



T. C.

ORDU ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İKİ FARKLI TİPTEKİ HAVALI GÜNEŞ KOLEKTÖRÜNÜN
ISIL VERİMİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

ALİ ALAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI

ORDU 2024

TEZ BİLDİRİMİ

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan ve kullanılan intihal tespit programının sonuçlarına göre; bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

ALİ ALAN

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

İKİ FARKLI TİPTEKİ HAVALI GÜNEŞ KOLEKTÖRÜNÜN ISIL VERİMİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

ALİ ALAN

ORDU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ, 73 SAYFA

(TEZ DANIŞMANI: Dr. Öğr. Üyesi Mithat AKGÜN)

Karadeniz bölgesinde güneşli gün sayısının az ve güneşlenme süresinin kısa olması dolayısıyla güneşten gelen ışınımın verimli şekilde alınıp ısıya dönüştürülmesini sağlayacak güneş kolektörlerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tez çalışmasında havalı tip güneş kolektörlerinin ısı verimlerinin karşılaştırılması amacıyla, 1 m² ışınım yüzeyine sahip düz ve kısmen silindirik kanal tipli havalı güneş kolektörü imal edilmiştir. Kanal geometrisinin absorbe edilen enerji miktarına ve kolektör verimine etkisi belirlemek için deneyler 4 farklı hava hızında gerçekleştirilmiştir.

Hava hızının artmasıyla kolektör çıkış sıcaklığı düşmüştür. Kısmen silindirik kanal geometrisinin hava çıkış sıcaklığı uygulanan 4 hızda da düz kanal geometrisinden ortalama %13 daha yüksektir. Hava hızı arttıkça kısmen silindirik kolektör çıkış sıcaklığı düz kolektör çıkış sıcaklığına yaklaşmaktadır. Işınım değeri yüksek ise artan hava hızı ile kısmen silindirik ile düz kolektör çıkış sıcaklıkları arasındaki fark maksimum %19.7 iken, ışınım değeri düştükçe bu fark %3'e düşmüştür.

Düz kolektörlerin ısı verimleri ışınım değerlerine göre değişim göstermektedir. En düşük ısı verim 0,5 m/s'de ortalama %35 iken en yüksek ısı verim 3 m/s hava hızında %85 olarak hesaplanmıştır. Kısmen silindirik kolektörün en düşük ısı verimi 0,5 m/s'de ortalama %34 olarak gerçekleşirken, en yüksek ısı verim 3 m/s hava hızında %83 olarak hesaplanmıştır. Kısmen silindirik kolektör düz kolektöre göre 2 m/s hava hızında ortalama %8 daha verimli iken, diğer hızlarda düz kolektör kısmen silindirik kolektöre göre ortalama %2 daha verimlidir.

En düşük faydalı enerji 0,5 m/s hava hızında ortalama 319 W (düz), 385 W (kısmen silindirik) iken maksimum faydalı enerji 3 m/s hava hızında ortalama 516 W (düz), 656 W (kısmen silindirik) olarak hesaplanmıştır.

Yüksek sıcaklık ihtiyacının karşılanmasında kısmen silindirik kesit alanlı havalı tip güneş kolektörünün kullanımı düz kolektörlere göre daha uygundur.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Güneş Işınımı, Havalı Güneş Kolektörü, Yenilenebilir Enerji.

ABSTRACT

EXPERIMENTAL COMPARISON OF THERMAL EFFICIENCY OF TWO DIFFERENT TYPES OF AIR SOLAR COLLECTORS

ALİ ALAN

ORDU UNIVERSITY INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED
SCIENCES

RENEWABLE ENERGY

MASTER THESIS, 73 PAGES

(SUPERVISOR: Assist. Prof. Dr. Mithat AKGÜN)

In the Black Sea region, due to the low number of sunny days and the short duration of sunlight, there is a need for the development of solar collectors that can efficiently capture sunlight and convert it into heat. In this thesis study, air-type solar collectors with flat and partially cylindrical channel designs were manufactured in order to compare their thermal efficiencies. Experiments were conducted at four different air velocities to determine the effect of channel geometry on the amount of absorbed energy and collector efficiency.

With the increase in air velocity, the collector outlet temperature has decreased. For the partially cylindrical channel geometry, the outlet temperature of the air is on average 13% higher than that of the flat channel geometry at four applied velocities. As the air velocity increases, the outlet temperature of the partially cylindrical collector approaches that of the flat collector. When the radiation value is high, the difference between the outlet temperatures of the partially cylindrical and flat collector with increasing air velocity is maximum at 19.7%, whereas as the radiation value decreases, this difference decreases to 3%.

The thermal efficiencies of flat collectors vary according to radiation values. The lowest thermal efficiency is approximately 35% at 0.5 m/s, while the highest thermal efficiency is calculated to be 85% at an air velocity of 3 m/s. Conversely, for partially cylindrical collectors, the lowest thermal efficiency is realized at approximately 34% at 0.5 m/s, with the highest thermal efficiency at 83% at an air velocity of 3 m/s. At an air velocity of 2 m/s, the partially cylindrical collector is on average 8% more efficient than the flat collector, while at other velocities, the flat collector is on average 2% more efficient than the partially cylindrical collector.

The lowest useful energy output is calculated to be an average of 319 W (flat) and 385 W (partially cylindrical) at an air velocity of 0.5 m/s, while the maximum useful energy output is calculated to be an average of 516 W (flat) and 656 W (partially cylindrical) at an air velocity of 3 m/s.

The use of partially cylindrical cross-sectional air-type solar collectors is more suitable for meeting high-temperature demand compared to flat collectors.

Keywords: Renewable Energy, Solar Air Collector, Solar Energy, Solar Radiation.

TEŞEKKÜR

Tez konunun belirlenmesi, çalışmanın yürütölmesi ve yazımı esnasında başta danıőman hocam Sayın Dr. Öğr. Gör. Mithat AKGÜN'e teşekkür ederim. Tez yazım aőamasında önemli noktalara yapıcı eleőtiriler getirerek tezimin son őeklini almasını sağlayan tez savunması jüri üyeleri Sayın Prof. Dr. Tahsin TONKAZ ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Cemalettin AYGÜN hocalarıma teşekkür ederim.

Aynı zamanda, manevi desteklerini her an üzerimde hissettiğim babam, annem ve eőim Ayőe ALAN'a teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEZ BİLDİRİMİ	I
ÖZET	II
ABSTRACT	III
TEŞEKKÜR	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİL LİSTESİ	VI
1. GİRİŞ	1
1.1 Fosil Yakıtlar.....	4
1.1.1 Petrol.....	5
1.1.2 Doğalgaz.....	6
1.1.3 Kömür.....	7
1.2 Nükleer Enerji.....	8
1.3 Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	9
1.3.1 Biyokütle.....	9
1.3.2 Rüzgâr Enerjisi.....	11
1.3.3 Hidroelektrik.....	14
1.3.4 Jeotermal.....	15
1.3.5 Güneş.....	17
1.3.5.1 Parabolik Güneş Kolektörü.....	22
1.3.5.2 Sulu Güneş Kolektörü.....	22
1.3.5.3 Havalı Güneş Kolektörü.....	23
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	26
3. MATERYAL ve YÖNTEM	30
3.1 Matematiksel Model ve Denklemler.....	30
3.2 Deney Düzenegi ve Yöntem.....	34
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	39
4.1 Çıkış Sıcaklıklarının Karşılaştırılması.....	39
4.2 Isıl Verimlerinin Karşılaştırılması.....	51
4.3 Nusselt ve Reynolds Sayılarının Karşılaştırılması.....	60
4.4 Enerjilerinin Karşılaştırılması.....	61
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	67
6. KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	73

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 Yıllara Göre Dünyada Toplam Tüketilen Enerji Kaynakları	2
Şekil 1.2 Kıtaların Yıllara Bağlı Enerji Tüketimleri.....	3
Şekil 1.3 Ülkelerin 2022 Enerji Tüketimi.....	4
Şekil 1.4 Ülkelere Göre Ham Petrol Rezervi.....	5
Şekil 1.5 Doğalgazın Dünya Genelinde Kullanım Alanları	7
Şekil 1.6 Aralık 2022 İtibarıyla Ülkemizin Kömüre Dayalı Santral Kurulu Gücü ...	8
Şekil 1.7 Dünya Kömür Üretiminde 2021 Yılı İtibarıyla Başlıca Ülkeler	8
Şekil 1.8 Biyokütle ve Biyoenerji Akış Diyagramı	10
Şekil 1.9 Biyokütle Kurulu Gücü	11
Şekil 1.10 Rüzgâr Türbini Resmi.....	12
Şekil 1.11 Rüzgâr Enerjisi Türkiye Haritası	13
Şekil 1.12 Türkiye Rüzgâr Enerjisi Kurulu Gücü	13
Şekil 1.13 Hidrolik Santral	14
Şekil 1.14 Hidrolik Kurulu Gücü.....	15
Şekil 1.15 Jeotermal Santrali	16
Şekil 1.16 Jeotermal Enerji Kaynaklı Kurulu Gücü	16
Şekil 1.17 Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistem	18
Şekil 1.18 Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası.....	19
Şekil 1.19 Güneş Enerjisinin Kurulu Gücü	20
Şekil 1.20 Ordu İline Ait Güneş Radyasyonu Haritası	21
Şekil 1.21 Ordu İline Ait Aylık Güneş Radyasyonu ve Güneşlenme Süreleri	21
Şekil 1.22 Parabolik Oluk.....	22
Şekil 1.23 Basit sulu güneş Kolektörü sistemi	23
Şekil 1.24 Şematik Havalı Güneş Kolektörü	24
Şekil 3.1 Kanal Geometrilerin Kesit Ölçüleri.....	33
Şekil 3.2 Geometri Kanal Geometrisi.....	35
Şekil 3.3 Kısmen Silindirik Kanal Geometrisi	35
Şekil 3.4 Kolektörün Kesit Görünüşü.....	36
Şekil 3.5 Deney Düzeneginin Şematik Görünüşü	36
Şekil 3.6 Sıcaklık Veri Kayıt Cihazı.....	37
Şekil 3.7 Hava Hız Ölçer	37
Şekil 3.8 Deney Düzenegi	38
Şekil 4.1 Güneş Işınım Değerlerinin Saatlik Değişimi.....	39
Şekil 4.2 Düz ve Kısmen Silindirik Havalı Kolektörlerin Çıkış Sıcaklıklarının 0,5 m/s Hava Hızı İçin Karşılaştırılması.....	40
Şekil 4.3 Düz ve Kısmen Silindirik Havalı Kolektörlerin Çıkış Sıcaklıklarının 1 m/s Hava İçin Karşılaştırılması.....	41
Şekil 4.4 Düz ve Kısmen Silindirik Havalı Kolektörlerin Çıkış Sıcaklıklarının 2 m/s Hava Hızı İçin Karşılaştırılması.....	41
Şekil 4.5 Düz ve Kısmen Silindirik Havalı Kolektörlerin Çıkış Sıcaklıklarının 3 m/s Hava Hızı İçin Karşılaştırılması.....	42
Şekil 4.6 Düz Kolektörün Hava Hızlarına Göre Çıkış Sıcaklıkları Değişimi	42

Şekil 4.7 Kısmen Silindirik Kolektörün Hava Hızlarına Göre Çıkış Sıcaklıkları Değişimi	43
Şekil 4.8 İkinci Gün Düz ve Kısmen Silindirik Havalı Kolektörlerin Çıkış Sıcaklıklarının 0,5 m/s Hava Hızı İçin Karşılaştırılması.....	43
Şekil 4.9 Düz ve Kısmen Silindirik Havalı Kolektörlerin Çıkış Sıcaklıklarının 1 m/s Hava Hızı İçin Karşılaştırılması	44
Şekil 4.10 Düz ve Kısmen Silindirik Havalı Kolektörlerin Çıkış Sıcaklıklarının 2 m/s Hava Hızı İçin Karşılaştırılması	45
Şekil 4.11 Düz ve Kısmen Silindirik Havalı Kolektörlerin Çıkış Sıcaklıklarının 3 m/s Hava Hızı İçin Karşılaştırılması	45
Şekil 4.12 Düz Kolektörün Hızlarına Göre Çıkış Sıcaklıkları.....	46
Şekil 4.13 Kısmen Silindirik Kolektörün Hızlarına Göre Çıkış Sıcaklıkları.....	46
Şekil 4.14 Düz ve Kısmen Silindirik Havalı Kolektörlerin Çıkış Sıcaklıklarının 0,5 m/s Hava Hızı İçin Karşılaştırılması	47
Şekil 4.15 Düz ve Kısmen Silindirik Havalı Kolektörlerin Çıkış Sıcaklıklarının 1 m/s Hava Hızı İçin Karşılaştırılması	48
Şekil 4.16 Düz ve Kısmen Silindirik Havalı Kolektörlerin Çıkış Sıcaklıklarının 2 m/s Hava Hızı İçin Karşılaştırılması	48
Şekil 4.17 Düz ve Kısmen Silindirik Havalı Kolektörlerin Çıkış Sıcaklıklarının 3 m/s Hava Hızı İçin Karşılaştırılması	49
Şekil 4.18 Düz Kolektörün Hava Hızlarına Göre Çıkış Sıcaklıklarının Değişimi	49
Şekil 4.19 Kısmen Silindirik Kolektörün Hava Hızlarına Göre Çıkış Sıcaklıkları Değişimi	50
Şekil 4.20 Kolektör Çıkış Sıcaklıklarının Zamanla Değişimi (4. Gün, 2 m/s)	50
Şekil 4.21 Kolektör Verimlerinin Anlık Değişimi (1. Gün, 0,5 m/s)	51
Şekil 4.22 Kolektör Verimlerinin Anlık Değişimi (1. Gün, 1 m/s)	52
Şekil 4.23 Kolektör Verimlerinin Anlık Değişimi (1. Gün, 2 m/s)	52
Şekil 4.24 Kolektör Verimlerinin Anlık Değişimi (1. Gün, 3 m/s)	53
Şekil 4.25 Düz Kolektörün Hava Hızlarına Göre Verim Karşılaştırması.....	53
Şekil 4.26 Düz Kolektörün Hava Hızlarına Göre Verim Karşılaştırması.....	54
Şekil 4.27 Kolektör Verimlerinin Anlık Değişimi (2. Gün, 0,5 m/s)	54
Şekil 4.28 Kolektör Verimlerinin Anlık Değişimi (2. Gün, 1 m/s)	55
Şekil 4.29 Kolektör Verimlerinin Anlık Değişimi (2. Gün, 2 m/s)	55
Şekil 4.30 Kolektör Verimlerinin Anlık Değişimi (2. Gün, 3 m/s)	56
Şekil 4.31 Düz Kolektörün Hava Hızlarına Göre Verim Karşılaştırması.....	56
Şekil 4.32 Kısmen Silindirik Kolektörün Hava Hızlarına Göre Verim Karşılaştırması	57
Şekil 4.33 Kolektör Verimlerinin Anlık Değişimi (3. Gün, 0,5 m/s)	57
Şekil 4.34 Kolektör Verimlerinin Anlık Değişimi (3. Gün, 1 m/s)	58
Şekil 4.35 Kolektör Verimlerinin Anlık Değişimi (3. Gün, 2 m/s)	58
Şekil 4.36 Kolektör Verimlerinin Anlık Değişimi (3. Gün, 3 m/s)	59
Şekil 4.37 Düz Kolektörün Hava Hızlarına Göre Verim Karşılaştırması.....	59
Şekil 4.38 Kısmen Silindirik Kolektörün Hava Hızlarına Göre Verim Karşılaştırması	60
Şekil 4.39 Birinci Güne Ait Reynolds-Nusselt Sayısı Grafiği.....	60
Şekil 4.40 Enerjilerinin Anlık Değişimi (1. Gün, 0,5 m/s).....	61
Şekil 4.41 Kolektör Enerjilerinin Anlık Değişimi (1. Gün, 1 m/s).....	61

Şekil 4.42 Kolektör Enerjilerinin Anlık Değişimi (1. Gün, 2 m/s).....	62
Şekil 4.43 Kolektör Enerjilerinin Anlık Değişimi (1. Gün, 3 m/s).....	62
Şekil 4.44 Kolektör Enerjilerinin Anlık Değişimi (2. Gün, 0,5 m/s).....	63
Şekil 4.45 Kolektör Enerjilerinin Anlık Değişimi (2. Gün, 1 m/s).....	63
Şekil 4.46 Kolektör Enerjilerinin Anlık Değişimi (2. Gün, 2 m/s).....	64
Şekil 4.47 Kolektör Enerjilerinin Anlık Değişimi (2. Gün, 3 m/s).....	64
Şekil 4.48 Kolektör Enerjilerinin Anlık Değişimi (3. Gün, 0,5 m/s).....	65
Şekil 4.49 Kolektör Enerjilerinin Anlık Değişimi (3. Gün, 1 m/s).....	65
Şekil 4.50 Kolektör Enerjilerinin Anlık Değişimi (3. Gün, 2 m/s).....	66
Şekil 4.51 Kolektör Enerjilerinin Anlık Değişimi (3. Gün, 3 m/s).....	66

1. GİRİŞ

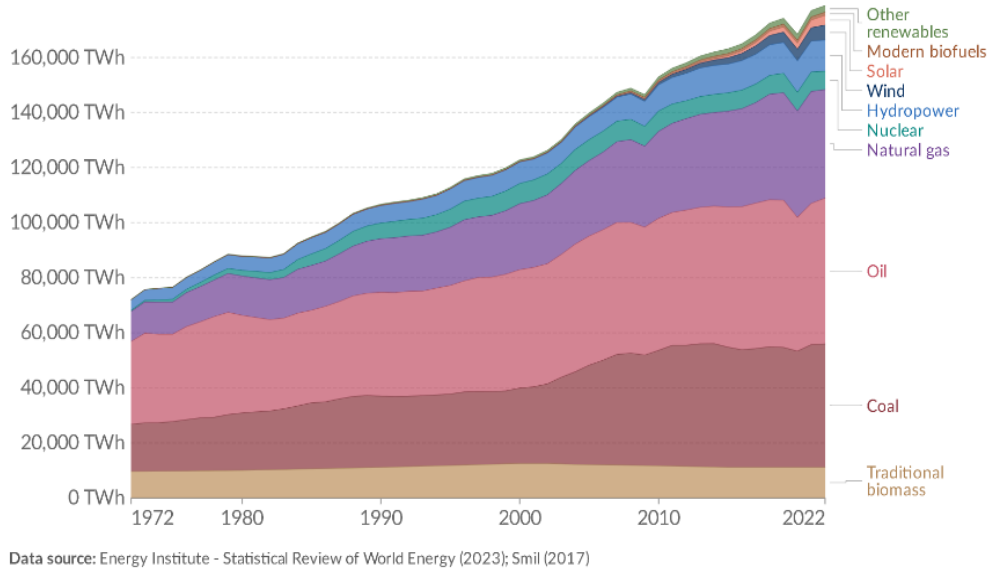
Bilimsel ve teknolojik gelişmeler, tüketimin çeşitlenerek büyümesi gibi nedenlerle bireysel ve endüstriyel enerji gereksinimi ve kullanımını arttırmaktadır. Bu durum, enerji arz güvenliğinin sağlanması için stratejik planlamalar yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Enerji arz güvenliğinin sağlanması, ithalat, üretim, iletim, depolama ve dağıtım gibi teknik seçenek çokluğunun sağlanarak sürekli geliştirme ve talebin yönetilmesi unsurlarını içermektedir. Ayrıca, enerjinin nitelikli olması, tasarruf ve verimlilik sağlanması, sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmesi ile iklim değişikliğiyle mücadele etmesi de önemli performans göstergeleridir. Enerji sektörü, küresel enerji arz ve talebi üzerine yapılan tahminlere göre gelecekte de büyük bir önem taşımaya devam edecektir.

Dünya Enerji Konseyi'nin (WEC) "Dünya Enerji Senaryoları" adlı raporu (2019), enerji alanında yaşanan büyük değişimin gelecek on yıllarda nasıl şekilleneceğini ortaya koymaktadır. Rapor, enerji sektörünün dönüşümü için üç olası yol sunmaktadır. Modern Caz, piyasa odaklı bir yaklaşım benimseyerek dünya ekonomisinin hızlı büyüme ve teknolojik gelişmeyle üretken hale gelmesini sağlayan dijital olarak etkinleştirilmiş teknoloji inovasyonu ve yeni iş modelleri aracılığıyla sürdürülebilirliğe katkıda bulunuyor. Bitmemiş Senfoni, hükümetler arası iş birliğiyle sürdürülebilirliği desteklemek için yeşil sübvansiyonlar gibi geniş bir mali teşvik ağı ve etkili karbon fiyatlandırması gibi önemli adımları içeren bir yaklaşım benimsemektedir. Küresel iş birliğini sınırlayabilecek Hard Rock, iklim değişikliğiyle mücadelede teknoloji kullanımını yerel kaynaklara göre zorunlu hale getirerek, korumacılığın serbest ticareti aştığı bir paradigmaya işaret ediyor. (World Energy Council, 2019).

Bu yolların ortak özelliği, toplam enerji tüketiminin daha az artacağı, elektrik tüketiminin ise daha çok artacağı varsayımdır. Elektrik sektöründe talep artışının büyük bölümü yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanması beklenmektedir. Küresel enerji ihtiyacı son 45 yılda hızla artmıştır. Dünya nüfusu 1978 yılında 4,30 milyar iken, küresel birincil enerji tüketimi 270,5 EJ, 2023 yılında nüfus 7,924 milyara ulaştığında enerji tüketimi 604,04 EJ'a yükseldi. Bu, iki kattan fazla bir enerji artışın nedenleri

arasında nüfus artışı, sanayileşme, kentleşme ve yaşam standartlarının yükselmesi olarak sayılmaktadır. (World Energy Council, 2019)

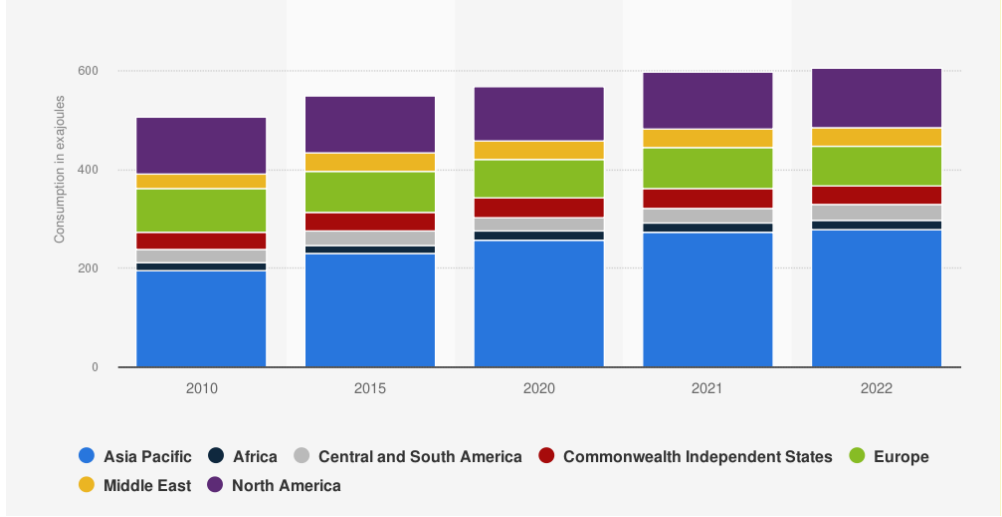
Dünyada kullanılan enerji kaynaklarının yıllara göre dağılımı Şekil 1.1’de verilmiştir. Son 50 yılda kaynak kullanımındaki artışlar sırasıyla, petrol %176, kömür %258, doğal gaz %360, toplam yenilenebilir enerji kaynakları %770 olmuştur. Görüldüğü gibi enerjinin sürdürülebilirliği, maliyeti ve iklim değişikliğine etkileri dikkate alınmasıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı oldukça artmıştır.



Şekil 1.1 Yıllara Göre Dünyada Toplam Tüketilen Enerji Kaynakları (Our World in Data, 2022)

Kişi başına birincil enerji tüketimi ise 1978 yılında 62,8 GJ iken, bu değer 2021 yılında %20 artışla 75,6 GJ'ye çıktı (BP, 2021).

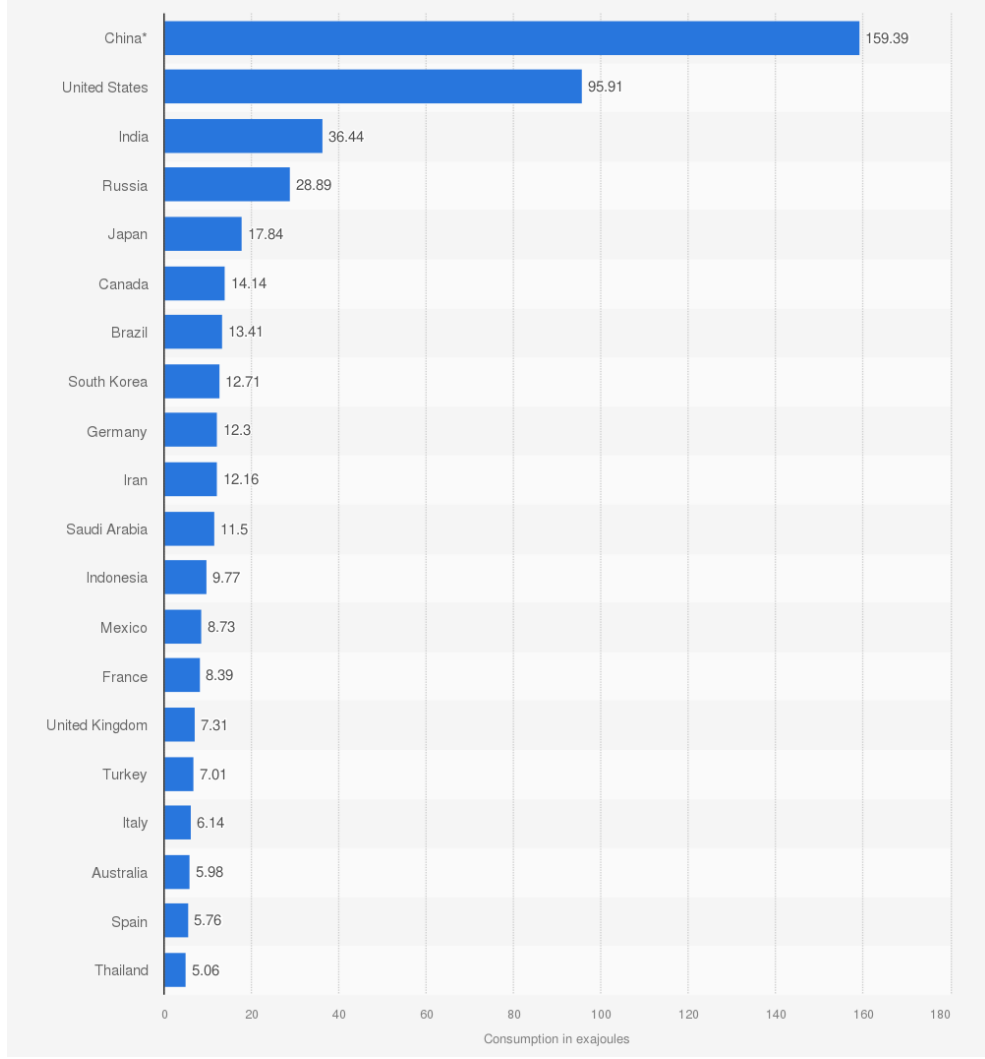
Kıtaların enerji tüketimlerinin son 12 yıllık dönemi Şekil 1.2’de verilmiştir. Kıtaların ortalama enerji tüketimi %20 artarken, en fazla artış Asya-Pasifik bölgesinde %31 olarak gerçekleşmiştir. Diğer kıtalar yaklaşık aynı oranda kalmıştır.



Şekil 1.2 Kıtaların Yıllara Bağlı Enerji Tüketimleri (Statista, 2023)

Teknolojinin hızla ilerlediği günümüzde, enerji sektörü de büyük bir değişime uğramaktadır. Enerji tüketimi, üretimi, dağıtımı ve depolanması gibi konularda yeni teknolojiler, yeni iş modelleri ve yeni politikalar ortaya çıkıyor. Bu değişim, enerji sektörünün geleceğini şekillendirecek ve önümüzdeki 40 yıl boyunca sektördeki aktörlerin karşılaşacağı fırsatlar ve zorluklar belirleyecek. Enerji sektöründe yaşanan bu dönüşümü anlamak ve uyum sağlamak için, sektördeki gelişmeleri yakından takip etmek ve analiz etmek gerekiyor.

Ülkelerin 2022 yılı itibarı ile enerji tüketimi Şekil 1.3'te verilmiştir. Enerji tüketiminde ilk beş ülke sırasıyla Çin, ABD, Rusya, Hindistan ve Japonya olup Türkiye 16. sıradadır.



Şekil 1.3 Ülkelerin 2022 Enerji Tüketimi (Statista, 2021)

Enerji tarihindeki evrimi değerlendirdiğimizde, kullanılan enerji kaynaklarını temelde üç ana kategoriye ayırabiliriz: fosil enerji kaynakları, nükleer enerji ve yenilenebilir enerji kaynakları.

1.1 Fosil Yakıtlar

Fosil yakıtlar, milyonlarca yıl önce yaşamış bitki ve hayvanların kalıntılarının, oksijensiz ortamlarda yüksek basınç ve sıcaklık altında kimyasal dönüşüme uğramasıyla oluşan enerji kaynaklarıdır.

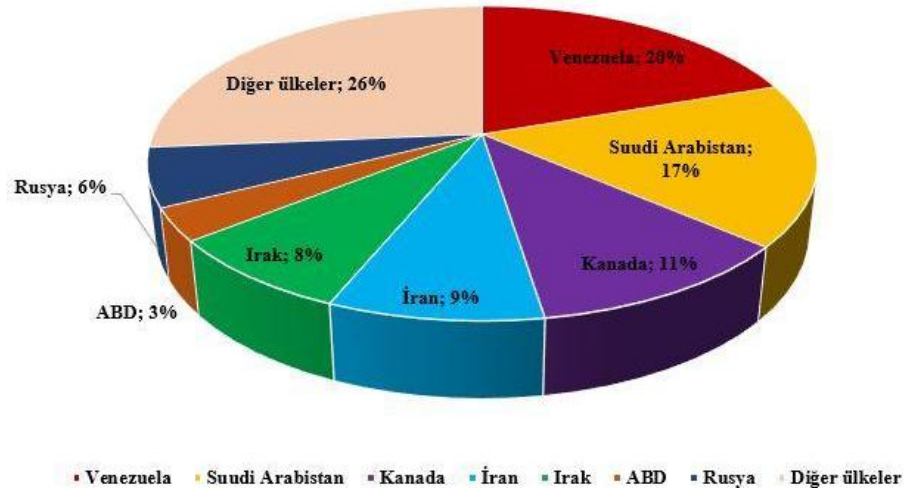
Yenilenemez Enerji Kaynakları olarak da bilinen fosil yakıtlar, elektrik üretiminde kullanıldıklarında, sınırlı bir rezerve sahip oldukları için tükenme riski taşırlar. Bu tür enerji kaynakları, sanayi devrimi ile yaygınlaşmış (özellikle kömür) ve

üretimde ana enerji kaynağı olarak tercih edilmişlerdir. Ancak, zamanla çevreye verdikleri zarar artmıştır. Fosil yakıtların yakılması sonucu ortaya çıkan bileşenler sera gazı etkisine ve küresel ısınmaya neden olmaktadır.

1.1.1 Petrol

Petrol, Latince kökenli bir kelimedir ve taşıyağı anlamına gelir. Petrol, yeryüzünde bulunan organik maddelerin zamanla bozulması, ısı ve basınç altında değişime uğraması sonucu oluşan bir hidrokarbon karışımıdır. Petrolün bileşiminde çoğunlukla hidrojen ve karbon bulunur, ancak az miktarda da olsa nitrojen, oksijen ve kükürt gibi elementler de içerir. Petrol, rafine edilmeden önce sıvı halde ham petrol, yarı katı veya katı halde ise asfalt, zift, katran gibi isimlerle anılır. Ham petrolün ana bileşenleri hidrojen ve karbon olduğu için hidrokarbon olarak da bilinir.

Petrol, modern dünyanın en önemli enerji kaynaklarından biri olup, ülkelere göre ham petrol rezervi Şekil 1.4'de verilmiştir. Petrolün bu kadar değerli olmasının nedeni, dünya enerji tüketiminin büyük bir bölümünü karşılaması ve çok çeşitli alanlarda kullanılabilmesidir. Petrol, elektrik üretiminden ulaşıma, sanayiden konuta kadar pek çok sektörde enerji ihtiyacını gidermektedir. Dünya genelinde petrolün ulaşım sektöründe enerji dışı uygulamalarda, sanayi sektöründe, konut sektöründe ve diğer amaçlarla kullanılmaktadır.



Şekil 1.4 Ünelere Göre Ham Petrol Rezervi (Anonim, 2023)

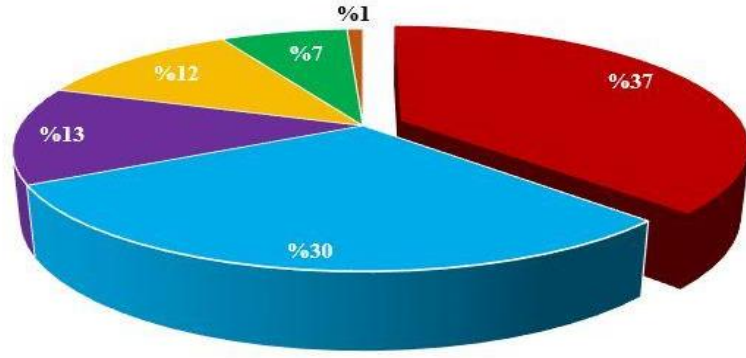
Türkiye, 2022 yılında 3,58 milyon ton ham petrol üretimine rağmen 33,49 milyon ton ham petrol ithal etmek zorunda kalmıştır. Bu durum, ülkemizin ham petrol ihtiyacının %90'ını dışarıdan karşıladığını göstermektedir. Türkiye'nin 2022 yılı sonu itibarıyla üretilebilecek ham petrol rezervi yaklaşık 70 milyon tondur. 2022 yılında Türkiye'de 421.408 metrelik sondaj çalışması gerçekleştirilmiş ve 191 adet ham petrol kuyusu açılmıştır (Anonim, 2023).

1.1.2 Doğalgaz

Doğal gaz, metan başta olmak üzere etan, propan gibi hafif moleküler hidrokarbonlardan meydana gelen, renksiz, kokusuz ve havadan hafif bir yakıttır. Doğal gazın bileşiminde ayrıca karbondioksit, azot, helyum, hidrojen sülfür gibi gazlar da bulunabilir.

Doğal gaz, yer altında petrol ile ya da tek başına yataklarda oluşur. Doğal gazın dünyadaki kullanım alanları Şekil 1.5'de verilmiş olup, en önemli kullanım alanı elektrik enerjisi üretimidir. Ayrıca konutlarda ısınma ve pişirme amaçlı, sanayide ise çeşitli üretim faaliyetlerinde kullanılır.

Ülkemizin doğal gaz ihtiyacının büyük bir kısmı ithalat yoluyla karşılanmaktadır. 2022 yılında ürettiğimiz 408 milyon m³ doğal gaz, tükettiğimiz 54,6 milyar m³ doğal gazın sadece %0,75'ini oluşturmaktadır (Anonim, 2023). Bu durum, ülkemizin enerji güvenliği açısından ciddi bir sorundur. Türkiye'nin doğal gaz rezervi 2022 itibarıyla yaklaşık 544 milyar m³ olarak tahmin edilmektedir. Bu rezervin verimli bir şekilde kullanılması ve üretimin artırılması için gerekli yatırımların yapılması gerekmektedir.



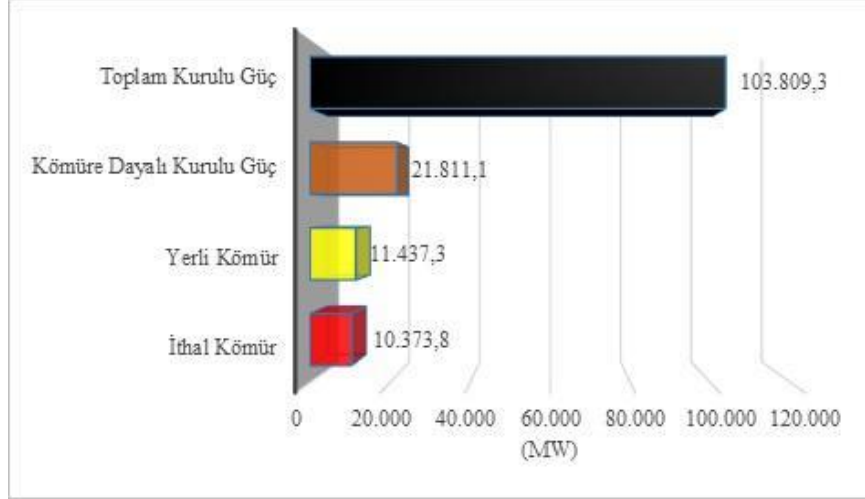
■ Sanayi ■ Konut ■ Ticari ve Kamusal Hizmetler ■ Enerji Dışı Kullanım ■ Ulaşım ■ Diğer

Şekil 1.5 Doğalgazın Dünya Geneline Kullanım Alanları (Anonim, 2023)

1.1.3 Kömür

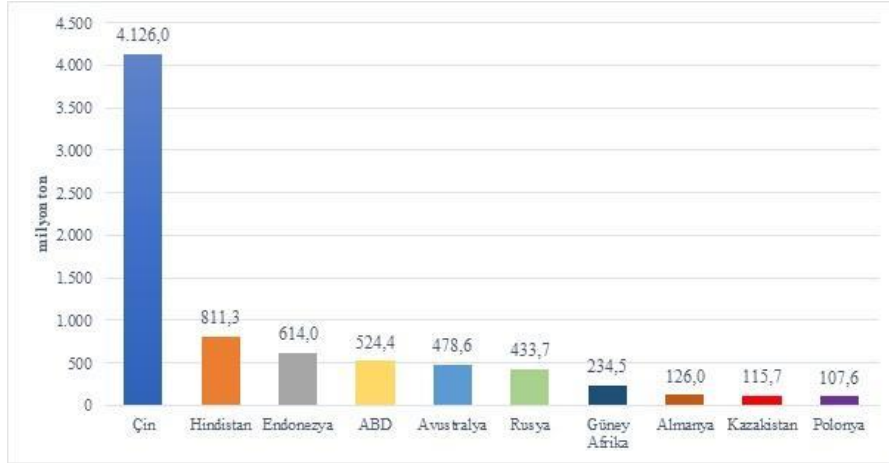
Kömür, bitkisel kökenli organik maddeler ve inorganik bileşenlerden meydana gelen sedimanter bir kayaç türüdür. Kömür oluşumu, bataklık ortamlarında bitki ve ağaç artıklarının gömülmesi ve milyonlarca yıl boyunca kimyasal ve fiziksel dönüşümlere uğraması ile gerçekleşir. Kömür, tarihsel olarak en çok kullanılan madenlerden biridir. Düşük maliyetli ve güvenilir bir enerji kaynağı olması nedeniyle tercih edilmiştir.

Türkiye'de kömürün kalitesi çok düşüktür. Linyit, en az enerji veren ve en çok kirlilik yapan kömür türüdür. Türkiye'de 2022 yılında üretilen kömürün %97'si linyit, %1,4'ü asfaltit ve %1,7'si taş kömürüdür (Anonim, 2023). 2022 Aralık itibarıyla ülkemizin kömüre dayalı santral kurulu gücü Şekil 1.6'da verilmiştir. Türkiye'nin elektrik üretiminin %21'i kömüre dayalı santrallerden sağlanmaktadır. Bu santrallerin %11'i yerli kömür kullanmaktadır (Anonim, 2023).



Şekil 1.6 Aralık 2022 İtibarıyla Ülkemizin Kömüre Dayalı Santral Kurulu Gücü (Anonim, 2023)

Dünya kömür üretiminde 2021 yılı itibari ile başlıca ülkeler Şekil 1.7'de verilmiş olup, Çin en fazla kömür üreten ülke olup, Hindistan, Endonezya, ABD ve Avustralya ilk beş ülkeyi oluşturmaktadır.



Şekil 1.7 Dünya Kömür Üretiminde 2021 Yılı İtibarıyla Başlıca Ülkeler (Anonim, 2023)

1.2 Nükleer Enerji

Nükleer enerji, atom çekirdeklerinin bölünmesi veya birleşmesi sonucu açığa çıkan enerjidir. Nükleer santrallerde, bölünme yoluyla nükleer enerji üretilir. Bölünme, uranyum gibi ağır elementlerin çekirdeklerinin nötronlarla bombardıman edilmesiyle gerçekleşir. Bu süreçte, çekirdek ikiye ayrılır ve yeni elementler, nötronlar ve büyük miktarda enerji oluşur. Bu enerji, ısı olarak reaktördeki soğutucu akışkan tarafından alınır. Soğutucu akışkan, genellikle su veya gazdır. Su kullanıldığında,

reaktördeki suyun kaynamaması için yüksek basınç altında tutulur. Bu su, bir ısı değiştiricide başka bir su devresine ısı verir. Bu ikinci devredeki su, buhar haline gelir ve buhar türbinini döndürür. Türbin, elektrik jeneratörüne bağlıdır ve elektrik üretir. Nükleer santrallerde, bölünme süreci zincirleme reaksiyon şeklinde devam eder. Yani, her bölünmeden çıkan nötronlar, yeni bölünmelere neden olur. Bu sayede, reaktörde sürekli ve kontrol edilebilir bir ısı kaynağı sağlanır.

Temmuz 2023 itibariyle, 31 ülkede 410 nükleer reaktör işletmede, 17 ülkede 57 adet nükleer reaktör de inşa halindedir. Nükleer santrallerde üretilen elektrik dünya elektrik arzının yaklaşık %10'una denk gelmektedir. İnşa halinde 42 nükleer reaktörler olup 4'ü ise Türkiye'dedir. Bu reaktörler hizmete alındığında toplam 8,000 MW kurulu güce sahip olacaktır (Anonim, 2023).

1.3 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları; biyokütle, rüzgâr, hidrolik, jeotermal, dalga ve güneştir.

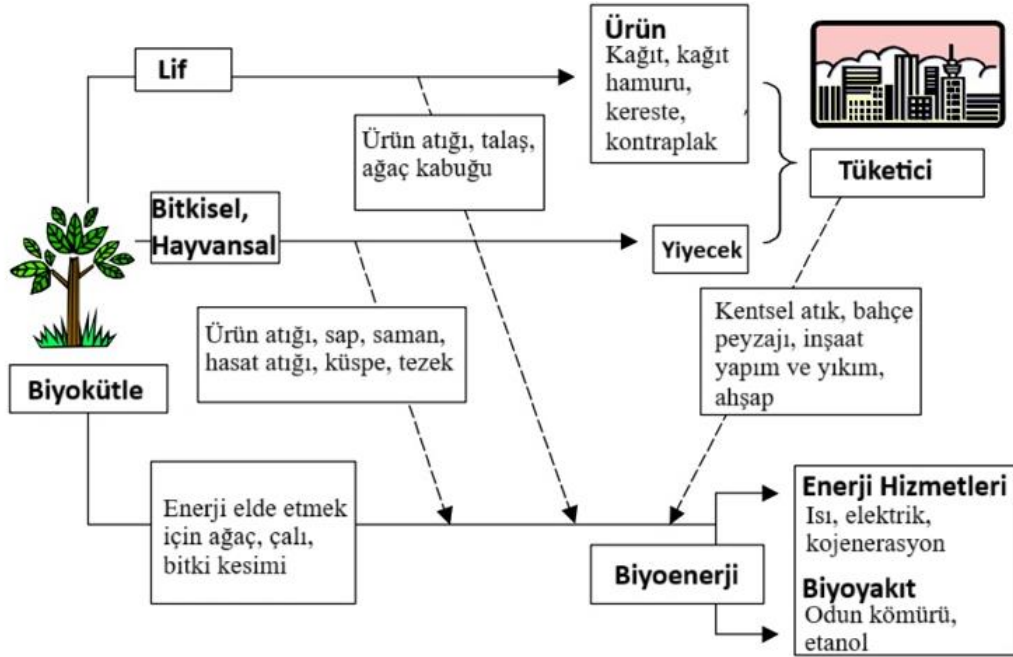
1.3.1 Biyokütle

Biyokütle, bitkilerden (algler dâhil), ağaçlardan ve ürünlerden kaynaklanan tüm organik materyali ifade eder ve temel olarak güneş enerjisinin fotosentez yoluyla toplanması ve depolanmasıdır. Biyokütle enerjisi veya biyoenerji, biyokütleyi ısı, elektrik ve sıvı yakıtlar gibi kullanışlı enerji biçimlerine dönüştürmektir. Biyoenerji, enerji üretimi için doğrudan araziden gelen enerji ürünleri veya gıda veya diğer ürünlerin işlenmesi sırasında oluşan artıklardan gelir. Bu sistem, güneşle üretilen malzemelerin, gıdanın ve lifin toplumumuzdaki akışının yönetimi olarak düşünülebilir. Biyokütle, doğrudan enerji üretmek için kullanılmaz, ancak ara enerji taşıyıcılarına dönüştürülebilir. Bu, kömür (daha yüksek enerji yoğunluğuna sahip katı yakıt), etanol (sıvı yakıt) veya üretici gaz (biyokütlenin gazlaştırılmasıyla) içerir.

Biyokütle, insanlar tarafından ilk enerji kaynağı olarak kullanılmıştır ve insanlık tarihinde neredeyse her zaman ana enerji kaynağımız olmuştur. Ancak son yüzyılda, fosil yakıtları çıkarmak ve yakmak için verimli teknikler geliştirilmesiyle kömür, petrol ve doğalgaz, sanayileşmiş dünyanın ana yakıtı olarak aħşabın yerini almıştır. Biyokütle yakıtlarının doğrudan yanması, gelişmekte olan ülkelerde evde

yemek pişirme ve ısınma için kullanıldığında, genellikle düşük maliyetli doğal ormanlardan elde edilen verimsiz biyokütle yakıtlarının kullanımını içerir ve bu da ormansızlaşma ve çevresel bozulmaya katkıda bulunabilir. Biyokütle yakıtlarının doğrudan yanması, gaz ve elektriğin en üstte olduğu tercih edilen enerji taşıyıcılarının merdiveninde “fakirin petrolü” olarak adlandırılmıştır.

Biyokütle enerjisi, gelişmiş ülkelerde elektrik ve süreç ısı üretimi için endüstriyel tesislerde veya belediye bölge ısıtma tesislerinde kombine ısı ve güç üretimi sistemleriyle dönüştürülür. Bu, biyokütle kaynaklarının daha temiz ve verimli bir şekilde kullanılmasına olanak tanır. Gelişmekte olan ülkelerde ise biyokütle enerjisi daha az yaygındır. Ancak, mevcut teknolojilerin daha geniş çapta uygulanması, biyokütle enerjisinin gelecekte daha önemli bir rol oynamasını sağlayabilir. Biyokütle ve biyoenerji akış diyagramı Şekil 1.8’de verilmiştir.

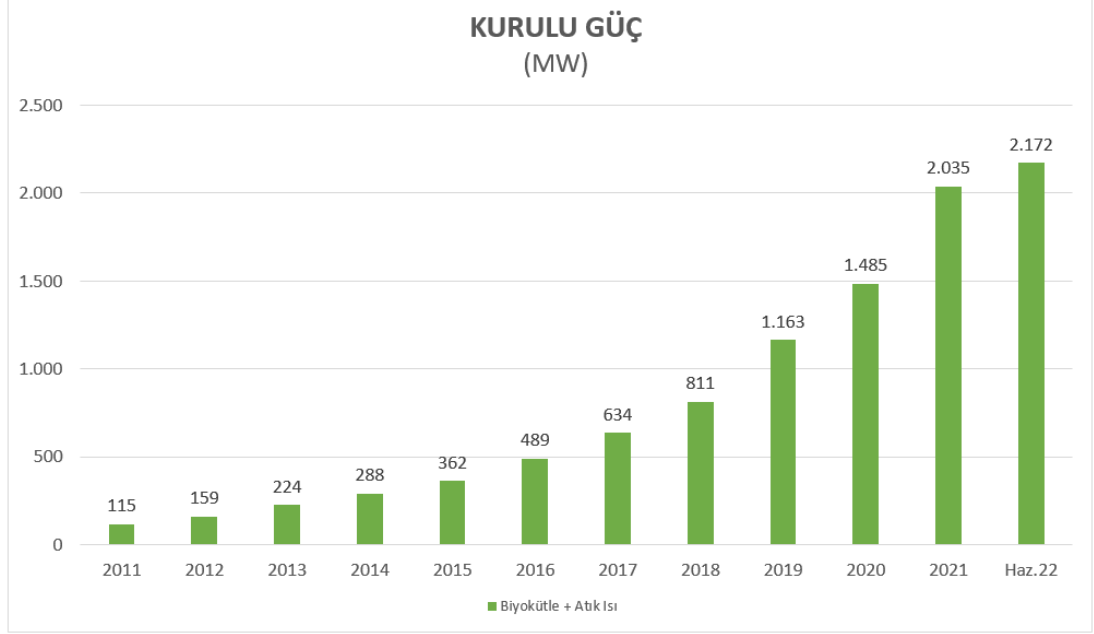


Şekil 1.8 Biyokütle ve Biyoenerji Akış Diyagramı (Chum ve Overend, 2001)

Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası (BEPA) verilerine göre ekonomik olarak toplanması mümkün olan atıklarımızın enerji eşdeğeri yaklaşık 3,9 MTEP/yıl olarak hesaplanmıştır.

Biyokütle ve atık ısı enerjisinden elde edilen kurulu güç, Haziran 2022 sonu itibariyle 2.172 MW seviyesindedir. Bu değer, toplam kurulu gücün %2.14'üne

karşılık gelmektedir (Anonim, 2022). Biyokütle ve atık ısı enerjisinin kurulu gücündeki yıllık değişim ve toplam kurulu güç içindeki payı Şekil 1.9'da gösterilmiştir.



Şekil 1.9 Biyokütle Kurulu Gücü (Anonim, 2022)

1.3.2 Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr, dünya genelinde temiz enerji kaynağı olarak önemli bir potansiyele sahiptir. Hem yaygın hem de kirlilik üretmeyen bir enerji kaynağıdır. Rüzgâr enerjisi, binlerce yıl boyunca malların taşınması, tahıl öğütme ve su pompalama gibi alanlarda insanlığın temel enerji kaynaklarından biri olmuştur. Rüzgâr enerjisi, Çin, Hindistan ve Pers'te 2000 yıl önce kullanılan rüzgâr değirmenlerinden, 20. yüzyılın başlarında Avrupa ve Kuzey Amerika'da elektrik üretimine kadar kaydedilmiş tarihimizde önemli bir rol oynamıştır. Endüstrileşme süreciyle birlikte, daha ucuz ve güvenilir enerji kaynakları olan petrol ve kömürün yaygınlaşmasıyla rüzgâr enerjisi üretimi önce yavaşça, ardından endüstrileşmiş ülkelerin çoğu kırsal alanına güç iletim hatları uzatılınca daha keskin bir şekilde azaldı. Ancak 70'lerdeki petrol krizleri, rüzgâr enerjisi teknolojisine yeniden ilgiyi tetikledi ve ağa bağlı elektrik üretimi, su pompalama ve uzak bölgelerde güç sağlama amacıyla sektörün yeniden doğmasını sağladı. Bu ivme, özellikle Danimarka ve Amerika Birleşik Devletleri gibi ülkelerin rüzgâr türbini teknolojisini geliştirmek için hükümet araştırma ve geliştirme (AR-GE)

programları kurmasını teşvik etti. Özel sektör araştırmalarıyla birlikte, bu, 1980’lerde Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa’da ilk modern ağa bağlı rüzgâr türbinlerinin kurulduğu dönemin yeniden doğuşuna yol açtı. 1990’larda bu gelişme hızlandı ve rüzgâr, dünya genelinde ticari olarak rekabetçi bir güç üretim endüstrisi haline geldi. Rüzgâr türbini görseli Şekil 1.10’da verilmiştir.

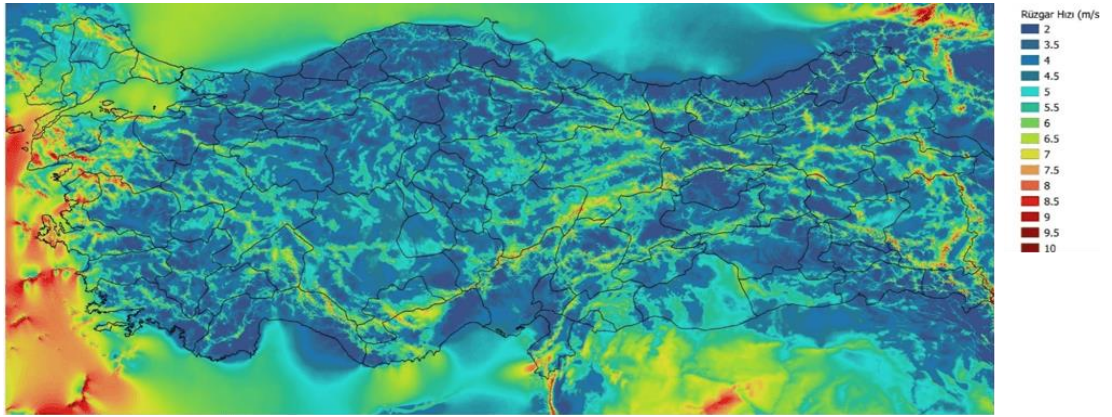


Şekil 1.10 Rüzgâr Türbini Resmi (Anonim, 2021)

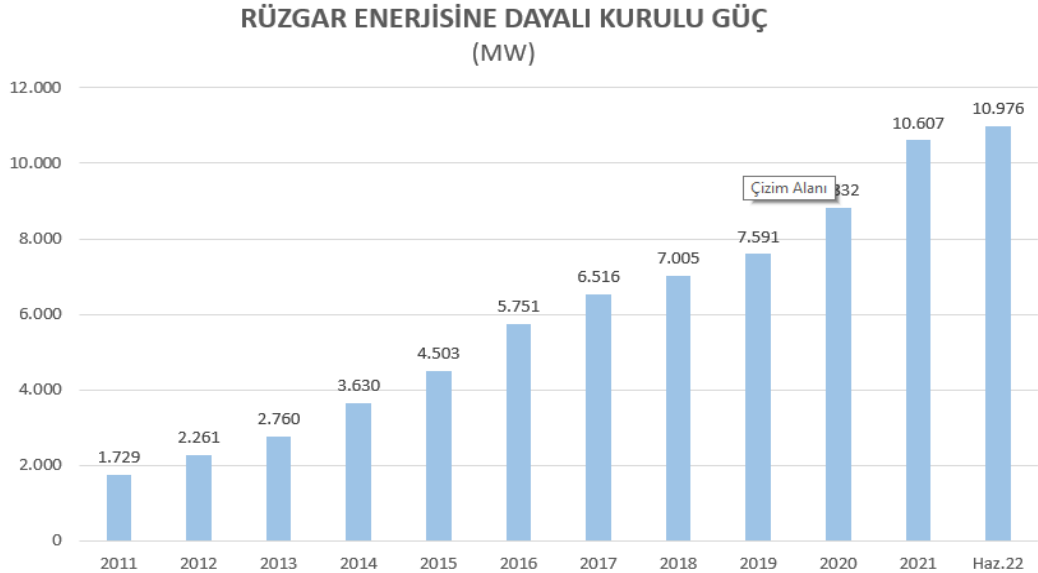
Rüzgâr enerjisi, dünya genelinde büyümeye devam eden bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Birçok ülke, rüzgâr enerjisi projelerine yatırım yaparak hem çevresel hem de ekonomik faydalar sağlamaktadır. Finansal kurumlar, rüzgâr endüstrisini umut vadeden bir yatırım fırsatı olarak görmekte ve ülkeler arası iş birlikleri artmaktadır. Büyük ölçekli projeler, Mısır, Nikaragua, Brezilya, Türkiye ve diğer birçok ülkede geliştirilmektedir. Daha büyük ve verimli türbinler, maliyetleri düşürmekte ve enerji üretimini artırmaktadır. Deniz üstü rüzgâr çiftlikleri, rüzgâr enerjisi gelişiminde yeni alanlar açmaktadır. Rüzgâr türbinlerinin maliyeti düşerken performanslarının artması, rüzgâr kaynaklarının, iletim ve dağıtım ağlarının ve piyasa güçlerinin bu gelişmeleri nasıl etkilediği önem kazanmaktadır. Eğer bu faktörler az etkiliyorsa, rüzgâr teknolojileri hızla elektrik piyasalarına yayılabilir. Ancak ekonomik olarak erişilebilir

rüzgâr kaynakları tükenirse, ağlar dolarsa veya piyasalar direnç gösterirse, rüzgâr enerjisi hala marjinal bir güç kaynağı olarak kalabilir.

2006 yılında geliştirilen Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası verilerine göre (Şekil 1.11 ve Şekil 1.12) yer seviyesinden 50 metre yükseklikte yıllık ortalama rüzgâr hızı 7,5 m/s ve üzeri olan kullanılabilir alanlarda, her kilometrekareye 5 MW gücünde rüzgâr santrali kurulması mümkündür. Böylece Türkiye’de rüzgâr enerjisi ile elektrik üretmek için kurulabilecek santrallerin toplam kapasitesi 47.849,44 MW olarak hesaplanmıştır (Anonim, 2022).



Şekil 1.11 Rüzgâr Enerjisi Türkiye Haritası (Anonim, 2022).

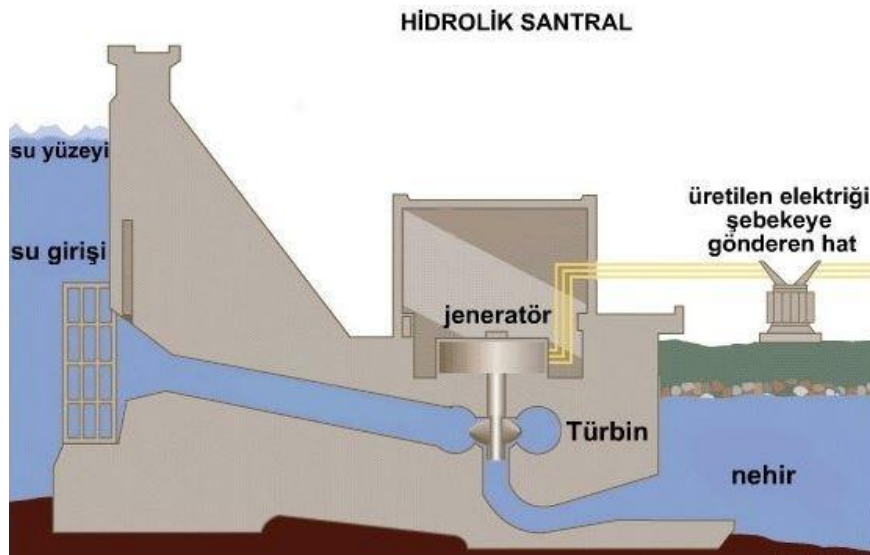


Şekil 1.12 Türkiye Rüzgâr Enerjisi Kurulu Gücü (Anonim, 2022)

1.3.3 Hidroelektrik

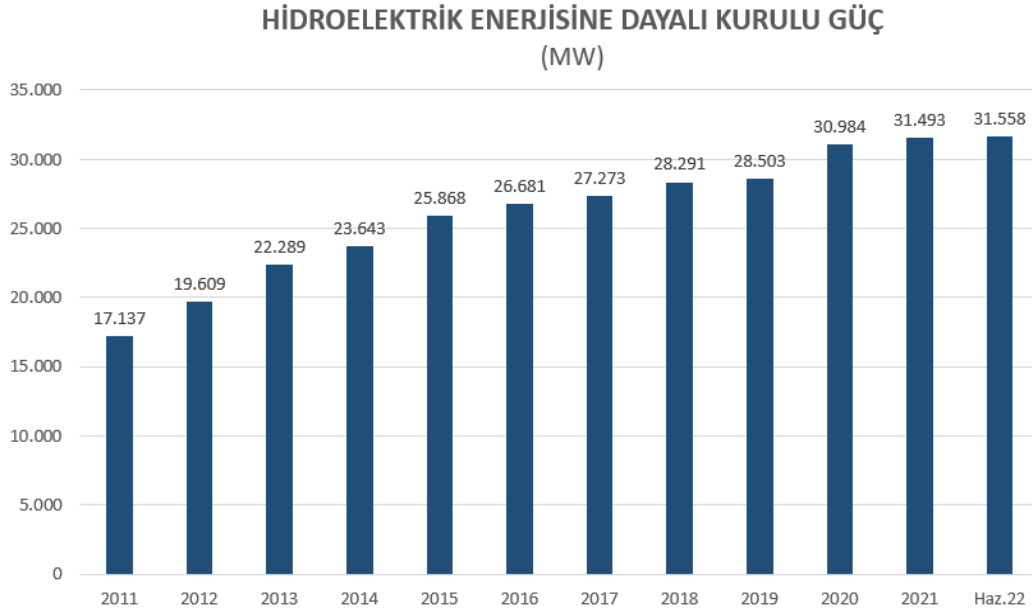
Suyun kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren bir teknolojidir. Hidroelektrik enerji, yenilenebilir, temiz ve güvenilir bir enerji kaynağı olarak kabul edilir. Hidroelektrik enerji üretimi, suyun yükseklik farkından yararlanarak türbinleri döndürür. Türbinler ise jeneratörlere bağlıdır ve elektrik üretirler. Hidroelektrik enerji, dünyanın en büyük yenilenebilir enerji kaynağıdır ve küresel elektrik üretiminin yaklaşık %16'sını sağlar. Hidroelektrik enerji hem büyük ölçekli hem de küçük ölçekli projelerle üretilebilir. Büyük ölçekli hidroelektrik santralleri, genellikle barajlarla oluşturulan yapay göllerde kurulur. Küçük ölçekli hidroelektrik santralleri ise, doğal akarsular üzerinde veya mevcut su yapılarında kurulabilir. Küçük ölçekli hidroelektrik santralleri, kırsal bölgelerdeki elektrik ihtiyacını karşılamak için uygun maliyetli ve çevre dostu bir seçenektir.

Hidroelektrik enerjinin avantajları arasında, sera gazı emisyonlarının azaltılması, enerji güvenliğinin artırılması, su yönetimi ve sulama imkânı sağlanması sayılabilir. Hidroelektrik enerjinin dezavantajları arasında ise, baraj inşaatının ekolojik ve sosyal etkileri, su kaynaklarının değişkenliği ve iklim değişikliğine bağımlılığı sayılabilir. Hidroelektrik enerjinin geleceği, teknolojik gelişmeler, politik destek ve çevresel sürdürülebilirlik kriterlerine bağlıdır. Hidroelektrik enerjinin dünya genelindeki payı, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarıyla rekabet edebilmek için verimlilik ve yenilik gerektirmektedir.



Şekil 1.13 Hidrolik Santral (Anonim, 2019)

Hidrolik enerji, ülkemizin en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. 2022 yılının sonunda (Şekil 1.14), hidrolik enerji santrallerinin toplam elektrik üretim kapasitesi 31.558 MW'a ulaşmıştır. Bu da toplam elektrik üretim kapasitesinin %31'ine denk gelmektedir. Hidrolik enerji santrallerinin kurulu gücündeki artış ve toplam elektrik üretim kapasitesi içindeki payı, aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.

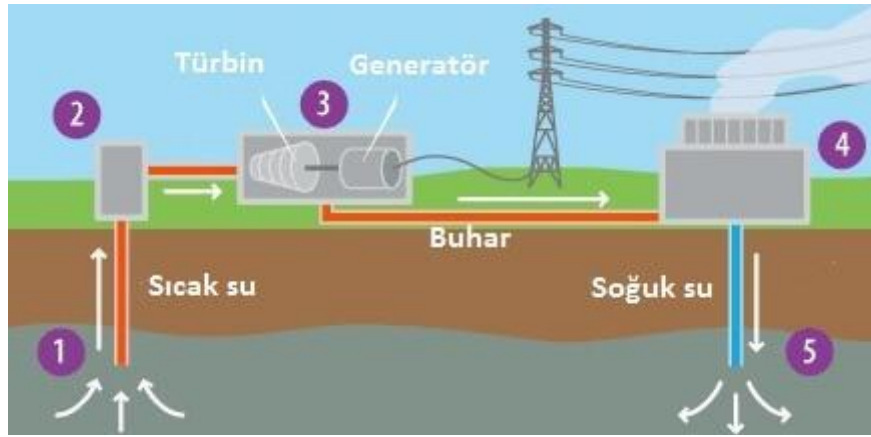


Şekil 1.14 Hidrolik Kurulu Gücü (Anonim, 2022)

1.3.4 Jeotermal

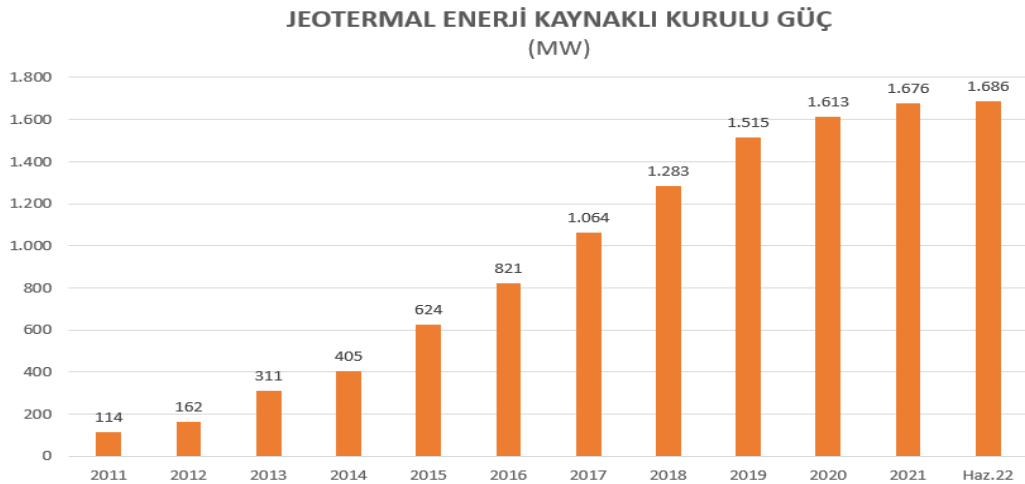
Jeotermal enerji, Dünya'nın iç kısımlarındaki ısı enerjisidir ve bu ısı, Dünya'nın çekirdeğindeki eski ısının bir kısmının yanı sıra, kıtaların birbirinin altına girdiği yerlerde oluşan sürtünme ve kayalardaki radyoaktif elementlerin doğal bozulması sonucu ortaya çıkar. İnsanlar binlerce yıl boyunca jeotermal enerjiden faydalanmış, sıcak su kaynakları gibi doğal jeotermal olayları banyo, yemek ve ısınma amaçlı kullanmıştır. Günümüzde teknolojik gelişmeler sayesinde jeotermal enerji kaynaklarını bulmak, sondaj yapmak, yüzeye sıcak su veya buhar çıkarmak ve bu enerjiyi doğrudan kullanmak (ısıtma, balıkçılık veya endüstriyel işlemler gibi) veya elektrik üretmek için kullanmak mümkündür. Jeotermal enerjinin potansiyeli çok büyüktür. Ancak bu enerji kaynağı, sonsuz gibi görünse de eşit şekilde dağılmamış, yoğunlaşmamış ve çoğu zaman ekonomik veya endüstriyel olarak erişilebilir olmayacak kadar derinlerde yer almaktadır.

Jeotermal enerji, yerin derinliklerindeki ısıyı yeryüzüne taşıyan sıcak su ve buhar kaynaklarıdır. Şekil 1.15'te jeotermal santralinin şeması verilmiştir. Ülkemiz, jeotermal enerji açısından zengin bir coğrafyaya sahiptir. Jeotermal enerji potansiyelimizin büyük bir kısmı Batı Anadolu'da bulunurken, diğer bölgelerde de önemli kaynaklar mevcuttur. Jeotermal enerji hem elektrik üretimi hem de ısıtma, seracılık gibi doğrudan kullanım alanları için değerli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır.



Şekil 1.15 Jeotermal Santrali (Anonim, 2016)

Ülkemizde jeotermal enerjiden elektrik üretimi 1975 yılında Kızıldere'de kurulan ilk santralle başlamıştır. Türkiye'nin jeotermal enerji kurulu gücü (Şekil 1.16) Haziran 2022 sonu itibariyle 1686 MW olup, toplam kurulu güç içindeki payı %1,66'dır. Jeotermal enerjinin kurulu gücü ve toplam kurulu güç içindeki payı yıllara göre aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir (Anonim, 2022).



Şekil 1.16 Jeotermal Enerji Kaynaklı Kurulu Gücü (Anonim, 2022)

1.3.5 Güneş

Güneş enerjisi, güneş ışığını elektrik veya ısı enerjisine dönüştüren bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi, iki ana teknoloji grubuna ayrılabilir. Güneş ışığını doğrudan elektriğe çeviren fotovoltaik (PV) sistemler ve termal sistemlerdir.

Güneş enerjisi, dünyanın en bol ve temiz enerji kaynağıdır. Doğrudan veya dolaylı olarak elektrik üretmek, ısıtmak veya soğutmak için kullanılabilir. Gelişmekte olan ülkelerde pişirme gibi temel ihtiyaçları karşılamak için uygun bir çözümdür. Kutu tipi güneş ocakları, yakıt tüketimini azaltır, çevre kirliliğini önler ve sağlıklı yemek pişirmeyi sağlar. Evlerde sıcak su sağlamak için de kullanılabilir. Ev tipi güneş su ısıtıcıları, fosil yakıtlara bağımlılığı azaltır, enerji tasarrufu yapar ve sera gazı emisyonlarını düşürür. Güneş enerjisi, tarımsal ürünleri kurutmak için de etkili bir yöntemdir. Güneş kurutma teknolojisi, gıda güvenliğini artırır, kaliteyi korur ve depolama sorunlarını çözer. Güneş kurutma teknolojisi, sebze ve meyve işlemede temiz, hijyenik ve sağlıklı bir yöntemdir. Bu teknoloji, enerji maliyeti gerektirmeden ürünleri ulusal ve uluslararası standartlara uygun olarak işleyebilmektedir. Bunun yanı sıra, enerji tasarrufu sağlamakta, ürün kalitesini yükseltmekte ve çevreyi korumaktadır. Güneş kurutma sistemi kullanımının CO₂ emisyonunu düşürdüğü de bilinmektedir.

Güneş termal sistemler, güneş ışınlarını toplayarak ısı enerjisine dönüştüren ve bu ısıyı elektriğe çeviren sistemlerdir; Şekil 1.17'de gösterilen basit bir şema ile açıklanabilir.

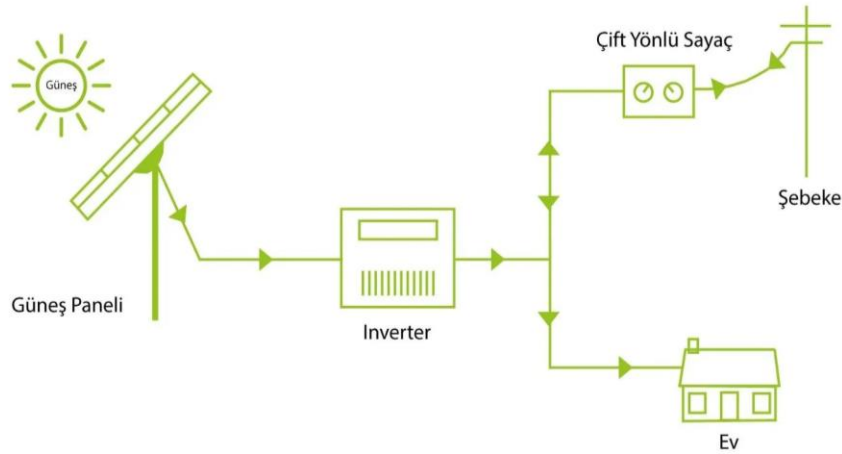
Güneş termal santrallerin temel bileşeni güneş kolektörüdür. Güneş kolektörleri, güneş ışınlarını yakalayarak sıvı veya gaz gibi bir akışkanı ısıtan özel cihazlardır. Güneş kolektörleri, şekil, boyut ve çalışma prensiplerine göre farklı tiplerde olabilir.

Fotovoltaik hücreler, güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken cihazlardır. Güneş ışığı, fotovoltaik hücrelere çarptığında, elektronlar serbest bırakılır ve bir elektrik akımı oluşturur. Fotovoltaik hücreler, güneş enerjisinin temiz, yenilenebilir ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını sağlar. Ancak, fotovoltaik

hücrelerin verimliliği ve maliyeti, güneş enerjisinin yaygın olarak kullanılmasının önündeki en büyük engellerdir.

Fotovoltaik sistemler, fotovoltaik hücrelerden oluşan modüller, invertörler, aküler ve diğer bileşenleri içeren elektrik üretim sistemleridir. Fotovoltaik sistemler, ışık enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür ve herhangi bir yakıt veya hareketli parça gerektirmez. Fotovoltaik sistemlerin avantajları arasında düşük bakım maliyeti, uzun ömür, sessiz çalışma ve çevre dostu olması sayılabilir. Ancak, fotovoltaik sistemlerin dezavantajları arasında yüksek başlangıç maliyeti, düşük güç yoğunluğu, güneş ışığına bağımlılık ve depolama sorunu sayılabilir.

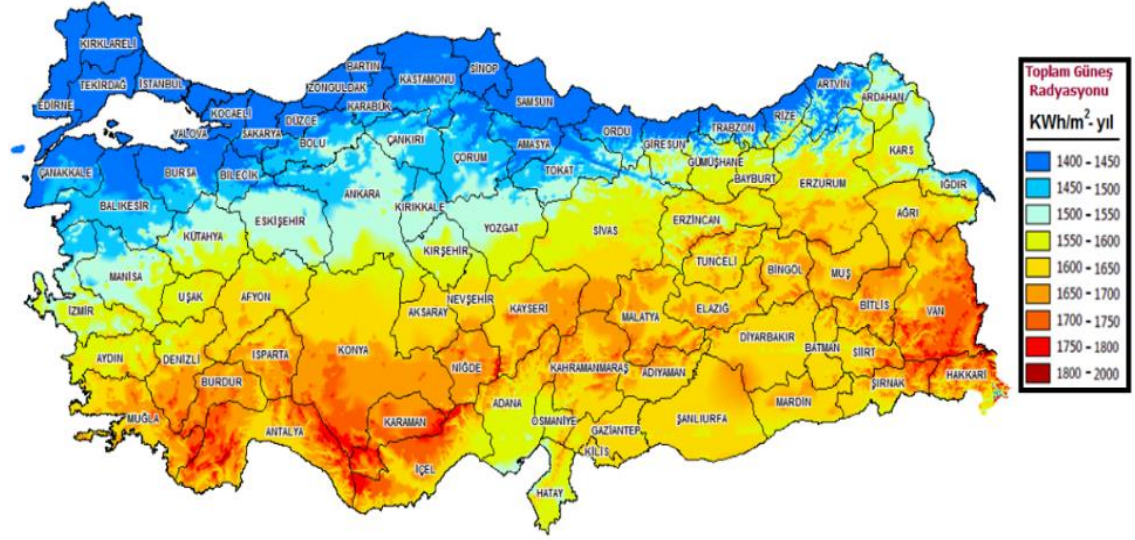
CO₂ emisyon azaltımı, küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadele etmenin en önemli yollarından biridir. Güneş enerjisi sistemleri, CO₂ emisyon azaltımına katkıda bulunabilir, çünkü fosil yakıtlara dayalı geleneksel enerji kaynaklarına göre çok daha az sera gazı üretir. Güneş enerjisi sistemleri, enerji verimliliğini artırabilir, enerji faturasını düşürebilir ve enerji güvenliğini sağlayabilir. Güneş enerjisi sistemleri, CO₂ emisyon azaltımının yanı sıra sosyal, ekonomik ve çevresel faydalar da sağlayabilir.



Şekil 1.17 Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistem (Anonim, 2020)

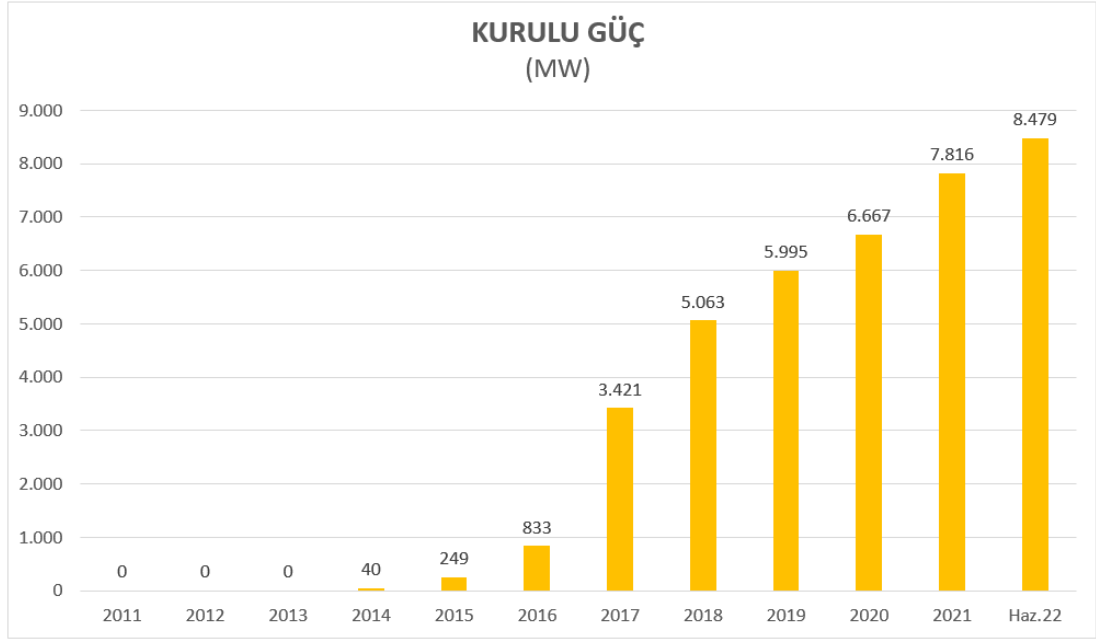
Güneş enerjisi potansiyelimiz, Türkiye'nin coğrafi konumu sayesinde oldukça yüksektir. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) verilerine göre (Şekil 1.18), ortalama yıllık güneşlenme süresi 2.741 saat ve ortalama yıllık toplam ışınlım

değeri 1.527,46 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Bu atlas, genel potansiyeli ve aylık ortalama küresel radyasyon dağılımını içermektedir. Güneş enerjisi, sürdürülebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahiptir ve ülkemiz bu alanda büyük bir potansiyele sahiptir.



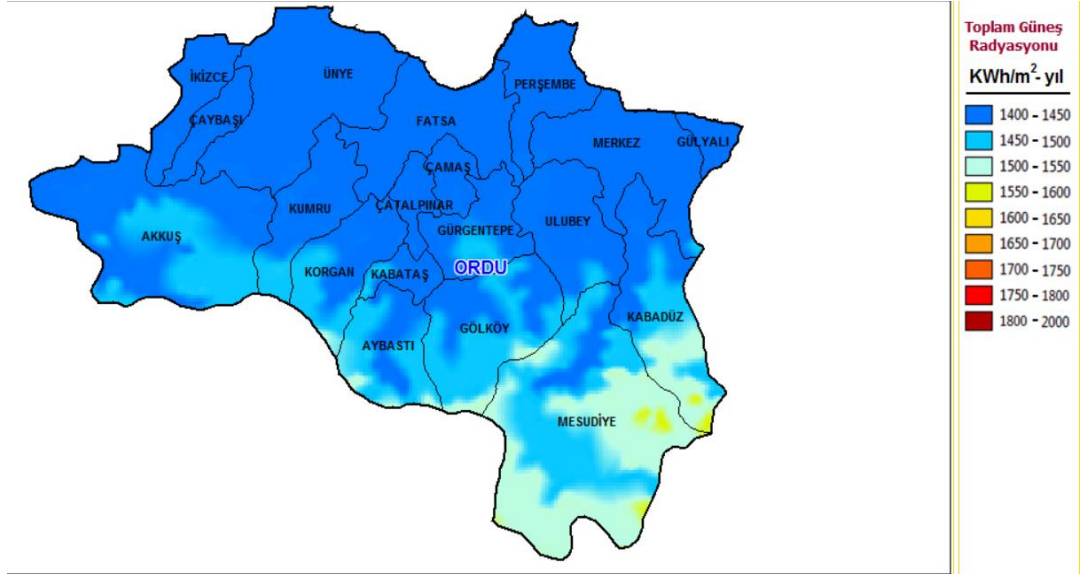
Şekil 1.18 Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (Gepa, 2006)

Güneş enerjisine dayalı elektrik üretimi, ülkemizin yenilenebilir enerji kaynaklarını çeşitlendirmesi ve çevre dostu bir seçenek olması açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Haziran 2022 sonu itibariyle güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücümüz 8,479 MW (Şekil 1.19), toplam kurulu güç içerisindeki oranı %8,35 olup yıllara göre kurulu güç değişimi ve toplam kurulu güç içerisindeki oranı aşağıdaki grafiklerde yer almaktadır. Bu grafikler, güneş enerjisinin son yıllarda hızla artan bir eğilim gösterdiğini ve elektrik sektöründe önemli bir paya sahip olduğunu göstermektedir. Güneş enerjisi, ülkemizin enerji bağımsızlığına katkı sağlamakta ve iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir rol oynamaktadır (Anonim, 2022).

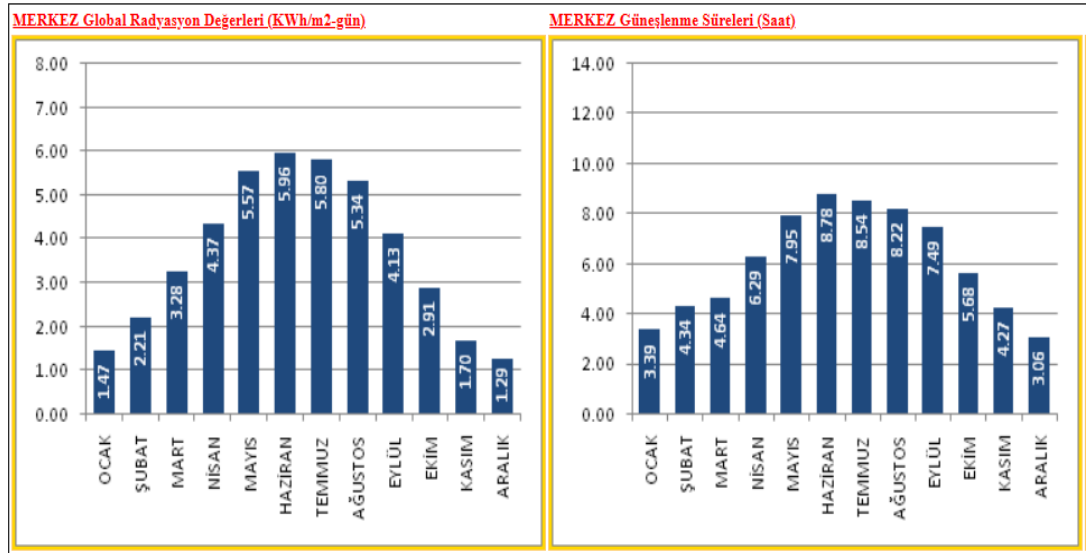


Şekil 1.19 Güneş Enerjisinin Kurulu Gücü (Anonim, 2022)

Türkiye'nin kuzeydoğusunda yer alan ve Karadeniz'e kıyısı olan Ordu ilinin güneş enerjisi üretim kapasitesini gösteren bir harita Şekil 1.20'de verilmiştir. Bu harita, Ordu ilinin yıllık ve aylık ortalama güneşlenme süresi, güneş radyasyonu, güneş enerjisi yoğunluğu ve güneş enerjisi verimliliği gibi parametreleri içermektedir. Bu parametreler, Ordu ilinin farklı bölgelerindeki güneş enerjisi potansiyelini karşılaştırmak için kullanılabilir. Güneş enerjisi potansiyel atlası, Ordu ilinin güneş enerjisinden yararlanmak için uygun alanları belirlemek, güneş enerjisi sistemlerinin tasarımı ve kurulumu için gerekli verileri sağlamak ve güneş enerjisi projelerinin fizibilitesini değerlendirmek için önemli bir araçtır. Ordu iline ait aylık Güneş radyasyonu ve güneşlenme süreleri Şekil 1.21'de verilmiştir.



Şekil 1.20 Ordu İline Ait Güneş Radyasyonu Haritası (Gepa, 2006)



Şekil 1.21 Ordu İline Ait Aylık Güneş Radyasyonu ve Güneşlenme Süreleri (Gepa, 2006)

Kolektörler;

Güneş enerjisi uygulamaları, ısı ve elektrik üretimi olarak iki ana kategoriye ayrılabilir. Isı üretimi için güneş ışınım enerjisini ısı enerjisine çeviren cihazlara Kolektör denir. Kolektörler, güneş ışınım enerjisini yutucu bir plaka ile emer ve bu enerjiyi sistemdeki akışkana (sıvı veya hava) aktarır.

Kolektörlerin farklı tipleri, çalışma yöntemlerine göre üç grupta sınıflandırılabilir.

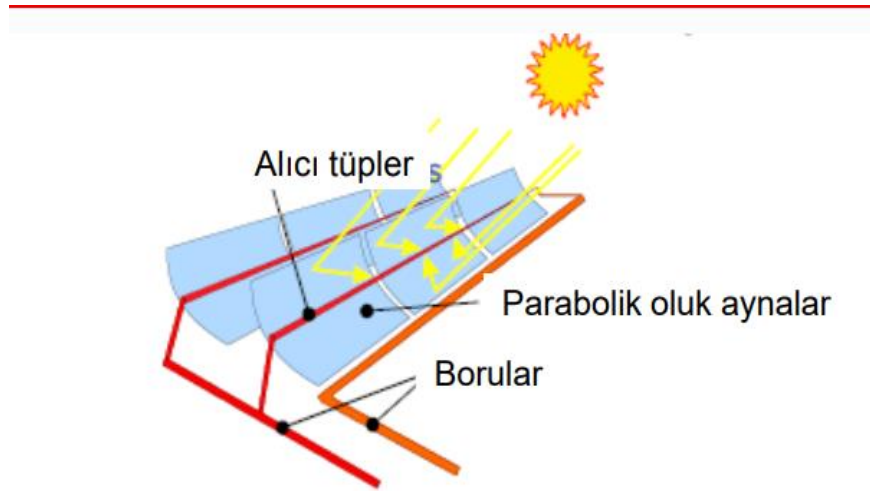
1: Parabolik Güneş Kolektörü

2: Sulu Güneş Kolektörü

3: Havalı Güneş Kolektörü

1.3.5.1 Parabolik Güneş Kolektörü

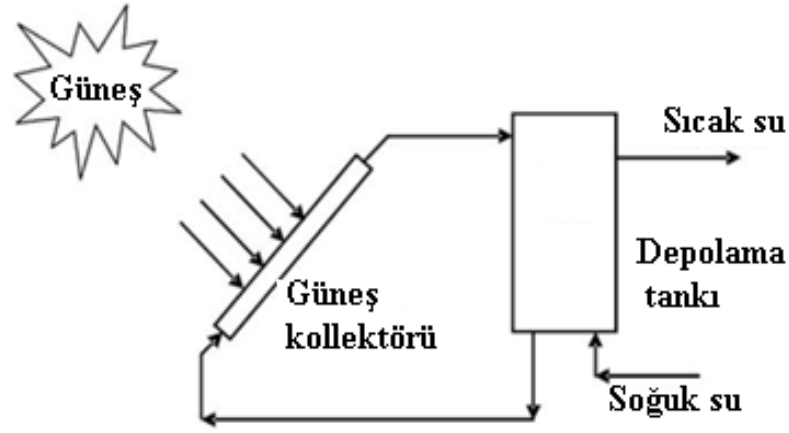
Parabolik kesitli yüzeyler, güneş ışınlarını absorban borunun odağına odaklar. Absorban boru, ışınlam enerjisini akışkana ısı olarak aktarır. Bu sistemler, güneşin doğu-batı hareketini takip eder. Elektrik, buhar ve sıcak hava üretiminde kullanılır. Parabolik kesitli yüzeyler, güneş enerjisini verimli bir şekilde toplamak için tasarlanmıştır. Şekil 1.22’de parabolik kesit yüzeyi verilmiştir.



Şekil 1.22 Parabolik Oluk (Livatyalı, 2011)

1.3.5.2 Sulu Güneş Kolektörü

Güneş Kolektörlerinde sıvı akışkan kullanmanın avantajı, ısı enerjisi daha verimli bir şekilde depolayıp iletebilmesidir. Sıvı akışkanlı güneş Kolektörleri, güneş enerjisini sıcak suya dönüştürerek konutlarda ısıtma ihtiyacını karşılamak için yaygın olarak tercih edilir. Bu tip Kolektörlerin tasarımı ve kurulumu diğer tiplere göre daha basit ve ekonomiktir.



Şekil 1.23 Basit sulu güneş Kolektörü sistemi (Panwar ve ark., 2011)

1.3.5.3 Havalı Güneş Kolektörü

Havalı güneş kolektörleri, güneş enerjisini havaya aktaran ve taşıyıcı akışkan olarak hava kullanan kolektör çeşitleridir. Bu kolektörler, yutucu plaka üzerinde toplanan güneş ışınlarını hava kanallarından geçirerek ısıtmakta ve bu ısıtılmış havayı farklı uygulamalarda kullanmaktadır. Havalı güneş kolektörleri, basit ve ucuz bir yapıya sahip olup, gövde, kasa, yalıtım malzemesi, yutucu plaka ve saydam cam örtü gibi temel bileşenlerden oluşmaktadır. Havalı güneş kolektörleri, kurutma, mahal ısıtma ve endüstriyel iklimlendirme gibi alanlarda ön ısıtma sistemleri olarak kullanılabilir. Havalı güneş kolektörlerinde, hava akışı doğal veya zorlanmış olabilir. Doğal akışta, hava sıcaklık farklarından dolayı kendiliğinden hareket ederken, zorlanmış akışta, radyal fan gibi bir cihazla hava hareket ettirilir. Şekil 1.24'te havalı güneş kolektörünün şematik gösterimi verilmiştir.

Havalı güneş Kolektörlerinin avantajları şunlardır:

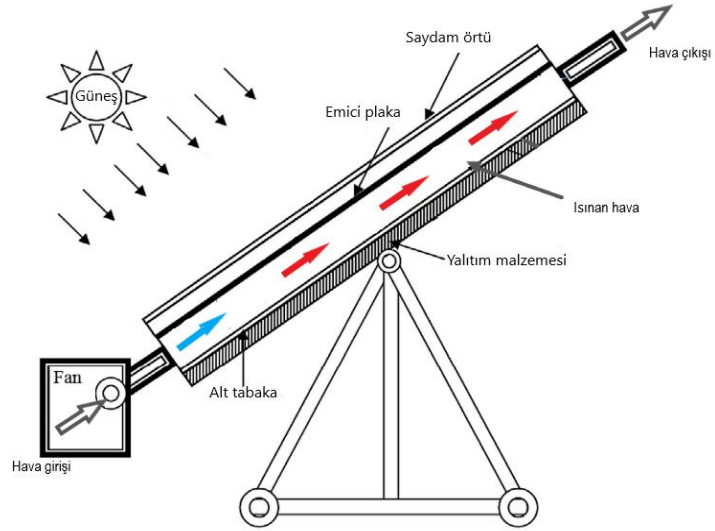
- Hava ucuz, temiz ve yenilenemez bir akışkandır.
- Hava donma veya kaynama riski taşımaz.
- Hava korozyona veya tortulanmaya neden olmaz.
- Hava ısı depolama kapasitesi düşük olduğu için, Kolektörün aşırı ısınması önlenir.
- Hava ısı transfer katsayısı yüksek olduğu için, Kolektörün verimi artar.
- Hava kurutma işlemlerinde nem alıcı olarak da kullanılabilir.

Havalı güneş Kolektörlerinin dezavantajları şunlardır:

- Hava yoğunluğu düşük olduğu için, büyük hacimli kanallar ve fanlar gerektirir.
- Hava sıcaklığı düşük olduğu için, ısıtma uygulamalarında ek ısıtıcılar gerekebilir.
- Hava izolasyonu zor olduğu için, ısı kaybı fazla olabilir.
- Hava sıcaklık kontrolü zor olduğu için, sistemin stabilitesi azalabilir.

Havalı güneş Kolektörlerinin performansını etkileyen parametreler şunlardır:

- Kolektörün geometrisi: Kolektörün boyutları, şekli, eğimi ve yönelimi performansını etkiler.
- Kolektörün malzemesi: Kolektörün yutucu yüzeyinin emiciliği, yansıtıcılığı ve iletkenliği performansını etkiler.
- Kolektörün izolasyonu: Kolektörün arkasındaki ve kenarlarındaki izolasyon malzemesi ve kalınlığı performansını etkiler.



Şekil 1.24 Şematik Havalı Güneş Kolektörü (Chabane ve ark., 2013)

Bölge şartlarında güneşten gelen ışınımın verimli şekilde alınıp sisteme aktarılmasını sağlayarak kolektörlerin verimlerini artıracak havalı tip güneş kolektörlerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut havalı tip güneş kolektörlerinde imalat kolaylığı nedeniyle düz yüzeyli veya kısmen silindirik kanal tipi kullanılmaktadır. Bölge şartlarına uygun bu iki tip kolektörün akışkan hava hızlarına bağlı performansları belirlenerek karşılaştırılacağı bir çalışmaya ihtiyaç bulunmaktadır.

Bu çalışmada, bölge şartlarında güneşten gelen ışınımın verimli şekilde alınıp sisteme aktarılmasını sağlayarak kolektörlerin verimlerini artıracak havalı tip güneş kolektörlerinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla, mevcut havalı tip güneş kolektörlerinde kullanılan düz yüzeyli ve kısmen silindirik kanal tipi kolektörlerin performansları, farklı akışkan hava hızlarında deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Bu iki tip kolektörün performans karşılaştırması yapılarak, bölge şartlarına en uygun olan kolektör tipi belirlenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yeh ve Lin (1996), güneş enerjisi ile çalışan ısıtma sistemlerinde, Kolektör içinde paralel olarak konumlandırılan engellerin performans üzerindeki rolünü hem deneysel hem de teorik olarak incelemiştir. Engellerin farklı noktalara yerleştirilmesi sonucunda, Kolektörün ortasına bir engel konulduğunda en yüksek verimliliğin sağlandığı ve engel sayısı arttıkça verimliliğin de arttığı gözlemlenmiştir.

Ammari (2003), hava akışının Kolektörün yan yüzeyinden geçtiği bir güneş kolektörünün ısı performansını ölçmek için deneyler gerçekleştirmiştir. Dört farklı hava debisi için elde edilen sonuçlara göre, 50 lt/s debide ısı verim %72 olarak hesaplanmıştır.

Kurtbaşı ve Durmuş (2004), farklı yutucu yüzeyleri olan güneş Kolektörlerinin performansı karşılaştırılmıştır. Kolektör verimi, basınç düşüşü ve havanın sıcaklık farkı gibi parametreler, enerji kaybını en aza indirmek için optimize edilmiştir. Bu parametrelerin Kolektör tipine ve yutucu yüzey malzemesine bağlı olarak nasıl değiştiği incelenmiştir.

Karim ve Hawlader (2006), V-oluklu kolektörün, benzer tasarıma sahip düz plaka kolektöründen %12 daha verimli olduğunu göstermiştir. Kolektör veriminin akış hızına bağlı olarak arttığını ve $0.035 \text{ kg/m}^2\text{s}$ akış hızını, kurutma uygulamalarında iyi verim ve çıkış sıcaklığı sağladığı için uygun değer olarak kabul etmiştir.

Sugözü ve Sarsılmaz (2006), güneşli gün sürelerinin fazla olduğu bölgelerde havalı güneş Kolektörü ile ısıtmanın yüksek verim sağladığı ve geleneksel sistemlere alternatif yaratacağına varmıştır. Yapılan çalışma, sistemin iç ortam sıcaklığını 5 ila 25 derece arasında arttırabileceğini ortaya koymaktadır.

Karslı (2007), dört farklı kolektör tipi arasında güneş ışınımı ve kolektörlerin yüzey şekline bağlı olarak önemli ölçüde değiştiğini ve kanat açısı 75 derece olan kolektörü, en yüksek verimliliğe ve hava sıcaklık artışına sahip olduğunu, kanatsız kolektörün ise en düşük değerlere sahip olduğunu görmüştür.

Özkaya ve ark. (2007), havalı güneş kolektör veriminin farklı gün ve sıcaklıklarda hangi değişkenlerden etkilendiği araştırmışlardır. Verim, hava hızı

arttıkça yükselmiştir. Kolektör veriminin yüksek hava hızlarında daha fazla olduğu sonucuna varmışlardır.

Bhushan ve Singh (2010), bir hava kolektörünün kanaldan geçen havaya ısı aktarım hızını artırmak için farklı pürüzlülük geometrilerini test etti. Pürüzlülüğün ısı transferi ve sürtünme özellikleri üzerindeki etkisi inceledi ve pürüzlendirilmiş emici plaka yüzeyinin termal performansını iyileştirdiğini bulmuştur.

Sabzpooshani ve ark. (2014), farklı kanat katsayılarının, cam kaplama kalınlığının, alt yalıtım kalınlığının ve giriş havası sıcaklığının farklı kütle akış hızlarında enerji verimliliği üzerindeki etkisini araştırdı. Kanat ve saptırma plakalarının kurulumu, düşük kütleli akış hızlarında enerji verimliliğini artırmakta, ancak yüksek kütleli akış hızlarında azalttığı görülmüştür.

Yıldırım ve Solmuş (2014), güneş enerjisinden yararlanmak için çift geçişli havalı güneş Kolektörleri tasarlamış ve bunların performansını değerlendirmişlerdir. Tasarımlarında, akış kanalı yüksekliğinin termo-hidrolik verim üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. Çalışmaları sonucunda, çift geçişli Kolektörün en iyi performans gösterdiği akış kanalı yüksekliğinin 4 cm olduğunu bulmuşlardır.

Bahrehand ve Ameri, (2015), kanal derinliği ve uzunluğunun belirli bir noktaya kadar artmasının sistem performansını olumlu etkilediğini sonrasında olumsuz etkilediğini, göstermiş ve Üçgen kanatçıklı sistemlerin, dikdörtgen kanatçıklı olanlardan daha fazla ısı transferi sağladığı ve daha düşük sürtünme kayıplarına sahip olduğu için enerji ve ekserji verimliliklerinin daha yüksek olduğu bulmuştur.

Sun ve ark. (2016), düz plakalı havalı güneş kolektörü ile çalışan bir sisteminin performansını incelemiştir. Güneş ışınımı ile verimliliğin, çıkış hava sıcaklığının, ortam sıcaklığının arttığı görülmüştür. Kütle akış hızı arttıkça, verimliliğin önce bir maksimum noktaya ulaştığını, sonra ise düştüğünü göstermiştir. Elde edilen verilere göre $I = 400 \text{ W/m}^2$ için $0,03 \text{ kg/s}$, $I = 700 \text{ W/m}^2$ için $0,04 \text{ kg/s}$ ve $I = 1000 \text{ W/m}^2$ için $0,045 \text{ kg/s}$ 'dir.

Shuilian ve ark. (2016), dört farklı tip havalı güneş kolektörü hazırlayarak termal performansı incelendi. Kolektör verimliliğinin artan hava akış hızıyla arttığı ve yüzey geometrisinin ısı transferini etkilediği görülmüştür.

Ghasemi ve Ranjbar (2016), tarafından yapılan bir araştırmada, parabolik güneş Kolektörünün nanoakışkan bazlı su ile çalıştırılmasının ısı verimliliği üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak, nanoakışkan kullanan Kolektörün saf suya kıyasla daha yüksek verimlilik gösterdiği bulunmuştur.

Ansari ve Bazargan (2018), düz plakalı bir güneş enerjili hava Kolektörünün ısı performansını artırmak için hava akış kanalına engeller yerleştirilmiştir. Engellerin düşük hava debisinde ısı verimi %9 iyileştirdiğini göstermiştir.

Fudholia ve ark. (2019), güneş simülatörü kullanarak Havalı güneş kolektörünün, sürdürülebilirlik endeksinin kütle akış hızı ile ters orantılı olarak azaldığını, ekserji verimliliğinin ise kütle akış hızı ile doğru orantılı olarak arttığını göstermiştir.

Sudhakar ve Cheralathan (2019), V kanallı havalı güneş kolektörünün termal verimliliğini artırmak için pim kanatları ile tasarladı. Test edilen dört tür güneş kolektörü arasında hem üstte hem de altta pim kanatları olan V kanallı kolektörün daha iyi performans verdiğini göstermiştir.

Abo-Elfadl ve ark. (2020), havanın bir kısmını emici plakanın üzerine çekmek ve ardından emici plakadan daha fazla ısıyı uzaklaştırmak için emici plakanın altındaki havanın devridaimini değerlendirdi. Sonuçlar, üst hava akış hızının artmasıyla emici plakanın sıcaklığının azaldığını gösterdi. Bu da ısı transfer katsayısının ve termal verimin artmasına neden oldu.

Darıcı (2020), üç farklı hava kütle debisi için yaptığı çalışmada sistemin performansını değerlendirmiştir. Sonuçlara göre, yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalarda düşük hava debisi tercih edilmektedir.

Khatri ve ark. (2020), güneş radyasyonu 600–800 W/m² arasında üç farklı hava akış hızı (3 m/s, 5 m/s ve 9 m/s) için performans analizi yapılmış ve 3 m/s akış hızında sistem verimliliği %40-50 aralığında, 5 m/s akış hızında verimliliği %65-70 aralığında bulunurken 9 m/s akış hızında daha az olduğu bulunmuştur.

Amraoui ve Benosman (2021), engellerle donatılmış düz havalı güneş kolektörünün sayısal modellenmesi yaparak akışkan akışı ve akışkan akışındaki ısı

transferi üzerindeki etkisini incelemiş ve Reynold sayısı arttıkça yerel Nusselt sayısının arttığını ve sürtünme faktörü azaldığını göstermiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Matematiksel Model ve Denklemler

Havalı güneş kolektörleri, güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştüren cihazlardır. Bu cihazlarda, güneş ışınları yutucu plaka tarafından emilir ve ısınır. Yutucu plaka, kolektör içindeki hava kanalına temas eder ve havayı ısıtır. Isınan hava, Kolektörden çıkarak ısıtılması istenen yere gönderilir. Bu sırada, kolektörün yalıtım kalitesi ve çevre koşulları, kolektörden çevreye olan ısı kaybını etkiler. Havalı güneş kolektörü, açık bir termodinamik sistem olarak modellenenbilir.

Kolektör üzerine gelen anlık güneş ışınımı I_g , birçok astronomik, geometrik ve coğrafik parametrenin fonksiyonudur ve yılın her günü ve günün her anı için farklıdır. Bu parametreler, Dünya'nın Güneş etrafındaki eliptik yörüngesi, eğikliği ve dönme hızı gibi astronomik faktörler; kolektörün yerel enlemi, yüksekliği ve yönü gibi coğrafik faktörler ve güneş saat açısı, zenit açısı ve atmosferik koşullar gibi geometrik faktörler tarafından belirlenir. Bu değişkenlerin hepsi, kolektör üzerine düşen güneş ışınımının miktarını ve dolayısıyla güneş enerjisi sistemlerinin performansını doğrudan etkiler.

Toplayıcı üzerine gelen ışınım miktarı;

$$Q_{ışınım} = I_g A_k \quad (3.1)$$

Burada I_g yatay düzleme düşen anlık direkt güneş ışınım değeridir. A_k kolektörün yüzey alanıdır. Toplayıcı açıklık alanı tarafından yutulan ısı, toplayıcı üzerine düşen ışınım ile maksimum optik verim η_{opt} ile çarpılarak bulunur

$$Q_{yut} = I_g \eta_{opt} \quad (3.2)$$

Maksimum optimum verim, yüzey özelliklerine bağlı olarak şu şekilde hesaplanır.

$$\eta_{opt} = \alpha \tau \quad (3.3)$$

Burada α yutma katsayısı ve τ geçirgenlik katsayısı olmak üzere, $\alpha \tau$ kolektörler tarafından emilen güneş radyasyonunun bir kısmını temsil eder ve esas olarak şeffaf örtülerin geçirgenliğine ve plakanın emiciliğine bağlıdır.

Toplayıcı faydalı ısı akışkan giriş ve çıkış sıcaklıklarına bağlı olarak kolektörden akışkan aktarılan faydalı enerji miktarı Q_{sistem} , havanın kolektöre giriş T_g ve çıkış sıcaklığı T_c olarak durumunda aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir:

$$Q_{sistem} = \dot{m}c_p(T_{\check{c}} - T_g) \quad (3.4)$$

Şeklinde olup burada,

- Q_{sistem} : Transfer edilen faydalı enerji (W)
 \dot{m} : Havanın kütleli debisini (kg/s),
 c_p : Havanın sabit basınçtaki özgül ısısını (J/Kg °C),
 A_k : Kolektör yüzey alanı (m²),
 $T_{\check{c}}$: Kolektör çıkış sıcaklığını (°C),
 T_g : Kolektör giriş sıcaklığını (°C),

Kütleli debi aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir;

$$\dot{m} = \rho VA \quad (3.5)$$

- ρ : Havanın yoğunluğunu (kg/m³),
 V_k : Hava akış hızı (m/s),
 A : Kolektör kesit alanını (m²),

Kolektörden geçen hava hızı, debimetreden ölçülen hava hızının süreklilik denklemi kullanılarak hesaplanmasından elde edilmiştir. Debimetre ile kolektör arasındaki süreklilik denklemi;

$$A_d V_d = A V_k \quad (3.6)$$

- A_d : Debimetre kesit alanı (m²),
 V_d : Debimetreden ölçülen hava hızı (m/s²),

Burada Q_{sistem} belirli bir süre boyunca kolektörden geçen havanın taşıdığı enerji miktarını hesaplamak için kullanılır. Depolanan enerji, kolektör sürekli rejimde olmadığı zamanlarda ısınma ve soğuma süreçlerindeki ısı ataletten kaynaklanır. Bu enerji miktarı, genel kayıp ve faydalı enerji miktarlarına kıyasla genellikle ihmal edilebilir düzeydedir. Tez çalışması kapsamında yürütülen deneyler, sürekli rejime oldukça yakın koşullarda gerçekleştirildiği için, depolama terimi göz ardı edilmiştir.

Anlık kolektör verimi, yüzeye gelen güneş ışınımının faydalı enerji olarak akışkana aktarılma oranı olarak tanımlanır. Bu oran, kolektörün güneş ışığını ne kadar etkili bir şekilde absorbe edip, bu enerjiyi ne kadar verimli bir şekilde ısı olarak akışkana aktarabildiğini gösterir. Verimlilik, kolektörün tasarımına, kullanılan malzemelere, ışınımın açısına ve yoğunluğuna bağlı olarak değişkenlik gösterir. Güneş

ışınımının kolektör üzerine olan anlık etkisi, bulunduğumuz yerin coğrafi konumuna ve mevcut zamana bağlı değişkenlik gösterir.

Deney düzeneğini değerlendirmek için Karşlı (2007) tarafından verilen verim denklemi kullanılmıştır. Bu denklem şu ifade ile verilebilir

$$\eta_{verim} = \frac{Q_{sistem}}{I_g A_k} \quad (3.7)$$

şeklinde olup burada,

η_{verim} : Kolektör verimini,

Q_{sistem} : Transfer edilen faydalı enerji (W)

I_g : Kolektör yüzeyine gelen ışıma miktarını (W/m²),

A_k : Kolektör ışıma yutma yüzeyinin alanını (m²),

Denklem (3.4) ve (3.7) dikkate alınarak kolektör verimini veren denklem aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$\eta_{verim} = (\dot{m} c_p (T_c - T_g)) / (I_g A_k) \quad (3.8)$$

Güneş enerjisi ile çalışan hava ısıtıcılarının performansını arttırmak için farklı kanal geometrileri tasarlanmış ve performansı test edilmiştir. Kanal açısının, güneş ışınlarını ne kadar emdiği ve bu enerjiyi havaya ne kadar aktardığı incelenmiştir. Geleneksel düz plakalı ve kısmen silindirik plakalı kolektörler karşılaştırılmıştır. Deney sonucu kanal şeklinin ve hızının kolektör verimini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir.

Nusselt sayısı (Nu), ısı transferinde kullanılan boyutsuz bir taşınım ısı transfer katsayısını temsil eder. Taşınım çalışmalarında, denklemleri boyutsuzlaştırmak ve değişkenleri boyutsuz sayılar halinde gruplandırmak, problemlerin daha kolay çözülmesini sağlar. Bu yöntem, toplam değişken sayısını azaltarak analizleri basitleştirir. Nu artarsa ısı transfer katsayısı artar, ısı kaybı azalır, ısı transfer katsayısının artmasıyla verim artar.

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (3.9)$$

h : Taşınım katsayısı (W/m²K),

D : Hidrolik çap (m),

k : İletim katsayısı (W/mK),

Büyük ölçüde havanın hızına bağlı olan boyutsuz Reynolds sayısı (Re), akışın karakterini belirlemek için esas alınır. Laminer akış düzenli ve tabakalı bir yapı gösterirken, türbülanslı akış rastgele ve düzensiz hareketlerle karakterize edilir. Kritik akış ise bu iki akış tipi arasındaki geçiş bölgesini ifade eder. Reynolds sayısı, akışkanın viskozitesi, yoğunluğu, hızı ve boru çapı gibi faktörlere bağlı olarak hesaplanır ve bu sayede borudaki akışın hangi rejimde olduğu tespit edilebilir.

$$Re = \frac{\rho v_s D}{\mu} \quad (3.10)$$

- ρ : Akışkanın yoğunluğunu (kg/m^3),
 v_s : Akışkanın kanal içindeki ortalama hızını (m/s),
 D : Hidrolik çap (m),
 μ : Akışkanın dinamik viskozitesini (kg/ms),

Giriş ve çıkış sıcaklıklarının ortalaması alınarak sıcaklık değişimlerinin yoğunluk ve viskoziteye etkisi hesaba katılmıştır.

Hidrolik çap (D) aşağıdaki ifade ile bulunur.

$$D = \frac{4A}{p} \quad (3.11)$$

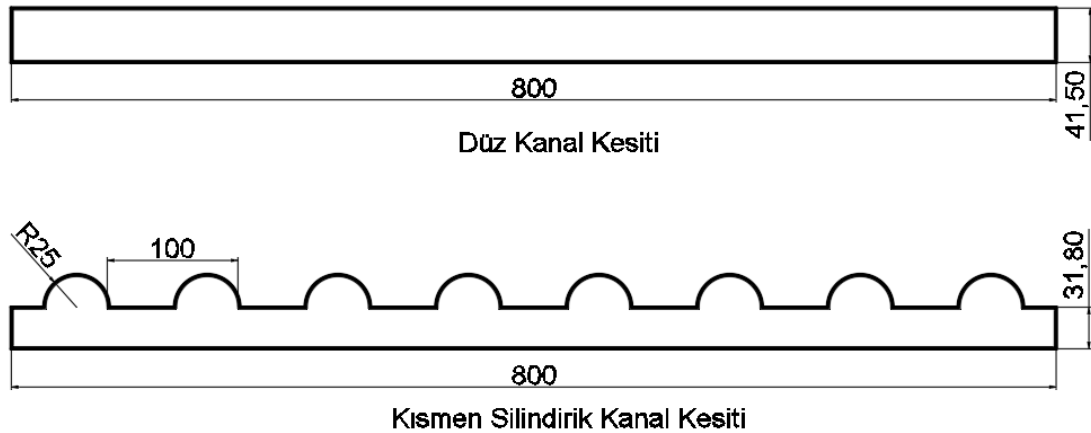
- A : Kanalın kesit alanı (m^2),
 p : Kanalın çevresi (m),

$$p_{\text{düz}} = 1,677 \text{ m}$$

$$p_{\text{silindirik}} = 1,862 \text{ m}$$

$$A = 0,0332 \text{ m}^2$$

Şekil 3.1’de kesit ölçüleri ve kanalın çevresi denklem 3.11 yerine konduğunda $D_{\text{düz}} = 0,0792 \text{ m}$ ve $D_{\text{kısmen silindirik}} = 0,0713 \text{ m}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.1 Kanal Geometrilerin Kesit Ölçüleri

Türbülanslı akış için hidrodinamik giriş uzunluğu,

$$L_{h,türbülanslı} = 1,359DRe^{1/4} \quad (3.12)$$

bağıntısından bulunur (Bhatti, 1987).

Türbülanslı akışta, boru giriş uzunluğu laminar akışa kıyasla daha kısadır ve Reynolds sayısının önemi azdır. Boru akışlarında giriş etkileri boru çapının 10 katı kadar ilerisinde önemsiz hale gelir (Çengel, 2012).

$$L_{h,türbülanslı} \approx L_{t,türbülanslı} \approx 10D \quad (3.13)$$

Türbülanslı akışta ısı transferi katsayılarının belirlenmesi, karmaşık fiziksel süreçler nedeniyle teorik olarak zor bir meseledir. Bu nedenle çoğu ısı transferi katsayısı ilişkisi deneysel çalışmalarla tespit edilir. Nusselt sayısı aşağıdaki bağlantı ile bulunabilir.

$$Nu_s = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4} \quad (3.14)$$

Bu eşitlik Dittus-Boelter denklemi olarak bilinir (Dittus ve Boelter, 1930). Burada Pr , prandtl sayısını ifade eder. Nusselt sayısı, bütün kanal uzunluğu içerisinde yaklaşık olarak kullanılabilir. (Çengel, 2012) Giriş ve çıkış sıcaklıklarının ortalaması alınarak sıcaklık değişimlerinin Prandtl sayısına etkisi hesaba katılmıştır.

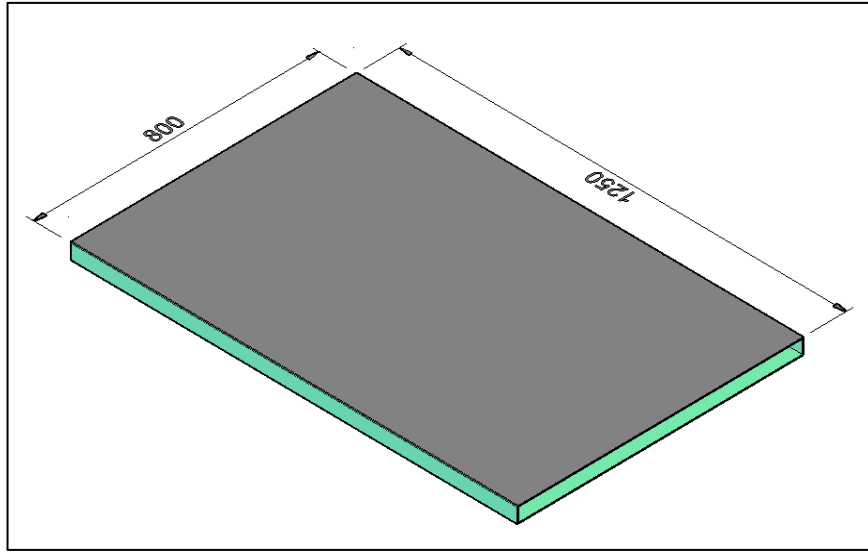
3.2 Deneysel Düzenek ve Yöntem

Bu deneysel çalışmada; ışıyım yutma yüzeyi düz ve kısmen silindirik olan iki tip havalı güneş kolektörlerinin verimleri karşılaştırılmıştır. Bu amaçla iki adet havalı güneş kolektörü tasarlanmış ve üretilmiştir. Projenin deneysel çalışmaları ışıyım gücü yüksek olan Karadeniz Bölgesi iklim şartlarında ağustos ayında yapılmıştır.

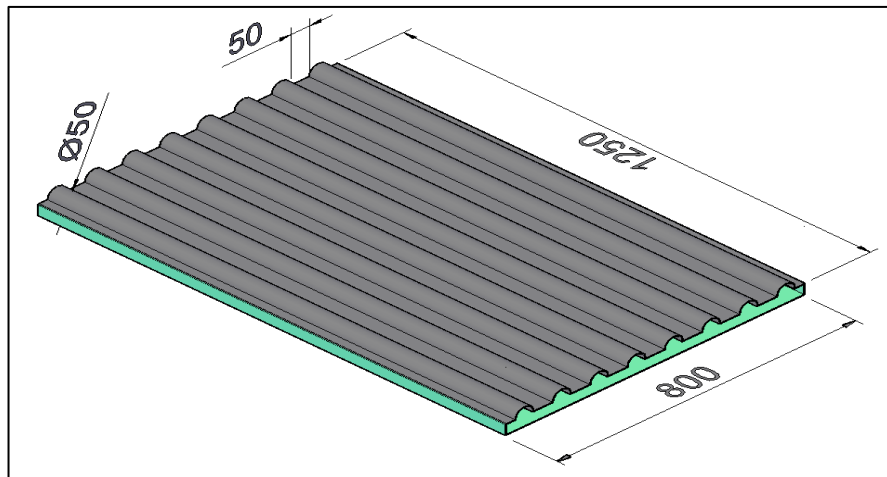
Kolektörlerin ışıyım yüzey alanları aynı ancak ışıyım yutma alanları farklıdır. Kolektörlerde havanın aktığı kesit alanları ve iç hacimleri aynıdır. Dolayısıyla her iki kanaldan akan havanın kütleli debisi aynıdır. Deneysel çalışmalar 01.08.2023 ile 04.08.2023 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. ışıyım değerleri Ordu Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınmıştır. Kolektöre giriş ve çıkış sıcaklığı K tipli termo elemanlarla ölçülmüş ve data logger excel ortamında zamana bağlı olarak kaydedilmiştir. Çıkış

sıcaklığı kolektörün çıkışından ölçülmüş ve farklı hava hızları için ölçüm yapmaya başlamadan sistemin kararlı hale gelmesi beklenmiştir.

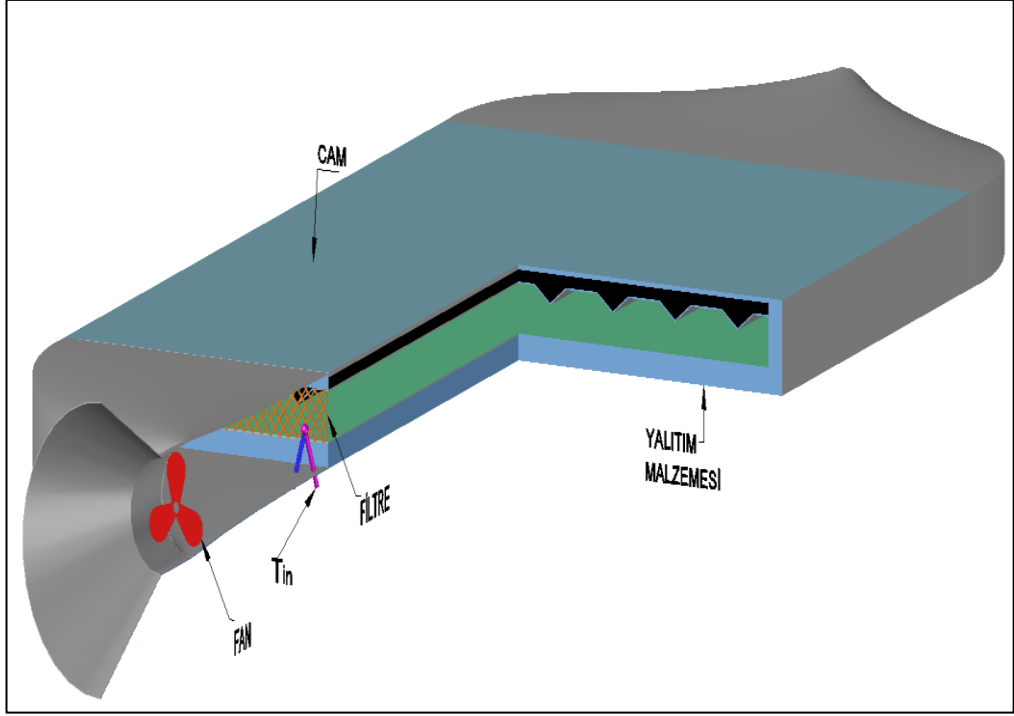
Çalışmalar kolektör kanalından geçen 4 farklı hava hızında (0,5 m/s, 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s) gerçekleştirilmiştir. Hava hızları Şekil 3.8’de verildiği gibi kolektör çıkışından debimetre ile ölçülmüş, ancak denklem 3.6 kullanılarak kolektör kanalından geçen havanın hızı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırılmış ve tartışılmıştır. Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’te kolektörlerin boyutları verilmiş, Şekil 3.4’te kolektörün kesit görünüşü, Şekil 3.5’te iki tip kolektörün birlikte bağlı olduğu sistemin şematik görünüşü verilmiştir.



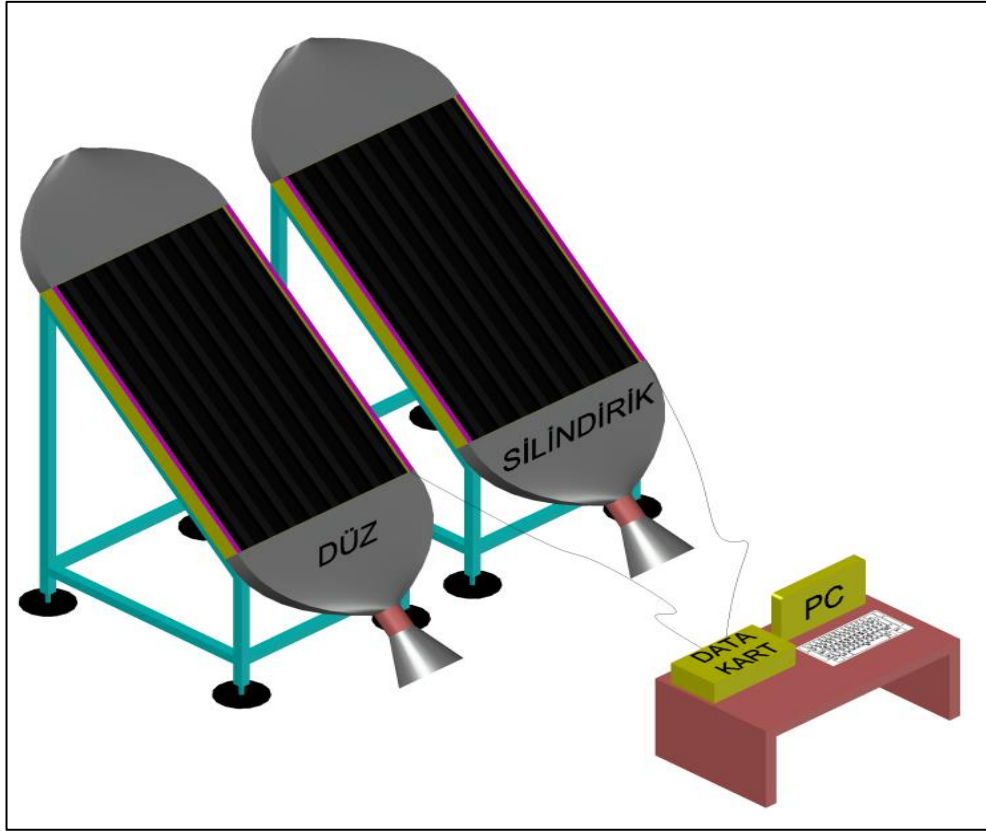
Şekil 3.2 Geometri Kanal Geometrisi



Şekil 3.3 Kısmen Silindirik Kanal Geometrisi



Şekil 3.4 Kolektörün Kesit Görünüşü



Şekil 3.5 Deney Düzenekinin Şematik Görünüşü

Deney düzeneği, iki adet güneş kolektörü, hava giriş-çıkış kanalları, radyal fanlar ve ölçüm cihazlarından oluşmaktadır. Güneş kolektörleri, geçirgen cam örtüler, yutucu plaka ve demir kasa gibi bileşenlerden yapılmıştır. Hava, debisi kontrol edilebilen radyal fanlar yardımıyla kolektörlerden geçirilmiştir.

Kolektörlerin saydam cam örtüsü, 4 mm kalınlığında ve 0,80 m x 1,25 m boyutundadır. Kolektör kasaları, dayanıklı ve uygun bir malzeme olan demirden imal edilmiştir. Kolektörler, 45° eğimde güneye bakacak şekilde konumlandırılmıştır.

Kolektör ışınım yutma yüzeyi 0.3 mm kalınlığında alüminyum sac malzemeden imal edilmiştir. Bu malzemenin güneşe bakan yüzeyi siyah mat boya ile kaplanarak güneş ışınlarının emilimi artırılmıştır. Isı yalıtımını sağlamak için kasanın alt ve yan yüzeylerine köpük levha malzeme uygulanmıştır. Cam plakaların hava sızdırmaz silikon kullanılarak sağlanmıştır.

Kolektör çıkışlarından farklı noktalarda sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. K-tipi termokupllar kullanılarak sıcaklıklar belirlenmiştir. Sıcaklık değerleri 12 kanallı bir veri kayıt cihazı olan PCE-T 1200 (Şekil 3.6) ile sürekli olarak takip edilmiş ve istenen zaman aralıklarında kayıt altına alınmıştır. Bu ölçümler kolektörün performansını değerlendirmek için kullanılmıştır.



Şekil 3.6 Sıcaklık Veri Kayıt Cihazı



Şekil 3.7 Hava Hız Ölçer

Kolektör çıkışında havanın ortalama akış hızını ölçmek için bir CFM 407113 dijital termal anemometre (Şekil 3.7) kullanılmıştır. Dijital termal anemometre, kolektörün çıkış borusuna sabitlenmiş ve ölçümler kaydedilmiştir. Düz ve kısmen silindirik kanallı havalı güneş kolektörlerinden oluşan deney düzeneğinin fotoğrafı Şekil 3.8’de verilmiştir.

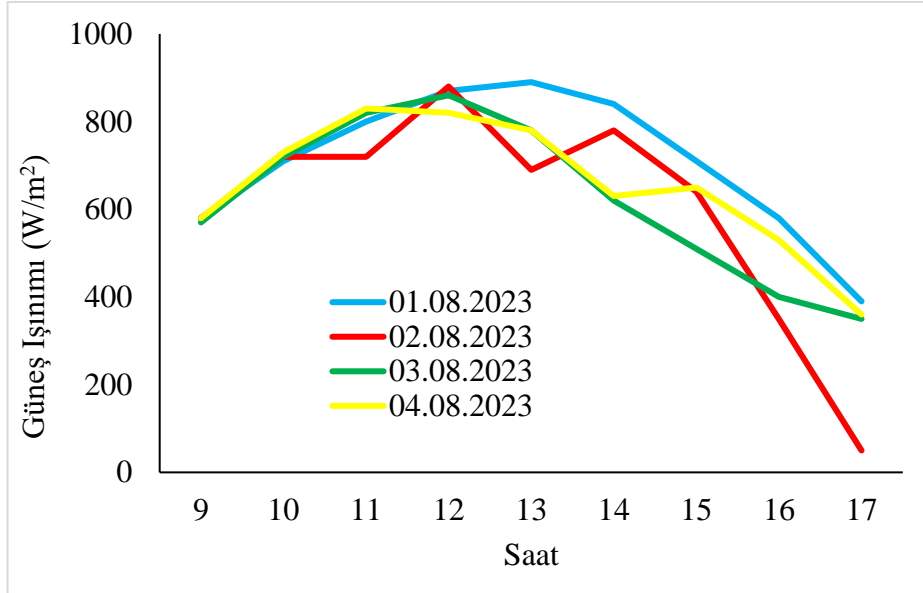


Şekil 3.8 Deney Düzeneği

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu deneysel çalışmada hava debisine göre kolektörlerin sıcaklık kazanımları ölçülmüştür. Ölçülen sıcaklık değişimlerinden elde edilen ısı kazanç ve kolektör verimleri elde edilmiştir.

Güneş ışınımı değerlerinin farklı günlerde yapılan deney sonuçlarını kıyaslamak için kullanışlıdır. Bu deneyleri gerçekleştirilen güneş kolektörlerinin performanslarını birbirlerine göre değerlendirmek amacıyla kullanılır. Deney gününde ölçülen kolektör yüzeyine gelen toplam ışınım değerlerinin saatlik değişimleri Şekil 4.1’de verilmiştir. Beklendiği üzere kolektörlere gelen anlık ışınım, gün ortasına (12:00-13:00) kadar artmakta ve gün ortasından sonra azalmaktadır. Işınım dalgalanmaları anlık bulutlanmadan kaynaklanmıştır.



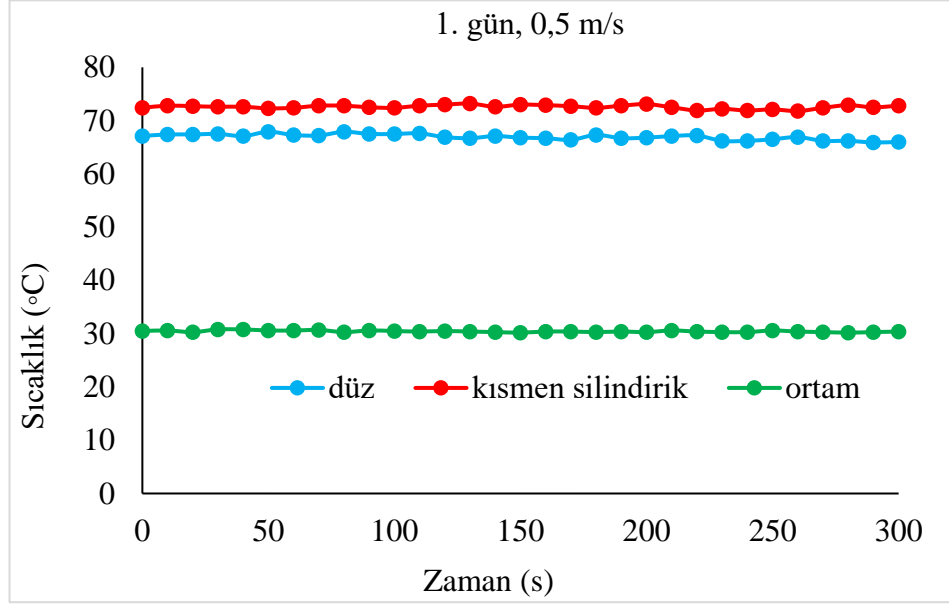
Şekil 4.1 Güneş Işınım Değerlerinin Saatlik Değişimi

4.1 Çıkış Sıcaklıklarının Karşılaştırılması

1. gün deneyleri;

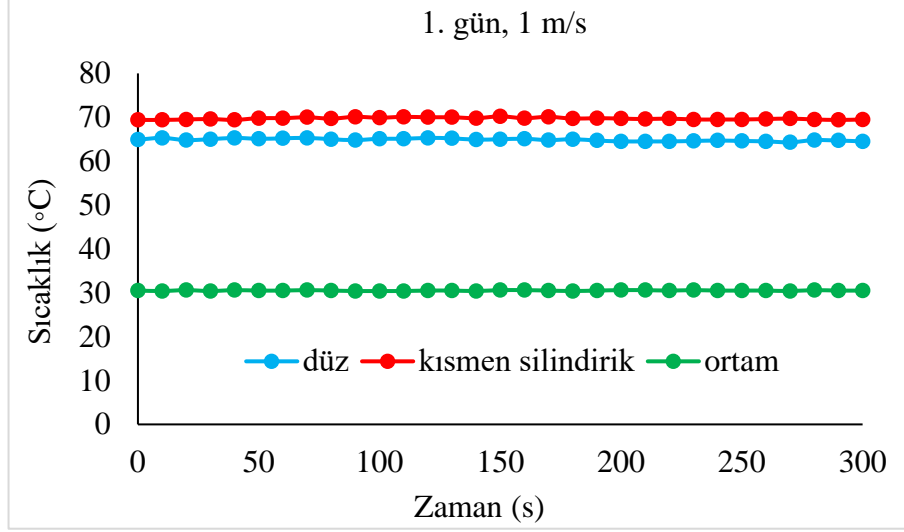
Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin çıkış sıcaklıklarının 0,5 m/s hava hızı için 1. gün karşılaştırılması Şekil 4.2’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi 30 °C ortam sıcaklığını düz kolektör bu hız değeri için 67 °C iken kısmen silindirik kolektörde sıcak 72 °C ‘ye çıkmıştır. Sırasıyla sıcaklık artışı giriş sıcaklığına göre

%123 ve %140 olarak gerçekleşmiştir. Kısmen silindirik kolektörden düz kolektöre göre %7,46 daha yüksek sıcaklık çıkışı elde edilmiştir.



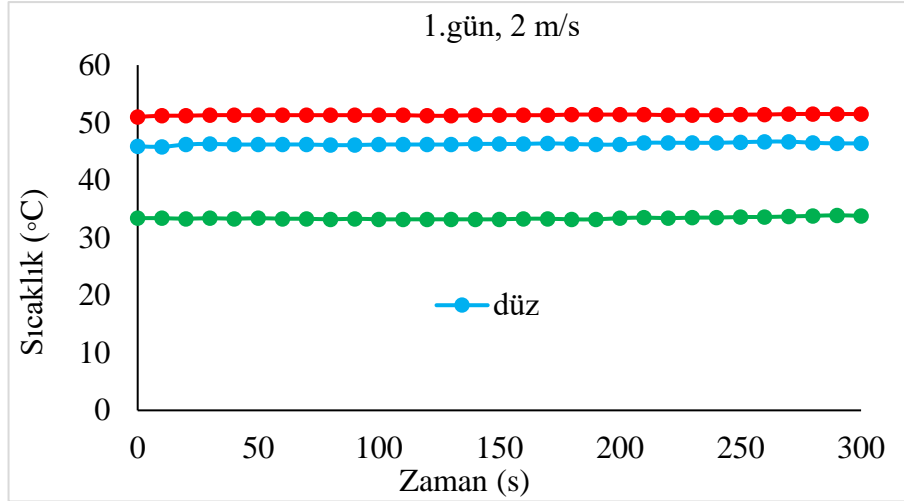
Şekil 4.2 Düz ve Kısmen Silindirik Havalı Kolektörlerin Çıkış Sıcaklıklarının 0,5 m/s Hava Hızı İçin Karşılaştırılması

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin çıkış sıcaklıklarının 1 m/s hava hızı için karşılaştırılması Şekil 4.3'te verilmiştir. Şekil 4.3'ten görüldüğü gibi 30,5 °C ortam sıcaklığını düz kolektör bu hız değeri için 65,3 °C iken kısmen silindirik kolektörde sıcak 70,2 °C 'ye çıkmıştır. Sırasıyla sıcaklık artışı giriş sıcaklığına göre %114,09 ve %130,16 olarak gerçekleşmiştir. Kısmen silindirik kolektörden düz kolektöre göre %7,50 daha yüksek sıcaklık çıkışı elde edilmiştir.



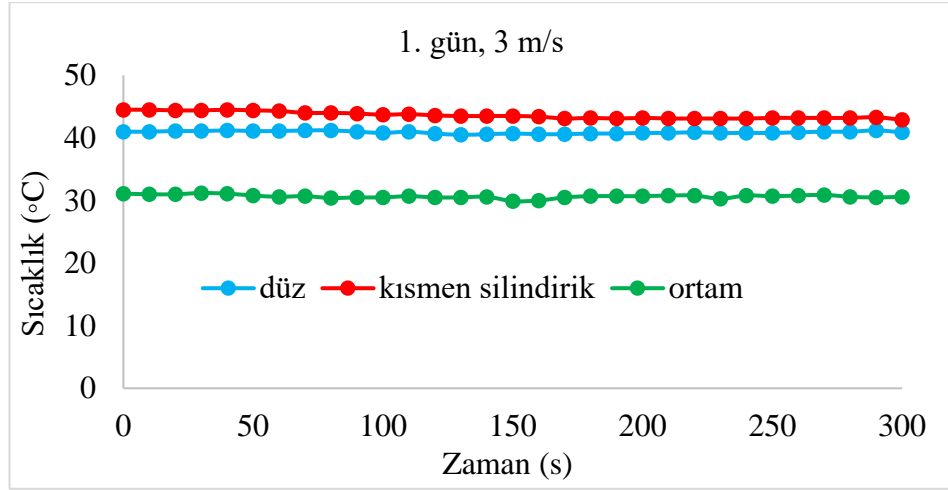
Şekil 4.3 Düz ve Kısmen Silindirik Havalı Kolektörlerin Çıkış Sıcaklıklarının 1 m/s Hava İçin Karşılaştırılması

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin çıkış sıcaklıklarının 2 m/s hava hızı için karşılaştırılması Şekil 4.4'te verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi 33,2 °C ortam sıcaklığını düz kolektör bu hız değeri için 46,3 °C iken kısmen silindirik kolektörde sıcak 51,3 °C 'ye çıkmıştır. Sırasıyla sıcaklık artışı % 39,45 ve %54,51 olarak gerçekleşmiştir. Kısmen silindirik kolektörden düz kolektöre göre %10,79 daha yüksek sıcaklık çıkışı elde edilmiştir.



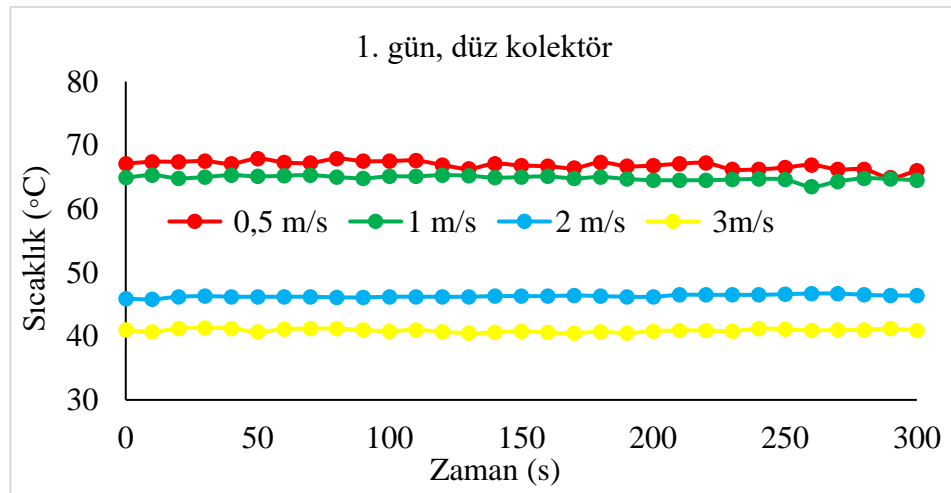
Şekil 4.4 Düz ve Kısmen Silindirik Havalı Kolektörlerin Çıkış Sıcaklıklarının 2 m/s Hava Hızı İçin Karşılaştırılması

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin çıkış sıcaklıklarının 3 m/s hava hızı için karşılaştırılması Şekil 4.5'te verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi 31,2 °C ortam sıcaklığını düz kolektör bu hız değeri için 41,2 °C iken kısmen silindirik kolektörde sıcak 44,5 °C 'ye çıkmıştır. Sırasıyla sıcaklık artışı %32,05 ve %42,62 olarak gerçekleşmiştir. Kısmen silindirik kolektörden düz kolektöre göre %8 daha yüksek sıcaklık çıkışı elde edilmiştir.

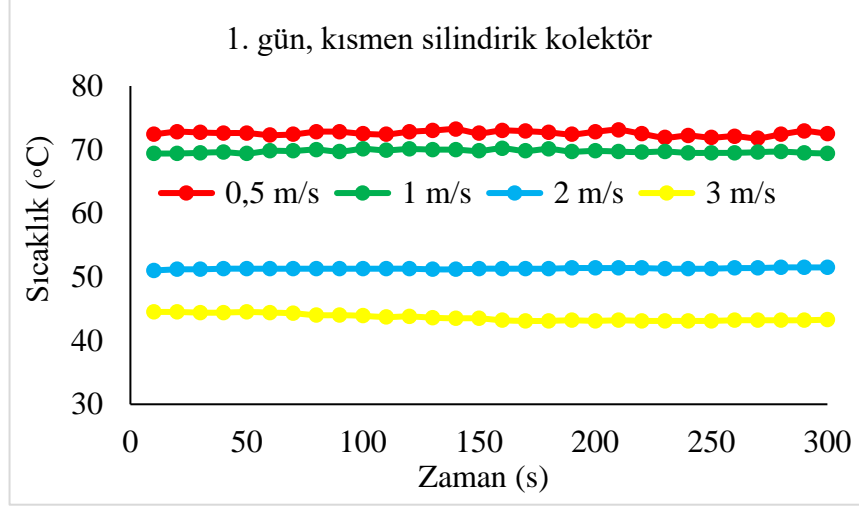


Şekil 4.5 Düz ve Kısmen Silindirik Havalı Kolektörlerin Çıkış Sıcaklıklarının 3 m/s Hava Hızı İçin Karşılaştırılması

Birinci gün yapılan deneylerin düz ve kısmen silindirik kolektörlerin hava hızına göre çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması sırasıyla Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de verilmiştir. Buna göre en yüksek çıkış sıcaklığı kısmen silindirik kolektörün 0,5 m/s hızında 72 °C'ye ulaşmıştır.



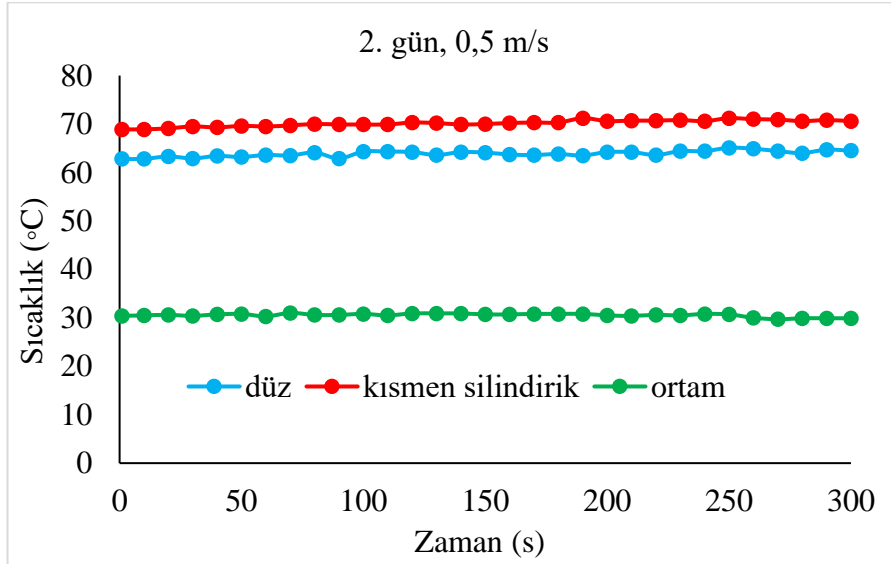
Şekil 4.6 Düz Kolektörün Hava Hızlarına Göre Çıkış Sıcaklıkları Değişimi



Şekil 4.7 Kısmen Silindirik Kolektörün Hava Hızlarına Göre Çıkış Sıcaklıkları Değişimi

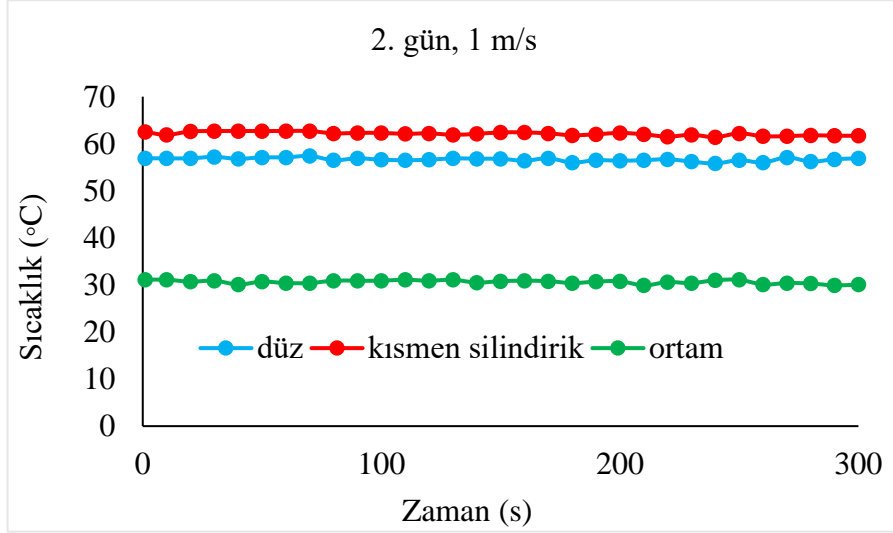
2. gün deneyleri;

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin çıkış sıcaklıklarının 0,5 m/s hava hızı için 2. gün için karşılaştırılması Şekil 4.8’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi 31 °C ortam sıcaklığını düz kolektör bu hız değeri için 64 °C iken kısmen silindirik kolektörde sıcak 71,2 °C ‘ye çıkmıştır. Sırasıyla sıcaklık artışı %106 ve %129 olarak gerçekleşmiştir. Kısmen silindirik kolektörden düz kolektöre göre %11,25 daha yüksek sıcaklık çıkışı elde edilmiştir.



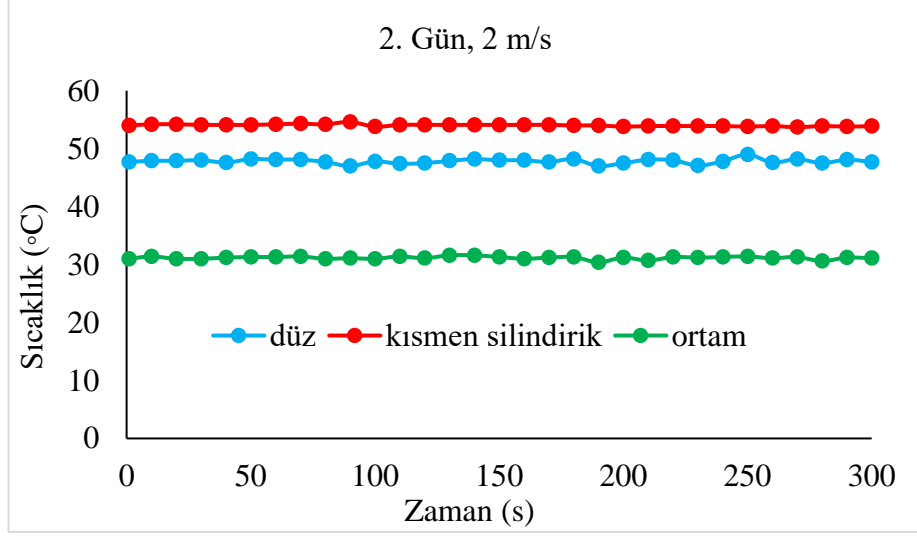
Şekil 4.8 İkinci Gün Düz ve Kısmen Silindirik Havalı Kolektörlerin Çıkış Sıcaklıklarının 0,5 m/s Hava Hızı İçin Karşılaştırılması

2. gün yapılan deneyin düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin çıkış sıcaklıklarının 1 m/s hava hızı için karşılaştırılması Şekil 4.9'da verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi 31 °C ortam sıcaklığını düz kolektör bu hız değeri için 56,5 °C iken kısmen silindirik kolektörde sıcak 62,2 °C 'ye çıkmıştır. Sırasıyla sıcaklık artışı % 82,25 ve % 100,65 olarak gerçekleşmiştir. Kısmen silindirik kolektörden düz kolektöre göre %10,08 daha yüksek sıcaklık çıkışı elde edilmiştir.



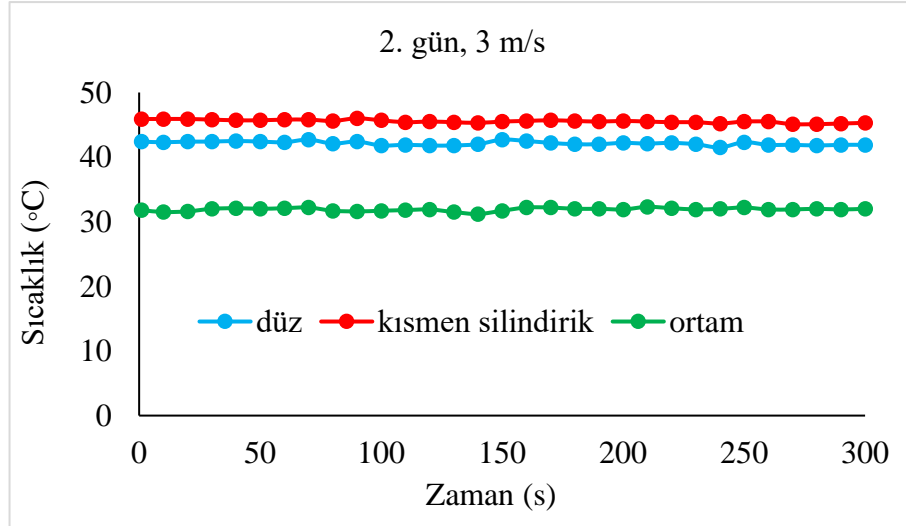
Şekil 4.9 Düz ve Kısmen Silindirik Havalı Kolektörlerin Çıkış Sıcaklıklarının 1 m/s Hava Hızı İçin Karşılaştırılması

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin çıkış sıcaklıklarının 2 m/s hava hızı için karşılaştırılması Şekil 4.10'da verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi 31,4 °C ortam sıcaklığını düz kolektör bu hız değeri için 49 °C iken kısmen silindirik kolektörde sıcak 53,8 °C 'ye çıkmıştır. Sırasıyla sıcaklık artışı %56 ve %71,33 olarak gerçekleşmiştir. Kısmen silindirik kolektörden düz kolektöre göre %9,79 daha yüksek sıcaklık çıkışı elde edilmiştir.



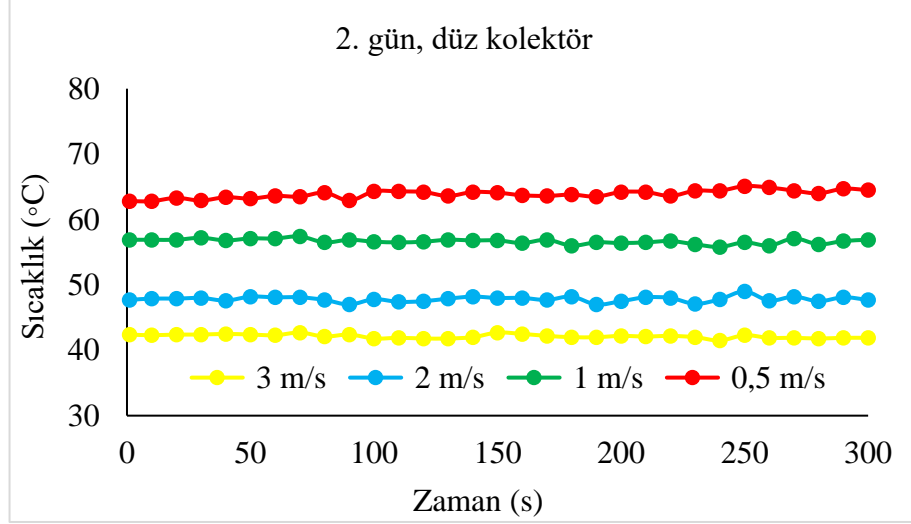
Şekil 4.10 Düz ve Kısmen Silindirik Havalı Kolektörlerin Çıkış Sıcaklıklarının 2 m/s Hava Hızı İçin Karşılaştırılması

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin çıkış sıcaklıklarının 3 m/s hava hızı için karşılaştırılması Şekil 4.11’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi 32 °C ortam sıcaklığını düz kolektör bu hız değeri için 42,5 °C iken kısmen silindirik kolektörde sıcak 46 °C ‘ye çıkmıştır. Sırasıyla sıcaklık artışı %32,81 ve %43,75 olarak gerçekleşmiştir. Kısmen silindirik kolektörden düz kolektöre göre %8,23 daha yüksek sıcaklık çıkışı elde edilmiştir.

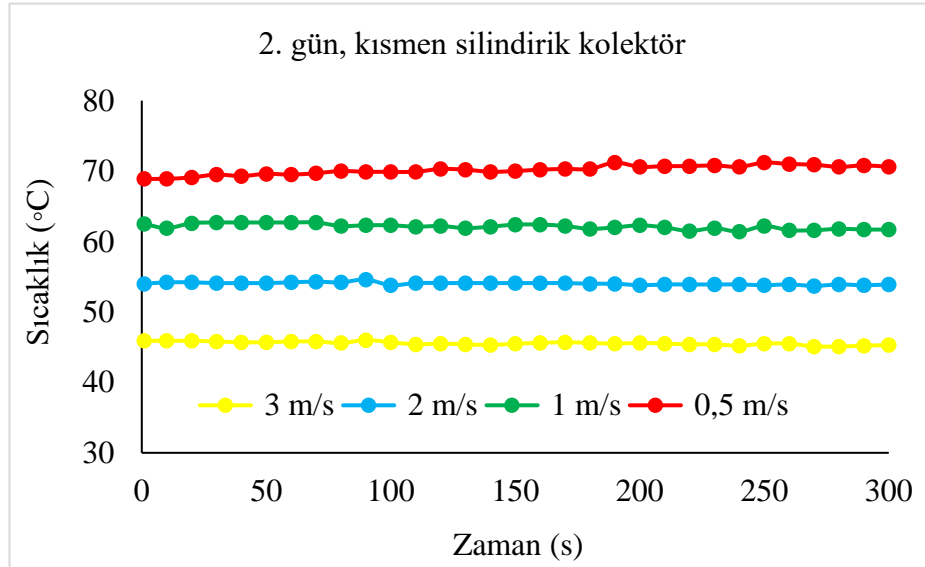


Şekil 4.11 Düz ve Kısmen Silindirik Havalı Kolektörlerin Çıkış Sıcaklıklarının 3 m/s Hava Hızı İçin Karşılaştırılması

İkinci gün yapılan deneylerin düz ve kısmen silindirik kolektörlerin hız karşılaştırması sırasıyla Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te verilmiştir. Buna göre en yüksek çıkış sıcaklığı kısmen silindirik kolektörün 0,5 m/s hızında 71,2 °C'ye ulaşmıştır.



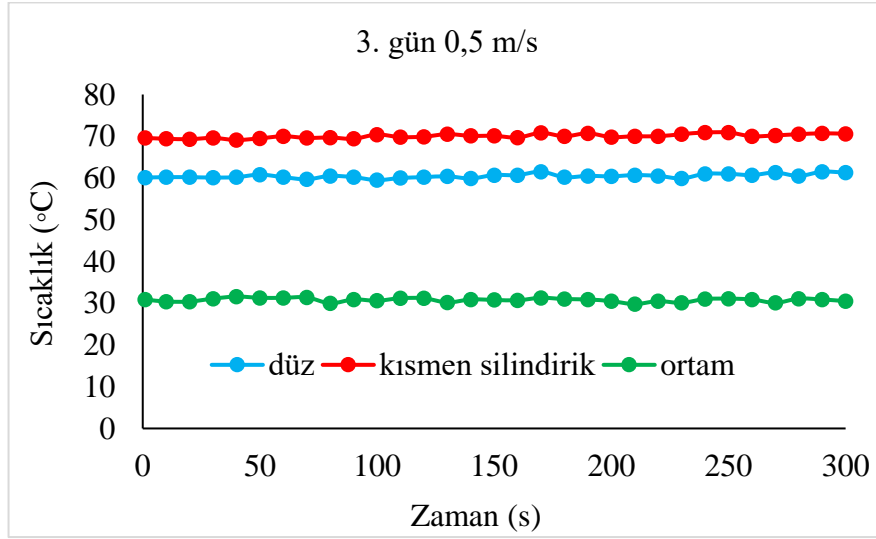
Şekil 4.12 Düz Kolektörün Hızlarına Göre Çıkış Sıcaklıkları



Şekil 4.13 Kısmen Silindirik Kolektörün Hızlarına Göre Çıkış Sıcaklıkları

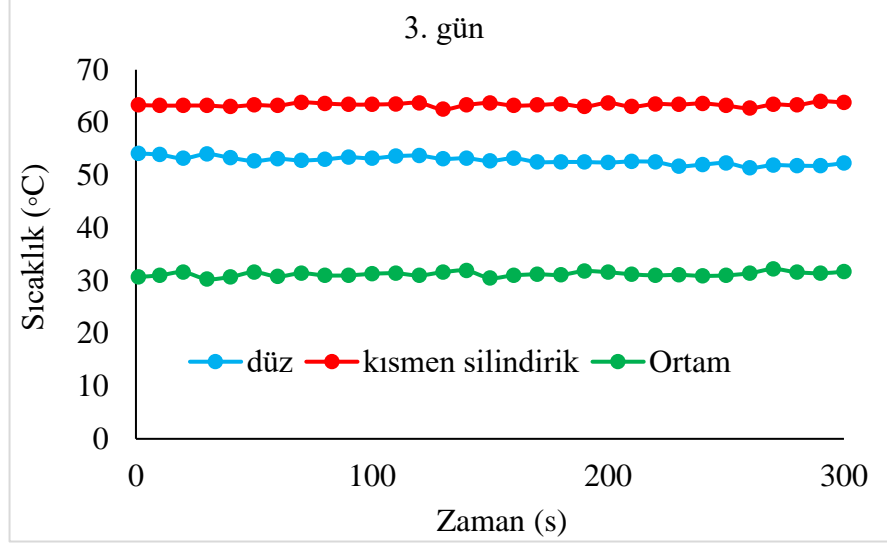
3. Gün deneyleri;

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin çıkış sıcaklıklarının 0,5 m/s hava hızı için karşılaştırılması Şekil 4.14’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi 31 °C ortam sıcaklığını düz kolektör bu hız değeri için 60,5 °C iken kısmen silindirik kolektörde sıcak 70,8 °C ‘ye çıkmıştır. Sırasıyla sıcaklık artışı %95,16 ve %128,38 olarak gerçekleşmiştir. Kısmen silindirik kolektörden düz kolektöre göre %17,02 daha yüksek sıcaklık çıkışı elde edilmiştir.



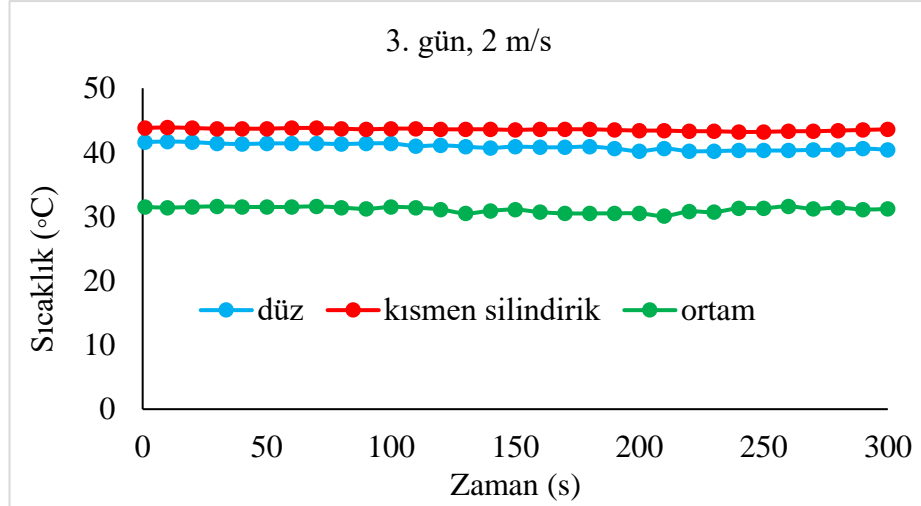
Şekil 4.14 Düz ve Kısmen Silindirik Havalı Kolektörlerin Çıkış Sıcaklıklarının 0,5 m/s Hava Hızı İçin Karşılaştırılması

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin çıkış sıcaklıklarının 1 m/s hava hızı için karşılaştırılması Şekil 4.15’te verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi 31,9 °C ortam sıcaklığını düz kolektör bu hız değeri için 53,2 °C iken kısmen silindirik kolektörde sıcak 63,7 °C ‘ye çıkmıştır. Sırasıyla sıcaklık artışı %66,77 ve %99,68 olarak gerçekleşmiştir. Kısmen silindirik kolektörden düz kolektöre göre %19,73 daha yüksek sıcaklık çıkışı elde edilmiştir.



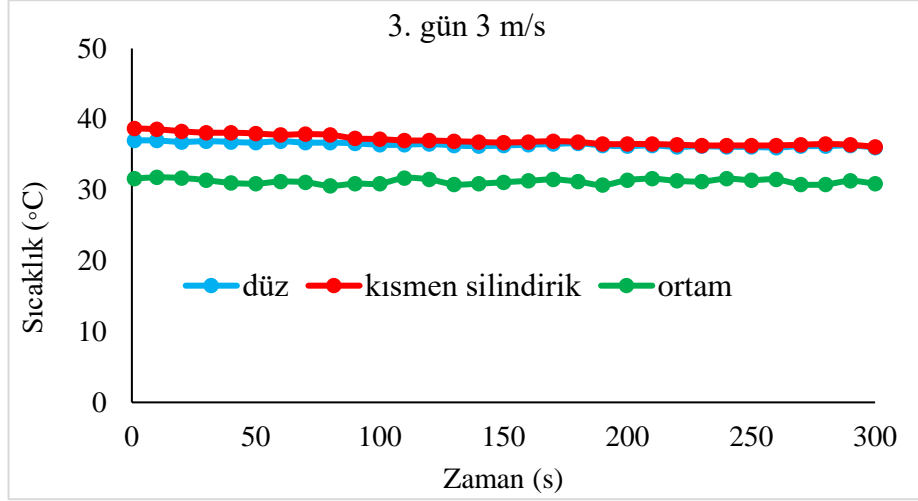
Şekil 4.15 Düz ve Kısmen Silindirik Havalı Kolektörlerin Çıkış Sıcaklıklarının 1 m/s Hava Hızı İçin Karşılaştırılması

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin çıkış sıcaklıklarının 2 m/s hava hızı için karşılaştırılması Şekil 4.16’da verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi 31 °C ortam sıcaklığını düz kolektör bu hız değeri için 41,4 °C iken kısmen silindirik kolektörde sıcak 43,7 °C ‘ye çıkmıştır. Sırasıyla sıcaklık artışı %33,54 ve %40,96 olarak gerçekleşmiştir. Kısmen silindirik kolektörden düz kolektöre göre %5,55 daha yüksek sıcaklık çıkışı elde edilmiştir.



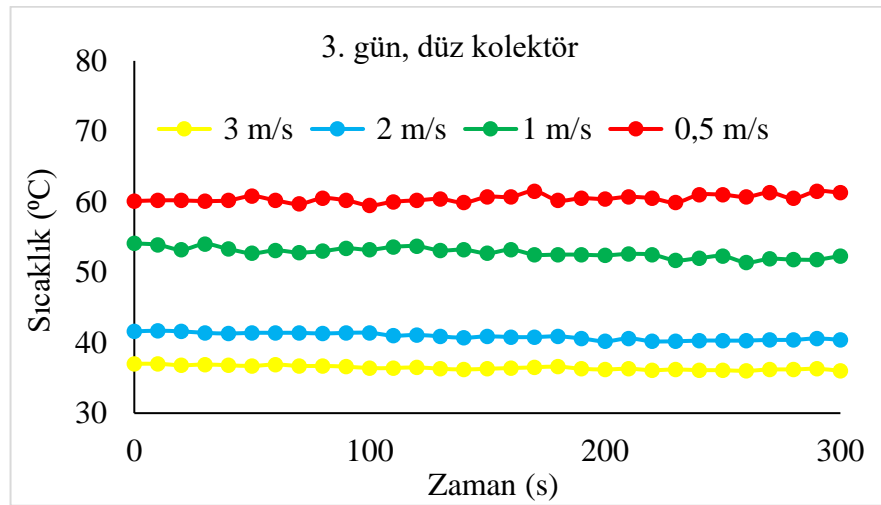
Şekil 4.16 Düz ve Kısmen Silindirik Havalı Kolektörlerin Çıkış Sıcaklıklarının 2 m/s Hava Hızı İçin Karşılaştırılması

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin çıkış sıcaklıklarının 3 m/s hava hızı için karşılaştırılması Şekil 4.17’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi 31,5 °C ortam sıcaklığını düz kolektör bu hız değeri için 36,9 °C iken kısmen silindirik kolektörde sıcak 38 °C ‘ye çıkmıştır. Sırasıyla sıcaklık artışı %17,14 ve %20,63 olarak gerçekleşmiştir. Kısmen silindirik kolektörden düz kolektöre göre %2,98 daha yüksek sıcaklık çıkışı elde edilmiştir.

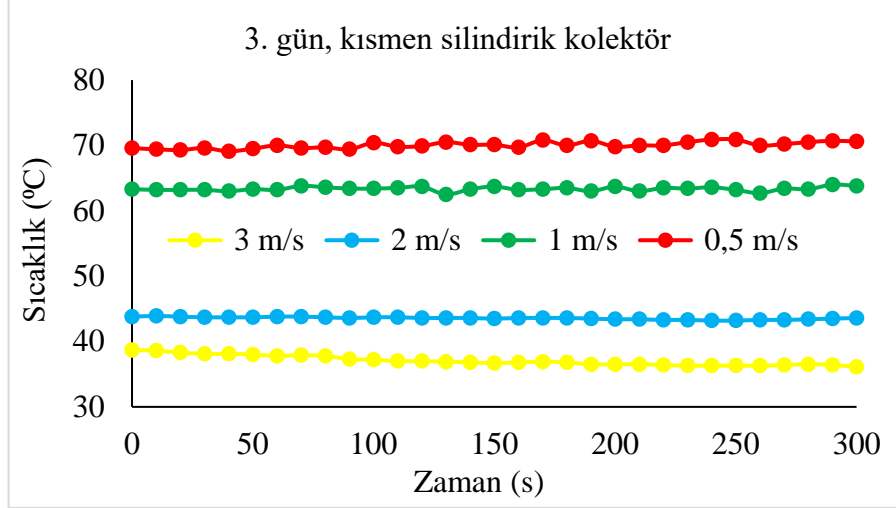


Şekil 4.17 Düz ve Kısmen Silindirik Havalı Kolektörlerin Çıkış Sıcaklıklarının 3 m/s Hava Hızı İçin Karşılaştırılması

Üçüncü gün yapılan deneylerin düz ve kısmen silindirik kolektörlerin hız karşılaştırması sırasıyla Şekil 4.18 ve 4.19’de verilmiştir. Buna göre en yüksek çıkış sıcaklığı kısmen silindirik kolektörün 0,5 m/s hızında 70,8 °C’ye ulaşmıştır.



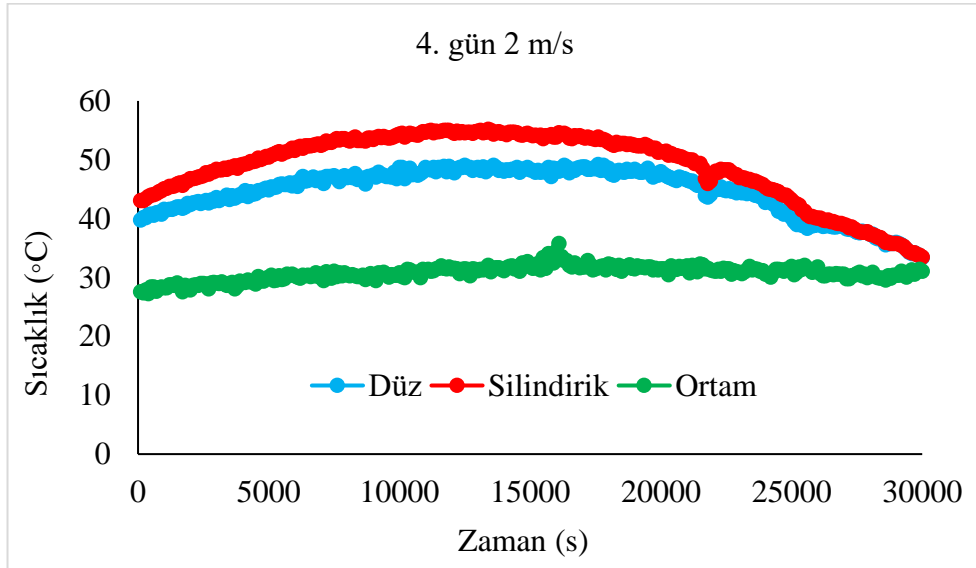
Şekil 4.18 Düz Kolektörün Hava Hızlarına Göre Çıkış Sıcaklıklarının Değişimi



Şekil 4.19 Kısmen Silindirik Kolektörün Hava Hızlarına Göre Çıkış Sıcaklıkları Değişimi

4.gün deneyi;

Deneye her iki kolektörün hızlarını 2 m/s hızında ayarlanıp 09:30 ile 17:45 saatleri arasında veri alınmıştır. Kısmen silindirik kolektörün çıkış sıcaklığı daha yüksek olduğu Şekil 4.19'da görülmektedir.

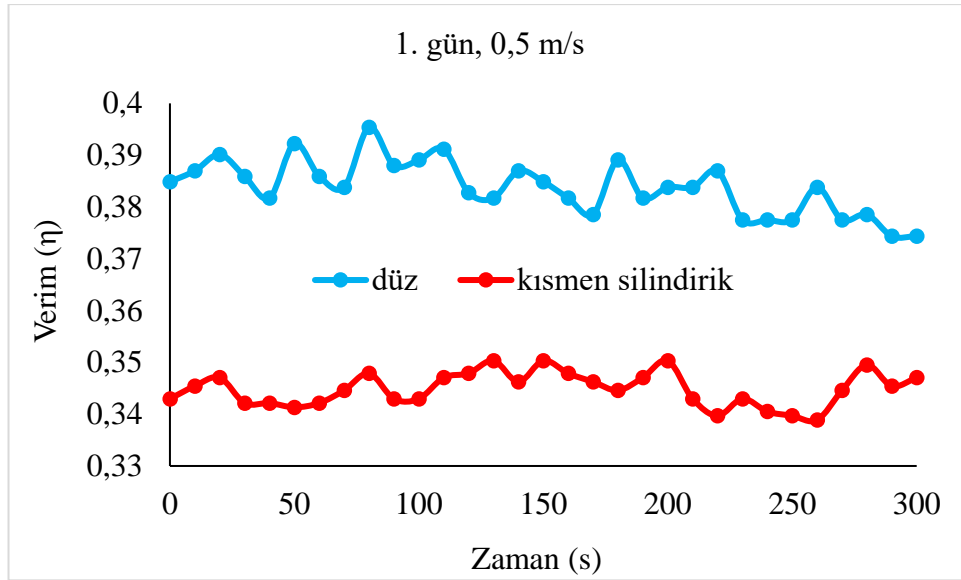


Şekil 4.20 Kolektör Çıkış Sıcaklıklarının Zamanla Değişimi (4. Gün, 2 m/s)

4.2 Isıl Verimlerinin Karşılaştırılması

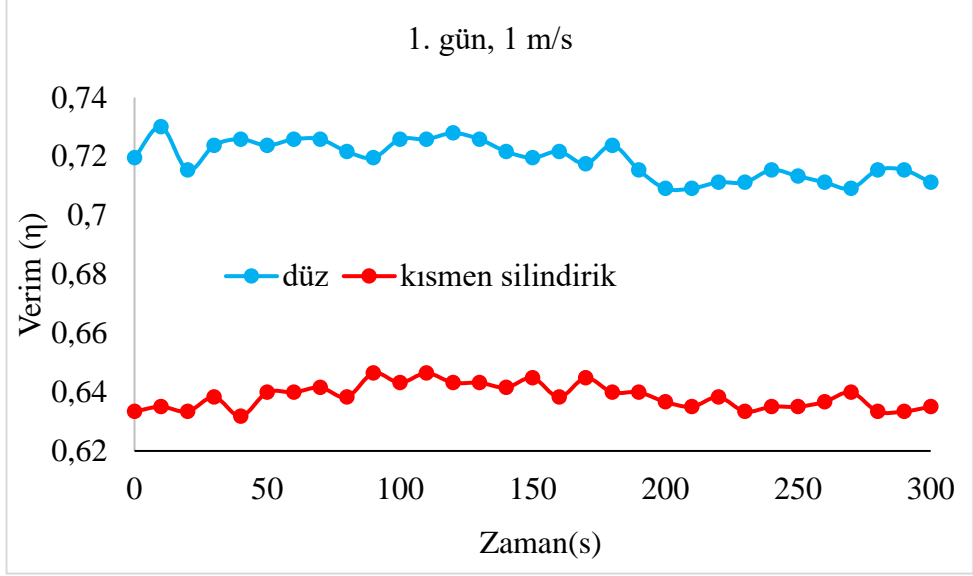
Test edilen havalı kolektörlerin ısı verimlerinin farklı hava hızlarındaki anlık değişimleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Hava hızının ve güneş ışınım yoğunluğunun kolektör performansı üzerindeki etkilerini göstermektedir. Tüm modellerin hava hızlarındaki ısı verimleri, gün içindeki anlık yükseliş ve düşüşlere rağmen genellikle ortalama bir değer etrafında dalgalanmaktadır. Havanın kütle debisinin artışı, yutucu plaka yüzey sıcaklığını ve buna bağlı olarak havanın kolektör çıkışındaki sıcaklığı azaltır. Bu durumda kolektörden çevreye ısı kayıpları azalırken, havaya aktarılan faydalı enerji artar. Sonuç olarak, kolektörlerin ısı verimleri yükselir.

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin birinci güne ait 0,5 m/s hava hızı için verimi Şekil 4.21’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere düz kolektörün verimi %39’a kadar çıkarken, kısmen silindirik kolektörün verimi ise %35’e kadar çıkmıştır.



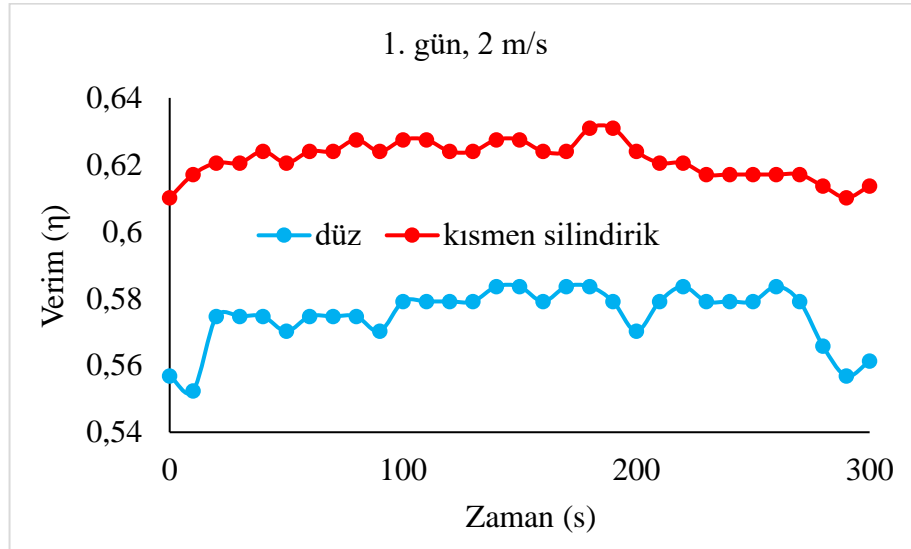
Şekil 4.21 Kolektör Verimlerinin Anlık Değişimi (1. Gün, 0,5 m/s)

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin birinci güne ait 1 m/s hava hızı için verimi Şekil 4.22’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere düz kolektörün verimi %77’ye kadar çıkarken, kısmen silindirik kolektörün verimi ise %74’e kadar çıkmıştır.



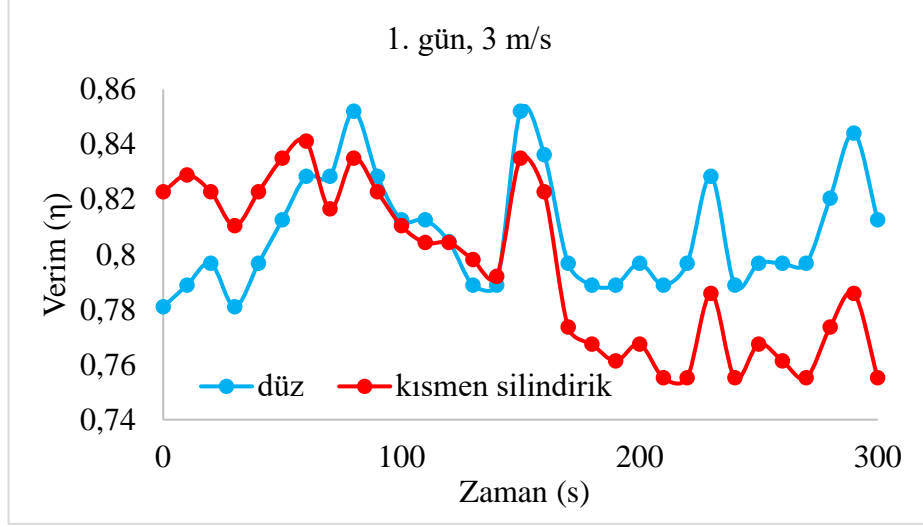
Şekil 4.22 Kolektör Verimlerinin Anlık Değişimi (1. Gün, 1 m/s)

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin birinci güne ait 2 m/s hava hızı için verimi Şekil 4.23'te verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere düz kolektörün verimi %58'e kadar çıkarken, kısmen silindirik kolektörün verimi ise %63'e kadar çıkmıştır.



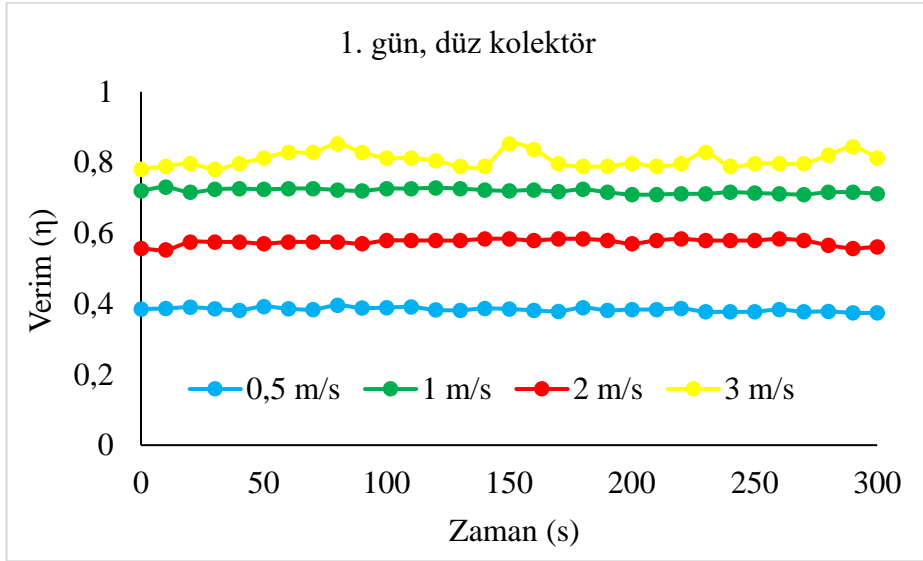
Şekil 4.23 Kolektör Verimlerinin Anlık Değişimi (1. Gün, 2 m/s)

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin birinci güne ait 3 m/s hava hızı için verimi Şekil 4.24'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere düz kolektör verimi %85'e kadar çıkarken, kısmen silindirik kolektörün verimi ise %83'e kadar çıkmıştır.

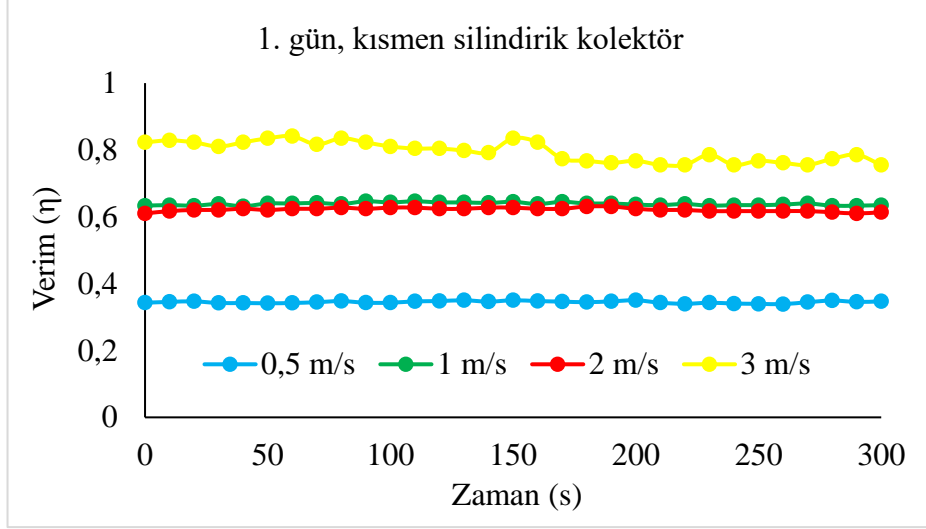


Şekil 4.24 Kolektör Verimlerinin Anlık Değişimi (1. Gün, 3 m/s)

Birinci güne ait düz ve kısmen silindirik kolektörlerin verim karşılaştırması sırasıyla Şekil 4.25 ve 4.26’da verilmiştir. Buna göre en yüksek verim düz kolektörün 3 m/s hızında %85’e ulaşmıştır.

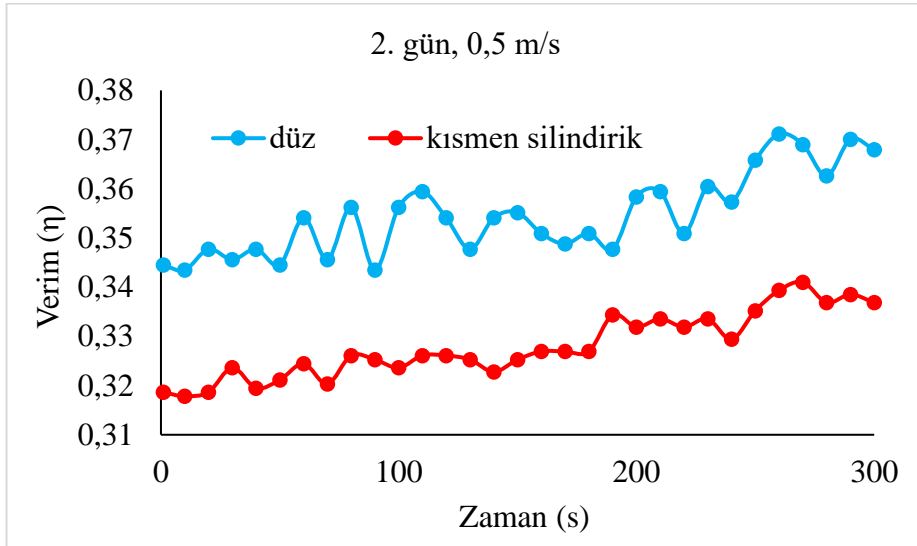


Şekil 4.25 Düz Kolektörün Hava Hızlarına Göre Verim Karşılaştırması



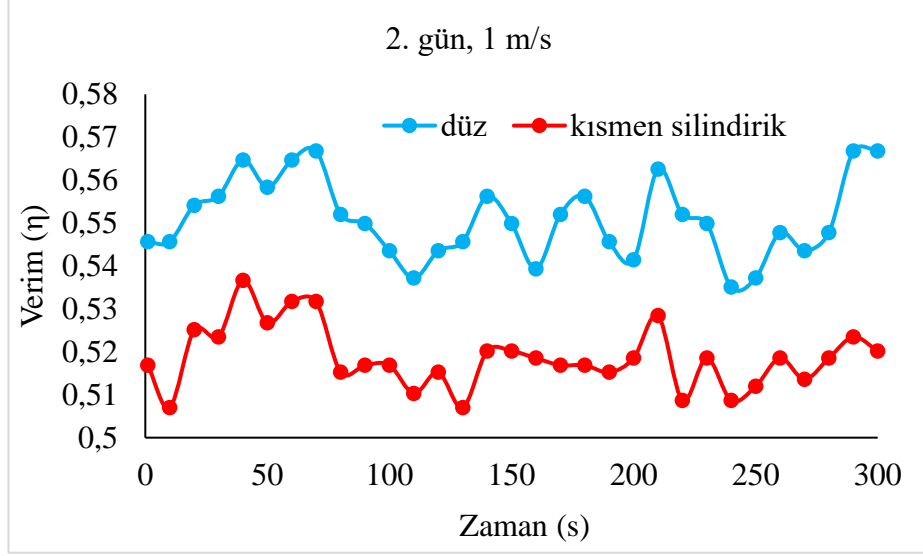
Şekil 4.26 Düz Kolektörün Hava Hızlarına Göre Verim Karşılaştırması

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin ikinci güne ait 0,5 m/s hava hızı için verimi Şekil 4.27’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere düz kolektör verimi %37’ye kadar çıkarken, kısmen silindirik kolektörün verimi ise %34’e kadar çıkmıştır.



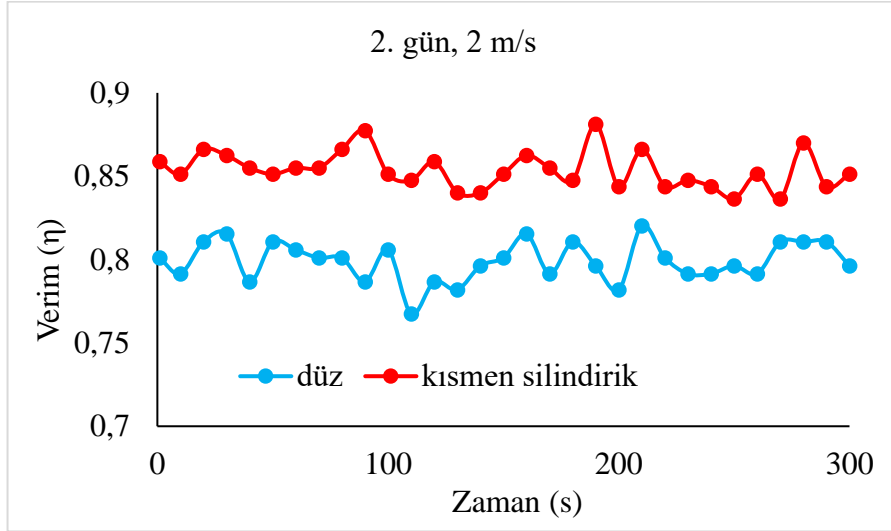
Şekil 4.27 Kolektör Verimlerinin Anlık Değişimi (2. Gün, 0,5 m/s)

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin ikinci güne ait 1 m/s hava hızı için verimi Şekil 4.28’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere düz kolektör verimi %56’ya kadar çıkarken, kısmen silindirik kolektörün verimi ise %53’e kadar çıkmıştır.



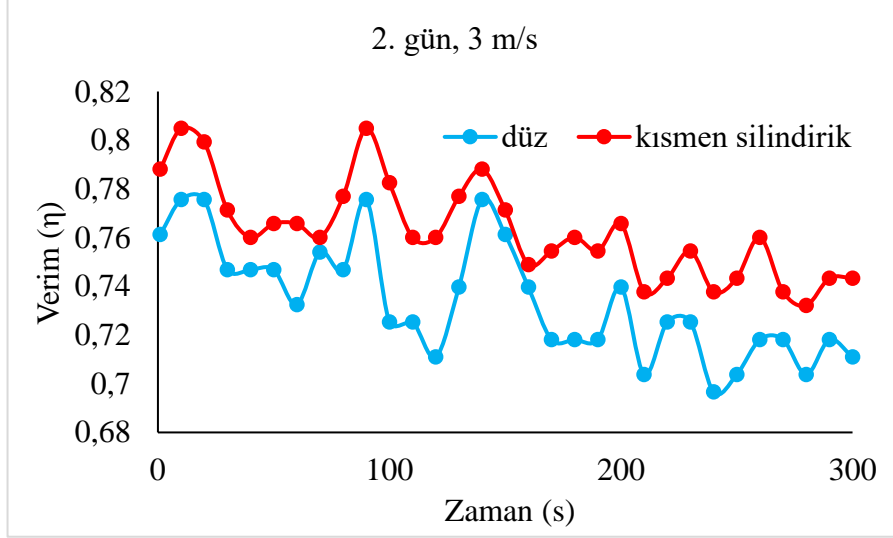
Şekil 4.28 Kolektör Verimlerinin Anlık Değişimi (2. Gün, 1 m/s)

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin ikinci güne ait 2 m/s hava hızı için verimi Şekil 4.29’da verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere düz kolektör verimi %82’ye kadar çıkarken, kısmen silindirik kolektörün verimi ise %88’e kadar çıkmıştır.



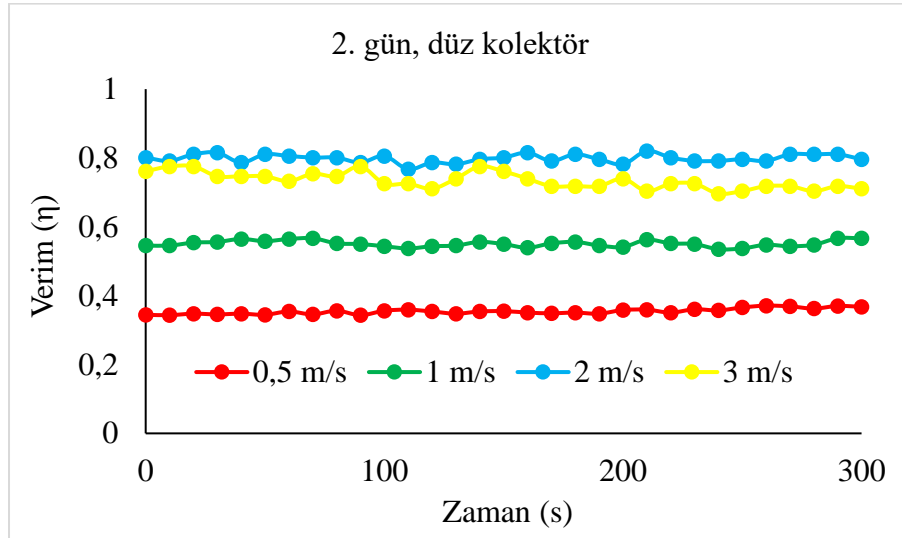
Şekil 4.29 Kolektör Verimlerinin Anlık Değişimi (2. Gün, 2 m/s)

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin ikinci güne ait 3 m/s hava hızı için verimi Şekil 4.30’da verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere düz kolektör verimi %77’ye kadar çıkarken, kısmen silindirik kolektörün verimi ise %80’e kadar çıkmıştır.

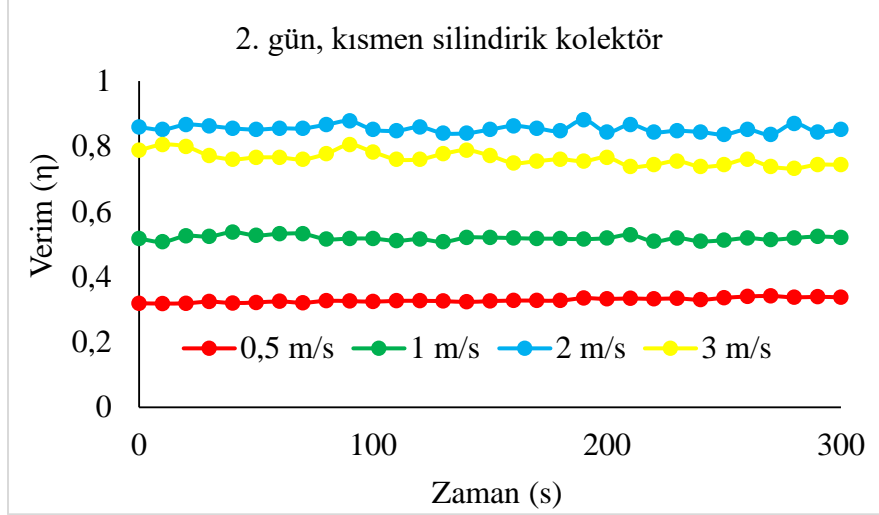


Şekil 4.30 Kolektör Verimlerinin Anlık Değişimi (2. Gün, 3 m/s)

İkinci güne ait düz ve kısmen silindirik kolektörlerin verim karşılaştırması sırasıyla Şekil 4.31 ve 4.32’de verilmiştir. Buna göre en yüksek verim kısmen silindirik kolektörün 2 m/s hızında %88’e ulaşmıştır.

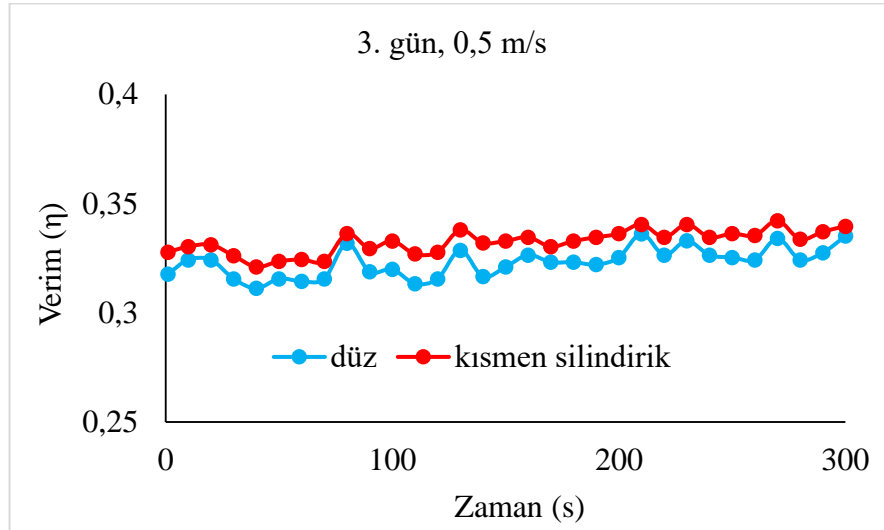


Şekil 4.31 Düz Kolektörün Hava Hızlarına Göre Verim Karşılaştırması



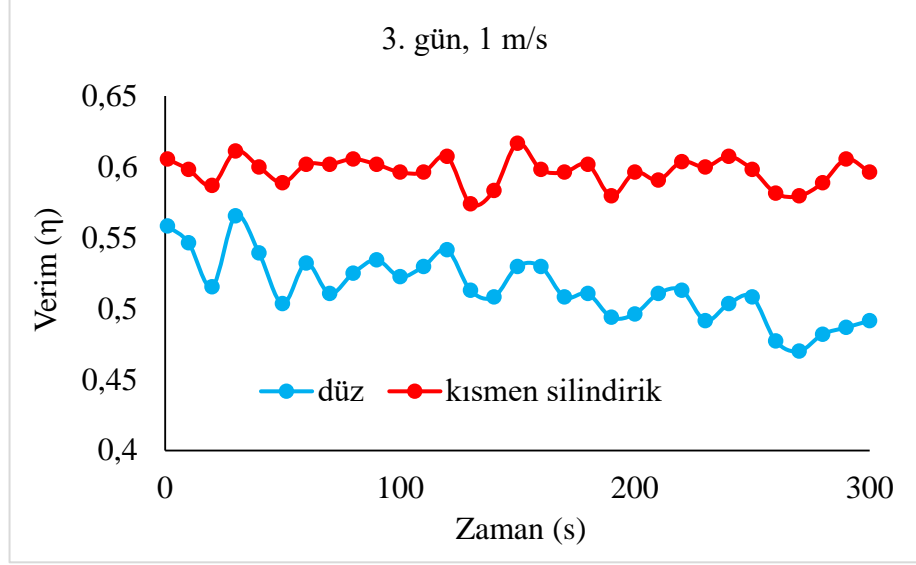
Şekil 4.32 Kısmen Silindirik Kolektörün Hava Hızlarına Göre Verim Karşılaştırması

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin üçüncü güne ait 0,5 m/s hava hızı için verimi Şekil 4.33'te verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere düz kolektör verimi %33'e kadar çıkarken, kısmen silindirik kolektörün verimi ise %34'e kadar çıkmıştır.



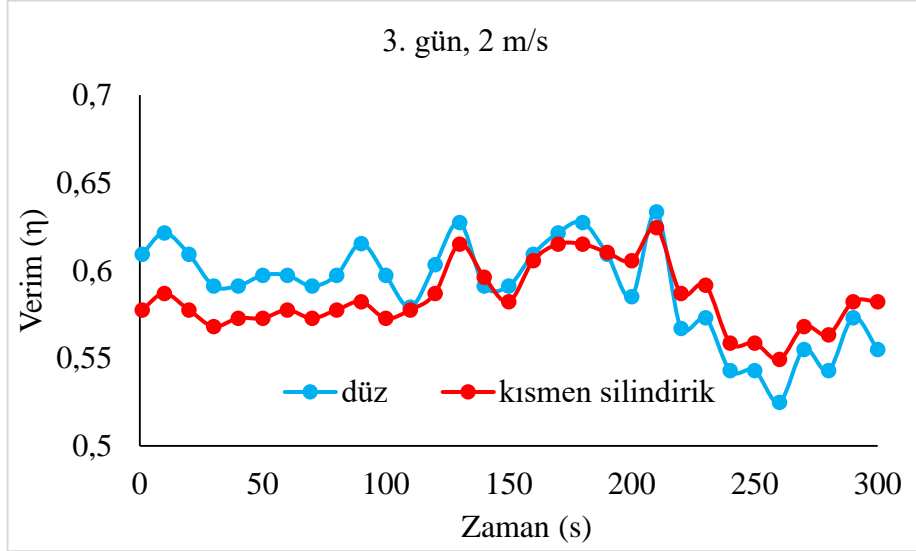
Şekil 4.33 Kolektör Verimlerinin Anlık Değişimi (3. Gün, 0,5 m/s)

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin üçüncü güne ait 1 m/s hava hızı için verimi Şekil 4.34'te verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere düz kolektör verimi %56'ya kadar çıkarken, kısmen silindirik kolektörün verimi ise %61'e kadar çıkmıştır.



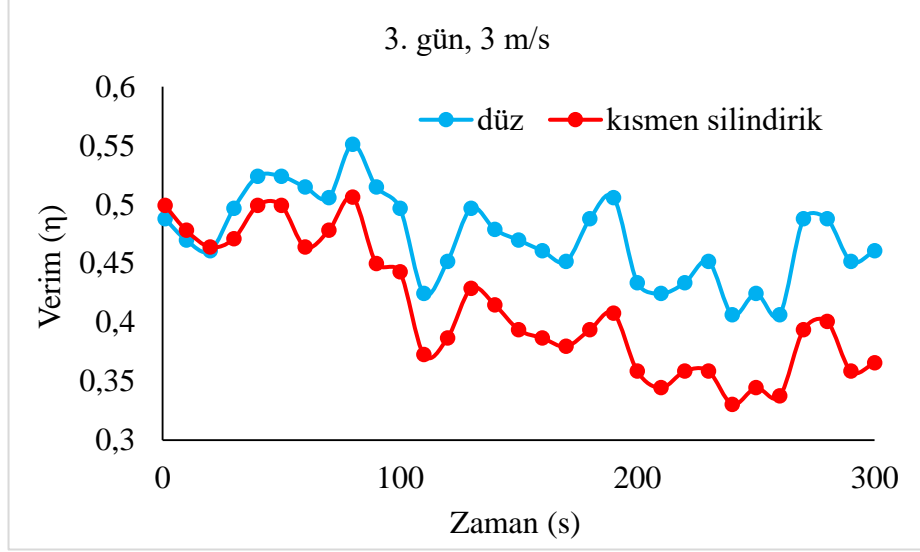
Şekil 4.34 Kolektör Verimlerinin Anlık Değişimi (3. Gün, 1 m/s)

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin üçüncü güne ait 2 m/s hava hızı için verimi Şekil 4.35'te verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere düz kolektör verimi %62'ye kadar çıkarken, kısmen silindirik kolektörün verimi de %62'e kadar çıkmıştır.



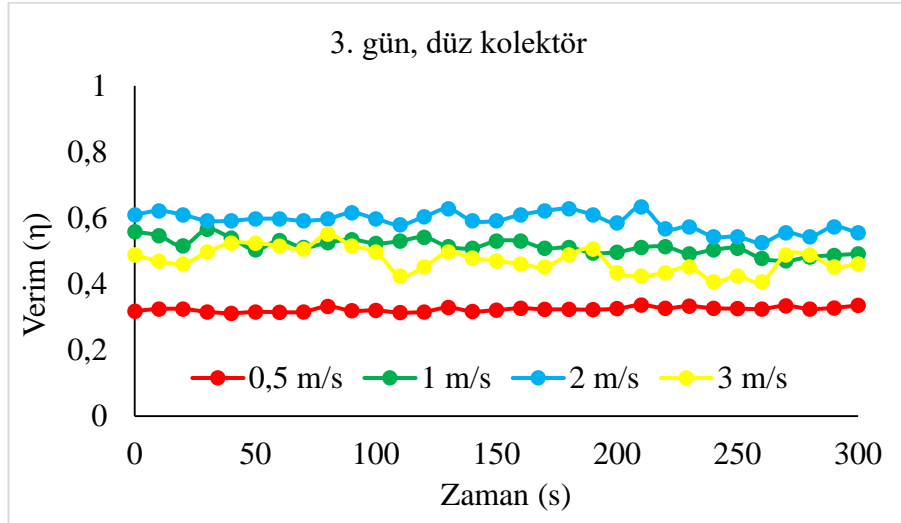
Şekil 4.35 Kolektör Verimlerinin Anlık Değişimi (3. Gün, 2 m/s)

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin üçüncü güne ait 3 m/s hava hızı için verimi Şekil 4.36'da verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere düz kolektör verimi %55'ye kadar çıkarken, kısmen silindirik kolektörün verimi ise %50'e kadar çıkmıştır.

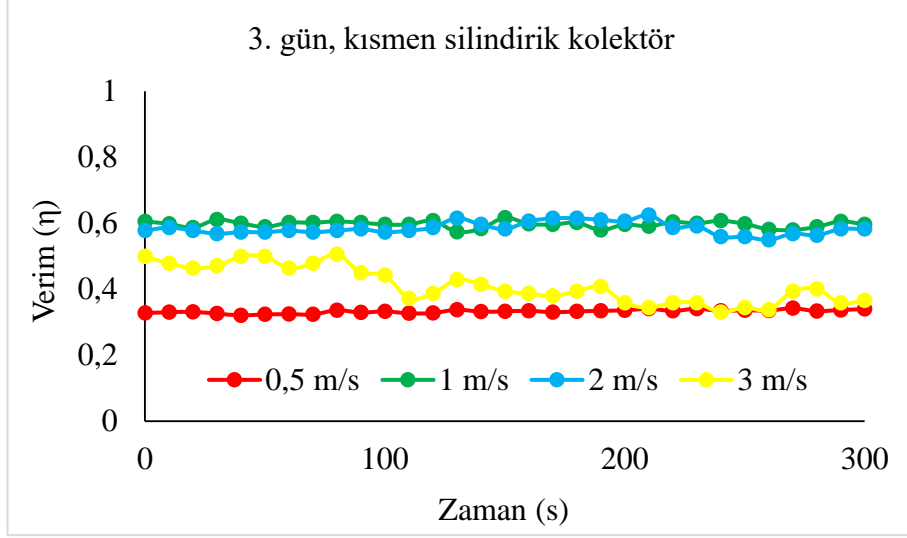


Şekil 4.36 Kolektör Verimlerinin Anlık Değişimi (3. Gün, 3 m/s)

Üçüncü güne ait düz ve kısmen silindirik kolektörlerin verim karşılaştırması sırasıyla Şekil 4.37 ve 4.38’de verilmiştir. Buna göre en yüksek verim düz kolektörün 2 m/s hızında %63’e ulaşmıştır.



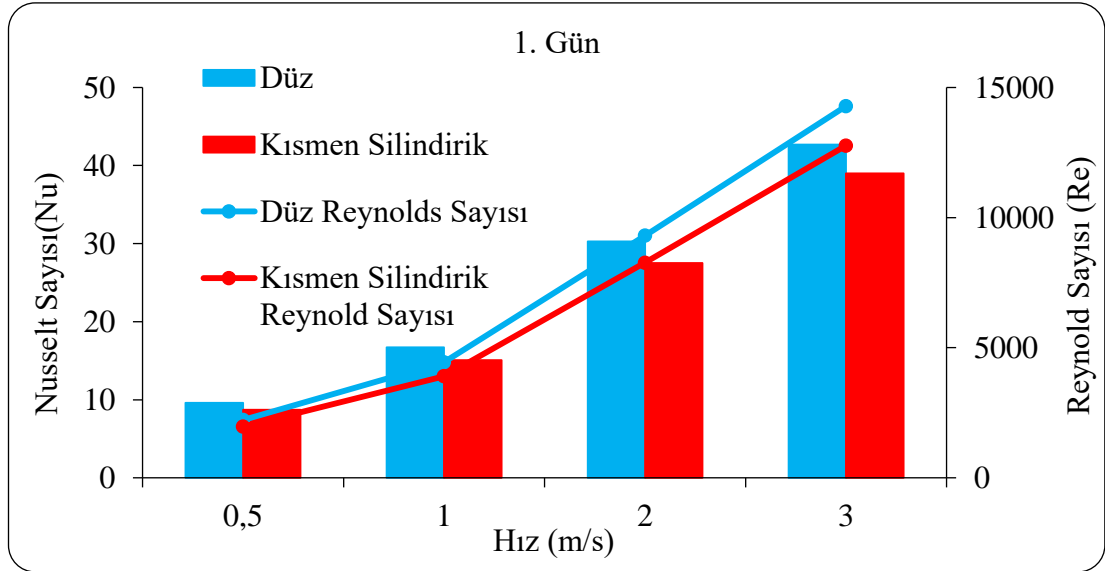
Şekil 4.37 Düz Kolektörün Hava Hızlarına Göre Verim Karşılaştırması



Şekil 4.38 Kısmen Silindirik Kolektörün Hava Hızlarına Göre Verim Karşılaştırması

4.3 Nusselt ve Reynolds Sayılarının Karşılaştırılması

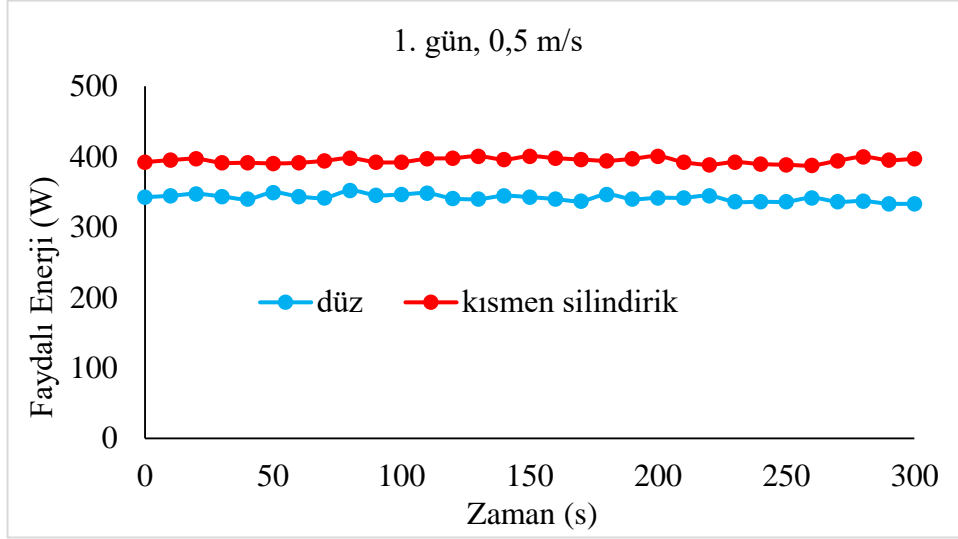
Kolektörlerdeki hava kanalı için hesaplanan birinci güne ait teorik Reynolds ve Nusselt sayıları Şekil 4.39’da görülmektedir. Üç gün yapılan deneyin sonuçları yaklaşık olarak aynıdır. Reynolds sayısının artmasıyla birlikte Nusselt sayısı da artmaktadır. Düz kolektör için Nusselt sayısı 9,5924 ile 42,5282 arasında değişmektedir. Kısmen silindirik kolektör için 8,6344 ile 38,6618 arasında değişmektedir.



Şekil 4.39 Birinci Güne Ait Reynolds-Nusselt Sayısı Grafiği

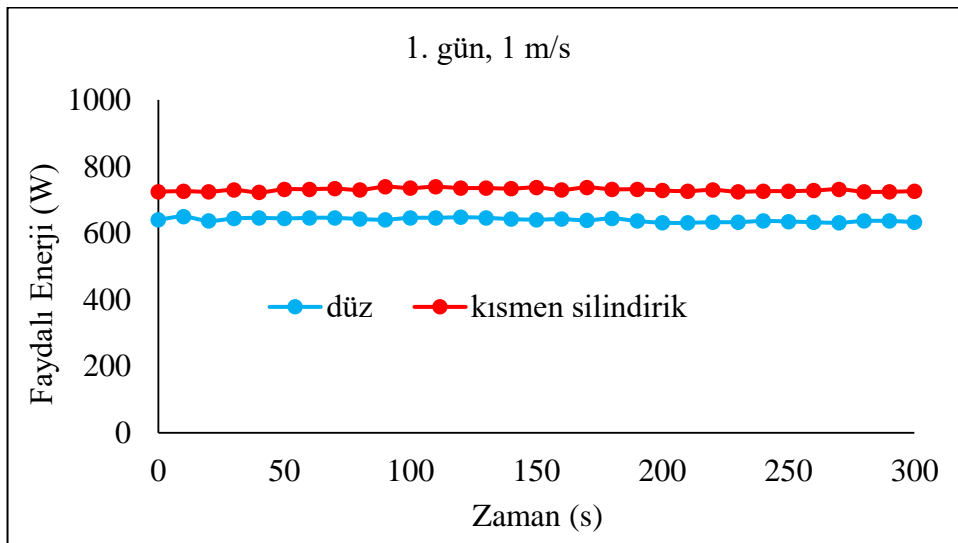
4.4 Enerjilerinin Karşılaştırılması

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin birince güne ait 0,5 m/s hava hızı için anlık enerji değerleri Şekil 4.40'ta verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere düz kolektörün anlık enerjisi 351 W'a kadar çıkarken, kısmen silindirik kolektörün anlık enerjisi ise 400 W'a kadar çıkmıştır.



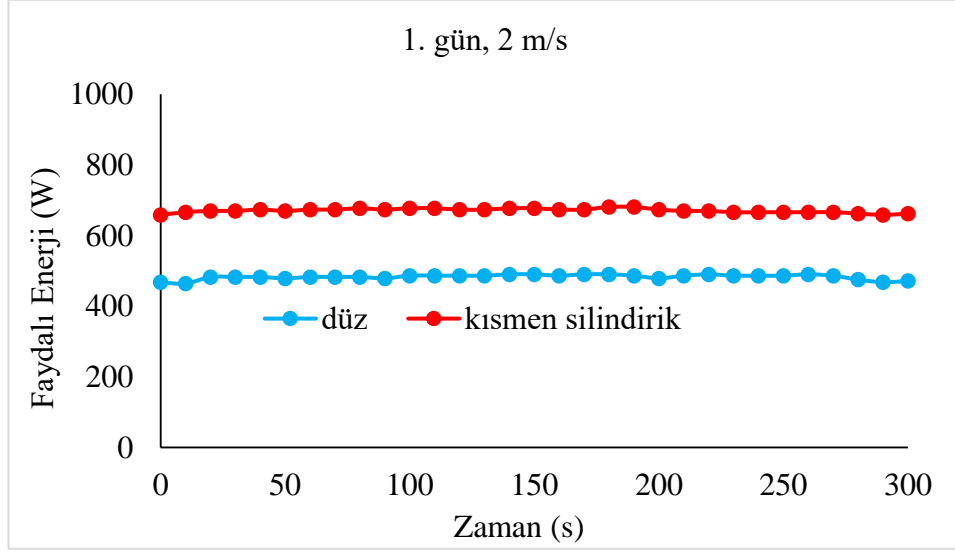
Şekil 4.40 Enerjilerinin Anlık Değişimi (1. Gün, 0,5 m/s)

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin birince güne ait 1 m/s hava hızı için anlık enerji değerleri Şekil 4.41'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere düz kolektörün anlık enerjisi 683 W'a kadar çıkarken, kısmen silindirik kolektörün anlık enerjisi ise 849 W'a kadar çıkmıştır.



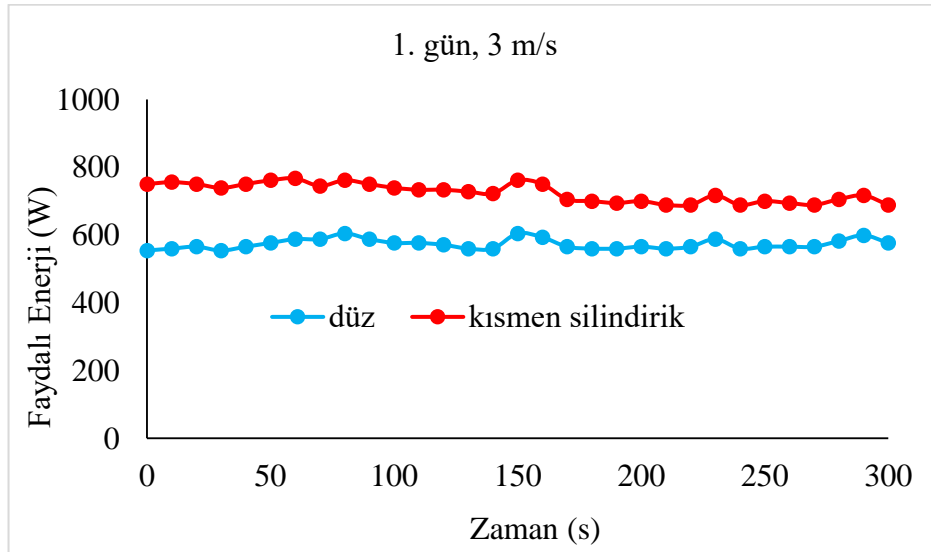
Şekil 4.41 Kolektör Enerjilerinin Anlık Değişimi (1. Gün, 1 m/s)

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin birince güne ait 2 m/s hava hızı için anlık enerji değerleri Şekil 4.42’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere düz kolektörün anlık enerjisi 486 W’a kadar çıkarken, kısmen silindirik kolektörün anlık enerjisi ise 677 W’a kadar çıkmıştır.



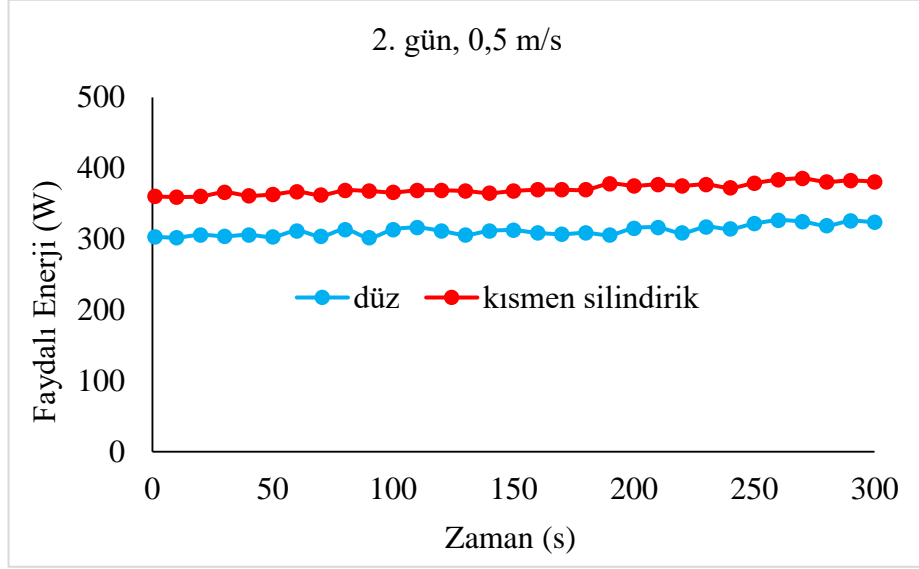
Şekil 4.42 Kolektör Enerjilerinin Anlık Değişimi (1. Gün, 2 m/s)

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin birince güne ait 3 m/s hava hızı için anlık enerji değerleri Şekil 4.43’te verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere düz kolektörün anlık enerjisi 604 W’a kadar çıkarken, kısmen silindirik kolektörün anlık enerjisi ise 761 W’a kadar çıkmıştır.



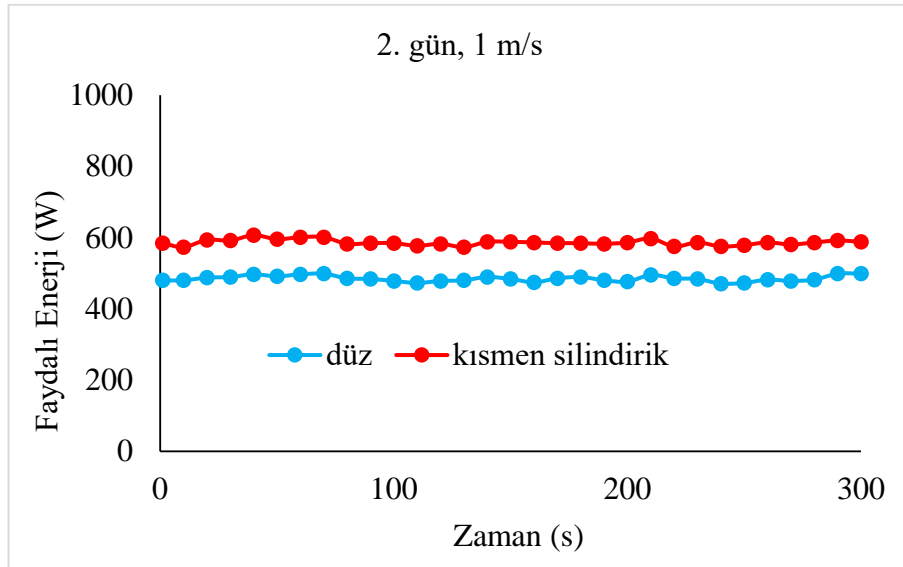
Şekil 4.43 Kolektör Enerjilerinin Anlık Değişimi (1. Gün, 3 m/s)

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin ikinci güne ait 0,5 m/s hava hızı için anlık enerji değerleri Şekil 4.44'te verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere düz kolektörün anlık enerjisi 326 W'a kadar çıkarken, kısmen silindirik kolektörün anlık enerjisi ise 385 W'a kadar çıkmıştır.



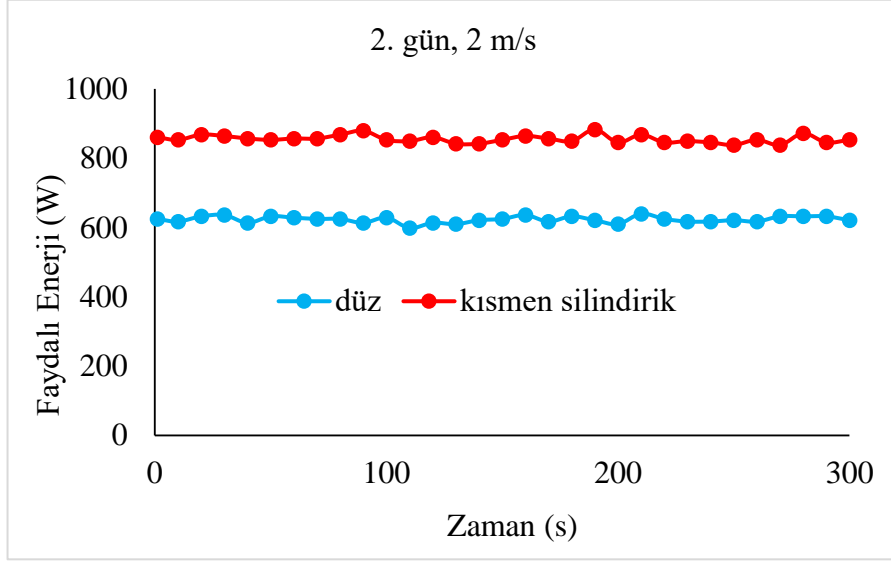
Şekil 4.44 Kolektör Enerjilerinin Anlık Değişimi (2. Gün, 0,5 m/s)

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin ikinci güne ait 1 m/s hava hızı için anlık enerji değerleri Şekil 4.45'te verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere düz kolektörün anlık enerjisi 498 W'a kadar çıkarken, kısmen silindirik kolektörün anlık enerjisi ise 606 W'a kadar çıkmıştır.



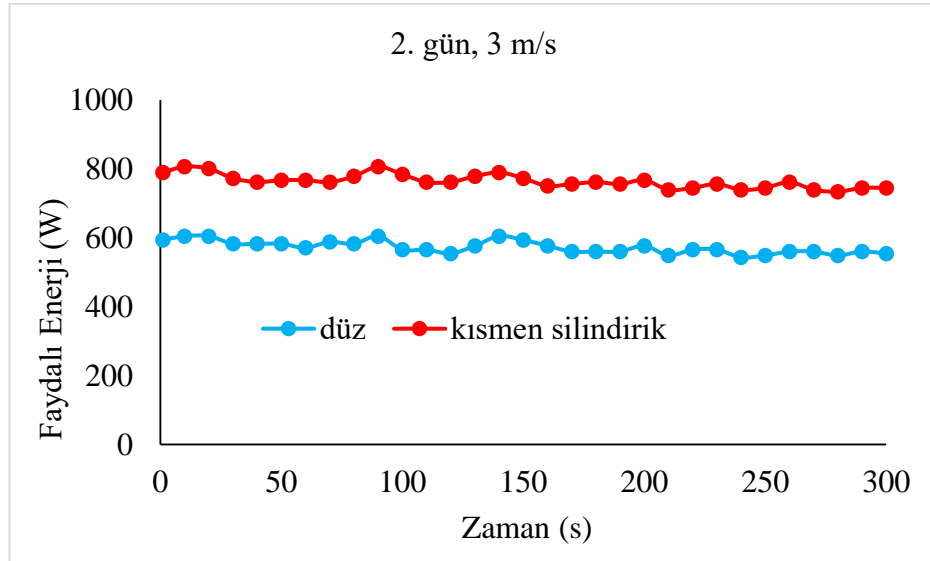
Şekil 4.45 Kolektör Enerjilerinin Anlık Değişimi (2. Gün, 1 m/s)

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin ikinci güne ait 2 m/s hava hızı için anlık enerji değerleri Şekil 4.46'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere düz kolektörün anlık enerjisi 639 W'a kadar çıkarken, kısmen silindirik kolektörün anlık enerjisi ise 883 W'a kadar çıkmıştır.



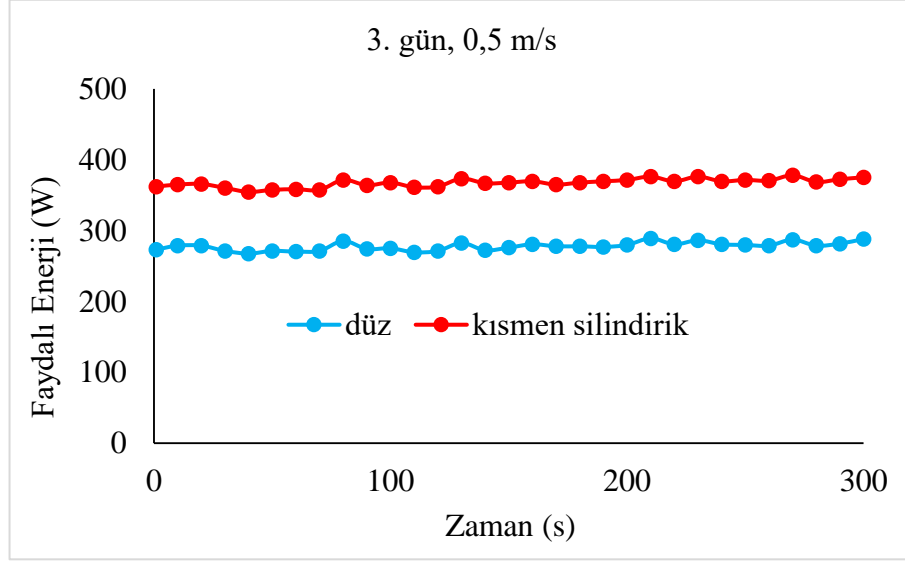
Şekil 4.46 Kolektör Enerjilerinin Anlık Değişimi (2. Gün, 2 m/s)

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin ikinci güne ait 3 m/s hava hızı için anlık enerji değerleri Şekil 4.47'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere düz kolektörün anlık enerjisi 604 W'a kadar çıkarken, kısmen silindirik kolektörün anlık enerjisi ise 784 W'a kadar çıkmıştır.



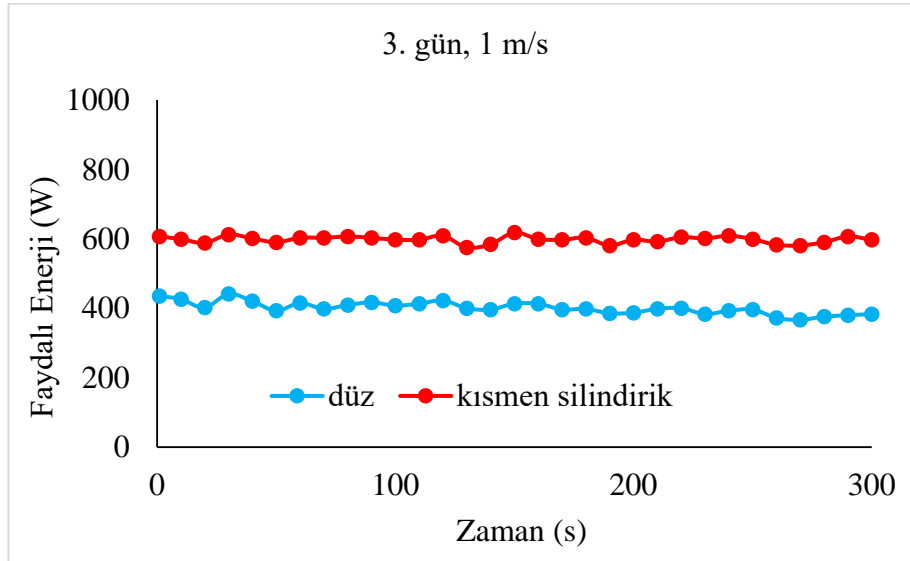
Şekil 4.47 Kolektör Enerjilerinin Anlık Değişimi (2. Gün, 3 m/s)

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin üçüncü güne ait 0,5 m/s hava hızı için anlık enerji değerleri Şekil 4.48’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere düz kolektörün anlık enerjisi 289 W’a kadar çıkarken, kısmen silindirik kolektörün anlık enerjisi ise 378 W’a kadar çıkmıştır.



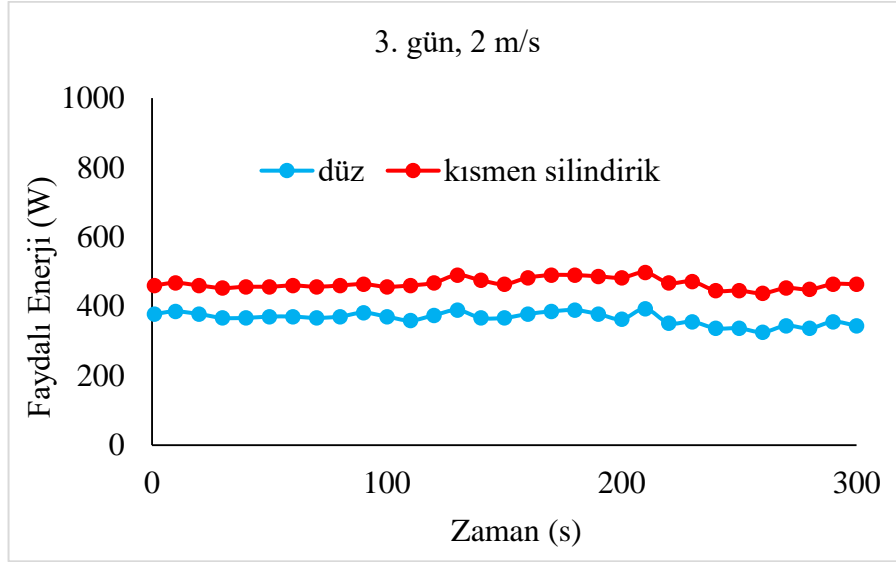
Şekil 4.48 Kolektör Enerjilerinin Anlık Değişimi (3. Gün, 0,5 m/s)

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin üçüncü güne ait 1 m/s hava hızı için anlık enerji değerleri Şekil 4.49’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere düz kolektörün anlık enerjisi 441 W’a kadar çıkarken, kısmen silindirik kolektörün anlık enerjisi ise 618 W’a kadar çıkmıştır.



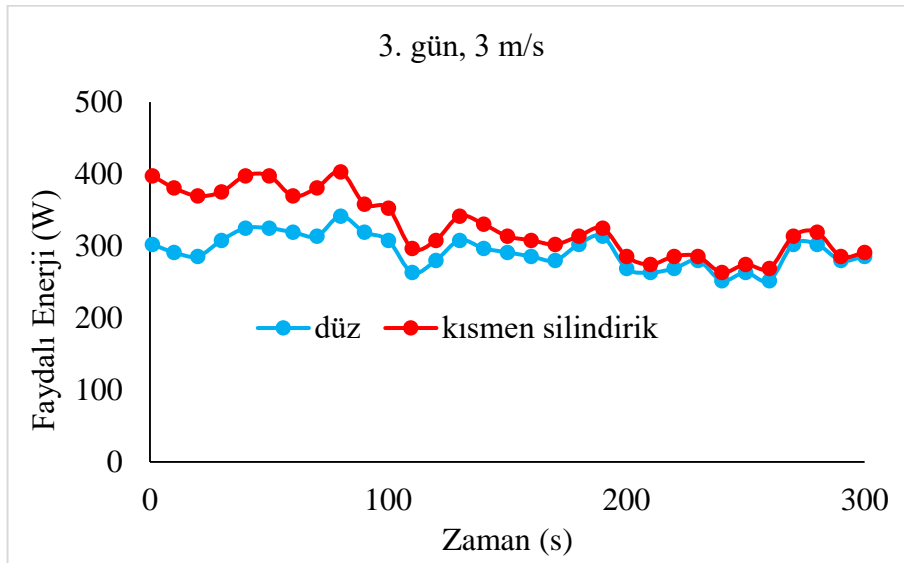
Şekil 4.49 Kolektör Enerjilerinin Anlık Değişimi (3. Gün, 1 m/s)

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin üçüncü güne ait 2 m/s hava hızı için anlık enerji değerleri Şekil 4.50'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere düz kolektörün anlık enerjisi 392 W'a kadar çıkarken, kısmen silindirik kolektörün anlık enerjisi ise 497 W'a kadar çıkmıştır.



Şekil 4.50 Kolektör Enerjilerinin Anlık Değişimi (3. Gün, 2 m/s)

Düz ve kısmen silindirik havalı kolektörlerin üçüncü güne ait 3 m/s hava hızı için anlık enerji değerleri Şekil 4.51'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere düz kolektörün anlık enerjisi 341 W'a kadar çıkarken, kısmen silindirik kolektörün anlık enerjisi ise 403W'a kadar çıkmıştır.



Şekil 4.51 Kolektör Enerjilerinin Anlık Değişimi (3. Gün, 3 m/s)

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, aynı yapı malzemeleri ve boyutlarına sahip, ancak farklı yüzey geometrileri ve akış hızlarına göre tasarlanmış iki adet havalı güneş kolektörünün kolektör çıkış sıcaklıkları, enerji kazanımları ve ısı verimleri karşılaştırılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Kanal içerisinden geçen hava hızının artmasıyla kolektörden çıkan havanın sıcaklığı ters orantılı olarak düşmüştür. Kısmen silindirik kanal geometrisinin hava çıkış sıcaklığı uygulanan 4 hızda da düz kanal geometrisinden ortalama %13 daha yüksektir. Kısmen silindirik kolektörde giriş sıcaklığına göre çıkış sıcaklığının artışı yaklaşık %46 (3 m/s), %70 (2 m/s), %133 (1 m/s) ve %143 (0,5 m/s) olarak gerçekleşmiştir. Düz kolektörde giriş sıcaklığına göre çıkış sıcaklığının artışı yaklaşık %36 (3 m/s), %53 (2 m/s), %116 (1 m/s) ve %123 (0,5 m/s) olarak gerçekleşmiştir.
2. Işınım değeri yüksek ise artan hava hızı ile kısmen silindirik ile düz kolektör çıkış sıcaklıkları arasındaki fark maksimum %19,73 iken, ışınım değeri düştükçe bu fark %2,98'e düşmüştür.
3. Düz kolektörlerin ısı verimleri ışınım değerlerine göre değişim göstermekte olduğu belirlenmiştir. Düz kolektör 2 m/s hava hızında daha verimlidir. Her üç günde en düşük ısı verim 0,5 m/s'de ortalama %35 olarak gerçekleşmiştir. En yüksek ısı verim 1. gün 3 m/s hava hızında %85 olarak hesaplanmıştır.
4. Kısmen silindirik kolektörlerin ısı verimleri de düz kolektörlere benzer şekilde ışınım değerlerine göre değişim göstermektedir. Isıl verim açısından 2 m/s hava hızı daha uygundur. Her üç günde en düşük ısı verim 0,5 m/s'de ortalama %34 olarak gerçekleşmiştir. En yüksek ısı verim 1. gün 3 m/s hava hızında %83 olarak hesaplanmıştır.
5. Maksimum ısı verim 1 ve 2. günlerde 2 m/s hava hızında silindirik kolektörde gerçekleşmiştir. Kısmen silindirik kolektör düz kolektöre göre belirtilen günlerde ortalama %8 daha verimlidir. Diğer hızlarda düz

kolektör kısmen silindirik kolektöre göre ortalama %2 daha verimlidir. Tüm hızlarda düz kolektörle kısmen silindirik kolektörün ısı verimleri benzer hız sıralaması ve eğrilere sahiptir.

6. Farklı günler ve 4 farklı hızlarda yapılan deneylerde kısmen silindirik kolektörden elde edilen faydalı enerji düz kolektörden daha fazladır. En düşük faydalı enerji 0,5 m/s hava hızında ortalama 319 W (düz), 385 W (kısmen silindirik) iken maksimum faydalı enerji 3 m/s hava hızında ortalama 516 W (düz), 656 W (kısmen silindirik) olarak hesaplanmıştır.
7. Her üç günde de 4 hava hızı için Nusselt sayısı düz kolektörde kısmen silindirik kolektöre göre ortalama %9 daha yüksektir. Düz kolektör için Nusselt sayıları 9,6 (0,5 m/s), 16,7 (1 m/s), 30,2 (2 m/s) ve 42,7 (3 m/s) arasında değişirken kısmen silindirik kolektörde bu değer 8,6 (0,5 m/s), 15 (1 m/s), 27,3 (2 m/s) ve 38,6 (3 m/s) arasında değişmektedir.

Bu çalışma, Ordu ilinde havalı güneş kolektörlerinin kullanımının yaygınlaşmasına öncülük edecektir. Çalışmanın yapıldığı tarihte bölgede yoğun olarak fındık kurutma işlemi yapıldığından elde edilen veriler kurutma işlemi açısından bölge üreticileri ve sanayicileri için önemlidir.

Havalı güneş kolektörlerinin performansını artırmak için farklı geometrilerde ve malzemelerde havalı kolektörlerin ısı davranışları gelecek çalışmalarda hem deneysel hem de teorik olarak analiz edilmelidir.

6. KAYNAKLAR

- Anonim, (2016). <http://www.ibcmuhendislik.com/category/uncategorized/> (Erişim tarihi: 22.02.2024).
- Anonim, (2019). <https://www.dpumekatronik.com/hidroelektrik-santrallerinde-elektrik-nasil-uretilir/> (Erişim tarihi: 24.02.2024).
- Anonim, (2020). <https://www.elseroof.com/hizmetlerimiz/on-grid-sistemler/> (Erişim tarihi: 24.04.2024).
- Anonim, (2021). <https://www.invest.gov.tr/en/news/news-from-turkey/pages/turkey-increases-wind-energy-capacity-yeka-tenders.asp> (Erişim tarihi: 22.02.2024).
- Anonim, (2022). <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-biyokutle> (Erişim tarihi: 22.02.2024).
- Anonim, (2022). <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-ruzgar> (Erişim tarihi: 22.02.2024).
- Anonim, (2022). <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-hidrolik> (Erişim tarihi: 24.02.2024).
- Anonim, (2022). <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes> (Erişim tarihi: 24.02.2024).
- Anonim, (2023). <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-petrol> (Erişim tarihi: 22.02.2024).
- Anonim, (2023). <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-dogalgaz> (Erişim tarihi: 22.02.2024).
- Anonim, (2023). <https://enerji.gov.tr/bilgimerkezi-tabiikaynaklar-komur> (Erişim tarihi: 22.02.2024).
- Anonim, (2023). <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-nukleer-enerji> (Erişim tarihi: 22.02.2024).
- Abo-Elfadl, S., Hassan, H. & El-Dosoky, M. (2020). Study of the performance of double pass solar air heater of a new designed absorber: An experimental work. *Solar Energy*, 479-489.
- Agourram, AG. (2013). Phenolic content, antioxidant potential and antimicrobial activeites of fruit and vegetable by-productt extracts. *International Journal of Food Properties*, 16(5), 1092-1104.
- Ammari, HD. (2003). A mathematical model of thermal performance of a solar air heater with slats. *Renewable Energy*, 1597-1615.
- Amraoui, MA. & Benosman, F. (2021). Numerical modeling of a flat air solar collector fitted with. *E3S Web of Conferences*, 321, 04016.
- Ansari, M. & Bazargan, M. (2018). Optimization of flat plate solar air heaters with ribbed surfaces. *Applied Thermal Engineering*, 136, 356-363.

- Bahrehmand, D. & Ameri, M. (2015). Energy and exergy analysis of different solar air collector systems with natural convection. *Renewable Energy*, 83, 1119-1130.
- Bhatti, MS. (1987). Turbulent and transition flow convective heat transfer in ducts. *Handbook of single-phase convective heat transfer*.
- Bhushan, B. & Singh, R. (2010). A review on methodology of artificial roughness used in duct of solar air heaters. *Energy*, 35(1), 202-212.
- BP, (2021). *Statistical Review of World Energy*. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf> (Erişim tarihi: 02.01.2024).
- Chabane, F., Moumami, N. & Benramache, S. (2013). Experimental analysis on thermal performance of a solar air collector with longitudinal fins in a region of Biskra, Algeria. *Journal of Power Technologies*, 93(1), 52-58.
- Chabane, F., Moumami, N. & Benramache, S. (2013). Experimental study of heat transfer and thermal performance with longitudinal fins of solar air heater. *Journal of Advanced Research*, 5(2), 183-192.
- Chum, HL. & Overend, RP. (2001). Biomass and renewable fuels. *Fuel Processing Technology*, 71(1-3), 187-195.
- Çengel, YA. (2012). *Isı ve Kütle Transferi*. Güven Bilimsel.
- Darıcı, S. (2020). Design, manufacture and thermal analysis of a single pass solar air collector at different mass flow rates. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(3), 1187-1198.
- Dittus, FW. & Boelter, LMK. (1930). University of California publications on engineering. *University of California publications in Engineering*, 2, 371.
- Enerji Bakanlığı, (2022). <https://www.enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes> (Erişim tarihi: 22.02.2024).
- Fudholi, A., Zohri, M., Rukman, NSB., Nazri, NS., Mustapha, M., Yen, CH.... & Sopian, K. (2019). Exergy and sustainability index of photovoltaic thermal (PVT) air collector: A theoretical and experimental study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 100, 44-51.
- Garg, HP. (1982). Treatise on solar energy volume i Fundamentals of solar energy. John Wiley & Sons.
- Gepa, (2006). <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> (Erişim tarihi: 22.02.2024).
- Ghasemi, SE., & Ranjbar, AA. (2016). Thermal performance analysis of solar parabolic trough collector using nanofluid as working fluid: A CFD modelling study. *Journal of Molecular Liquids*, 222, 159-166.
- Karim, MA. & Hawlader, MNA. (2006). Performance evaluation of a v-groove solar air collector for drying applications. *Applied thermal engineering*, 26(1), 121-130.

- Karsli, S. (2007). Performance analysis of new-design solar air collectors for drying applications. *Renewable Energy*, 32(10), 1645-1660.
- Keesstra, SD. (2016). The Significance of soils and science towards rezlization of the United Nations Sutainable Development Goals. *Soil*, 21(2), 133-139.
- Khatri, R., Goswami, S., Anas, M., Sharma, S., Agarwal, S. & Aggarwal, S. (2020). Performance evaluation of an arched plate solar air heater with porous aluminum wire mesh cylindrical fins. *Energy Reports*, 6, 627-633.
- Kurtbaş, İ. & Durmuş, A. (2004). Efficiency and exergy analysis of a new solar air heater. *Renewable Energy*, 29(9), 1489-1501.
- Livatyalı, H. (2011). *Yoğunlaştırılmış Gneş Enerjisi Teknolojileri*. https://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/c21ec3eb17542d5_ek.pdf (Erişim tarihi: 24.02.2024).
- zkaya, MG., Kırbaş, İ. & İncili, V. (2007). Havalı gneş kollektrnn performansının deneysel olarak incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 10(3), 253-256.
- Panwar, NL., Kaushik, SC. & Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1513-1524.
- Our World in Data. (2022). <https://ourworldindata.org/energy-mix?ref=research.layers.cloud> (Erişim tarihi: 24.02.2024).
- Sabzpooshani, M., Mohammadi, K. & Khorasanizadeh, H. (2014). Exergetic performance evaluation of a single pass baffled solar air heater. *Energy*, 64, 697-706.
- Shuilian, L., Hui, W., Xiangrui, M. & Xinli, W. (2016). Comparative study on the performance of a new solar air collector with different surface shapes. *Applied Thermal Engineering*, 114, 639-644.
- Statista, (2021). <https://www.statista.com/statistics/267081/electricity-consumption-in-selected-countries-worldwide/> (Erişim tarihi: 24.02.2024).
- Statista, (2023). <https://www.statista.com/statistics/263457/primary-energy-consumption-by-region/> (Erişim tarihi: 24.02.2024).
- Sudhakar, P. & Cheralathan, M. (2019). Thermal performance enhancement of solar air collector using a novel V-groove absorber plate with pin-fins for drying agricultural products: an experimental study. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 140(5), 2397-2408.
- Sugz, İ. & Sarsılmaz, C. (2006). Havalı gneş kollektr ile i ortam ısıtılmasının deneysel olarak araştırılması. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mhendislik Bilimleri Dergisi*, 18(2), 257-265.
- Sun, C., Liu, Y., Duan, C., Zheng, Y., Chang, H. & Shu, S. (2016). A mathematical model to investigate on the thermal performance of a flat plate solar air collector and its experimental verification. *Energy Conversion and Management*, 115, 43-51.

- Türkoğlu, NŞ. (2016). Effects of climate changes on phonological periods of apple cherry and hheat in Turkey Türkiye'de iklim değişikliklerinin elma kiraz ve buğdayın fenolojik dönemlerine etkileri. *Journal of Human Sciences*, 13(1), 1036-1057.
- World Energy Council. (2019). *World Energy Scenarios*. London.
- Yavuzaslanoğlu, EG. (2016). Distribution of the entamopathogenic nematods in apple growing areas of Karaman Turkey,. *Pakistan Journal of Nematology*, 34(1), 53-62.
- Yeh, HM. & Lin, TT. (1996). Efficiency improvement of flat-plate solar air heaters. *Energy*, 21(6), 435-443.
- Yıldırım, C. & Solmuş, İ. (2014). Çift geçişli hava akışkanlı güneş toplacı kanal yüksekliğinin termohidrolik verime etkisinin incelenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 34(1), 111-122.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Ali ALAN
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	
E-Posta Adresi	
Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Celal Bayar Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Makine Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2015
Yüksek Lisans	
Üniversite	Ordu Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı
Mezuniyet Tarihi	14.06.2024