etkisini analiz edip, fayda maliyet açısından en uygun sistemin belirlenmesine sağladığı katkı ile de literatürdeki çalışmalarda sıkça tercih edilen bir modelleme yazılımı olarak öne çıkmaktadır.

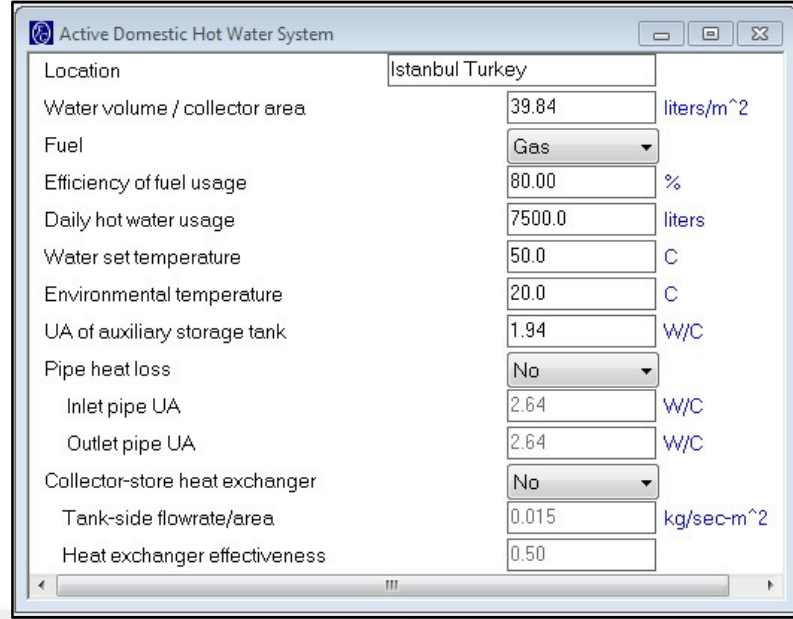
TRNSYS, dahilinde barındırdığı geniş kütüphanesi ile kullanıcıya esnek bir ekipman seçim imkanı sunarak grafik tabanlı arayüzü üzerinden oluşturulmak istenen sistemin dinamik modellemesini kolaylaştıran bir benzetim yazılımı olmakla birlikte, ısı ve elektrik enerjisi üretim sistemlerinin analiz ve modellemesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, kütüphanesindeki geniş iklim verisi ve kolektör seçenekleri ile güneş enerjisi sistemi modellemelerinde kullanıcılarına karmaşık sistemlerde de analiz kolaylığı sunmaktadır.

Bu tez çalışmasında, sıcak su ihtiyacının karşılanması için kurulacak ısı güneş enerjisi sistemi, hali hazırda kullanılan ısı pompası sistemine entegre edilerek birlikte çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Ülkemizde de kolay tedarik edilebilmesi sebebiyle, ısı güneş enerjisi sisteminde kullanılacak ısı güneş kolektöründe düz plakalı tipte bir kolektör olan “Vaillant Solar Systems VFK 125” modeli tercih edilmiştir [Ek-D]. Bunun yanında mevcutta kullanılan 4 adet 1.000 lt kapasiteli Buderus SU 1000 model boylere ait teknik verilerde Ek-E’de yer alan değerler doğrultusunda yapılan simülasyon çalışmasında kullanılmıştır.

4.1 F-Chart Programı ile Sistem Değerlendirmesi

F-chart simülasyon programında sırasıyla aşağıdaki adımlar takip edilmiştir.

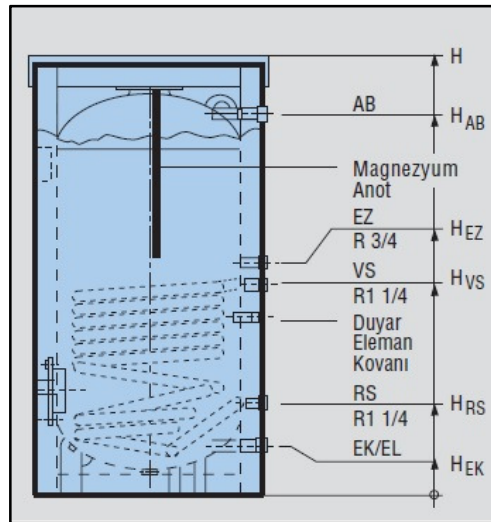
- Öncelikle açılan yeni proje ekranında “System” sekmesinden simüle etmek istediğimiz ısı güneş enerjisi sistemine en yakın model olan “Active Domestic Hot Water” seçilmiştir.
- “Active Domestic Hot Water” başlığı ile açılan ve sistem ihtiyaçlarının tanımlandığı bölüme Şekil 4.1’de belirtilen değerler girilmiştir.



Şekil 4.1 : “Active Domestic Hot Water System” verileri.

Bu adımda, “Water volume/collector area” değeri, toplam 4.000 lt’lik depolama hacmine ve bu aşamada afaki olarak belirlenmiş 40 adetlik kolektör yüzey alanına bağlı ($2,51\text{m}^2/\text{adet} \times 40 \text{ adet} = 100,4 \text{ m}^2$) oranı ile belirlenmiştir.

“UA of auxiliary storage tank” verisi F-chart kullanım kitapçığı açıklamasına göre kazanın ısıtma termostatının üzerinde kalan alan olarak alınması gerektiğinden, Şekil 4.2’teki çizime göre HVS ile HAB arasında kalan bölümün alanı hesaplanarak girilmiştir.



Şekil 4.2 : Sistemde kullanılan SU-1000 model boyler teknik çizimi.

- “Flat Plate Collector” penceresinde, sistem için seçilen Vaillant Solar Systems VFK 125V modeline ait veriler Şekil 4.3’te sunulmuştur.

Parameter	Value	Unit
Number of collector panels	40	
Collector panel area	2.51	m ²
FR*UL (Test slope)	4.52	W/m ² -C
FR*TAU*ALPHA (Test intercept)	0.684	
Collector slope	30	degrees
Collector azimuth (South=0)	0	degrees
Incidence angle modifier calculation	Glazings	
Number of glass covers	1	
Inc angle modifier constant	0.050	
Inc angle modifier value(s)	Ang Dep	
Collector flowrate/area	0.030	kg/sec-m ²
Collector fluid specific heat	4.18	kJ/kg-C
Modify test values	No	
Test collector flowrate/area	0.015	kg/sec-m ²
Test fluid specific heat	4.19	kJ/kg-C

Şekil 4.3 : Vaillant solar systems VFK 125V modeline ait teknik veriler.

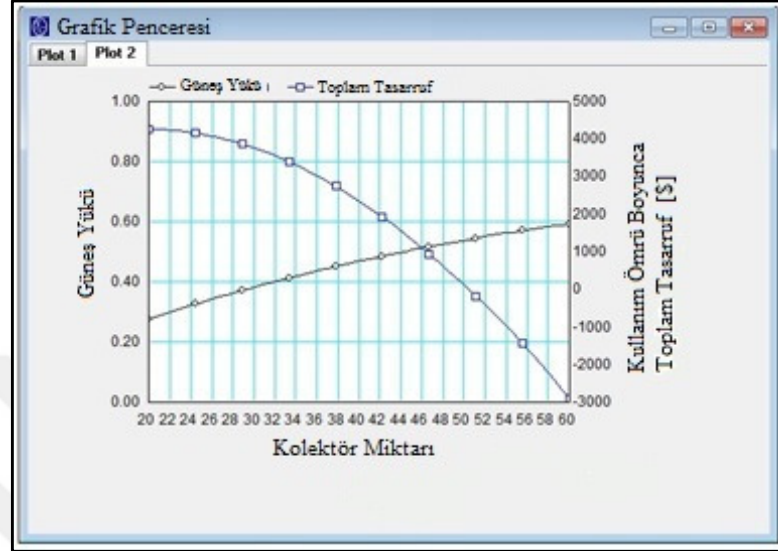
- “Economic Parameter” penceresinin altında sisteme ait ekonomik veriler Şekil 4.4’deki gibi girilmiştir. 1 adet VFK 125V modelinin 400 EUR birim fiyatla satıldığı bilgisi alınmıştır. Bu doğrultuda güncel EUR/USD paritesinden birim fiyat 464 USD/adet, birim alan maliyeti de 184,86 USD/m² olarak hesaplanmıştır.

Doğalgaz birim fiyatı, spor salonuna ait güncel fatura değerlerine göre 0,7 TL/Sm³ ve elektrik birim fiyatı da 0,412 TL/kWh olarak baz alınmış, 3,85 TL/USD kuruna göre çevrilerek işlenmiştir.

Parameter	Value	Unit
Economic analysis detail	Detailed	
Cost per unit area	184.86	\$/m ²
Area independent cost	1000	\$
Price of electricity	0.107	\$/kW-h
Annual % increase in electricity	10.0	%
Price of natural gas	0.181	\$/m ³
Annual % increase in natural gas	10.0	%
Price of fuel oil	1.428	\$/liter
Annual % increase in fuel oil	10.0	%
Price of other fuel	5.28	\$/GJ
Annual % increase in other fuel	10.0	%
Period of economic analysis	20	years

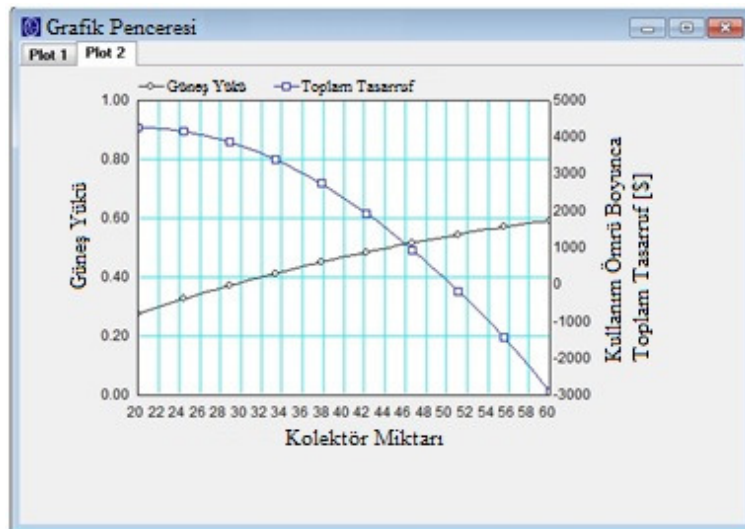
Şekil 4.4 : Ekonomik parametreler.

Daha sonra sistemde fayda maliyet açısından kullanılması en uygun kolektör sayısını belirlemek üzere, ihtiyaç duyulan sıcak su ihtiyacının güneş enerjisi kullanılarak karşılanan yüzdesini temsil eden “solar fraction” çıktısı için kolektör sayısına bağlı “Parametric Plot” grafiği çizdirilmiş ve Şekil 4.5’de sunulmuştur.



Şekil 4.5 : Kolektör sayısı, güneş enerjisi yükü ve kazanç grafiği.

Kolektör sayısına bağlı güneş enerjisi yükü sürekli olarak artmakla birlikte, sistemin ilk yatırım ve işletme maliyetlerine bağlı olarak oluşturulan yaşam dönemi kazanç grafiği 20 adetten sonar düşüşe geçmektedir. Bu grafiğe bağlı olarak, seçilebilecek uygun kolektör miktarını daha net görebilmek adına 20 ile 60 adetlik kolektör aralığı için çalışmanın tekrar yapılmış hali Şekil 4.6’da sunulmuştur.



Şekil 4.6 : 20-60 adet kolektör için güneş enerjisi yükü ve kazanç grafiği.

Şekil 4.6.'daki grafik doğrultusunda 50 adet kolektörden oluşan bir sistem seçilmesi durumunda herhangi bir kazanım yada kayıp söz konusu olmazken, fayda-maliyet kesişim adedinin 46 olduğu gözükmektedir. Bu doğrultuda güncellenen hesaplamalar doğrultusundaki ekonomik ve ısıl çıktılar Şekil 4.7'de sunulmuştur. 46 adet kolektör ile kurulacak sistem, mevcut yükün yıllık ortalama %50,9'unun karşılaması beklenmektedir. Tabloda "Solar" olarak belirtilen sütun kolektör yüzeyine gelen güneş enerjisi miktarını, "Dhw" olarak belirtilen sütun toplam ısıtma suyu ihtiyacını, "Aux" olarak belirtilen sütun güneş kolektörleri dışında ısıtma sistemine yardımcı destek ekipmanı tarafından sağlanması gereken enerji miktarını, "f" olarak belirtilen sütun da ısıl güneş enerjisi sistemi tarafından sağlanabilecek enerjinin toplam enerji ihtiyacına oranını temsil etmektedir.

Thermal Output					Economics Output					
	Solar	Dhw	Aux	f	Economics Summary					
	[GJ]	[GJ]	[GJ]	[]	First Year Fuel Cost	\$	1099	First Year Fuel Savings	\$	1140
Jan	20.86	31.33	29.84	0.048	Initial Investment	\$	24344	Life Cycle Savings	\$	927
Feb	27.57	28.30	22.43	0.207	Life Cycle Costs					
Mar	44.52	31.33	18.57	0.407	Fuel	\$	24373	Equipment	\$	24341
Apr	62.67	30.32	10.05	0.669	Total	\$	48713			
May	66.89	31.33	8.86	0.717						
Jun	77.82	30.32	4.15	0.863						
Jul	81.12	31.33	3.44	0.890						
Aug	81.59	31.33	3.02	0.903						
Sep	69.80	30.32	6.14	0.798						
Oct	48.29	31.33	15.53	0.504						
Nov	18.65	30.32	28.73	0.053						
Dec	19.52	31.33	30.37	0.031						
Year	619.30	368.88	181.12	0.509						

Şekil 4.7 : F-chart simülasyonu sonucu 46 adet ısıl güneş kolektörü için sistemin ekonomik ve ısıl çıktıları.

4.2 SAM Programı ile Sistem Değerlendirmesi

SAM programında performans modeli olarak "Solar Water Heating" seçilerek yeni bir proje başlatılmıştır.

Proje ekranı açıldıktan sonra girdi yapılması gereken ekranın sol tarafındaki sekmelerden;

- "Location and Resource"

Sistem kütüphanesinde İstanbul,Türkiye'ye ait herhangi bir veri bulunmadığından, en altta yer alan bölüm tıklanarak, farklı kaynaklardan tedarik edilen .EPW uzantılı İstanbul iklim verisi programa yüklenmiştir.

- “Solar Water Heating”

Sekmenin en üstünde yer alan “Hot water draw” bölümü açıldığında, yılın her saatindeki sıcak su talep miktarını simgeleyen 8760 satırlık tablo, günlük kullanımın, spor salonunun çalışma saatleri olan 08:00-22:00 saatleri arasında eşit dağıldığı, salonun kapalı olduğu saatlerde herhangi bir sıcak su ihtiyacı olmadığı varsayımı ile doldurulmuştur.

“Tilt” olarak belirtilen ısı güneş kolektörü eğim açısı, f-chart analizindeki ile aynı olacak şekilde 35°, “Total system flow rate” değeri ise SU 1000 model boylara ait teknik veriler doğrultusunda 0,063 kg/s ve kolektör sayısı ise f-chart’taki simülasyona bağlı olarak yine 46 adet alınmıştır. İşlenen veriler Şekil 4.8’de sunulmuştur.

The screenshot displays the software interface for Solar Water Heating, divided into three main sections: Hot Water Draw, System, and Shading/Curtailment and Availability.

Hot Water Draw:

- Hourly hot water draw profile: Edit data... kg/hr
- Scale draw profile to average daily usage:
- Total annual hot water draw: 2.7375e+006 kg/year
- Average daily hot water usage: 7500 kg/day

System:

- Tilt: 35 deg
- Azimuth: 180 deg
- Total system flow rate: 0.063 kg/s
- Working fluid: Water
- Number of collectors: 46
- Diffuse sky model: Isotropic
- Irradiance inputs: Beam and Diffuse
- Albedo: 0.2 0.1
- Total system collector area: 115.46 m²
- Rated system size: 63.3183 kW

-Shading-

- Shading losses: Edit shading... Open 3D shade calculator...

-Curtailment and Availability-

- Edit losses... Constant loss: 0.0 %
Hourly losses: None
Custom periods: None

Şekil 4.8 : Sıcak su ihtiyacı ve sistem verileri.

Kolektör tipi, SAM kütüphanesinden “Vaillant Solar Systems VFK125” olarak seçilmiş ve ısı sistemine ait diğer veriler, f-chart ile benzer olarak alınmıştır. Şekil 4.9’da seçilen kolektör tipi ve özellikleri ile ısı sistem verilerine ait sayfa sunulmuştur.

Collector

Enter user-defined parameters
 Choose from library

Search for: Name

	SRCC Number	Type	Area	IAM	FRta	FRUL	T
	2009100Ai	Glazed Flat-Pl...	1.83	0.2	0.6	15	0
. Vaillant Solar Systems VFK 150 H	2009117A	Glazed Flat-Pl...	2.51	0.09	0.775	2.43	0
. Vaillant Solar Systems VFK 150 V	2010027A	Glazed Flat-Pl...	2.51	0.14	0.758	4.68	0
. Vaillant Solar Systems VFK 140 D	2009116A	Glazed Flat-Pl...	2.51	-0.01	0.737	3.15	0
. AuroTHERM Classic VFK 990 1	2007060A	Glazed Flat-Pl...	2.22	0.18	0.71	3.59	0
. Vaillant Solar Systems VFK 125	2009115A	Glazed Flat-Pl...	2.51	0.13	0.684	4.52	0
. auroTHERM 570 2 VTK 570 2	2010009B	Tubular	1.15	0.03	0.554	0.81	0
. auroTHERM 1140 2 VTK 1140 2	2010009A	Tubular	2.28	0.03	0.554	0.81	0
X CLI U12 4000	2007018A	Glazed Flat-Pl...	2.51	0.02	0.686	2.69	0

User-defined collector

Collector area: 2.98 m²
 FRta: 0.689
 FRUL: 3.85 W/m².C
 Incidence angle modifier: 0.2
 Test fluid: Glycol
 Test flow: 0.0455278 kg/s

Solar Tank and Heat Exchanger

Solar tank volume: 4 m³
 Solar tank height to diameter ratio: 2
 Solar tank heat loss coefficient (U value): 1.94 W/m².C
 Solar tank maximum water temperature: 99 C
 Heat exchanger effectiveness: 0.8 0.1
 Outlet set temperature: 50 C
 Mechanical room temperature: 20 C

Şekil 4.9 : Kolektör ve ısıl sistem parametreleri.

- “System Costs”

Sistem maliyetlerinin girildiği bu bölümde, beklenmeyen giderler, depolama, mühendislik, bakım, imalat, projelendirme, arazi maliyetleri gibi birçok farklı parametre girdisi sağlanabilmekte birlikte, diğer programlara ile analiz çıktılarının karşılaştırılabilirliği için yalnızca Şekil 4.10’da belirtilen değerler girilmiştir.

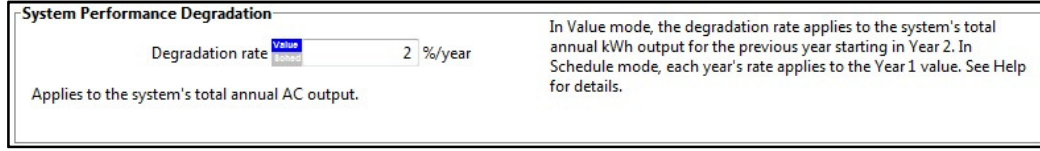
Direct Capital Costs

Number of Collectors: 46
 Collector cost: 464.00 \$/unit → \$ 21,344.00
 Storage cost: 0.00 \$/m³ → \$ 0.00
 Balance of system: \$ 0.00
 Installation cost: \$ 3,000.00
 Contingency: 0 % → \$ 0.00
 Total direct cost: \$ 24,344.00

Şekil 4.10 : İlk yatırım maliyetleri.

- “Lifetime”

Sistem performansında yıllık %2 lik bir düşüş yaşanacağı öngörülmüş olup ilgili bölüm görüntüsü Şekil 4.11’de sunulmuştur.



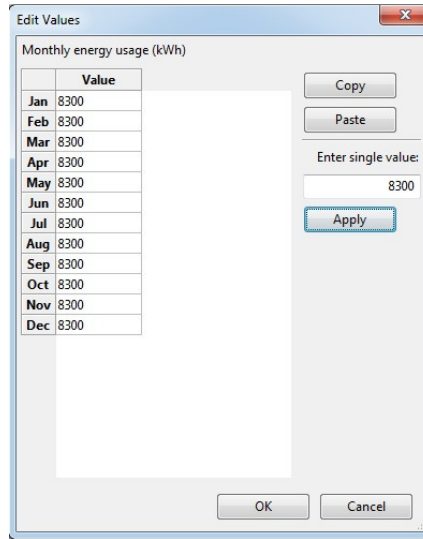
Şekil 4.11 : Yıllık performans kaybı.

- “Financial Parameters”, “Incentives” ve “Electricity Rates”

Sistemin yatırımı için herhangi bir borçlanma ve buna bağlı bir faiz ödemesi yapılmayacağı ya da herhangi bir teşvik alınmayacağı varsayılarak bu bölümlerdeki ilgili değerler “0” olarak girilmiştir. Yalnızca “Electricity Rates” sekmesinde “Energy charges” adımına elektrik enerjisi birim fiyatı olarak 0,107 USD/kWh girilmiştir.

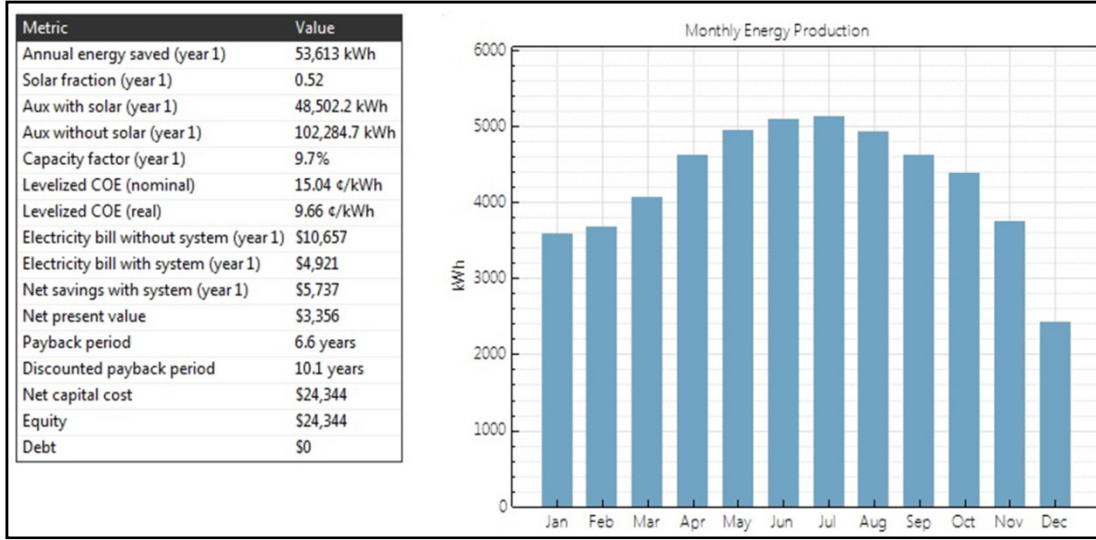
- “Electric Load”

Bu bölümde İTÜ Spor Salonunun yazlık dönemdeki aylık ortalama doğalgaz kullanım miktarı kWh’e çevrilmiş olup, f-chart’ta da kullanıldığı üzere aylık 8.300 kWh (780Sm³ doğalgaz) enerjinin yalnızca sıcak su ihtiyacı için kullanıldığı değerlendirilip aylar bazında sabit olarak sisteme yüklenmiş ve Şekil 4.12’de sunulmuştur.



Şekil 4.12 : Sıcak su ihtiyacı için harcanan aylık enerji.

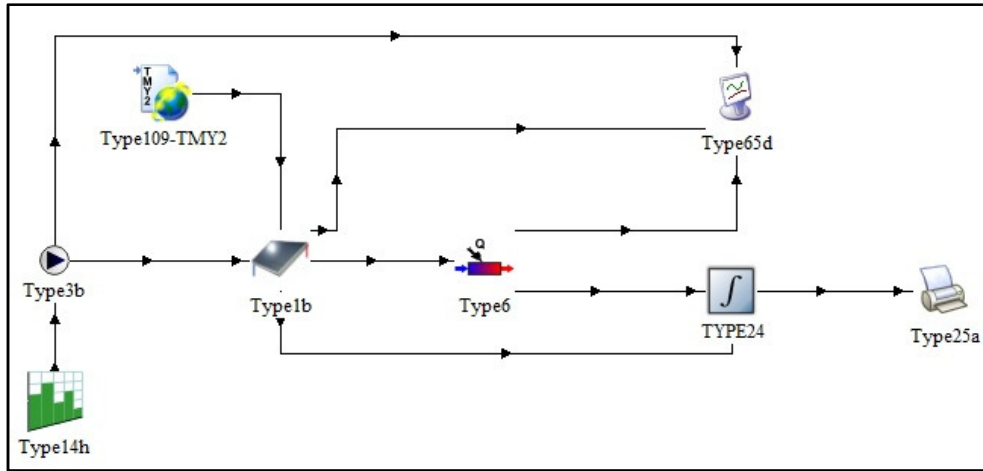
Yukarıda belirtilen veriler doğrultusunda gerçekleştirilen simülasyon sonucu Şekil 4.13’te belirtilmiştir. Spor salonunun yıllık sıcak su ihtiyacının %52,4’lük bölümünün ısı güneş enerjisi sistemi ile karşılanabileceği, sistemin geri ödeme süresinin de 6.6 yıl olduğu görülmüştür.



Şekil 4.13 : SAM analiz sonucu ısı güneş enerjisi ile kazanımlar.

4.3 TRNSYS Programı ile Sistem Değerlendirmesi

TRNSYS bir sistemin zamana bağlı performans modellemesinde kullanılan sistem simülasyon programıdır. İTÜ Spor Salonu sıcak su ihtiyacının ısı güneş enerjisi ile elde edilmesine yönelik modellemeye ait seçilen birimlerin proje ekranındaki yerleşimleri Şekil 4.14.'de sunulmuştur.



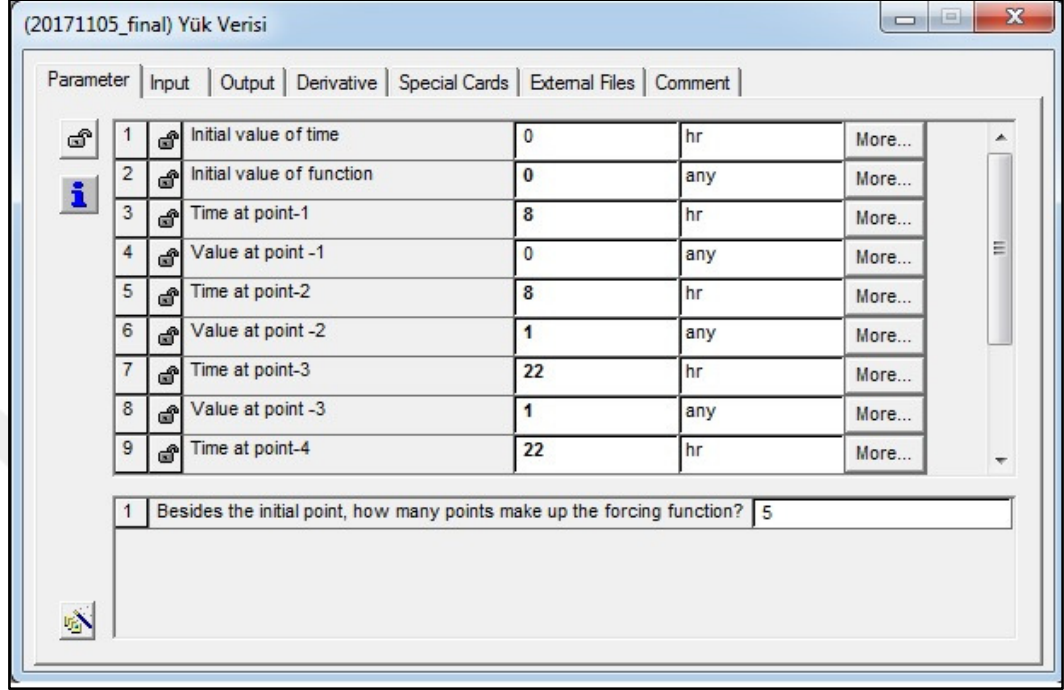
Şekil 4.14 : TRNSYS sistem şematığı.

Sistemdeki her bir elemanın görevini ve bağlantılarına ilişkin verileri inceleyecek olursak;

- Yük Verisi

Isıl Güneş kolektörün hangi saat aralığında sistemi besleyeceğini belirlediğimiz birimdir. Utility -> Forcing Functions -> General -> Type 14h modeli seçilmiştir.

Şekil 4.15’den görüldüğü üzere, sistem yükünün spor salonu çalışma saatleri olan 08:00-22:00 aralığında devrede olacağı verisi girilmiştir. Bu doğrultuda pompaya ne zaman çalışması gerektiği bilgisini iletilmektedir.



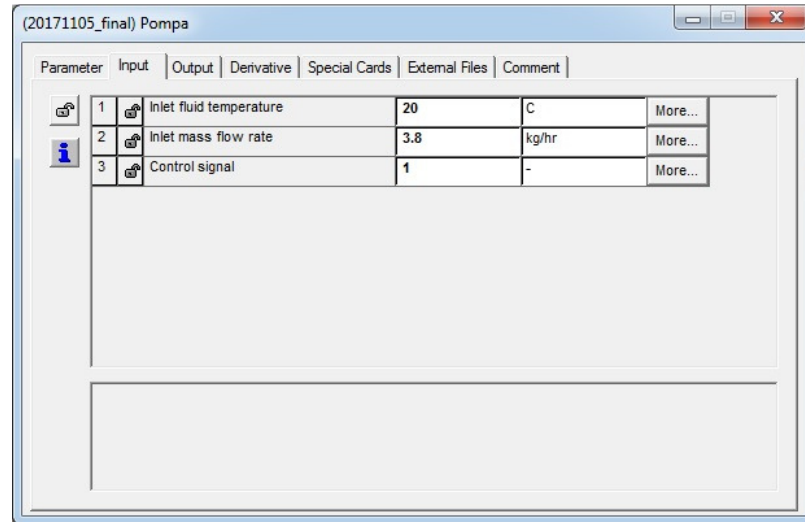
Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Initial value of time	0	hr	More...		
2	Initial value of function	0	any	More...		
3	Time at point-1	8	hr	More...		
4	Value at point -1	0	any	More...		
5	Time at point-2	8	hr	More...		
6	Value at point -2	1	any	More...		
7	Time at point-3	22	hr	More...		
8	Value at point -3	1	any	More...		
9	Time at point-4	22	hr	More...		

1 Besides the initial point, how many points make up the forcing function? 5

Şekil 4.15 : TRNSYS yük verisi değerleri.

- Pompa

Isıl güneş kolektörlerinin besleme suyunu gönderen birimdir. Hydraulics -> Pumps -> Single Speed -> Type 3b modeli seçilmiştir. Diğer programlar ile yapılan modellemeler ile benzer kullanılan veriler Şekil 4.16’da sunulmuştur.

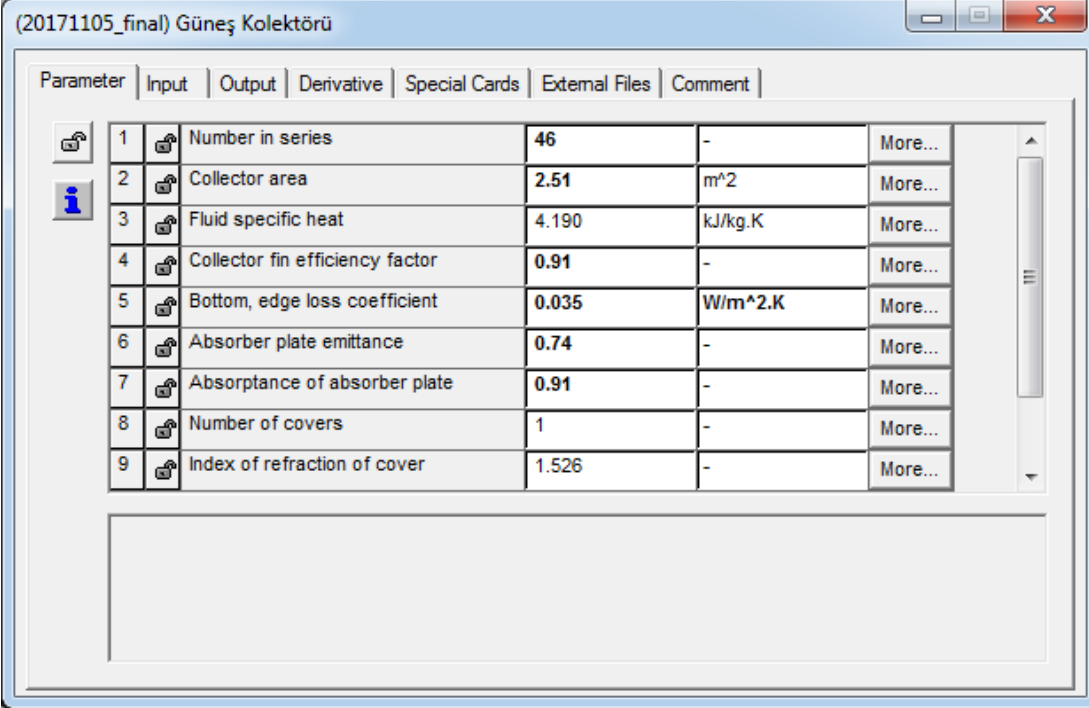


Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Inlet fluid temperature	20	C	More...		
2	Inlet mass flow rate	3.8	kg/hr	More...		
3	Control signal	1	-	More...		

Şekil 4.16 : TRNSYS pompa verileri.

- Güneş Kolektörü

Isıl güneş enerjisi kolektörlerini temsil eden birimdir. Solar Thermal Collectors -> Theoretical Flat-Plate Collector -> Type 73c modeli seçilmiştir (Şekil 4.17).



Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Number in series	46	-	More...		
2	Collector area	2.51	m ²	More...		
3	Fluid specific heat	4.190	kJ/kg.K	More...		
4	Collector fin efficiency factor	0.91	-	More...		
5	Bottom, edge loss coefficient	0.035	W/m ² .K	More...		
6	Absorber plate emittance	0.74	-	More...		
7	Absorptance of absorber plate	0.91	-	More...		
8	Number of covers	1	-	More...		
9	Index of refraction of cover	1.526	-	More...		

Şekil 4.17 : TRNSYS güneş kolektörü verileri.

- Hava Verisi

Sistemin alabileceği güneş enerjisi ve sıcaklık değerlerinin geldiği birimdir. Weather Data Reading and Processing -> Standard Format -> Meteoronorm files(TM2) -> Type 15-6 modeli seçilmiştir. "External Files" bölümünden İstanbul, Türkiye'ye ait .epw uzantılı hava verisi eklenmiştir.

- Yardımcı Isı Kaynağı

Isıl güneş kolektöründen gelen su sıcaklığının yetersiz olması durumunda talep edilen sıcaklığa ulaşılmasını sağlayan ısı kaynağıdır. HVAC -> Auxiliary Heaters -> Type 6 modeli seçilmiştir.

- Çıktı Sunucusu

Analiz sonucunda görülmek istenen değerlerin diğer alt birimlerden alınıp yazıcıya aktarıldığı birimdir. Output -> Online Plotter -> Online Plotter Without file -> Type 65d seçilmiştir. Analiz sonucu oluşan grafikte yer almak üzere çalışmada soldaki ekseninde pompa, ısıl güneş kolektörü ve yardımcı destek ekipmanı çıkış suyu

sıcaklığı, sağdaki ekseninde ise ısı güneş kolektörünün sisteme kazandırdığı güneş enerjisi ve yardımcı ısı kaynağı tarafından sisteme verilen enerji miktarı değerleri seçilmiştir.

- Hesaplayıcı

Sistem alt birimlerinden gelen verileri işleyerek entegre eden birimdir. Utility -> Integrators -> Quantity Integrator -> Type 24 modeli seçilmiştir. Bu çalışmada yardımcı ısı kaynağından gelen enerji tüketim verisini ve ısı güneş kolektöründen gelen güneş enerjisi kazanım verilerini entegre ederek yazıcıya gönderir.

- Yazıcı

Hesaplayıcıdan gelen verilerin yazdırılmasını sağlayan birimdir. Output -> Printer -> TRNSYS Supplied Units -> Type 25a modeli seçilmiştir.

Sistem alt birimleri arasında gerekli bağlantılar yapıldıktan ve diğer modellemeler ile paralel veriler girildikten sonra oluşan analiz grafiği Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.18 : TRNSYS analiz sonucu grafiği.

4.4 Değerlendirme

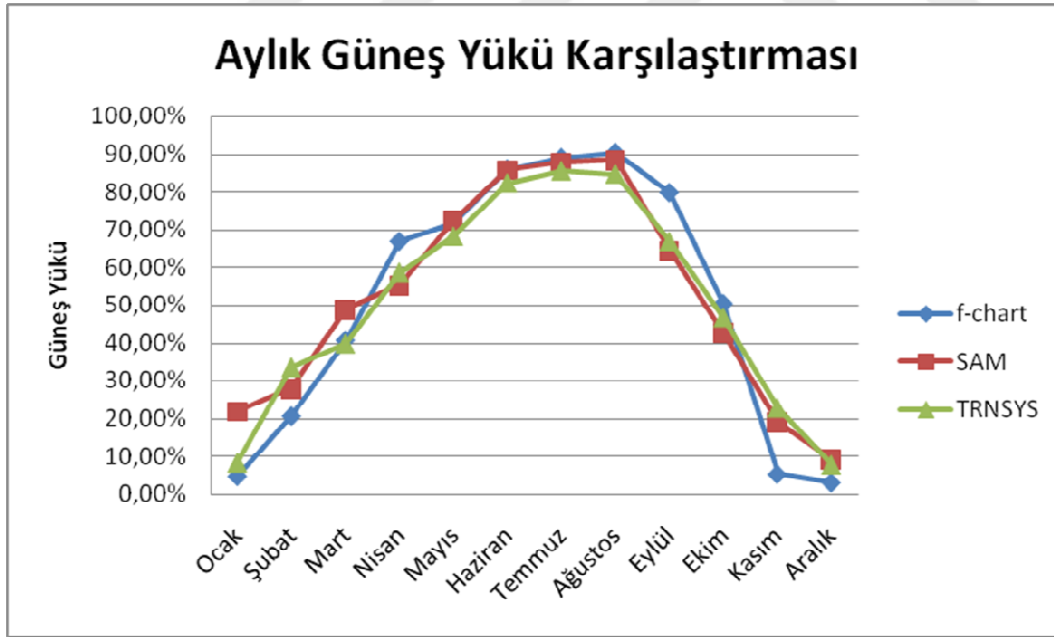
Farklı analiz programları ile yapılan inceleme sonucunda 46 adet ısı güneş kolektörü kullanılarak, mevcut sıcak su ihtiyacının %50-52’lik bölümünün güneş enerjisi ile karşılanabileceği, sistem geri ödeme süresinin de 6.6 yıl olduğu görülmüştür. Ekonomik açıdan farklı kolektör tiplerinin de yorumlanabilmesi amacıyla piyasada

bulunabilecek diğer düz plakalı kolektörlere ait birim fiyatların bulunduğu veriler Çizelge 1.4’de sunulmuştur.

Çizelge 1.4 : Piyasadaki diğer kolektör birim fiyatları.

Güneş Kolektörü Tipi	Net Alan [m ²]	Birim Fiyatı
Vaillant Solar Systems VFK 125	2,35	464 USD
Alarko CFK-1	2	444 USD
Viessmann Vitosol 100-FM SV1F	2,3	840 USD
Aba Güneş Enerji 40-400	2,26	130 USD
Vaillant Solar Systems VFK 125	2,35	464 USD
Alarko CFK-1	2	444 USD
Viessmann Vitosol 100-FM SV1F	2,3	840 USD
Aba Güneş Enerji 40-400	2,26	130 USD

Bunun yanında sıcak su ihtiyacını daha fazla oranda karşılayabilecek daha yüksek miktarda kolektörden oluşturulacak bir ısı güneş enerjisi sistemin ekonomik açıdan yatırım için uygun olmayacağı görülmüştür. F-chart (%50,9), SAM (%52,4) ve TRNSYS (%50,5) ile yapılan analiz sonuçlarının birbirlerine çok yakın olması yapılan modellemenin doğruluğunu teyit eder niteliktedir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19 : Aylık güneş yüğü sonuç karşılaştırması.

Bununla birlikte program sonuçları arasındaki farklılığın sebepleri incelendiğinde;

- F-chart programının, sistem performansını aylık periyotlarla kolektör parametreleri ve aylık ortalama ışınım ve sıcaklık verilerini temel alarak, gerçekleştirilen çok sayıdaki ısı güneş enerjisi sistemi modellemeleri bazı

oluşturulan korelasyonlar ile hesapladığı, basit ve hızlı bir analiz alt yapısına sahip olduğu görülmüştür [123].

- TRNSYS programının, sistem performansını saatten daha kısa periyotlarla kullanıcı tarafından sağlanan kolektör test verileri ile iklim verilerinden gelen ortam sıcaklık ve ışıınım değerleri doğrultusunda oluşturduğu ve sürekli değişen değerlere göre düzeltmeler yaptığı modeli ile çok karmaşık bir modelleme altyapısına sahip olduğu görülmüştür [124].
- SAM programının, sistem performans modellemesini saatlik olarak güneş kolektörünün güneş enerjisi ile yüklendiği ve güneş enerjisinin kullanıldığı olarak ayrılan iki farklı durum bazlı, ısıl doğrulamaların Duffie and Beckman tarafından yazılan “Solar Engineering of Thermal Processes, 3rd. Edition” yayının baz alınarak yapıldığı, f-chart’a göre daha karmaşık ancak TRNSYS’e göre daha yalın bir analiz altyapısına sahip olduğu görülmüştür [125]

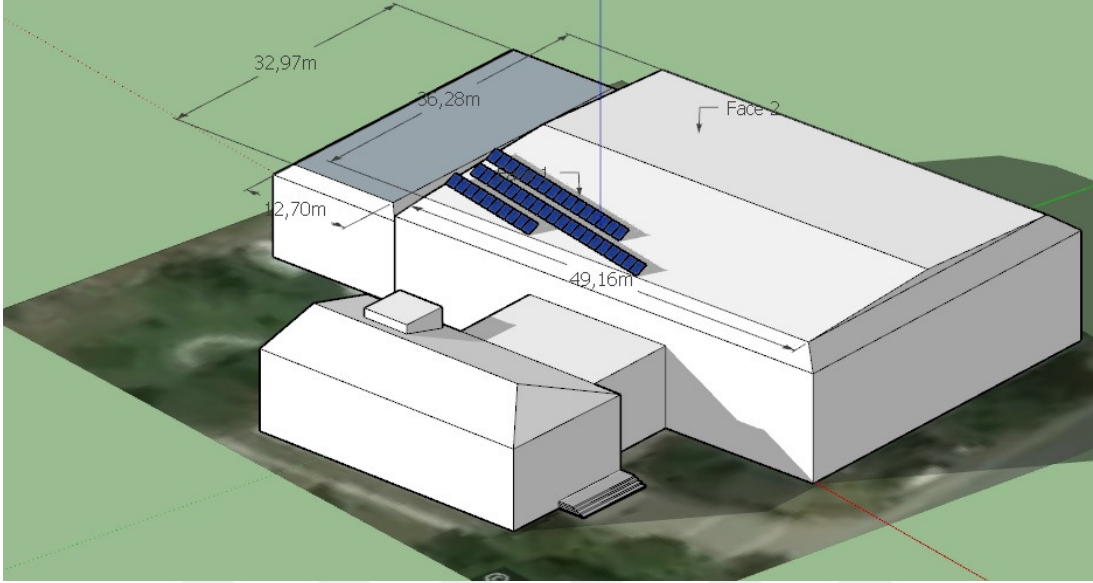
Çizelge 1.5’de verilen fiili tüketim miktarları incelendiğinde, özellikle Temmuz Ağustos gibi yaz aylarında ısıtma ihtiyacının ortadan kalkması ve okul döneminin de kapanmış olması sebebiyle, spor salonundaki doğal gaz tüketiminin en düşük seviyelerine indiği gözlenmektedir. Bununla birlikte bu aylar, güneş ışıınının en yüksek olduğu dönemler olduğundan, ısıl güneş enerjisi sistemi ile elde edilen kazancın düşük olmasına etki eden faktörlerden bir tanesi olduğu değerlendirilmiştir.

Çizelge 1.5 : İTÜ spor salonu gerçekleşen enerji tüketim miktarı ve tutarları.

İlgili Dönem	Fatura Tutar [TL]	Damga Vergisi [TL]	İlk Okuma Tarihi	Son Okuma Tarihi	Doğalgaz Tüketim [Sm ³]	Fatura Dönemindeki Gün Sayısı	Günlük Doğalgaz Tüketimi [Sm ³]
Ocak	27.309	219	04.01.17	02.02.17	18.777	29	647
Şubat	9.098	73	03.02.17	03.03.17	6.008	28	215
Mart	8.167	66	04.03.17	04.04.17	5.565	31	180
Nisan-Mayıs	5.569	78	05.04.17	01.06.17	3.830	57	67
Haziran	1.181	9	02.06.17	04.07.17	828	32	26
Temmuz-Ağustos	1.231	10	05.07.17	05.09.17	874	62	14
Eylül	916	7	06.09.17	02.10.17	641	26	25

İTÜ Spor Salonu’nun uydu görüntüsüne bağlı olarak, “Sketchup” programı kullanılarak çıkarılan 3 boyutlu modellemede, 46 adetlik ısıl güneş kolektörü

yerleşimi “Skelion” eklentisi ile mevcut binaya uygulandığındaki durum Şekil 4.20, ve Şekil 4.21’de sunulmuştur.



Şekil 4.20 : İTÜ spor salonu ısıl güneş enerjisi sistemi model görünümü 1.



Şekil 4.21 : İTÜ spor salonu ısıl güneş enerjisi sistemi model görünümü 2.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda enerji, özellikle gelişmekte olan ülkeler için büyük önem taşıyan bir faktör haline gelmiştir. Kendi enerji ihtiyacını kendi sınırları içerisinde sağlayabilen ülkeler, büyük oranda dışa bağımlılıklarını azaltarak güçlü ekonomilere sahip olma yolunda en büyük adımı atmış kabul edilmektedir. Bununla birlikte enerji üreticisi firmalar da dünyada ve buldukları ülke siyasetlerinde büyük güç kazanmaya devam etmektedirler.

Temiz ve yenilenebilir enerji kullanımının artırılması, günden güne etkilerini daha fazla gösteren çevresel kirlilik ve küresel ısınmanın yanında, ülkemizde büyük bir ekonomik gider kalemi olan fosil yakıt kullanımının azaltılabilmesi amacıyla zorunluluk haline gelmeye başlamıştır.

Güneş enerjisi temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları içinde, tüm dünyaya yayılmış kaynak dağılımı ile en önemlisidir. Bunun yanında, toplam enerji tüketiminin %50'lik bir bölümünü oluşturan binalar, yaşanan enerji sorunlarının çözümüne yönelik kritik bir noktada bulunmaktadır. Yani, binalarda tüketilen enerjinin yenilenebilir ve temiz enerji ile sağlanması dünyadaki enerji sıkıntısına çok büyük bir katkı sağlayacaktır.

Binalar güneş ışığından pasif veya aktif yöntemler ile faydalanabiliyorken, özellikle yeni inşa edilen yapıların sorumlu mimar ve mühendisleri tarafından güneş enerjisinden azami fayda sağlayacak şekilde projelendirilip inşa edilmesi büyük önem taşımaktadır. Çünkü, mevcut bir yapı üzerine konulması tasarlanan güneş sistemleri ilave bir entegrasyon maliyeti ve bazı durumlarda alan yenileme maliyeti de getireceğinden, bu ilave maliyetler güneş enerjisi sistemi yatırımının gerçekleşmesine bir engel oluşturmaktadır.

Günümüzde özellikle bilgisayar destekli modellemelerin yaygınlaşıp gelişmesi, yeni binaların proje aşamasında binanın azami seviyede yenilenebilir enerjiden faydalanacak şekilde tasarlanıp inşa edilmesini mümkün kılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, bir üniversite spor kompleksi için güneş enerjisi ile sıcak su eldesini değerlendirebilmek amacıyla İTÜ Ayazağa Spor Salonu ele alınarak bir örnek olay çalışması gerçekleştirilmiştir.

Çalışma üç farklı simülasyon programı ile gerçekleştirilmiş olup, çıkan sonuçların birbirine yakın olması, analiz güvenilirliğini arttırmıştır. Kullanılan programlar incelendiğinde; F-chart programının ısı güneş sistemi simülasyonunda, sisteme ait bir parametrenin değişimine bağlı performans kriterini hızlıca grafik olarak sunabilmesi diğer yöntemlere göre sistem modellemesinde çok avantajlı olduğu görülmüştür. Bununla birlikte SAM programının, dahili kütüphanesi sayesinde birçok veriye kolayca ulaşım imkanı sağlaması ve detaylı ekonomik model analizi ile büyük çaptaki yatırım ve kredi gerektiren simülasyonlarda avantaj sağlayacağı, TRNSYS'in ise daha kısa zamanlı simülasyon ihtiyaçları için grafiğe dayalı yorum yapılmak istenen modellemelerde avantaj sağlayacağı tecrübe edilmiştir.

Analiz sonucunda yapılacak yatırım ile İTÜ Spor Salonu sıcak su tüketim ihtiyacının %50-52'lik bölümünün 6.6 yıllık bir geri ödeme süresiyle karşılanabileceği hesaplanmıştır. Gerçekleşen tüketim değerleri doğrultusunda, yüksek oranda ısı güneş enerjisi elde edilen yaz aylarında, okul döneminin kapalı olmasına bağlı olarak sıcak su tüketim seviyesinin azalması sebebiyle modellenen sistem verimliliğinin azalmasına etki eden faktörlerden birisi olduğu değerlendirilmiştir. Bunun yanında, yapılan incelemelerde mevcut çatının yük taşıma kapasitesinin, entegrasyonu yapılması planlanan güneş kolektörlerini taşıyamayacak olması, olası bir yatırım önünde en büyük engel olarak gözükmektedir. Ancak, bu tez çalışmasının amacı doğrultusunda bu ilave maliyetin bu aşamada göz ardı edilebileceği uygun görülmüştür.

Isıl güneş enerjisi kullanımının artırılması adına yapılan bu çalışmanın ilerletilmesi durumunda yapılabilecek çalışmalarda ısı güneş enerjisi kullanımını arttırabilmek amacıyla alternatif çözümler üretilebilir. Örnek olarak, İTÜ Spor Salonuna yakın bölgelerdeki yemekhane veya öğrenci evi gibi tesislerin sıcak su ihtiyaçları ve kurulum için uygun alanları da dikkate alınarak, daha büyük ölçekli bir ısı güneş enerjisi sistemi modellemesi değerlendirilebilecek olup, yapılacak simülasyonun başarısı için fiili tüketim verilerinin kritik önem taşıdığı atlanılmamalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Çetiner, G. , Sümer, U. M. , Türkeş, M.** (2000). Küresel iklim değişikliği ve olası etkileri', *Çevre Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları, 13 Nisan 2000, İstanbul Sanayi Odası, 7-24, ÇKÖK Gn. Md., Ankara.*
- [2] **Ramlow, B. & Nusz, B.** (2010). Solar Water Heating – Revised & Expanded Edition: A Comprehensive Guide to Solar Water and Space Heating Systems,*History* (Chapter 1,pp 5-6), New Society Publishers
- [3] **Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi.** (2009). Dünya'da ve Türkiye'de Güneş Enerjisi B. Ateş (Başkan), *Güneş Enerjisi Teknolojileri*, Haziran, EKC FORM OFSET
- [4] **Bhatia, S. C.** (2014). *Advanced Renewable Energy Systems*, WPI
- [5] **URL-1** <<http://ae390-systemsvariety-.group6.weebly.com/solarthermal-chimney.html>>, Erişim : 01.11.2017
- [6] **URL-2** <<https://geology.utah.gov/map-pub/survey-notes/utah-potash-resources-production-and-exploration/>>, Erişim : 01.11.2017
- [7] **Plante, R. H.** (2014). *Solar Energy – Photovoltaics and Domestic Hot Water A Technical and Economical Guide for Project Planners, Builders and Property Owners*, Academic Press
- [8] **Kurşuncu, B.** (2010). *Sıvı Pistonlu Stirling Motoru ile Güneş Enerjili Su Pompası Tasarımı* (Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [9] **URL-3** <<http://www.plumbingserviceco.com/go-green/solar-hot-water-heaters/>>, Erişim : 09.11.2017
- [10] **URL-4** <<https://greenlight-solar.com/solar/residential-solar/water-heaters/>>, Erişim : 09.11.2017
- [11] **SRCC and FSEC Certified Flat Plate Solar Thermal Collectors** Erişim : 09.11.2017 http://www.presolarnet.com/products/solar_collectors.htm
- [12] **Yıldız Teknik Üniversitesi,** (2017) *Güneş Enerjisi – Prof. Dr. Olcay Kıncay Ders Notları*, ulaşılan web adresi :<http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/GunesEnerjisi.pdf>
- [13] **URL-5** <http://www.appropedia.org/RCEA_Solar_thermal_vs_Heat_pump>, Erişim : 09.11.2017
- [14] **URL-6** <<http://www.greengaragedetroit.com/site/frozen-solar-panel-incident-problem-solving-at-the-green-garage/>>,Erişim : 09.11.2017
- [15] **Ravindran, P.** (2012). *Elective course on Solar Energy and its Applications* , August 2012 : Solar Active Heating, <http://folk.uio.no/ravi/cutn/solar/ActivesolarHeat.pdf>

- [16] URL-7 <<https://energy.gov/energysaver/articles/everything-you-wanted-know-about-solar-water-heating-systems>>, Erişim : 09.11.2017
- [17] URL-8 <<https://solartown.com/learning/view/guide-to-choosing-a-solar-water-heater/>>, Erişim : 09.11.2017
- [18] URL-9 <<http://simplesolarinfo.blogspot.com.tr/2014/04/know-about-thermosiphon-in-solar-water.html>>, Erişim : 09.11.2017
- [19] URL-10 <<https://www.conserve-energy-future.com/difference-between-active-and-passive-solar-systems.php>>, Erişim : 09.11.2017
- [20] URL-11 <<http://www.engineering.com/SustainableEngineering/RenewableEnergyEngineering/SolarEnergyESolarEnergy/PassiveSolarSystemsSolarHotWater/tabid/3892/Default.aspx>>, Erişim : 01.11.2017
- [21] URL-12 <<https://www.solahartsc.com.au/solar-water-heating/how-it-works/>>, Erişim : 09.11.2017
- [22] URL-13 <<https://energy.gov/energysaver/solar-water-heaters>> , Erişim : 09.11.2017
- [23] URL-14 <http://www.apricus.com/html/solar_collector_installation_basics.htm>, Erişim : 09.11.2017
- [24] URL-15 <<http://www.rheem.com.au/types-of-solar-water-heaters--direct--indirect>>, Erişim : 09.11.2017
- [25] URL-16 <<https://www.solartubs.com/commercial-solar-heating.html>>, Erişim : 10.11.2017
- [26] URL-17 <<https://solartribune.com/evacuated-tube-solar-hot-water/>>, Erişim : 01.11.2017
- [27] URL-18 <<https://azsolarcenter.org/solar-hot-water-a-primer>>, Erişim : 10.11.2017
- [28] **Shepherd, D. W.** (2003). *Energy Studies (2nd edition)*, Imperial College, London, UK.
- [29] **Struckmann, F.** (2008). Analysis of a Flat-plate Solar Collector, *Dept. of Energy Sciences*, Faculty of Engineering, Lund University, Box 118, 22100 Lund, Sweden
- [30] **Sharshir, S. W. & Yang, N. & Peng, G. & Kabeel, A. E.** (2015). Applied Thermal Engineering, *ISSN 1359-4311*, Elsevier
- [31] URL-19 <<https://www.epa.gov/rhc/solar-heating-and-cooling-technologies>>, Erişim : 02.11.2017
- [32] URL-20 <<http://www.powerfromthesun.net/Book/chapter06/chapter06.html>>, Erişim : 10.11.2017
- [33] URL-21 <http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Englische_Infos/projekt_0810_engl_internetx.pdf>, Erişim : 10.11.2017
- [34] URL-22 <<http://www.sunraysolar.com/solar-collectors-absorber-plates/>>, Erişim : 10.11.2017
- [35] URL-23 <<https://www.azernews.az/region/70400.html>>, Erişim : 10.11.2017
- [36] URL-24 <<http://www.trianglemp.com/solar.htm>>, Erişim : 10.11.2017

- [37] URL-25 <<http://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-hot-water/evacuated-tube-collector.html>>, Erişim : 10.11.2017
- [38] Sabiha, M. A. , Saidur, R. , Mekhilef, S. (2015). Progress And Latest Developments Of Evacuated Tube Solar Collectors, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier
- [39] URL-26 <<https://shop.latitude51solar.ca/evacuated-tube-solar-collectors-p/tz-58-1800-30r.htm>>, Erişim : 10.11.2017
- [40] URL-27 <http://www.apricus.com/html/solar_collector.htm>, Erişim : 10.11.2017
- [41] URL-28 <<https://www.homepower.com/articles/solar-water-heating/equipment-products/solar-collectors-behind-glass>>, Erişim : 02.11.2017
- [42] URL-29 <<http://www.nacleanenergy.com/articles/17102/aimed-at-the-solar-tracking-systems-for-csp>>,Erişim : 10.11.2017
- [43] URL-30 <<http://www.powerfromthesun.net/Book/chapter01/chapter01.html>> , Erişim : 10.11.2017
- [44] Öztürk, H. , Kaya, D. (2013). *Fotovoltaik Teknoloji*, Umuttepe Yayınları
- [45] **Renewable Energy Technologies** (2011) Solar Energy Perspectives, *International Energy Agency*
- [46] URL-31 <http://naturaecoenergy.com/product_parabolic_trough.html>, Erişim: 10.11.2017
- [47] URL-32 <<http://physics.muni.cz/~gszasz/download/janka/solar-thermal-electricity/>>, Erişim : 10.11.2017
- [48] URL-33 <<http://www.inforse.org/europe/dieret/Solar/solar.html#COLLECTORS>>, Erişim : 10.11.2017
- [49] URL-34 <<http://www.brightsourceenergy.com/how-it-works>> , Erişim : 10.11.2017
- [50] URL-35 <<http://www.brightsourceenergy.com/technology>>,Erişim : 10.11.2017
- [51] Chang, K. C. , Lin, W. M. , Lee T. S. (2009). Local market of solar water heaters in Taiwan: review and perspectives,*Renew. Sust. Energ. Rev. 13 (9) 2605–2612.*
- [52] Blanco, J. , Malato, S. , Fernández-Ibañez, P. (2009). Review of feasible solar energy applications to water processes, *Renew. Sust. Energ. Rev. 13 (6–7) 1437–1445.*
- [53] Golić, K. , Kosorić, V. , Furundžić, A. K. (2011). General model of solar water heating system integration in residential building refurbishment—potential energy savings and environmental impact, *Renew. Sust. Energ. Rev. 15 (3) 1533–1544.*
- [54] Hussein, A. K. (2015). Applications of nanotechnology in renewable energies—a comprehensive overview and understanding, *Renew. Sust. Energ. Rev. 42 460–476.*

- [55] **Satyanarayana, K. G. , Mariano, A. B., Vargas, J. V. C.** (2011). A review on microalgae, a versatile source for sustainable energy and materials, *Int. J. Energy Res.* 35 (4) 291–311.
- [56] **URL-36** <http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_Full_Report.pdf>, Erişim : 10.11.2017
- [57] **Langniss, O. , Ince, D.** (2004). Solar Water Heating : Aviable Industry In Developing Countries, *Refocus*
- [58] **Daghigh, R. , Ruslan, M. H. , Sulaiman, M. Y. , Sopian, K.** (2010). Review of solar assisted heat pump drying systems for agricultural and marine products, *Renew. Sust. Energ. Rev.* 14 (9) 2564–2579.
- [59] **Bärbel, E.** (2015). “Global view: solar thermal markets transitioning from residential to commercial”, Solar Thermal World, <http://www.solarthermalworld.org/content/global-view-solarthermal-markets-transitioning-residential-commercial>
- [60] **URL-37** <<https://www.reeep.org/projects/commercialisation-large-scale-solar-water-heating-systems>>, Erişim : 10.11.2017
- [61] **URL-38** <<https://stateofgreen.com/en/profiles/ramboll/solutions/large-scale-solar-water-heating>>, Erişim : 10.11.2017
- [62] **URL-39** <<https://www.apricus.co.nz/commercial-solar-hot-water-systems/>>, Erişim : 10.11.2017
- [63] **URL-40** <http://solarwall.com/media/download_gallery/cases/CoopeldosCoffee_SolarWallCropDryingCaseStudy_Y05.pdf>, Erişim : 10.11.2017
- [64] **URL-41** <http://ship-plants.info/solar-thermal-plants/140-jiangsu-printing-and-dyeing-china?collector_type=4&country=China>, Erişim : 10.11.2017
- [65] **Weiss, W. , Schweiger, H. , Battisti, R.** (2012). Market potential and system designs for industrial solar heat applications n.d.:2–7.
- [66] **Bai, Y. , Chow, T. , Menezo, C. , Dupeyrat, P.** (2012). Analysis of a hybrid PV/thermal solar-assisted heat pump system for sports center water heating application, *International Journal of Photoenergy*, Hindawi Publishing Corporation
- [67] **Wang, Y. , Bi, C. , Lou, W. , Dupeyrat, P.** (2015). Collector solar hot water installation angle optimization in severe cold area, *International Conference on Applied Science and Engineering Innovation*
- [68] **URL-42** <<http://www.cedro-undp.org/>>Cedro, Telefon: +961 1 981944, Adres: Maarad Street, Building 287B First Floor Beirut, Lebanon, info@cedro-undp.org
- [69] **URL-43** <<http://www.solarthermalworld.org/sites/gstec/files/Designing%20of%20solar%20water%20heaters%20Lebanon.pdf>>Cedro – Reference Values for a SWH Model (Sports Center), Erişim : 10.11.2017
- [70] **Moia, P. , Nadal, R. P. , Moll, V. M. , Hertel, J. D.** (2016). Retrofit of a solar system in sport center in Mallorca, *Energy Procedia* 91 (2016) 190 – 196, ScienceDirect

- [71] **Kaygusuz, K.** (1995). *Experimental and theoretical investigation of latent heat storage for water based solar heating system*, Energy Conversion and Management
- [72] **Tsilingiris, P.** (1997). *Design, analysis and performance of low-cost plastic film large solar water heating systems*, Solar Energy
- [73] **Mohsen, M. ve Akash, B.** (1997). Evaluation of domestic solar water heating system in Jordan using analytic hierarchy process, *Energy Conversion and Management*
- [74] **Morrison, G. , Nasr, A. , Behnia, M. , Rosengarten, G.** (1998). Analysis of horizontal mantle heat exchanger in solar water heating systems, *Solar Energy*
- [75] **Kalogirou, S. , Panteliou, S. , Dentsoras, A.** (1999). Modeling of solar domestic water heating systems using artificial neural networks, *Solar Energy*
- [76] **Kalogirou, S. , Panteliou, S. ,** (2000). Thermosiphon solar domestic water heating systems: long-term performance prediction using artificial neural networks, *Solar Energy*
- [77] **Diakoulaki, D. , Zervos, A. ,Sarafidis, J. ,Mirasgedis, S.** (2001). Cost benefit analysis for solar water heating system, *Energy Conversion and Management*
- [78] **Furbo, S. ve Shah, L. ,** (2003). Thermal advantages for solar heating systems with a glass cover with antireflection surfaces, *Solar Energy*
- [79] **Thür, A. , Furbo, S. , Shah, L.** (2007). Energy savings for solar heating systems, *Solar Energy*
- [80] **Hobbi, A. , Siddiqui, K.** (2009). Optimal design of a forced circulation solar water heating system for a residential unit in cold climate using TRNSYS, *Solar Energy*
- [81] **Zhao, X. , Wang, Z. ,Tang, Q.** (2010). Theoretical investigation of the performance of a novel loop heat pipe solar water heating system for use in Beijing, China , *Applied Thermal Engineering*
- [82] **Wang, Z. ve Zhao, X.** (2011). Analytical study of the heat transfer limits of a novel loop heat pipe system, *The International Journal of Energy Research*
- [83] **Wang, Z. , Duan, Z. , Zhao, X. , Chen, M.** (2012). Dynamic performance of a facade – based solar loop heat pipe water heating system, *Solar Energy*
- [84] **Cassard, H. , Denholm, P. , Ong. S.** (2011). Technical and economic performance of residential solar water heating in the United States, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier
- [85] **Ayompe, L. ve Duffy A.** (2013). Thermal performance analysis of a solar water heating system with heat pipe evacuated tube collector using data from a field trial, *Solar Energy*
- [86] **Mills, D. ve Morrison, G.** (2003). Optimisation of minimum backup solar water heating system, *Solar Energy*

- [87] **Kulkarni, G. , Kedare. S. , Bandyopadhyay, S.** (2007). Determination of design space and optimisation of solar water heating systems, *Solar Energy*
- [88] **Li, Z. , Chen, C. , Luo, H. , Zhang, Y. , Xue Y.** (2010). All-glass vacuum tube collector heat transfer model used in forced-circulation solar water heating system, *Solar Energy*
- [89] **Haillot, D. , Goetz, V. , Py, X. , Benabdelkarim, M.** (2011). High performance storage composite for the enhancement of solar domestic hot water systems, *Solar Energy*
- [90] **AlShamaileh, E.** (2010). Testing of a new solar coating for solar water heating applications, *Solar Energy*
- [91] **Kicsiny, R. , Farkas, I.** (2012). Improved differential control for solar heating systems, *Solar Energy*
- [92] **Huang, B. , Ton, W. , Wu, C.** (2012). *Maximum power point tracking control of solar heating system*, *Solar Energy*
- [93] **Raffenel, Y. , Fabrizio, E. , Virgone, J. ve diğerleri** (2009). Integrated solar heating systems: from initial sizing procedure to dynamic simulation, *Solar Energy*
- [94] **Kulkarni, G. , Kedare, S. , Bandyopadhyay, S.** (2009). Optimisation of solar water heating systems through water replenishment, *Energy Conversion and Management*
- [95] **Mather, D. , Hollands, K. , Wright, J.** (2002). Single and multi tank energy storage for solar heating systems: fundamentals, *Solar Energy*
- [96] **Kishor, N. , Das, M. , Narain, A. ve diğerleri** (2010). Fuzzy model representation of thermosyphon solar water heating system, *Solar Energy*
- [97] **Zhang, X. , Zhao, X. , Xu, J. ve diğerleri** (2013). Characterization of a solar photovoltaic/ loop-heat pipe heat pump water heating system, *Applied Energy*
- [98] **Sanino, L. ve Reischel, R.** (2007). Modelling and identification of solar energy water heating system incorporating nonlinearities, *Solar Energy*
- [99] **Hazami, M. , Kooli, S. , Naili, N. ve diğerleri** (2013). Long term performances prediction of an evacuated tube solar water heating system used for single-family households under typical North-African climate (Tunisia), *Solar Energy*
- [100] **Zhang X., Zhao X., Shen J. ve diğerleri**, (2013). Design, fabrication and experimental study of a solar photovoltaic/loop heat pipe based heat pump system, *Solar Energy*
- [101] **Lee, D. ve Sharma, A.** (2007). Thermal performances of the active and passive water heating systems based on annual operation, *Energy Solar*
- [102] **Valladares, G. O. , Pilatowsky, I. , Ruíz, V.** (2008). Outdoor test method to determine the thermal behaviour of solar domestic water heating systems, *Solar Energy*

- [103] **Kuang, Y. H. , Sumathy, K. , Wang, R. Z.** (2003). Study on a direct expansion solar assisted heat pump water heating system, *International Journal of Energy Research*
- [104] **Purohit, P. , Michaelowa, A.** (2008). CDM potential of solar water heating systems in India, *Solar Energy*
- [105] **Batidzirai, B. , Lysen, E. , Egmondvan, S. ve diğerleri** (2009). Potential for solar water heating in Zimbabwe, *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier*
- [106] **DeSa, V. G.** (1964) Experiments with solar energy utilization at Dacca, *Solar Energy*
- [107] **Morrison, G. L. ve Braun, J. E.** (1985). System modeling and operation characteristics of thermosyphon solar water heaters, *Solar Energy*
- [108] **Chien, C. C. , Kung, C. K. , Chang, C. C. ve diğerleri** (2011). Theoretical and experimental investigations of a two-phase thermosyphon solar water heater, *Energy*
- [109] **Redpath, D. A. G. , Eames, P. C. , Lo, S. N. G. , Griffiths, P. W.** (2009). Experimental investigation of natural convection heat exchange within a physical model of the manifold chamber of a thermosyphon heat-pipe evacuated tube solar water heater, *Solar Energy*
- [110] **Reddy, K. S. , Kaushika, N. D.** (1999). Comparative study on transparent insulation materials cover systems for integrated-collector-storage solar water heaters, *Solar Energy Materials and Solar Cells*
- [111] **Chyng, J. P. , Lee, C. P. , Huang, B. J.** (2003). Performance analysis of a solar-assisted heat pump water heater, *Solar Energy*
- [112] **Schmidt, C. ve Goetzberger, A.** (1990). Single-tube integrated collector storage systems with transparent insulation and involute reflector, *Solar Energy*
- [113] **Huang, B. J. , Lee, J. P. , Chyng, J. P.** (2005). Heat-pipe enhanced solar-assisted heat pump water heater, *Solar Energy*
- [114] **Hobson, P. A. ve Norton, B.** (1989). A design nomogram for direct thermosyphon solar energy water heaters, *Solar Energy*
- [115] **Farrington, R. , Deangelis, M. , Morrison, L. , Dougherty, D.** (1981). Performance evaluation of a refrigerant-charged thermosyphon solar DHW system, *ISES*
- [116] **Yamaguchi, H. , Sawada, N. , Suzuki, H. ve diğerleri** (2010). Preliminary study on a solar water heater using supercritical carbon dioxide as working fluid, *Journal of Solar Energy Engineering*
- [117] **URL-44** < <http://www.fchart.com/>>, F-Chart Software, LLC, Tel: +1 (608) 274 42 62 Faks: +1 (608) 274 42 62, Adres: Box 44042 Madison WI 53744, info@fchart.com
- [118] **URL-45** <<https://sam.nrel.gov/>>SAM (System Advisor Model), National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, operated by the Alliance for Sustainable Energy, LLC., Tel: +1 (303) 275 30 00, National

Renewable Energy Laboratory 15013, Denver West Parkway Golden,
Colorado-U.S.A. 80401,

- [119] **URL-46** <<http://www.trnsys.com/>>, TRNSYS (Transient System Simulation), Thermal Energy System Specialists LLC, 22 North Carroll Street, Suite 370 53703 Madison , Wisconsin-U.S.A., , techsupport@tess-inc.com
- [120] **URL-47** <<http://solargis.com/assets/graphic/free-map/GHI/Solargis-World-GHI-solar-resource-map-en.png>>, Erişim : 08.11.2017
- [121] **URL-48** <<http://www.eie.gov.tr/mycalculator/Default.aspx>>, Erişim : 09.10.2017
- [122] **URL-49** <<https://www.unilever.co.uk/about/innovation/latest-news/helpingconsumers-save-energy-water-and-money.html>>, Erişim : 09.10.2017
- [123] **Okafor, I. F. ve Akubue, G.** (2012). F-Chart Method for Designing Solar Thermal Water Heating Systems, *International Journal of Scientific & Engineering Research* Volume 3, Issue 9
- [124] **URL-50** <<http://web.mit.edu/parmstr/Public/Documentation/05-MathematicalReference.pdf>> Erişim : 14.12.2017
- [125] **Christensen, C. , Burch, J. , DiOrion, N.** (2014). Technical Manual for the SAM Solar Water Heating Model, *International Journal of Scientific & Engineering Research* Volume 3, Issue 9

EKLER

EK A: F-chart Kullanım Kılavuzu

EK B :SAM Kullanım Kılavuzu

EK C : TRNSYS Kullanım Kılavuzu

EK D :Vaillant Solar Systems VFK 125 Teknik Bilgi Dokümanı

EK E :Buderus SU-100 Teknik Bilgi Dokümanı



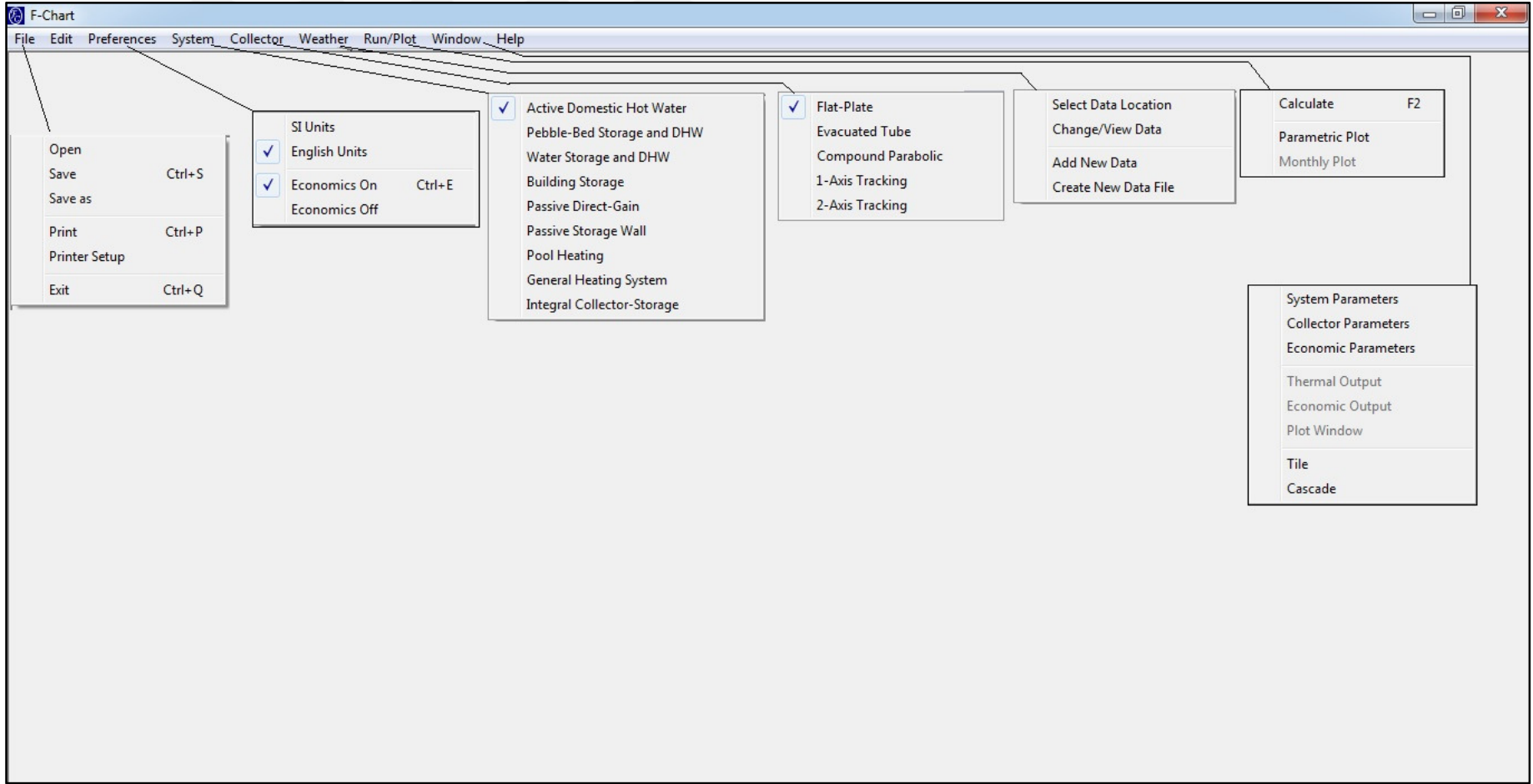


EK A: F-Chart Kullanım Kılavuzu

F-chart programının anasayfasında yer alan kullanıcı arayüzü Şekil A.1’de sunulmuştur.

Gerçekleştirilecek bir modelleme çalışmasında;

- “Preferences” sekmesi üzerinden çalışmada kullanılacak birimler ve ekonomik analiz seçeneği seçilebilir.
- “System” sekmesi altında tasarımı yapılmak istenen güneş enerjisi sistem modelleri listelenmiştir.
- “Collector” sekmesi altında tasarımı yapılan güneş enerjisi sisteminde kullanılacak kolektör tipi seçilebilir.
- “Weather” sekmesi altında modellemenin yapılacağı lokasyona ait iklim verilerinin seçimi ya da yeni iklim verisi girişi yapılması mümkündür.
- Modellenmek istenen sisteme ait bilgiler doğrultusunda gerekli veriler ilgili sekmelere işlenir ve sonrasında “Run/plot” sekmesi altındaki “Calculate” adımı yürütülerek yazılımın girdisi yapılan veriler doğrultusunda analize başlaması ve sonrasında da çıktıları sunması sağlanmış olur.



Şekil A.1 : F-chart programı kullanıcı arayüzü.

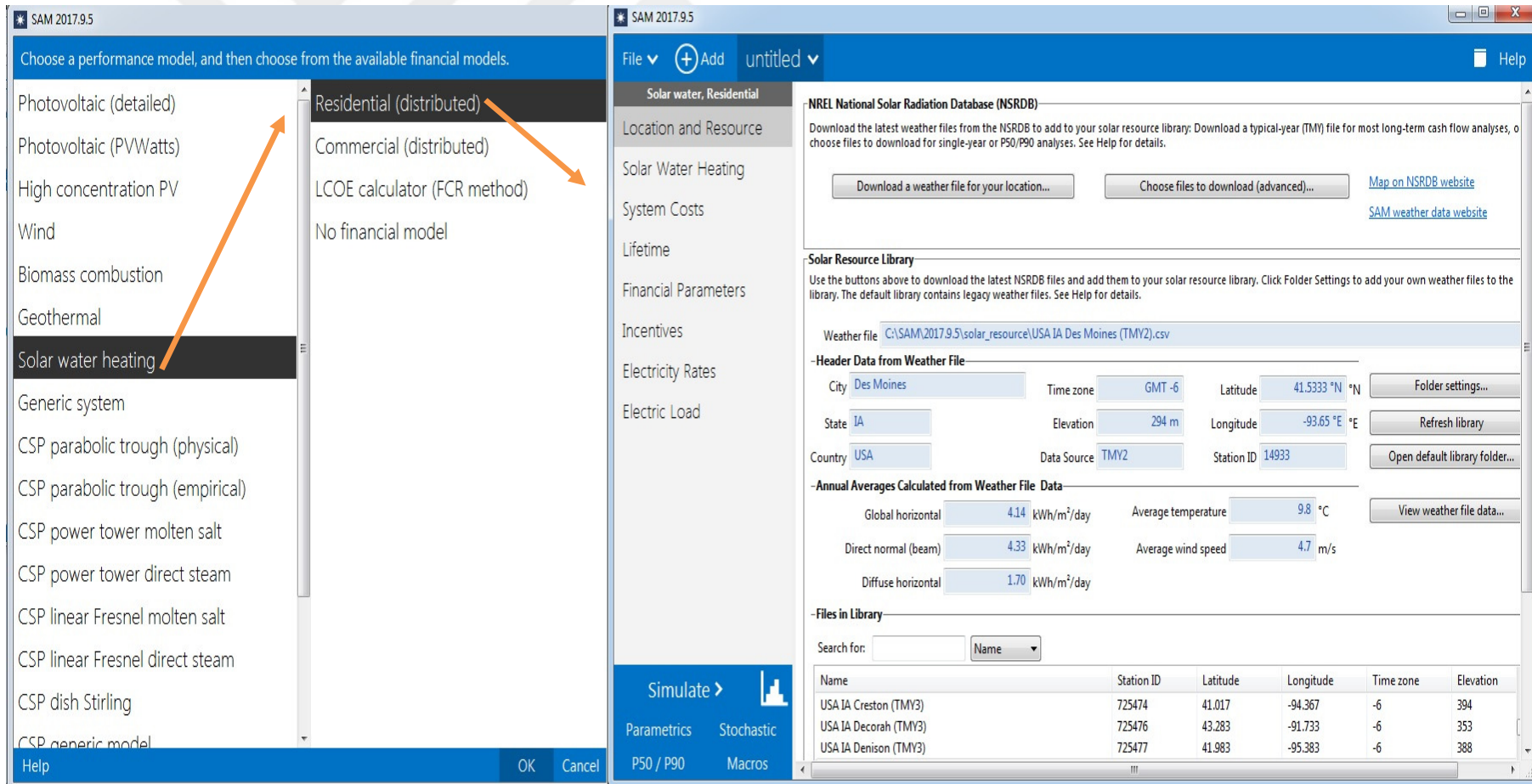
EK B : SAM Kullanım Kılavuzu

SAM programının anasayfasında yer alan kullanıcı arayüzü ekranları Şekil B.1’de sunulmuştur.

Gerçekleştirilecek bir modelleme çalışmasında; öncelikle yeni oluşturulan bir proje ekranında modellemesi yapılması istenen sistem seçilebilir.

Ardından varsa seçilen birime ait alt sistem bilgilerinin girişi yapılabilir. Proje ekranı başlatıldıktan sonra;

- “Location and Resource” sekmesi altından modelleme yapılacak lokasyona ait iklim verileri mevcut kütüphaneden seçilebilir ya da mevcut bir iklim verisi sisteme tanımlanabilir.
- “Solar Water Heating” sekmesi altında modellemesi yapılacak sisteme ait kolektör tipi, kolektör adedi, eğim açısı, depolama hacmi vb. temel değer girişlerinin yapılabildiği bölümdür.
- “System Costs” sekmesi altında sisteme ait yeni malzeme, kurulum, beklenmeyen giderler gibi maliyetler girilebilir.
- “Lifetime” ve “Financial Parameters” sekmesi altında sistemin yıllık performans düşüşü, kredilenmeye ilişkin vergi ve faiz oran değerleri ile enflasyon gibi değerlerin giriş yapılabildiği bölümlerdir.
- “Incentives” bölümünde, varsa proje için alınan teşvikleri girilebildiği bölümdür.
- “Electricity Rates” ve “Electric Load” sekmelerinde elektrik enerjisi satışı olması durumunda göz önünde bulundurulması gereken elektrik satış oranları, elektrik enerjisi alış oranları gibi verilerin girilebildiği bölümdür.
- Son olarak gerekli tüm veriler girildikten sonra “Simulate” adımına basılır ve sistem çalıştırılarak verimlilik değerleri yorumlanabilir.
- “System” sekmesi altında tasarımı yapılmak istenen güneş enerjisi sistem modelleri listelenmiştir.
- “Collector” sekmesi altında tasarımı yapılan güneş enerjisi sisteminde kullanılacak kolektör tipi seçilebilir.
- “Weather” sekmesi altında modellemenin yapılacağı lokasyona ait iklim verilerinin seçimi ya da yeni iklim verisi girişi yapılması mümkündür.



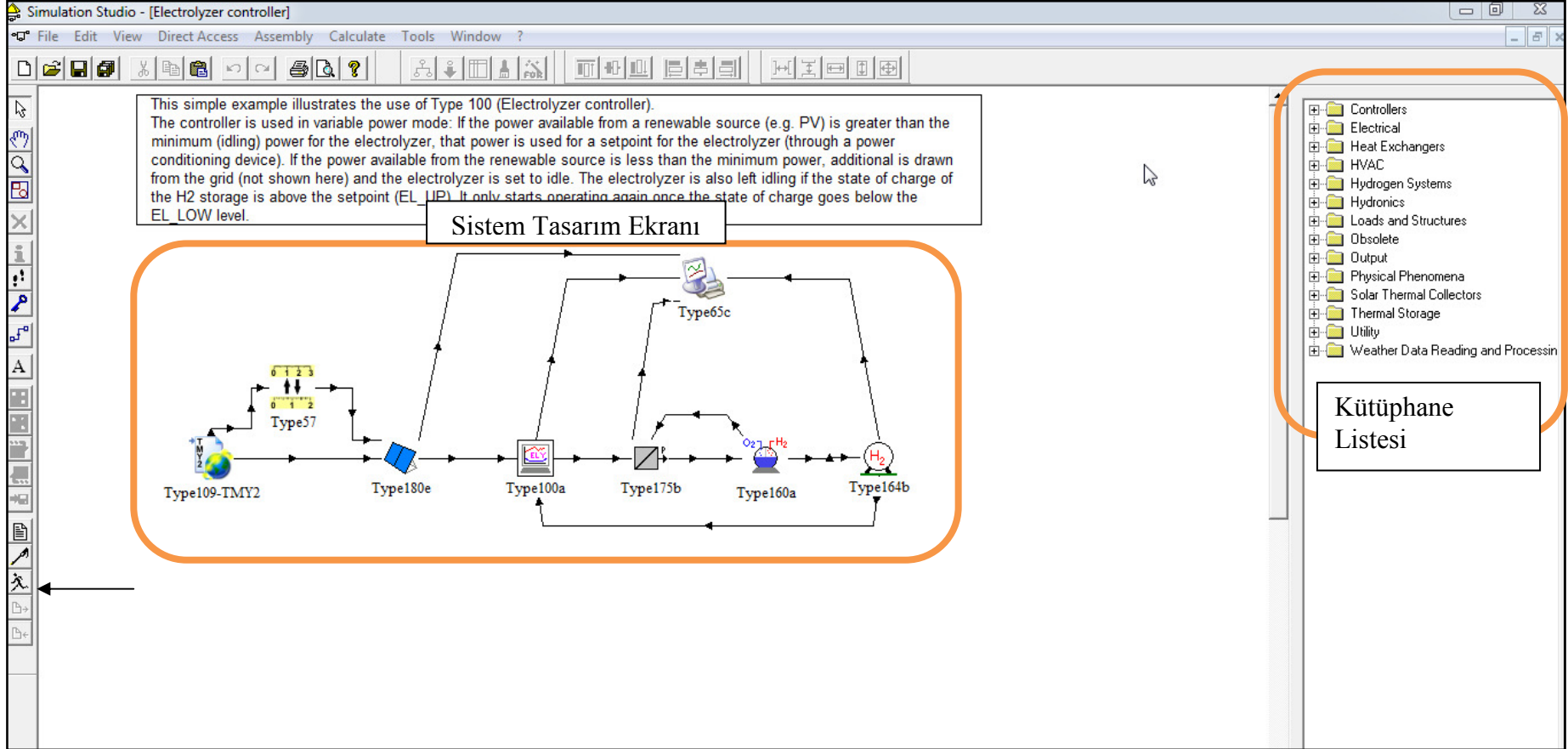
Şekil B.1 : SAM programı kullanıcı arayüzü.

EK C: TRNSYS Kullanım Kılavuzu

TRNSYS yazılımının anasayfasında yer alan kullanıcı arayüzü ekranlarında yer alan Kütüphane Listeleri ve Sistem Tasarım ekranı Şekil C.1’de sunulmuştur.

Gerçekleştirilecek bir modelleme çalışmasında;

- Tasarlanacak sisteme ait elemanlar geniş TRNSYS kütüphanesinde yer alan alt birimlerden seçilir.
- Sonrasında seçilen birimlere ait değerler Sistem Tasarım Ekranı üzerindeki sembollerine çift tıklanarak girilebilir.
- Kurulması hedeflenen sistemin alt malzemeleri seçilerek Sistem Tasarım Ekranı’na aktarıldıktan sonra, sistemi oluşturan her bir malzeme için gerekli analiz ve girdi-çıkıtlı bağlantıları alınarak “Create Link” sekmesi üzerinden gerçekleştirilir.
- Gerekli bağlantı ve haberleşme işlemleri tamamlandıysa, “proje” sekmesi altında yer alan “Run” komutuyla tasarlanan sistem belirlenen sınırlar içinde benzetim yapmaya başlaması sağlanır.
- Sonuç olarak, belirlenen sistem çalışma aralığı doğrultusunda gerçekleştirilen analiz grafiksel olarak kullanıcıya sunulur.



Şekil C.1 : TRNSYS programı kullanıcı arayüzü.

EK D :Vaillant Solar Systems VFK 125 Teknik Bilgi Dokümanı

Vaillant solar systems vfk 125 kolektörüne ait teknik bilgiler Şekil D.1 ve Şekil D.2’de sunulmuştur.

	Birim	VFK 125/3	VFK 145/2 H/V
Absorber tipi	-	Serpantin	Yatay/dikey serpantin
Ölçüler, dikey kolektörler (U x G x Y)	mm	2033 x 1233 x 80	
Ölçüler, yatay kolektörler (U x G x Y)	mm	-	1233 x 2033 x 80
Ağırlık	kg	37	
Sıvı hacmi	l	1,85	2,16 (H) 1,85 (V)
İzin verilen maks. çalışma basıncı	bar	10	
Durma sıcaklığı	°C	175	199
Brüt yüzey	m ²	2,51	
Net yüzey	m ²	2,35	
Absorber yüzeyi	m ²	2,33	
Absorber	mm	Alüminyum (vakum kaplama) 0,5 x 1178 x 1978	
Kaplama	-	Selektif yüzey (siyah)	Selektif yüzey (mavi)
		$\alpha = \% 90$ $\varepsilon = \% 20$	$\alpha = \% 95$ $\varepsilon = \% 5$
Cam kapak	mm	3,2	

Şekil D.1 : Vaillant VFK Teknik bilgiler 1.

Cam tipi	-	Emniyetli şeffaf cam	Solar emniyetli cam (prizmatik kanatlar)
Aktarım	%	$\tau = 91$	
Arka panel izolasyonu	mm W/m ² K	40 $\lambda = 0,035$	
Kenar izolasyonu	-	yok	
Etki derecesi η_0	%	74,0	79,8 (H) 79,0 (V)
Isı kaybı faktörü (k_1)	W/m ² K	3,89	3,79 (H) 3,72 (V)
Isı kaybı faktörü (k_2)	W/m ² K	0,018	0,016
Maksimum rüzgar yükü	kN/m ²	1,6	
Maksimum standart kar yükü	kN/m ²	5,0	
Montaj açısı, çatı üstü	°	15 - 75	
Montaj açısı, düz çatı	°	30, 45, 60	

Şekil D.2 : Vaillant VFK Teknik bilgiler 2.

EK E : Buderus SU-1000 Teknik Bilgi Dokümanı

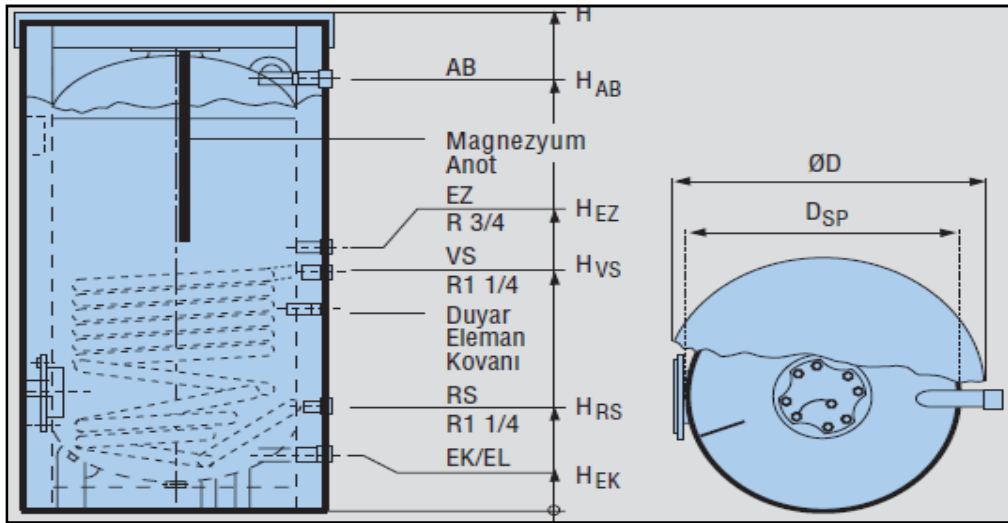
Buderus SU-1000 model boylere ait teknik bilgiler Şekil E.1, Şekil E.2 ve Şekil E.3'te sunulmuştur.

MODEL	BOYLER SERPANTİN SU GİRİŞ SICAKLIĞI tv °C	SÜREKLİ REJİMDE				PRİMER DEVRE SU DEBİSİ m³/h	SERPANTİN DİRENCİ mbar
		te=10°C lt/h	ta=45°C kW	te=10°C lt/h	ta=60°C kW		
SU/SB 160	90	1000	40.7	635	36.9	2.0	190
SU/SB 200	90	1000	40.7	635	36.9	2.0	190
SU/SB 300	90	1220	49.6	760	44.2	5.0	223
SU/SB 300	90	1040	42.4	645	37.6	2.6	63
SU 400	90	1838	74.8	1098	63.8	7.0	250
SU 500	90	2230	90.8	1372	79.8	4.95	350
SU 750	90	2811	114.4	1740	101.2	4.3	350
SU 1000	90	3068	124.9	1928	114.4	3.8	350

Şekil E.1 : Buderus SU-1000 Teknik bilgiler 1.

MODEL		SU/SB160	SU/SB 200	SU/SB 300	SU 400	SU 500	SU 750	SU 1000
Depo Hacmi	(lt)	160	200	300	400	490	750	1000
Çap	Ø D (mm)	556	556	672	810	810	960	1060
	Ø DSP (mm)	-	-	-	650	650	800	900
Yükseklik	H (mm)	1188	1448	1465	1550	1850	1850	1920
Isıtıcı Akışkan Girişi	Hvs (mm)	644	644	682	790	940	973	1033
Isıtıcı Akışkan Dönüşü	Hrs (mm)	238	238	297	303	303	283	326
Soğuk Su Girişi	Ø EK DN	R1	R1 1/4	R1 1/4	R1 1/4	R1 1/4	R1 1/2	R1 1/2
	HEK (mm)	57	57	60	148	148	133	121
Temiz Su Sirkülasyonu	HEZ (mm)	724	724	762	912	1062	1065	1126
Kullanma Sıcak Su Çıkışı	Ø AB DN	-	-	-	R1 1/4	R1 1/4	R1 1/4	R1 1/2
	HAB (mm)	1111	1371	1326	1343	1643	1648	1721
Net Ağırlık	(kg)	98	110	145	195	238	319	406
Maks. İşletme Basıncı	(bar)	25 (Primer devre) / 10 (Sekonder devre)						
Maks. İşletme Sıcaklığı	(°C)	160 (Primer devre) / 95 (Sekonder devre)						

Şekil E.2 : Buderus SU-1000 Teknik bilgiler 2.



Şekil E.3 : Buderus SU-1000 Teknik bilgiler 3.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Mustafa ERKAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 20.09.1986 - İzmir
E-posta : mstferkan@yahoo.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2008, İ.T.Ü., Makina Fakültesi, Makine Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- 2008-2012 Arçelik Çamaşır Makinesi İşletmesi - Üretim Mühendisi
- 2013-2014 TEI - Kalite Mühendisi
- 2014- Aselsan - Entegre Lojistik Destek Mühendisi