

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ YARI OLİMPİK YÜZME
HAVUZUNUN ISITMA SİSTEMİNİN TERMO-EKONOMİK
ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUHAMMED ENES YELKOVAN

BALIKESİR, ARALIK - 2016

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ YARI OLİMPİK YÜZME
HAVUZUNUN ISITMA SİSTEMİNİN TERMO-EKONOMİK
ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUHAMMED ENES YELKOVAN

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. BEDRİ YÜKSEL (Tez Danışmanı)**
Prof. Dr. RECEP YAMANKARADENİZ
Yrd. Doç. Dr. KADİR YAŞAR

BALIKESİR, ARALIK - 2016

KABUL VE ONAY SAYFASI

Muhammed Enes YELKOVAN tarafından hazırlanan “**GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ YARI OLİMPİK YÜZME HAVUZUNUN ISITMA SİSTEMİNİN TERMO-EKONOMİK ANALİZİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 30.12.2016 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof. Dr. Bedri YÜKSEL

Üye
Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ

Üye
Yrd. Doç. Dr. Kadir YAŞAR


.....

.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

ÖZET

**GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ YARI OLİMPİK YÜZME
HAVUZUNUN ISITMA SİSTEMİNİN TERMO-EKONOMİK
ANALİZİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MUHAMMED ENES YELKOVAN
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. BEDRİ YÜKSEL)
BALIKESİR, ARALIK - 2016**

Yüzme havuzlarının ısıtılmasında çoğunlukla konvansiyonel yakıtların ve/veya elektrikli sistemlerin kullanımı, yüksek işletme maliyetlerine ve çevre kirliliğine yol açmaktadır. Bu olumsuzlukları azaltmak için Balıkesir Üniversitesi yarı olimpik kapalı yüzme havuzunun ısıtma sistemine, 2013 yılında, 311 m² kolektör alanına sahip güneş enerjili ısıtma sistemi ilave edilmiştir. Bu çalışmada, Balıkesir Üniversitesi yüzme havuzunun güneş enerjisi destekli ısıtma sisteminin termo-ekonomik analizi yapılmıştır. Havuz suyunun aylara göre ısıtma enerjisi ihtiyacı ve bu ihtiyacın güneş enerjisi sistemi ile karşılanma oranları teorik olarak hesaplanmıştır. Kolektörlerin aylara göre optimum eğim açısında yerleştirilmesinin sağlayacağı faydalar ortaya koyulmuştur. Hesaplamalarda kullanılan parametreler, mimari ve mekanik tesisat projeleriyle sistem bileşenlerine ait ürün kataloglarından elde edilmiştir. Çalışmada, enerji performans değerlendirmesinin yanında ısıtma sisteminin ekonomik analizi de yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar, havuz suyunun yıllık ısı kaybının toplam 868.615 kWh olduğunu ve bu kaybın 254.639 kWh'lik bölümünün güneş enerjisi sistemi ile karşılandığını göstermektedir. Meydana gelen ısı kayıplarının güneş enerjisi sistemi tarafından karşılanma oranları yıl içerisinde %4-85 arasında değişmektedir. 2013 yılında 260.000 TL'lik ilk yatırım maliyeti ile kurulan güneş enerjili ısıtma sistemi 488.450 TL parasal tasarruf sağlayıp, kendini 11,5 yılda amorti etmektedir. Çalışmada, ayrıca, güneş kolektörlerinin havuz suyunun ısıtılması ile birlikte havuz kullanıcıları için sıcak kullanım suyu üretmek yerine, yalnızca havuz suyunun ısıtılmasında kullanılmasının daha ekonomik olacağı teorik hesaplamalar sonucunda tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Yüzme havuzu ısıtılması, ısı kayıpları, yarı olimpik havuz, güneş enerjisi, ekonomik analiz

ABSTRACT

THERMO-ECONOMIC ANALYSIS OF SOLAR ENERGY ASSISTED SEMI OLIMPIK SWIMMING POOL HEATING SYSTEM

MSC THESIS

MUHAMMED ENES YELKOVAN

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. BEDRİ YÜKSEL)

BALIKESİR, DECEMBER 2016

The use of conventional fuels and/or electrical systems in swimming pool heating often leads to high operating costs and environmental pollution. To minimize these problems, in 2013, a solar energy system with a 311 m² collector area was added to the heating system of the Balıkesir University semi-olympic indoor swimming pool. In this study, thermo-economic analysis of the solar energy assisted heating system of this pool was carried out. The monthly heat demands of the pool water and the supply ratios of these demands by solar energy were both determined theoretically. The benefits of the positioning of the collectors on the monthly optimum tilt angle were also investigated. The parameters used in the calculations were taken from the architectural and mechanical installation projects and the product catalogs of the system components. Besides the energetic performance evaluation, an economic analysis of the heating system was also performed.

The results show that a total of 868.615 kWh of annual heat loss occurs from the pool water and 254.639 kWh of this total is supplied by the solar energy system. The supply ratios of the heat losses by the solar energy system vary from 4 to 85% by month. The solar energy system which has a capital investment of 260.000 TRY in 2013 saves up to 488.450 TRY and has a payback period of 11,5 years. Besides, the use of solar collectors only for heating of the pool water is more economic than for supplying hot water for the pool.

KEYWORDS: Swimming pool heating, heat losses, semi-olympic indoor swimming pool, solar energy, economic analysis

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Dünya Genel Enerji Görünümü.....	2
1.1.1 Dünyada Genel Enerji Görünümü ve Gelecek Senaryosu.....	2
1.1.2 Türkiye Genel Enerji Görünümü	6
1.1.3 Dünya Yenilenebilir Enerji Görünümü.....	10
1.1.4 Türkiye Yenilenebilir Enerji Görünümü.....	13
1.2 Güneş Enerjisi	15
1.2.1 Güneş ve Güneş Enerjisi Hakkında Temel Bilgiler.....	16
1.2.2 Güneş Açıları	18
1.2.2.1 Esas Güneş Açıları	18
1.2.2.2 Türetilen güneş açıları.....	19
1.2.3 Enerji Kaynağı Olarak Güneş Enerjisi ve Kullanımları	21
1.2.4 Güneş Enerjisi Isıl Sistemler.....	22
1.2.4.1 Güneş Kolektörleri ve Çeşitleri.....	22
1.2.5 Elektriksel (fotovoltaik) Sistemler.....	30
1.2.6 Dünya’da Güneş Enerji Potansiyeli	31
1.2.6.1 Dünya’da Isıl Güneş Enerjisi	31
1.2.6.2 Dünya’da Fotovoltaik.....	34
1.2.7 Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli	35
1.2.7.1 Türkiye’de Isıl Güneş Enerjisi	37
1.2.7.2 Türkiye’de Fotovoltaik.....	39
1.3 Literatür Araştırması	39
2. YÜZME HAVUZLARININ GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ SİSTEMLERLE ISITILMASI	47
2.1 Havuz Isıtılmasında Kullanılan Sistemler	48
2.1.1 Pasif Sistemler	48
2.1.2 Aktif Sistemler	49
2.1.2.1 Direkt Isıtma Sistemleri	49
2.1.2.2 Endirekt Isıtma Sistemleri.....	51
2.2 Açık ve Kapalı Havuzların Isıtılmasındaki Farklılıklar	53
3. MATERYAL VE YÖNTEM	55
3.1 Çalışmanın Yapıldığı Bölgenin Tanıtılması	55
3.2 Balıkesir İli Güneş Enerjisi Potansiyeli.....	58
3.3 Çalışmada Kullanılan Yüzme Havuzunun Tanıtımı	60
3.4 Güneş Işınım Verilerinin Elde Edilmesi.....	68
3.5 Güneş Enerji Sisteminden Elde Edilen Enerjinin Hesaplanması	69
3.6 Kapalı Yüzme Havuzlarında Meydana Gelen Isı Kayıpları.....	70
3.6.1 Buharlaştırma Isı Kayıpları	71

3.6.1.1	ASHREA Metoduna Göre Buharlaşma Miktarının Hesaplanması	71
3.6.1.2	Recknagel'a Göre Buharlaşma Miktarının Hesaplanması	72
3.6.1.3	VDI 2089 Normuna Göre Buharlaşma miktarının hesaplanması	72
3.6.2	Işınım (Radyasyon) Isı Kayıpları.....	73
3.6.3	Taşınım (Konveksiyon) Isı Kayıpları	74
3.6.4	İletim (Kondüksiyon) Isı Kayıpları.....	76
3.6.4.1	Havuz Yan Duvarlarından İletim Isı Kaybı	76
3.6.4.2	Havuz Tabanında İletim Isı Kaybı	78
3.6.5	Takviye Edilen Suyun Neden Olduğu Isı Kayıpları	79
3.7	Sistemin Ekonomik Analiz.....	80
4.	BULGULAR	82
4.1	Güneş Enerjisi Sisteminden Elde Edilen Enerji	82
4.2	Havuz Suyundan Meydana Isı Kayıp Miktarları.....	83
4.3	Sistemin Ekonomik Analiz Sonuçları	90
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	98
6.	KAYNAKLAR.....	104

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1:	Dünya GSYİH ile birincil enerji talebi arasındaki ilişki.....	3
Şekil 1.2:	Birincil enerji kaynaklarının dağılımı ve 2035 yılı birincil enerji dağılım tahmini	4
Şekil 1.3:	Dünya birincil enerji tüketiminin enerji kaynağı çeşidine göre (a) 1973-2013 dönemindeki yıllara göre değişimi, (b) oransal dağılımı	5
Şekil 1.4:	OECD ülkelerinin enerji tüketiminin enerji kaynağı çeşidine göre (a) 1973-2013 dönemindeki yıllara göre değişimi, (b) oransal dağılımı.....	5
Şekil 1.5:	Dünya birincil enerji talebinin bölgelere göre dağılımı ve 2035 yılı projeksiyonu	6
Şekil 1.6:	Türkiye birincil enerji tüketiminin 2003-2013 yılları arasındaki değişimi.....	7
Şekil 1.7:	2003-2013 yılları arası Türkiye birincil enerji üretiminin tüketimi karşılama oranları	7
Şekil 1.8:	Türkiye'nin birincil enerji üretiminin enerji kaynağı çeşitlerine göre 2003-2013 dönemindeki yıllara göre değişimleri.....	8
Şekil 1.9:	Türkiye'de birincil enerji üretiminin 2003 ve 2013 yıllarında enerji kaynağı çeşitlerine göre oransal dağılımı	9
Şekil 1.10:	Türkiye'nin nihai enerji tüketiminin başlıca sektörlere göre 2003-2013 dönemindeki yıllara göre değişimleri.....	9
Şekil 1.11:	Yenilenebilir enerjinin dünya enerji tüketimi içindeki payı.	10
Şekil 1.12:	Global toplam yenilenebilir enerji kapasitesi	11
Şekil 1.13:	2014 yılı yenilenebilir enerji kurulu kapasitesinin dünya elektrik üretimi içindeki payı.....	11
Şekil 1.14:	Yıllara göre dünya enerji yatırımları	12
Şekil 1.15:	2013 yılı yenilenebilir enerjinin Türkiye enerji tüketimi içerisindeki payı ve enerji kaynaklarının oranı.....	13
Şekil 1.16:	Toplam kurulu güç içerisindeki yenilenebilir enerji güç oranı....	14
Şekil 1.17:	Türkiye yenilenebilir enerji kurulu güç kapasitesinin enerji	14
Şekil 1.18:	2014 yılı Türkiye elektrik enerjisinin yakıt cinslerine göre kurulu gücü	15
Şekil 1.19:	Dünyadaki enerji kaynaklarının potansiyellerinin karşılaştırılması.....	17
Şekil 1.20:	Güneşten gelen ışınımın dağılımı.	17
Şekil 1.21:	Güneş açıları.	18
Şekil 1.22:	Türetilen güneş açıları	20
Şekil 1.23:	Camsız güneş kolektörleri.	24
Şekil 1.24:	Düzlemsel güneş kolektörü yapısı.	25
Şekil 1.25:	Vakum tüplü güneş kolektörü.	27
Şekil 1.26:	Parabolik oluk kolektörleri.	28
Şekil 1.27:	Doğrusal fresnel oluk kolektörleri.	29
Şekil 1.28:	Parabolik çanak kolektörleri.	29
Şekil 1.29:	Güneş kulesi.....	30
Şekil 1.30:	Fotovoltaik sistemler.....	31

Şekil 1.31:	2014 yılı sonu itibari ile dünyada kullanılan toplam kolektör türlerinin oransal dağılımı.....	32
Şekil 1.32:	2000-2014 yılları, dünya güneş ısı kurulu güç kapasite gelişimi.....	32
Şekil 1.33:	Dünya toplam yoğunlaştırılmış termal güneş gücü kapasitesi.....	33
Şekil 1.34:	Dünyadaki toplam kurulu solar PV kapasite	34
Şekil 1.35:	PV kapasitesi, ilk 10 sıradaki ülke.....	35
Şekil 1.36:	Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası.....	36
Şekil 1.37:	Türkiye global radyasyon değerleri	36
Şekil 1.38:	Türkiye güneşlenme süreleri.....	37
Şekil 1.39:	Sulu kolektör kurulu kapasitesi, ilk 10 sıradaki ülke.....	38
Şekil 2.1:	Tek pompanın kullanıldığı direkt ısıtma sistemi	50
Şekil 2.2:	Kolektör devresi için ayrı pompa ve kontrol vanalı kullanılan direkt ısıtma sistemi	51
Şekil 2.3:	Kullanım sıcak suyu ile havuz suyu ısıtılmasını sağlayan birleşik endirekt ısıtma sistemi	53
Şekil 3.1:	Balıkesir ilinin coğrafi konumu.	55
Şekil 3.2:	Balıkesir iline ait hava sıcaklık değerlerinin aylara göre değişimi.....	56
Şekil 3.3:	Balıkesir'e ait Sıcaklık ve bağıl nem karşılaştırması.....	57
Şekil 3.4:	Balıkesir İli güneş enerjisi potansiyeli haritası	58
Şekil 3.5:	Balıkesir ili global ışınım değerleri	59
Şekil 3.6:	Balıkesir ili güneşlenme süreleri.....	59
Şekil 3.7:	Balıkesir Üniversitesi Kapalı Yüzme Havuzu.	60
Şekil 3.8:	Balıkesir Üniversitesi Yüzme Havuzları şeması.	61
Şekil 3.9:	Balıkesir Üniversitesi Yüzme Havuzları.	61
Şekil 3.10:	Tesisin konvansiyonel ısıtma sistem şeması.....	62
Şekil 3.11:	Tesisin, güneş enerjisi destekli ısıtma sistemi şeması.	63
Şekil 3.12:	Tesisin, güneş enerjisi destekli ısıtma sistemi.	64
Şekil 3.13:	Sistemde kullanılan düzlemsel güneş kolektörleri.....	66
Şekil 3.14:	Balıkesir Üniversitesi Kapalı Yüzme Havuzu yerleşim planı.	67
Şekil 3.15:	Yüzme havuzlarında oluşan ısı kayıplarının genel görünümü.....	70
Şekil 3.16:	Balıkesir Üniversitesi büyük ve küçük havuz yan yüzey katmaları.	77
Şekil 3.17:	Balıkesir Üniversitesi Spor Tesisleri, büyük ve küçük yüzme havuzlarının taban katmanları.....	79
Şekil 4.1:	Yüzme havuzunda meydana gelen ısı kayıplarının yüzdesel olarak dağılımı.	87
Şekil 4.2:	Isı kayıplarının aylara göre değişimi.	88
Şekil 4.3:	Toplam ısı kayıplarının, güneş enerjisi ve doğalgaz ısıtma sisteminin karşılamasının aylara göre değişimi.	89
Şekil 4.4:	Kolektör verimlerinin yılın aylarına göre değişim grafiği.....	95
Şekil 4.5:	Farklı durumlar için güneş enerjisi sisteminden elde edilen enerji miktarlarının değişim grafiği.	96
Şekil 4.6:	Havuz suyundan meydana gelen ısı kayıplarının güneş enerjisi ile karşılanma grafiği.	97

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Bazı Yutucu plakaların yutma (α) ve neşretme (ϵ) katsayıları ile (α / ϵ) oranları	26
Tablo 2.1: Çeşitli kullanım amaçlarına göre önerilen havuz suyu sıcaklıkları	48
Tablo 2.2: Açık-Kapalı Yüzme havuzların enerji gereksinimlerinin karşılaştırılması.....	54
Tablo 3.1: Balıkesir iline ait aylık ortalama bağıl nem miktarları.	56
Tablo 3.2: Balıkesir iline ait ortalama aylık bulutluluk faktörü.....	57
Tablo 3.3: Balıkesir iline ait aylık ortalama rüzgâr hızları.	57
Tablo 3.4: Balıkesir iline ait aylık ortalama 1m derinlikte ki toprak sıcaklığı.....	57
Tablo 3.5: Güneş enerjisi destekli ısıtma sisteminde bulunan elemanlar. ..	63
Tablo 3.6: Kolektörlerin teknik özellikleri.	66
Tablo 3.7: PVGIS, çalışma yapılan bölgenin aylara göre aylık ortalama güneş ışınım verileri.	68
Tablo 3.8: Buharlaşma sayısının kullanım etkinliğine göre belirlenmesi ..	73
Tablo 3.9: Balıkesir Üniversitesi Spor Tesisleri, büyük ve küçük havuzlarının kesit detayı ve kullanılan malzemelerin özellikleri.	78
Tablo 4.1: Güneş enerji sisteminden elde edilen aylık ve günlük güneş enerjisi değerleri.	83
Tablo 4.2: Büyük havuzda meydana gelen ısı kayıplarının aylara göre değişim miktarları.....	85
Tablo 4.3: Küçük havuzda meydana gelen ısı kayıplarının aylara göre değişim miktarları.....	86
Tablo 4.4: Yüzme havuzlarında aylara göre meydana gelen toplam ısı kayıplarının aylara göre değişim miktarları.	86
Tablo 4.5: Yüzme havuzu aylık ısı kayıpları ile güneş ve doğalgaz sisteminden sağlanan enerji miktarlarının karşılaştırılması.	89
Tablo 4.6: Güneş enerjisi ile sağlanan tasarruf miktarının fosil yakıtlar cinsinden eşdeğer miktarı.	90
Tablo 4.7: Güneş enerji sisteminden elde edilen enerjinin, doğalgaz tasarruf karşılığı.	92
Tablo 4.8: Güneş Enerji Sisteminin Net Bugünkü Değer Analizi.	93
Tablo 4.9: Kolektör verimlerinin karşılaştırılması.....	94
Tablo 4.10: Farklı durumlar için güneş enerjisi sisteminden elde edilen enerji miktarları	95
Tablo 4.11: Güneş enerji sisteminden elde edilen enerjinin fosil yakıtlar cinsinden yıllık toplam tasarruf miktarları.	96
Tablo 4.12: Havuz suyundan meydana gelen ısı kayıplarının güneş enerjisi ile karşılanma yüzdelerinin karşılaştırılması.	96
Tablo 4.13: Net Bugünkü Değer analizlerinin karşılaştırılması.	97

SEMBOL LİSTESİ

A_k	Kolektör alanı
A_p	Havuz yüzey alanı
A_{tt}	Havuz toplam taban yüzey alanı
A_{ty}	Havuz toplam yan yüzey alanı
a	Kolektör optik performans verimi
b	Kolektör ısı kayıp katsayısı
β	Eğim açısı
β_{opt}	Optimum eğim açısı
E	Buharlaşan su miktarı
e	Buharlaşma sayısı
ϵ_p	Suyun yayma Katsayısı
γ	Yüzey azimut açısı
Gr	Grasshof sayısı
GS	Güneş saati
h	Entalpi
h_{eva}	Havuz suyu sıcaklığındaki suyun gizli buharlaşma ısısını
h_{konv}	Taşınım ısı transfer katsayısı
I	Yatay düzleme düşen toplam güneş ışınımı
I_β	Eğik düzleme düşen güneş ışınımı
I_t	t yılındaki yatırım tutarı
i	İndirgeme oranı
k	Isı transfer katsayısı
K_{tab}	Eşdeğer havuz taban ısı iletim katsayısı
K_{yan}	Eşdeğer havuz yan yüzey ısı iletim katsayısı
L	Havuz karakteristik uzunluğu, malzeme kalınlığı
L_c	Cam kalınlığı
m	Proje inşa süresi, takviye edilecek su miktarı

n :	Tesisin ekonomik ömrü
Nu :	Nusselt sayısı
P_p :	Su yüzey sıcaklığındaki havanın doyma eğrisindeki basıncını,
P_r :	Ortam sıcaklığındaki havanın basıncını göstermektedir
Q_{eva} :	Buharlaştırma ısı kaybı
Q_{kayıp} :	Takviye suyun ısı kaybı
Q_{kond} :	Toplam iletim ısı kaybı
Q_{kondt} :	Taban yüzey iletim ısı kaybı
Q_{kondy} :	Yan yüzey iletim ısı kaybı
Q_{konv} :	Taşınım ısı kaybı
Q_{rad} :	Işınım ısı kaybı
Q_{solar} :	Güneş enerji sisteminden elde edilen faydalı enerji
Q_T :	Toplam ısı kayıpları
Re :	Reynold sayısı
S :	Hurda değeri
t :	Yıl
T_a :	Dış hava sıcaklığı
T_{duv} :	Duvar sıcaklığı
T_g :	Şebeke suyu sıcaklığı
T_{ist} :	İhtiyaç duyulan su sıcaklığı, kolektör çıkış suyu sıcaklığı
T_{kol} :	Kolektör ortalama sıcaklığı
T_p :	Havuz suyu sıcaklığı
T_r :	Havuz ortam (holü)sıcaklığı
α :	Güneş yükseklik açısı
α_a :	Dış ısı taşınım katsayısı
α_r :	İç ısı taşınım katsayısı
δ:	Deklinasyon açısı
θ :	Güneş geliş açısı

θ_z :	Güneş zenit açısı
λ :	Isı iletim katsayısı
λ_c :	Camın ısı iletim katsayısı
v :	Rüzgâr (hava) hızı
ρ :	Yoğunluk
ρ_a :	Ortam havasının yoğunluğunun
ρ_p :	Su yüzeyinde doymuş hale gelen hava yoğunluğu
σ :	Stefan Boltzman sabiti
ν :	Kinematik vizkosite
Φ :	Enlem açısı
ψ :	Güneş azimut açısı
Ω :	Saat açısı
w_p :	Havuz suyu sıcaklığındaki havanın doyma eğrisindeki mutlak nemi
w_r :	Ortam havasındaki mutlak nemi göstermektedir.
η_k :	Kolektör verim
η_t :	Tesisat verimi

KISALTMA LİSTESİ

- EİE :** Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
- ETBK :** Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
- GEPA :** Güneş Enerji Potansiyeli Atlası
- GSYİH :** Gayri Safi Yurt içi Hâsıla
- IEA :** Uluslararası Enerji Ajansı
- İKO :** İç Kârlılık Oranı
- MGM :** Meteoroloji Genel Müdürlüğü
- Mtep :** Milyon ton eşdeğer petrol
- NBD :** Net Bugünkü Değer
- NNG :** Net Nakit Girişi
- OECD :** Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
- PVGIS :** Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi
- REN21 :** 21'inci Yüzyıl İçin Yenilenebilir Enerji Politikaları Ağı
- TEFE :** Toptan Eşya Fiyat Endeksi
- TUİK:** Türkiye İstatistik Kurum
- TÜMAS :** Türkiye Meteorolojik Veri Arşiv ve Yönetim Sistemi
- ÜFE :** Üretici Fiyat Endeksi
- CSP :** Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi Güç Santralleri

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamın yürütülmesi esnasında, çalışmalarına yön veren, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Bedri YÜKSEL'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam esnasında bilgi ve tecrübelerine başvurduğum Arş. Gör. Dr. Tuğrul AKYOL'a ve Balıkesir Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Her an yanımda hissettiğim, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen babam Hayati YELKOVAN'a, annem Gülay YELKOVAN'a ve kardeşlerime çok teşekkür ederim.

Balıkesir, 2016

Muhammed Enes YELKOVAN

1. GİRİŞ

Termodinamikte enerji, “bir sistem üzerinde, sistemin özelliklerini değiştirebilme, sistemin üzerinde tesir meydana getirebilme kapasitesi ve/veya yeteneği” olarak tanımlanır. Enerji, insanların hayatını idame ettirebilmeleri ve gelişmelerini sürdürebilmesini sağlayacak, en temel gereksinimlerin başında gelir. Enerji kaynaklarına sahip olan, iyi değerlendiren ve enerjiyi verimli kullanan ülkeler, yaşam standartlarını artırmakta ve gelişmelerini hızlı bir şekilde sürdürmektedirler.

İnsanoğlu dünya üzerinde var olmasından sonra ve kendisi ile birlikte çevresini tanımaya, anlamaya ve temel gereksinimlerini karşılamaya çalışması sonucu, enerji kaynakları ile tanışmıştır. Ateşin keşfedilmesi ile başlayan süreç, zaman geçtikçe daha da önemini artırmış ve günlük yaşamlarında enerji, sürekli artan bir hızla kullanılmaya devam edilmiştir. İnsanoğlu ilk zamanlarda odun ve kömürü yakıt olarak kullanmış, yirminci yüzyıl başı itibariyle de, petrolden elde edilen yakıtların kullanımı büyük ölçüde yaygınlaşmıştır. Petrolün bir enerji kaynağı olarak kullanımının yaygınlaşması ile birlikte sanayi devrimi yaşanmış, ulaşım olanakları ve insanların günlük hayatındaki imkânları büyük ölçüde artmıştır [1,2].

Nüfusun artması, sanayileşme, teknolojik gelişmelerin insan yaşantısını daha da rahatlatması ile birlikte, üretilen yeni ürünlerin enerji tüketim ihtiyacının daha fazla olması, dünyada ki enerji tüketiminin gün geçtikçe daha da artmasına neden olmaktadır. Dünyada talep edilen enerji miktarı her yıl yaklaşık olarak %4-5 arasında artmaktadır. Bu artışla dünya genelinde mevcut enerji tüketiminde bir değişim yaşanmaması halinde önümüzdeki 30 yıl içerisinde dünya enerji talebinde %50 oranında bir artış sağlayacağı öngörülmektedir [3].

Enerji talebinde bu kadar hızlı bir artış olmasına karşın konvansiyonel enerji kaynakları dünya genelinde hızla tükenmeye devam etmektedir. En iyimser öngörüler bile dünya petrol rezervinin 2050, doğalgazın 2070 ve kömürün de 2150 yılında gereksinimleri karşılayamayacağını göstermektedir [4].

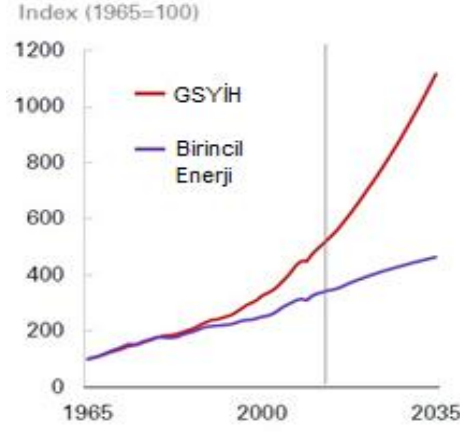
Bu durum özellikle 1973 petrol krizi sonrası, insanları konvansiyonel enerji kaynaklarına alternatif, enerji kaynakları arayışına sürüklemiştir.

Bu arayışın bir diğer sebebi de, fosil kaynakların yanması sonucu ortaya çıkan zararlı gazlardır. Bunlardan en önemlisi CO₂ (karbondioksit) gazıdır. Bu gazın atmosferde birikmesi sera etkisini, sera etkisi atmosferin ısınmasına, küresel ısınmaya ve buda, küresel iklim değişikliği gibi birçok olumsuz etkilere yol açmaktadır. Bu olumsuz etkilerin, diğer yan etkilere yol açması ile giderilmesi mümkün olmayan veya giderilmesi ciddi bir maliyeti gerektiren sonuçlara sebebiyet vermesi üzerine çevreye zarar vermeyen, ekonomik, sürdürülebilir yeni enerji kaynakları önemini daha da artırmıştır [1,4].

1.1 Dünya Genel Enerji Görünümü

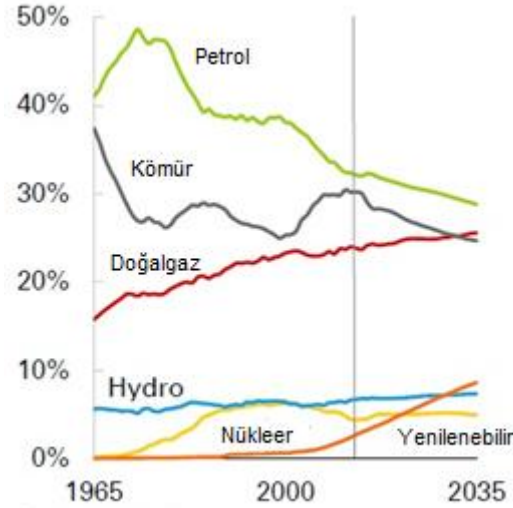
1.1.1 Dünyada Genel Enerji Görünümü ve Gelecek Senaryosu

2015 yılında 7,125 milyar olan dünya nüfusu 2035 yılına kadar 1,5 milyar artarak, 8,8 milyar olması tahmin edilmektedir. Bu süre zarfı içerisinde dünya genelinde GSYİH'inde iki kattan fazla artması öngörülmektedir. Öngörülen bu artışın yarısının Çin ve Hindistan'dan kaynaklanması beklenmektedir. Dünya ekonomisi büyüdükçe birincil enerji kaynaklarından talep edilen enerji daha da artmaktadır [5].



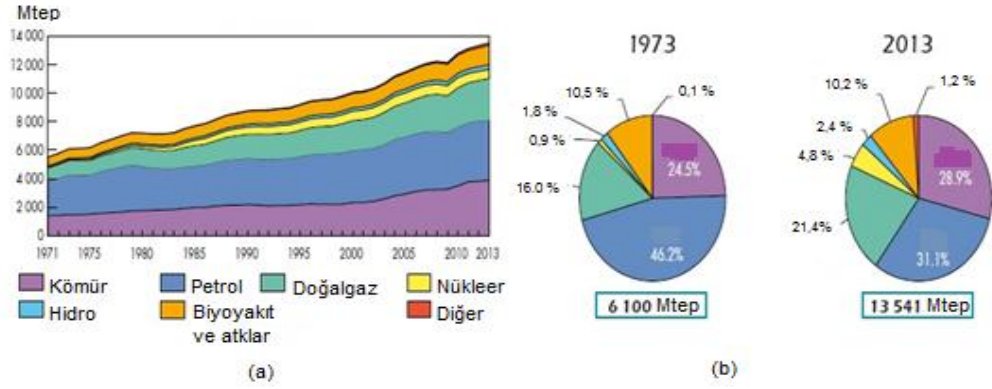
Şekil 1.1: Dünya GSYİH ile birincil enerji talebi arasındaki ilişki [5].

Günümüzde kullanılmakta olan enerjinin çoğu birincil enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Toplam tüketilen enerji kaynakları içerisinde, fosil yakıtların yaklaşık tüketim oranı %80 ile ilk sırada yer almaktadır. Fosil yakıtlar, 2035 yılına kadar en önemli enerji kaynakları olmaya devam edecektir. Fosil yakıtlar, yaşanması beklenen enerji talebindeki artışın %60'lık bir kısmını oluşturacağı ve 2035 yılında enerji talebinin %80'lik kısmını yine fosil yakıtların karşılayacağı öngörülmektedir. Fosil yakıtlar içerisinde doğalgazın tüketimindeki yıllık artış yüzde 1,8 ile payını en fazla artıran fosil yakıt olurken, petrol, enerji karışımındaki payında devam eden düşüşe rağmen, yılda yüzde 0,9'luk istikrarlı büyümesini devam ettirmektedir (Şekil 1.2). Gaz ve petroldeki bu büyümenin önemli bir kısmını konvansiyonel olmayan gaz (kaya gazı) ve petrol (kaya petrolü) kaynaklarından sağlayacağı tahmin edilmektedir. Kömür tüketimindeki büyümede görülecek keskin yavaşlamayla, kömürün enerji karışımındaki payı 2035 yılına kadar tüm zamanların en düşük seviyesine inecek ve yakıt kaynakları sıralamasında ikinciliği doğal gaza bırakacak [5,6].

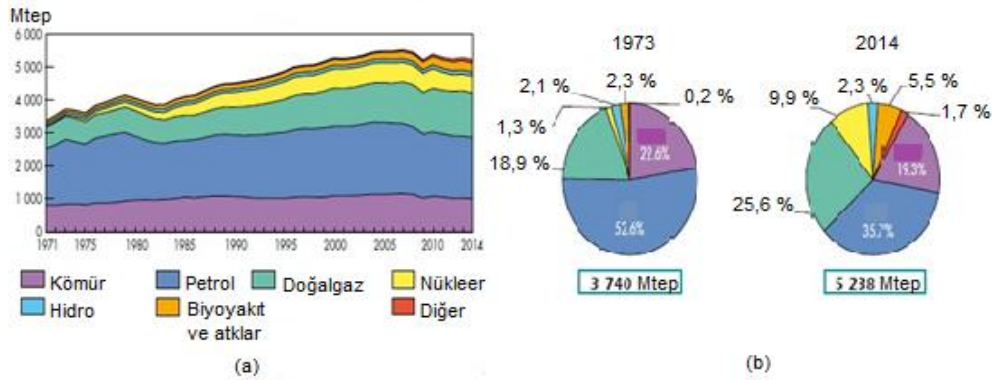


Şekil 1.2: Birincil enerji kaynaklarının dağılımı ve 2035 yılı birincil enerji dağılım tahmini [5].

2013 sonu verilerine göre dünya enerji tüketimi 1973 yılına oranla, yıllık ortalama %3, toplamda %122 artarak 13.541 Mtep olarak gerçekleşmiştir. Birincil enerji kullanımında en büyük paya sahip olan kaynaklar sırasıyla petrol (%31,1), kömür (%28,9) ve doğal gaz (% 21,4) olarak gerçekleşmiştir (Şekil 1.3). Yüksek gelir grubuna sahip OECD üyesi ülkelerde bu artış 1973 yılına oranla %40 artış ile 5.238 Mtep olmuştur (Şekil 1.4). Buradan enerji talebinde bulunan ülkelerin, OECD üyesi olmayan, gelişmekte olan ülkelerin olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum ileriye yönelik yapılan araştırmalarda, yayımlanan enerji görünüm raporlarında da benzerlik göstermektedir.

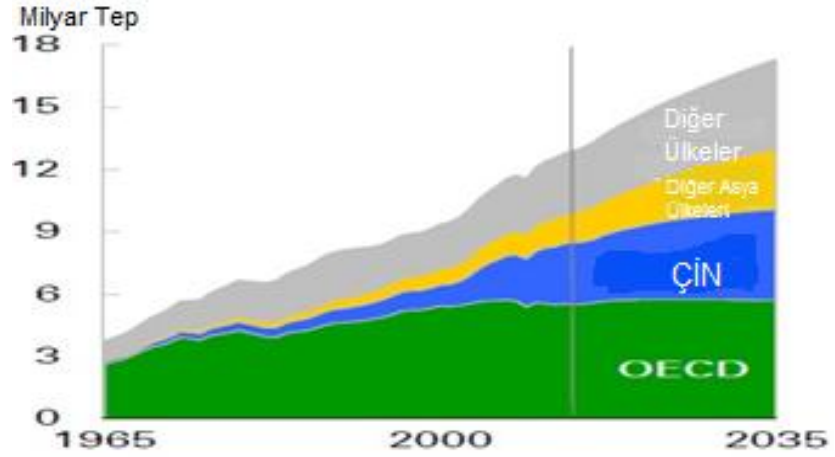


Şekil 1.3: Dünya birincil enerji tüketiminin enerji kaynağı çeşidine göre (a) 1973-2013 dönemindeki yıllara göre değişimi, (b) oransal dağılımı [7].



Şekil 1.4: OECD ülkelerinin enerji tüketiminin enerji kaynağı çeşidine göre (a) 1973-2013 dönemindeki yıllara göre değişimi, (b) oransal dağılımı [7].

Dünyadaki enerji talebinin 2014 ile 2035 yılları arasında yıllık ortalama %1,4 artması ile toplamda %34'lük bir artış ile 18.000 Mtep'e yaklaşması bekleniyor (Şekil 1.5). Bu artışın büyük çoğunluğu Çin, Hindistan ve gelişmekte olan ülkelerin talebi ile gerçekleşeceği öngörülmektedir [5].

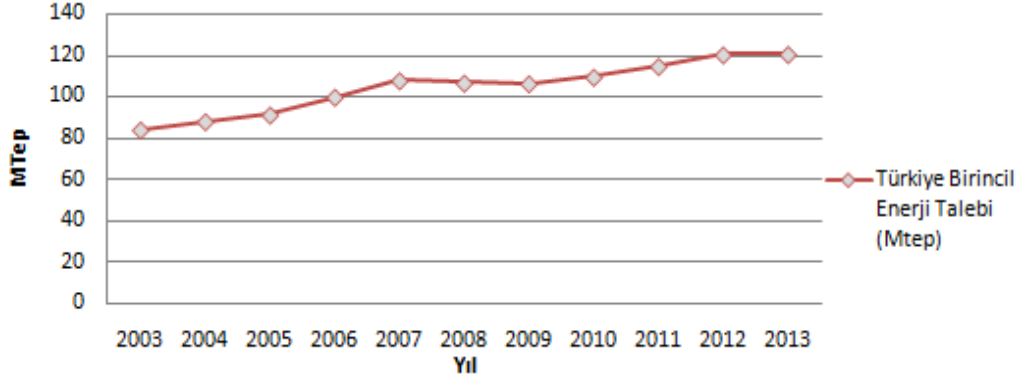


Şekil 1.5: Dünya birincil enerji talebinin bölgelere göre dağılımı ve 2035 yılı projeksiyonu [5].

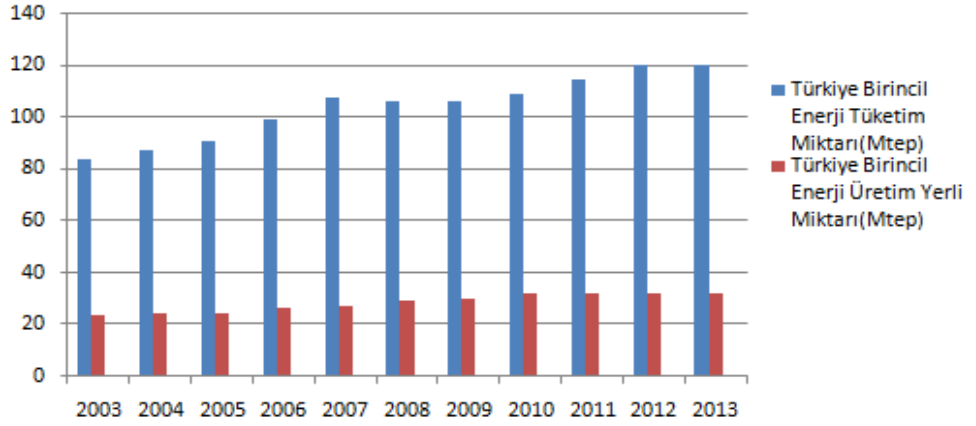
1.1.2 Türkiye Genel Enerji Görünümü

Türkiye'nin genç ve artan bir nüfus yapısına sahip olması nedeniyle gelişmekte olan ülkemiz için enerji, hem gerekli hem de stratejik öneme sahiptir. Yerel enerji kaynaklarının talep edilen enerji miktarını karşılayamadığı için, Türkiye enerjide büyük oranda dışa bağımlıdır. Bu durum, giderek artan enerji ihtiyacı ile son yıllarda daha da kendini göstermektedir.

2003 yılında 83,82 Mtep olan birincil enerji tüketimi %67 artarak 2013 yılı sonunda 120,29 Mtep olmuştur (Şekil 1.6). 2013 yılında birincil enerji kaynaklarının yerli üretim miktarı 31,94 Mtep olarak gerçekleşmiştir. 2003'den 2013 yılına kadar olan süreçte yerli kaynaklarla enerji üretimi artış göstermiş, ancak enerji talebini karşılayamamıştır. Bunun yanı sıra enerji talebinin aşırı artmasıyla, enerji ihtiyacını yerel kaynaklarla karşılama oranı azalış göstermiştir (Şekil 1.7). 2013 yılında enerji talebinin ancak %25'i yerli kaynaklarla karşılanmıştır.

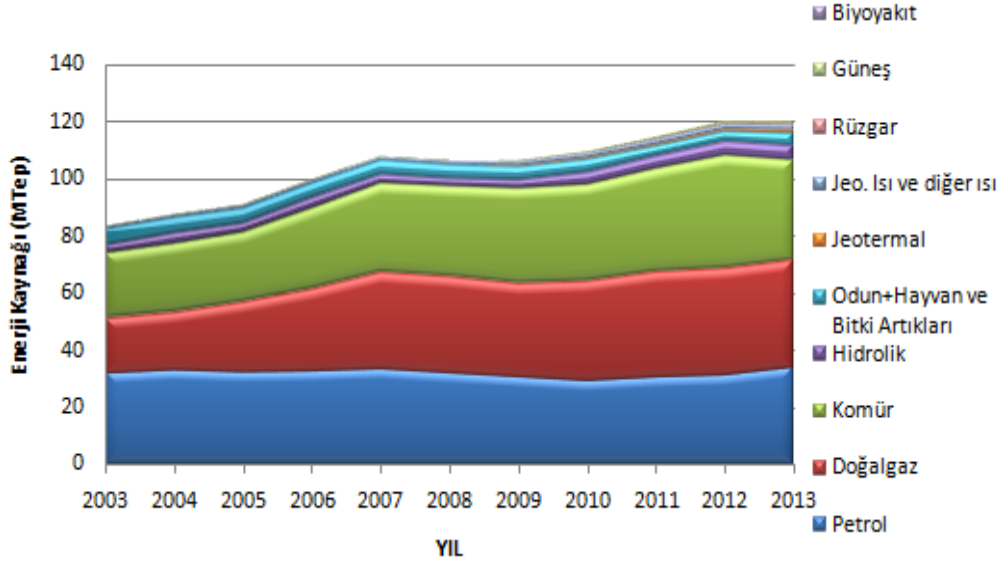


Şekil 1.6: Türkiye birincil enerji tüketiminin 2003-2013 yılları arasındaki değişimi [8].



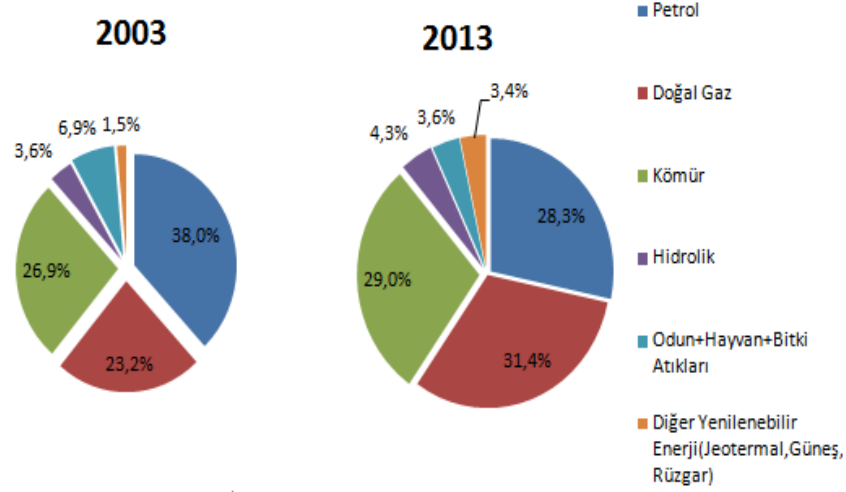
Şekil 1.7: 2003-2013 yılları arası Türkiye birincil enerji üretiminin tüketimi karşılama oranları [8].

Türkiye’de 2003-2013 yılları arası kullanılan enerji kaynaklarını incelediğimizde petrol dışındaki kaynakların tüketiminin 2007 yılına kadar arttığı, 2008 ve 2009 yıllarında dünyada ve Türkiye’de yaşanan mali krizlerin etkisiyle, tüketimde bir azalma eğilimi gözlenmiştir (Şekil 1.8). Ayrıca, bu süreçte doğalgaz tüketiminde büyük bir artış olduğu gözlemlenmektedir. 2003 yılında 19,45 Mtep ile üçüncü sırada yer alan doğalgaz tüketimi, 2013 yılında %100’e yakın bir artışla en çok tüketilen birincil enerji kaynağı olmuştur.



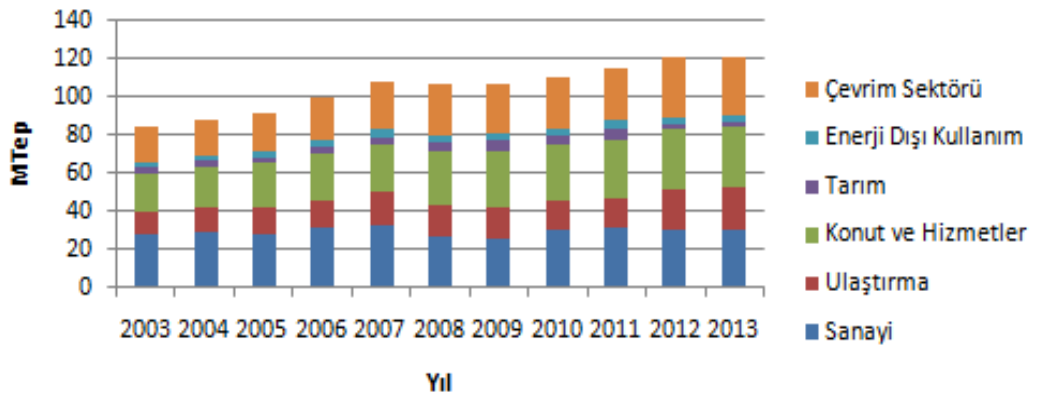
Şekil 1.8: Türkiye'nin birincil enerji üretiminin enerji kaynağı çeşitlerine göre 2003-2013 dönemindeki yıllara göre değişimleri [8].

Şekil 1.9'da, Türkiye'de birincil enerji tüketiminin 2003 ve 2013 yıllarında kaynak çeşidine göre oransal dağılımları gösterilmiştir. Buna göre, 2003 yılında birincil enerji tüketiminde ilk sırada %38 ile petrol yer alırken ardından sırası ile %27 ile Kömür, %23 ile doğalgaz yer almaktadır. Bu oranlar 2013 yılında farklılık göstermektedir. Birincil enerji kaynakları içerisinde doğalgazın payı artar iken, petrolün azaldığı, bunların dışındaki enerji kaynaklarında ise belirgin bir değişim olmamıştır. 2013 yılında doğalgazın birincil enerji üretiminde ki payı %31 ile ilk sıraya yükselirken, petrol%28 ile kömürden sonra tercih edilen üçüncü enerji kaynağı olmuştur.



Şekil 1.9: Türkiye’de birincil enerji üretiminin 2003 ve 2013 yıllarında enerji kaynağı çeşitlerine göre oransal dağılımı [8].

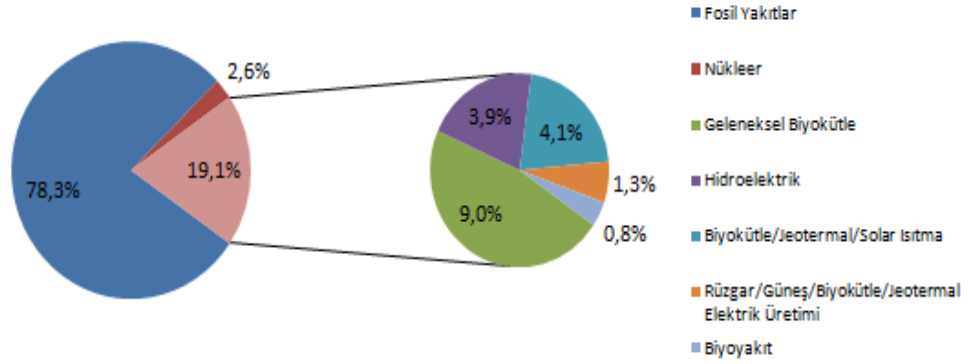
Türkiye’de nihai enerji tüketiminin sektörlere göre dağılımına bakıldığında, son dönemlerde konut ve hizmet sektörünün enerji talebinin arttığı görülmektedir (Şekil 1.10). 2003 yılında nihai enerji tüketiminde en yüksek pay %33 ile sanayi sektörü iken, 2013 yılı sonunda bu durum değişmiş ve %26 ile konut ve hizmet sektörü en büyük paya sahip olmuş, ardından sanayi %25 ile ikinci sıraya gerilemiştir.



Şekil 1.10: Türkiye’nin nihai enerji tüketiminin başlıca sektörlere göre 2003-2013 dönemindeki yıllara göre değişimleri [8].

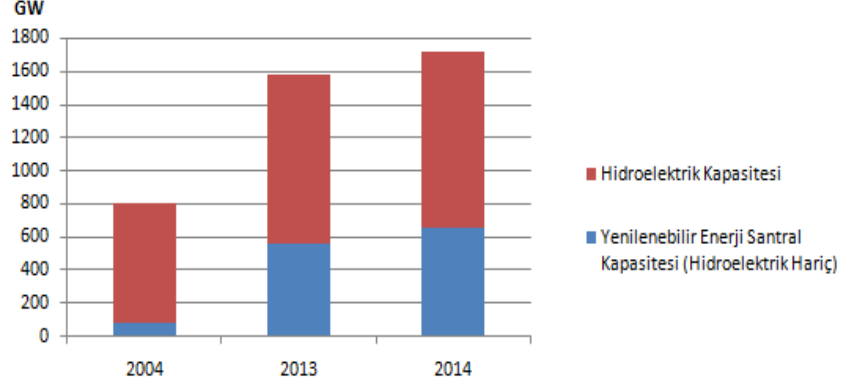
1.1.3 Dünya Yenilenebilir Enerji Görünümü

Dünyada yenilenebilir enerji üretimi her yıl artmasına rağmen 2013 yılında dünya enerji ihtiyacının sadece %19.1'i yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanmıştır (Şekil 1.11).



Şekil 1.11:Yenilenebilir enerjinin dünya enerji tüketimi içindeki payı [9].

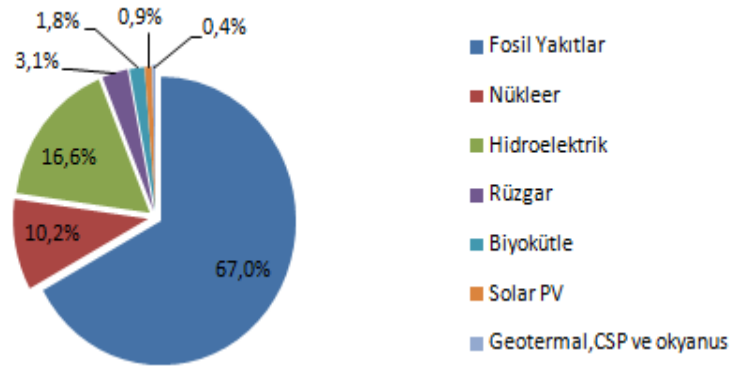
2014 yılı dünyada yenilenebilir enerji açısından rekor kırılan bir yıl oldu. Yenilenebilir enerji, ulusal hedefler çerçevesinde ve politik destek mekanizmaları sayesinde; güneş, rüzgâr ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte kurulu güç 2013 yılına göre 135 GW'lık bir artış sağladı. Böylelikle, yenilenebilir enerji santralleri yıl içerisinde %8,5 artarak toplamda 1712 GW değerine ulaşmıştır. Hidroelektrik dışında kalan yenilenebilir enerji santralleri ise 2013 yılında 560 GW iken bu değer 2014 yılında 657 GW seviyesine ulaşmıştır.



Şekil 1.12: Global toplam yenilenebilir enerji kapasitesi [9].

Yenilenebilir enerjide en büyük gelişim, güneş enerjisinde özellikle photovoltaik sistemlerde yaşandı. Kurulu PV güç son 10 yıl içerisinde 48 kat artarak 2014 yılında 177 GW seviyesine ulaştı (2004 yılında 3,7GW). Rüzgâr enerjisi de büyük bir kapasite artışı göstererek 2004 yılında 48 GW olan kurulu güç kapasitesini 8 kat artırarak 370 GW değerine ulaşmıştır [9,10].

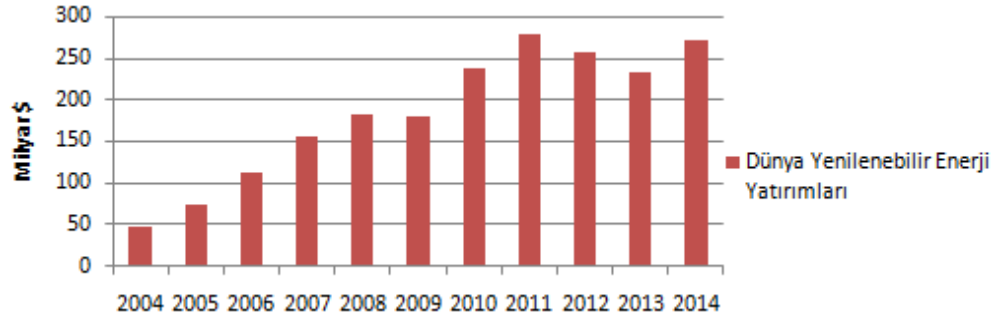
2014 yılında dünya elektrik üretiminin %22,8'i yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanmıştır. Bu oran içerisinde %16,6 ile en büyük katkıyı hidroelektrik santralleri yapmış, ikinci olarak %3,1 ile rüzgâr, %1,8 ile biyokütle olarak sıralanmıştır (Şekil 1.13).



Şekil1.13: 2014 yılı yenilenebilir enerji kurulu kapasitesinin dünya elektrik üretimi içindeki payı [10].

2014 yılında, 2013 yılına göre dünya enerji tüketimi %1,5 ve dünya GSYİH'nin %3 artmasına rağmen CO₂ emisyonu sabit kalmıştır. Dünya ekonomisi 40 yıl sonra ilk defa CO₂ emisyonuna paralel olmayacak şekilde bir gelişme göstermiştir [11].

Yenilenebilir enerji yatırımları, 2011 yılı itibariyle düşüş yaşamaya başlamış olsa da 2014 yılında enerji yatırımları, (50 MW' dan büyük hidroelektrik santral yatırımları hariç) 2013 yılına göre %17 artarak 270 milyar dolara yükselmiştir (Şekil 1.14). Bu değere büyük hidroelektrik santralleri eklenince yatırımlar 301 milyar dolara yükselmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde ise yenilenebilir enerji yatırımları 2014 yılında, 2013 yılına göre %36 artarak 131,3 milyar dolara çıkmıştır. Gelişmekte olan ülkeler içerisinde Çin bu yatırımların %64 lük kısmını tek başına gerçekleştirmiştir. Şili, Hindistan, Kenya, Meksika, Güney Afrika ve Türkiye birer milyar dolardan fazla yatırım yaparak katkı sağlamışlardır [11].



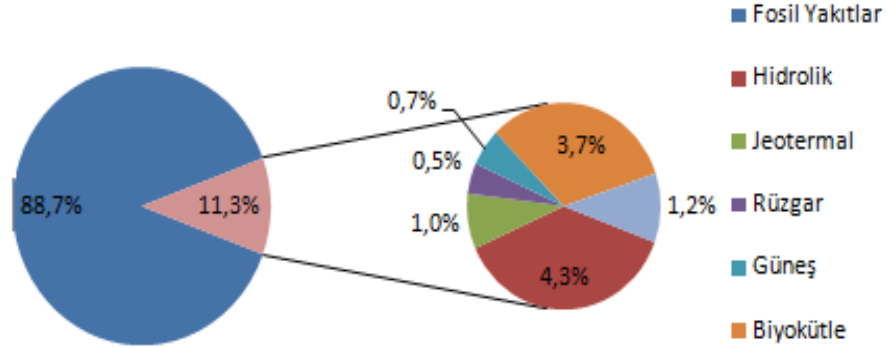
Şekil 1.14: Yıllara göre dünya enerji yatırımları [12].

1.1.4 Türkiye Yenilenebilir Enerji Görünümü

Türkiye jeopolitik konumu sebebi ile güneş, rüzgâr, biyokütle ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakları bakımından enerji potansiyeli oldukça yüksektir. Bu potansiyelleri ortaya çıkarmak için rüzgâr, güneş, jeotermal ve dalga enerjisi potansiyel atlasları oluşturulmuştur.

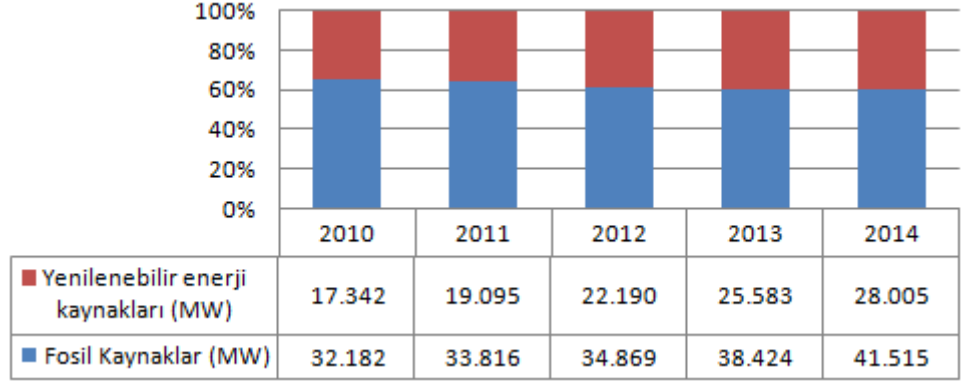
Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli öngörülerine baktığımızda, Türkiye'nin yıllık hidroelektrik enerji potansiyeli 135 milyar kWh, jeotermal potansiyeli 31.500 MW_{th}, biyokütle potansiyeli 8,6 MTep ve güneş ışınımından elde edilebilecek enerji potansiyeli ise 35 MTep seviyesindedir [1].

Yenilenebilir enerji kaynakları açısından bu kadar zengin bir potansiyele sahip olmamıza rağmen enerji kazanımı yeterli düzeyde değildir. 2013 yılı sonu itibari ile yaklaşık 120 MTep olan enerji tüketiminin sadece 13,5 MTep yani %11,3'lük bir kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmıştır (Şekil 1.15).



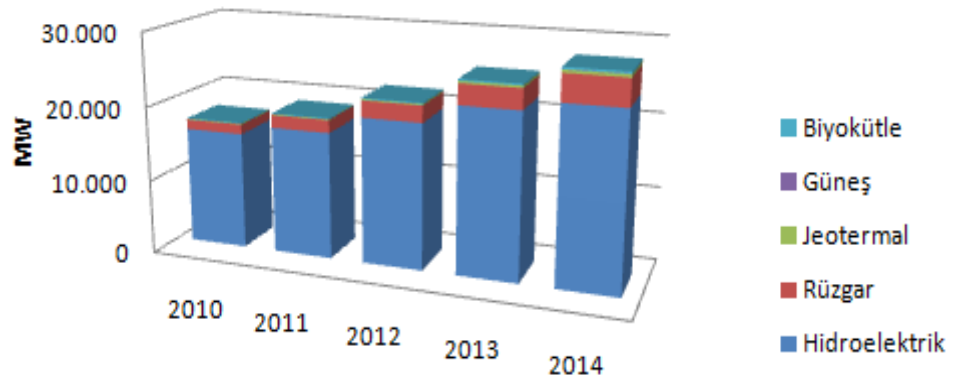
Şekil 1.15: 2013 yılı yenilenebilir enerjinin Türkiye enerji tüketimi içerisindeki payı ve enerji kaynaklarının oranı [8].

Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyel kullanımı oldukça düşük olmasına rağmen, son yıllarda artan teşvik ve desteklerle yenilenebilir enerji kurulu güç kapasitesi her yıl artış göstermekte ve toplam kurulu güç içerisindeki payı artmaktadır. 2014 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam kurulu güç içerisindeki payı %40 (hidroelektrik dahil) seviyesine ulaşmıştır.



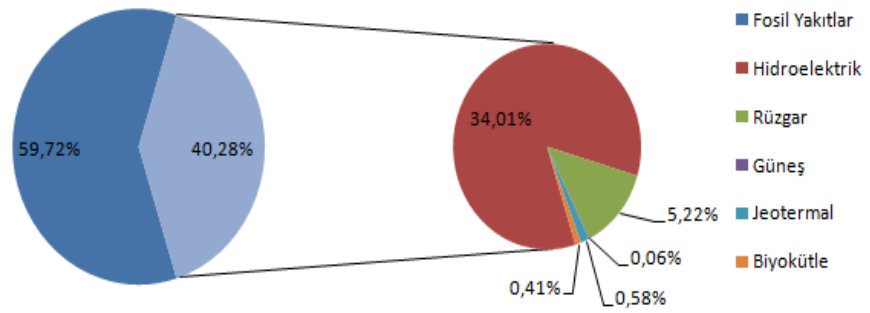
Şekil 1.16: Toplam kurulu güç içerisindeki yenilenebilir enerji güç oranı [8].

Özellikle kurulu rüzgâr gücündeki artış ile beraber 2014 yılında, 2013 yılına oranla kurulu güçte yaklaşık %10'luk bir artış sağlanmış ve kurulu güç 28.005 MW seviyesine ulaşmıştır. Türkiye’de yenilenebilir kaynaklara dayalı enerji üretiminde en büyük paya sahip olan alt sektör hidroelektrik olup, hidroelektrik dışında kalan yenilenebilir kaynaklar toplam yenilenebilir enerji kapasitesinin yalnızca %18’ni oluşturmaktadır. Hidroelektrik dışındaki yenilenebilir enerji kaynakları arasında en büyük paya rüzgâr enerjisi sahiptir ve rüzgâr enerjisi yıllar içinde payını artırmaya da devam etmektedir (Şekil 1.17).



Şekil 1.17: Türkiye yenilenebilir enerji kurulu güç kapasitesinin enerji kaynağına göre değişimi [8].

Şekil 1.18 incelendiğinde, 2014 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi kurulu kapasite içerisindeki dağılımları görülmektedir. Toplam kapasite içerisinde yenilenebilir enerji kaynakları toplam kapasitenin %40'ından fazla bir kısmını karşılamaktadır. Yenilenebilir enerji içerisinde hidroelektrik %34 ile birinci, ardından sırası ile %5,22 ile rüzgâr, %0,58 ile jeotermal, %0,41 ile biyokütle ve son sırada 40MW (%0,06) ile güneş enerjisi gelmektedir. Güneş enerjisinin bu kadar düşük olmasının nedeni ülkemizde güneş enerjisinin genellikle sıcak su üretiminde kullanılmasıdır. İlk defa 2014 yılı ile birlikte güneş, elektrik üretimi amacı ile kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 1.18: 2014 yılı Türkiye elektrik enerjisinin yakıt cinslerine göre kurulu gücü [8].

1.2 Güneş Enerjisi

Güneş sistemi içerisinde yer alan dünya için güneş, sonsuz bir enerji kaynağıdır. Günümüzde kullanılan enerji kaynaklarının kaynağına baktığımızda doğrudan veya dolaylı olarak güneş enerjisi kaynaklı olduğunu görürüz. Güneş enerjisi ile dünyamız aydınlanmakta, iklimler oluşmakta, güneş ışınlarının yer yüzeylerini farklı ısıtması ile rüzgârlar meydana gelmekte ve en önemlisi canlılar fotosentez yaparak yaşamını sürdürebilmektedir. Güneşte sadece bir saniyede üretilen enerji insanlığın var olduğu günden bu güne kadar üretilen toplam enerjiden daha fazla olmaktadır [13].

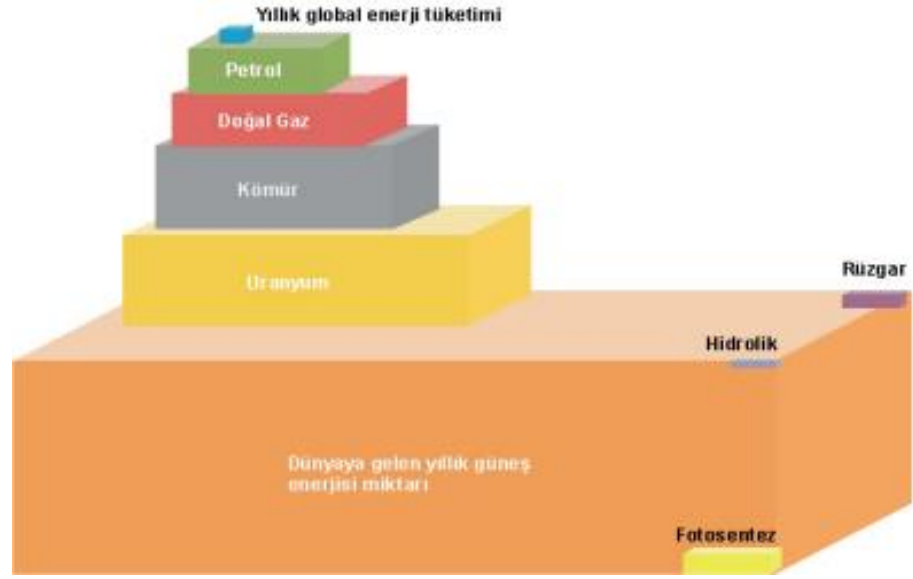
1.2.1 Güneş ve Güneş Enerjisi Hakkında Temel Bilgiler

Güneş, 1.390.000 km çapında (Dünya çapının yaklaşık 109 katı), yeryüzüne uzaklığı yaklaşık 150.000.000 km olan, kütlesi 2×10^{30} kg (dünya kütesinin yaklaşık 300.000 katı) olan ve yoğun sıcak gazlar içeren bir küredir. Merkezde sıcaklığı 20.000.000 °C, yüzey sıcaklığı ise 6.000 °C civarındadır. Güneşteki bu yüksek sıcaklık nedeni ile elektronlar atom çekirdeklerinden ayrılmaktadır. Bunun sonucunda güneşte atom ve moleküller değil, serbest elektronlar ve atom çekirdekleri bulunur. Bu karışıma plazma adı verilir. Termonükleer reaksiyon (füzyon) sonucunda ortaya çıkan bu büyük enerji uzaya çeşitli dalga boylarında ışınım olarak yayılır. Güneş aslında sürekli doğal bir füzyon reaktörü gibi davranarak enerji üretmektedir [13].

Güneşin merkezinde hidrojen çekirdeklerinin kaynaşarak helyum çekirdeklerini meydana getirmesi ile oluşan füzyon reaksiyonu, güneşte meydana gelen bu büyük enerji üretimini açıklar niteliktedir. Proton-proton döngüsü olarak nitelendirilen bu reaksiyon ile 4 hidrojen protonu birleşerek bir helyum çekirdeğini oluşturur. Birleşme çok yüksek sıcaklıklarda olmakta ve güneşte oluşan helyum çekirdeği, harcanan 4 hidrojen protonunun toplam kütesinden daha az olmaktadır. Aradaki bu kütle farkı enerjiye dönüşür. Güneşin çekirdek bölgesinde milyon °C sıcaklık mertebelerinde üretilen bu enerji ışınım yoluyla uzaya iletilmektedir. Uzaya ışınım yoluyla yayılan enerji dünyaya günde, yaklaşık 1.5×10^{16} MJ enerji sağlamaktadır. Bu değer güneşin toplam enerjisinin milyarda biridir [14].

Dünyanın güneş etrafında çizdiği yörünge eksantriktir ve aralarındaki uzaklık %1,7 oranında değişmektedir. Bu değişimden dolayı yeryüzü atmosferi öncesinde güneşten gelen ışınım değeri sabit değildir. Bu değer ortalama güneş-dünya mesafesi için 1367 W/m^2 'dir. Buna güneş sabiti denmektedir [14].

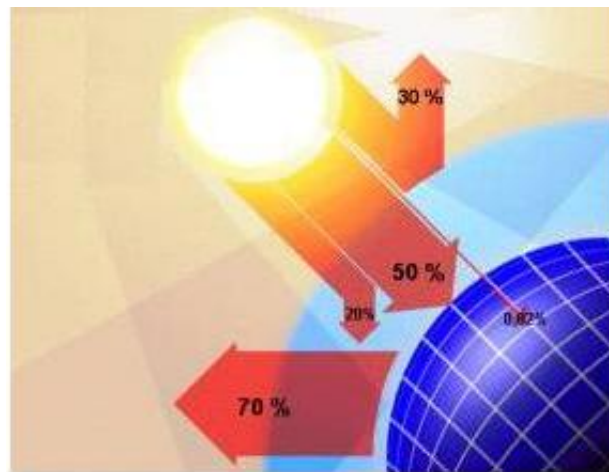
Güneşten alınan yıllık enerji miktarı, dünya üzerinde bulunan uranyum dâhil tüm fosil kaynakların ve güneş enerjisi kaynaklı hidroelektrik, rüzgâr, biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının rezervlerinden kat kat büyüktür (Şekil 1.19). Dünyaya gelen güneş enerjisi yaklaşık 130 trilyon ton kömüre eşdeğerdir. Bu değer dünyada insanoğlunun kullandığı toplam enerjinin yaklaşık 15.000 katına eşdeğerdir [13].



Şekil 1.19: Dünyadaki enerji kaynaklarının potansiyellerinin karşılaştırılması [1].

Güneşten gelen ışınların dağılımlarına bakıldığında %47'si kızılötesi bölgesinde, %46'sı görünür ışık bölgesinde ve geri kalan %7'si ise morötesi bölgesinde bulunmaktadır [13].

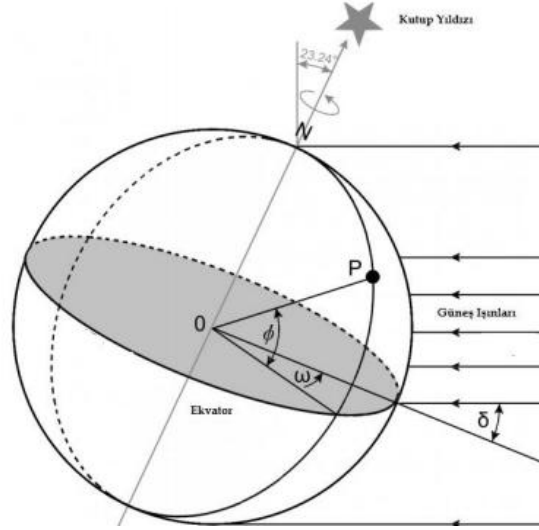
Güneş ışınları atmosferi geçerken bazı soğurmalarla uğrarlar bu soğurmalar toz parçacıklarından ve atmosferi oluşturan gazlardan kaynaklanmaktadır. Bu sebeple güneş ışınlarının tamamı yeryüzüne ulaşmaz. Güneşten gelen enerjinin %30 kadarı dünya atmosferinden uzaya geri yansır, %20'si atmosferde soğrulur geri kalan %50'lik kısmı ise dünya atmosferini geçerek yeryüzüne ulaşmaktadır.



Şekil 1.20: Güneşten gelen ışınımın dağılımı.

1.2.2 Güneş Açıları

Dünyanın kendi eksenini etrafında ve güneş etrafında olmak üzere iki farklı hareketi vardır. Dünya güneş etrafındaki yörüngede dönerken yörünge düzleminin normali ile dünyanın kendi dönüş eksenini arasında $23^{\circ}.45'$ 'lik açı farkı vardır. Bu açı güneş ışınlarının dünya yüzündeki aynı noktaya, farklı doğrultularda gelmelerine sebep olur ve mevsimler oluşur. Dünyaya ulaşan güneş ışınım değerinin bulunmasında güneşin dünyaya göre hareketi incelenir. Şekil 1.21'de yüzünde enlemi $[\Phi]$ olan bir P noktasına düşen direkt güneş ışınımının doğrultusu, deklinasyon açısı $[\delta]$ ve saat açısı $[\omega]$ ile tayin edilmektedir [14].



Şekil 1.21: Güneş açıları.

1.2.2.1 Esas Güneş Açıları

Güneş deklinasyon açısı, $[\delta]$

Güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Yani güneş ışınlarının dünyaya geliş açısıdır. Bu açı dünya dönme ekseninin düşeyi ile yaptığı $23^{\circ}.45'$ derecelik açıdan dolayı meydana gelmektedir.

Enlem açısı, [Φ]

Göz önüne alınan yerin ekvator ile yaptığı açıdır, o yerin enlemidir. Kuzey kutbu için (+) 90° (K) alınırken, güney kutbu için (-) 90° (G) alınır.

Saat açısı, [ω]

Göz önüne alınan yerin boylamı ile güneş ile dünyayı birleştiren doğrunun, daha doğrusu güneş ışınlarının belirttiği boylam arasındaki açıdır. Her 15° saat açısı (boylam farkı) zaman olarak 1 saate tekabül eder. Öğleden önceleri (-), öğleden sonraları (+) işareti alınır.

1.2.2.2 Türetilen güneş açıları

Temel güneş açılarının yanında, yatay veya eğik bir düzleme gelen güneş ışınlarının hesaplanmasında kolaylık sağlayan güneş açıları türetilmiştir. Bunlar; Şekil 1.22'deki güneş zenit açısı (θ_z), güneş yükseklik açısı (α) ve güneş azimut açısı (ψ) gibi açılardır. Ayrıca, güneş ışınımından maksimum faydalanılması için güneş ışınlarının geliş açısı (θ) ve yüzey azimut açısı (γ) ile ayrıca ifade edilir.

Güneş zenit açısı, [θ_z]

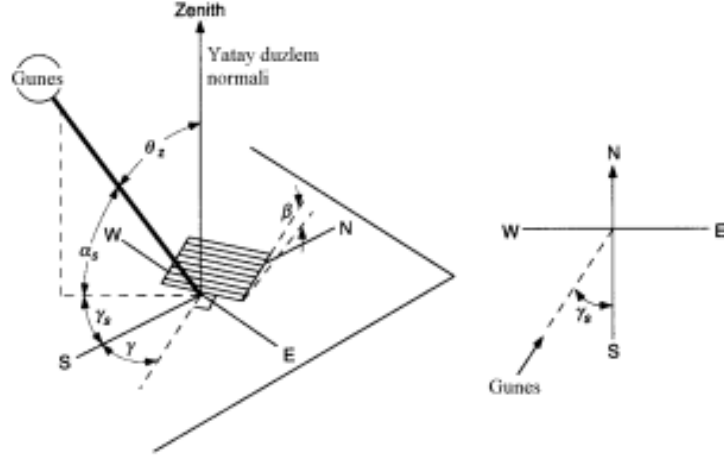
Direkt güneş ışınlarının (güneşin doğrultusunun) yatay düzleminin normali ile yaptığı açıdır. Diğer bir deyişle güneş ışınlarının yatay düzleme geliş açısıdır. Yatay düzleme güneş ışınları dik geldiği zaman $z = 0^\circ$ dir (güneş zenitte iken) ve güneşin doğusunda ve batısında $z = 90^\circ$ olur.

Güneş yükseklik açısı, [α]

Direkt güneş ışınlarının (güneş doğrultusu) yatay düzlemle yaptığı açıdır.

Güneş azimut açısı, [γ_s]

Güneşin doğrultusunun (güneş ışınlarının) tam bilinmesi için, kutupsal koordinat sisteminde, azimut açısına ihtiyaç duyulur. Güneş – Dünya doğrultusunun yatay düzlemdeki izdüşümünün (projeksiyon) güney doğrultusu ile yaptığı açıdır. Açı güneyden batıya doğru ise (+), doğu tarafına ise (-) alınır.



Şekil 1.22: Türetilen güneş açıları [14].

Güneş geliş açısı, [θ]

Eğik yüzeye gelen ışın (güneş doğrultusu) ile yüzey normali arasındaki açıdır.

Yüzey azimut açısı, [γ]

Eğik yüzeyin normalinin yatay düzlemdeki izdüşümünün güneyle doğrultusu ile yaptığı açıdır. Güneyden batıya doğru (+), doğuya doğru (-) alınır.

Eğim açısı, [β]

Eğik yüzeyin yatayla yaptığı açıdır.

1.2.3 Enerji Kaynağı Olarak Güneş Enerjisi ve Kullanımları

Güneş enerjisinden bilinçli olarak istifade edebilmek için insanların yaptığı çalışmalar çok eski tarihlere dayanmaktadır. Kaynaklara göre, ilk defa Sokrat (M.Ö 400) evlerin güney tarafına fazla pencere koyarak güneş ışınımını içeri alınmasını sağlamış, Arşimed (M.Ö. 250) iç bükey aynalarla güneş ışınımını odaklayarak Sirakuza'yı kuşatan gemileri yakmıştır. Güneş enerjisi ile ilgili çalışmalar 1600 yıllarında Galile'nin merceği bulması ile artmış, ilk defa 1725 yılında Belidor tarafından güneş enerjisi ile çalışan su pompası icat edilmiştir. Fransız bilim adamı Mouchok, 1878 yılında bir güneş enerji destekli soğutma cihazı geliştirilerek bir blok buz üretmeyi başarmıştır [15].

Güneş enerjisi ile ilgili çalışmalar birinci dünya savaşı ve sonrası petrolün önem kazanması ile azalış gösterse de özellikle 1973 petrol krizi ile tekrar çalışmalar yoğunlaşmıştır.

Günümüzde güneş enerjisi uygulamaları yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çok çeşitlilik göstermekle, iki ana grup altında incelenmektedir. Isıl ve Fotovoltaik (PV, elektriksel) sistemler diye ayırmak mümkündür.

Ayrıca güneş enerjisi uygulamaları elde edilen sıcaklık değerlerine göre de gruplandırılmaktadır. Bunlar;

- Düşük sıcaklık (20-100°C) uygulamaları
- Orta sıcaklık (100-300°C) uygulamaları
- Yüksek sıcaklık (>300°C) uygulamaları

Düşük sıcaklık uygulamaları, genellikle düz toplayıcılar ve güneş pilleri (PV) vasıtasıyla; kullanım suyu ısıtılması, yüzme havuz suyunun ısıtılması, bina ısıtılması soğutulması, tarım ürünlerinin kurutulması, elektrik üretimi gibi alanlarda uygulamaları vardır [16].

Orta sıcaklık uygulamalarında, güneş ışınımı bir noktaya veya çizgisel bir alana yansıtılarak veya yoğunlaştırıcı odaklı toplayıcılar ile; endüstriyel kullanım için buhar üretimi, elektrik üretimi ve büyük ısıtma-soğutma sistemlerinde kullanılır [16].

Yüksek sıcaklık uygulamalarında ise geniş bir alana gelen güneş ışınımını, güneşi izleyerek bir noktaya odaklayan heliostat adı verilen sistemlerden yararlanarak elektrik üretimi yapılmaktadır [16].

1.2.4 Güneş Enerjisi Isıl Sistemler

Bu tür sistemlerde güneş enerjisinden güneş kolektörleri ile ısı elde edilir. Bu ısı enerjisi ısıtma-soğutma amaçlı kullanılabilceği gibi elektrik üretiminde de kullanılmaktadır. Sistem seçimi genellikle sistemi kullanacak kullanıcının ihtiyaç duyduğu sıcaklık değerine ve kullanım amacına göre tasarlanır. Kullanım alanı, küçük bir evin sıcak su ihtiyacının karşılanmasından, olimpik havuzların ısıtılmasına, tarım ürünlerinin kurutulmasına, büyük ölçekli ısıtma santralleri ile bölge ısıtmasına kadar geniş bir kullanım alanı vardır. Tüm bu sistemler farklı tipteki güneş kolektörleri ile gerçekleştirilmektedir.

1.2.4.1 Güneş Kolektörleri ve Çeşitleri

Güneş kolektörleri aslında bir enerji dönüştürücüleridir. Isıl sistemlerde güneşten gelen ışınım enerjisini absorbe ederek çalışma akışkanına (hava, su, yağ) aktarırlar. Kolektör içerisindeki akışkana aktarılan ısı, sıcak su eldesinde, ortam ısıtılmasında yada termal enerji tanklarında daha sonra kullanım için depolanabilmektedir [17].

Kolektörler içerisinde dolaştırılan akışkan, sıvı veya hava olabilmektedir. Akışkanı sıvı olan kolektörlerin verimi havalı toplayıcılardan daha yüksek olup imalatı daha kolay ve ucuzdur. Sıvı akışkanlı kolektörlerin dezavantajı sıvının donma tehlikesi, boruların korozyona uğraması ve sızdırma gibi problemlerin meydana gelebilmesidir [18].

Güneş kolektörleri genellikle yoğunlaştırma oranlarına göre iki ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar;

1-) Yoğunlaştırma yapmayan kolektörler; bu tip kolektörlerin yüzey alanı ile güneş ışınımını absorbe eden alan aynı büyüklüktedir. Camsız-plastik kolektörler, düzlemsel kolektörler ve vakum tipli güneş kolektörler bu tip kolektörlere örnektir.

2-) Yoğunlaştırıcı odaklayıcı kolektörler; bu tip kolektörler genellikle konkav yansıtıcı alana sahiptir ve güneş takibi yapan sistemlerdir. Odaklayıcı kolektör sistemlerinde çalışma sıcaklıkları 2.500 °C'ye kadar çıkmaktadır. Bu sistemlerde genellikle buhar üretimi yapılır ve elde edilen buhar ya doğrudan ısı enerjisi olarak ya da elektrik üretimi için kullanılır. Parabolik oluk kolektörleri, parabolik çanak kolektörleri, doğrusal frensel kolektörler bu tip kolektörlere örnektir. Bu kolektörlerin kullanılması ile oluşturulan sistemlere, yoğunlaştırılmış güneş enerjisi güç santralleri (CSP) denilmektedir [1].

Camsız plastik güneş kolektörleri

Camsız güneş kolektörleri sıcaklık gereksinimleri yüksek olmayan (15–30 °C) sistemlerde kullanımı oldukça verimlidir. Özellikle açık ve kapalı yüzme havuzlarının ısıtılmasında kullanımı oldukça uygundur. Camsız güneş kolektörleri genelde izolasyona ve kaplamaya sahip değildir ve bu durum kolektörlerin düşük çalışma sıcaklığına uyumunu sağlamaktadır [19].

Havuz ısıtılmasında kullanılan camsız kolektörler özellikle çeşitli plastik malzemelerden üretilmektedir. EPDM plastik, ABS plastik, polipropilen, polietilen ve PVC gibi plastik malzemelerden imal edilmektedir. Bu plastikler klorlu suya karşı dirençlidirler. Tabii ki bu klorlu suya karşı direnç miktarı sonsuz değildir, su içindeki klor miktarı, yaklaşık 5mg/l den itibaren, plastik kolektörlere zarar vermeye başlamaktadır [20].

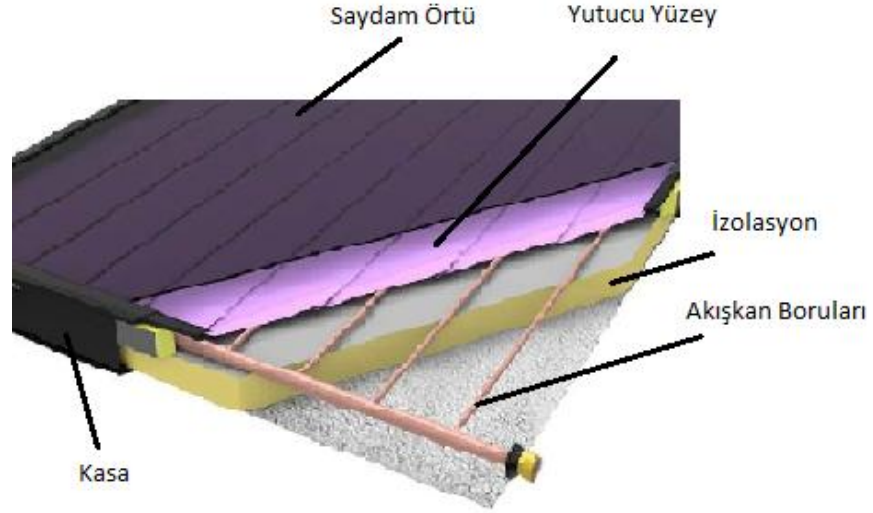


Şekil 1.23: Camsız güneş kolektörleri.

Düzlemsel güneş kolektörleri

Düzlemsel sıvılı güneş kolektörleri, güneş enerjisini toplayan ve akışkana ısı olarak aktaran en basit ve yaygın olarak kullanılan sistemlerdendir. En çok evlerde sıcak su elde etme amacı ile kullanılmaktadır. Güneş kolektörleri genellikle sabit pozisyonludur. Bu nedenle düzlemsel güneş kolektörlerinin yatay düzlemle (eğim açısı) ve güneş ışınıyla yaptığı açılar, gerekli kolektör hesabında önemli rol oynamaktadır [18].

Düzlemsel güneş kolektörleri Şekil 1.24’de görüldüğü gibi üstten alta doğru, saydam örtü (cam veya plastik), enerjiyi toplayan yutucu yüzey, akışkan borular, yalıtım malzemesi ve kasadan oluşmaktadır.



Şekil 1.24: Düzlemsel güneş kolektörü yapısı.

Saydam Örtü, konveksiyon (taşınım) ile oluşan ısı kayıplarını en aza indirmek, kolektöre güneş ışınımının girişini sağlamak ve yutucu yüzeyi yağmur, dolu ve toz gibi çevresel etkenlerden korunmasını sağlamaktadır. Saydam örtünün, kısa dalga boylu güneş ışınımını geçirme oranı yüksek ve yutucu yüzeyden geri yansıyan uzun dalga boylu güneş ışınımını geçirmemesi istenir. Kolektör malzemesi olarak genellikle cam veya plastik esaslı malzemeler kullanılır. Camın plastik malzemelere göre avantajı camın optik ve mekanik özelliklerinin uzun dönem kararlılığıdır. Plastik malzemeler ise daha dayanıklı olmasına rağmen çizilmeye ve aşınmaya karşı daha düşük dirençlidirler [18].

Yutucu yüzey, güneş kolektörlerinin en önemli kısmını oluşturur. Güneş ışınlarını ısı enerjisine dönüştüren ve kazanılan ısıyı akışkana ileten kısımdır. Bir kolektörün verimini etkileyen en önemli parametre yutucu yüzeye uygulanan kaplama kalitesine ayrıca geometrisine ve yüzeyde kullanılan malzemenin özelliğine göre değişiklik göstermektedir. Yutucu yüzeye siyah mat boya veya seçici yüzey kaplamaları uygulanır. Siyah mat boyanın güneş ışınını absorbe etme oranı (%90-98) yüksek olmasına rağmen yayıcılığı da (%85-92) oldukça yüksektir. Yutucu yüzey kaplamalarından istenen kısa dalga boylu ışınımın tamamına yakın bir kısmının absorbe edilmesi, buna karşın uzun dalga boylu yayıcılığın en aza indirgenmesi istenir. Böylece plaka sıcaklığı daha fazla artırılarak akışkana daha fazla ısı akışı

sağlanır. Seçici yüzeyler tamda istenilen bu koşulları sağlarlar, sıcaklık yükselmesinde ışınım yayıcılığı düşük olduğu için kolektör verimleri yüksektir [18].

Tablo 1.1: Bazı Yutucu plakaların yutma (α) ve neşretme (ϵ) katsayıları ile (α / ϵ) oranları [18].

Sıra	Yutucu Plaka Kaplaması	α	ϵ	α / ϵ
1	Akma demir üzerine galvanizli nikel, galvanizli nikel üzerine nikel karası	0,94	0,07	13,47
2	Alüminyum üzerine bakır oksit	0,93	0,11	8,45
3	Parlatılmış nikel üzerine nikel karası	0,91	0,11	8,27
4	Galvanizli sac üzerine nikel karası	0,89	0,12	7,41
5	Paslanmaz çeliğin 425°C'de sodyum dikromat eriyiğine daldırılıp 5 dakika beklenmesiyle yapılan kaplama	0,90	0,15	6,00
6	Emaye üzerine kalay oksit	0,92	0,17	5,41
7	Bakır üzerine bakıroksit	0,89	0,17	5,23
8	Nikel üzerine bakıroksir	0,81	0,17	4,76
9	Alüminyum üzerine kurşun sülfür kristalleri	0,89	0,20	4,45
10	Sac üzerine siyah emaye boya	0,97	0,97	1,00
11	Sac üzerine katran boyası	0,86	0,86	1,00
12	Sac üzerine is karası boyası	0,95	0,95	1,00

Akışkan boruları, yutucu yüzey ile izolasyon malzemesi arasında geçen borular, yutucu yüzeye gelen enerjinin bir kısmını akışkana ileterek elde edilen faydalı ısının taşınımını sağlarlar. Boruların ısı iletim katsayısının yüksek olması elde edilen faydalı ısı miktarını artıracaktır. Akışkan boru malzemesi olarak bakır, alüminyum ve paslanmaz çelik borular tercih edilir [18].

İzolasyon tabakası cam yünü, poliüretan köpük, taş yünü veya levha gibi izolasyon malzemeleri kullanılır. **Kolektör kasası** olarak paslanmaz çelik, galvanize çelik, alüminyum, tahta veya plastik gibi değişik materyaller kullanılır. Kolektör kasaları tam sızdırmazlığı sağlamalıdır [18].

Vakum tüplü kolektörler

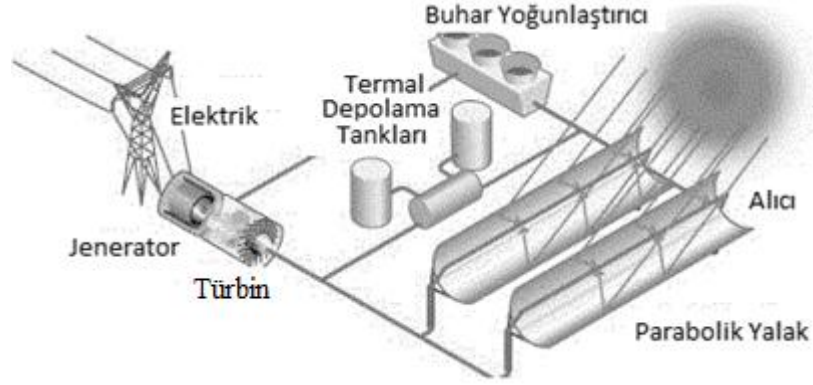
Vakum tüplü güneş kolektörleri düzlemsel güneş kolektörlerine göre pahalı olmasına karşın daha verimlidirler ve gerekli kolektör alanı bakımından daha az yere ihtiyaç duyarlar. Cam vakum tüpler kolektörün en önemli parçasıdır. Vakum tüplerde, iki adet cam tüp iç içe geçerek ve arasındaki havanın vakumlanması suretiyle ağız kısımları yüksek sıcaklıkta birleştirilerek vakum tüp imal edilmiş olur. İki tüp arasındaki vakum sayesinde ısı kayıpları en aza inmektedir. İç tüpte yer alan selektif yüzey (Al-N/Al) ve paslanmaz çelik reflektör sayesinde güneş ışınlarının geri yansımaya oranı minimuma (%7) indirilmekte ve güneş ışınları boru içerisinde yüksek iletkenlikli bir sıvı ile borulardan maksimum verimle (%93) enerji emilir. Vakum tüplü kolektörlerde akışkan çıkış sıcaklıkları 100-120 °C olduğu için bu sistemler, düzlemsel güneş panellerin kullanıldığı yerlere ek olarak yiyeceklerin dondurulması, binaların soğutulması gibi daha geniş bir alanda daha verimli bir şekilde kullanılmaktadır [1,21].



Şekil 1.25: Vakum tüplü güneş kolektörü.

Parabolik oluk kolektörleri

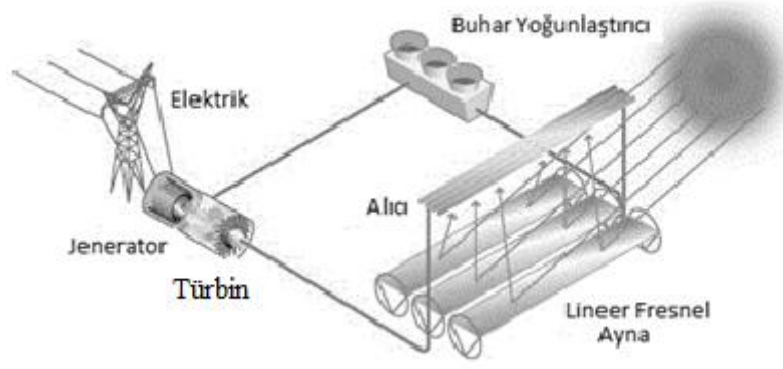
Bu kolektörler parabolik yoğunlaştırıcı serilerden oluşur. Çizgisel yoğunlaştırma yaparak odaklarına yerleştirilmiş olan absorban boru içerisindeki çalışma sıvısı dolaştırılır. Isınan bu sıvıdan ısı değiştiricileri yardımıyla ile kızgın buhar elde edilir. Bu kolektörler çizgisel olarak odaklama yapacağından güneşi tek boyutlu olarak izlemesi yeterlidir. Güneşten termal elektrik üretiminde bu kolektörler en gelişmiş kolektör teknolojisidir ve günümüzde ticari santral uygulamalarında en çok bu teknolojiye yararlanılmaktadır [1].



Şekil 1.26: Parabolik oluk kolektörleri.

Doğrusal fresnel oluk kolektörleri

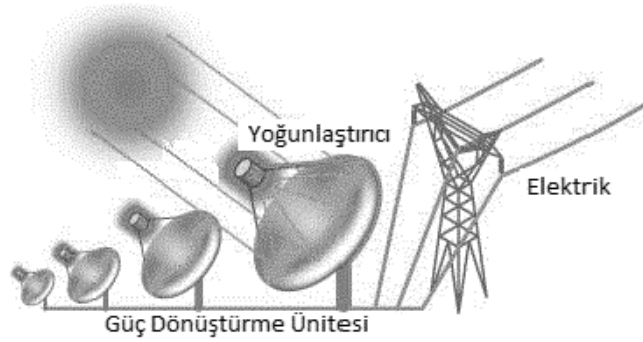
Sıra sıra dizilmiş düz yansıtıcı aynaların güneşi tek boyutta takip ederek, aynalardan yaklaşık olarak 10 m yüksekte olan, içerisinde çalışma sıvısı bulunan alıcı tüplere doğrusal yoğunlaştırma yapar. Alıcı tüplerin yansıtıcı aynalardan yüksekte olması optik verimin düşmesine yani ışınımın dağılması nedeniyle yansıma kayıpları oluşmaktadır. Bunun sonucunda sistemin termik verimi düşüktür [1].



Şekil 1.27: Doğrusal fresnel oluk kolektörleri.

Parabolik çanak kolektörleri

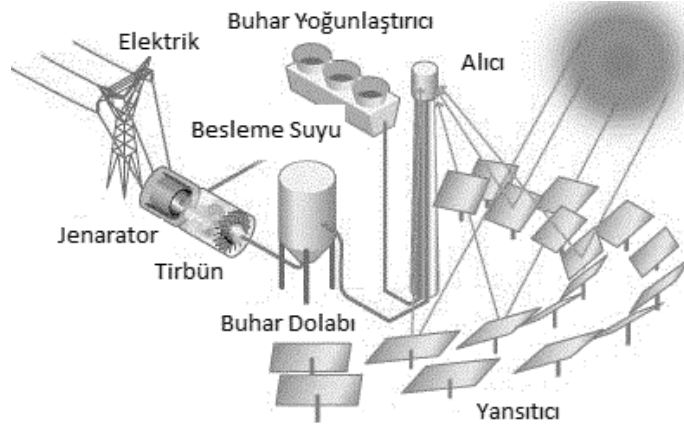
Parabolik çanak kolektörleri güneşi iki ekseninde izleyerek daimi olarak güneş ışınlarını odak noktasında bulunan alıcıya yoğunlaştırır. Termal enerji ya uygun bir çalışma sıvısı ile termodinamik bir dolaşıma tabi tutulur ya da odak noktasına yerleştirilen bir stirling motoru ile direk elektrik enerjisi elde edilebilir. Güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren sistemler içerisindeki en verimli sistemdir [22].



Şekil 1.28: Parabolik çanak kolektörleri.

Güneş kulesi

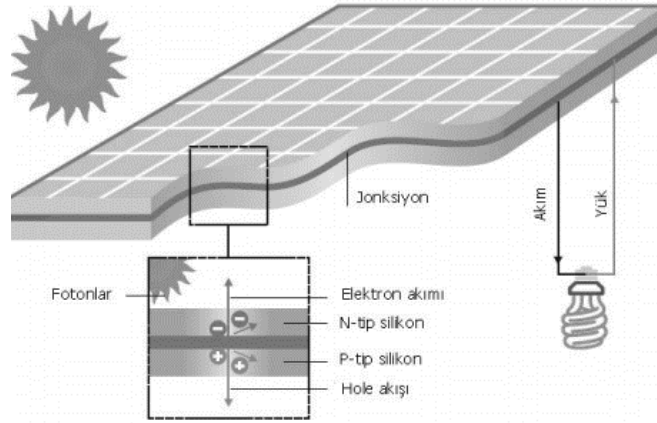
Büyük bir alan üzerinde tek tek odaklama yapan ve heliostat adı verilen düzlemsel aynalardan oluşan, güneş enerjisini, bir kule üzerine monte edilmiş ve alıcı denilen ısı eşanjörüne yansıtır. Alıcıda bulunan boru içerisinde çalışma sıvısı güneş enerjisini absorbe eder. Bu çalışma sıvısı rankine çevrimine göre çalışan bir makinaya iletilerek elektrik enerjisi üretilir. Sistemde bulunan heliosatlar sürekli bilgisayar tarafından devamlı olarak alıcının güneş alması için kontrol edilmektedir [22].



Şekil 1.29: Güneş kulesi.

1.2.5 Elektriksel (fotovoltaik) Sistemler

Fotovoltaik sistemlerde güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmek için hücreler kullanılır. Hücreler, bir ya da iki katmandan oluşan yarı iletken materyallerden oluşmaktadır. Hücrelerde kullanılan en yaygın yarı iletken malzemesi silikondur. Işık, hücre üzerine düştüğünde tabakalar boyunca elektrik alanı meydana gelip elektrik akımı oluşur. Işık şiddeti ne kadar büyük olursa elektrik akımı da o derece büyük olmaktadır [1].



Şekil 1.30: Fotovoltaik sistemler [1].

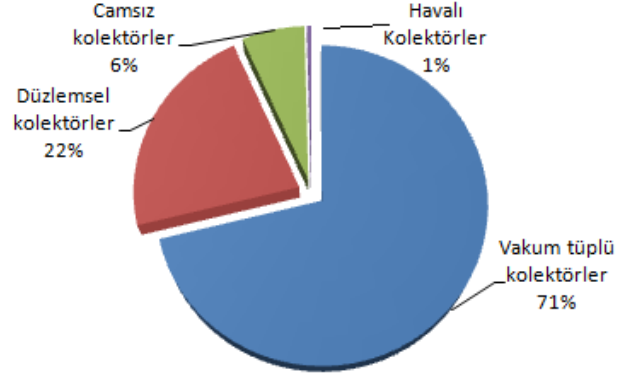
1.2.6 Dünya’da Güneş Enerji Potansiyeli

1.2.6.1 Dünya’da Isıl Güneş Enerjisi

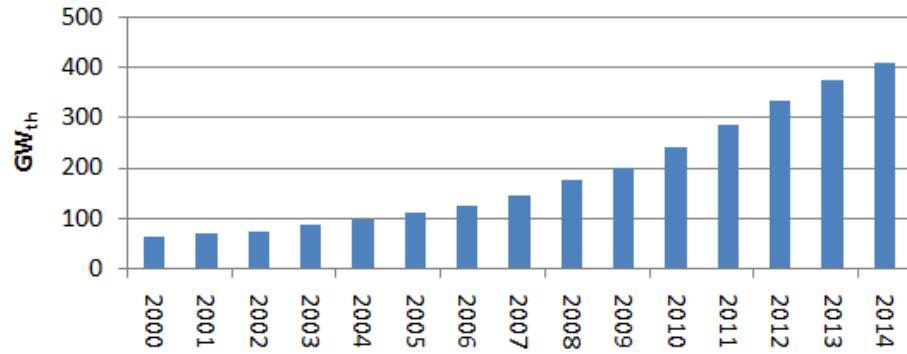
Dünya genelinde güneş enerjisi sistemleri arasında düşük sıcaklık uygulamaları, en çok tercih edilen sistemlerdir. Sistem yapılarının basit, kurulumunun ve işletmelerinin kolay olması ayrıca düşük ilk yatırım maliyeti nedeni ile geri ödeme süresinin kısa olması bu sistemlerin tercih edilmesinin nedenleridir [1].

Dünya üzerinde 2014 yılı sonu itibariyle kullanılan kolektör türlerinin dağılımı Şekil 1.31’de gösterilmiştir. Buna göre vakum tüplü kolektörler %71,1 ile ilk sırada yer alırken, %22,1 ile düzlemsel kolektörler ikinci, %6,3 ile camsız kolektörler üçüncü ve pek tercih edilmeyen %0,4 ile havalı kolektörler son sırada yer almıştır. Bu kolektörler ile dünya genelinde çeşitli ısıtma - soğutma işlemleri yapılmakta ve dünyada 2000 yılı sonu itibari ile ısıtma kurulu güç kapasitesi $62 \text{ GW}_{\text{th}}$ ’dir. Buna karşılık gelen kolektör alanı 89 milyon m^2 ’dir. 2014 yılı sonu itibari ile güneş ısıtma kurulu güç kapasitesi $410,2 \text{ GW}_{\text{th}}$, kolektör alanı 586 milyon m^2 olarak gerçekleşmiştir [10].

2014 yılı sonu itibari ile kurulu toplam kapasitenin 291,77 GW_{th} 'lik kısmı vakum tüplü, 90,86 GW_{th} 'lik kısmı düzlemsel, 25,96 GW_{th} 'lik kısmı camsız kolektör ile sağlanırken 1,648 GW_{th} 'lik kısmı havalı kolektörler oluşturmaktadır [10].



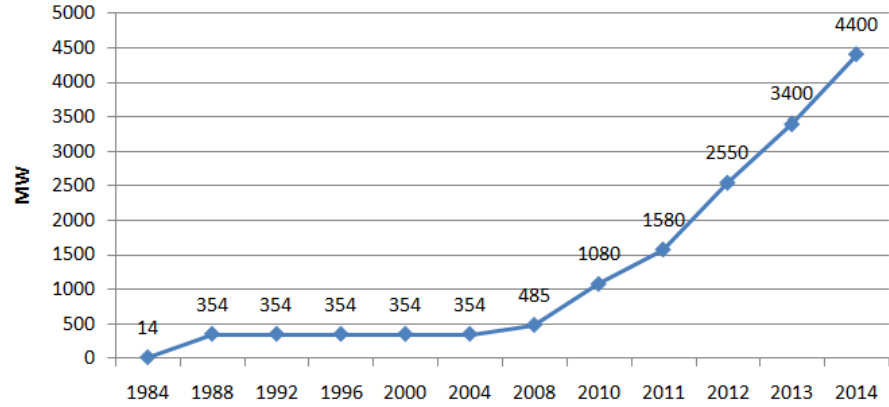
Şekil 1.31: 2014 yılı sonu itibari ile dünyada kullanılan toplam kolektör türlerinin oransal dağılımı.



Şekil 1.32: 2000-2014 yılları, dünya güneş ısı kurulu güç kapasite gelişimi.

2014 yılı sonunda, 586 milyon m² kolektör alanı ve elde edilen 410,2 GW_{th} termal enerjinin kullanım alanı incelendiğinde %6'sı yüzme havuzu ısıtılmasında, %63'ü müstakil dairelerde kullanılmak üzere kullanım suyu ısıtılmasında, %28'i apartmanlarda, otellerde, okullarda, hastanelerde kullanılmak üzere sıcak suyu eldesinde, yaklaşık %2'si ortam ısıtılmasında ve geri kalan kısmı ise solar merkezi ısıtma, solar endüstriyel proses ısısı ve solar soğutma gibi uygulama alanlarında kullanıldığı görülmektedir [10].

Yoğunlaştırılmış güneş santrallerinin (CSP) dünya üzerindeki gelişimine baktığımızda diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına oranla uzun vadede daha yavaş bir büyüme göstermesine rağmen özellikle 2012 yılında büyük bir gelişim göstererek yıl içerisinde tüm yenilenebilir enerji kaynakları arasında en hızlı gelişim gösteren sektör olmuştur. 2009-2014 yılları arasında yıllık ortalama %46'lık bir kapasite artışı sağlanmıştır. 2014 yılında sadece A.B.D. ve Hindistan'ın ticari anlamda CSP kapasitesini arttırması ile dünya genelinde, bir önceki yıla oranla %27'lik artış ile toplamda 4,4 GW kurulu güce erişmiştir [9].



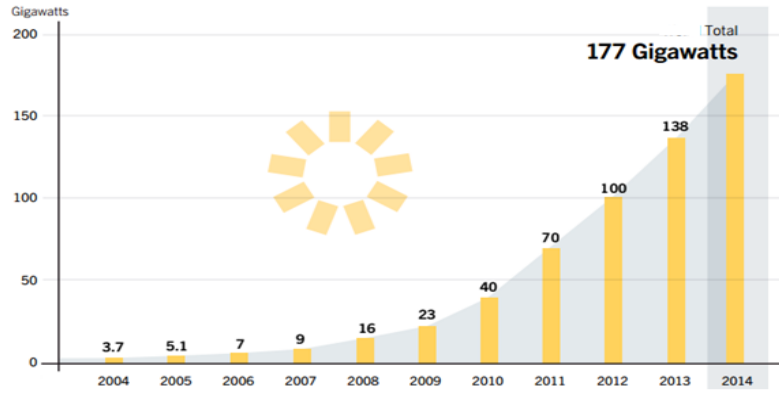
Şekil 1.33: Dünya toplam yoğunlaştırılmış termal güneş gücü kapasitesi [9].

CSP santrallerinde kullanılan teknolojilere baktığımızda büyük çoğunluğunu parabolik oluk sistemleri oluşturmasına rağmen 2014 yılında dünyanın en büyük doğrusal fresnel santrali (125 MW) ve güneş kulesi kurulmuştur. 2014 yılında kurulan CSP santrallerinin %46'sı parabolik oluk, %41'ini güneş kulesi teknolojisi, %13'lük kısmını da doğrusal fresnel oluk santralleri oluşturmaktadır. Bu oranlar bize

önümüzdeki yıllarda güneş kulesi ve diğer CSP teknolojilerin kurulu kapasitedeki paylarının daha da artacağını göstermektedir [9].

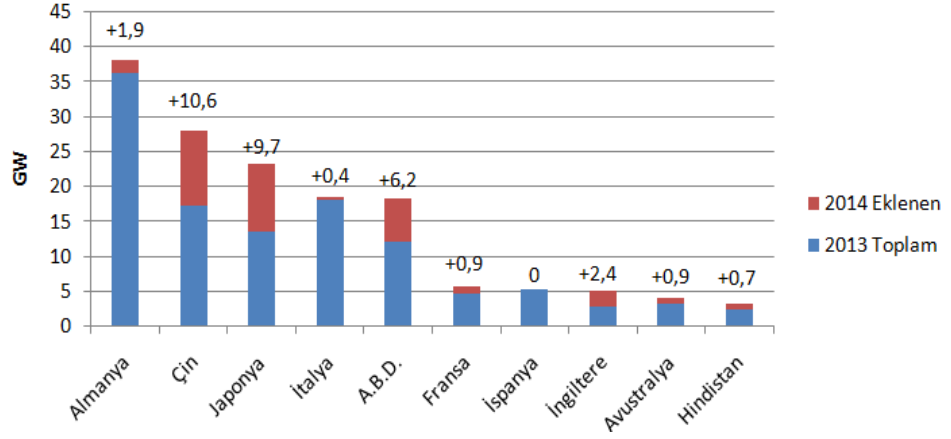
1.2.6.2 Dünya’da Fotovoltaik

Güneş enerjisinde son yıllarda en büyük gelişim solar photovoltaik sistemlerde yaşandı. 2014 yılında rekor kırılarak 40 GW’lık kapasite artışı sağlandı. Toplam kurulu solar PV gücü son 10 yıl içerisinde 48 kat arttı. 2004 yılında 3,7 GW olan toplam kurulu güç 2014 yılın sonu itibariyle 177 GW seviyesine ulaşmıştır.



Şekil 1.34: Dünyadaki toplam kurulu solar PV kapasite [9].

Ülkelerin PV kapasitelerine baktığımızda Almanya 38,2 GW kurulu güç ile ilk sırada yer almaktadır. 2014 yılında asya ülkeleri büyük kapasite artışı sağlamıştır. İkinci sırada 2014 yılında 10 GW’dan fazla bir kapasite artışı sağlayarak toplamda 28 GW ile Çin, üçüncü sırada ise 9,7 GW kapasite artışı ile toplamda 23,3 GW ile Japonya üçüncü sıradadır. Ardından sırası ile 18,5 GW ile İtalya, 18,3 GW ile A.B.D., 5,6 GW ile Fransa şeklinde devam etmektedir [9].

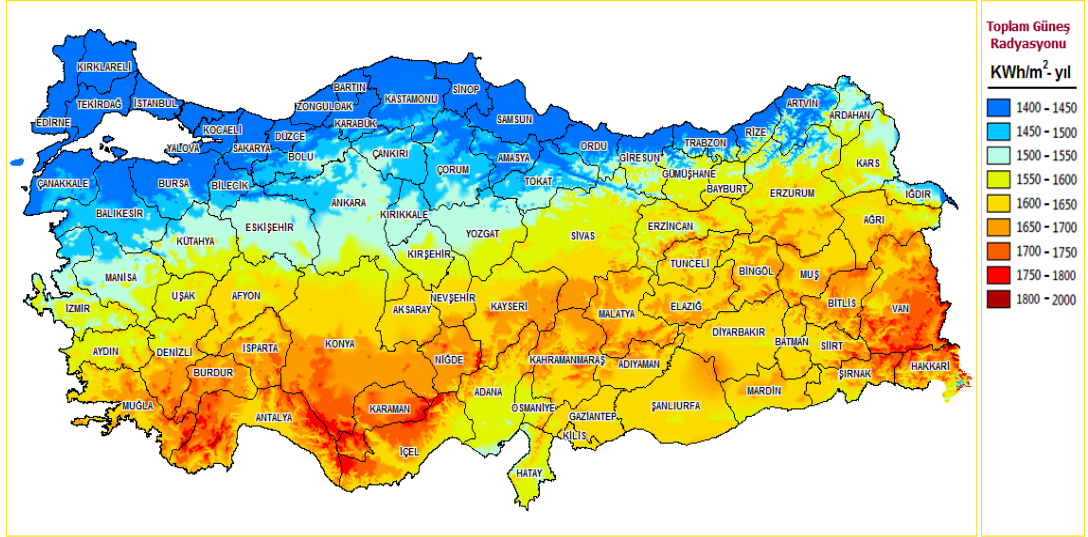


Şekil 1.35: PV kapasitesi, ilk 10 sıradaki ülke.

1.2.7 Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli

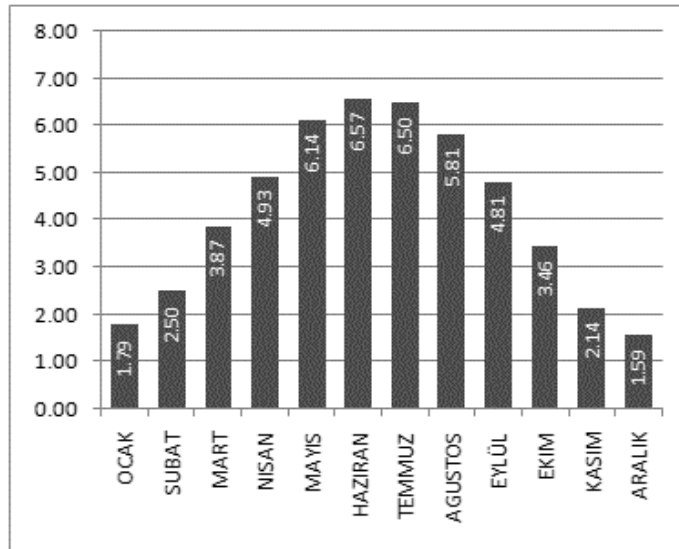
Türkiye coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerji potansiyeli, günümüzde güneş enerjisinden etkin bir biçimde yararlanan ülkelerden oldukça iyi durumdadır. Ancak ülkemizin sahip olduğu güneş enerjisi potansiyelinden etkin bir biçimde yararlanma oranı düşüktür.

Ülkemizde güneş enerjisinin verimli ve etkin bir biçimde kullanılabilmesi için Yenilenebilir Enerji Müdürlüğü tarafından Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) hazırlanmıştır (Şekil 1.36). Bu atlasa göre ülkemizin yıllık toplam güneşlenme süresi 2700 saat (ort. günlük toplam 7,4 saat), yıllık toplam yatay düzleme gelen güneş enerjisi 1503 kWh/m².yıl, yani ortalama günlük toplam 4,11 kWh/m² olduğu tespit edilmiştir.

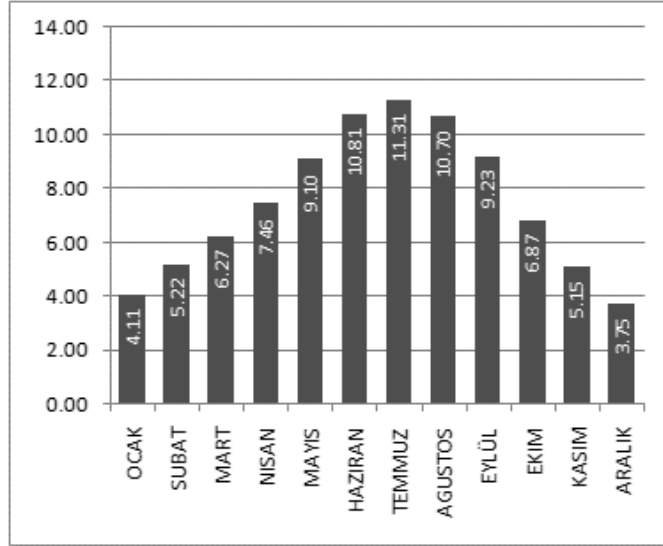


Şekil 1.36: Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası [23].

Yenilenebilir Enerji Müdürlüğü tarafından oluşturulan Türkiye'nin aylara göre ortalama günlük güneş ışınım değerleri (Şekil 1.37) ve güneşlenme süreleri (Şekil 1.38) aşağıda verilmiştir.. Buna göre en büyük global radyasyon değeri günlük ortalama 6,57 kWh/m² ile haziran ayı içerisinde, en uzun güneşlenme süresinin ise ortalama günlük 11,31 saat ile temmuz ayında gerçekleştiği görülmektedir.



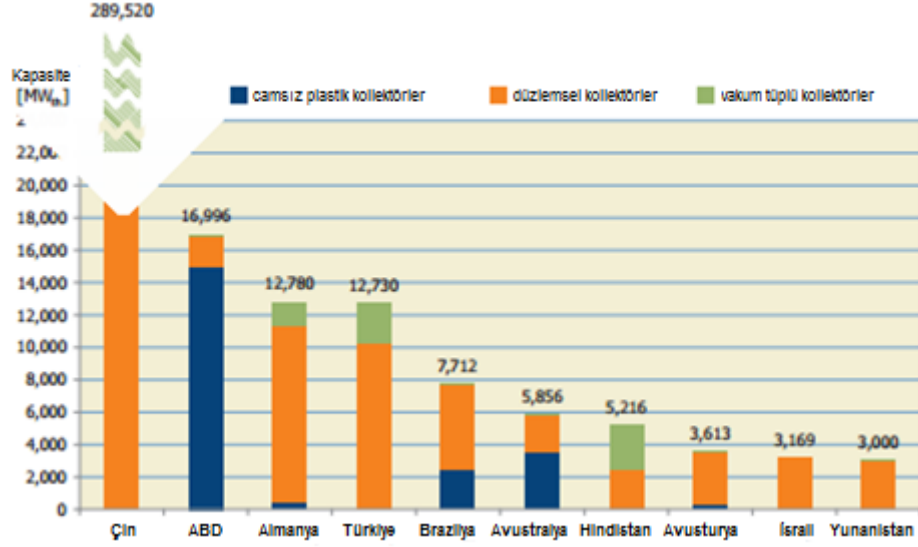
Şekil 1.37: Türkiye global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) [23].



Şekil 1.38: Türkiye güneşlenme süreleri (saat) [23].

1.2.7.1 Türkiye’de Isıl Güneş Enerjisi

Ülkemizde güneş enerjisinden büyük oranda ısı uygulamaları için kurulan sistemler vasıtasıyla yararlanılır. Bu sistemlerin tamamına yakını düşük sıcaklık uygulamalarını kapsamaktadır. 2014 yılı itibariyle düşük sıcaklık sistemlerinin uygulamalarında kullanılan sulu kolektörlerin Türkiye’deki kapasitesi ve dünya üzerindeki sıralaması Şekil 1.39’da gösterilmiştir. Buna göre, Çin, 289.520 MW_{th} ile ilk sırada yer alırken Türkiye 12.730 MW_{th} ile dördüncü sırada yer almaktadır. Türkiye’de ki kurulu kapasitenin 10.288 MW_{th}’ını (%80) düzlemsel, 2.441 MW_{th}’lık (%20) kısmını da vakum tüplü, çok az bir miktarını 3.2 MW_{th}’lık kısmını da havalı kolektörler oluşturmaktadır [10].



Şekil 1.39: Sulu kolektör kurulu kapasitesi, ilk 10 sıradaki ülke [10].

Ülkemizde sulu kolektörlerin kapladığı alana baktığımızda toplamda 18.190.471 m²'dir. Bu alanın 14.698.112 m² düzlemsel, 3.487.789 m² vakum tüplü, 4.570 m² havalı kolektörler oluşturmaktadır [10].

Türkiye sulu kolektörlerden elde ettiği termal enerji miktarına 2014 yılında 1.334 MW_{th} eklemiştir. Bu enerjinin 745,5 MW_{th} (%55) düzlemsel, 586,8 MW_{th} (%44) vakum tüplü ve 1,8 MW_{th}'lık kısmını da havalı kolektörler ile gerçekleştirmiştir. Bu oranlar bize gösteriyor ki daha yüksek verimli olan vakum tüplü kolektörlerin ülkemizde kullanımı artmaktadır. Bu eklenen kolektörlerin kapladığı toplam alan 1.905.843 m²'dir. Bunun 1.065.063 m²'si düzlemsel, 838,280 m²'si vakum tüplü ve 2.500 m²'side havalı kolektörler tarafından oluşmaktadır. Bu değerler Türkiye'yi 2014 yılında kapasitesini en çok arttıran Çin'in (36.683 MW_{th}) ardından ikinci ülke yapmıştır [10].

Ülkemizde genellikle düşük sıcaklık ısı uygulamaları ile yararlanılmasına rağmen, yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılan yoğunlaştırıcı kolektörlerin solar termal elektrik üretimi, ticari anlamda kullanımı yok denecek seviyededir. Mersin'de kurulumuna 2012 yılında başlanan Türkiye'nin ilk kule tipi yoğunlaştırılmış güneş enerji santralının kurulumu tamamlanmıştır. 50 milyon dolar yatırım ile faaliyete giren santral 5 MW'lık güce sahiptir [1].

1.2.7.2 Türkiye’de Fotovoltaik

Ülkemizde PV sistemler genellikle elektrik şebekesinin olmadığı, yerleşim yerlerinden uzak, yol aydınlatılması, trafik ikaz ışıkları, orman gözetleme kuleleri, su pompalama sistemleri, orman gözetleme kuleleri ve bazı üniversitelerimizde küçük güçlerin karşılanması için kullanılmaktaydı ve bu sistemlerin toplam kapasitesinin 6,5-7 MW civarında olduğu tahmin edilmektedir [1].

2013 yılında çıkarılan yeni kanun ile lisansız elektrik enerjisi üretim kapasitesi 0,5 MW’den 1 MW’a çıkarılmıştır. Bu düzenleme ile güneş enerjisinden direkt elektrik enerjisi üretimi artmıştır. Türkiye Elektrik İletim A.Ş. tarafından açıklanan verilere göre Türkiye’nin güneş elektriği kurulu gücünün Mayıs 2016 sonu itibariyle 443,3 MW seviyesine yükseldiği ve bu gücün toplamda 597 lisansız elektrik santralinden oluştuğu ve Türkiye’nin elektrik üretiminde toplam %0,6 oranında katkı sağladığı açıklanmıştır. Türkiye’nin güneş elektriği gücü 2015 sonu itibariyle 248,8 MW ve elektrik üretiminin %0,3 oranında pay sahibi olmuştur.

1.3 Literatür Araştırması

Yüzme havuzlarının yapımı ve işletilmesinde karşılaşılan en önemli sorun, havuzların bulunduğu ortamı ve havuz suyunu ısıtmak için harcanan enerji ve bunun finansal değeridir. Bu çalışmada havuz suyunda meydana gelen enerji kayıpları incelenmiştir. Bu çerçevede yapılan literatür araştırmasında, çalışmalarda ağırlıklı olarak havuz suyunda meydana gelen enerji kayıplarının azaltılması veya alternatif, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile kayıpların karşılanması ön plana çıkmaktadır. Bu paralelde yapılan çok sayıdaki çalışmaların bir kısmı aşağıda verilmiştir.

Asdrubalı [24] çalışmasında kapalı yüzme havuzlarında, buharlaşmadan dolayı meydana gelen ısı kayıplarını; küçük ölçekli kapalı bir yüzme havuzunu andıran bir deney düzeneği oluşturarak, düzenekte meydana gelen buharlaşma miktarının hesaplanabilmesi için yeni bir model oluşturmuştur. Oluşturulan modelden elde edilen sonuçlar ile literatürde bulunan farklı hesap metodlarından elde edilen sonuçlar karşılaştırmıştır. Deneyler sonucunda oluşturulan yeni modelin diğer

hesaplama metotları ile birbirine çok yakın sonuçlar verdiği ve deneyler sırasında buharlaşma miktarının; su sıcaklığının yüksek ve bağıl nemin düşük olduğu durumlarda buharlaşmanın arttığı sonucuna varmıştır.

Shah [25] önceki çalışmalarında ortaya koyduğu kapalı yüzme havuzlarında buharlaşma miktarını hesaplama metodunu bu çalışma ile daha da geliştirmiştir. Önceki çalışmasında doğal konveksiyon durumunda, havuz kullanım dışı iken (dalgalanma yok iken) ve pozitif yoğunluk farkı (ortam hava yoğunluğu, su yüzeyindeki hava yoğunluğundan büyük) olduğu durumlarda gerçekçi sonuçlar verir iken, bu çalışmasında oluşturduğu yeni metod ile negatif yoğunluk farkında ve zorlamalı konveksiyon durumlarında da buharlaşma miktarını daha doğru ve gerçekçi hesaplanmasını sağlamıştır. Geliştirilen yeni model 11 farklı kaynaktaki test verileri ile karşılaştırılarak doğruluğu saptanmıştır. Bu 11 farklı test verilerine göre sonuçlar toplamda ortalama %14,5 sapma göstermiştir. Dolayısıyla geliştirilen yeni metod güvenli bir şekilde tasarım ve analiz esnasında kullanılabilir sonucuna varmıştır.

Alkhamist ve Sherif [26] çalışmalarında Amerika, Miami'de bulunan açık olimpik yüzme havuzunun, havuz suyunun ısıtılmasında güneş enerjisi destekli bir sistemin fizibilite çalışmasını yapmışlardır. Termodinamik ve ekonomik analizleri yapılmıştır. Tasarlanan sistemle havuz suyunun ısıtılması yanında kullanım sularının ısıtılması ve soyunma odası binasının ortam soğutulması da düşünülmüştür. Termodinamik analizde çeşitli kolektör alanlarının kullanım suyu ve havuz suyunun ısıtılmasında etkileri incelenmiş ve güneş kolektörlerinin kullanım suyu ısıtılmasında, havuz suyunun ısıtılmasına oranla ortalama yıllık performansının daha iyi olduğu sonucuna varmışlardır. Ekonomik analizi "Life-Cycle Saving" metoduna göre yapılmış ve kolektör alanı büyüklüğünün kritik öneme sahip olmadığı önemli olanın ek ısıtma işleminde kullanılacak yakıt fiyatının ve uğrayacağı enflasyonun önemli parametreler olduğunu ayrıca bu şartlar altında sistemin ekonomik kullanım ömrünün 10 yıldan az olması durumunda ekonomik bir seçim olamayacağı sonucuna varmışlardır.

Mouisa ve Dimoudi [27] çalışmalarında Yunanistan'da bulunan yüzme havuzlarının enerji performanslarını değerlendirmişlerdir. Değerlendirme 3 farklı sıcaklık bölgesinde bulunan, 27 adet açık yüzme havuzunun 3 yıllık verilerinin

toplanması ile yapılmıştır. Havuz enerji tüketimlerinin bölgelere göre yıllık m^2 başına 1.307,5 ile 3.940 kWh arasında değiştiği, güneş enerji örtüsü kullanılması ile ortalama 2.456,16 kWh/ m^2 olan enerji tüketimi %25,6 düşüşle 1.827,45 kWh/ m^2 'ye düşmüştür.

Buonomano ve ark. [28] çalışmalarında Napoli'de bulunan açılabilir kapanabilir yarı olimpik yüzme havuzunun fotovoltaiik-termal kolektör (PV/T) sistemleri ile havuz suyunun ısıtılması ve tesisin elektrik ihtiyacının karşılanabilmesi için sistemin modellenmesi ve enerji hesaplarını yapmışlardır. Yüzme havuzunun açık olması durumunda daha fazla ısı kaybedildiği için havuz ısı kayıpları havuzun açık durumuna göre hesaplanmıştır. Hesaplar literatürde bulunan 9 farklı ısı kaybı hesabına göre yapılmış ve 9 farklı yaklaşım için toplam ısı kayıpları ve kolektör alanları tayin edilmiştir. Ekonomik analiz sonucunda karlılık indeksinin birden büyük çıkması nedeniyle böyle sistemin günümüz şartlarında devlet desteği olmadan, kurulmasının ekonomik olmayacağı, PV/T sisteminin maliyetinin yüksek olduğu, sadece havuz suyunun ısıtılmasının daha doğru olacağı sonucuna varmışlardır.

Govaer ve Zarmi [29] çalışmalarında Aşkelon İsrail'de bulunan yüzme havuzlarının güneş enerjisi ile ısıtılmasının analitik hesaplarını yapmışlardır. Öncelikle açık yarı olimpik havuzun termal performans hesabı için gerekli faktörleri hesaba katarak ısı kayıpları hesaplanmıştır. Ardından aynı havuzun tavanı cam ile kaplı, kapalı bir ortamda bulunması hali için hesap yöntemindeki değişimlere değinmişler ve ısı kayıplarını hesaplamışlardır. Kolektör alanını havuz yüzey alanı olarak seçmişler ve sonuç olarak güneş kolektörü vasıtasıyla, yaklaşık 90 gün olan açık yüzme havuzunun kullanım süresini, tavanı cam kaplı kapalı yüzme havuzu ile 230 gün kullanım süresi elde etmişlerdir.

Ruiz ve Martinez [30] çalışmalarında İspanya'da bulunan $50m^2$ yüzey alanına ve $82,5m^3$ su hacmine sahip açık yüzme havuzunun camsız plastik güneş kolektörleri ile ısıtılması için Mayıs - Eylül ayları arasında toplanan veriler ile sistemin TRNSYS simülasyon programında modellenmesini yapmışlardır. Öncelikle ısı kayıpları hesaplanmış, hesaplama yapılırken en çok ısı kaybı buharlaşmadan dolayı meydana geldiği için literatürde bulunan 6 farklı buharlaşma ısı hesabı yaklaşımı için toplam ısı kayıpları hesaplanmış ve bu değerlerle TRNSYS programında tersine işlem

yapılarak havuz suyu sıcaklıklarını bulmuşlardır. Sonuç olarak bulunan değerler arasında deneysel olarak ölçülen havuz su sıcaklığına en yakın değeri veren ASHREA yaklaşımı olmuştur. Yüzme havuzlarında uygulanabilirlik açısından, buharlaşma ısı kayıpları hesaplarında metod olarak ASHREA yaklaşımı kabul etmişlerdir. Kolektör alanının, havuz yüzey alanı kadar olmasının uygun olacağı sonucuna varmışlardır.

Chow ve ark. [31] Hong Kong'da bulunan kapalı yüzme havuzunun güneş enerjisi destekli ısı pompası sisteminin tasarımını yapmışlardır. TRNSYS simülasyon programı ile enerji performansını (kasım ayından mart ayına kadar 5 ay süre ile toplanan veriler ile) hesaplamışlardır. Havuz hacmi 2250m^3 'dür. Sistemdeki ısı kayıpları hesaplanmış ve bu değerlere göre başlangıçta kolektör alanı 1400m^2 , ısı pompası olarak da 216 kW seçmişlerdir. Ancak yapılan ekonomik analiz sonucuna göre kolektör alanının 1200m^2 , ısı pompası 297 kW olarak seçilmesinin uygun olacağı sonucuna varmışlardır. Çalışma sonucunda C.O.P değeri 4,5 ve %79 oranında enerji tasarrufu sağlamışlardır. Ayrıca, sistemin 5 yıldan az bir sürede amorti edeceği sonucuna varmışlardır.

Dang [32] bu çalışmada Hindistan'da bulunan bir okulun yüzme havuzunun güneş panelleri ile ısıtılmasının teorik hesaplarını yapmıştır. Havuz hacmi 430.000 lt'dir. Öncelikle havuz suyunda meydana gelen ısı kayıpları hesaplanmış ve sonuç olarak toplamda 78.375W bulunmuştur. Bu değer havuzda günlük $3,75\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık düşümüne neden olmuştur. Güneş enerji örtüsü kullanımı ile (günlük 16 saat) günlük $1,94\text{ }^\circ\text{C}$ ısı düşüşü sağlanmış ve sistemin toplamda kaybettiği enerji miktarı 869.360 kcal olarak hesaplanmıştır. Başlangıçta 275 m^2 kolektör alanına göre (Dış hava sıcaklığı $25\text{ }^\circ\text{C}$) elde edilen enerji miktarı 977.193,92 kcal/gün olarak hesaplanmıştır. Ekonomik analiz sonucu optimum kolektör alanı 188m^2 olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Rakopoulos ve Vazeos [33] çalışmalarında Atina'da bulunan açık olimpik yüzme havuzun, camsız plastik güneş kolektörleri ile direkt ısıtma sistemini değerlendirmişlerdir. Aynı zamanda güneş enerji örtüsü kullanılarak (sadece geceleri) bu örtülerin etkisi incelenmiştir. Havuzun deneysel ve teorik olarak ısı kayıpları hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak 24 saatlik bir dilimde deneysel ve teorik hesapların birbirine çok yakın sonuçlar verdiği, en büyük ısı

kaybının buharlaşma ile oluştuğunu bununla güneş enerji örtüsü kullanarak önlenebileceği sonucuna varmışlardır.

Medved ve ark. [34] Adriyatik kıyısında bulunan bir turistik tesisin açık yüzme havuzunun, camsız plastik güneş kolektörleri ile ısıtılmasını değerlendirmişlerdir. Çatıya konumlandırılan camsız güneş kolektörlerinin tasarımı, verimlilik parametrelerinin analizi ve ekonomi analizleri yapılmıştır. Verimlilik analizinde, kolektörlerin boyu, absorber malzemesi ve kalınlığı, akışkan debisi ve rüzgâr hızı dikkate alınmıştır. Güneş kolektörlerinin tasarım aşamasında, seri imalatı bulunan 4 farklı tipteki akışkan borusu karşılaştırmışlar ve bu kolektörlerin ısı yetkinlikleri analiz etmişlerdir. Mayıs-eylül ayları arasında elde edilen veriler ile TRNSYS simülasyon programı ile havuzda meydana gelen ısı kayıpları hesaplanmış ve 4 farklı tipteki kolektörler için kolektör alanları tayin edilmiştir. Ekonomi analizi sonucu optimum kolektör tasarımı ile sistemin 1,5 - 2,7 yıl arasında amorti edeceğini ve camlı kolektörlere oranla 4 kat daha kısa sürede amorti edeceği sonucuna varmışlardır.

Croy ve Peuser [35] çalışmalarında Almanya'da bulunan açık yüzme havuzunun, havuz suyunun güneş enerjisi ile ısıtılması üzerine çalışma yapmışlardır. İlk olarak çatıda konumlandırılan iki farklı akış modeline sahip camsız güneş kolektörlerinin kızılötesi sıcaklık ölçer ile sistemde kullanılan kolektörlerin sıcaklık dağılımına bakılmış ve akışkan boruların paralel yerine seri olarak bağlanması sistemde daha düzgün bir sıcaklık dağılımına olanak sağladığı sonucuna varmışlardır. İkinci olarak da ekonomik analiz yapılmış ve gerekli su sıcaklığı 30 °C'nin altında ise, plastik kolektörlerin kullanımı daha ekonomik ve yararlı olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca, yüzme sezonlarında söz konusu sistemin güneş enerjisi ile m² başına ortalama 250-300 kWh enerji sağladığı ve ek ısıtma gerektirmeden havuz suyunun ısıtılabilmesi sonucuna varmışlardır.

Akbulut ve ark. [36],[37] çalışmalarında Antalya, Adana, İstanbul ve Ankara'da bulunan olimpik kapalı yüzme havuzlarının, havuz suyunun güneş enerjisi destekli düzlemsel güneş kolektörleri ile ısıtılması üzerine teorik bir çalışma yapmışlardır. Bunun için farklı illerde ihtiyaç duyulan enerji miktarına göre optimum kolektör alan hesabına yönelik teorik ve ekonomik analizler yapmışlardır. Toplam bir yıllık veriler ışığında yapılan analizler sonucunda Antalya şehrinde 1600m² alana

sahip güneş kolektörleri kullanıldığında maliyetler minimuma inmekte, verim %64,7 olmakta ve yıllık enerji maliyetlerinde %16,2 oranında azalma meydana geleceğini hesaplamışlardır. Diğer illerde bulunan optimum kolektör alanlarını ise; Adana ilinde 1600m², İstanbul ilinde 1800m², Ankara ilinde 1700m² kolektör alanı ile toplam sistem maliyetleri en aza inmekte ve seçilen illerdeki toplam yıllık enerji maliyetleri %7-16 oranında azalma gösterdiği sonucuna varmışlardır.

Özyaman [38] farklı tipteki yüzme havuzlarının ısıtılması için gerekli kaynak araştırmalarını yapmış ve Ege sahil bölgelerinde bulunan farklı tipteki havuzlar için gerekli ısıtma değerlerini hesaplamıştır. Havuz suyunun ısıtılmasında çevre ve kullanım şartlarına bağlı olarak gerekli ısıtma yükünde büyük farklılıklar gösterdiğini, havuz tipine ve tasarım şartlarına göre havuz suyunun ısıtılması için gerekli ısı yükü dört katına yakın farklılık gösterebileceği sonucuna varmıştır.

Doğan ve Ünal [39] Kırıkkale ilinde bulunan olimpik yüzme havuzunun, havuz suyunu güneş enerjisi ile ısıtılması durumu incelemişler ve ekonomik analizini yapmışlardır. Eni 25m, boyu 50m, ve derinliği sabit 2,2m olan havuz için gerekli enerji miktarı yıllık ortalama 4.334,1 kW olarak hesaplamışlardır. Kolektör alanı 500m² olarak düşünülmüş ve güneş kolektörlerinden yıllık ortalama 752,15 kW enerji getirisi olacağı öngörülmüştür. Buda yıllık enerji ihtiyacının %17'lik bir kısmının güneş panellerinden sağlanacağını göstermiştir. Böyle bir sistemin 3-4 yıl içerisinde amorti edeceği sonucuna varmışlardır.

Francy ve ark. [40] bu çalışmada yüzme havuzlarının güneş enerji örtüleri ile düşük maliyetle havuz suyunun ısıtılması üzerine çalışmışlardır. Farklı tipteki güneş enerji örtüleri; transparan, mat, çift katlı, baloncuklu ve çeşitli malzemelerden oluşan güneş örtüleri kullanılarak deneysel çalışmalar yapmışlardır. Sonuç olarak tüm güneş enerji örtülerinin buharlaşmadan kaynaklı ısı kayıplarını ortadan kaldırdığı buna ek olarak transparan güneş örtülerinin mat olan güneş örtülerine göre güneş ışınlarını daha verimli şekilde absorbe ederek havuz suyuna ilettiği, baloncuklu olan güneş enerji örtülerinin konveksiyonla oluşan ısı kayıplarını azalttığı ve güneş enerji örtülerinden en iyi performansın alınabilmesi için yüzeylerinin pürüzsüz bir yüzeye sahip olmaları gerektiği sonucuna varmışlardır.

Öz ve ark. [41] çalışmalarında yüzme havuzlarının güneş enerjisi ile ısıtılmasında kullanılan sistemlerden bahsetmişler. Havuz suyunda meydana gelen ısı kayıpları ve kazanımlarını ayrıntılı olarak incelemişlerdir. Ankara ilinde bulunan, Nisan ayı şartlarında 20 °C ortam sıcaklığında, 50x15m boyutlarındaki açık yüzme havuzunun ısıtılması için gerekli olan enerjiyi hesaplamışlardır. Yapılan hesaplar sonucunda ihtiyaç duyulan toplam enerjinin %65,8'i havuzun kendi ısı absorblama özelliği ile karşılandığı geri kalan kısmının ise güneş kolektörleri ile karşılanmasının kolay ve düşük maliyetli olacağı sonucuna varmışlardır.

Czarnecki [42] çalışmasında Melbourne'de bulunan açık yüzme havuzunun, havuz suyunda meydana gelen ısı kayıplarını hesaplamış ve güneş enerji örtülerinin kullanılması ile meydana gelen değişimler değerlendirilmiştir. Buna göre, havuzlarda güneş örtülerinin kullanımı ile buharlaşma kaynaklı ısı kayıpları engellenirken, toplam ısı kayıplarında %80 oranında azalma sağlandığı sonucuna varmıştır.

Francy ve Golding [43] güneş enerji örtüleri üzerine çalışma yapmışlardır. Gün boyu havuz tarafından absorbe edilen ısı, gece olduğunda uzun dalga boylu ışınım yayılması ile ısı kaybına neden olduğunu açıklamışlardır. Düzgün bir biçimde tasarlanan güneş enerji örtüleri kısa dalga boylu radyasyonu emerken, uzun dalga boylu ışınım yayımının minimum düzeyde tutması gerektiğini açıklamışlardır. Bu nedenle, çalışmada farklı varyasyonlar denenerek optimum güneş enerji örtüsü tasarlamaya çalışmışlardır.

Erdalli ve Söhmen [44] bu çalışmalarında yüzme havuzlarının güneş enerjisi sistemleri ile ısıtılmasının avantajlarından ve metotlarından bahsetmişlerdir. Havuzların güneş enerjisi ile ısıtılmasındaki en büyük avantajın havuz suyu için gereken su sıcaklığının düşük, ortalama çevre sıcaklığına çok yakın olduğunu ve güneş enerji destekli sistemin kurulumundan sonra başlangıç maliyetine bağlı olarak 3 ile 5 yıl arasında amorti edeceğinden bahsedilmiştir.

Çolak ve Durmaz [45] çalışmalarında güneş kolektörü uygulamalarının ekonomik analizleri incelenmişlerdir. Güneş enerjisi sistemlerinde en büyük maliyetin, panellerin ilk yatırım maliyetine, dolayısıyla amortisman giderine bağlı olduğunu savunmuşlardır. Bu giderlerin azaltılabilmesi için yüksek ısı performanslı, düşük özgül yatırımlı sistemin tasarımı ve sistemin yük faktörünün yüksek tutulması

gerektiğini açıklamışlardır. Güneş enerjisi sistemlerinde yük faktörünün ortalama %20 civarında olduğunu, bu değerin sistemin gerek duyulmadığı durumlarda kazanılan ısının depolanması ile daha da arttırılabileceğini ve sistemde yapılacak bu tür kazançlar sistemin daha ekonomik olmasını sağlayacağını söylemişlerdir.

Bulut ve ark. [46] çalışmalarında güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin teknik ve ekonomik analizini yapmışlardır. Ekonomik analizi, sistemde farklı yakıt türlerinin kullanılması durumuna göre, sistemin, geri ödeme süresi iki farklı yöntemle göre hesaplanmıştır. Birincisi “basit hesap yöntemi”, ikincisi yıllık faiz ve enflasyon oranlarını da hesaba katan “Bour yöntemi” ile hesaplamışlardır. Bu iki farklı yöntemle yapılan hesaplamalar sonucunda sonuçların birbirine yakın olmasına rağmen, faiz ve enflasyon değerlerinin çok yüksek olması durumlarında “Bour yöntemi” daha gerçekçi sonuçlar vereceğini açıklamışlardır. Teorik analiz sonucunda güneş enerjisi sistemlerinde en büyük maliyete sahip kolektörlerin alanları bölgeden bölgeye büyük bir değişim gösterdiği ve aynı sıcak su ihtiyacına sahip bir konut Şanlıurfa’da 3,8m² olan gerekli kolektör alanı Trabzon’da 6,09 m² olarak hesaplamışlardır.

2. YÜZME HAVUZLARININ GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ SİSTEMLERLE ISITILMASI

Dünyada suyun, güneş enerjisi ile ısıtılması çok eski tarihlere kadar dayanmaktadır. İnsanlar ilk olarak, gün boyu güneş altına siyah bir tencere bırakarak sıcak su elde etmekteydi. Daha sonraki yıllarda, ticari olarak ilk güneş kaynaklı su ısıtıcısı Clarence Kemp tarafından 1891 yılında icat edilmiştir. 1909 yılında ise William Bailey tarafından sıcak su elde edilmesi için ilk düzlemsel güneş kolektörü üretilmiştir [47]. Yüzme havuzlarında güneş enerjisinden yararlanılması amacıyla ilk defa 1961 yılında Glenister ve Czarnecki tarafından havuzlarda kullanılmak üzere güneş enerji örtüsü tasarlanarak yüzme havuzunun ısıtılması ve havuz suyunda meydana gelen ısı kayıplarının azaltılması sağlanmıştır [40].

Günümüzde yüzme havuzlarının, şehirlerin birçok noktasında spor, sağlık ve eğlence amaçlı kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu yüzme havuzlarının ısıtılmasında çoğunlukla konvansiyonel yakıtların ve elektrikli sistemlerin kullanımı, yüksek maliyetlere ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bundan dolayı; yüzme havuzlarında güneş enerji destekli ısıtma sistemlerinin alternatif olarak kullanımını cazip olmaktadır.

Yüzme havuzlarında, güneş enerjisi destekli sistemlerinin kullanımının avantajlı olmasının en önemli nedeni istenilen havuz suyu sıcaklıklarının düşük sıcaklıkta olmasıdır. Tablo 2.1’de kullanım amacına göre tavsiye edilen havuz suyu sıcaklıkları verilmiştir. Sistemde kullanılacak kolektörlerin çalışma sıcaklığı düşük olacağından kolektörlerin verimleri oldukça yüksektir.

Tablo 2.1: Çeşitli kullanım amaçlarına göre önerilen havuz suyu sıcaklıkları [38].

Havuz Tipi	Su Sıcaklığı (°C)
Soğuk Su Şok Havuzları	15
Spor ve Eğitim Havuzları	22-24
Eğlence Havuzları	26-28
Çocuk Havuzları	26-32
Masaj Havuzları	32-36
Terapi Havuzları	35

2014 yılı sonu itibari ile Dünya genelinde kurulu kolektörlerden elde edilen 410,2 GW_{th} ısı enerjisinin %6'lık kısmı açık- kapalı yüzme havuzlarının havuz suyunun ısıtılmasında kullanılmaktadır [10].

2.1 Havuz Isıtılmasında Kullanılan Sistemler

Yüzme havuzlarının ısıtılmasında iki amaç hedeflenir. Bunlar [38];

- 1- Havuzun kullanım amacına uygun olarak konfor şartlarını yerine getirmesi,
- 2- Pahalı bir yatırım olarak kabul edilebilen yüzme havuzlarının kullanım sürelerinin artmasıdır.

Bu hedeflerin güneş enerjisi destekli sistemlerle yerine getirilmesi iki farklı yoldan gerçekleşmektedir. Bunlar; Aktif ve Pasif sistemlerdir. Bu iki sistemin bir arada kullanılması yüksek derecede enerji tasarrufu sağlamaktadır.

2.1.1 Pasif Sistemler

Pasif sistemler, yüzme havuzlarında meydana gelen ısı kayıplarının azaltılmasında ve ısı kazanımlarında uygulanması gerek ilk yöntemdir. Bu sistemler güneş enerji örtüleri olarak adlandırılan çeşitli tipteki örtüler vasıtasıyla

uygulanmaktadır. Güneş enerjisi yüzme havuzu örtüleri, kapalı yüzme havuzlarında sadece ısı kayıplarının engellenmesinde rol alırken açık yüzme havuzlarında aynı zamanda ısı kazanımında da yararlı olmaktadır. Havuzlar kullanım dışı iken havuz yüzeyine serilen bu güneş örtüleri, havuz yüzeyinde meydana gelen ısı kayıplarını, özellikle buharlaşmayı önemli ölçüde engelleyerek ve aynı zamanda kolektör görevi yaparak güneş ışınlarını toplayıp havuz suyuna iletmesidir.

Güneş enerji havuz örtüleri, çeşitli malzemelerden; transparan, mat, tek katlı, çift katlı, baloncuklu tipleride üretilmektedir. Bunlar içerisinde transparan güneş örtülerinin mat olan güneş örtülerine göre güneş ışınlarını daha verimli şekilde absorbe ederek havuz suyuna iletirken, baloncuklu olan güneş örtüleri konveksiyonla oluşan ısı kayıplarını azaltmaktadır [40].

2.1.2 Aktif Sistemler

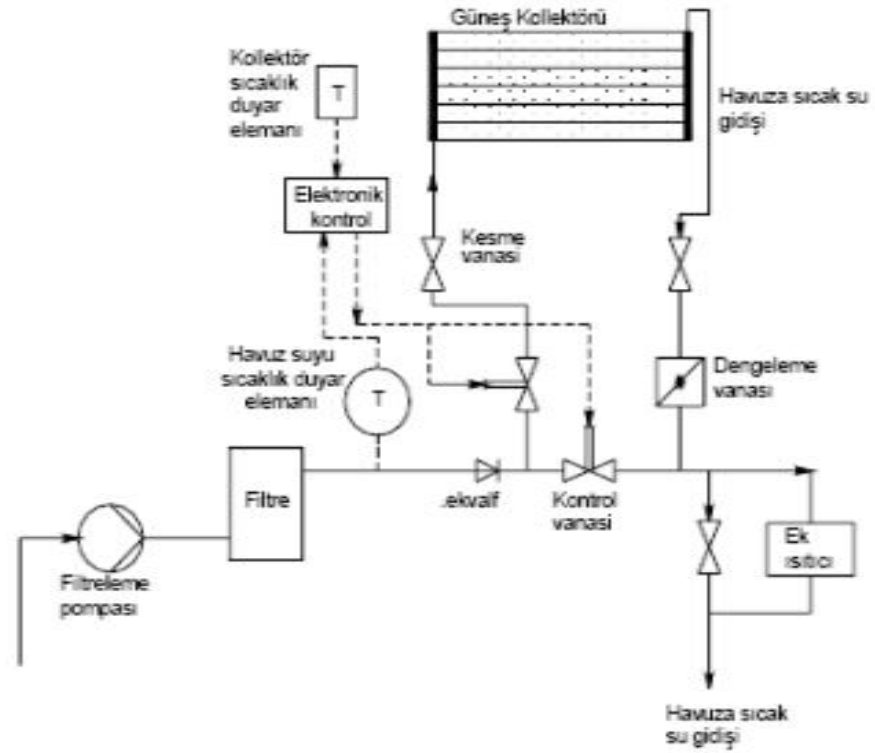
Aktif sistemlerde, havuzun ısıtma sistemlerinin bulunduğu binanın belirli bir bölgesine konumlandırılmış güneş kolektörleri bulunmaktadır. Bu sistemlerde kullanılan kolektörler çeşitli tiplerde olabilmektedir. Camsız plastik kolektörler, düzlemsel kolektörler, vakum tüplü kolektörler hatta PV/T kolektörleri kullanılmaktadır. Havuz suyunun ısıtılmasında ihtiyaç duyulan su sıcaklığı düşük olduğu için bu kolektörler içerisinde genellikle, düşük sıcaklık güneş kolektörleri, camsız plastik güneş kolektörlerinin kullanımı tercih edilmektedir. Bu tip kolektörler verimleri yüksek, düşük maliyetli ve montajı kolay kolektörler olduğu için yüzme havuzlarının ısıtılmasında yaygın şekilde kullanılmaktadır.

2.1.2.1 Direkt Isıtma Sistemleri

Direkt havuz suyu ısıtma sistemlerinde, ısıtılmak istenen havuz suyu güneş kolektörlerinde doğrudan dolaşımı sağlanır. Bu tür sistemlerde havuz suyu ile kolektör çalışma sıvısını ayıran bir eleman yoktur. Havuz suyuna hijyenin sağlanabilmesi için klor ve çeşitli kimyasallar verileceğinden sistemin tamamı korozif etkilere karşı korumasızdır. Bu nedenle sistemde kullanılacak elemanlar paslanmaz malzemelerden ve korozyona dayanıklı malzemelerden seçilmelidir.

Etilen, propilen, kauçuk ve polivinil klorür ihtiva eden malzemelerin kullanımı daha uygun olmaktadır [18].

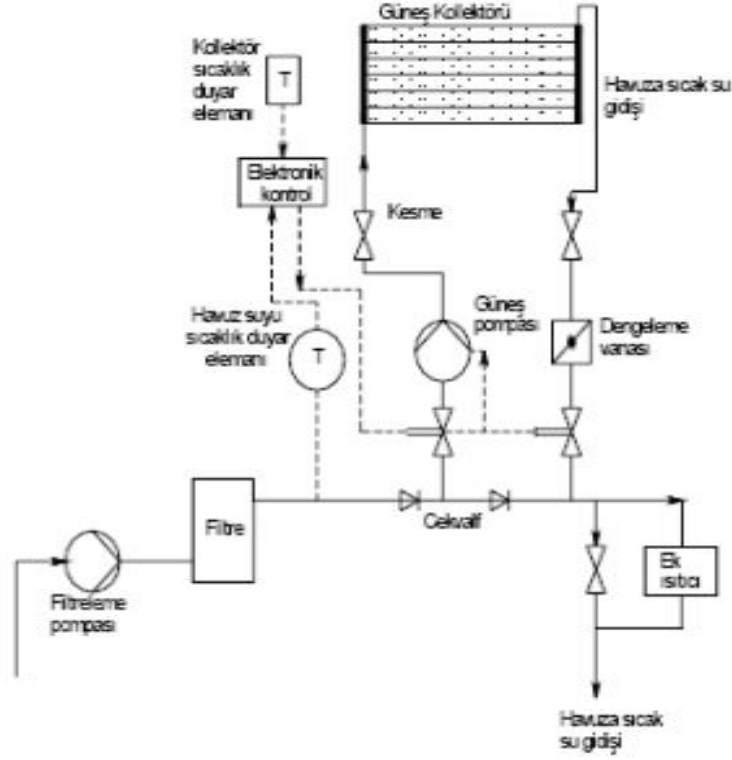
Bu sistemlerin uygulamaları farklı şekillerde gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.1’de örnek bir direkt ısıtma sistemi verilmiştir. Sistemde tek bir pompa ile suyun hem filtre işlemi gerçekleştirilmekte hemde havuz suyunun kolektörlerde dolaşımı sağlanmaktadır. Havuz suyunun sıcaklığına göre, suyun direkt olarak havuza mı verileceği yoksa ısıtılması gerekli diğer sistemlere mi verileceği ve ek ısıtma sisteminin devreye gireceği zamanı otomatik devreye giren kontrol vanaları ile sağlanmaktadır. Kontrol vanası duyar elemandan aldığı sinyal ile kontrol vanası açılıp kapanmaktadır [18].



Şekil 2.1: Tek pompanın kullanıldığı direkt ısıtma sistemi [18].

Kolektör yüzey alanının 100m^2 'den fazla olduğu durumlarda ve havuz filtreleme pompasının, havuz suyunun kolektörlerden devrini yaptırabilecek debi ve

basınç değerlerini karşılamaması durumunda, kolektör devresine ayrı bir pompanın kullanılması gerekmektedir. Şekil 2.2’de bu tip bir sistemin akış şeması gösterilmektedir [18].



Şekil 2.2: Kolektör devresi için ayrı pompa ve kontrol vanalı kullanılan direkt ısıtma sistemi [18].

2.1.2.2 Endirekt Isıtma Sistemleri

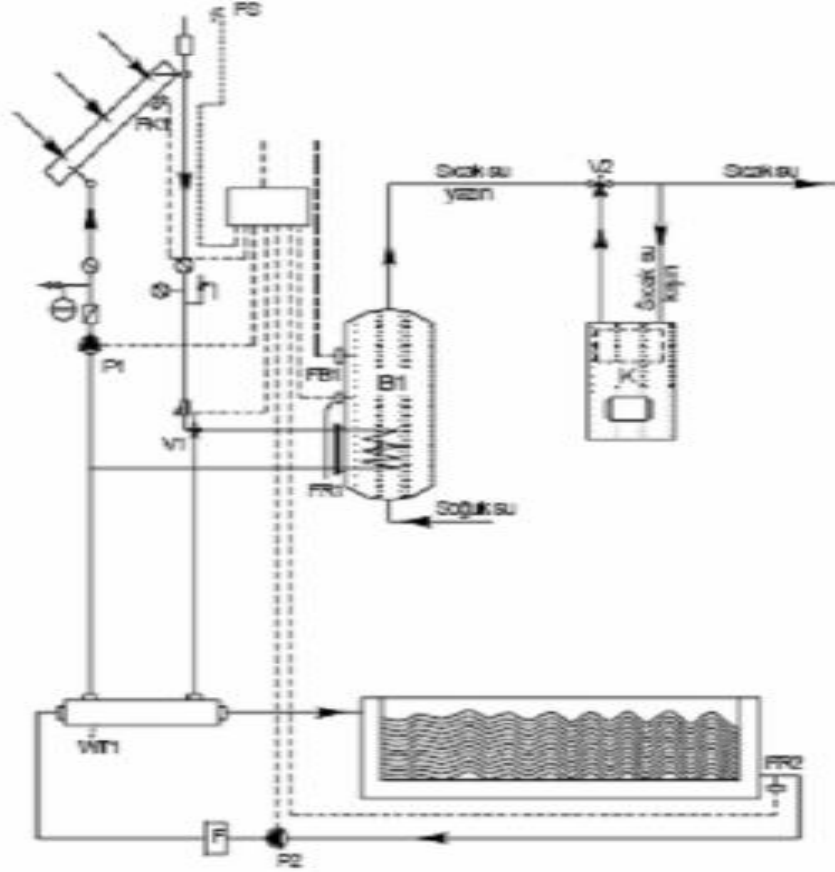
Endirekt havuz suyu ısıtma sistemlerinde, havuz suyu ile kolektörlerde dolaşan akışkan farklıdır. Kolektörlerde, güneş enerjisi ile ısıtılan akışkan, taşıdığı enerjiyi bir ısı değiştirici (eşanjör) vasıtasıyla havuz suyuna aktarmaktadır.

Endirekt ısıtma sistemlerinde, kolektör devresinde dolaştırılan akışkana antifriz ilavesi ile kolektör devresinde dolaşan akışkanın kış aylarında donma tehlikesine karşı boşaltılmasına gerek kalmamaktadır. Ayrıca, kolektör devresinde dolaştırılan akışkanın korozif etkisi kalmayacağından kolektör devresi metal

borulardan oluşturulabilir. Diğer taraftan bu tür sistemlerde, havuz suyunun yeterli sıcaklığa ulaşip ısıtılmasına gerek olmadığı zamanlarda yada havuz suyunun ısıtılmasına gerek duyulmayan sıcak günlerde, sistemde konumlandırılan üç yollu vana ile kolektörlerde ısınan akışkan ile kullanım sıcak suyu elde edilebildiği gibi başka amaçlar içinde kullanılabilir [18].

Direkt ve indirekt ısıtma sistemlerinde, havuz suyunun istenilen sıcaklığa ulaşmasından itibaren, kolektörlerden sağlanan enerjiye ihtiyaç olmayacağından, kolektörlerde bulunan akışkan üzerinde aşırı enerji birikmesi olur ve bu enerji boşa gidecektir. Ayrıca akışkanın aşırı ısınması ile sistemde buharlaşma ile akışkan azalması meydana gelecektir. Birleşik indirekt ısıtma sistemleri ile bu tür olumsuzlukların önüne geçilmektedir [18].

Şekil 2.3’de örnek bir indirekt sistemin akış şeması verilmiştir. Sistem, güneş enerjisi ile hem havuz suyunun ısıtılmasını hemde kullanım sıcak suyunun ısıtılmasını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Sistemde V1, V2 üç yollu vanaları, P1 ve P2 pompaları, B1 kullanım sıcak suyu boylerini, K kullanım sıcak suyunu için ek ısıtma sağlayan kazanı, WT1 ısı değiştirici ve FR, FB, FK sıcaklık duyar elemanlarını göstermektedir.



Şekil 2.3: Kullanım sıcak suyu ile havuz suyu ısıtılmasını sağlayan birleşik endirekt ısıtma sistemi [18].

2.2 Açık ve Kapalı Havuzların Isıtılmasındaki Farklılıklar

Havuzlarda meydana gelen ısı kayıplarının en büyük oranını yüzeyden meydana gelen buharlaşma oluşturmaktadır. Açık yüzme havuzlarında; kontrol edilemeyen atmosfer sıcaklığı, bağıl nem ve özellikle rüzgâr hızlarından dolayı, kapalı yüzme havuzlarında meydana gelen buharlaşmadan oldukça fazladır. Ayrıca kapalı yüzme havuzlarında ortamdaki hava hızı kontrol edilebildiği için konveksiyondan dolayı ısı kayıpları daha düşük olmaktadır. Diğer taraftan açık yüzme havuzlarında, gündüz zamanları güneş ışınları direkt olarak havuz yüzeyi tarafından absorbe edildiği ve havuz suyunun ısınmasına katkı sağlamaktadır. Tablo 2.2’de belirli bir bölge için tasarlanan farklı tipteki yüzme havuzları için gerekli olan enerji miktarları yapılan bir çalışmanın sonucu olarak verilmiştir.

Tablo 2.2: Açık-Kapalı Yüzme havuzların enerji gereksinimlerinin karşılaştırılması ($Q=\text{kcal/m}^2\text{h}$) [38].

		Kapalı havuz (ısıtılan)	Kapalı havuz (ısıtılmayan)	Açık havuz (korumalı)	Açık havuz (yarı korumalı)	Açık havuz (korumasız)
Isı kayıpları						
Taşınım	Q_t	-	10	63	108	198
Işınım	Q_l	-	-	90	90	90
Buharlaşma	Q_b	200	240	290	420	670
Besleme	Q_e	7	7	10	13	21
Sıçrama-tazeleme	Q_s	10	10	10	10	10
Isı kayıpları toplamı		217	267	463	641	989
Isı kazançları						
Işınım	Q_g	-	-	150	150	150
Taşınım	Q_k	20	-	0	0	0
Isı kazançları toplamı		20	-	150	150	150
Toplam ısı gereksinimi	Q_c	197	267	313	491	839

Tablo 2.2’de görüldüğü gibi açık ile kapalı yüzme havuzlarının ısı gereksinimleri arasında 4 kata kadar farklılıklar görülmektedir. Tablodan görüldüğü gibi, açık yüzme havuzlarının kenarlarında rüzgâr hızını düşürecek bariyerlerin yapılması ve geceleri havuz yüzeylerinin güneş enerji örtüleri ile kapatılması büyük önem arz etmektedir. Çünkü, açık havuzların ısıtılması bir nevi kapı ve penceresi olmaya bir evin ısıtılmasına benzemektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Çalışmanın Yapıldığı Bölgenin Tanıtılması

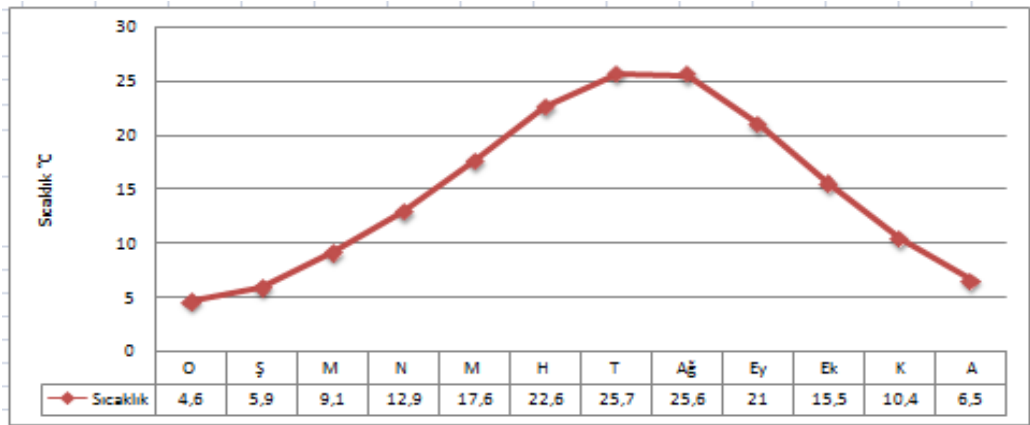
Çalışma Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesinde yapılmıştır. İlin, coğrafi koordinatlar sisteminde matematiksel konumu $39,20^{\circ}$ - $40,30^{\circ}$ Kuzey paralelleri ve $26,30^{\circ}$ - $28,30^{\circ}$ Doğu meridyenleri arasında yer almaktadır. İl topraklarının kapladığı toplam alan 14.299 km^2 'dir. Kuzeybatı Anadolu'da bulunan il, güneyde Manisa ve İzmir illeri, doğuda Kütahya ve Bursa illeri ve batıda Çanakkale ili ile komşudur. İlin doğu yöndeki en uç noktası batısındakine 210 kilometre, kuzey yöndeki en uç noktası güneydekine 175 kilometre mesafededir. İlin topraklarının büyük bir kısmı Marmara Bölgesi'nde, geri kalan kısmı da Ege Bölgesi'ndedir. Türkiye genelinde iki denize sınırı olan 6 ilden birisidir. 290,5 km'lik kıyı bandınının 115,5 km'si Ege Denizi'nde, 175 km'si de Marmara Denizi'ndedir.



Şekil 3.1: Balıkesir ilinin coğrafi konumu.

Balıkesir ilinde üç iklim bir arada görülmektedir. Ege kıyılarında Akdeniz iklimi, kuzey kesimlerinde Marmara iklimi ve iç bölgelerde kara iklimi hüküm sürmektedir. Kıyılarda yaz ve kış arasındaki sıcaklık farkı azdır. İç kısımlarda ise bu fark daha büyüktür.

Aşağıda yer alan Balıkesir iline ait iklimsel veriler, 2008-2015 yılları arasındaki ölçüm verileri olup, Türkiye Meteorolojik Veri Arşiv ve Yönetim Sisteminden (TÜMAS) temin edilmiştir. Değerlendirmede iklim elemanlarının ortalama değerleri ele alınmıştır.

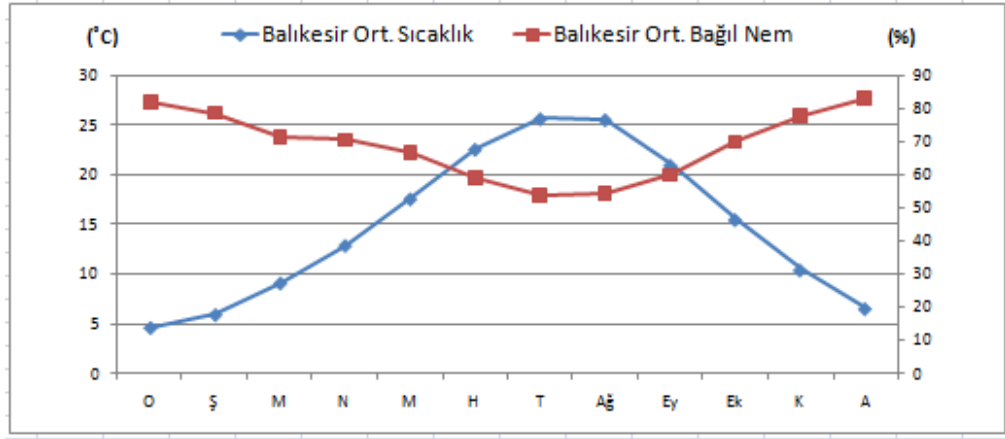


Şekil 3.2: Balıkesir iline ait hava sıcaklık değerlerinin aylara göre değişimi.

Hava içerisinde her zaman, yer ve zamana bağlı olarak bir miktar su buharı bulunmaktadır. Havanın belirli sıcaklıkta taşıyabileceği buhar miktarına bağlı nem denmektedir. Tablo 3.1’de Balıkesir iline ait aylık ortalama bağıl nem miktarları verilmiştir. Şekil 3.3’de görüleceği üzere bağıl nem ile sıcaklık ters orantılıdır, sıcaklık ortalamasının en yüksek olduğu temmuz ayında, bağıl nem en düşük değerindedir.

Tablo 3.1: Balıkesir iline ait aylık ortalama bağıl nem miktarları.

	Aylar												Yıllık Ort.
	O	Ş	M	N	M	H	T	Ağ	Ey	Ek	K	A	
Bağıl Nem (%)	82,1	78,9	71,4	70,6	66,8	59,1	53,6	54,3	59,9	70,1	78	83,4	69,017



Şekil 3.3: Balıkesir'e ait Sıcaklık ve bağıl nem karşılaştırması.

Bulutluluk, belirli bir anda göğün bulutla kaplı bölümünün bütün göğe olan oranı olarak tanımlanır ve sıfır ile sekiz arasındaki sayılarla ifade edilir. Sıfır, göğün açık olması anlamına gelirken, sekiz göğün kapalı olduğunu belirtir.

Tablo 3.2: Balıkesir iline ait ortalama aylık bulutluluk faktörü.

	Aylar												Yıllık Ort.
	O	Ş	M	N	M	H	T	Ağ	Ey	Ek	K	A	
Ort. Bulutluluk	5	4,9	4,1	3,7	2,7	1,8	0,7	0,7	2,1	3,2	3,8	5	3,1

Tablo 3.3: Balıkesir iline ait aylık ortalama rüzgâr hızları.

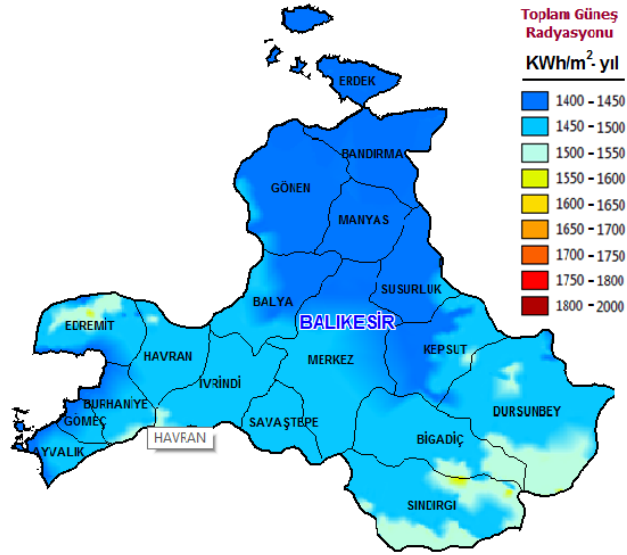
	Aylar												Yıllık Ort.
	O	Ş	M	N	M	H	T	Ağ	Ey	Ek	K	A	
Rüzgar Hızı (m/s)	1	1,3	1,2	1,1	1	1,4	2,1	2,3	1,5	1,2	0,9	0,9	1,325

Tablo 3.4: Balıkesir iline ait aylık ortalama 1m derinlikte ki toprak sıcaklığı [48].

1m derinlikte ki toprak sıcaklığı (°C)	Aylar												Yıllık Ort. Sıc. °C
	O	Ş	M	N	M	H	T	Ağ	Ey	Ek	K	A	
	9,9	8,9	9,4	12,1	15,4	19,1	21,8	23,1	22,4	19,9	16,0	12,4	15,9

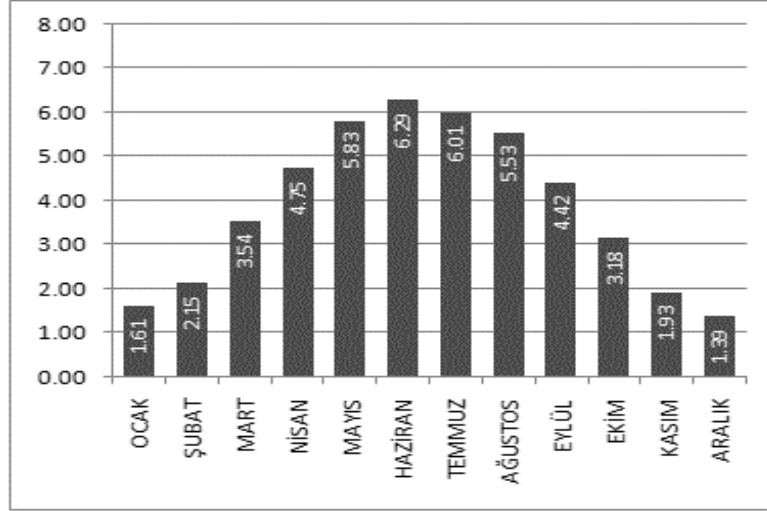
3.2 Balıkesir İli Güneş Enerjisi Potansiyeli

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanan Güneş Enerji Potansiyel Atlası (GEPA) verilerine göre Balıkesir’de yatay düzleme düşen yıllık global ışınım değeri 1.399 kWh/m²’dir. Bu değer Türkiye ortalaması değeri olan 1503 kWh/m² global ışınım değerinden düşük olmasına rağmen, bir çok Avrupa ülkesinden oldukça yüksektir. PV kurulu güç kapasitesi açısından dünyada lider olan Almanya’da 1kW anma gücündeki bir PV sistemden elde edilen yıllık ortalama elektrik potansiyeli 762 kWh iken Balıkesir ilinde elde edilebilecek elektrik potansiyeli 1.064 kWh’dir [1].



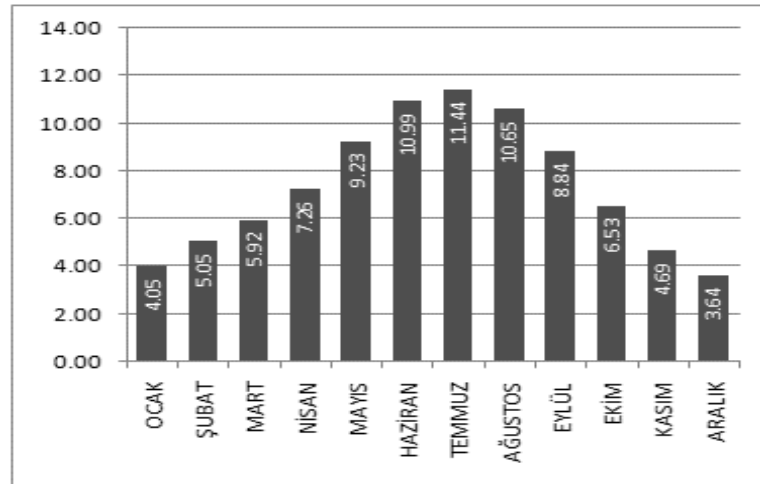
Şekil 3.4: Balıkesir İli güneş enerjisi potansiyeli haritası [23].

Balıkesir ilinin en yüksek aylık ortalama ışınım değeri haziran ayında 6,29 kWh/m²-gün, en düşük aylık ortalama ışınım değeri ise Aralık ayında 1,39 kWh/m²-gündür. Balıkesir ili aylık ortalama ışınım değerleri Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.5: Balıkesir ili global ışınım değerleri (kWh/m²-gün) [23].

Balıkesir ilinin yıllık toplam güneşlenme süresi ortalama 2648 saattir. Bu değer Türkiye ortalaması olan 2700 saate oldukça yakındır. İlin yıl içerisinde günlük ortalama güneşlenme süresi Haziran ayında 11,44 saat ile en yüksek, Aralık ayında 3,64 saat ile en düşük güneşlenme süresine sahiptir. İlin, güneşlenme süreleri Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6: Balıkesir ili güneşlenme süreleri (saat) [23].

3.3 Çalışmada Kullanılan Yüzme Havuzunun Tanıtımı

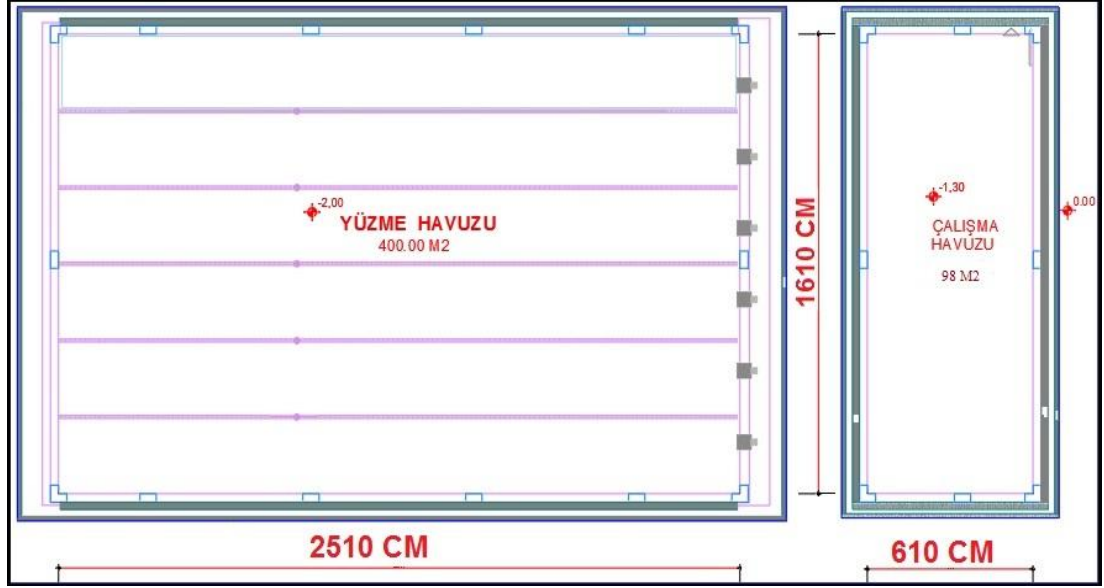
Çalışmaya konu olan yüzme havuzu, Balıkesir il merkezine 17 km uzaklıkta, Bigadiç yolu üzerinde bulunan Balıkesir Üniversitesi Çağış Kampüsü içerisinde yer almaktadır. Matematiksel konumu 39°538' kuzey enlemi ve 28°011' güney paralelidir. Tesis içerisinde 2 adet yüzme havuzu, 2 adet sauna, jimnastik salonu, bay-bayan soyunma odaları, duş kabinleri, teorik eğitim amaçlı sınıf, personel ve antrenör odaları bulunmaktadır. Tesisin kullanım amacı; ulusal ve uluslararası yüzme müsabakalarının gerçekleştirilebilmesi, beden eğitimi ve spor yüksekokulu öğrencilerinin yüzme derslerini idrak edebilmeleri ve yerleşke içerisinde yer alan öğrenci ve personelin yüzme sporunu kampüs içerisinde yapabilmelerini sağlamaktır.



Şekil 3.7: Balıkesir Üniversitesi Kapalı Yüzme Havuzu.

Tesis içerisinde bulunan iki adet yüzme havuzunun boyutları Şekil 3.8'de verilmiştir. Büyük yüzme havuzu yarı olimpik yüzme havuzu standartlarına uygun olarak inşa edilmiş; derinliği sabit 2 metre, boyu 2,51 metre, eni 1,61 metre ve 6

kulvardan oluşmaktadır. Küçük havuz çalışma havuzu olarak düşünülmüş derinliği 1,3 metre, boyu 1,61 metre ve eni 6,1 metre olarak inşa edilmiştir.

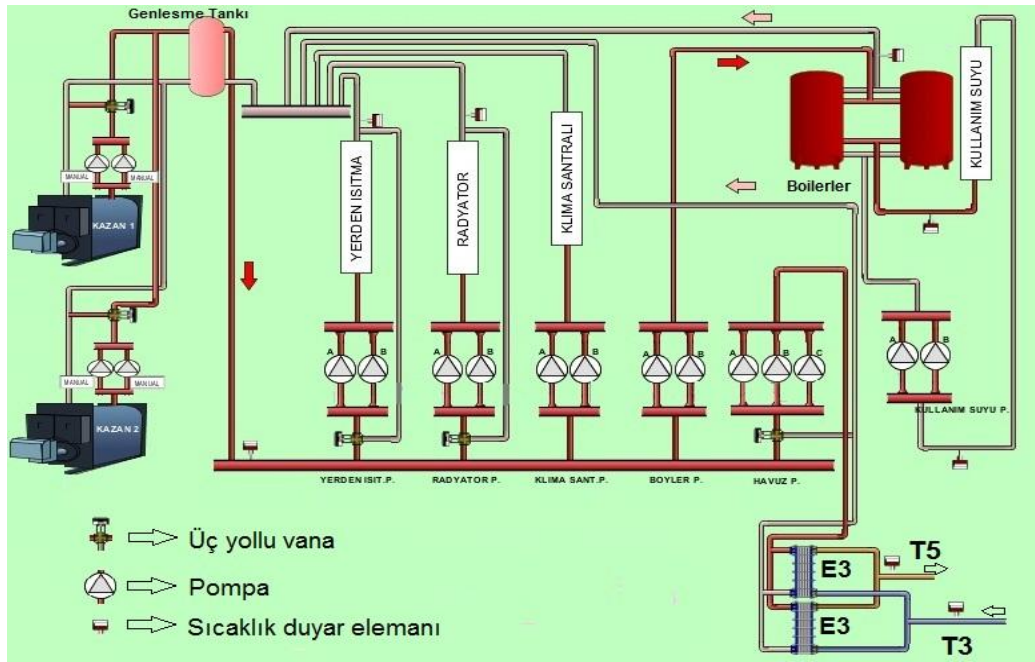


Şekil 3.8: Balıkesir Üniversitesi Yüzme Havuzları şeması.



Şekil 3.9: Balıkesir Üniversitesi Yüzme Havuzları.

Tesisin ısıtma sistemi, Şekil 3.10’da görüldüğü gibi ısı ihtiyacının olduğu durumlarda devreye giren 2 adet doğalgaz ile çalışan, her biri 810 kW gücünde (700.000 kcal/h) enerji üreten kazanlarla sağlanmaktadır. Kazandan elde edilen sıcak su ile ortam konfor şartlarının yerine getirilmesi, kullanım sıcak suyu ve havuz suyunun ısıtılması sağlanmaktadır. Tesisin sadece geleneksel ısıtma sistemi ile ısıtılmasının oldukça maliyetli olması sonucunda 2013 yılında sisteme sonradan güneş enerji sistemi ilave edilmiştir.

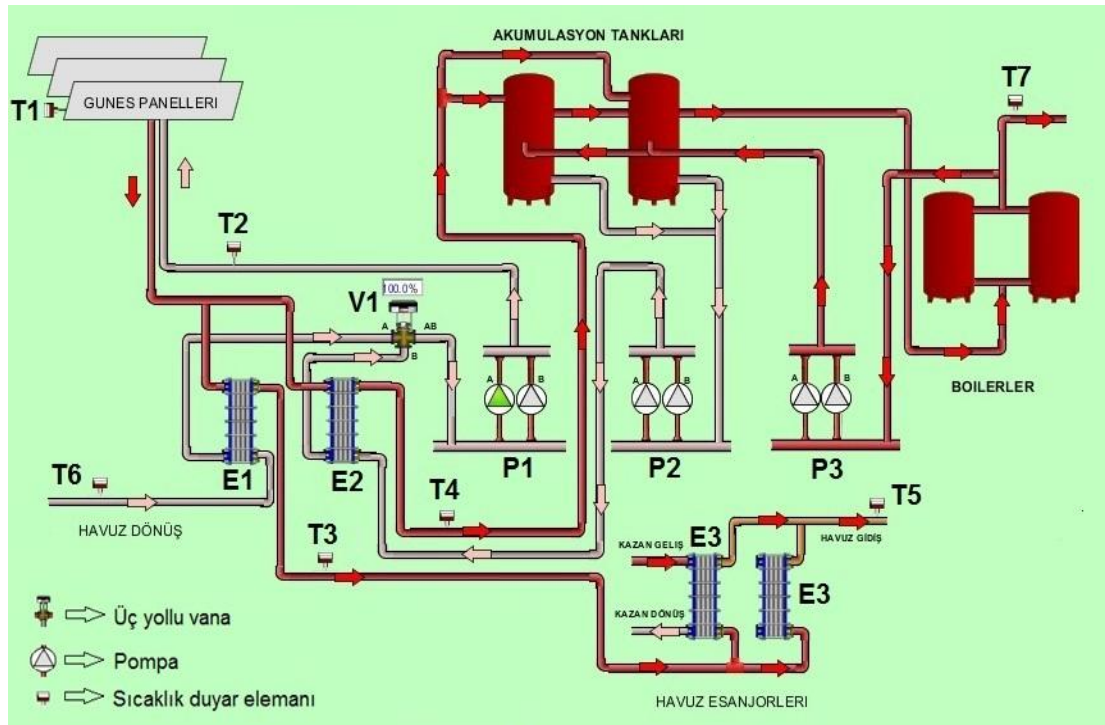


Şekil 3.10: Tesisin konvansiyonel ısıtma sistem şeması.

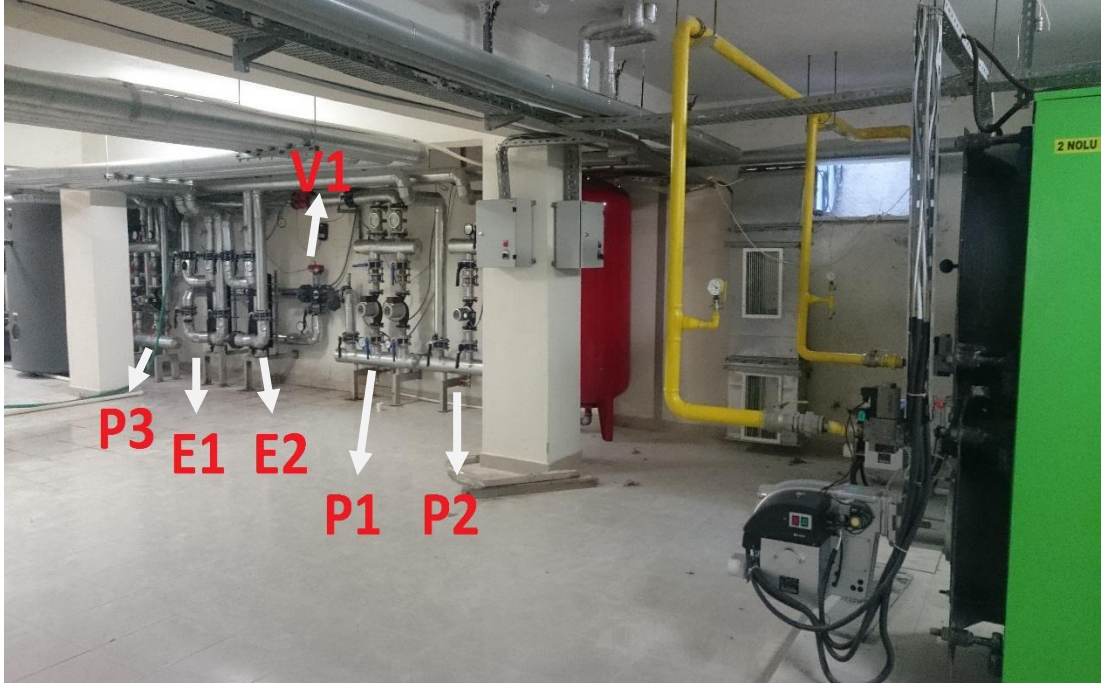
Isıtma sistemine ilave edilen güneş enerji sistemi, yüzme havuzu suyunun ısıtılmasını ve kullanım sıcak suyunun ısıtılmasını sağlayan kapalı devreli endirekt bir sistemdir. Güneş enerjisi sisteminde güneş kolektörleri, güneş enerjisi akümülyasyon tankları, üç yollu vana, havuz ve akümülyasyon tankları için ısı değiştiricileri, kolektör devre sirkülyasyonu ve akümülyasyon devresi sirkülyasyonu için üç zamanlı pompalar bulunmaktadır. Şekil 3.11’de güneş enerjisi destekli ısıtma sisteminin şeması gösterilmiştir. Tablo 3.5’de güneş enerji sisteminde kullanılan elemanlar ve özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.5: Güneş enerjisi destekli ısıtma sisteminde bulunan elemanlar.

Cihaz Adı	Kapasite	Adet	Açıklama
Güneş Kolektörü		144	
Güneş kolektörleri devresi sirkülasyon pompası, Üç Hızlı	V=15 m ³ /h, Hm: 5mSS	2	1 asıl 1 yedek
Akümülayon devresi sirkülasyon pompası, Üç Hızlı	V=15 m ³ /h, Hm: 5mSS	2	1 asıl 1 yedek
Re sirkülasyon devresi sirkülasyon pompası, Üç Hızlı	V=10 m ³ /h, Hm: 4mSS	2	1 asıl 1 yedek
Havuz için plakalı ısı değıştiricisi	Q= 344.000 kcal/h (400 kW)	1	
Akümülayon tankları için plakalı ısı değıştiricisi	Q= 200.000 kcal/h (230 kW)	1	
Kapalı Genleşme Deposu	1000 Lt	1	



Şekil 3.11: Tesisin, güneş enerjisi destekli ısıtma sistemi şeması.



Şekil 3.12: Tesisin, güneş enerjisi destekli ısıtma sistemi.

Şekil 3.11’de görüldüğü üzere sistemin çeşitli noktalarından duyar elemanlar vasıtasıyla (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7) sıcaklık değerleri ölçülmektedir. Bu değerler aşağıda sıralandığı gibidir. Ayrıca sistemde kullanılan ısı değiştiricileri, pompalar, üç yollu vanalar da gösterilmiştir.

T1: Güneş kolektöründen çıkış sıcaklığı

T2: Güneş kolektörüne giriş sıcaklığı

T3: Isıtılan havuz suyu sıcaklığı

T4: Akümülayon tankına giriş hattı sıcaklığı

T5: Havuz suyunun havuza giriş sıcaklığı

T6: Havuz dönüş suyu sıcaklığı

T7: Kullanım suyu sıcaklığı

P1: Güneş kolektörü devresi sirkülayon pompası

P2: Akümülayon devresi sirkülayon pompası

P3: Re-sirkülayon pompası

E1: Güneş enerjisi havuz suyu ısı değiştiricisi

E2: Güneş enerjisi akümülayon ısı değiştiricisi

E3: Havuz suyu ek ısıtma kazan ısı değiştiricisi

V1: Üç yollu vana

Güneş enerji destekli sistemin çalışma prensibi: Güneş panellerine düşen güneş enerjisi miktarı yeterli düzeyde ise ve T1 ile T2 sıcaklıkları arasındaki sıcaklık farkı 5°C'den büyük ise P1 pompası devreye girerek güneş kolektörlerindeki akışkanın devridaim etmesini sağlamaktadır. Güneş panellerinden gelen sıcak akışkan öncelikli olarak havuz suyunun ısıtılması amacıyla E1 ısı değiştiricisinden geçerek havuz suyunu ısıtmaktadır. E1 ısı değiştiriciside ısıtılan havuz suyu istenilen sıcaklığa ulaşmadığı takdirde E3 ve E4 ısı değiştiricilerinde, kazan vasıtasıyla ek ısıtma işlemi uygulanmaktadır. Ek ısıtma sonrasında istenilen sıcaklığa ulaşan havuz suyu havuza iletilmektedir. Havuz suyu sıcaklığı istenilen değere ulaştığında otomatik olarak veya havuz kullanılmadığı durumlarda elle, V1 üç yollu vana güneş panellerinden gelen akışkanı E2 ısı değiştiricisine yönlendirerek akümülayon tanklarındaki suyu ısıtmaktadır. Akümülayon tanklarındaki sıcak su boylerlere iletilerek sıcak kullanım suyu elde edilmektedir. Boylerlerdeki su sıcaklığı yeterli olmadığı takdirde, otomatik olarak kazanlar devreye girerek kullanım sıcak suyunu istenilen sıcaklık derecesine yükseltmektedir.

Sistemdeki bulunan pompalar ve üç yollu vana gibi elemanlar, sıcaklık duyar elemanlarının kontrol paneline gönderdikleri sinyallerin otomasyona uygun şekilde işlenmesi ile çalışmaktadır.

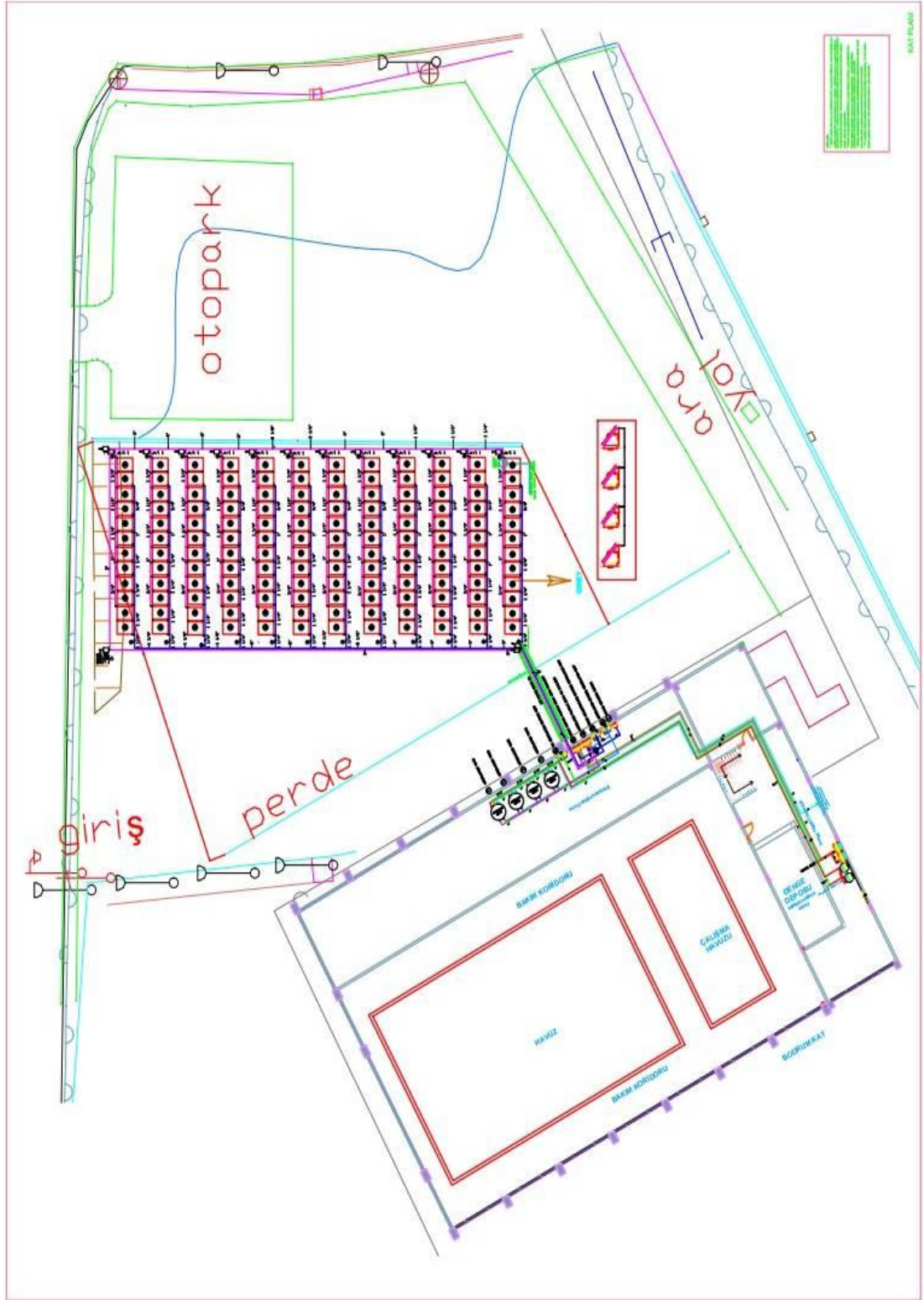
Güneş enerjisi sisteminde 12 sıradan oluşan ve toplamda 144 adet %100 bakır selektif absorber yüzeye sahip yüksek verimli güneş panelleri bulunmaktadır. Şekil 3.13'da sistemde kullanılan kolektörler görülmektedir. Her sıranın sonunda sistemde buharlaşma sonucu oluşan buharı ve sistemdeki havayı otomatik olarak tahliye edecek pürjörler bulunmaktadır. Kolektörlerin eğim açısı yıl boyu sabit kalacak şekilde hesaplanmış ve yaklaşık enlem açısına eşit eğim açısı 40° olacak şekilde montajı gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.6'da sistemde kullanılan kolektörlerin teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.13: Sistemde kullanılan düzlemsel güneş kolektörleri.

Tablo 3.6: Kolektörlerin teknik özellikleri.

Özellikler	Birim	Değer
Kolektör boyutarı	mm	1204x1891x90
Kolektör alanı (brüt alan)	m ²	2,28
Kolektör yüzey alanı (ışınım gelen alan)	m ²	2,16
Absorber hacmi	lt	1,53
Seçici yüzeyin absorpsiyon katsayısı		0,95±0,02
Seçici yüzeyin neşretme katsayısı		0,05±0,02
Ağırlık	kg	41
Saydam örtü kalınlığı	mm	4
Saydam örtü malzemesi	Temperli, düşük demirli cam	
Maksimum çalışma basıncı (test basıncı)	bar	13,5
Optik performans verimi (a)	%	73,1
Isı transfer katsayısı (b)	w/m ² K	3,78



Şekil 3.14: Balıkesir Üniversitesi Kapalı Yüzme Havuzu yerleşim planı.

3.4 Güneş Işınım Verilerinin Elde Edilmesi

Bu çalışmada güneş ışınım verileri, Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi Enerji ve Nakil Enstitüsü tarafından geliştirilen PVGIS programı vasıtasıyla elde edilmiştir. PVGIS programı [49], 1998-2010 yılları arasında yapılan ölçümleri kullanmaktadır. Programa çalışmanın yapıldığı bölgenin koordinatları girilerek, bölgenin 12 aya ait günlük değerlerden elde edilen aylık ortalama güneş ışınım verileri alınmaktadır. Ayrıca, programa eğik düzleme düşen ışınım verileri hesaplatılmaktadır. Bunun için, hesabının yapılması istenilen (kolektör) eğim açısı girilerek, eğik düzleme düşen güneş ışınım verileri elde edilmektedir. Programın bir diğer özelliği ise, bölge için aylara göre optimum eğim açılarını vermesidir. Çalışmanın yapıldığı bölgenin koordinatları (39°538'K, 28°011'G) PVGIS programına girilerek bölgenin; yatay düzleme düşen toplam güneş ışınımı (I), eğik düzleme düşen güneş ışınımı (I_{β}), optimum eğim açıları (β_{opt}) ve bu eğim açılarna karşılık gelen güneş ışınım verileri (I_{opt}) hesaplatılarak Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7: PVGIS, çalışma yapılan bölgenin aylara göre aylık ortalama güneş ışınım verileri.

Aylar	I	$I_{\beta(40^{\circ})}$	I_{opt}	β_{opt}
	(kWh/m ² -gün)	(kWh/m ² -gün)	(kWh/m ² -gün)	
Ocak	1,74	2,71	2,83	59
Şubat	2,37	3,24	3,29	51
Mart	3,86	4,67	4,67	40
Nisan	4,95	5,22	5,34	26
Mayıs	6,47	6,12	6,61	15
Haziran	7,52	6,67	7,57	7
Temmuz	7,61	6,97	7,73	11
Ağustos	6,94	7,12	7,40	23
Eylül	5,27	6,36	6,37	38
Ekim	3,57	5,01	5,08	50
Kasım	2,33	3,77	3,94	59
Aralık	1,53	2,48	2,62	61

3.5 Güneş Enerji Sisteminden Elde Edilen Enerjinin Hesaplanması

Sistemde bulunan kolektörlerden elde edilen faydalı güneş enerjisinin hesabi Eşitlik (3.1) ile hesaplanmaktadır.

$$Q_{\text{solar}} = I_{\beta} \cdot \eta_k \cdot \eta_t \cdot A_k \quad (3.1)$$

Burada I_{β} (kWh/m²-gün) eğik düzleme gelen güneş ışınım değeridir. Hesaplamalarda Tablo 3.5’de yer alan güneş ışınım verileri kullanılmıştır. η_t tesisat verimi küçük tesisatlarda 0.40-0.66, büyük tesisatlarda 0.50-0.80 olarak alınmaktadır [48], A_k (m²) kolektör alanını ve η_k kolektör verimidir. Kolektör verimi yılın her ayı için farklılık göstermektedir ve aşağıda hesaplama yöntemi gösterilmiştir.

Kolektör verim hesabı [50];

$$\eta_k = a - b \times \frac{(T_{\text{kol}} - T_a)}{I_{\beta}} \quad (3.2)$$

Eşitlikte yer alan a değeri, kolektörün optik performans verimini, b kolektörün ısı kayıp katsayısını göstermektedir. Kolektör tipine göre farklı değerler almaktadır. T_{kol} (°C) kolektör ortalama sıcaklığıdır ve Denklem (3.3) ile hesaplanmaktadır.

$$T_{\text{kol}} = \frac{2 \cdot T_{\text{ist}} + T_g}{3} \quad (3.3)$$

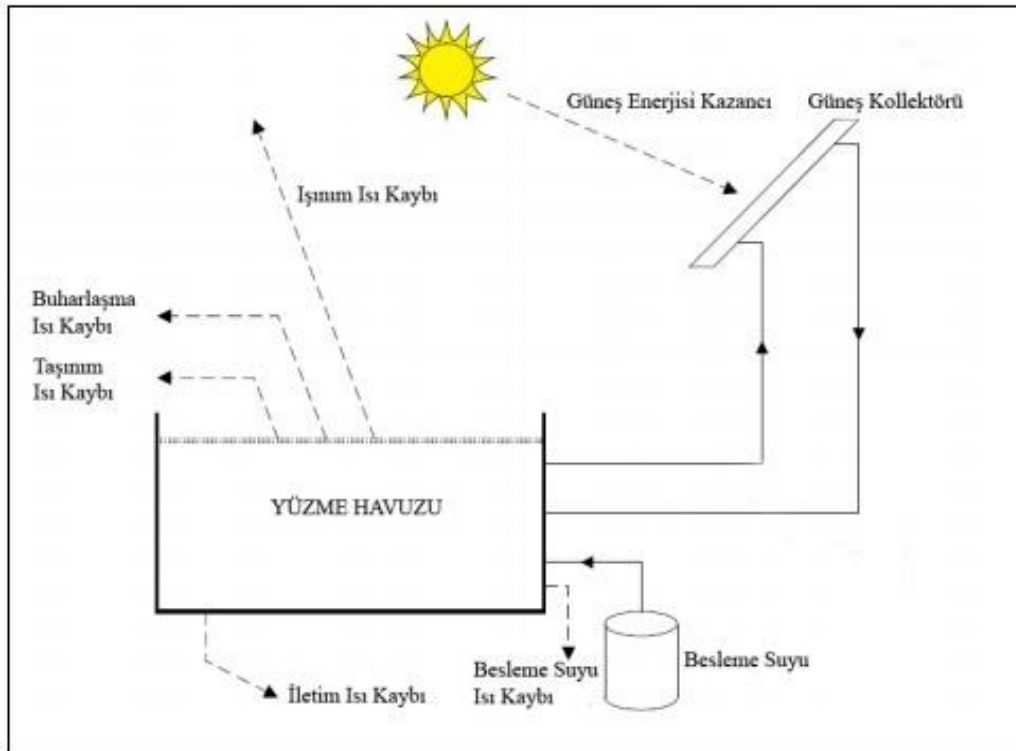
Formülde yer alan T_{ist} (°C) ihtiyaç duyulan su sıcaklığını, T_g (°C) ise şebeke suyu sıcaklığını göstermektedir.

3.6 Kapalı Yüzme Havuzlarında Meydana Gelen Isı Kayıpları

Kapalı yüzme havuzlarında, havuz suyunda meydana gelen ısı kayıpları beş farklı şekilde oluşmaktadır (Şekil 3.15). Bunlar; buharlaşma, ışıınım, taşınım, iletim ve eksilen havuz suyunu takviye için ilave edilen taze suyun ısı kayıplarıdır.

$$Q_T = Q_{eva} + Q_{rad} + Q_{konv} + Q_{kond} + Q_{kayıp} \quad (3.4)$$

Bu ısı kayıplarının belirlenebilmesi için ortam sıcaklığı, havuz suyu sıcaklığı, su yüzeyindeki rüzgâr hızı, ortamdaki bağıl nem oranı, dış hava sıcaklığı gibi değerlerin bilinmesi gereklidir.



Şekil 3.15: Yüzme havuzlarında oluşan ısı kayıplarının genel görünümü [2].

3.6.1 Buharlaşma Isı Kayıpları

Havuzda meydana gelen ısı kayıplarının büyük bir kısmını buharlaşmadan dolayı meydana gelen kayıplar oluşturmaktadır. Buharlaşma, havuz su yüzeyinin buhar basıncı ile ortam havasındaki buhar basıncının farklı olmasından dolayı meydana gelmektedir. Bu farkın artması buharlaşma miktarını arttırmaktadır. Farkın azalması buharlaşmanın azalmasına, fark sıfırlanınca buharlaşmanın durmasına sebep olmaktadır. Bu fark negatife dönüşürse yani su yüzeyi basıncı, ortam havasındaki buhar basıncının altınca düşerse havadaki su buharı yoğunlaşarak suya karışır [51]. Bu durum, yüzme havuzlarında ki konfor şartlarına ters düşmektedir.

Yüzme havuzlarında su yüzeyindeki hava hızının fazla olması ve su yüzeyindeki dalgalanmaların olması buharlaşma miktarını arttırmaktadır. Ayrıca havuz suyu sıcaklığının fazla olması ve bağıl nemin düşük olması da buharlaşma miktarını arttırmaktadır [5].

Buharlaşmadan dolayı kaybedilen ısı miktarı aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$Q_{eva} = A_p \cdot E \cdot h_{eva} \quad (3.5)$$

Burada A_p (m^2) havuz yüzey alanını, h_{eva} (kJ/kg) havuz suyu sıcaklığındaki suyun gizli buharlaşma ısısını, E ($kg/m^2 \cdot s$) değeri ise buharlaşan su miktarını göstermekte olup, literatürde çok farklı şekilde hesap yöntemi bulunmaktadır. Bunlar arasında tercih edilen üç farklı yöntem üzerinde durulacaktır.

3.6.1.1 ASHREA Metoduna Göre Buharlaşma Miktarının Hesaplanması

ASHREA metodu Carrier tarafından ortaya konulan formülün sadeleştirilmesi ile elde edilmiştir. Bu metod havuz yüzey hava (rüzgâr)hızının 0.05 ile 0.15 m/s arasında olması durumlarında geçerli olmaktadır [25].

$$E = 0.000144 \cdot (P_p - P_r) \quad (kg/m^2 \cdot h) \quad (3.6)$$

Formüldeki P_p (Pa) su yüzey sıcaklığındaki havanın doyma eğrisindeki basıncını, P_r (Pa) ortam sıcaklığındaki havanın basıncını göstermektedir.

3.6.1.2 Recknagel'a Göre Buharlaşma Miktarının Hesaplanması

Recknagel Sprenger'in yaptığı çalışmalar sonucunda ortaya koyduğu formüle göre Denklem (3.7) ile buharlaşma miktarı hesaplanabilmektedir [51].

$$E = a \cdot (w_p - w_r) \quad (\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}) \quad (3.7)$$

Burada a [$\text{kg/m}^2 \cdot \text{h} \cdot (\text{kg/kg})$] indisi kütle transfer katsayısını göstermektedir ve havuz rüzgâr hızı ile değişiklik göstermektedir, w_p (kg/kg kuru hava) havuz suyu sıcaklığındaki havanın doyma eğrisindeki mutlak nemini ve w_r (kg/kg kuru hava) ortam havasındaki mutlak nemi göstermektedir.

$$a = 25 + 19 \cdot v \quad (3.8)$$

3.6.1.3 VDI 2089 Normuna Göre Buharlaşma miktarının hesaplanması

VDI (Verein Deutscher Ingenieure) normlarının 2089 sayılı, kapalı havuzlarla ilgili olan kısmına göre, havuz da meydana gelen buharlaşma miktarı Denklem (3.9) ile hesaplanmaktadır[51].

$$E = e \cdot (P_p - P_r) \quad (\text{g/m}^2 \cdot \text{h}) \quad (3.9)$$

Burada e ($\text{g/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mbar}$) buharlaşma sayısı, havuzun kullanım etkinliğine göre Tablo 3.7'de gösterildiği gibi farklı değerler almaktadır. P_p (mbar) havuz suyu sıcaklığındaki havanın doyma eğrisindeki basıncını, P_r (mbar) ortam havasının basıncını göstermektedir.

Tablo 3.8: Buharlaşma sayısının kullanım etkinliğine göre belirlenmesi [51].

Kullanım Etkinliği	Buharlaşma Sayısı (e) (g/h.m ² .mbar)
Düşük İşletme (Özel Havuzlar, Otel Havuzları)	13
Orta İşletme (Normal Kullanımlı Havuzlar)	28
Aşırı İşletme (Yapay Dalgalandırılmış Özel Yarışma Havuzları)	35

3.6.2 Işınım (Radyasyon) Isı Kayıpları

Havuz su yüzeyi sıcaklığı, ortamdaki duvar sıcaklığından daha yüksek olacağından, havuzun yüzeyi ile ortamdaki duvarlar arasında uzun dalga boylu ışıınımdan dolayı ısı kaybı meydana gelmektedir. Bu ısı kaybı denklem (3.10) ile hesaplanmaktadır [18].

$$Q_{\text{rad}} = A_p \cdot \sigma \cdot \epsilon_p \cdot [(T_p + 273,73)^4 - (T_{\text{duv}} + 273,73)^4] \quad (3.10)$$

Burada, σ ($\text{w/m}^2 \cdot \text{K}^4$) Stefan Boltzman sabitini, ϵ_p suyun yayma katsayısını, T_p ($^{\circ}\text{C}$) havuz suyunun sıcaklığını göstermektedir.

Formülde yer alan T_{duv} ($^{\circ}\text{C}$) duvar sıcaklığının bulunabilmesi için öncelikle duvardan geçen ısı miktarı, denklem (3.11) kullanılarak hesaplanmalıdır. Hesaplanan duvar ısı akısı ile denklem (3.12) ile duvar sıcaklığı hesaplanmaktadır [18].

$$Q_{\text{duv}} = \frac{(T_r - T_a)}{\left[\left(\frac{1}{\alpha_r} \right) + \left(\frac{L_c}{\lambda_c} \right) + \left(\frac{1}{\alpha_a} \right) \right]} \quad (3.11)$$

$$T_{\text{duv}} = T_r - \left(\frac{Q_{\text{duv}}}{\alpha_r} \right) \quad (3.12)$$

Burada L_c cam kalınlığını, $\lambda_c(\text{W/m}^\circ\text{C})$ camın ısı iletim katsayısını, $\alpha_r(\text{W/m}^2\text{C})$ iç ısı taşınım katsayısı, $\alpha_a(\text{W/m}^2\text{C})$ dış ısı taşınım katsayısı, göstermektedir.

3.6.3 Taşınım (Konveksiyon) Isı Kayıpları

Yüzme havuzlarında taşınımdan dolayı ısı kayıpları, havuz suyu sıcaklığı ile havuzun bulunduğu ortam sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkından ve bu farkın yoğunluk üzerinde oluşturduğu etkiden dolayı meydana gelmektedir. Sıcaklık farkı sıfır olduğu durumda ışıınım ile ısı kayıpları meydana gelmez. Ortam içerisinde hava hızının sıfır olması durumunda doğal taşınım, sıfırdan farklı olması durumunda zorlanmış taşınım meydana gelmektedir. Doğal taşınımda akışkan hareketi kendi içerisindeki kaldırma kuvveti ile sağlanır. Zorlanmış taşınımda ise dış kuvvetler etkisi ile örneğin bir vantilatör sistemi ile taşınım ısı transferi oluşmaktadır [18].

Taşınımdan dolayı meydana gelen ısı kayıpları denklem (3.13) ile hesaplanmaktadır.

$$Q_{\text{konv}} = A_p \cdot h_{\text{konv}} \cdot (T_p - T_r) \quad (3.13)$$

Formülde yer alan h_{konv} ($\text{kW/m}^2\text{C}$) taşınım ısı transfer katsayısının hesaplanabilmesi için öncelikle denklem (3.14) ile havuz su yüzeyinde doymuş hale gelen hava yoğunluğu (ρ_p) ile ortam havasının yoğunluğunun (ρ_a) ortalaması (ρ_{ort}) bulunur. Bulunan bu değer ile sırasıyla denklem (3.15) ile Prandtl sayısı, denklem (3.16) ile Grashof sayısı, denklem (3.17) ile Reynold sayısı hesaplanmalıdır [18].

$$\rho_{\text{ort}} = (\rho_p + \rho_r) / 2 \quad (3.14)$$

$$\text{Pr} = (v \cdot \rho_{\text{ort}} \cdot c_p) / k \quad (3.15)$$

$$\text{Gr} = \left[\frac{g \cdot (\rho_p - \rho_r) \cdot L^3}{\rho_{ori} \cdot \nu^2} \right] \quad (3.16)$$

$$\text{Re} = (\nu \cdot L) / \nu \quad (3.17)$$

Eşitliklerde yer alan ν (m^2/s) kinematik vizkositeyi, c_p (kJ/kgK) havanın özgül ısısını, k ($\text{kW}/\text{m}^2\text{K}$) ısı transfer katsayısını, L (m) havuz karakteristik uzunluğunu göstermektedir.

Yukarıdaki değerler hesaplandıktan sonra Nusselt sayısının hesabı için doğal taşınım ve zorlanmış taşınım durumuna göre iki farklı yol izlenmektedir [18].

Doğal konveksiyon durumunda;

$$(\text{Gr} \cdot \text{Pr}) > 7 \times 10^{-7} \implies \text{Nu} = 0,14 \times (\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{1/3} \quad (3.18)$$

$$10^5 \geq (\text{Gr} \cdot \text{Pr}) \geq 7 \times 10^{-7} \implies \text{Nu} = 0,54 \times (\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{1/4} \quad (3.19)$$

$$10^{10} \geq (\text{Gr} \cdot \text{Pr}) \geq 10^5 \implies \text{Nu} = 0,27 \times (\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{1/4} \quad (3.20)$$

Zorlanmış konveksiyon durumunda;

$$\text{Re} \leq 3 \times 10^5 \implies \text{Nu} = 0,664 \times \text{Pr}^{1/3} \times \text{Re}^{1/2} \quad (3.21)$$

$$\text{Re} \geq 3 \times 10^5 \implies \text{Nu} = 0,037 \times \text{Pr}^{1/3} \times \text{Re}^{4/5} \quad (3.22)$$

Nusselt sayısı havuzun bulunduğu şartlar göz önüne alınıp hesaplandıktan sonra taşınım ısı transfer katsayısı denklem (3.23) ile bulunmaktadır [18]

$$h_{\text{konv}} = (\text{Nu} \cdot k) / L \quad (3.23)$$

3.6.4 İletim (Kondüksiyon) Isı Kayıpları

Havuzlarda iletim ısı kayıpları, havuz tabanından ve havuz yan yüzeylerinden oluşmaktadır. Havuz suyunun ısı kayıplarını en aza indirebilmek için havuz tabanı ve havuz yan yüzeyleri çeşitli yapı malzemesi katmanlarından oluşmaktadır. Havuz suyunda meydana gelen toplam ısı kayıpları içerisinde iletim ısı kayıpları en az paya sahiptirler ve birçok literatürde havuz suyu ısı kayıpları hesaplanırken iletimden dolayı meydana gelen kayıplar, dikkate alınmamıştır.

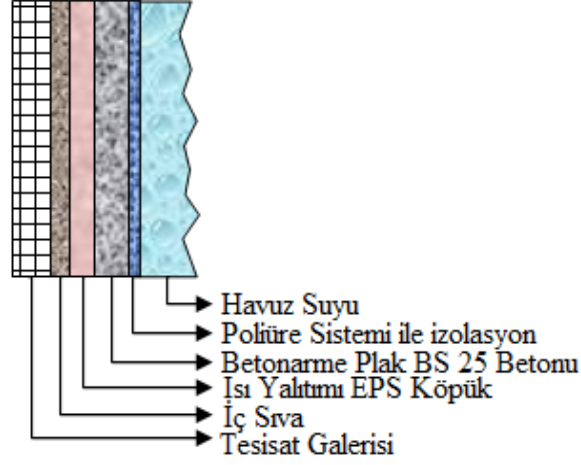
Havuz suyunda meydana gelen toplam iletim ısı kaybı, havuzun yan yüzeylerinden ve tabanından kaybettiği ısı kaybının toplamına eşit olmaktadır.

$$Q_{kond} = Q_{kondy} + Q_{kondt} \quad (3.24)$$

3.6.4.1 Havuz Yan Duvarlarından İletim Isı Kaybı

Havuz yan duvarlarının yapımında üç husus dikkate alınmaktadır. Bunlar; havuz yan yüzeylerinin havuz suyunun oluşturduğu basıncına dayanması, su sızdırmazlığının sağlanması ve ısı iletiminin minimum ölçüde olacak şekilde ısı yalıtımının sağlanması istenmektedir [18].

Şekil 3.16'da Balıkesir Üniversitesi tesislerinde bulunan büyük havuzun ve küçük havuzun yan yüzeylerinin yapı malzeme katmanları gösterilmiştir.



Şekil 3.16: Balıkesir Üniversitesi büyük ve küçük havuz yan yüzey katmaları.

Havuz suyundan meydana gelen iletimsel ısı kayıplarının hesaplanabilmesi için öncelikle, havuz yan yüzeyinde bulunan malzemelerin, Tablo 3.9’da verilen ısı transfer katsayıları ve malzeme kalınlıklarını kullanarak eşdeğer iletim ısı transfer katsayısının denklem (3.25) yardımıyla hesaplanması gerekir. Tablo 3.9 oluşturulurken; malzeme kalınlıkları havuzun mimari projesinden, malzemelerin ısı transfer katsayısı bilgileri ise TS 825’den alınmıştır. Hesaplamalarda tesisat galerisinin ısı transfer katsayısı $7 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$, havuz suyunun ısı transfer katsayısı $500 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ olarak alınmıştır [18].

$$\frac{1}{K_{yan}} = \frac{1}{h_{galeri}} + \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{K_i} + \frac{1}{h_{havuz}} \quad (\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}) \quad (3.25)$$

Formülde yer alan L (m) malzeme kalınlığını, K ($\text{kcal/mh}^\circ\text{C}$) malzemelerin ısı iletim katsayısını göstermektedir. Eş değer iletim ısı katsayısı hesaplandıktan sonra denklem (3.26) ile yan yüzeyden kaybedilen ısı miktarı hesaplanır [18].

$$Q_{kondy} = \frac{K_{yan} \cdot A_{ty} \cdot (T_p - T_g)}{860} \quad (\text{kW}) \quad (3.26)$$

Burada A_{ty} (m^2) havuz toplam yan yüzey alanını, T_g ($^\circ\text{C}$) toprak sıcaklığını, hesaplamalarda bir metre derinlikteki toprak sıcaklığı dikkate alınmıştır.

Tablo 3.9: Balıkesir Üniversitesi Spor Tesisleri, büyük ve küçük havuzlarının kesit detayı ve kullanılan malzemelerin özellikleri.

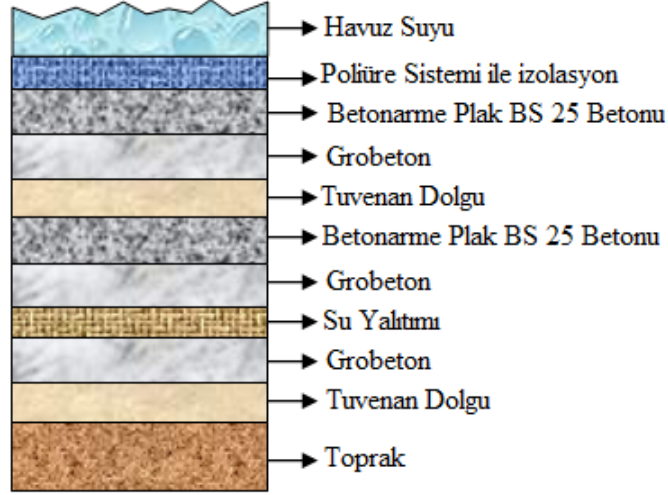
Büyük Havuz ve Küçük Havuzun Yan Yüzey Kesit Detayı				Büyük Havuz Taban Kesit Detayı				Küçük Havuz Taban Kesit Detayı			
Malzeme	L_i (m)	k (kcal/mh°C)	h (kcal/m ² h°C)	Malzeme	L_i (m)	k (kcal/mh°C)	h (kcal/m ² h°C)	Malzeme	L_i (m)	k (kcal/mh°C)	h (kcal/m ² h°C)
Havuz	-	-	500	Havuz	-	-	500	Havuz	-	-	500
Politüre sistemi ile izolasyon	-	-	-	Politüre sistemi ile İzolasyon	-	-	-	Politüre sistemi ile İzolasyon	-	-	-
Betonarme Plak BS25 Betonu	0,30	1,42	-	Betonarme Plak BS25 Betonu	0,25	1,42	-	Betonarme Plak BS25 Betonu	0,25	1,42	-
Isı Yalıtım EPS Köpük	0,05	0,035	-	Grobeton	0,1	0,94	-	Grobeton	0,1	0,94	-
İç sıva	0,02	1,2	-	Tuvenan Dolgu	0,75	0,6	-	Tuvenan Dolgu	1,35	0,6	-
Tesisat Galerisi	-	-	7	Radye Temel BS25 Betonu	0,35	2,15	-	Radye Temel BS25 Betonu	0,35	2,15	-
				Grobeton	0,05	0,94	-	Grobeton	0,05	0,94	-
				Su Yalıtımı	-	-	-	Su Yalıtımı	-	-	-
				Grobeton	0,1	0,94	-	Grobeton	0,1	0,94	-
				Tuvenan Dolgu	0,1	0,6	-	Tuvenan Dolgu	0,1	0,6	-
				Toprak	-	-	∞	Toprak	-	-	∞

3.6.4.2 Havuz Tabanında İletim Isı Kaybı

Havuz tabanında da yan duvarlarda olduğu gibi istenilen yapı özelliklerini sağlayabilmesi için benzer yapı malzemelerine ek olarak birkaç farklı yapı malzemesi eklenebilmektedir.

Yan duvarlarda uygulanan yöntemin aynısı, taban için uygulanarak eşdeğer ısı iletim katsayısı, denklem (3.27) ile bulunmaktadır. Havuz tabanında bulunan yapı malzemelerinin kesiti ve ısı iletim katsayıları Tablo 3.9'de verilmiştir. Toprak temaslı olduğu için taban dış taşınım katsayısı sonsuz olarak kabul edilmiştir [18].

$$\frac{1}{K_{tab}} = \frac{1}{h_{toprak}} + \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{K_i} + \frac{1}{h_{havuz}} \quad (\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}) \quad (3.27)$$



Şekil 3.17: Balıkesir Üniversitesi Spor Tesisleri, büyük ve küçük yüzme havuzlarının taban katmanları

Hesaplamalarda Toprak ile su yalıtımı arasında kalan Grobeton ve Tuvenan Dolgunun ısı iletimi hesaba katılmayacaktır. Bu iki yapı malzemesi toprakla direkt olarak temas halinde olması nedeni ile doğrudan ıslanmasalarda nemleneceklerdir. Nemli yada ıslanmış malzemelerin ısı iletim katsayıları değişmektedir. Bundan dolayı, bu malzemelerin hesaba katılması sonucu yanılacaktır [18]. Denklem (3.28) havuz suyunun tabandan kaybettiği ısı miktarını vermektedir.

$$Q_{\text{kondt}} = \frac{K_{\text{tab}} \cdot A_{\text{tt}} \cdot (T_p - T_g)}{860} \quad (\text{kW}) \quad (3.28)$$

3.6.5 Takviye Edilen Suyun Neden Olduğu Isı Kayıpları

Havuzun kullanımı esnasında havuz suyunda belli bir miktar su, havuz yüzeyinden buharlaşma ile, havuz suyunun filtrelenmesi ile filtrelenmiş suyun geri pompalanması esnasında ve havuzu kullanan yüzücülerin sebep olduğu durumlardan dolayı havuz suyunda eksilme meydana gelmektedir. Bu eksilen suyun miktarı toplam havuz suyu hacminin yaklaşık olarak %5'ine tekabül etmektedir [28]. Eksilen

suyun yerine takviye edilecek suyun sıcaklığı, havuz suyu sıcaklığına eşit olmayacağından dolayı havuz suyunda ısı kaybı meydana gelecektir. Meydana gelen bu ısı kaybı denklem (3.29) ile hesaplanmaktadır.

$$Q_{\text{kayıp}} = \frac{m \cdot c \cdot (T_p - T_g)}{20000} \quad (\text{kW}) \quad (3.29)$$

Eşitlikte m (kg) takviye edilecek suyun miktarını, c (kcal/kg°C) suyun özgül ısısını göstermektedir.

3.7 Sistemin Ekonomik Analiz

Herhangi bir enerji dönüşüm sisteminin tasarımında, sistemin kullanım süresi boyunca sağlayacağı karın maksimum düzeyde olacağı bir sistem yapısının oluşturulması ekonomik analizin başlıca amacıdır [45].

Yatırımın getireceği maliyetler ve sağlayacağı faydalar karşılaştırarak yatırım teklifinin çekici yani vurgulanabilir ve uygulanabilir (fizibil) olup olmadığı ortaya çıkarılabilir. Çeşitli yatırım tekliflerinin maliyetlerinin ve faydalarının karşılaştırılarak, bunlar arasında en uygun yatırımın belirlenmesi ekonomik değerlendirme yöntemlerinin uygulanmasıyla sağlanabilir [52].

Projenin yatırım dönemi ve ekonomik ömrü süresince ortaya çıkan maliyetlerin ve faydaların bir referans yılına (genellikle yatırımın başlangıç yılına) indirgenerek karşılaştırılması yaklaşımına fayda-maliyet analizi denir. Projelerin ekonomik, ticari ve sosyal açıdan analizi sırasında kullanılan ve indirgeme tekniğine dayanan analiz yöntemleri [52];

- Net Bugünkü Değer (net presentvalue) (NBD)
- İç Kârlılık Oranı (internal rate of return) (İKO)
- Fayda/Maliyet Oranı (benefit/costratio) (F/M)
- Geri Ödeme Süresi (paybackperiod) şeklinde sıralanabilir.

Mühendislik proje ve yatırımlarının ekonomik değerlendirilmesinde NBD Analizi sıkça kullanılan bir yöntemdir. NBD analizi, bir projenin ekonomik ömrü boyunca yaratacağı net nakit girişlerinin ve yatırım giderlerinin yıllara yayılışının piyasa için geçerli bir indirgeme oranıyla bugüne çekilmesi ve proje net nakit akımlarının bugünkü değerinin bulunması ilkesine dayanır. Bu yöntemle yapılan yatırım değerlendirmelerinde önceden belirlenen bir faiz oranına göre yatırımın sağlayacağı faydalarının bugünkü değerlerinin toplamı ile yatırım harcamalarının bugünkü değerlerinin arasındaki fark bulunur. Projenin kabul edilebilir bulunması için bu farkın, NBD'nin sıfıra eşit veya sıfırdan büyük olması gerekmektedir. Alternatif projelerin seçiminde ise NBD'si en büyük olan projeye (NBD>0 olmak kaydıyla) öncelik verilir. Bir projenin net bugünkü değeri aşağıdaki denkleme göre hesaplanır [52].

$$NBD = \frac{S}{(1+i)^{n+m}} + \sum_{t=m+1}^{m+n} \frac{NNG_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^m \frac{I_t}{(1+i)^t} \quad (3.30)$$

Burada NNG_t , t yılındaki net nakit girişini (artık değer hariç); I_t , t yılındaki yatırım tutarını; n, tesisin ekonomik ömrünü; m, projenin inşa süresini; i, indirgeme oranını ve S, tesisin ekonomik ömrü sonunda (varsa) artık değerini ifade etmektedir.

4. BULGULAR

4.1 Güneş Enerjisi Sisteminden Elde Edilen Enerji

Havuz ısıtma sistemine güneş kolektörleri tarafından verilen günlük ısı enerjisi miktarları, Eşitlik (3.1)'de verilen bağıntıya göre hesaplanarak Tablo 4.1 düzenlenmiştir. Eşitlik (3.1)'de kullanılan güneş ışınım (I_{β}) değerleri, çalışmada kullanılan kolektörlerin eğim açıları 40° (yaklaşık enlem açısına eşit) alınarak, PVGIS programında çalışma yapılan yerin koordinatları girilerek hesaplatılmıştır (Tablo 3.7). Elde edilen değerler yukarıda belirtilen denklemde kullanılmıştır. Tesisat verimi, sistemin tesisat büyüklüğü göz önüne alınarak %80 alınmıştır. Kolektör verimi, Eşitlik (3.2)'ya göre hesaplanırken, eşitlikte yer alan diğer değerler;

- a ve b değerleri, sistemde kullanılan kolektörlerin ürün kataloğundan alınmıştır (Tablo 3.6).
- İstenilen (ihtiyaç duyulan) su sıcaklığı, sistemin hem sıcak kullanım suyu ihtiyacını karşılaması hemde talep edilen havuz suyunun sıcaklığı (26°C) dikkate alınarak, 40°C olarak kabul edilmiştir.

Buna göre; toplam $311,04 \text{ m}^2$ kolektör alanına sahip güneş kolektör sistemi yıllık toplam $254.639,76 \text{ kWh}$ ısı enerjisi sağlamaktadır. Güneş ışınım şiddetinin en büyük değerini ve güneş enerji sistemi tarafından en yüksek ısıtma desteği $36.667,92 \text{ kWh}$ ile Ağustos ayında meydana gelmektedir. Sisteme sağlanan en düşük ısıtma desteği ise güneş ışınım şiddeti ve kolektör veriminin en küçük olduğu Aralık ayında gerçekleşmektedir.

Tablo 4.1: Güneş enerji sisteminden elde edilen aylık ve günlük güneş enerjisi değerleri.

Aylar	I_{β} (kWh/m ² -gün)	Kolektör Verimi	Tesisat Verimi	Kolektör Alanı (m ²)	Q_{solar} (kWh/gün)	Q_{solar} (kWh/ay)
Ocak	2,71	0,22	0,80	311,04	146,13	4.383,87
Şubat	3,24	0,36	0,80	311,04	286,80	8.603,93
Mart	4,67	0,53	0,80	311,04	611,27	18.337,97
Nisan	5,22	0,58	0,80	311,04	756,32	22.689,60
Mayıs	6,12	0,64	0,80	311,04	976,24	29.287,13
Haziran	6,67	0,68	0,80	311,04	1.133,33	33.999,94
Temmuz	6,97	0,70	0,80	311,04	1.217,17	36.515,15
Ağustos	7,12	0,69	0,80	311,04	1.222,60	36.667,92
Eylül	6,36	0,63	0,80	311,04	991,24	29.737,18
Ekim	5,01	0,53	0,80	311,04	659,48	19.784,44
Kasım	3,77	0,40	0,80	311,04	377,80	11.334,11
Aralık	2,48	0,18	0,80	311,04	109,62	3.288,52
Toplam						254.639,76

4.2 Havuz Suyundan Meydana Isı Kayıp Miktarları

Balıkesir Üniversitesi Yarı Olimpik Kapalı Yüzme Havuzu tesislerinde bulunan büyük ve küçük yüzme havuzlarında; havuz yüzeyinden buharlaşma, ışıma (radyasyon), taşınım (konveksiyon), iletim (kondüksiyon)yolları ile kaybolan ısı miktarları ve havuzdan eksilen suyun takviyesi ile meydana gelen ısıl enerji kayıplarının miktarları, yıllık olarak havuzun çalışma saatlerine göre hesaplanmıştır. Tesisin çalışma saatleri Pazar günleri hariç haftanın her günü sabah saat 09:00'dan akşam saat 21:00'e kadar olmasına rağmen tesis yıl boyu 24 saat havuz için gerekli olan ısıl koşulları yerine getirecek şekilde ısıtılmaktadır. Bunun nedeni, havuz suyunda ve ortam sıcaklığında meydana gelecek sıcaklık düşüşlerinin tekrar istenilen sıcaklıklara getirilebilmesi için daha fazla enerji gerektirmesidir. Çalışmaya konu olan tesisin; havuz suyu sıcaklığı 26°C, ortam sıcaklığı 28°C, ortamdaki bağıl nem oranı %60'dır. Ayrıca; kapalı havuz ortamındaki hava(rüzgar) hızı 0,15 m/s olarak kabul edilmiştir. Hesaplamalarda TUMAS üzerinden alınan ve Bölüm 3.1'de verilen iklimsel verilerden yararlanılmıştır.

Enerji kayıpları ile ilgili yapılan hesaplamalar sonucunda, büyük havuz için Tablo 4.2, küçük havuz için ise Tablo 4.3 oluşturulmuştur. Buna göre; 400m² yüzey alanına sahip büyük (yarı olimpik) yüzme havuzunda yıllık toplam 710.460 kWh ve 98m² yüzey alanına sahip küçük havuzda ise yıllık toplam 158.155,20 kWh enerji kaybı meydana geldiği görülmektedir. Her iki havuzda da en yüksek ısı kayıplarının Şubat ayında, en düşük ısı kayıplarının ise Ağustos ayında meydana geldiği görülmektedir.

Büyük havuzda birim m² başına düşen ısı enerji kaybı 1.776 kWh iken küçük havuzda bu değer 1.613 kWh'dir. Bu farklılık öncelikle büyük havuzda eksilen su miktarının küçük havuza göre daha fazla olması ve buna bağlı olarak ilave edilen su miktarının (toplam su hacminin %5'i kadar) daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, büyük havuzda taban ve yan yüzey alanlarının daha büyük olması sebebiyle iletimsel ısı kayıplarının bir miktar fazla çıkmasından kaynaklanmaktadır. Geriye kalan buharlaşma, ışınım ve taşınım ısı kayıpları, her iki havuz için de birim m² başına aynı değerdedir. Buradan anlaşılacağı gibi buharlaşma, ışınım ve taşınım kaynaklı ısı kayıpları havuz su hacmine göre değişiklik göstermemekte sadece bulunduğu ortamın fiziksel şartlarına göre farklılık göstermektedir.

Tablo 4.2 ve Tablo 4.3 incelendiğinde buharlaşma ve taşınım ile ısı kayıpları yıl boyunca değişmediği görülmektedir. Bunun nedeni, havuz suyu sıcaklığının ve ortam sıcaklığının kapalı yüzme havuzlarında sabit kabul edilmiş olmasındandır. Ayrıca, taşınım ile meydana gelen ısı kayıplarının eksi çıkmasının nedeni, ortam sıcaklığının havuz suyu sıcaklığından büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum havuz suyunun konveksiyonla ısı kazandığını göstermektedir. Işınım, iletim ve eksilen suyun yerine takviye edilen sudan dolayı meydana gelen ısı kayıpları, yıl boyunca hava ve toprak (şebeke suyu) sıcaklıklarının değişiklik göstermesi nedeniyle, ısı kayıplarında aylara göre farklılık göstermektedir.

Her iki havuzda buharlaşmadan dolayı meydana gelen ısı kayıpları, toplam ısı kayıpları içerisinde %50'den fazla bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Bu durum bizlere buharlaşma ısı kaybının doğru bir biçimde hesaplanması gerektiğini göstermektedir. Buna karşın, buharlaşma miktarı hesaplamasında tek bir yöntem kullanılmayıp, literatürde buharlaşma ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmış ve çeşitli

hesaplama yöntemleri ortaya konulmuştur. Bu çalışmada, buharlaşma kayıpları hesaplanırken ASHREA standartlarında yer alan yöntem tercih edilmiştir (bkz. Bölüm 3.5.1.1). Bunun nedeni yapılan birçok çalışmaların önemli kısmında, gerçeğe en yakın sonuçları veren bu yöntemin kullanılmış olmasıdır.

Tablo 4.2: Büyük havuzda meydana gelen ısı kayıplarının aylara göre değişim miktarları.

Aylar	Buharlaşma Isı Kaybı	Işınım Isı Kaybı	Taşınım Isı Kaybı	İletimsel Isı Kaybı	Su Takviyesi Isı Kaybı	Toplam Isı Kaybı	Toplam Enerji Kayıpları	
	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kWh/gün)	(kWh/ay)
Ocak	42,62	31,21	-0,27	5,41	32,20	111,17	2.668,08	80.042,40
Şubat	42,62	29,77	-0,27	5,75	34,20	112,07	2.689,68	80.690,40
Mart	42,62	26,33	-0,27	5,58	33,20	107,46	2.579,04	77.371,20
Nisan	42,62	19,33	-0,27	4,67	27,80	94,15	2.259,60	67.788,00
Mayıs	42,62	11,93	-0,27	3,56	21,20	79,04	1.896,96	56.908,80
Haziran	42,62	4,45	-0,27	2,32	13,80	62,92	1.510,08	45.302,40
Temmuz	42,62	-0,80	-0,27	1,41	8,40	51,36	1.232,64	36.979,20
Ağustos	42,62	-0,62	-0,27	0,97	5,80	48,50	1.164,00	34.920,00
Eylül	42,62	7,32	-0,27	1,21	7,20	58,08	1.393,92	41.817,60
Ekim	42,62	15,20	-0,27	2,05	12,20	71,80	1.723,20	51.696,00
Kasım	42,62	21,74	-0,27	3,36	20,00	87,45	2.098,80	62.964,00
Aralık	42,62	28,63	-0,27	4,57	27,20	102,75	2.466,00	73.980,00
TOPLAM								710.460,00

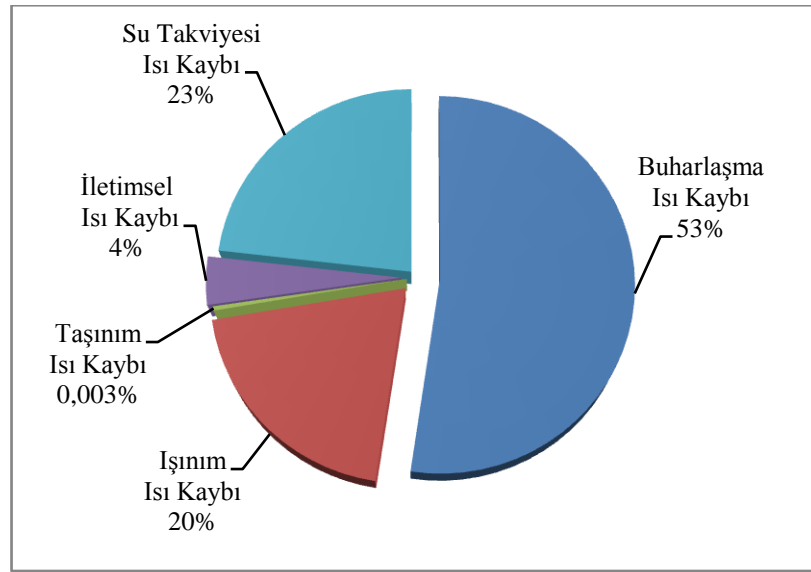
Tablo 4.3: Küçük havuzda meydana gelen ısı kayıplarının aylara göre değişim miktarları.

Aylar	Buharlaştırma Isı Kaybı	Işınım Isı Kaybı	Taşıma Isı Kaybı	İletimsel Isı Kaybı	Su Takviyesi Isı Kaybı	Toplam Isı Kaybı	Toplam Enerji Kayıpları	
	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kWh/gün)	(kWh/ay)
Ocak	10,44	7,64	-0,10	1,22	5,11	24,31	583,44	17.503,20
Şubat	10,44	7,29	-0,10	1,30	5,43	24,36	584,64	17.539,20
Mart	10,44	6,45	-0,10	1,26	5,27	23,32	559,68	16.790,40
Nisan	10,44	4,83	-0,10	1,06	4,41	20,64	495,36	14.860,80
Mayıs	10,44	2,92	-0,10	0,81	3,37	17,43	418,32	12.549,60
Haziran	10,44	1,09	-0,10	0,52	2,19	14,14	339,36	10.180,80
Temmuz	10,44	-0,19	-0,10	0,32	1,33	11,80	283,20	8.496,00
Ağustos	10,44	-0,15	-0,10	0,22	0,92	11,33	271,92	8.157,60
Eylül	10,44	1,80	-0,10	0,27	1,14	13,56	325,44	9.763,20
Ekim	10,44	3,73	-0,10	0,46	1,94	16,47	395,28	11.858,40
Kasım	10,44	5,33	-0,10	0,76	3,17	19,60	470,40	14.112,00
Aralık	10,44	7,01	-0,10	1,03	4,32	22,70	544,80	16.344,00
TOPLAM								158.155,20

Tablo 4.4: Yüzme havuzlarında meydana gelen toplam ısı kayıplarının aylara göre değişim miktarları.

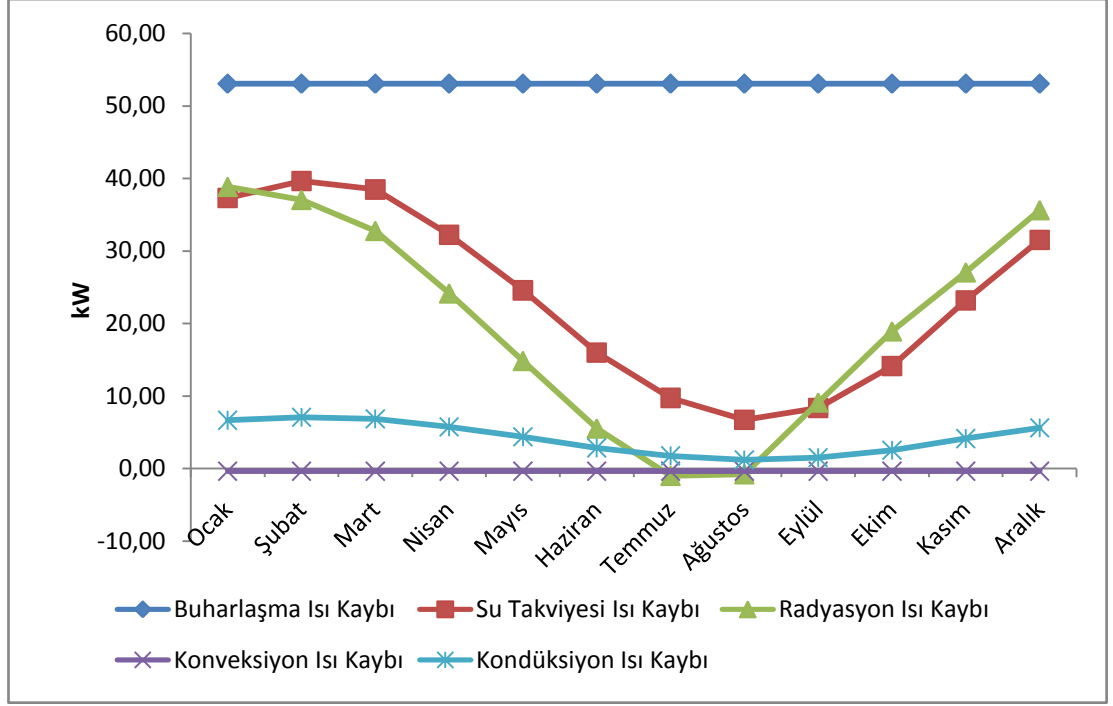
Aylar	Buharlaştırma Isı Kaybı	Işınım Isı Kaybı	Taşıma Isı Kaybı	İletimsel Isı Kaybı	Su Takviyesi Isı Kaybı	Toplam Isı Kaybı	Toplam Enerji Kayıpları	
	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kWh/gün)	(kWh/ay)
Ocak	53,06	38,85	-0,37	6,63	37,31	135,48	3.251,52	97.545,60
Şubat	53,06	37,06	-0,37	7,05	39,63	136,42	3.274,08	98.222,40
Mart	53,06	32,78	-0,37	6,84	38,47	130,78	3.138,72	94.161,60
Nisan	53,06	24,16	-0,37	5,73	32,21	114,79	2.754,96	82.648,80
Mayıs	53,06	14,85	-0,37	4,37	24,57	96,47	2.315,28	69.458,40
Haziran	53,06	5,54	-0,37	2,84	15,99	77,06	1.849,44	55.483,20
Temmuz	53,06	-0,99	-0,37	1,73	9,73	63,16	1.515,84	45.475,20
Ağustos	53,06	-0,77	-0,37	1,19	6,72	59,84	1.436,16	43.084,80
Eylül	53,06	9,12	-0,37	1,48	8,34	71,64	1.719,36	51.580,80
Ekim	53,06	18,93	-0,37	2,51	14,14	88,27	2.118,48	63.554,40
Kasım	53,06	27,07	-0,37	4,12	23,17	107,05	2.569,20	77.076,00
Aralık	53,06	35,64	-0,37	5,60	31,52	125,45	3.010,80	90.324,00
TOPLAM								868.615,20

Her iki havuzun suyundan meydana gelen toplam ısı kayıplarının değişim miktarları, Tablo 4.2 ve Tablo 4.3 yardımıyla oluşturulmuş ve Tablo 4.4’de verilmiştir. Buna göre; havuz suyundan meydana gelen toplam ısı kaybı yada başka bir deyişle havuzların suyu sıcaklıklarının 26°C’de sabit tutulması için gerekli olan yıllık toplam ısı enerji miktarı 868.615,2 kWh’dir. Ayrıca Ağustos ayında gerekli ısı güç desteği 59,84 kW ile en düşük değerde iken Şubat ayında gerekli ısı güç desteği 136,42 kW ile en yüksek değerdedir.



Şekil 4.1: Yüzme havuzunda meydana gelen ısı kayıplarının yüzdesel olarak dağılımı.

Tablo 4.4 görülen toplam ısı kayıplarının, çeşitlerine göre yüzdesel dağılımı Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Buna göre toplam ısı kayıpları içerisinde buharlaşmadan dolayı meydana gelen ısı kayıpları %53 ile ilk sırada yer alırken, iletimsel ısı kayıpları %4 ile son sırada yer almaktadır. Taşınımından dolayı (konveksiyon) ısı kaybı değil ısı kazanımı meydana gelmektedir ayrıca % 0,003 ile ihmal edilebilir düzeyde kalmaktadır.

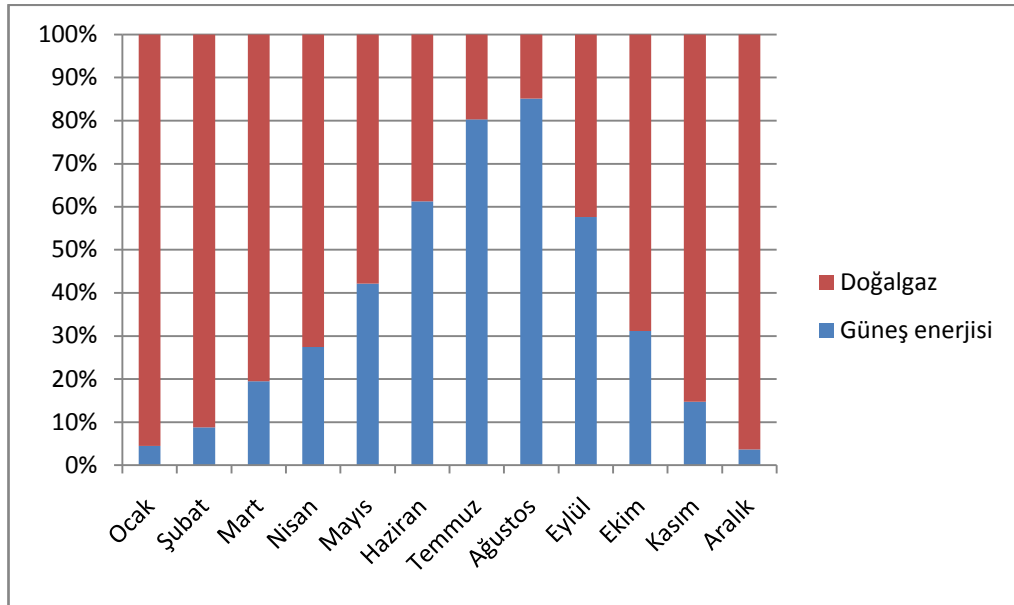


Şekil 4.2: Isı kayıplarının aylara göre değişimi.

Tesis içerisinde yer alan büyük ve küçük yüzme havuzlarının ısıtılmasına destek amacıyla kurulan güneş kolektörleri, havuz suyunda meydana gelen yıllık toplam 868.615,20 kWh ısı kaybının 254.639,76 kWh'lık kısmını karşılamaktadır. Bu durum yıllık yaklaşık olarak %30 oranında güneş enerjisi ile ısı kayıplarının karşılandığını göstermektedir. Aylık bazda güneş enerjisinden faydalanma oranlarına baktığımızda ise, güneş kolektörlerinden elde edilen ısı enerjisinin en fazla olduğu ve ısı kayıplarının en düşük olduğu Ağustos ayında olup, ısı kayıplarının %85'i karşılanmaktadır. Buna karşın, Aralık ayı ısı kayıplarını karşılama oranının en az olduğu ay olup %4 oranında havuz suyunun enerji gereksinimini karşılamaktadır.

Tablo 4.5: Yüzme havuzu aylık ısı kayıpları ile güneş ve doğalgaz sisteminden sağlanan enerji miktarlarının karşılaştırılması.

Aylar	Toplam Isı Kaybı	Güneş enerjisi	Doğalgaz	Güneş enerjisi ile kayıpları karşılama oranı
	(kWh/ay)	(kWh/ay)	(kWh/ay)	%
Ocak	97.545,60	4.383,87	93.161,73	4
Şubat	98.222,40	8.603,93	89.618,47	9
Mart	94.161,60	18.337,97	75.823,63	19
Nisan	82.648,80	22.689,60	59.959,20	27
Mayıs	69.458,40	29.287,13	40.171,27	42
Haziran	55.483,20	33.999,94	21.483,26	61
Temmuz	45.475,20	36.515,15	8.960,05	80
Ağustos	43.084,80	36.667,92	6.406,88	85
Eylül	51.580,80	29.737,18	21.843,62	58
Ekim	63.554,40	19.784,44	43.769,96	31
Kasım	77.076,00	11.334,11	65.741,89	15
Aralık	90.324,00	3.288,52	87.035,48	4
Toplam	868.615,20	254.639,76	613.975,44	29,3



Şekil 4.3: Toplam ısı kayıplarının, güneş enerjisi ve doğalgaz ısıtma sisteminin karşılamasının aylara göre değişimi.

Mevcut kurulu sistemde ısıtma ihtiyaçları doğal gaz ile çalışan kazan ve güneş kolektör sistemi ile karşılanmaktadır. Isı kayıplarının karşılanabilmesi için gerekli enerji miktarının ve güneş kolektörleri ile güneş enerjisinden elde edilen enerji miktarının daha somut bir şekilde anlaşılabilmesi için Tablo 4.6'da güneş kolektörlerinden elde edilen enerjinin fosil yakıt miktarı cinsinden tasarruf miktarları verilmiştir. Buna göre; havuz suyu kayıplarının karşılanabilmesi için yıllık yaklaşık 136,1 ton kömür kullanılması gerektiği ancak güneş kolektörü sistemi ile yaklaşık 40 ton kömür eşdeğer enerji elde edilerek yaklaşık 96,1 ton kömür, havuz suyunu ısıtmak için yeterli olacaktır.

Tablo 4.6: Güneş enerjisi ile sağlanan tasarruf miktarının fosil yakıtlar cinsinden eşdeğer miktarı.

Yakıt Cinsi	Isıl Değeri	Isıtma için gerekli yakıt miktarı	Güneş Enerjisi ile Sağlanan Tasarruf miktarı
Doğal gaz	9,59 kWh/m ³	90.575,10 m ³	26.552,63 m ³
Kömür (Soma)	6,38 kWh/kg	136.146,50 kg	40.000,00 kg
Fuel Oil	10,69 kWh/kg	81.254,90 kg	23.820,30 kg

4.3 Sistemin Ekonomik Analiz Sonuçları

Balıkesir Üniversitesi yüzme havuzunun, havuz suyunda yıllık toplam 868.615,20 kWh'lık ısı kaybı meydana gelmektedir (Tablo 4.4). Bu ısı kaybının belirli bir kısmının güneş enerjisi ile karşılanabilmesi için 2013 yılında, 260.000 TL yatırım ile yüzme havuzu ısıtma tesisatına güneş enerji sistemi eklenmiştir. Eklenen güneş enerji sisteminin ekonomik olup olmadığının tespit edilebilmesi için 2013 yılı şartları baz alınarak Net Bugünkü Değer analizi uygulanmıştır (Denklem 3.30). Buna göre güneş enerji sisteminin ekonomik ömrü (n) 25 yıl, indirgeme oranı (i) ise (yıllık nominal faiz yada reel [faiz + enflasyon oranı] dikkate alınarak) %10 olarak belirlenmiştir. Güneş enerji sisteminin artık değeri (S), sistemin kullanım ömrünün uzun olması ve hurda değerinin yatırım maliyetleri yanında oldukça düşük olması

nedeniyle ihmal edilmiştir. NBD analizinde yatırım bedeli proje sahibi tarafından peşin olarak aynı dönem içerisinde karşılanmıştır.

Güneş enerji sisteminden yıllık toplam 254.639,76 kWh ısı enerjisi elde edilmiştir (Tablo 4.1). Elde edilen enerjinin parasal karşılığı; mevcut ısıtma sisteminde ısı gereksinimlerinin doğalgaz kazanı ile karşılandığı için tasarruf miktarının hesaplanması birim doğal gaz fiyatı üzerinden yapılmıştır. 2013 TÜİK verilerine göre doğalgazın birim m³ fiyatı 0,1054 TL'dir. Doğalgazın ısı değerine (9,59 kWh/m³) göre; doğalgazın kWh cinsinden birim fiyatı 0,1097 kWh/TL olmaktadır. Bu bilgiler eşliğinde Tablo 4.7 oluşturulmuştur. Buna göre; 2013 yılında kurulan güneş kolektörleri vasıtasıyla doğalgaz harcamalarında ilk yıl toplamda 27.933,98 TL tasarruf sağlanmıştır. Hesaplanan yıllık parasal tasarruf değeri ekonomik ömür içerisinde her bir yıl enflasyon oranında arttırılarak net nakit girişleri (NNG_t) elde edilmiştir. Analiz döneminin uzun olması sebebiyle siyasi ve ekonomik belirsizlik artacağından, gelecek 25 yılda enflasyonun tam olarak hangi oranda gerçekleşeceğini tespit etmek iktisadi anlamda imkânsızdır. Dolayısıyla NBD analizinde, TEFE ve ÜFE'deki ortalama yıllık gerçekleşmeler dikkate alınarak, son 10 yıldaki ortalama enflasyon oranı olan %7,5 değeri baz alınmıştır ve sonuçlar Tablo 4.8'de sunulmuştur.

Tablo 4.7: Güneş enerji sisteminden elde edilen enerjinin, doğalgaz tasarruf karşılığı.

Aylar	Q_{solar}	Doğal gaz birim fiyatı	Kazanılan enerjinin doğalgaz cinsinden tasarruf karşılığı
	kWh/ay	(TL/kWh)	TL/ay
Ocak	4.383,87	0,1097	480,91 ₺
Şubat	8.603,93	0,1097	943,85 ₺
Mart	18.337,97	0,1097	2.011,68 ₺
Nisan	22.689,60	0,1097	2.489,05 ₺
Mayıs	29.287,13	0,1097	3.212,80 ₺
Haziran	33.999,94	0,1097	3.729,79 ₺
Temmuz	36.515,15	0,1097	4.005,71 ₺
Ağustos	36.667,92	0,1097	4.023,57 ₺
Eylül	29.737,18	0,1097	3.262,17 ₺
Ekim	19.784,44	0,1097	2.170,35 ₺
Kasım	11.334,11	0,1097	1.243,35 ₺
Aralık	3.288,52	0,1097	360,75 ₺
Senelik Toplam Tasarruf			27.934,00 ₺

Net bugünkü değer analizi sonucunda 2013 yılında kurulumu yapılmış olan güneş enerji sisteminin 25 yıllık ekonomik ömrü sonucunda 488.451 TL getiri sağlamaktadır. Güneş enerjisi sisteminin maliyeti olan 260.000 TL'yi bu değerden çıkardığımızda elimizde (2013 yılı için) net bugünkü değer üzerinden 228.451 TL kar elde edileceği sonucuna varılmıştır. Fayda/Maliyet oranının 1,879'dur. Ayrıca güneş enerji sisteminin geri ödeme süresini Tablo 4.8'den çıkarmamız mümkün. Net girişlerin bugünkü değer toplamı, hangi yılsonunda sistemin maliyetini veriyor ise o yıl içerisinde sistem kendisini amorti etmiş olur. Buna göre, mevcut sistem 11 yıl 6 ay sonunda toplam 259.508 TL ile bugünkü değerden nakit girişi sağlayarak maliyetini çıkarmıştır. Yani sistemin geri ödeme süresi yaklaşık 11 yıl 6 aydır.

Tablo 4.8: Güneş Enerji Sisteminin Net Bugünkü Değer Analizi.

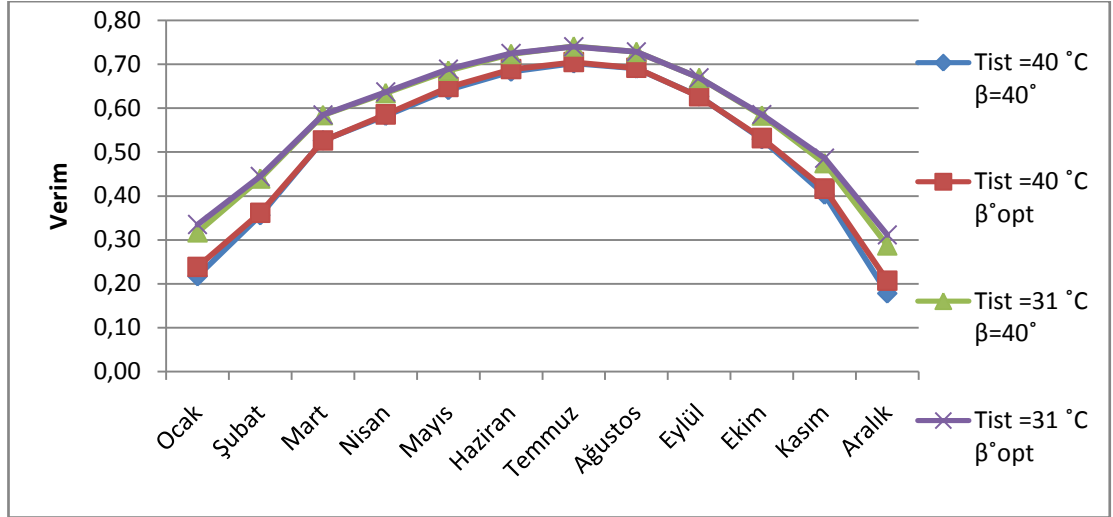
t (yıl)	Yatırım Maliyeti (TL)	Net nakit girişi (TL/yıl)	$1/(1+i)^t$	Nakit Girişlerin Bugünkü Değeri (TL/yıl)
0	260.000 ₺			
1		27.934 ₺	0,909	25.394,5 ₺
2		30.029 ₺	0,826	24.817,4 ₺
3		32.281 ₺	0,751	24.253,3 ₺
4		34.702 ₺	0,683	23.702,1 ₺
5		37.305 ₺	0,621	23.163,5 ₺
6		40.103 ₺	0,564	22.637,0 ₺
7		43.111 ₺	0,513	22.122,5 ₺
8		46.344 ₺	0,467	21.619,7 ₺
9		49.820 ₺	0,424	21.128,4 ₺
10		53.556 ₺	0,386	20.648,2 ₺
11		57.573 ₺	0,350	20.178,9 ₺
12		61.891 ₺	0,319	19.720,3 ₺
13		66.533 ₺	0,290	19.272,1 ₺
14		71.523 ₺	0,263	18.834,1 ₺
15		76.887 ₺	0,239	18.406,1 ₺
16		82.653 ₺	0,218	17.987,8 ₺
17		88.852 ₺	0,198	17.578,9 ₺
18		95.516 ₺	0,180	17.179,4 ₺
19		102.680 ₺	0,164	16.789,0 ₺
20		110.381 ₺	0,149	16.407,4 ₺
21		118.659 ₺	0,135	16.034,5 ₺
22		127.559 ₺	0,123	15.670,1 ₺
23		137.126 ₺	0,112	15.314,0 ₺
24		147.410 ₺	0,102	14.965,9 ₺
25		158.466 ₺	0,092	14.625,8 ₺
Net nakit girişlerin bugünkü toplam değeri				488.451,0 ₺
Projenin net bugünkü getirisi (488.451 ₺ - 260.000 ₺)				228.451,0 ₺
(Fayda/Maliyet) oranı (488.451/260.000)				1,879

Elde edilen sonuçlar, mevcut sistemin çalışma prensibi göz önüne alınarak, yani; kolektörlerin yıl boyu sabit eğim açılı (40°) ve kolektör çıkış suyu sıcaklığının, havuz suyu ile kullanım suyunun ısıtılmasını karşılayabilecek şekilde 40°C kabul edilmesi ile elde edilen sonuçlardır. Ancak, elde edilen sonuçlar, yaz aylarında dahi mevcut sistemin havuz ısı kayıplarını tam olarak karşılamadığını göstermektedir. Bunun üzerine; mevcut sistemdeki kolektörlerin optimum eğim açısıyla konumlandırılması ($T_{\text{ist}}=40^\circ\text{C}$, β°_{opt}) durumunda, güneş enerjisi sisteminin sadece havuz suyunu ısıtma amaçlı kullanılmasıyla yani kolektör çıkış suyu sıcaklığının sıcaklık farkı 5°C tutularak yani; $(26+5)$ 31°C kabul edilmesi durumunda ve sistemdeki kolektörlerin yılın aylarına göre optimum eğim açısı ile konumlandırılması halinde; kolektör verimlerindeki değişim, güneş enerjisi sisteminden elde edilen enerji miktarlarındaki değişim, havuz suyunda meydana gelen ısı kayıplarını karşılama oranlarındaki değişim ve ekonomik analizlerindeki değişim miktarları Bölüm 4.1 ve 4.3’de kullanılan hesaplama yöntemleri kullanılarak tekrardan yapılmıştır. Aşağıda farklı durumlar için benzer şekilde hesaplanan ve hesaplama sonucunda elde edilen değerler çizelge halinde karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Çalışmanın yapıldığı bölge için kolektörlerin yılın aylarına göre optimum eğim açıları ve bu açılara gelen güneş ışınım verileri; PVGIS programına, çalışmanın yapıldığı bölgenin koordinatları girilerek hesaplatılmıştır (Tablo 3.7).

Tablo 4.9: Kolektör verimlerinin karşılaştırılması

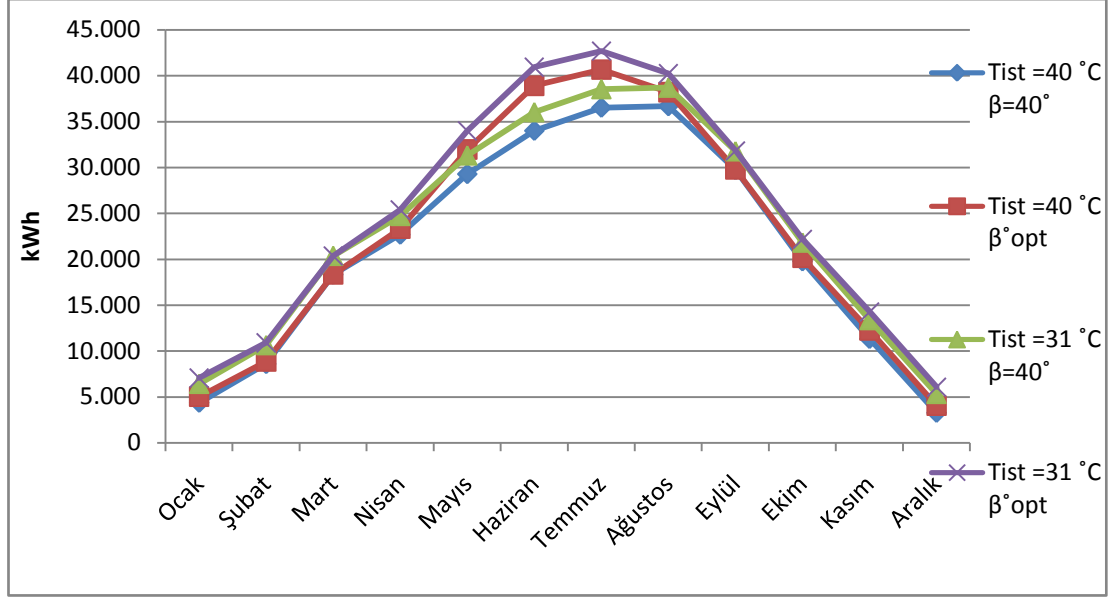
Aylar	$T_{\text{ist}}=40^\circ\text{C}$		$T_{\text{ist}}=31^\circ\text{C}$	
	$\beta=40^\circ$	β°_{opt}	$\beta=40^\circ$	β°_{opt}
Ocak	0,22	0,24	0,32	0,33
Şubat	0,36	0,36	0,44	0,44
Mart	0,53	0,53	0,58	0,58
Nisan	0,58	0,59	0,63	0,64
Mayıs	0,64	0,65	0,69	0,69
Haziran	0,68	0,69	0,72	0,72
Temmuz	0,70	0,70	0,74	0,74
Ağustos	0,69	0,69	0,73	0,73
Eylül	0,63	0,63	0,67	0,67
Ekim	0,53	0,53	0,58	0,59
Kasım	0,40	0,42	0,47	0,49
Aralık	0,18	0,21	0,29	0,31
Yıllık. Ort.	0,51	0,52	0,57	0,58



Şekil 4.4: Kolektör verimlerinin yılın aylarına göre değişim grafiği.

Tablo 4.10: Farklı durumlar için güneş enerjisi sisteminden elde edilen enerji miktarları (kWh).

Aylar	T _{ist} = 40 °C		T _{ist} = 31 °C	
	β = 40°	β ^{opt}	β = 40°	β ^{opt}
Ocak	4.383,87	5.037,80	6.415,54	7.069,47
Şubat	8.603,93	8.876,40	10.635,60	10.908,07
Mart	18.337,97	18.337,97	20.369,64	20.369,64
Nisan	22.689,60	23.343,53	24.721,26	25.375,19
Mayıs	29.287,13	31.957,34	31.318,79	33.989,01
Haziran	33.999,94	38.904,42	36.031,60	40.936,08
Temmuz	36.515,15	40.656,71	38.546,81	42.688,37
Ağustos	36.677,92	38.203,75	38.709,58	40.235,42
Eylül	29.737,18	29.791,67	31.768,84	31.823,33
Ekim	19.784,44	20.165,90	21.816,11	22.197,57
Kasım	11.334,11	12.238,71	13.365,77	14.270,38
Aralık	3.288,52	4.051,44	5.320,19	6.083,11
Toplam	254.639,76	271.565,66	279.019,72	295.945,62



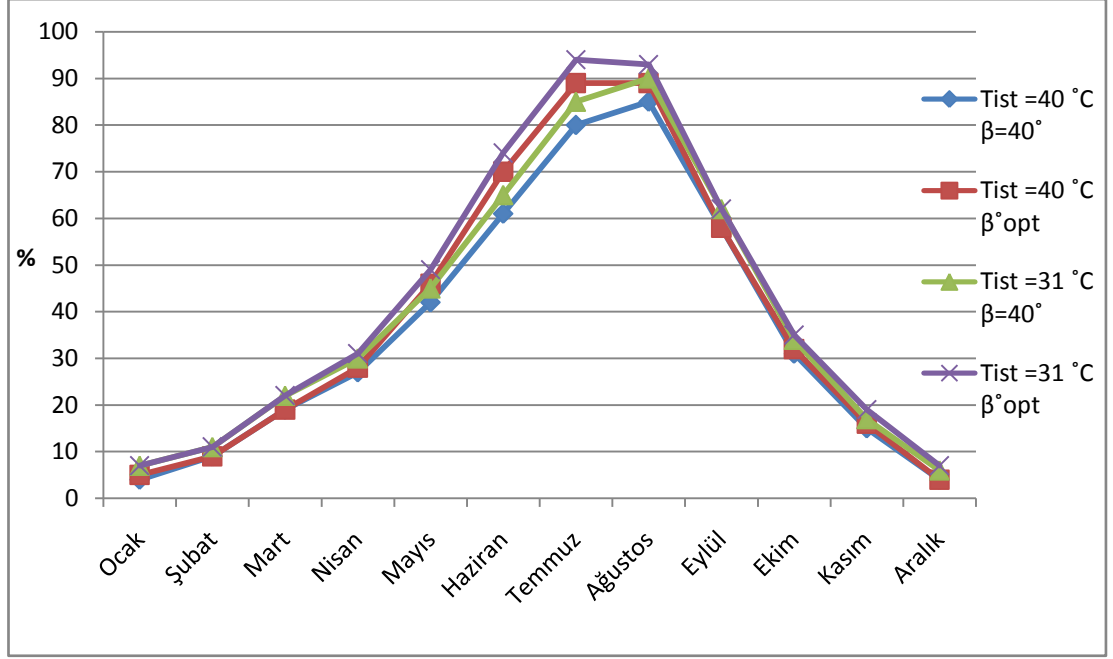
Şekil 4.5: Farklı durumlar için güneş enerjisi sisteminden elde edilen enerji miktarlarının değişim grafiği.

Tablo 4.11: Güneş enerji sisteminden elde edilen enerjinin fosil yakıtlar cinsinden yıllık toplam tasarruf miktarları.

Yakıt Cinsi	$T_{ist} = 40\text{ °C}$		$T_{ist} = 31\text{ °C}$	
	$\beta = 40^\circ$	β^{opt}	$\beta = 40^\circ$	β^{opt}
Doğal gaz	26.552 m ³	28.317 m ³	29.095 m ³	30.859 m ³
Kömür (Soma)	40.000 kg	42.565 kg	43.733 kg	46.386 kg
Fuel Oil	23.820,30 kg	25.403,71	26.101,00	27.684,34

Tablo 4.12: Havuz suyundan meydana gelen ısı kayıpların güneş enerjisi ile karşılanma yüzdelerinin karşılaştırılması.

Aylar	$T_{ist} = 40\text{ °C}$		$T_{ist} = 31\text{ °C}$	
	$\beta = 40^\circ$	β^{opt}	$\beta = 40^\circ$	β^{opt}
Ocak	4	5	7	7
Şubat	9	9	11	11
Mart	19	19	22	22
Nisan	27	28	30	31
Mayıs	42	46	45	49
Haziran	61	70	65	74
Temmuz	80	89	85	94
Ağustos	85	89	90	93
Eylül	58	58	62	62
Ekim	31	32	34	35
Kasım	15	16	17	19
Aralık	4	4	6	7
Toplam	29,3	31,3	32,1	34,1



Şekil 4.6: Havuz suyundan meydana gelen ısı kayıplarının güneş enerjisi ile karşılanma grafiği.

Tablo 4.13: Net Bugünkü Değer analizlerinin karşılaştırılması.

	T _{ist} = 40 °C		T _{ist} = 31 °C	
	β = 40°	β ^{opt}	β = 40°	β ^{opt}
İlk Yıl Net Nakit Girişi (Doğal gaz tasarruf karşılığı)	27.934 ₺	29.791 ₺	30.608 ₺	32.465 ₺
Net Nakit Girişlerin Bugünkü Toplam Değeri	488.451,00 ₺	520.918,31 ₺	535.216,72 ₺	567.684,05 ₺
Projenin Net Bugünkü Getirisi	228.451,00 ₺	260.918,31 ₺	275.216,72 ₺	307.684,05 ₺
(Fayda/Maliyet) oranı	1,879	2,004	2,059	2,183
Sistemin Geri Ödeme Süresi	11 yıl 6 ay	10 yıl 8 ay	10 yıl 5 ay	9 yıl 8 ay

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Balıkesir Üniversitesi Çağış Yerleşkesinde bulunan kapalı yüzme havuzunun güneş enerji destekli ısıtma sisteminin, termo-ekonomik analizleri yapılmıştır. Yıl boyunca, havuz suyundan meydana gelen ısı kayıpları ve bu kayıpların, yılın aylarına göre güneş enerjisinden karşılanma oranları teorik olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla; mevcut 144 adet selektif yüzeye sahip güneş kolektörlü, yıl boyu sabit eğim açılı (40°) güneş enerjili sistemin, sistem içerisinde ne kadar etkili bir biçimde kullanıldığı da araştırılmış ve enerji analizleri yapılmıştır. Ayrıca, sistemde kullanılan kolektörlerin yılın aylarına göre optimum eğim açısıyla konumlandırılmasının sistemden elde edilen güneş enerjisi miktarına etkisi, teorik olarak mevcut sistem üzerinden tespit edilmeye ve kolektörlerden elde edilen enerjinin, havuz suyu ve kullanım suyu (duş, mutfak, lavabo vs.) ısıtılması amaçlı mı (kolektör çıkış sıcaklığı 40 °C) veya sadece havuz suyunun ısıtılması amaçlı mı (kolektör çıkış sıcaklığı 31 °C) kullanılmasının daha uygun olacağı tespit edilerek, elde edilen sonuçlar aşağıda değerlendirilmiştir.

Tesis içerisinde bulunan iki adet kapalı yüzme havuzlarında meydana gelen ısı kayıpları incelendiğinde, beş farklı yoldan ısı kayıplarının meydana geldiği görülmektedir. Bu ısı kayıplarının miktarları, havuz suyu sıcaklığına, ortam sıcaklığına, ortamın bağıl nemine ve havuz yüzeyinde oluşan rüzgar (hava) hızına önemli ölçüde bağlı olduğu görülmektedir. Çeşitli amaçlarla kullanılacak yüzme havuzlarının, Tablo 2.1’de verilen havuz su sıcaklıklarının dikkate alınması ısı kayıpları açısından önem arz etmektedir. Yüzme havuz suyu sıcaklığı ve havuz holü sıcaklık değerleri, ısı kayıp miktarları açısından önemli olduğu için bu sıcaklık değerlerinin standartlarda uygun tutulması ve ayarlanması gerekmektedir.

Büyük ve küçük yüzme havuzlarında meydana gelen ısı kayıpları Tablo 4.2, 4.3’de ve her iki havuzda meydana gelen ısı kayıplarının toplamı Tablo 4.4’de verilmiştir. Buna göre, havuz suyundan yıllık toplam 868.615 kWh ısı enerjisi kaybı olmaktadır. Bu ısı kayıplarının yarıdan fazlası, %53’lük bir kısmı buharlaşmadan

dolayı meydana gelmektedir. Havuz suyu sıcaklığı, havuz holü sıcaklığından düşük olduğu için taşınımından dolayı ısı kaybı meydana gelmemektedir.

Havuz suyundan meydana gelen ısı kayıplarını azaltmak için aşağıdaki öneriler dikkate alınabilir;

- Havuz suyu sıcaklığının kullanım amacına uygun şekilde seçilmesi gereklidir. Bu değerler Tablo 2.1 verilmiştir.
- Havuz holü (havuzun bulunduğu hacim) sıcaklığı, su sıcaklığından 2-3 °C derece yüksek seçilmesi yeterli olacaktır. Bu farkın açılması ısı kayıplarını artıracaktır. Çünkü buharlaşan su miktarı artmaktadır. Bu ise suyun buharlaşma gizli ısı ve eklenen suyun ısıtılması nedeniyle kayıpları artırmaktadır.
- Havuzun kullanılmadığı zamanlarda, özellikle geceleri; güneş enerji örtüsü kullanımı, havuz suyundan buharlaşma sonucunda oluşan ve en fazla ısı kaybına neden olan buharlaşmayı önemli ölçüde azaltacaktır.

Güneş enerjisinden, düzlemsel kolektörler vasıtasıyla havuz suyuna verilen ısı enerji miktarı; kolektör eğim açısına, kolektöre düşen güneş ışınım miktarına, kolektör çıkış suyu sıcaklığına ve sistemde kullanılan kolektörlerin verimlerine bağlı olarak değişmektedir. Tesis de kullanılan kolektörlerin verim değerleri ve elde edilen enerji miktarları Tablo 4.1’de düzenlenerek verilmiştir. Kolektör verimleri, aylara göre %22-70 arasında değişmektedir. Yıllık ortalama kolektörlerin verimi %51 olup, güneş ışınımının yaklaşık %51’ini havuz suyuna iletmektedir. Bir yıl içerisinde mevcut sistemle, toplam 254.639,76 kWh ısı enerji, güneş enerjisinden sağlanmaktadır.

Tablo 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 ve Şekil 4.4, 4.5, 4.6 incelendiğinde;

- Mevcut sistemdeki kolektörlerin yılın aylarına göre eğim açılarının optimum olacak şekilde değiştirilmesi ($T_{ist}=40^{\circ}C$, β_{opt}) durumunda;
- Kolektörlerden elde edilen güneş enerjisi miktarı yıllık 16.925,9 kWh artarak (%7), yıllık toplam 271.565,66 kWh ısı enerjiye ulaşmıştır.

- Isı kayıplarının güneş enerjisi ile karşılama oranları özellikle yaz aylarında artış göstermiştir. Haziran ayında %61'den %70'e, Temmuz ayında %80'den %89'a, Ağustos ayında %85'den %89'a yükselmiştir.
 - Ekonomik ömrü sonucunda elde edilen kar miktarı bugünkü değer üzerinden 32.467,33 artarak 260.913,31 TL olmuştur.
 - Fayda/Maliyet oranı 1,879'dan 2,004'e yükselmiştir.
 - Sistemin geri ödeme süresi yaklaşık bir sene kısalarak 10 yıl 8 ay olarak gerçekleşmiştir.
- Kolektör çıkış suyu sıcaklığının 31 °C ve kolektörlerin optimum eğim açılarıyla konumlandırılması ($T_{ist}=31^{\circ}\text{C}$, β°_{opt}) durumunda;
- Kolektörlerden elde edilen güneş enerjisi miktarı yıllık 41.305,86 kWh artarak (%14), yıllık toplam 295.945,62kWh ısı enerjisi ulaşmıştır.
 - Isı kayıplarının güneş enerjisi ile karşılama oranları özellikle yaz aylarında artış göstermiştir. Haziran ayında %61'den %74'e, Temmuz ayında %80'den %94'e, Ağustos ayında %85'den %93'ye yükselmiştir.
 - Ekonomik ömrü sonucunda elde edilen kar miktarı bugünkü değer üzerinden 79.233,07 TL artarak 307.684,05 TL olmuştur.
 - Fayda/Maliyet oranı 1,879'dan 2,183'e yükselmiştir.
 - Sistemin geri ödeme süresi yaklaşık iki sene kısalarak 9 yıl 8 ay olarak gerçekleşmiştir.

Elde edilen sonuçlar kolektör çıkış suyu sıcaklığının ve optimum kolektör eğim açılarının, kolektör verimine etki ederek güneş enerjisi sisteminden elde edilen enerji miktarını büyük oranda artırdığını göstermektedir.

Kolektörlerin optimum eğim açısı değerinin yaz ve kış aylarında göstermiş olduğu değişiklik nedeniyle kolektörlerden elde edilen enerji miktarlarındaki artış dikkat çekicidir. Bu durumda güneş enerjisinden en verimli şekilde faydalanabilmek için kolektörlerin optimum eğim açısı değerlerinin dikkate alınması gerektiğini açık şekilde ortaya koymaktadır. Şekil 4.5 incelendiğinde kolektör eğim açılarının, en azından yaz ve kış olmak üzere yılda iki kez değiştirilmesi önerilebilir. Bu işlem için

kolektörlerin montajı yapılan sehpalara basit ayarlanabilir olması ve kullanılan bağlantı parçalarının esnek olanlarının tercih edilmesi gerekmektedir.

Kolektör çıkış suyu sıcaklığının 31 °C olması durumunda elde edilen enerji miktarındaki artış ve ekonomik analiz sonucunda sistemin kendini amorti etme süresindeki azalış yüzme havuzlarında kullanılacak güneş enerjisi ısıtma sisteminin, sadece havuz suyunun ısıtılmasında kullanılmasının daha uygun olacağını göstermektedir. Sadece havuz suyunun ısı kayıplarını karşılayacak bir güneş enerjisi sisteminin daha sade bir tasarımla ilk yatırım maliyetinin azaltılması sağlanarak sistem daha ekonomik hale getirilebilir.

Güneş enerji sistemlerinde, ilk yatırım maliyetine bağlı olarak sistemlerin ekonomikliği büyük oranda değişiklik göstermektedir. Bu yatırım maliyetleri içerisinde de güneş kolektörleri en büyük maliyeti oluşturmaktadır. Bu durum sistemde kullanılacak kolektörlerin seçimini önemli kılmaktadır. Yüzme havuzlarının güneş enerjisi destekli sistemlerle ısıtılmasının en büyük avantajı, kolektörlerden elde edilecek su sıcaklığının çok yüksek olmasına ihtiyaç duyulmamasıdır. Düşük sıcaklıklarında kolektörlerin veriminin daha yüksek olduğunu Tablo 4.9'dan çıkarabiliriz. Bu nedenle sistemde yüksek sıcaklık çıkışı sağlayan, ancak pahalı olan vakum tüplü veya düzlemsel kolektörlerin kullanımı maliyetleri gereksiz yere arttırmaktadır. Bunun yerine havuz suyu ısıtılmasında; düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılan camsız plastik güneş kolektörlerinin kullanımı daha doğru bir seçim olacaktır. Camsız plastik kolektörlerin kullanımı güneş enerjisi sisteminin ilk yatırım maliyetini düşürürken, kolektörlerde cam bulunmadığı için optik kayıplar olmayacaktır. Camsız plastik kolektörler, 2014 sonu itibari ile Amerika'da kurulu toplam güneş kolektörlerin %78'ini oluşturmakta ve bu kolektörlerin tamamı havuz ısıtılmasında kullanılmaktadır [10].

Çalışmada yapılan Net Bugünkü Değer analizi sonucunun, 0'dan büyük çıkması ve Fayda maliyet oranının 1'den büyük çıkması güneş enerji sisteminin yatırım yapılabilir olduğunu göstermektedir. Bunun yanında, mevcut sistemin geri ödeme süresinin 11 yıl 6 ay çıkması, en iyi ihtimalle kolektör eğim açılarının optimum konumlandırılması ve sistemin sadece havuz suyunun ısıtılması durumunda elde edilen 9 yıl 8 aylık geri ödeme süresi, yatırımcı açısından düşündürücü nitelikte olabilmektedir. Ancak, yapılan ekonomik analiz ile ek ısıtma işleminde kullanılacak

yakıtın fiyatının ve uğrayacağı enflasyonun önemli parametreler olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çerçevede, son yıllarda doğalgaz talebindeki artış ve rezervlerinin kısıtlı olmasından dolayı ileriki yıllarda doğalgaz fiyatlarının katlanarak artması kaçınılmazdır. Ayrıca, güneş enerjisi teknolojisinin gelişimi ile daha verimli ve uygun fiyatlara üretimi gerçekleştirecek kolektörlerle, ilk yatırım maliyetlerinin düşmesine olanak sağlanacaktır. Böylelikle, önümüzdeki yıllarda özellikle devlet teşviklerinin artması ile bu tarz sistemlerin geri ödeme sürelerinin daha kısa olacağı ve yatırım yapılabilir seviyesini artıracığı bilinen bir gerçektir.

Enerji üretim teknikleri arasında kıstas olarak ne yazık ki işin maliyet kısmı daha çok dikkate alınıyor. Ancak, çevreye olan duyarlılığın giderek arttığı günümüzde, devletler yasalarla ve uluslararası antlaşmalar (Kyoto protokolu, Paris iklim antlaşması gibi) ile sera gazı emisyonlarını azaltmaya ve sıkı yaptırımlar uygulamaya başlamıştır. Bu nedenle artık her ölçekte enerji üretiminde, çevresel etkiler dikkate alınarak yakıtların yanma sonucu en düşük kirletici emisyonu verecek teknolojiler seçilmektedir. Çalışmaya konu olan güneş enerjisi sistemi ile yıllık 26.552 m³ doğalgaz tasarrufu sağlanırken çevreye yaklaşık 10 ton CO₂ salınımı engellenmektedir. Bu da güneş enerjisinin kullanımını olumlu yönde etkilemektedir. Ülkemizin enerji arzında %75 oranında dışa bağımlı olması bu tarz temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının her ölçekte enerji üretiminde kullanılması ülkemizin enerjide dışa bağımlılığını azaltarak enerji arz güvenliğine katkı sağlamaktadır.

Sonuç olarak, yüzme havuzlarının güneş enerjisi destekli sistemler ile ısıtılmasıyla; yıllık ısıtma için gerekli enerji maliyetlerinde azalma, fosil kaynaklara olan bağımlılığın azalması, çevreye zararlı gaz salınımının azalması sağlanmaktadır. Dünyada yaygın bir biçimde kullanılan yüzme havuzlarının, güneş enerjisi destekli sistemlerle ısıtılması, ülkemizde bugüne kadar ne yazık ki rağbet gören, popüler bir uygulama olamamıştır. 2014 yılı sonu itibari ile dünya üzerinde kurulu güneş kolektör sistemlerinin %6'sı havuz suyu ısıtılması amacıyla kullanılırken bu durum Amerika'da %78, Avustralya'da %57, Avrupa da %5 oranlarındadır [10]. Ülkemizde ise resmi bir rakam henüz bulunmamaktadır. Ancak, bu sayının biri elin parmak sayısını geçmediği düşünülmektedir.

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinin, evlerde yaygın bir biçimde kullanılmakta olan sıcak su üretiminin yanında, daha ekonomik şekilde kullanım imkânı veren, havuz sularının ısıtılması amacıyla kullanılmasının yaygınlaştırılması günümüz koşullarında gerekmektedir.

Tez çalışmasının yapıldığı dönemde kapalı yüzme havuzunun, yapılan tadilatlar nedeniyle işletmede olmaması ve sistem üzerinde yeterli ölçüm alet ve cihazların bulunmaması nedeniyle, çalışma kısmen teorik düzeyde kalmıştır. Çalışmanın uygulama ve deneysel sonuçlarla karşılaştırma kısmı daha sonraki çalışmalara bırakılmıştır. Ayrıca, sonra yapılacak çalışmalarda, enerji tasarrufu açısından, bina ve havuz suyundan meydana gelen ısı kayıpların birlikte dikkate alınması, enerji analizlerinin birlikte yapılması daha uygun olacaktır.

6. KAYNAKLAR

- [1] Tarhan, İ., Yüksel B., Demircan, O., Özmetin C., Türkeş, M., Yiğit, M., Baysal, H., Karaca, Z., Sümer, S.K., Şahiner, N., İlten, N., Büyükkateş, Y., Aslan, A., ve Akyol, T., “TR22 Güney Marmara Bölgesi Yenilenebilir Enerji Araştırması Sonuç Raporu, GMKA”, (2013).
- [2] Çolak, Ş.Ç., “Fotovoltaik Paneller Yardımı ile Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretiminin Maliyet Analizi Ve Gelecekteki Projeksiyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2010).
- [3] Sevim, C., “Küresel Enerji Politikaları ve Yeni Enerji Düzeni”, *Türkiye 12. Enerji Kongresi*, Ankara, (2012).
- [4] Özemre, A.Y., “Konvansiyonel ve Alternatif Enerji Kaynakları Açısından Dünyanın Geleceği [online]”, (24 Şubat 2016), <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/11111.pdf>, (2005).
- [5] BP p.l.c., “Energy outlook to 2035 [online]”, (29 January 2016), <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2015/bp-energy-outlook-2035-booklet.pdf>, (2016).
- [6] Kavak, K., “Dünyadaki Enerji Oyununu Değiştiren Yeni Faktör: Konvansiyonel Olmayan Petrol ve Doğal Gaz”, *Türk Akademisi Siyasi Sosyal Stratejik Araştırmalar Vakfı*, 1, (2013).
- [7] IEA, “Key World Energy Statistics 2015 [online]”, (25 January 2016), <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2015.pdf>, (2015).
- [8] ETBK, “2014 yılı faaliyet raporu [online]”, (24 Nisan 2016), http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fMavi%20Kitap%2fMavi_kitap_2015.pdf, (2015).

- [9] REN21, “Renewables 2015 Global status report [online]”, (3 May 2016), http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/REN12_GSR2015_Onlinebook_low1.pdf, (2015).
- [10] Mauthner, F., Weiss, W. and Dür, M.S., “Solar heat worldwide markets and contribution to the energy supply 2014 [online]”, (6 July 2016), <http://www.iea-shc.org/data/sites/1/publications/Solar-Heat-Worldwide-2016.pdf>, (2016).
- [11] Lins, C., “Globales Wirtschaftswachstum entkoppelt sich zunehmend von CO2-Ausstoss-auch dank rekordjahr bei Erneuerbaren Energien [online]”, (20 April 2016), http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/06/REN21_-_press-release-GSR-2015_GERMAN.pdf, (2015).
- [12] Frankfurt School-UNEP Centre, “Global trends in renewable energy investment 2015 [online]”, (23 April 2016), http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/attachments/key_findings.pdf, (2015)
- [13] Acaroğlu, M., “*Alternatif enerji kaynakları*”, Ankara: Nobel Yayın Dağıtım, (2007).
- [14] Yüksel, B., “Güneş enerjisi ders notu [online]”, (2 Şubat 2016), http://w3.balikesir.edu.tr/~akyol/gunes_enerjisi_vize.pdf, (2009).
- [15] Kılıç, A., “Güneş enerjisi ve uygulamaları”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 5, 6-15, (1993).
- [16] Bulut, H., “Güneş enerjisi ısı uygulamalar [online]”, (3 Şubat 2016), <http://eng.harran.edu.tr/~hbulut/Gunes1.pdf>, (2009).
- [17] Tian, Y. and Zhao, C.Y., “A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications”, *Applied Energy*, 104, 538-553, (2013).
- [18] Köşker, F., “Kapalı olimpik yüzme havuzlarında güneş enerjisinin kullanımı ve termo-ekonomik analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2006).

- [19] Atalay, A., “Güneş enerjisi yardımıyla açık ve kapalı yüzme havuzlarının ısıtılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, (2011).
- [20] Sarachaga, L., Borchert, B.W. und Vorreiter, A.K., “Sonnenenergienutzung in freibadern”, *Solpool*, (2008).
- [21] Abuşka, M., “Güneş enerjisi ve uygulamaları dersi notları-II [online]”, (27 Mayıs 2016), http://akhisarmyo.cbu.edu.tr/db_images/file/gunes-enerjisi-2-1284TR.pdf.
- [22] Siyahhan, Z., “Güneş Enerjisi kaynaklı ısı pompası destekli ısıtma sistemlerinin termodinamik ve termoeconomik analizi”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (2009).
- [23] EİE, “Güneş Enerji Pontasiyeli Atlası [online]”, (4 Şubat 2016), <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>.
- [24] Asdrubali, F., “A scale model to evaluate water evaporation from indoor swimming pools”, *Energy and Buildings*, 41, 311-319, (2009).
- [25] Shah, M.M., “Improved method for calculating evaporation from indoor water pools”, *Energy and Buildings*, 49, 306-309, (2012).
- [26] Alkhamist, A.I. and Sherif, S.A., “Performance analysis of a solar assisted swimming pool heating system”, *Energy*, 17(12), 1165-1172, (1992).
- [27] Mousia, A. and Dimoudi, A., “Energy performance of open air swimming pools in Greece”, *Energy and Buildings*, 90, 166-172, (2015).
- [28] Buonomano, A., Luca, D.G., Figaj, R.D. and Vanoli, L., “Dynamic simlation and termo-economic analysis of a PhotoVoltaic/Thermal collector heating system for an indoor-outdoor swimming pool”, *Energy Conversion and Management*, 99, 176-192, (2015).

- [29] Govaer, D. and Zarmi, Y., “Analytical evaluation od direct solar heating of swimming pools”, *Solar Energy*, 27(6), 529-533, (1982).
- [30] Ruiz, E. and Martinez, P.J., “Analysis of an open-air swimming pool solar heating system by using an experimentally validated TRNSYS model”, *Solar Energy*, 84, 116-123, (2010).
- [31] Chow, T.T., Bai, Y., Fong, K.F. and Lin, Z., “Analysis of a solar assisted heat pump system for indoor swimming pool water and space heating”, *Applied Energy*, 100, 300-317, (2012).
- [32] Dang, A., “A parametric study of swimming pool heating-I”, *Energy Convers. Mgmt*, 26(1), 27-31, (1986).
- [33] Rakopoulos, C.D. and Vazeos, E., “A model of the energy fluxes in a solar heated swimming pool and its experimental validation”, *Energy Convers. Mgmt*, 27(2), 189-195, (1987).
- [34] Medved, S., Arkar, C. and Cerne, B., “A large panel unglazed roof-integrated liquid solar collector-energy and economic evaluation”, *Solar Energy*, 75, 455-467, (2003).
- [35] Croy, R, and Peuser F.A., “Experience with solar systems for heating swimming pools in Germany”, *Solar Energy*, 53(1), 47-52, (1994).
- [36] Akbulut, U., Kıncay, O. ve Köşker, F., “Güneş enerjisinin kapalı olimpik yüzme havuzlarında kullanımı-I”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 98, 11-20, (2006).
- [37] Akbulut, U., Kıncay, O. ve Köşker, F., “Güneş enerjisinin kapalı olimpik yüzme havuzlarında kullanımı-II”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 98, 31-38, (2007).
- [38] Özyaman C., “Isıtılan yüzme havuzlarında ısıtma yükü hesabı ve ısıtıcı seçimi”, *VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, İzmir, (2003).

- [39] Doğan, B. ve Ünal, İ., “Olimpik yüzme havuzu suyu ısıtılmasında güneş enerjisinin katkısının incelenmesi”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 138, (2013).
- [40] Francy, J.L.A., Golding, P. and Clarke, R., “Low-cost solar heating of community pools using pool covers”, *Solar Energy*, 25, 407-416, (1980).
- [41] Öz, E.S., Menlik, T. ve Aktaş, M., “Güneş enerjili yüzme havuzu ısıtma sistemleri için kolektör ısı yükünün teorik olarak belirlenmesi”, *Teknoloji*, 8(1), 1-7, (2005).
- [42] Czarnecki, J.T., “A method of heating swimming pools by solar energy”, *Solar Energy*, 7(1), (1962).
- [43] Francy, J.L.A. and Golding, P., “The optical characteristics of swimming pool cover used for direct solar heating”, *Solar Energy*, 26, 259-263, (1981).
- [44] Erdallı, Y. ve Söhmen H.M., “Güneş enerjisi ile yüzme havuzlarının ısıtılması”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 22, (2005).
- [45] Çolak, L. ve Durmaz, A., “Güneş kolektörü uygulamaları ile ilgili ekonomik analizler”, *VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 549-557, (2005).
- [46] Bulut, H., Şahin, H. ve Karadağ, R., “Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin tekno-ekonomik analizi [online]”, (17 Mayıs 2016), http://eng.harran.edu.tr/~hbulut/Tesisat_2007.pdf, (2007).
- [47] Florida Solar Energy Center, “Solar Water And Pool Heating Model [Online]”, (24 October 2016), http://www.nabcep.org/wp-content/uploads/2013/08/FSEC_Solar_Water_and_Pool_Heating_Manual.pdf, (2006).
- [48] Yiğit, A. ve Atmaca, İ., “*Güneş enerjisi*”, Bursa: Alfa Akademi, (2010).
- [49] Avrupa Birliği Ortak Araştırma Merkezi, “PVGİS [online]”, (22 Eylül 2016), <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe>.

- [50] Ceylan, T., “İki katlı bir binanın, güneş enerjisi destekli hava kaynaklı ısı pompasıyla ısıtılması ve sıcak su eldesinin analizi” Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, (2010).
- [51] İşbilen, İ., “Kapalı yüzme havuzları klima ve nem alma tesisatları”, *II. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, İzmir, 919-946, (1995).
- [52] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, “Proje Analizinde Kullanılan Teknikler [online]”, (04 Ağustos 2016), <http://www.dektmk.org.tr/upresimler/KKAVAK-1.pdf>, (2016).