T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİ GELİŞTİRİLEN HAVALI GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNÜN ENERJİ VE EKSERJİ PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Zafer TUNCER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

DİYARBAKIR
Haziran - 2018

T.C

DİCLE UNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DİYARBAKIR

Zafer TUNCER tarafından yapılan "Yeni Geliştirilen Havalı Güneş Kolektörünün Enerji ve Ekserji Parametrelerinin Belirlenmesi" konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyesinin

	Ünvanı	Adı Soyadı
Başkan:	Doç.Dr.	Vedat ORUÇ
Üye :	Dr. Öğr. Üyesi	Atilla G. DEVECİOĞLU
Üye :	Dr. Öğr. Üyesi	Neşe BUDAK ZİYADANOĞULLARI

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 19/06/2018

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../2018

Doç.Dr. Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜR

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasında çok önemli katkıları olan ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Dr.Öğr.Üyesi. Atilla G. DEVECİOĞLU'na ve MÜHENDİSLİK-15.006 numaralı projesi ile desteğinden dolayı Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinatörlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım.

Zafer TUNCER

Makine Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR..... I

İÇİNDEKİLER..... II

ÖZET..... III

ABSTRACT..... IV

ÇİZELGE LİSTESİ..... V

ŞEKİL LİSTESİ..... VI

KISALTMA VE SİMGELER..... VIII

1. GİRİŞ.....**1**

1.2. Güneş Enerjisi 2

1.3. Havalı Güneş Kollektörleri 9

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR **17**

3. MATERYAL VE METOT **31**

3.1. Materyal 31

3.1.1. Bakır Elek Telli Emici Yüzey Deney Düzeneği 31

3.1.2. Bakır Yünü Örtülü Emici Yüzey Deney Düzeneği 33

3.1.3. Ölçüm Cihazları 34

3.2. Metot 35

3.2.1. Kollektörlerin Termal Analizi 35

3.2.2. Kollektör Verimi 37

3.2.3. Ekserji Analizi 38

4. ARAŞTIRMA BULGULARI **41**

4.1. Yapılan Deneyler ve Bulgular 41

4.1.1. Bakır Elek Teli Kullanılarak Yapılan Deneyler 41

4.1.2. Farklı Kollektör Açılarında Bakır Elek Teli ile Yapılan Deneyler 48

4.1.3. Bakır Yünü ile Yapılan Deneyler 57

5. TARTIŞMA VE SONUÇ **65**

6. KAYNAKLAR **69**

ÖZGEÇMİŞ.....**75**

ÖZET

YENİ GELİŞTİRİLEN HAVALI GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNÜN ENERJİ VE EKSERJİ PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Zafer TUNCER

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2018

Yapılan bu çalışmada yeni tasarlanan poroz yüzeyli havalı güneş kolektörünün enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Deneysel çalışmalar için üç ayrı deney düzeneği hazırlanmıştır. İlk deney düzeneğinde, emici yüzeyine herhangi madde serilmeden düz yüzey kullanılmıştır, ikinci çalışmada emici plaka üzerine bakır elek teli serilmiştir, üçüncü çalışmada emici plaka üzerine bakır yünü serilmiştir. Bu şekilde emici plakanın makro düzeyde seçici yüzey gibi davranması ve akışın ısıl sınır tabakasının bozulmasıyla emici plakanın daha fazla ısı absorbe etmesi hedeflenmiştir. Deneyler farklı kolektör tipleri için 0.030, 0.035, 0.044 ve 0.055 kg/s kütlesel debilerde tekrarlanmıştır. Verim hesaplaması için, kolektöre giren ve çıkan havanın sıcaklığı, havanın hızı, ışınım şiddeti ve kolektörde meydana gelen basınç farkı ölçülmüştür. Düzey yüzeyli kolektörlerde 0.035 kg/s kütlesel debi değeri için maksimum ısıl verim %50; 0.044 kg/s kütlesel debi değeri için maksimum ısıl verim % 68 bulunmuştur. Bakır elek teli serilen kolektörde 0.035 kg/s kütlesel debi değeri için maksimum ısıl verim %58; 0.044 kg/s kütlesel debi değeri için maksimum ısıl verim %77 bulunmuştur. Birinci ve ikinci deney düzeneği farklı kollektör açılarında incelenmiştir. Ayrıca ikinci çalışmada yeni tasarlanan poroz yüzeyli havalı güneş kolektörünün ve düz yüzeyli kollektörün termal performansı, farklı kolektör açılarında araştırarak incelenmiştir. Aynı kütlesel debide düz yüzeye sahip kolektörün 35° eğim açısındaki verimi ile bakır elek telli kolektörün 25° eğim açısındaki verimleri karşılaştırıldığında kolektör açısının, kolektör emici yüzeyine göre verimi daha çok etkilediği görülmüştür. Emici yüzeye bakır yünü serilen kolektörün, 0.035 kg/s kütlesel debi değeri için maksimum ısıl verim %57; 0.044 kg/s kütlesel debi değeri için maksimum ısıl verim %73 olarak bulunmuştur. Kolektörlere ait termal-hidrolik verim değerleri %20- %70 arasında tespit edilmiştir. Deneysel sonuçlara göre hesaplanan ekserji verimleri %2 -%11 arasında hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Poroz yüzey, havalı güneş kollektörü,ekserji

ABSTRACT

THE DETERMINATION OF ENERGY AND EXERGY PARAMETERS OF A NEWLY DESIGNED SOLAR AIR COLLECTOR

Zafer TUNCER

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DICLE UNIVERSITY

2018

This experimental investigation has been carried out to study on energy and exergy analyses of newly designed solar air collector with porous surface by preparing three different experimental setups. For the first experimental setup, a flat surface was used without spreading any substance on the absorbent surface, copper wire mesh was laid on the absorber plate in the second setup, copper wool was laid on the absorber plate in the third setup In this way, the absorber plate was aimed to absorb more heat and impair the the thermal boundary layer of the flow. The tests were repeated for different collector types at 0.030, 0.035, 0.044 and 0.055 kg /s mass flow rates. For the efficiency calculation, the temperature difference of the air entering and leaving the collector, the velocity of the air, the intensity of the radiation and the pressure difference in the collector were measured. The maximum thermal efficiency of flat surface collectors at the rate of 0.035 kg/h mass flow rate was found 50%; the maximum thermal efficiency at the rate of 0.044 kg/h was found to be 68%. The maximum thermal efficiency of the collector for which copper wire mesh was laid on the absorber plate was found 58% at the 0.035 kg/h mass flow rate and 77% at the 0.044 kg/h mass flow rate. The first and second experimental setups were checked out at different collector angles. In addition, the thermal performance of the newly designed solar air collector with porous surface and the thermal performance of the collector with flat surface were examined at different collector angles. By comparison with the efficency of the collector having flat surface at the angle of 35° and the efficiency of the collector with wire mesh at 25° at the same mass flow rate, it has been found that the angle of collector has more important role on the efficiency rather than the absorbent surface of collector. Maximum thermal efficiency of 57% for a mass flow rate of 0.035 kg/s for a collector with copper wool laid on the absorbent surface; The maximum thermal efficiency for the mass flow rate of 0.044 kg/h was found to be 73%. The thermal-hydraulic efficiency values of the collectors are between 20% and 70%. Exergy efficiency calculated from the experimental results are estimated to be between 2% and 11%

Key Words:, Porous surface, solar air collector, exergy

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No		Sayfa
Çizelge 1.1.	Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli	4
Çizelge 1.2.	Havalı güneş kollektörlerinin avantaj ve dezavantajları	9
Çizelge 1.3.	Bazı yüzeylerin güneş ışınımını yutma ve uzun dalga boylu ışınımları yansıtma oranları	12
Çizelge 1.4.	Yalıtım malzemelerinin özellikleri	15
Çizelge 3.1.	Ölçüm cihazlarına ait özelikler ve doğruluk oranları	34
Çizelge 4.1.	Deneyde kullanılan kollektör tipleri	41
Çizelge 4.2.	Kolektör çeşitlerinin sınıflandırılması	49
Çizelge 4.3.	Literatür ile mukayese	65

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 1.1.	Güneşten yeryüzüne gelen ışınım dağılımı	2
Şekil 1.2.	Havalı güneş kollektörü	5
Şekil 1.3.	Düzlemsel yüzeyli güneş kollektörü	6
Şekil 1.4.	Odaklanabilen güneş kollektörü	6
Şekil 1.5.	Çanak tipli güneş kollektörü	6
Şekil 1.6.	Güneş kollektörlerinin sınıflandırılması	7
Şekil 1.7.	Havalı güneş kollektörünün şematik görünüşü	9
Şekil 1.8.	Havalı güneş kollektörü tasarımında seçilmesi gereken parametreler	10
Şekil 1.9.	Cam örtü geçirgenliği ile kollektör veriminin değişimi	11
Şekil 1.10.	Havalı kollektörlerin emici yüzey şekilleri	12
Şekil 1.11.	Farklı tiplerdeki kaplamalı ve kaplamasız hava kollektörlerinin örtü, emici panel yerleşim düzenekler	14
Şekil 2.1.	V tipli emici yüzey	22
Şekil 2.2.	Çift akışlı farklı engellere sahip emici yüzeyi olan havalı güneş kollektörü	25
Şekil 2.3.	Alüminyum kutulu iki hava akışlı ısı transfer alanını arttırılmış havalı güneş kollektörü	25
Şekil 2.4.	Havalı güneş kollektörü emici yüzeyleri	28
Şekil 2.5.	Yüzey biçimleri	29
Şekil 3.1.	Deneyde kullanılan havalı güneş kollektörü şematik gösterimi	31
Şekil 3.2	Bakır elek telli emici plakaya sahip havalı güneş kollektörü	31
Şekil 3.3.	Bakır elek teli	32
Şekil 3.4.	Bakır yünü ve deney şeması	33
Şekil 3.5.	Anemometre	34
Şekil 3.6.	Dijital termometre	34
Şekil 3.7.	Fark Basınç ölçer	35
Şekil 3.8.	Kızıl ötesi termometre	35
Şekil 3.9.	Güç ölçer	35
Şekil 4.1.	Işınım miktarı –zaman grafiği	42

Şekil 4.2. T_{out} –zaman grafiği 43
Şekil 4.3. ΔT –zaman grafiği 43
Şekil 4.4. Basınç farkı-kütlesel debi ile değişim grafiği 44
Şekil 4.5. Verim-zaman grafiği 45
Şekil 4.6. Enerji –zaman grafiği 45
Şekil 4.7. η_{th} -zaman grafiği 46
Şekil 4.8. Enerji –zaman grafiği 48
Şekil 4.9. Deney düzeneği 49
Şekil 4.10. Işınım miktarı- zaman grafiği 50
Şekil 4.11. T_{out} –zaman grafiği 50
Şekil 4.12. ΔT –zaman grafiği 51
Şekil 4.13. Basınç farkı-kütlesel debi ile değişim grafiği 51
Şekil 4.14. Verim-zaman grafiği 53
Şekil 4.15. Ekserji-zaman grafiği 53
Şekil 4.16. η_{th} -zaman grafiği 54
Şekil 4.17. Enerji değişimi-zaman grafiği 56
Şekil 4.18. Işınım miktarı-zaman grafiği 57
Şekil 4.19. T_{out} –zaman grafiği 58
Şekil 4.20. Δt-zaman grafiği 58
Şekil 4.21. Basınç farkı-kütlesel debi ile değişim grafiği 59
Şekil 4.22. Verim-zaman grafiği 59
Şekil 4.23. Verim-zaman grafiği 60
Şekil 4.24. Ekserji verimi-Zaman Grafiği 61
Şekil 4.25 Ekserji verimi-Zaman Grafiği 61
Şekil 4.26. η_{th} -zaman grafiği 62
Şekil 4.25. Enerji –zaman grafiği 63

KISALTMA VE SİMGELER

HGK : Havalı güneş kollektörü

η : Kollektör verimi

η_{th} : Termal hidrolik verim

η_{Ex} : Ekserji verimi

Q_u : Kollektörden alınan kullanılabilir enerji (W)

Q_y : Güneş enerjisi miktarı (W)

$\dot{m}$: Kollektörden geçen havanın kütlesel debisi (kg/s)

C_p : Havanın sabit basınçta özgül ısısı (kJ/kg.K)

I_g : Kollektör yüzeyine gelen ışınım miktarı (W/m^2)

ΔT_k : Kollektörden çıkan ve kollektöre giren havanın sıcaklık farkı (°C)

A_k : Kollektör alanı (m^2)

ρ : Havanın yoğunluğu (kg/m^3)

V : Hava akış hızı (m/s)

$A_ç$: Havanın kollektör çıkış kesit alanı(m^2)

Δt : Sıcaklık farkı (°C)

F_{fan} : Fan gücü (W)

h : Entalpi (kJ/kg)

Δh : Entalpi farkı

s : Entropi (kJ/kg.K)

R : Gaz sabiti (kJ/kg.K)

Ex : Ekserji verimi

Alt indisler:

e : Çevre

g : Giriş

ç : Çıkış

out : Kollektör çıkışı

in : Kollektör girişi

1. GİRİŞ

Dünya üzerinde bulunan rezerv kaynaklarının sınırlı sayıda olması ve artan fosil yakıt kullanımı araştırmaları alternatif enerji kaynaklarına itmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi dünyada kullanılan en bilinen enerji kaynaklarından biridir. İnsanlığın güneş enerjisinden faydalanması milyonlarca yıl öncesine dayanır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde güneş enerjisi önemli bir yere sahiptir. Diğer enerji kaynaklarıyla karşılaştırılınca temiz ve çevreye karşı zararsız olması en büyük avantajlarındandır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen güneş enerjisi günümüz uygulamalarında güvenilir olarak kullanılmasının yanı sıra kullanımının basit olması güneş enerjisinin önemli avantajlarındandır. Başka bir avantajı ise çevre dostu olması ve kullanım süresinin uzun olmasıdır. Güneş enerjisinden yararlanmak için çeşitli ve yeni uygulamalar geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla 17. yüzyılda Galileo ve Lavoisier tarafından güneş enerjisi üzerine çalışmalar yapılmıştır. 20. yüzyılın başlarında güneş enerjisi; Şili'de su damıtma santralinde, Mısır'da ise sulama pompasında kullanılmıştır. Robert Goddard (1930), Ay'a gönderilen bir rokette kullanılan ve güneş enerjisi ile çalışan beş cihazın patenti için başvurmuştur (Kelek 1996).

Güneşten dünyaya gelen güneş enerjisinin yoğunluğu, atmosferin üzerinde 1.35 kW/m^2 düzeyindedir. Dünyaya gelen güneş enerjisi gücü $1.78x10^{14}$ kW miktarında olup dünyada bulunan elektrik santrallerine göre güneş enerjisi 100 bin kat daha güçlüdür. Bir başka ifadeyle; dünyada mevcut olan kömür rezervinin 50 katı ve petrol rezervinin de yaklaşık 800 katı kadar güneş enerjisi bir yılda dünyaya gelmektedir (Ültanır, 2005).

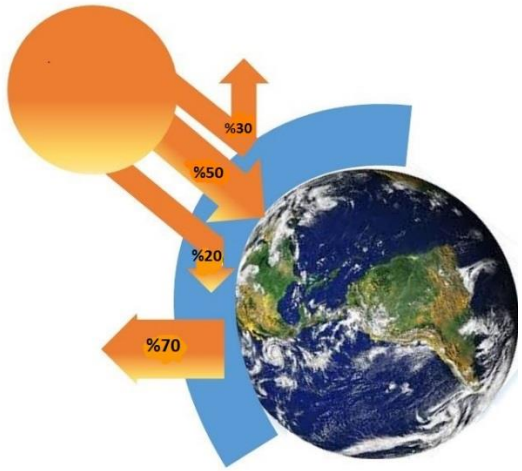
Türkiye, özellikle Akdeniz, Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde, oldukça yüksek bir potansiyel mevcut olduğu halde, yeteri kadar güneş enerjisinden faydalanamamaktadır. Güneş enerjisi temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olması bakımından genel olarak ilk yatırım dışında herhangi bir maliyet gerektirmeyen, ucuz özellikle konut, gıda, tekstil ve kimya gibi birçok endüstriyel alanda, düşük sıcaklık uygulamalarında kolaylıkla kullanılabilecek bir doğal kaynaktır (Oğulata, 1997). Havalı Güneş kollektörü güneş enerjisi kullanılarak dış ortamdan alınan havanın ısıtılarak ortama verildiği sistemlerdir. Havalı güneş kolektörleri (HGK) güneş enerjisi kullanımı sistemlerinden en önemlilerinden birisidir. Bu hava ısıtıcıları güneş ışınlarını emer ve emici yüzeydeki enerjiyi ısı enerjisine çevirdikten sonra kolektör içindeki akışkana

aktarır. Basit yapısı nedeniyle HGK ucuz ve en çok kullanılan kolektörlerden biridir. Sistemde basınç sorunları ve donma olayı olmaması sistemin diğer avantajlarındandır. Sistemde kullanılan havanın düşük entalpisi nedeniyle geniş ısı transfer yüzeyine ve yüksek üfleme debisine sahip olmalıdırlar.

Bu sistemin genel olarak plastik veya camdan oluşan geçirgen örtü, emici plaka, plakaya monte edilmiş veya alt kısmına yerleştirilmiş boru veya kollektör kanalları, yalıtkan malzemesi ve kollektör yapısından oluşmaktadır (Sancar, 2014). HGK genel olarak ortam ısıtılması, endüstriyel kurutma sistemleri ve tarım ürünleri kurutma amaçlı kullanılır.

1.2. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi güneşteki hidrojen atomumun helyum atomuna füzyon süreci sonucunda dönüşmesi ile ortaya çıkmaktadır. Güneşten termonükleer 62 W/m^2 dalga boylarında enerji açığa çıkmaktadır (Ateş ve ark. 2009). Güneşten gelen enerjinin sadece 2 milyarda biri dünyaya ulaşmaktadır. Dünya genelinde kullanılan enerjinin 15 bin katı 150 milyon km'lik mesafeyi aşarak güneşten yeryüzüne ulaşmaktadır (Ateş ve ark. 2009). Güneş enerjisinin yeryüzü atmosferi dışındaki ışınım değeri 1350 W/m^2 olarak ölçülmekte olup güneş enerjisinin yeryüzünün coğrafi yapısından dolayı dağılımı değişkenlik göstermektedir. Yeryüzüne ulaşan yaklaşık güneş enerjisi 0 – 1100 W/m^2 değerleri arasındadır (Ateş ve ark. 2009).



Şekil 1.1. Güneşten yeryüzüne gelen ışınım dağılımı (Eie 2017).

Güneş ışınımının sadece bir miktarı dünyaya ulaşır, %30'u dünya atmosferi tarafından yansıtılır. Güneş ışınımının sadece %50 kadarlık kısmı atmosferi geçerek yeryüzüne ulaşır. Güneşten yeryüzüne gelen ışınım dağılımı şekil 1.1'de verilmiştir. Bu enerji aracılığıyla yeryüzünde sıcaklık yükselir ve dünyada hayat mümkün olur. Bu ısınma sayesinde rüzgâr hareketleri ve okyanus dalgalanmaları meydana gelir. Atmosfer ve bulutlar tarafından güneşten gelen ışınımının %20'si tutulur (Ateş ve ark. 2009).

Güneş enerjisinin uygulama alanları şu şekilde sıralanabilir;

• Sıcak su ihtiyacının karşılanması,

• Konut ısıtılması ve soğutulması,

• Kurutma uygulamaları,

• Güneş fırınları,

• Güneş panelleri ile elektrik üretimi,

• Deniz suyunun tuzunun arıtılması ve tuz ihtiyacının karşılanması,

• Sanayide ihtiyaç duyulan buharın üretimi,

• Tarım,

Güneş enerjisinin diğer enerji türlerine göre daha fazla sayıda üstünlüğü bulunmaktadır. Bol ve tükenmeyen tek enerji kaynağı olması, çevreye zararsız olması ve çevreye zararlı olan karbon monoksit, kükürt vb. gibi gazların etkilerinin olmaması önemli özelliklerdir (Bayrak 2011).

1.2.1. Işınım çeşitleri

Yeryüzüne gelen güneş ışınımı yayılı veya difüz ışınım ile direk güneş ışınımı olmak üzere iki çeşide ayrılır. Direk ışınım atmosferden dünyamıza yayılmadan gelen ışınımdır. Yayılı veya difüz ışınım ise atmosferde dağılarak yeryüzünün herhangi bir bölümüne gelen ışınımdır.

1.2.2. Türkiye'de Güneş Enerjisi

Türkiye, coğrafi konumu sayesinde güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre avantajlı durumdadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının yaptığı çalışmaya göre;

- Türkiye'de senelik güneşlenme süresi 2737 saattir (günlük toplam 7.5 saat).
- Ortalama senelik ışınım şiddeti 1527 kWh/m² bu da günlük toplam 4.2 kWh/m² olarak belirlenmiştir (Bayrak 2011).

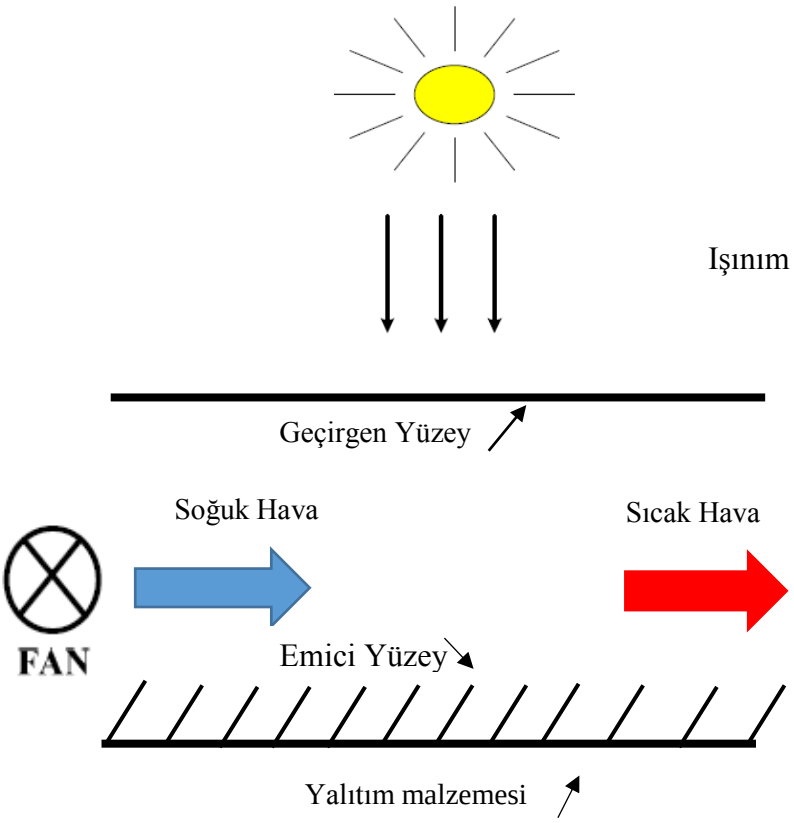
Aylara göre Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresinin aylara göre dağılımı Çizelge-1.1 de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli (Bayrak 2011).

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi(kWh/m^2-Ay)	Güneşlenme Süresi (Saat/Ay)
OCAK	51.75	103
ŞUBAT	63.27	115
MART	96.65	165
NİSAN	122.23	197
MAYIS	153.86	273
HAZİRAN	168.75	325
TEMMUZ	175.38	365
AĞUSTOS	158.40	343
EYLÜL	123.28	280
EKİM	89.90	214
KASIM	60.82	157
ARALIK	46.87	103
TOPLAM	1311	2640
ORTALAMA	3.6 kWh/m^2-gün	7.2 saat/gün

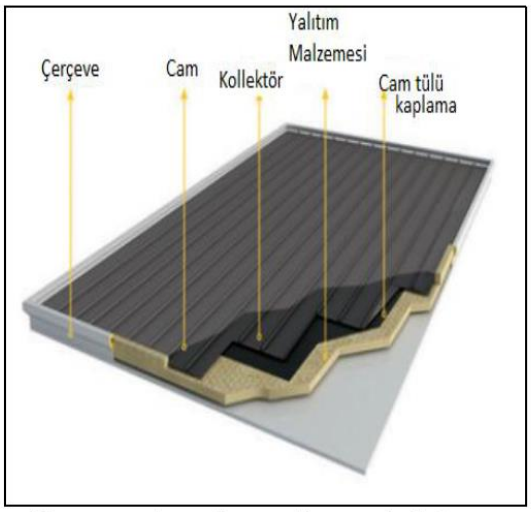
Ülkemizin güneş enerjisi açısından en avantajlı bölgesi Güney Doğu Anadolu Bölgesi olup, ardından Akdeniz Bölgesi gelmektedir. Ülkemizdeki teknolojik gelişmelerle sayesinde güneş enerjisinin gelecekteki yeri oldukça iyi gözükmektedir. Yapılan yatırımlarımla birlikte güneş enerjisi kullanımı giderek artırılmaktadır.

Güneş enerjisi kollektörleri özel ısı değiştiricileri olup, güneş enerjisini su ya da hava gibi akışkana aktarmaktadır. Güneş enerjisinden faydalanmanın en kısa yolu güneş kollektörü kullanmaktır. Bu sistemler gelen güneş ısınlarını emip, ısıya çevirmekte ve bu ısıyı başta hava olmak üzere, su ya da yağ gibi bir akışkanlara aktarmaktadır. Şekil 1.2 de havalı güneş kollektörü şematik resmi görülmektedir.

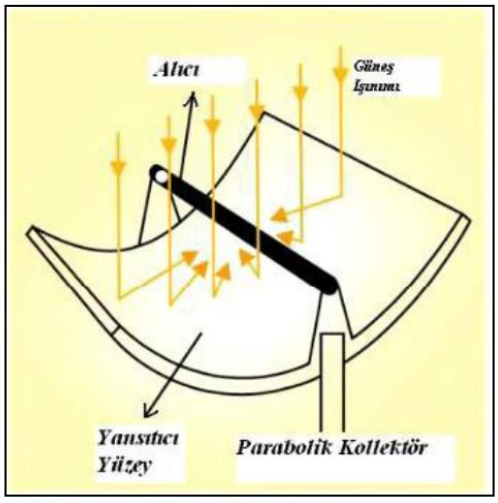


Şekil 1.2. Havalı Güneş Kollektörü

Sabit güneş kollektörleri düz yüzeyli olup, güneş ışığını belirli bir noktaya odaklamazlar. Odaklanabilen güneş kollektörleri genellikle iç bükey bir yüzeye sahiptir ve güneş ışınının merkezi, artan radyasyon değişimi sebebiyle çok küçük bir alanda ışın birikmesine maruz kalır. Sadece direkt radyasyondan faydalanırlar, yüksek sıcaklık elde edinilebilir. Verimli kullanılması için güneşi görmek zorundadırlar. Bu nedenle odaklanabilen kollektörler, güneş alma yönünden zengin yörelerde daha verimli olarak kullanılırlar (Özgen, 2007). Şekil 1.3'de düzlemsel yüzeyli güneş kollektörü, şekil 1.4'de parabolik oluk tipli güneş kollektörü ve şekil 1.5'de parabolik çanak tipli güneş kollektörü görülmektedir.



Şekil 1.3. Düzlemsel yüzeyli güneş kollektörü

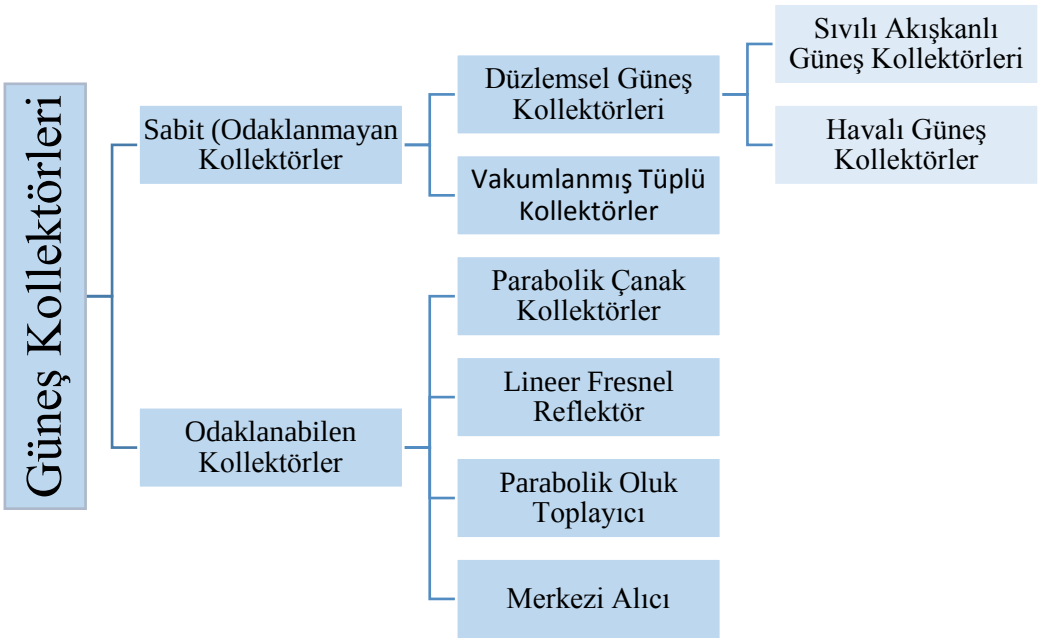


Şekil 1.4. Odaklanabilen güneş kollektörü (Parabolik oluk)



Şekil 1.5. Çanak tipli güneş kollektörü (Parabolik çanak)

Güneş kollektörleri sabit ve odaklanabilen olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Bu kollektörler de kendi içerisinde farklı sınıflara ayrılmıştır. Bu sınıflandırma, şekil 1.6'da verilmiştir.



Şekil 1.6. Güneş kollektörlerinin sınıflandırılması

1.2.3. Düzlemsel (odaklanamayan) Kollektörler

Güneş enerjisinin toplandığı ve bir akışkana aktarıldığı genellikle sabit pozisyonda olan kollektörlerdir. Düzlemsel güneş kollektörleri sıvı akışkanlı ve havalı güneş kollektörleri olmak üzere iki tipe ayrılır. Düzlemsel güneş kollektörleri, sırasıyla, camdan yapılan geçirgen üst örtü, cam ile emici plaka arasında kabul edilebilir boşluk, plastik veya metalden oluşan emici plaka tabakası, arka ve yanlarda bulunan kollektör yalıtımı ve bu bölümleri içine alan bir kasadan meydana gelmektedir.

1.2.4. Odaklanabilen (yoğunlaştırmalı) Kollektörler

Odaklanabilen güneş kollektörleri, güneş ışınlarını bir merkezde toplamaya yararlar. Güneş ışınlarının büyük bir kısmı çok küçük bir alan üzerine yoğunlaştırılarak sıcaklık arttırılabilir.

Odaklı güneş kollektörlerinin avantajlarından bazıları (Kalogirou ve ark.1994);

- Çalışma akışkanı, düz plakalı sistemlerle karşılaştırıldığında, odaklayıcı sistemler daha yüksek sıcaklık değerlerine sahiptir. Böylece daha yüksek termodinamik verime ulaşılabilir.

- Toplayıcı alandaki küçük ısı kayıplarından dolayı termal verim çok büyüktür. Yansıtıcı yüzeyler daha az malzemeye ihtiyaç duyarlar ve yapısal olarak düzlemsel kollektörlerlerden daha basittirler.

- Toplam birim güneş enerjisinin küçük alanlı toplayıcılarda toplanması, seçici yüzeyin ısıl davranışı, vakum yalıtımı ile ısı kayıplarının azaltması ve kollektör etkinliğini arttırması nedeniyle ekonomik olarak makuldürler.

Odaklanabilen güneş kollektörlerinin dezavantajları;

- Odaklanabilen sistemler, yoğunlaştırıcı oranına bağlı olarak daha az yayılmış ışınımları toplar.
- Güneş yansıtıcılı yüzeyler zamanla yansıtma özelliklerini kaybedebilirler ve periyodik temizliğe ve bakıma ihtiyaç duyarlar (Özgen**,** 2007).

1.3. Havalı Güneş Kollektörleri

Havalı güneş kollektörlerinde; güneş enerjisi, ısı transferi sağlayan hava yardımıyla kullanılabilir ısı enerjisine dönüştürülür. Havalı kollektörlerde ısıtılan hava direkt kullanılabilir veya yeryüzünün güneş almadığı zamanlarda ısı gereksinimini karşılamak üzere ısı enerjisini depolanabilir. Kollektörlerin; en önemli parçası olan emici yüzeyler, aldıkları güneş enerjisini kanal içinden geçen akışkana aktararak akışkanın sıcaklığını artırırlar.

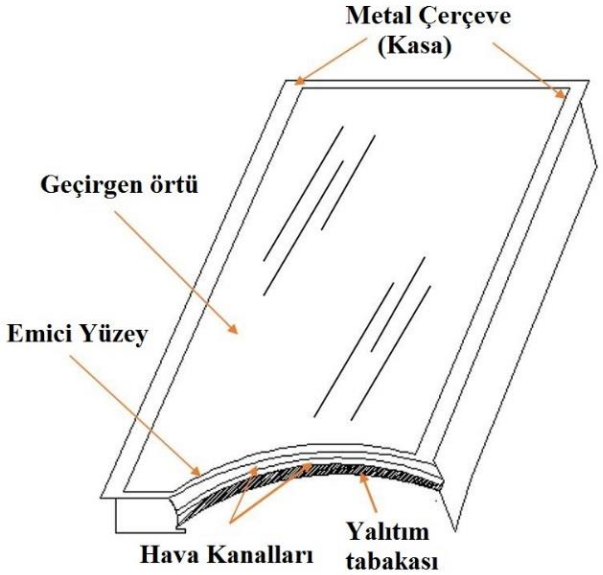
Sıcaklığı artan akışkan ise kullanım amacına uygun olarak depolanıp kullanıldığı gibi tekrar çevrime gönderildiği durumlarda vardır. Güneş enerjisinin emici yüzey tarafından emilerek ısıyı temas ettiği akışkana verimli bir şekilde iletilebilmesi için emici yüzeyin ısı iletim katsayısı yüksek olan malzemeden seçilmesi gerekmektedir (Kırbaş, 2006). Havalı güneş kollektörlerinin avantaj ve dezavantajları çizelge 1.2 de verilmektedir.

Çizelge 1.2. Havalı güneş kollektörlerinin avantaj ve dezavantajları

HAVALI KOLLEKTÖRLER	
AVANTAJLARI	**DEZAVANTAJLARI**
Donma problemi yoktur.	Hava iyi bir ısı transfer akışkanı değildir.
Basit ve güvenilirdir.	Hava debisinin arttırılması için, hava kanallarının boyutlarını arttırmak gerekir.
Kuru havada iç korozyon problemi Kaynama ve basınç problemi yoktur.	Kanallar için geniş alana ihtiyaç vardır.
Hava sızıntılarının, su sızıntıları gibi zararlı etkisi yoktur.	Havalı kollektörlerin verimi, sıvılı kollektörlere oranla daha düşüktür

Düzlemsel bir havalı güneş kollektörü, ısıyı yutmak amacı ile düzlemsel bir plaka ve üzerine yerleştirilmiş bir veya daha fazla kattan oluşan cam malzemeden yapılmış veya geçirgen örtüden oluşan sistemlerdir. Tüm kollektör kısımları geçirgen örtü dışında olan kısımları, enerji kayıplarını minimuma indirmek için, ısı yayımı iyi olan malzemelerden seçilmelidir.

Geçirgen örtü, atmosfere ulaşan güneş ışınımının kayıplarını azaltarak, güneş ışınlarını geçirerek düzlemsel levha ve geçirgen örtü arasında kalan boşlukta tutulmasını veya siyah cisim vasıtasıyla emilmesini sağlar. Toplanan ısı daha sonra, emici yüzey ile geçirgen örtü arasına yerleştirilen kanaldan geçerek akışkana aktarılır (Duffie ve Beckman 1991). Havalı güneş kollektörünün şematik görünüşü şekil 1.7 de verilmiştir.

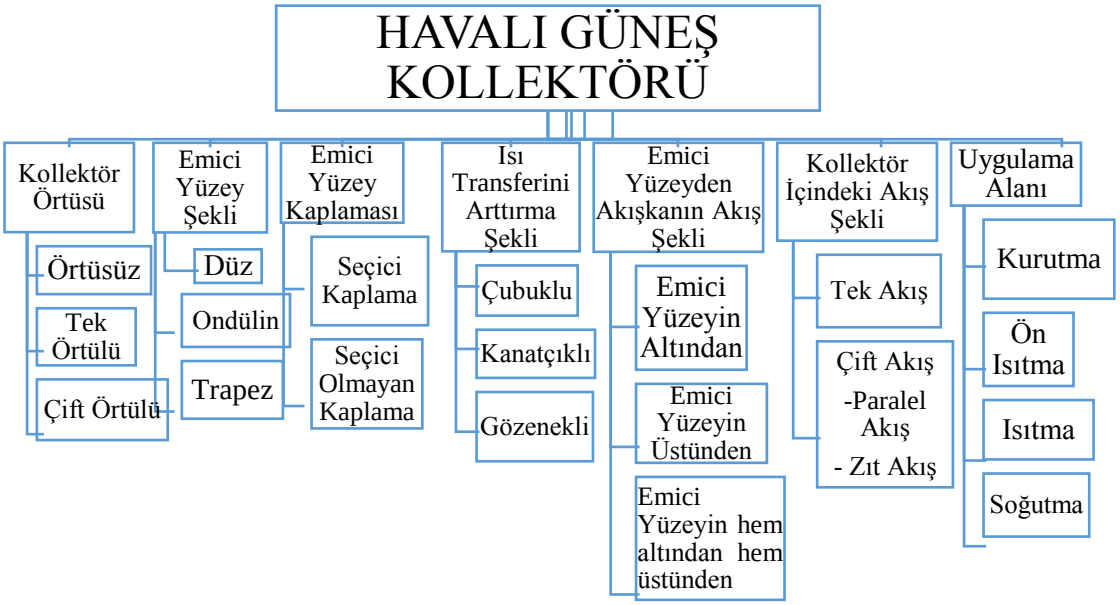


Şekil 1.7. Havalı güneş kollektörünün şematik görünüşü (Değirmencioğlu ve İlken 2003)

Havalı güneş kollektörleri genel anlamda dört ana kısımdan oluşur. Bunlar;

- Saydam örtü,
- Emici plaka,
- Kollektör kasası
- Kollektör yalıtımı.

Ayrıca bu dört madde kollektör verimini de etkileyen en önemli etmenlerdir. Bunun yanında havalı kollektörlerde emici yüzey kanat geometrisi, kollektöre giren ve çıkan akışkan miktarı, akışkan sıcaklığı, akışkanın giriş ve çıkış yeri, akış yolu ve şekli havalı kollektörlerin verimlerini etkileyen diğer faktörlerdir (Bayrak 2011). Havalı güneş kollektörü tasarımında seçilmesi gereken parametreler şekil 1.8 de verilmiştir.



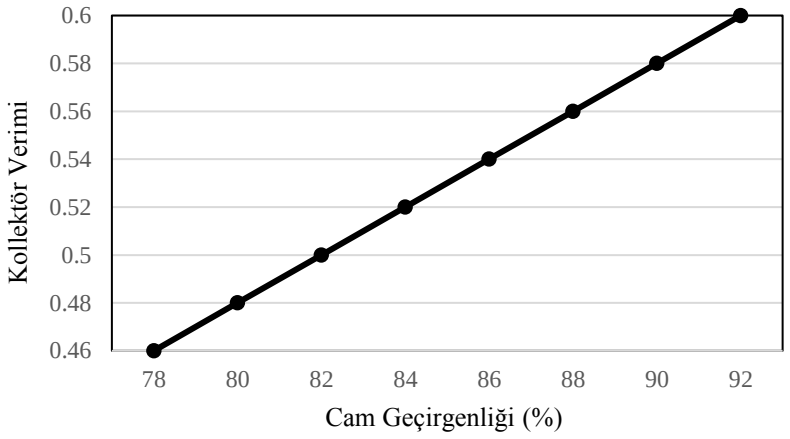
Şekil 1.8. Havalı güneş kollektörü tasarımında seçilmesi gereken parametreler (Öztop ve ark. 2013)

1.3.1. Geçirgen Örtü

Geçirgen örtünün amacı, güneş ışınımını geçirerek çevreyle olan ısı kayıplarının azaltılmasını sağlamaktır. Geçirgen yüzey dış ortama olan ısı kaybını engeller ve emici yüzeyi dış etkilerden korur. Kollektörlerde bulunan saydam yüzeylerin, dalga boyu kısa olan güneş ışınımlarını geçirme oranı büyük, emici plaka tarafından yansıtılan dalga boylu uzun olan güneş ışınımların dışarı çıkmaması için de geçirme oranı küçük

olmalıdır. İmalat açısından basit ve ucuz olmalı, kolay ulaşılabilmeli, mor ötesi güneş ısınların etkilerinden etkilenmemeli, yüksek sıcaklıklara karşı mukavemet gösterebilmeleri, kolay işlenebilmeli ve dış ortamdan gelecek etkilere (dolu, taş vb.) dayanmalıdır (Dağ, 2005).

Geçirgen örtü 3-4 mm'lik camdan veya buna denk saydamlığa sahip ve mor ötesi ışınlara karşı yeterli saydamlıkta malzemeden yapılmalı ve yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklı olmalıdır. Cam örtünün, geçirgenlik oranı da kollektör verimini etkilemektedir. Camın geçirgenliği arttıkça kollektör verimindeki değişimi şekil 1,9'da gösterilmiştir. Cam üzerine gelen güneş ışınımının % 85-90'nı geçirdiği; diğer kısım, ışığın camdan geçişi sırasında cam tarafından soğrulduğu veya yansıtıldığı bilinmektedir. Emilen ışınım miktarı, camdaki demir oksit (Fe_2O_3) oranına bağlıdır. Demir yüzdesinin artmasıyla emilen ışınım miktarı da artar (Tırıs ve Tırıs 1994).

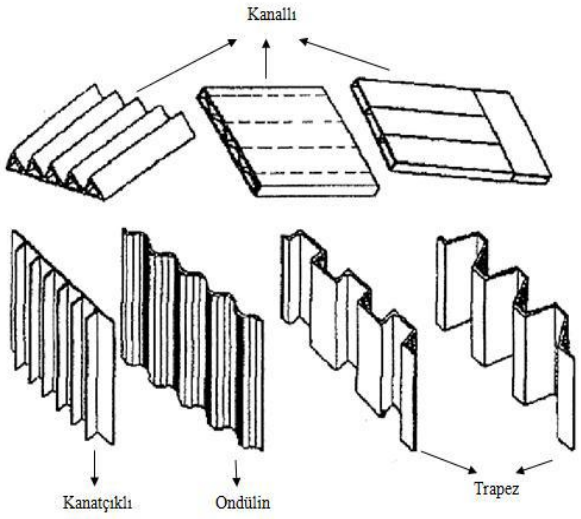


Şekil 1.9. Cam örtü geçirgenliği ile kollektör veriminin değişimi (Macedo, ve Altemani 1978.)

1.3.2. Emici Plaka

Emici plaka havalı güneş kollektörün en önemli kısmıdır. Güneş ısınları, emici plaka vasıtayla soğrularak ısı enerjisine çevrilir ve sistemde bulunan akışkana aktarılır. Paslanmaz çelik, bakır, alüminyum vb. ısıl iletkenlik katsayısı yüksek herhangi bir malzemeden imal edilebilir. Kullanılan materyalin ısı emme katsayısının yüksek, uzun dalga boylu ışınım yayma katsayısı düşük olmalıdır. Işınımı emerek plaka, ısıyı temas halindeki havaya iyi bir şekilde aktarması, ısı iletim katsayısı yüksek materyallerin seçilmesi gerekmektedir. Bunların yanında, kullanılan malzemenin fiyatı, kolay tedarik

edilmesi ve montajının kolay yapılması emici plaka seçiminde önemli faktörlerdendir. Havalı kollektörlerin emici yüzey şekilleri şekil 1.10' da gösterilmiştir.



Şekil 1.10. Havalı kollektörlerin emici yüzey şekilleri (Kılıç ve Öztürk1983)

Havalı kollektörlerde, emici yüzey ile kollektörde kullanılan akışkan arasında taşınımla ısı transferi düşük olduğundan kullanılan emici yüzey malzemesinin ısı transfer alanı büyük tutulmalıdır. Bazı yüzeylerin güneş ışınımını yutma ve uzun dalga boylu ışınımları yansıtma oranları çizelge

1.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.3. Bazı yüzeylerin güneş ışınımını yutma ve uzun dalga boylu ışınımları yansıtma oranları (Kılıç ve Öztürk1983)

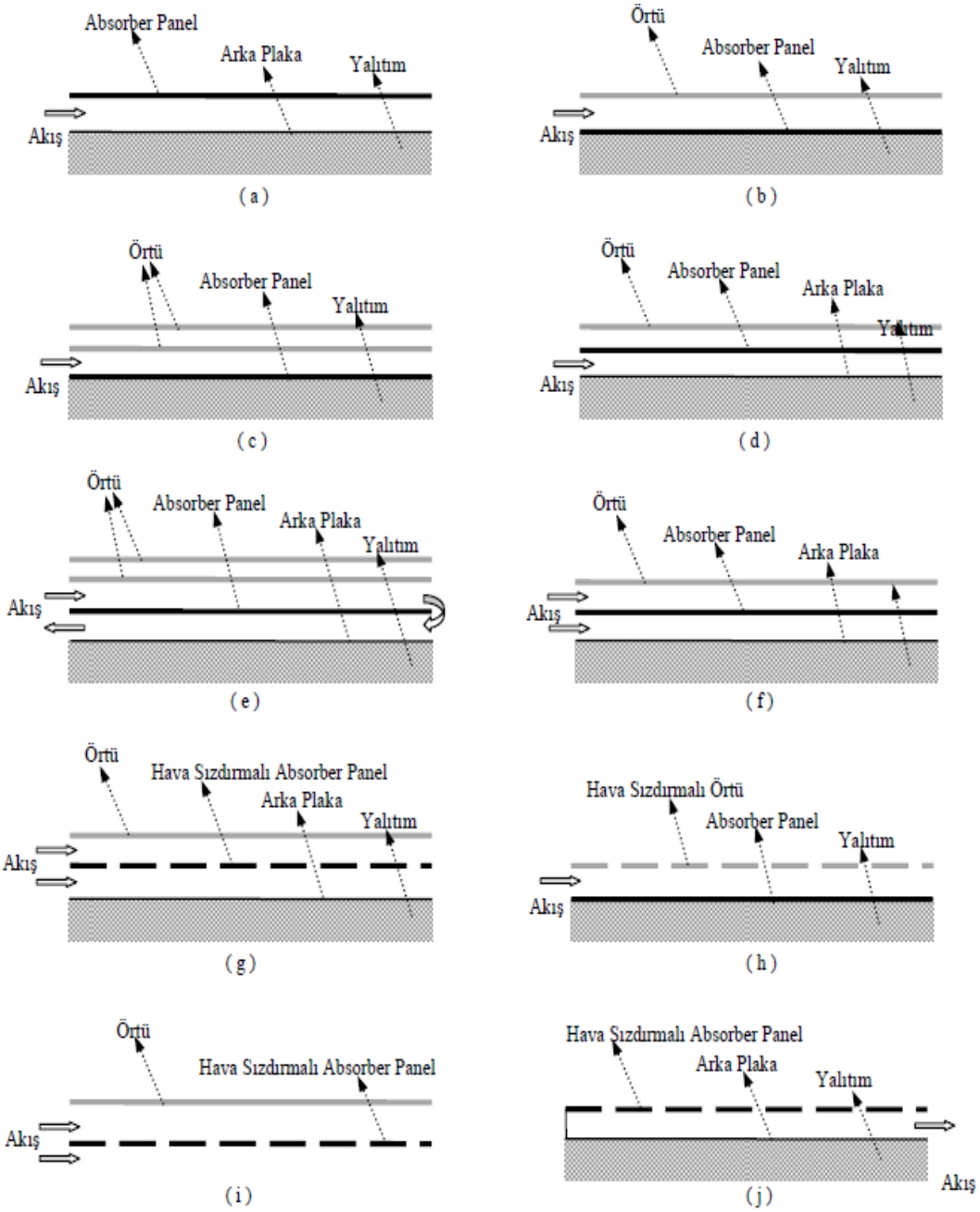
Emici Yüzey	α	ε
Magnezyum karbonat	0.025-0.04	0.79
Beyaz sıva	0.07	0.91
Beyaz boya (Al üzerine 0.4mm)	0.20	0.91
Bayaz kağıt	0.25-0.28	0.95
Buz	0.31	0.96
Pürüzlü beton	0.60	0.97
Gri boya	0.75	0.95
Su	0.94	0.95-0.96
Siyah boya (cilalı)	0.90	0.90
Siyah boya (mat)	0.94-0.98	0.88
Galvanizli çelik, oksitlenmiş	0.80	0.28
Galvanizli çelik, temizlenmiş	0.65	0.13
Alüminyum	0.15	0.5

1.3.3. Emici Yüzey Kaplama

Kollektör termal verimini arttırmak için kullanılan emici yüzeyin seçilmesinde en önemli etmenlerden biri de seçici yüzey ile kaplanmasıdır. Yüzeyde seçicilik özelliğinin olması, yüksek emicilik ve düşük ısıl yayma özelliklerine sahip olmayı gerektirir. Kaplanacak yüzeyin temizlenip asit banyosunda kalmasıyla seçici yüzey elde edilir. Bu yüzey güneş ışınımını emme oranı yüksek olan aynı zamanda ışınım yayma oranı düşük olan bir materyal ile ince bir tabaka halinde kaplanmasıdır. Kaplamaların yapımında, çeşitli yöntemler kullanılmakta olup bu yöntemler den bazıları kimyasal banyo, püskürtme veya elektroliz yöntemidir. Elektroliz işlemi kolay ve ekonomik olması sayesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Seçici yüzeyden bazıları siyah nikel, siyah krom, siyah bakır, kobalt oksittir (Tırıs ve Tırıs 1994).

1.3.4. Kollektör Kasası ve Yalıtımı

Kollektör kasasında kullanılan malzemelerden bazıları alüminyum, paslanmaz çelik, galvanizli çelik ve plastiktir. Kollektör kasasında olabildiğince aynı tür malzemeler kullanılması gerekir. Kollektör kasası yapımında kullanılan malzemelerin ısıl genleşmeleri dikkate alınarak boyutlandırılmalıdır. Farklı tiplerdeki kaplamalı ve kaplamasız hava kollektörlerinin örtü, emici panel yerleşim düzenekler şekil 1.11'de gösterilmiştir.



Şekil 1.11. Farklı tiplerdeki kaplamalı ve kaplamasız hava kollektörlerinin örtü, emici panel yerleşim düzenekler (Bayrak, 2011).

Yalıtım malzemesi, kollektörün alt ve yan bölümlerde ısı kayıplarının azaltılması amacıyla ısı iletim katsayısı düşük olan malzemelerden seçilir. Yalıtım malzemesi seçilirken, yüksek sıcaklığa dayana bilirliği, neme olan direnci, şekil değiştirme, yanma ve genişleme özellikleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Isıl dirence sahip cam yünleri uygun yalıtım malzemeleri olarak gösterilebilir (Bayrak 2011). Çizelge 1.4'de yalıtım malzemelerinin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1.4. Yalıtım malzemelerinin özellikleri (Koçyiğit 2008).

Yalıtım Malzemesi	Isı İletim Katsayısı (W/m^2)	Çalışma Sıcaklığı (°C)	Yoğunluğu (kg/m^3)
Cam Yünü	0.032	250	15-20
Taş Yünü	0.036-0.055	650-1050	
Polystrene köpük	0.029	70-80	20
Poliüretan köpük	0.023	104	11
PVC	0.035	100-130	40-80
Kalsiyum silikat	0.055	650	
Perlit	0.048	820	
Fenollik köpük	0.033	135	
Gözenekli köpük	0.04	100	

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Havalı güneş kolektörünün kullanımı her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Bu kollektörlerin kullanılmasında havanın kolay ve ucuz şekilde ısıtılması, kolay tasarım ve düşük bakım masrafları ve çevreye zararsız olması etkili faktörlerdir. Havalı güneş kolektörlerinin termal performansı, kolektörün malzemesine, şekline, boyutlarına ve planına bağlıdır. Performans gelişimi, farklı malzemeler, çeşitli şekiller, farklı boyutlar ve planlar kullanılarak elde edilebilir. Yutucu yüzey ve hava arasındaki ısı transfer katsayısını geliştirmek için bazı yenilikler kullanılmış ve farklı şekiller literatürde yer almıştır (Özgen 2007).

Dannels ve Dulffie (1877), güneş enerjisini metal bir yüzeyde depolayarak ev ısıtmasında kullanmışlardır. Morse (1881), tarafından ilk hava ısıtmalı güneş kolektörü tasarlanmıştır. Bu kollektörde tahta yapı üzerinde saydam cam filmi ve altında siyah metal yüzey kullanılmıştır. Sıcak hava, tahta yapının içinde bulunan emici yüzey vasıtasıyla ısınarak ortama aktarılmıştır. Carbot (1938), Telkes ve Baymond (1949), Bliss (1955), Lof (1959), güneş ısıtma sistemlerinde modern araştırmalar yapmıştır (Saxena ve ark. 2015).

Klein (1976), HGK'nin ısıl performansını tahmin edebilen bir simülasyon modeli tanımlamıştır, bu modelleme ile HGK'nin ısıl performansını arttıracak tasarımlara yol göstermiştir. Whillier (1964), farklı amaçlar için kullanılan siyah kaplama yüzeyli kollektörlerin ısıl performansını test etmiştir. Yapılan bu ısı transfer analizi ile yararlı ısıların toplanması, önemli iyileştirmelerin ekranda gösterilmesi ve Tedlar kaplamalı emici yüzey ile cam yüzeyli kollektörler karşılaştırılmıştır. Khanna (1967), iki sulu ısı değiştiricisine entegre edilmiş kollektör kullanarak ısınan sudan havaya ısı iletimi sağlanmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar tarımsal kurutma sistemleri tasarımına yardımcı olmuştur.

Bavil ve Brandt (1968), iki farklı HGK tasarımı sunarak bu kollektörlerin ısıl verimini karşılaştırmışlardır. İlk tasarımda cam kafes içine 96 adet kanatçık yerleştirilmiştir. Bu tasarımda hava 12 °C de girip 20°C ye kadar çıkmış verim ise %80 bulunmuştur. İkinci tasarımda ise geçirgen (gözenekli) kanatçıklar kullanılmıştır elde edilen sonuçta verim ilk tasarıma göre %15 daha az bulunmuştur. Ayrıca bu çalışmada

ikinci kaplama plakası kollektöre entegre edilmesi gelecekte ısı kayıplarını azaltacak tasarımları cazip hale getirmiştir.

Suri ve Saini (1969), tek ve çift yayıcılı HGK'nin ısıl performansını araştırmıştır. HGK'den geçen havanın sıcaklığını elde edilerek sonuçlar tartışılmıştır. Satcunanatan ve Deonarine (1973), basit iki cam yüzeye sahip bir kollektörün kayıplarını azaltmak için çalışma yapmışlardır. Tek taşınımlı yolla çalışan kollektörlerle karşılaştırıldığında dış cam kaplama yüzey sıcaklığının atmosfer sıcaklığına çok yakın olduğu ve bu sistemlere göre belirgin şekilde daha düşük olduğu keşfedilmiştir. İki cam yüzey arasında küçük açıklıklar oluşturulması çift geçişli taşınımla birlikte daha iyi sonuçların alınacağı belirtilmiştir.

Marcedo ve Altemani (1978), dört temel tip doğal taşınımlı yüksek ışın yayım menzilli kollektör test etmiştir. Akış oranı, sıcaklık değişimi ve sistem verimi ölçülen değişkenler olarak ele alınmıştır. Bu sistem kararlı koşullarda test edilmiş olup sonuçlar ortam ısıtması, hava ile kurutma sistemleri ve diğer ısıtma sistemlerinde göz önüne alınmıştır.

Chau (1980), uzatılmış yüzeyleri siyah plastikten yapılmış olan yaklaşık 104 m^2 plastik kaplı HGK tasarlanıp test etmiştir. Bu sistem uzatılmamış yüzeye sahip HGK tipi ile karşılaştırılmıştır. Bir veya daha fazla uzatılmış yüzeye sahip HGK performansında bir gelişme gösterilmiştir. İki adet uzatılmış yüzeye sahip HGK, bir adet uzatılmış yüzeye sahip olan HGK'den daha iyi performans göstermiş olup uzatılmamış yüzeye sahip HGK'ye göre ise daha yüksek verimli olduğu keşfedilmiştir.

Tdeddy ve Gupta (1980), grafiksel metot ile HGK parçalarının verime etkisini tek tek araştırmıştır. HGK'nin bilinen karakteristik bilgileri hava döngülü, hava döngüsüz olarak iki durum için saptanmıştır.

Garg (1983), taşınımlı tip HGK'lerde ısı transfer alanının arttırılmasıyla oluşan etkiyi araştırmıştır. Bu durum dikdörtgen tip birleştirilmiş kanatçıklı ve "V" kıvrımlı emici yüzeye sahip HGK'lerde uygulanmıştır. Entalpi, performans analizinde sabit değer olarak alınmıştır. Farklı çeşit ve tipteki kollektörlerde performans eğrisi elde edilmiş, sistem veriminin yüksek değerlerde olması kanaldaki kanatçık sayısına bağlı olduğu bildirilmiştir. Buna rağmen "V" kıvrımlı yüzeylerde verim iyileştirmeleri önemli ölçüde az umut vericidir.

Singh ve Bansal (1983), kırılmış cam parçalarından termal verimi arttırmak ve maliyeti düşürmek amacıyla matris şekilli güneş kollektörü imal etmiştir. HGK'lerin perpormasını araştırmak amacıyla matematik model geliştirilmiştir. Tek veya çift camlı emici yüzey ve arka tabaka yalıtımı gibi fiziksel parametrelerin etkisinin belirlenmesinde sayısal hesaplama kullanılmıştır. Ranjan(1983), bir ısı transfer modeli geliştirerek emici üzerinden geçen uygun hava oranında ısı kaybını azaltmak için kollektör ve alt yalıtım tabaka arasında bulunan 5cm'lik hava boşluğunda yansıtıcı yüzey kullanılmıştır. HGK'nin performansında kollektör ve alt yalıtım tabakası arasındaki boşluk, emici ve hava arasındaki ısı kapasitesi, havanın akış oranı ve kollektör uzunluğu parametreleriyle dikkatlice incelenmiştir.

Kenna (1983), HGK'nin açık döngü performansını boyutsuz eşitlik kullanarak incelemiştir. Bu makalede uzun vadede güneş bölümlerinin temel olarak herhangi bir yerde üç boyutsuza bağlı olduğunu gösterilmiştir. Bölümler arası karşılaştırma tasarım modelini öngören bir bilgisayar modeliyle hesaplanmıştır. En uygun sistem tasarımının seçilmesine olanak sağlayan tasarım araçlarında gelişmiş korelasyonu kullanılması tartışılmıştır.

Sorour ve Mottaleb (1984), kanal tipli HGK'lerde bir tasarım araçlarını performansa etkileri izlenmiştir. Emici yüzey ile kaplama arasında boşluğun, emici yüzey ile arka tabaka arasındaki boşluğun ve en uygun sayıda cam yüzey kaplaması ayrıntılı olarak incelenmiştir. Tabakalar arasındaki boşluğun azalması ve emici yüzey ile akışkan arasındaki entalpinin artması kütlesel debinin artmasından daha önemli olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Sorour and Mottaleb (1984), Kıvrımlı kanal tipli çalışan HGK parametreleri araştırmıştır. Bu tasarım parametreleri (dikdörtgen, üçgen, çapraz dairesel bölümlü) farklı hava debisinde, farklı sayılardaki cam yüzeylerde, farklı $T_{iç}$ sıcaklıklarında incelenmiştir. Kıvrımlı yüzeylerin verimi artırdığı ve tüm üfleme oranlarında çift camlı yüzeylerin en iyi performansı verdiği sonucuna varılmıştır.

Garg (1984), diktörgen kanallı HGK'lerde laminer geçiş ve türbülans akışlarında boyutsal etkiyi incelemişlerdir. Güneş kollektörünün performansını ve akış oranını ayarlanmasını sağlayan pompa gücünü belirleyen matematiksel model geliştirilmiştir. Kanalın derinliği uygun efektif enerjiye göre optimize edilmiştir. Optimum kanal

derinliği farklı değerlerdeki kütlesel debide maksimum güç ve minimum pompalama maliyeti göz önüne alınarak elde edilmiştir. Uygun efektif enerji ile kolektörün derinliği bir taraftan verim ve sıcaklık arasındaki denge ile diğer tarafta pompa gücü ile belirlenmiştir.

Bansal ve Singh (1985), kollektör emici yüzeyinde kırık cam parçaları kullanılarak ekonomik ve termal verimi yükseltecek kollektör tasarlamıştır. HGK'nin performansını incelemek için bir matematiksel model geliştirmiştir. Tek veya çift camlı sitemlerin termal verime etkisini incelemek için sayısal hesaplamalar yapılmıştır.

Garry (1985), dört farklı geçişli HGK'nin sistem performansı bir teori ile geliştirilmiştir. Havanın bir veya çok geçişli sistemlerde, cam yüzeylerin sayısının etkisi geniş olarak araştırılmıştır. İki veya üç geçişli HGK'lerde düşük hava debisi ve geniş tabaka uzunluğunda daha iyi sonuçlar ortaya çıkmıştır. Kısa tabaka uzunluğu ve yüksek hava debisi iki veya üç geçişli HGK sistemlerinde performansa etki etmemiştir.

Goel (1987), "V" kıvrımlı yatay plakalı ve tek emici yüzeye sahip HGK'leri tasarlayıp imal edip test etmiştir. Arka plaka sentetik köpükle kaplanmıştır. "V" kıvrımlı emiciler ticari tiplere göre %5 daha fazla verimli olduğu bulunmuştur. Bu HGK'ler için zorlanmış taşınım katsayısı korelasyonla bulunmuştur.

Loveday(1988), yalıtımsız HGK'lerin verim ve kayıp faktörü için ifadeler elde etmiştir. Uygulanan geometride akışkan emici yüzeyin altından geçirilerek termal verim araştırılmıştır. Sonuçlar da güneş enerjisi yardımlı binalarda ısı hesaplanmasında kullanılabilir ve sonuçların tasarım açışından faydalı olduğu görülmüştür.

Coudhary (1988), tek geçişli dikdörtgen akış kanalına sahip HGK'lerin teorik parametrik analizini sunmuştur. Tasarımcılar için performans hesaplanması ve tasarım optimizasyonun yanında maliyeti arttırmadan verimin arttırılmasına yararlı olduğu belirtilmiştir. Isı kanalından geçen herhangi miktarda hava akışının olduğu HGK'lerden en uygun tasarım parametreleri ve en uygun performansı tam sağlayan deneysel gözlemle doğrulanmış optimizasyon işlemleriyle ilgili bir teoriye uymaktadır.

Gary (1989), hem teorik hem de deneysel olarak kanatlı tip HGK'leri araştırmıştır. Tek cam yüzeyli kanal tipli HGK'lerde kanatlar üst tabakaya göre ayarlanmıştır. Bir model geliştirilerek HGK'nin performansı araştırılmış ve değiştirilen entalpi değerleri teorik ve deneysel olarak bulunmuştur. Teorik tahminler ile deneysel

veriler uygun çıkmıştır. Kanatçıkların düşük tabaka ve yüksek tabakların her ikisine de yerleştirildiğinde elde edilen entalpi değerleri HGK'lerin performansını öngörmeye yardımcı olmuştur.

Bhergava (1990), tek cam yüzeyli ve iki metal tabaka kullanılan standart tip HGK'ler tasarlamıştır. Hava, alt kanalda akışa zorlanmış ve cam yüzey ile tabaka arasındaki durgun hava ısı kaybını engellemiştir. Üstteki kanalda verim yüksek olmasına karşın alttaki kanaldaki verim nispeten daha düşüktür. Üstteki kanal tamamen açık olması durumunda doğal akışın %5 den küçük olmasından dolayı alt kanalda verim kaybı olduğu tespit edilmiştir.

Choudhary ve Garg (1991), beş farklı şekilde ve kıvrımlı olan HGK'lerin parametrik analizini yapmıştır. Artan sıcaklık ile akış oranın etkisi analiz edilmiş; farklı kanal uzunluklarında ve farklı kütlesel debide basınç farkı ve sistem verimi denenmiştir. Tasarım analizi ile tasarımcıların ekonomik ve teknik olarak uygun hava hacmiyle verimli kollektörlerin tasarımına olanak sağlanmıştır.

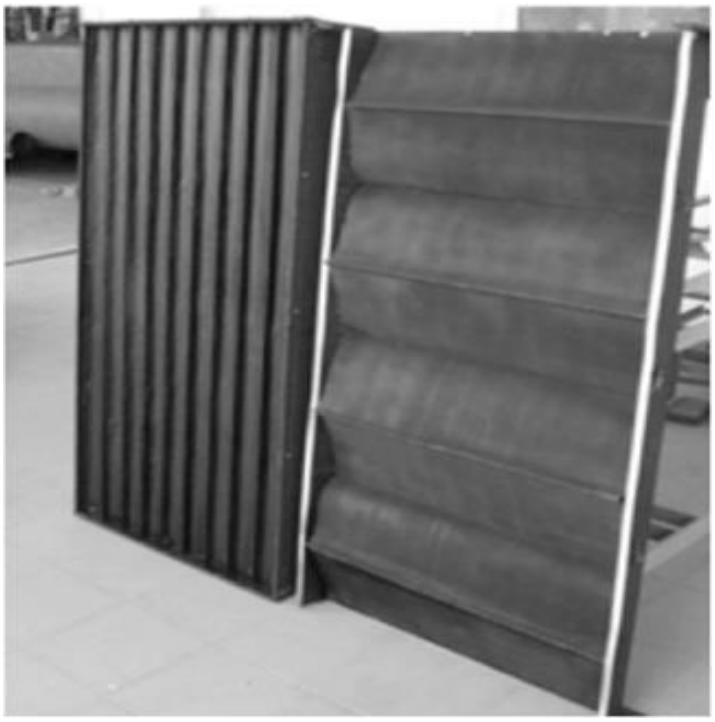
Choudhary ve Garg (1991), emici plaka ile hava akışı arasındaki ısı transferini arttırarak havalı kollektörlerin verimini ve toplanan enerji miktarını arttırılması amaçlanmıştır. Bununla birlikte HGK'lerin 10 cm derinlikte ve 2 m uzunluktaki kanala sahip HGK'lerde 2.5°C -15.5 °C sıcaklık değerleri arasında verim %19-%26.5 arasında bulunmuştur.

Garg (1991), arka plaka ile emici arasından geçen hava akışında bulunan dikdörtgen kanatçıklarla oluşturulan standart kanal tipli HGK'lerin performansını arttırmak için çalışmalar yapılmıştır. Isı transfer analizinde paralel kanatçıklar oluşturulan HGK'ler kollektör uzunluğu, kanal derinliği, kanatçık sayısı vb. ile ilişkili olduğu görülmüştür. Farklı kanal derinlikleri ve uzunluklarında kanatçıklı HGK'lerde verim %45-%61 arasında bulunmuştur. İlk giriş sıcaklığı ve toplanan enerji kanatçık sayısı ile artarken kanal derinliğinin artmasıyla düşmektedir. Dolaylı yoldan hava ısısını transfer eden ve kanatçıklar tarafından sıkıştırılan plaka güneş ışığı emiliminin büyük bir kısmını oluşturmuştur. Yüksek verim gösteren kanatlı tip HGK'ler diğer yüksek verimli kollektörler ile karşılaştırılmıştır.

Verma (1992), on farklı tasarımda HGK için hava debisinin ve en uygun akış kanalı derinliğini analiz etmişlerdir. Düz tabakalı tipte tasarım değişimleri dikkate

alınmıştır. Herhangi bir tasarımda en uygun akış kanalı derinliğinde ve en uygun kütlesel debiyle ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Tek camlı yüzeylerde çift akış altında HGK'lerin en iyi performansı verdiği bulunmuştur.

Parker (1993), "V" biçimli emici yüzeye sahip HGK'ler ısıl performans sonuçları ve ısıl performans analizleri yapılmıştır. Toplam altı kollektör test edilmiş olup üçü emicinin altından veya üstünden akışlı ve çift taraftan akışlıdır. Tasarım işlemleri ve test sonuçları temel HGK'lere karşılaştırılıp sunulmuştur. Öngörülen performans "V" biçiminde olan emicide özellikle cam yüzeyle birlikte ısıl verimin iyi olduğu tespit edilmiştir. Şekil 2.1 de "V" tipli emici yüzey görülmektedir.



Şekil 2.1. V tipli emici yüzey

Harcemi (1997), HGK' de taşınım ve ışınım arasındaki etkileşimi arttırmak için çalışmalarda bulunulmuştur. Bunun için bazı çalışmalar düşünülmüş ve düz tabaklı hava ısıtmalı güneş kollektörlerinde termal performansa taşınımsal ısı transferin etkilerini incelenmiştir. Emici yüzeyine siyah kaplama kullanılması sıcaklık oranını arttırdığını, ışınımın arttığı ve toplam ısı transfer katsayısının düştüğünü gözlemlenmiştir. Ortalama değerdeki kütlesel debide basınç farkının düştüğü, fanlı emiciye sahip düz plakalı

kollektörde basınç farkı düşük kütlesel debilerde azaldığı fakat yüksel kütlesel debilerde basınç farkının daha çok düştüğü gözlemlenmiştir.

Mohamad (1997), tarafından yeni tasarımlı HGK deneysel olarak analiz edilmiştir. Bu tasarımda kollektör çift geçişli hava ile birleştirilmiş ve gözenekli bir yapıya sahip olup basınç farkını minimize tutmuştur. Bununla beraber kollektör verimi önemli olarak standart HGK'lere göre daha yüksektir. Kollektör verimi normal şartlar altında %75'i aştığı görülmüştür.

Al-Kamil ve Al-Ghabeeb (1997), tarafından Irak'ın güneyinde tek hava geçişli düz yüzeyli HGK'nin deneysel ve teorik çalışması yapılmıştır. Arka plaka yüzeyi mat siyah kaplanmıştır ve hava kanalından ısıl ışınım etkileri test edilmiştir. Sıcaklık, ışınım, kütlesel debi değişkenleri kaydedilerek performans eğrilerinde kullanılmıştır. Tahmin edilen çıkış sıcaklık değeri pratik olarak elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Arka tabakanın siyah olacak şekilde kaplanmasıyla HGK'nin veriminin arttığı ve maksimum %10 artış sağladığı tespit edilmiştir.

Matraw (1998), kollektörün arka paneli ile emici arasında metal vana ekleyerek HGK'nin verimini arttırmıştır. En uygun sayıda metal vana seçilmesi ve en uygun hava kanalı derinliği tespiti için bir yöntem geliştirmiştir. Sonuçlar metal vanalar kullanılarak yüksek verim elde edildiğini göstermiştir (düşük derinlikteki hava kanallarında). Metal vanalı kollektörlerin kanatçıklı kollektörlerle karşılaştırıldığında %5, uzatılmış yüzeyi olmayan kollektörlere göre ise %13 oranında verim artışı sağlanmıştır.

Nimr ve Damesh (1998), HGK'nın termal davranışını tanımlayan ve verimi açıklayan bir matematik model geliştirmiştir. İki çift diferansiyel eşitlik Laplace dönüşümü ile çözülmüştür. Farklı tasarım parametrelerinin HGK'nin verimine olan etkisi araştırılmıştır. Katı yüzeyle ve akışkan arasındaki bağlantı, akışkanın ısı kaybı ve katı yüzeyin çevresel çalışma alanı bu üç tasarım parametresinin sistemin ısıl performansına etkisi bulunmuştur.

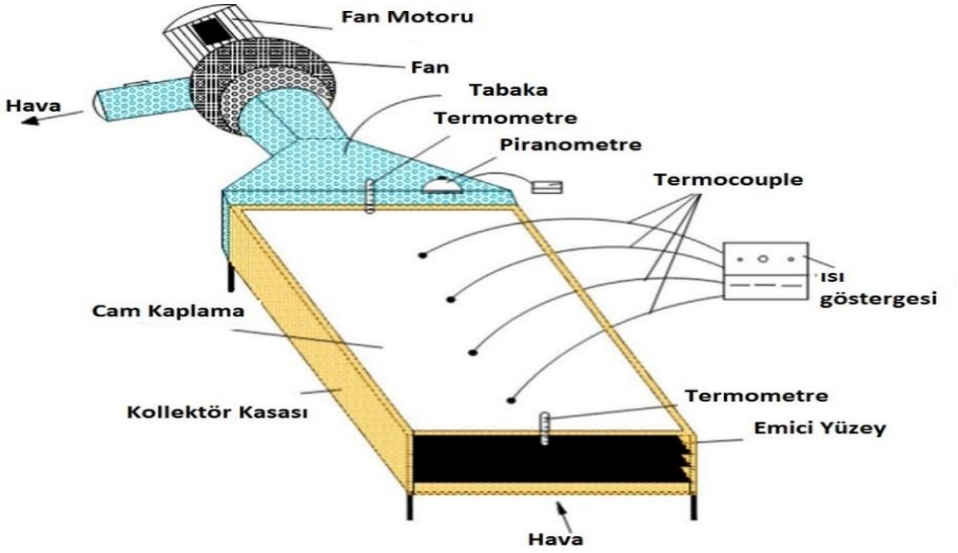
Gao (2000), düz kaplama yüzeyi ile dalga kıvrımlı emici yüzey arasındaki doğal taşınımı araştırmıştır. Araştırma Navier-Stokes ve enerji eşitliği yardımıyla yapılmıştır. Kanalda kaplama yüzeyi ile emici arasındaki doğal taşınımın ısı kaybını en aza indirmek için; kanalın karakteristik yükseklik oranı 2'den daha geniş, karakteristik geometrik oran 1'den daha geniş ve emicinin eğim açısı 40° küçük olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Flores-Irigolen (2004), şişirilmiş tünelli HGK'nin dinamik ısı transferini tanımlayan matematiksel model sunmuştur. Bu model dağınık performans parametreleri için geliştirilmiştir. Bu parametreler tek boyutlu ve değişken durumludur. HGK'nin uç parçasının (polietilen kaplama, hava, kollektörün emici yüzeyi) farklı sıcaklıklarını üç eşitlikle tanımlanmasını oluşturmaktadır. Sonuçların doğrulanması için 50m uzunluğunda tünele sahip havalı güneş kollektöründe bazı deneysel testler yapılmıştır. Sunulan model deneysel sonuçlarla uygunluk göstermiştir.

Kurtbaş ve Durmuş (2004), yaklaşık $0.36m^2$ alanlı beş kollektör tipinde çalışmıştır. Tasarımdaki daralmalar ve genişlemeler akış çizgisini(akış alanı) arttırmıştır. Kütlsel debinin yükselmesi ısı transferini arttırdığından dolayı kollektörün verimi arttırmıştır. Basınç farkının azalmasında biçimin ve emici yüzeyi sayısının etkili olduğu ve entalpi değerinin arttığı gözlemlenmiştir.

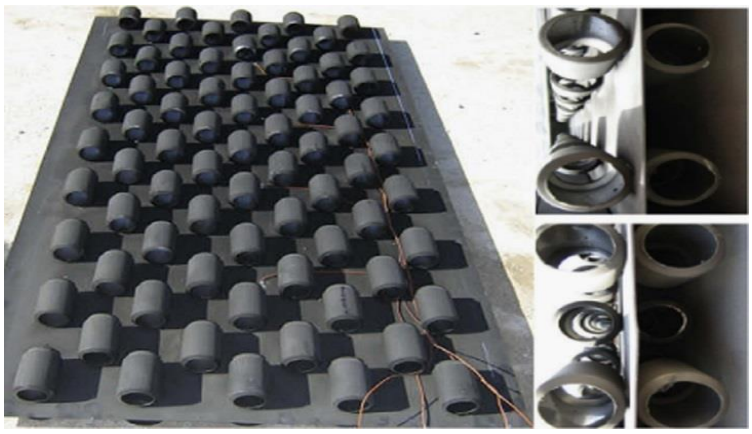
Karwa (2007), üretim sınırlamaları ve toleransları nedeniyle dengesiz akış dağılımına sahip paralel düzenli alt kollektöre sahip HGK'lerde verim araştırılmıştır. Kütlesel debi, sıcaklık, ışınım ve entalpinin sistematik değişiklikleri geniş bir yelpazede araştırılmıştır. Dengesiz akış dağılımın neden olduğu maksimum verim azalması ticari kalitede olan kanal yüzeylerinde ve %10 yapım toleranslı kanal yüksekliklerinde %3' den azdır.

Esen (2008), birkaç engelli veya engelsiz olmak üzere düz tabakalı kollektörlerde enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Ölçülen parametreler iç sıcaklık, dış sıcaklık, emici yüzey sıcaklığı ve ortam sıcaklığı ve ışınım şiddetidir. Bu ölçümler farklı değerdeki kütlesel debi ve farklı seviyedeki kanaldaki emici tabakalarında uygulanmıştır. En uygun derecede verim değeri tüm işletme durumlarında akış kanalında düşük seviyede emici olduğundan engeller emici tabakanın altından ve üstünden geçen hava akışını sağlamaktadır. Ekserji bağlantısı farklı HGK'ler için tartışılmıştır. Çift akışlı farklı engellere sahip emici yüzeyi olan havalı güneş kollektörü şekil 2.2.'de görülmektedir.



Şekil 2.2. Çift akışlı farklı engellere sahip emici yüzeyi olan havalı güneş kollektörü

Özgen (2009), yüzeyine alüminyum kutular monte edilmiş emici plakayı iki akışlı kanala yerleştirerek düz yüzeyli HGK'ler araştırılmıştır. Bu tasarımda hava debisi ve entalpi arttırılarak kollektör verimi artmıştır. Birinci tasarımda kutular aşamalı olarak zikzak şeklinde yerleştirilmiştir. İkinci tasarımda kutular sıralı yerleştirilmiştir. Son tasarımda ise kutular konulmamıştır. İlk tasarım 0.050 kg/s kütlesel debi değerinde diğer tasarımlara göre daha çok verimli olduğu bulunmuştur. Sonuçların alüminyum kutulu iki hava akışlı tip HGK'lerde (uzatılmış yüzeyler gibi ısı transfer alanını arttırılmış) verimin arttırmasına öncülük ettiği göstermiştir. Şekil 2.3' de alüminyum kutulu iki hava akışlı ısı transfer alanını arttırılmış havalı güneş kollektörü görülmektedir.



Şekil 2.3. Alüminyum kutulu iki hava akışlı ısı transfer alanını arttırılmış havalı güneş kollektörü

Omojaro ve Aldabbagh (2010), tek veya çift hava geçişli uzatılmış kanatçık yüzeyli ve emici gibi davranan çelik tel örgülü HGK'nin performansı araştırılmıştır. Hava debisinin etkisi 0.012 kg/s ile 0.038 kg/s aralığındaki dış sıcaklık ve verim için araştırılmıştır. Sonuçlar tel örgülü emici tabaka kullanıldığında sistemin teminat ısıl verimine önemli derecede yükseldiği görülmüştür. Akış oranının 0.038 kg/s olduğu durumda tek veya çift hava geçişlerinde maksimum veriminin sırasıyla %59.62 - %63.74 olduğu görülmüştür. Cam ile yüzey arasındaki uzaklık farkı değişimlerinde uzaklığın azalması ile verimin arttırdığı görülmüştür.

Akpınar ve Koçyiğit (2010), bazı engelli ve engelsiz yeni tip düz yüzeyli HGK'nin performansı araştırılmıştır. Deneyler iki farklı kütlesel debi değerinde (0.074-0.052 kg/s) yürütülmektedir. Sonuçlar en yüksek veriminin engelli tip HGK'lerde olduğunu göstermiştir; ayrıca sonuçların verimin yüzey parlaklığı, yüzey şekli ve ilave hava akış çizgisine önemli derecede bağlı olduğu gösterilmiştir.

El-khawajah (2011), ölçülen sıcaklık değişimleri farklı üç modeldeki 2, 4, 6 gibi kanatçıklı karşı akışlı HGK'ler karşılaştırılmış ve tasarım prosedürü sunmuştur. Sunulan tasarımda kütlesel debisi 0.042 kg/s hava akışında sırasıyla 6, 4, 2 kanatçıklı HGK'lerde maksimum verimlilik %85-%82-%75'dir. Kanatçıklar arasındaki gözenekli tabaka sayesinde hava ile emici yüzey arasındaki ısı transferi arttırılmıştır. Bu önerilen modelin diğer modellerle karşılaştırıldığında verimi daha yüksektir.

El Sabaii (2011), tarafından iki geçişli ve V biçimli tabaklı yüzeyde ısıl performans deneysel ve teorik olarak araştırılmıştır. Bulunan sonuçlar bu iki tip için araştırılmıştır. V kanallı kollektörler çift geçişli kanatçıklı kollektörlere göre %9.3-%11.9 daha verimli olduğu tespit edilmiştir. En iyi verim değeri V kanallı tabakalarda kütlesel debinin 0.125 kg/s -0.0225 kg/s arasında görülmüştür. Çift geçişli V kanallı kollektörler çift geçişli kanatçıklı kollektörlere %11-14 daha verimli olduğu tespit edilmiştir.

Hernandes ve Quinonez (2013), iki farklı analitik model geliştirerek çift paralel akış ve çift geçişli akışın HGK'deki ısıl davranışlar araştırılmıştır.

Mohammadi ve Sabzpooshani (2013), tek geçişli HGK'lerde emici yüzey üzerine eklenmiş kanatçık ve kısıcıların etkisini araştırmışlardır. Eklenen kanatçık ve kısıcılar sayesinde taşınımsal HGK'ye nazaran efektif olarak çıkış sıcaklığı ve termal verimi arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca kanatçık ve kısıcı sayısının arttırılması efektif verimi

azaltabildiği; Reynold sayısının artması ve akışın türbülanslı olması durumunda kısıcı genişliğinin kritik önemi olduğu görülmüştür.

Hernandez ve Quinonez (2013), çift akışlı ve çift paralel akışlı havalı güneş ıstıcısının ısıl davranışını tanımlayan iki analitik model geliştirilmiştir. Kollektör boyunca sürtünme faktörü, ısı kaybı katsayısı, hava sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Güneş kollektörünün içinden geçen havanın diğer kanallara oranla emici yüzey ile kaplama tabakası arasında daha fazla olduğu görülmüştür. Bu nedenle üst kanaldaki hava sıcaklığının emeci yüzey ile kaplama tabakası arasından geçen hava sıcaklığından daha düşük olduğu görülmüştür.

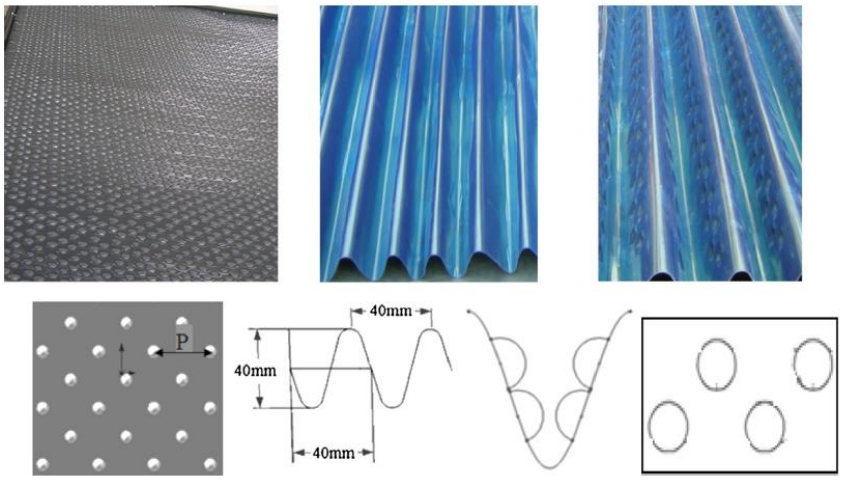
Chii-Dong Ho ve ark. (2015), tarafından geri dönüşümlü tel örgü ambalajı kullanılarak yapılan güneş ısıtıcı cihazının deneysel ve teorik olarak araştırması yapılmıştır. Karşılaştırmalar tek geçişli, çift geçişli düz yüzey ile tel örgülü çift hava geçişli sistemler arasında yapılmıştır. Geri dönüşümlü çift hava geçişli sistemin çeşitli geri dönüş oranlarında ve farklı kütlesel debide diğer sistemlere göre daha verimli olduğu gözlemlenmiştir.

Chuan Sun ve ark. (2016), tarafından havalı güneş kollektörünün sayısal sonlu fark yaklaşımı ile zorlanmış taşınımdaki matematiksel model araştırılmıştır. Bu çalışmada hava akışı, emici yüzey, cam kaplama ve yalıtım tabakası incelenmiştir. Elde edilen enerji ve gerçek koşullarda tüketilen fan gücü dikkatte alınarak en uygun akış oranı araştırılmış ve farklı dış hava sıcaklığının güneş ışınım miktarı ile ilişkisi simule edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda; Isıl hidrolik verimin ortam sıcaklığı ve güneş ışını ile birlikte yükseldiği, kütlesel debinin artması ile ısıl hidrolik verimin başlangıçta arttığı maksimum değere geldikten sonra ise düştüğü, Kütlesel debinin artması ile dış ortam sıcaklığının azaldığı, optimum hava akış oranın güneş ışınımının artmasıyla arttığı görülmüştür.

Dissa ve ark (2016), kompozit emici yüzeye sahip güneş kollektörü tasarlamıştır. Kompozit emici oluklu demirli saçtan yapılmış gözeneksiz emici ile alüminyum hasırdan yapılmış gözenekli emiciden oluşmaktadır. Kollektör boyunca ve gün içinde değişen sıcaklık değerleri eşitliklerle belirlenmiştir. Pürüzsüz emiciye sahip kollektör düşük ısı transferine sahip olduğundan akışkana geçen geçen enerji pürüzlü emiciye sahip kollektöre göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Pürüzlü emiciye sahip kollektörde hava

sıcaklığının gün içinde 40°C'yi aştığı değerlerde kollektör verimi %61 olarak bulunmuştur.

Shuilion ve ark (2017), tarafından yapılan çalışmada farklı emici yüzeylerde kullanılan havanın düşük termo fiziksel özelliğine çözüm getirmeye çalışılmıştır. Kollektörün emici yüzeyinde daha iyi ısı transferi sağlanması için deneysel bir araştırma yapılmıştır. Bu araştırmada dört tip hava ısıtmalı güneş kollektörü kullanılmıştır(şekil 2.4). Bunlar; düz yüzeyli (tip-1), çıkıntılı yüzey(tip -2), sinüzoidal dalgalı yüzey (tip -3), sinüzoidal dalgalı ve çıkıntılı yüzeydir(tip-4). Kollektör verimi akışkanın kütlesel debisinin artmasıyla artmıştır. Kollektör verimi kollektörün yüzey geometrisi ve hava akış hattının uzunluğuna göre değişmektedir. Sinüzoidal dalgalı tip yüzeye sahip kollektörün diğer tiplere göre en yüksek ısıl verime sahip olduğu gözlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün artması ısı transferini ve basınç kaybını arttırdığı belirtilmiştir.



Tip-2 Tip-3 Tip-4

Şekil 2.4. Havalı güneş kollektörü emici yüzeyleri

Havalı güneş kollektöründe yapılan çalışmalarda kanallarında (Nikuradse, Dipprey and Sabersky, Webb, Eckert, Nguyen, Poitras, Bondi, Lewis, Saini and Prasad, Prasad and Saini, Gupta, Verma and Prasad, Sahu and Bhagoria, Aharwal, Momin, Isanto, Singh, Karwa, Maithani and Saini, Hans, Kumar, Lanjewar, Sahu and Prasad**)** oluşturulan çeşitli şekillerdeki yapay pürüzlülüğünün ısı transferine etkisi araştırılan çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalardan elde edilen sonuçlarda küçük çaplı tel ile oluşturulan pürüzlülük ısı transferini arttırmış buna rağmen sürtünme kuvveti de artmıştır ayrıca

çukurlu pürüzlü yapı yüksek ısı transfer oranına ve düşük sürtünme katsayısına sahip olduğu gözlenmiştir. Reynold sayısına bağlı olarak maksimum performansın W şekilli, çift V şekilli ve yay şeklindeki pürüzlülüğe sahip kanallarda olduğu görülmüştür (Alam ve Kim 2017). Çalışmada kullanılan emici yüzey şekilleri şekil 2.5'de verilmiştir.



Hava girişi

a) W biçimli yüzey b) Çift V biçimli yüzey c) Yay biçimli yüze

Şekil 2.5. Yüzey biçimleri

Benli (2013), havalı güneş kollektörü için farklı emici yüzey tasarlanarak kollektör verimi araştırılmıştır. Kollektördeki ısı transferini arttırmak için beş farklı tipte kollektör yüzeyi kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda kütlesel debinin artması ve anlık güneş ışınım miktarının artmasıyla kollektör veriminin arttığı görülmüştür. En yüksek verimin 0.050 kg/s kütlesel debide kıvrımlı emici yüzeye sahip kollektörde olduğu gözlemlenmiştir.

Chii-Dong Ho ve ark. (2015), geri dönüşümden elde edilen bakır tellerle oluşturulmuş emici yüzeye sahip havalı güneş kollektörünün verimi araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda hava akışı tek geçişli ve çift geçişli olarak tasarlanmıştır. Emici yüzeyi bakır teli kullanmıştır, oluşturulan kollektörde verim düz yüzeyli kollektöre göre daha fazla bulunmuş olup 0.77 kütlesel debide maksimum verim %77 olarak gözlemlenmiştir.

Mahmood (2015), yaptığı bu çalışmada havalı güneş kollektörünün emici yüzeyini siyaha boyanmış dört adet kanatçık ve bu kanatçıkların arasında bakır tel yerleştirerek oluşturmuştur. Çift akışlı ve tek akışlı olmak üzere oluşturulan iki deney düzeneğinde verim ve dış hava sıcaklığı araştırılmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda çift akışlı sistemde 0.032 kg/s kütlesel debi verim en yüksek değerine ulaşmış olup %62.50 olarak bulunmuştur. Ayrıca çift geçişli sistemde hava akış hızının azalmasıyla sıcaklık farkı ve termal verimin arttığı gözlemlenmiştir.

Gülçimen ve ark. (2017) fesleğen bitki kurutmasında kullanılan yeni bir havalı güneş kollektörü tasarlamışlardır. Bu kollektörün emici yüzeyi 0.6mm kalınlığındaki galvanizli metalin üzerine çeşitli açılarda kanatçıklar takılarak oluşturmuştur. Yapılan çalışma sonucunda 0.033 kg/s kütlesel debide en yüksek verim %63 olarak bulunmuştur.

Demook (2017), yaptığı çalışmada delikli paslanmaz yapılmış emici yüzeyli havalı güneş kollektörünün verimi araştırılmıştır. Kollektörde cam yüzey kullanılmamış olup deneyler bulutlu ve güneşli hava şartlarında gerçekleştirilmiştir. Kollektör verimi güneşli günde %82, bulutlu günde ise %71 bulunmuştur.

Kabeel ve ark. (2017), bu çalışmada emici yüzeyi kanatlı olan havalı güneş kollektörü araştırılmıştır. Bu çalışmada emici yüzeyin altında belirli tabakalarla parafin malzemeden üretilen tabaka serilmiştir. Deneyler üç farklı kütlesel debide tekrarlanmış olup en yüksek verim 0.062 kg/s kütlesel debide %62 olarak bulunmuştur.

Zhu ve ark. (2017), mikro sıralı bakır telden oluşan emici yüzeye sahip kollektörün termal verimini araştırmıştır. 0.054 kütlesel debide kollektör verimi %69 olarak bulunmuştur. Işınım miktarı artıkça termal verimin arttığı gözlemlenmiştir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde havalı güneş kollektörün verimini arttırmak amacıyla kollektör emici yüzeyi tasarımda ve emici yüzey malzemesinde birçok farklı uygulama yapıldığı görülmüştür. Genel olarak tasarlanan havalı güneş kollektörlerinde akışkanın kütlesel debisinin artmasıyla kollektör veriminin arttığı tespit edilmiştir. Kollektör emici yüzeyinin poroz hale getirilmesi de kollektör verimini arttırıcı düzeyde etki etmiştir.

Devecioğlu ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, yüzeyine bakır elek teli serilmiş havalı güneş kolektörlerini mukayese etmişlerdir. 0.030 kg/s ve 0.055 kg/s kütlesel debide ve kolektör eğim açısı 25° ve 35° için termal verim, termal-hidrolik verim ve ekserji analizi yapmışlardır. Termal verimin %34 ile %82 arasında çıktığını tespit etmişlerdir.

Yapılan bu çalışmada, bakır yünü ve bakır elek teli kullanılarak oluşturulan emici yüzeye sahip havalı kollektörünün ısıl performansı deneysel olarak araştırılmıştır. Emici yüzeyde bakır yünü ve elek teli kullanılması ile ısı transfer miktarının arttırılması ve daha fazla enerji depolaması hedeflenmiştir. Farklı hava debilerinde ve eğim açılarında kollektör verimi araştırılmıştır. Sistemin ekserji analizi yapılmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

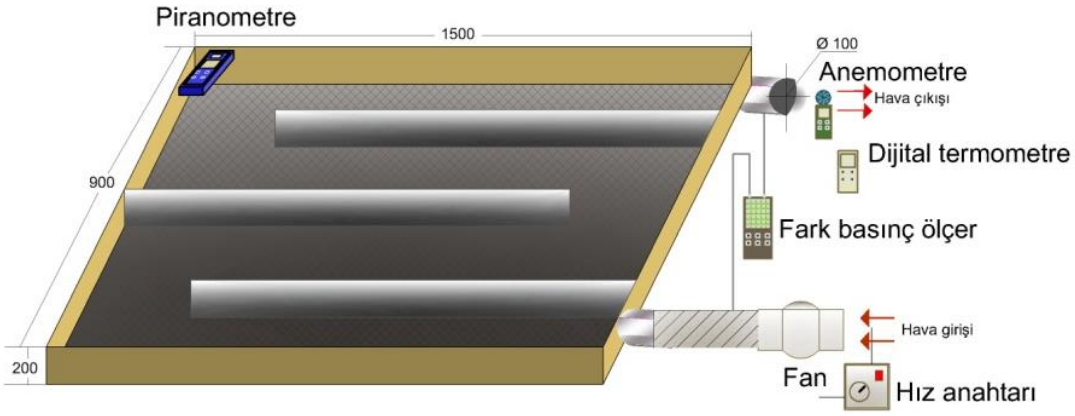
3.1. Materyal

Deneysel çalışmalarda düz yüzeyli, emici plaka üzerine bakır elek teli serilmiş ve emici plaka olarak bakır yününün kullanıldığı deney setleri oluşturulmuştur. Bu setler farklı kütlesel debi ve eğim açıları için mukayese edilmiştir.

3.1.1. Bakır Elek Telli Emici Yüzey Deney Düzeneği

Bu çalışmada, yeni tasarlanan poroz emici plakalı havalı güneş kolektörünün ısıl performansı araştırılmıştır. Emici plaka üzerine bakır elek teli serilerek yüzey poroz hale getirilmiştir. Bu şekilde emici plakanın daha fazla ısı absorbe etmesi ve akışın ısıl sınır tabakasının bozulması hedeflenmiştir. Deneyler 0.030 kg/s, 0.035 kg/s, 0.044 kg/s ve 0.055 kg/s kütlesel debide tekrarlanmıştır.

Deneysel çalışmalar Diyarbakır'da Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde yapılmıştır. Deney sistemine ait şematik gösterim şekil 3.1'de görülmektedir.



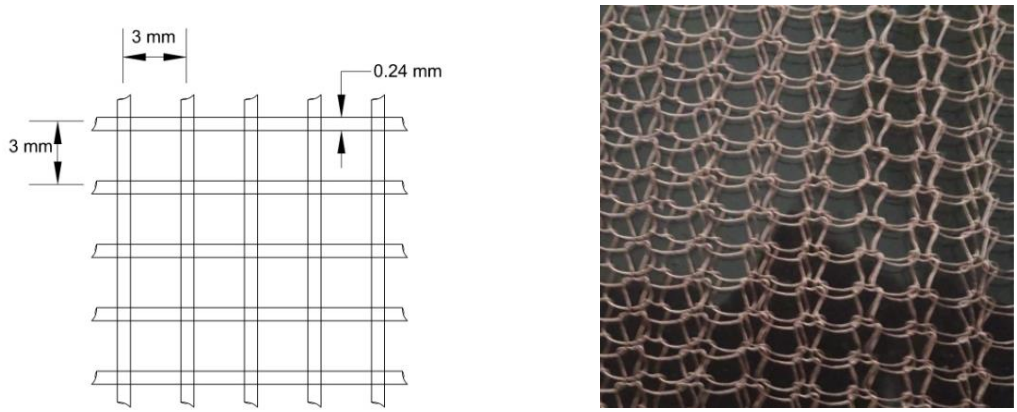
Şekil: 3.1. Deneyde Kullanılan Havalı Güneş Kollektörü Şematik Gösterimi



Şekil 3.2. Bakır elek telli emici plakaya sahip havalı güneş kollektörü

Çalışmada, düz yüzeyli emici plakalı ve poroz yüzeyli emici plakalı olmak üzere iki farklı tip kolektörle deneyler yapılmıştır. Kolektörün ebatları 900x1500x200mm dir. Emici plaka 0.30mm kalınlığında bakır levhadan yapılmıştır. Kolektörün kasası, alüminyum kompozit malzemeden üretilmiştir. Emici plakanın alt kısmından olan ısı kayıplarını engellemek için 50mm kalınlığında cam yünü ile izole edilmiştir. Cam örtü olarak 4mm kalınlıkta tek katlı pencere camı kullanılmıştır. Kolektör içerinde havanın yolunu uzatmak için 3 adet labirent şeklinde yönlendirici levha bırakılmıştır. Bu levhalar 0.50mm kalınlığında bakır malzemeden üretilmiştir. 150mm yüksekliğinde ve 1250mm uzunlundadır. Hava giriş ve çıkış kanalları dairesel olup 100mm çapındadır. Yüzeyi poroz hale getirmek için, emici plaka üzerine, bakır elek teli serilmiştir. Bakır tellerin kalınlığı 0.24mm dir. Elek gözenekleri 3x3mm ebatlarında ve 220mm genişliğindedir. Şekil 3.2'de balkır elek telli emici plakaya sahip havalı güneş kollektörü görülmektedir. Zorlanmış hava akışını sağlamak için, sisteme kanal tipi fan (maksimum hacimsel debi 1080 m^3/s) ve devir anahtarı monte edilmiştir. Devir anahtarı ile gerekli hızı yani hava debisi ayarlanabilmektedir. Fan çıkışı kolektöre 100 mm çapında, alüminyum fleks hava kanalı ile bağlanmıştır. Şekil 3.3'de bakır elek teli görülmektedir.

Deneyler, 18-23 Haziran 2016 tarihleri arasında açık hava koşullarında yapılmıştır. Ölçümler saat 09:00 ile 16:00 arasında her yarım saatte bir kayıt edilmiştir. Kolektör tam güney yönüne bakmaktadır. Kollektör eğim açısı 25° alınmıştır.

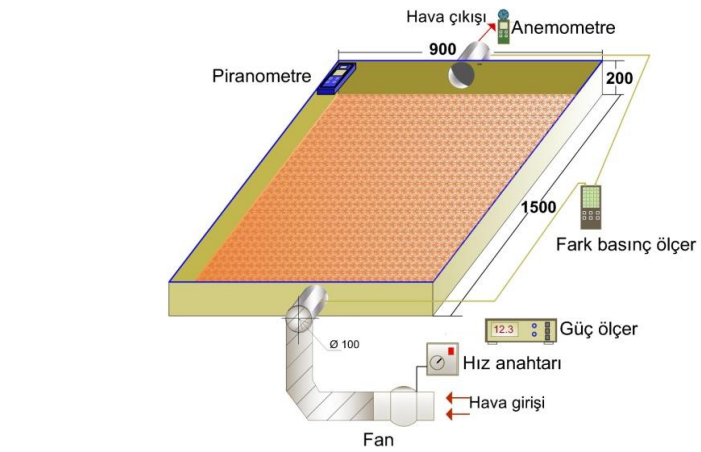


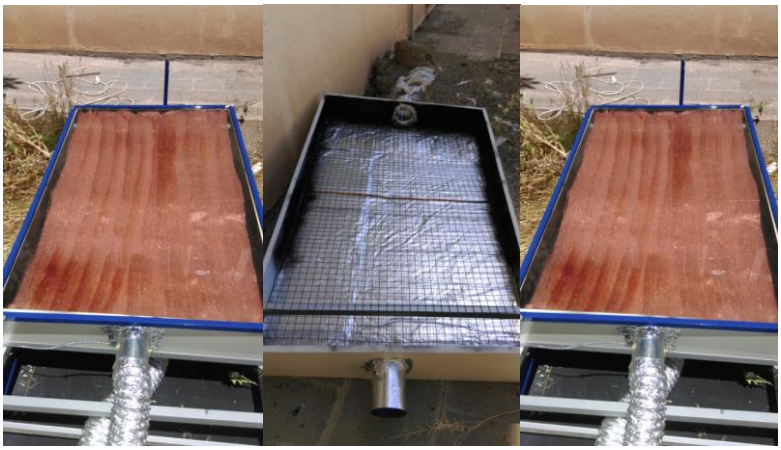
Şekil 3.3. Bakır Elek Teli

3.1.2. Bakır Yünü Örtülü Emici Yüzey Deney Düzeneği

Bu çalışmada, yeni tasarlanan bakır yünü örtülü emici plakalı havalı güneş kolektörünün ısıl performansı araştırılmıştır. Emici plaka üzerine bakır yünü serilerek yüzey poroz hale getirilmiştir. Bu şekilde emici plakanın daha fazla ısı absorbe etmesi ve akışın ısıl sınır tabakasının bozulması hedeflenmiştir. Deneyler 0.035 kg/s ve 0.044 kg/s kütlesel debide tekrarlanmıştır.

Çalışmada, düz emici yüzeyli kollektör ile bakır yünü kullanılarak oluşturulmuş emici yüzeye sahip kollektör olmak üzere iki farklı tip kolektörle deneyler yapılmıştır. Kolektörün ebatları 900x1500x200 mm dir. Bakır yünü ve deney şeması şekil 3.4 deki gibidir, bakır yünü 5x5 cm fens telinin üzerine serilmiştir. Bakır yünü 200mm eninde ve 1500mm boy uzunluğundadır. Fens teli bakır yününü düz şekilde tutarken, kolektörün uzun kenarında, alt kısımdan üst kısma doğru eğimli olarak yerleştirilmiştir.





Şekil 3.4. Bakır yünü ve deney şeması

3.1.3. Ölçüm Cihazları

Sıcaklık ölçümleri kolektör giriş, çıkış ve kolektörün altında kalan gölge kısımdan (çevre sıcaklığı olarak) J tipi termokuplarla yapılmıştır. Toplam anlık güneş ışınım kolektör üst köşesine yerleştirilen Eko-Solar Meter piranometre ile tespit edilmiştir. Her deneyden önce, anemometre ile kolektör çıkışındaki hava hızı tespit edilmiş ve devir anahtarı ile tasarlanan hızların sabit kalması sağlanmıştır. Kolektör giriş ve çıkışındaki basınç farkı Testo 521 fark basınçölçer ile tespit edilmiştir. Fanın tükettiği elektrik enerjisi her iki hız için, güç ölçer ile tespit edilmiştir. Ölçüm cihazlarına ait özelikler ve doğruluk oranları Çizelge 3.1. de verilmiştir.

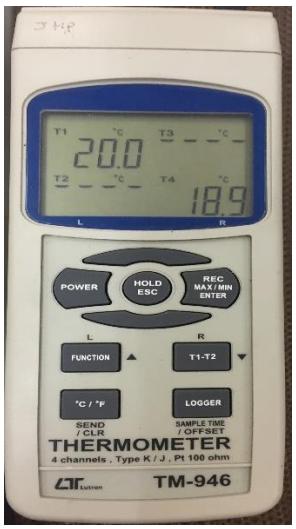
Çizelge 3.1. Ölçüm cihazlarına ait özelikler ve doğruluk oranları

	Ölçüm Aralığı	Tolerans
Fark basınç ölçer	0-10 hPa	±0.1% FS
J tipli termokup	-100/750 °C	±0.3 °C
Piranometre	300-1200 W/m^2	±10 W/m^2
Anemometere	0.8-15 m/s	±3%
Güç ölçer	0-6000 W	±1.5%

Deneylerde kullanılan ölçü aletleri şekil 3.5 ,3.6, 3.7, 3.8 ve 3.9 da verilmiştir.



Şekil 3.5. Anemometre



Şekil 3.6. Dijital termometre



Şekil 3.7. Fark Basınç ölçer



Şekil 3.8. Kızıl ötesi termometre



Şekil 3.9. Güç ölçer

3.2. Metot

3.2.1. Kollektörlerin Termal Analizi

Güneş ışımının kollektör yüzeyine gelen belirli bir kısmı kollektörde saydam örtüden yansır, bir kısmı emilir ve geri kalan kısmı emici yüzeye ulaşır. Emici yüzeye gelen ışınımın bir kısmı havaya aktarılırken, bir kısmı dış ortama yayılmaktadır.

Havalı güneş kollektöründe oluşan ısı kayıpları birçok değişkene bağlıdır. Bu değişkenlerden bazıları; güneş ışınımı, dış ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı veya şiddeti, kollektör kasasının yapısı, geçirgen örtü özellikleri, emici yüzeyin ışınım, yutma, yayma değeri, ısı iletim katsayısı, kalınlığı, yalıtım malzemesinin cinsi ve kalınlığıdır. Isıl analizi yapılırken tüm değişkenler göz önünde tutulmalıdır.

Enerji, ekserji analizleri yapmak için, ilk önce sistemin tanımlanması çok önemlidir. Sistemin, kapalı ve açık olma durumuna göre sistemleri ikiye ayrılır. Açık sistemlerde enerji ve ekserji analizlerinin yapılacağı alan, kontrol hacmi olarak nitelendirilmektedir. Kontrol hacmi, sistemin belirli bir kısmını göz önüne alarak, bu hacme giren, enerji, kütle miktarlarının, sürekli ya da zamanla değişen durumları için analizleri yapılır. Kontrol hacminin analizleri yapılırken, kütlenin korunumu ve enerjinin korunumu ilkelerine dayanarak kontrol hacminin termodinamiğin birinci kanunu ifade edilerek enerji analizleri yapılabilir. Kontrol hacminin, kütlenin korunumu, enerjinin korunumu ve entropi artış ilkeleri göz önüne alarak termodinamiğin ikinci kanunu ifade edilerek ekserji analizleri yapılabilir. Bu analizlerde, sistemin enerji ve ekserji analizleri, sistemin istatistiksel ya da klasik olarak incelenmesi durumuna göre, farklılık gösteren durumlar da söz konusudur. Klasik alanlarda kontrol hacminin büyük olmasından dolayı, bazı durumlar ihmal edilebilir.

Kontrol hacminin enerji, ekserji analizleri yapılırken, enerji ve ekserji kavramlarının çok iyi bir şekilde öğrenilmesi gerekmektedir. Oda sıcaklığındaki bir bardak suyun enerji ve ekserji durumu şöyle özetlenebilir. Oda sıcaklığında çevre ile denge durumunda olan bir bardak sudaki enerji durumu, çevre sıcaklığı ile orantılı olarak değişebilir. Yani enerjisi oda sıcaklığındaki bir bardak suyun enerji analizi yapıldığı takdirde sıfır olmaz. Enerji değerinin sıfır olması için çevre koşullarının ve suyun sıcaklığının -273 ^{o}C'de, sıfır entalpi durumunda olması gerekir. Oda sıcaklığındaki bir bardak su ekserji analizi bakımından incelendiği zaman, ekserjinin sıfır olduğu görülür. Ekserji çevre şartlarının ve kontrol hacminin arasındaki farkların göz önüne alınması ile sistemin iş yapabilme potansiyelini ifade eder. Kontrol hacminin enerji analizlerinde, göz önünde bulundurulan hacme giren ve çıkan enerji türlerinin belirlenmesi gerekir. Ekserji analizinde ise, kontrol hacmine giren ve çıkan enerji türlerinin ekserji ifadeleri şeklinde düzenlenerek entropi artış ilkesi ve sistemin bulunduğu çevre şartlarının göz önünde bulundurulması gerekir.

Ekserji analizi bir sistemdeki enerji kaynaklarının niteliğinin tanımlanması konusunda oldukça faydalı olmaktadır. Ekserji; belirli koşullardaki bir sistemin, tersinir hal değişimi sonucunda çevrenin bulunduğu hale getirilmesi sonucunda elde edilebilecek maksimum iş miktarıdır (Koyuncu, 2006; Akpınar ve Koçyiğit 2010).

3.2.2. Kollektör Verimi

Havalı güneş kollektörün ısıl verimi aşağıdaki denklemler hesaplanmıştır. Isıl verim kollektörden toplanan kullanılabilir enerjinin, aynı sürede kollektör yüzeyine dik olarak gelen güneş enerjisine oranı olarak tarif edilir (Sancar 2014).

$$\eta = \frac{Q_u}{\mathrm{I}_g A_k} \tag{3.1}$$

$$Q_u = \dot{m} C_p \Delta T_k \tag{3.2}$$

$$\Delta T_k = T_{out} - T_{in} \tag{3.3}$$

Yukarıdaki denklemde;

T_{out}: Kollektör giriş sıcaklığı (°C)

T_{in} : Kollektör çıkış sıcaklığı (°C)

η : Kollektör verimi

Q_u: Kollektörden alınan kullanılabilir enerji (W)

$\dot{m}$: Kollektörden geçen havanın kütlesel debisi (kg/s)

C_p : Havanın sabit basınçta özgül ısısı (kJ/kgK)

I_g : Kollektör yüzeyine gelen ışınım miktarı (W/m^2)

A_k : Kollektör alanı (m^2)

ΔT_k : Kollektörden çıkan ve kollektöre giren havanın sıcaklık farkı (°C)

Denklem (3.2) ve denklem (3.3) dikkate alınarak kollektör verimini veren denklem (3.1) aşağıdaki biçimde de yazılabilir.

$$\eta = \frac{\dot{m} C_p [T_{out}^{\cdot} - T_{in}]}{I_g A_k} \tag{3.4}$$

Yukarıdaki denklemde T_{out} havanın kollektörden çıkış sıcaklığı, T_{in} havanın kollektöre giriş sıcaklığı, A_k ise toplam kollektör yüzey alanını göstermektedir.

Kütlesel debi;

$$\dot{m} = \rho V A_{ç} \tag{3.5}$$

ile hesaplanır. Yukarıdaki denklemde;

ρ : Havanın yoğunluğu (kg/m^3)

V : Hava akış hızı(m/s)

$A_ç$: Havanın kollektör çıkış kesit alanıdır(m^2)

$$\eta_{th} = \frac{Q_u - F_{fan}}{IA_k} \quad (3.6)$$

Yukarıdaki denklemde η_{th}: Termal verim ve F_{fan}:Fan gücü (W) olarak ifade edilmektedir.

3.2.3. Ekserji Analizi

Bir sistemin analizinde termodinamiğin birinci yasa verimi, tek başına bir ölçü değildir. Bu yüzden, termodinamiğin ikinci yasa analizinin yapılması, sistemin nitelik azalması, entrropi üretimi ve iş yapma olanaklarının değerlendirilmesi açısından önemlidir. Yapılan kabuller altında, kontrol hacminin ekserji verimi hesaplanmıştır. Kontrol hacminin sürekli akış ve kütlenin korunumu ilkesi göz önüne alınarak aşağıdaki denklem yazılabilir.

Bu sistemde kollektör kapalı bir sistem olarak değerlendirilmiş olup giren hava ile çıkan hava miktarının aynı olduğu sistemde hava kaybının olmadığı ve sistemde kullanılan ölçüm cihazlarının kayıpları göz ardı edilmiştir.

$$\sum \dot{m}_{giriş} = \sum \dot{m}_{çıkış} \quad (3.7)$$

$$\sum \dot{E}x_{giriş} - \sum \dot{E}x_{çıkış} = \sum \dot{E}x_{kayıp} \quad (3.8)$$

Veya

$$\sum \dot{E}x_{ısı} - \sum \dot{E}x_{iş} + \dot{E}x_{kütle\ girişi} - \dot{E}x_{kütle\ çıkışı} = \sum \dot{E}x_{kayıp} \quad (3.9)$$

Denklem (3.9) kullanılarak genel ekserji dengesinin hız formu aşağıdaki gibi yazılabilir (Esen, 2008)

$$\sum \dot{E}x_{ısı} - \sum \dot{E}x_{iş} + \dot{E}x_{kütle\ girişi} - \dot{E}x_{kütle\ çıkışı} = \sum \dot{E}x_{kayıp}$$

$$\sum \left(1 - \frac{T_e}{T_y}\right) \dot{Q}_y - \dot{W} + \sum \dot{m}_g \psi_g - \sum \dot{m}_ç \psi_ç = \dot{E}x_{kayıp} \quad (3.10)$$

Burada;

$$\psi_g = (h_g - h_e) - T_e(s_g - s_e) \quad (3.11)$$

$$\psi_{ç} = \left(h_{ç} - h_e\right) - T_e(s_{ç} - s_e) \tag{3.12}$$

Denklem (3.10) ve (3.11), Denklem (3.12) da yerine konulursa, denklem aşağıdaki şekilde düzenlenir.

$$\left(1 - \frac{T_e}{T_y}\right)\dot{Q}_{\mathrm{y}} - \dot{\mathrm{m}}\left(h_{ç} - h_g\right) - T_e\left(s_{ç} - s_g\right) = \dot{\mathrm{E}}\mathrm{x}_{\mathrm{kayıp}} \tag{3.13}$$

Burada $\dot{Q}_{\mathrm{y}}$ kollektör yüzeyi tarafından emilen güneş enerjisidir ve aşağıdaki ifadeyle değerlendirilir.(Esen 2008; Karim ve Hawlader 2006; Kurtbaş ve Durmuş 2004).

$$\dot{Q}_y = I(\tau\alpha)A_k \tag{3.14}$$

Kollektördeki havanın entalpi ve entropi değişimleri aşağıdaki gibi ifade etmiştir.

$$\Delta_h = h_{ç} - h_g = C_p(T_{h.ç} - T_{h.g}) \tag{3.15}$$

$$\Delta \mathrm{s} = s_{ç} - s_g = C_p ln\frac{T_{h.ç}}{T_{h.g}} - Rln\frac{p_{ç}}{P_G} \tag{3.16}$$

Denklem (3.15) ve (3.16) yı denklem (3.13)' de yerine konulmasıyla aşağıdaki denklem yazılabilir;

$$\left(1 - \frac{T_e}{T_y}\right) I_g(\tau\alpha)A_k - \dot{m}C_p\left(T_{h,ç} - T_{h.g}\right) + \dot{m}C_pT_e ln\frac{T_{h,ç}}{T_{h,g}} - \dot{m}RT_e ln\frac{P_{ç}}{P_g} = \dot{E}x_{kayıp} \tag{3.17}$$

Tersinmezlik olarak tanımlanan $\dot{E}x_{kayıp}$ aşağıdaki denklemden direk olarak hesaplanabilir;

$$\dot{E}x_{kayıp} = T_e\dot{S}_{\mathrm{üretim}} \tag{3.18}$$

İkinci yasa verimi aşağıdaki gibidir (Akpınar ve Koçyiğit 2010);

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{E}x_{ç}}{\dot{E}x_g} = \frac{m[h_{ç} - h_g - \dot{T}_e(S_{ç} - S_g)]}{\left(1 - \frac{T_e}{T_y}\right)\dot{Q}_y} \tag{3.19}$$

Boyutsuz ekserji kaybı denklem (3.19) un denklem (3.20)'deki yararlı ısı değerine bölünmesiyle elde edilmektedir (Akpınar ve Koçyiğit 2010);

$$Ex_D = \frac{\dot{E}x_{kayıp}}{\dot{Q}_c} \tag{3.20}$$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada havalı güneş kollektörü emici yüzey olarak düz yüzey, bakır elek teli ve bakır yünü kullanılarak akışın farklı kütlesel debi değişimlerinde ve boyalı yüzey uygulamaları yapıldı. Işınım şiddeti, havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları, hava hızı ve giriş ile çıkış arasındaki basınç farkı ölçüldü. Hava debisi için maksimum 1080 m^3/h değerinde kanal tipi fan kullanıldı. Debi fanın devri kontrol edilerek sağlandı. Işınım ölçümleri için piranometre kullanıldı; bu cihaz ile tam güney yönü ve eğim açısı tayin edildi.

Deneyler çizelge 4.1 de görüldüğü gibi kodlanmıştır. Bu tabloda ilk sıradaki DY: düz yüzey, BET: bakır elek teli ve BY: bakır yünü kullanılan kolektör tipini belirtmektedir. İkinci sıradaki rakamlar kütlesel debi miktarını, üçüncü sıradaki rakamlar ise eğim açılarını belirtmektedir.

Çizelge 4.1. Deneyde kullanılan kollektör tipleri

Sıra	Deney kodu	Emici plaka	Debi (kg/s)	Kolektör eğim açısı (°)
1	DY/035/25	Düz yüzey	0.035	25
2	DY/044/25	Düz yüzey	0.044	25
3	DY/030/35	Düz yüzey	0.030	35
4	BET/035/25	Bakır elek teli	0.035	25
5	BET/044/25	Bakır elek teli	0.044	25
6	BET/030/25	Bakır elek teli	0.030	25
7	BET/055/25	Bakır elek teli	0.055	25
8	BET/030/35	Bakır elek teli	0.030	35
9	BET/055/35	Bakır elek teli	0.055	35
10	BY/035/25	Bakır yünü	0.035	25
11	BY/044/25	Bakır yünü	0.044	25

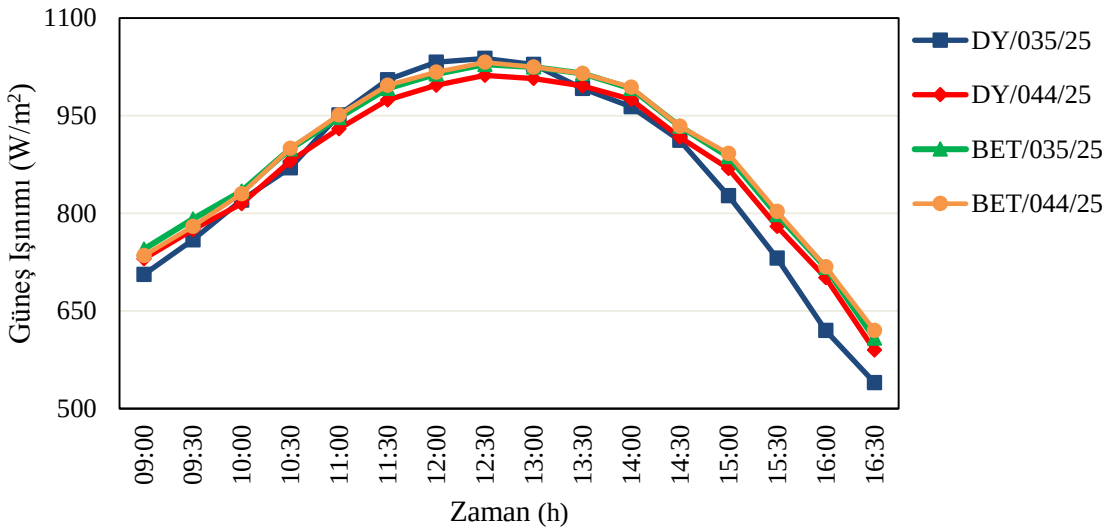
4.1. Yapılan Deneyler ve Bulgular

4.1.1. Bakır Elek Teli Kullanılarak Yapılan Deneyler

Bu çalışmada, yeni tasarlanan poroz emici plakalı havalı güneş kolektörünün ısıl performansı araştırılmıştır. Emici plaka üzerine bakır elek teli serilerek yüzey poroz hale getirilmiştir. Bu şekilde emici plakanın daha fazla ısı absorbe etmesi ve akışın ısıl sınır

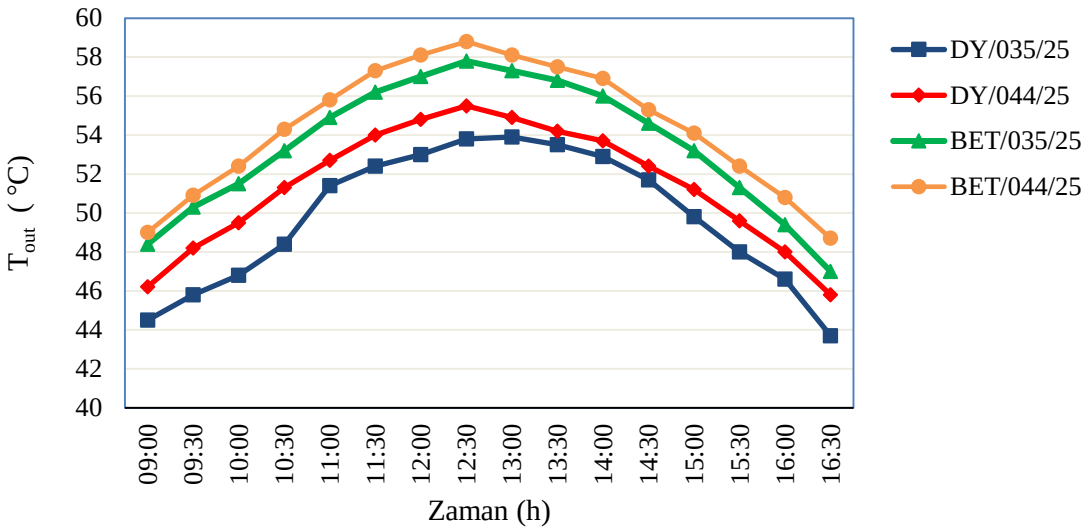
tabakasının bozulması hedeflenmiştir. Deneyler 0.035 ve 0.044 kg/s kütlesel debide tekrarlanmıştır.

Anlık güneş ışınımı deneysel çalışmaların yapıldığı günlerde her yarım saatte bir kaydedilmiştir. Işınım şiddetinin öğlene doğru arttığı ve öğleden sonra azalma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. DY/035/25 kollektöründe ışınım miktarı en yüksek bulunmuştur. Özellikle saat 11:00 ila 14:00 arasında diğer günlere göre fark artmıştır. Diğer tipler için ışınım miktarları birbirlerine yakın tespit edilmiştir. Işınım miktarının 1000 W/m^2 değerine kadar çıktığı şekil 4.1 de görülmektedir.



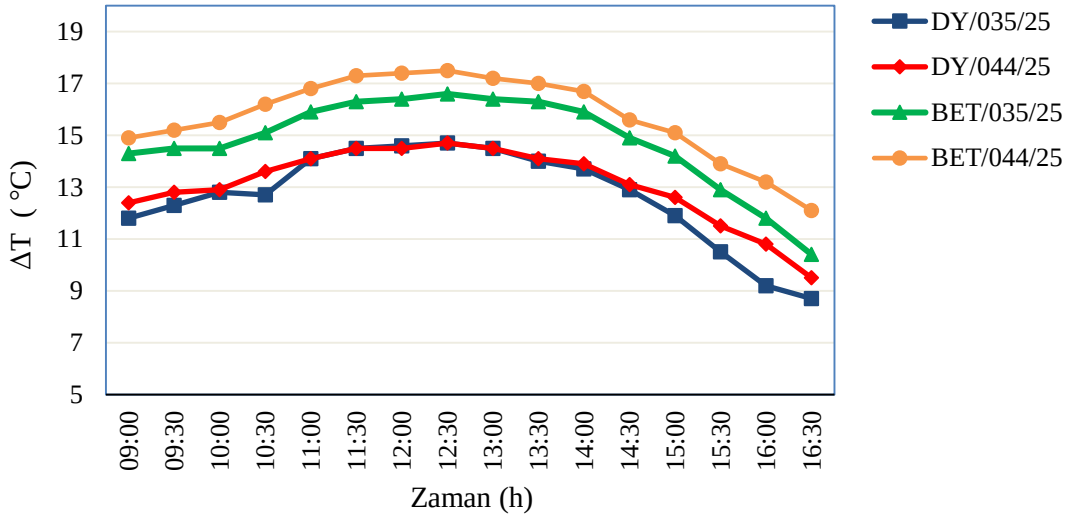
Şekil 4.1. Işınım miktarı –zaman grafiği

Kolektör sıcaklıkları çevre sıcaklığı ve kolektör verimlerine bağlı olarak değişir. Kolektör çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi şekil 4.2'de görülmektedir. Yüzeye bakır elek teli serilmesi diğer kollektör tiplerine göre T_{out} değerini daha fazla arttırmıştır. Saat 11:30 ila 12:30 arasında T_{out} en yüksek değere ulaşmıştır.



Şekil 4.2. T_{out} –zaman grafiği

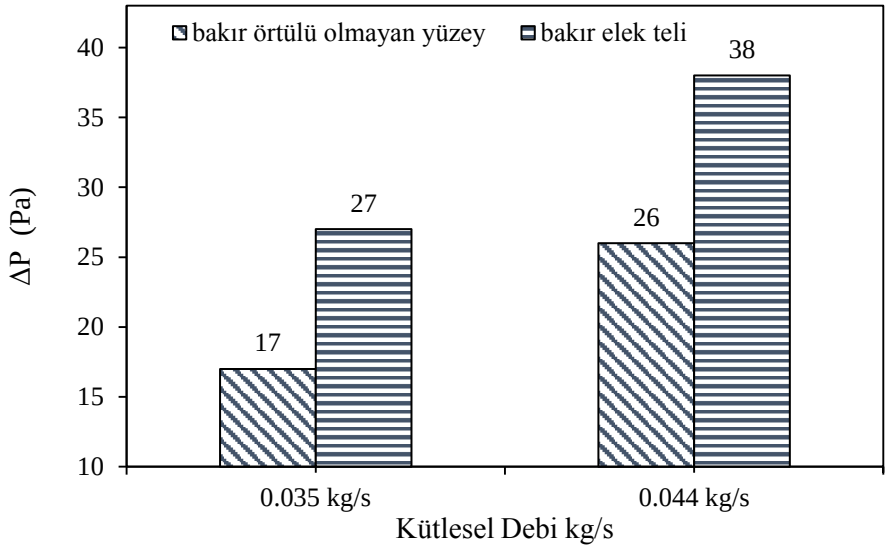
Kolektör giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimini gösteren şekil 4.3'de saat 13:30 dan sonra güneş ışınım şiddetiyle orantılı olarak azaldığı görülmektedir. Emici yüzeye bakır elek teli serilen kollektörlerde giriş ve çıkış arasındaki sıcaklık farkı düz yüzeyli kollektör tipine göre daha fazla olduğu görülmüştür. Isıl verim için sıcaklık farkının büyük olması istenen bir durumdur.



Şekil 4.3. ΔT –Zaman Grafiği

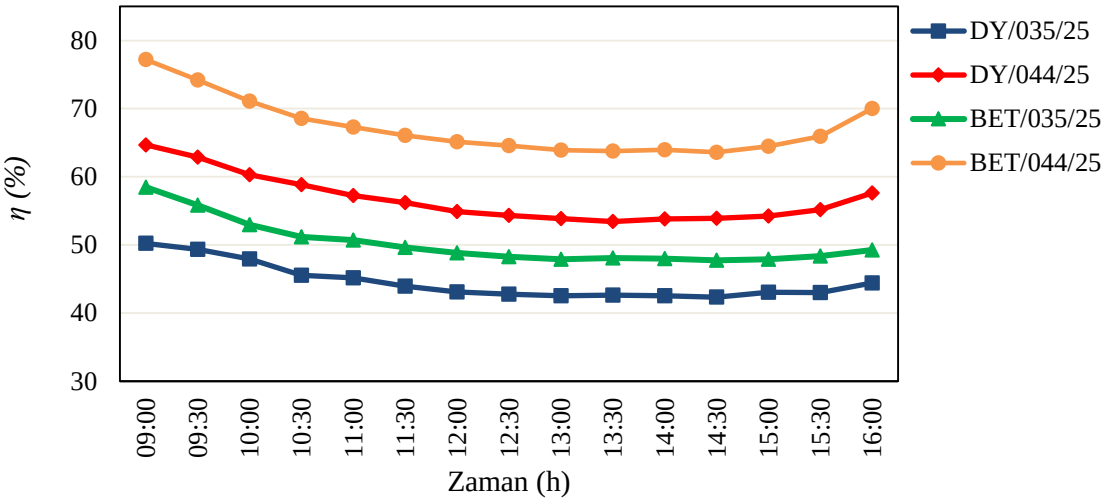
Kolektör tipleri için, giriş ve çıkış hava kanalı arasındaki basınç farkı şekil 4.4'de görülmektedir. Bakır elek teli serilmiş yüzeyli tiplerde basınç kaybı, düz yüzeyli

kolektöre göre ortalama 31- %37 arasında arttığı görülmektedir. Ayrıca yüksek kütlesel debi değerinde de basınç kaybının arttığı görülmektedir.



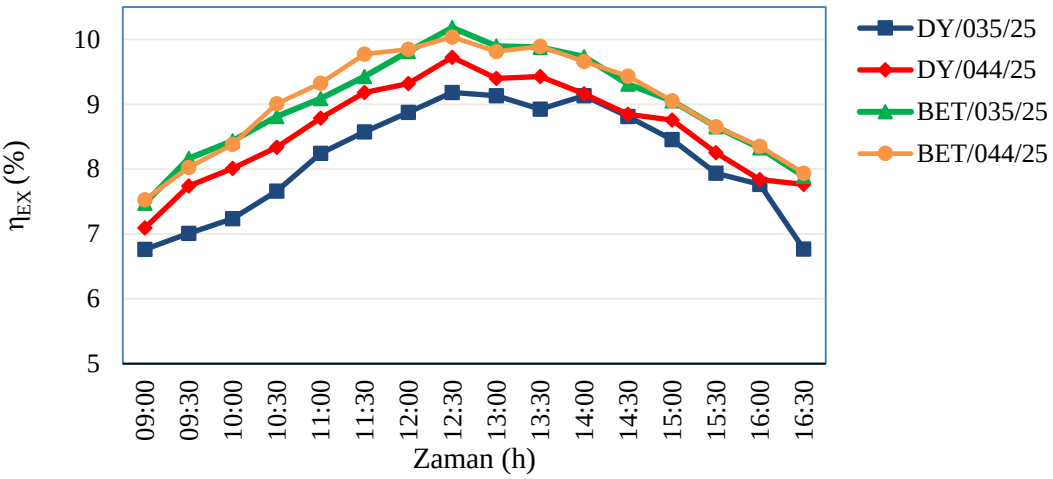
Şekil 4.4. Basınç farkı-kütlesel debi ile değişim grafiği

Hesaplanan η değerinin zamanla değişimi şekil 4.5'de görülmektedir. Bakır elek teli yüzeyli emici plakaya sahip kolektörlerin ısıl verimleri düz yüzeyli emici plakalı kolektöre göre daha yüksek çıkmıştır. Genel olarak eğilimler bir birine benzemektedir. Düzgün eğilimi bozan noktaların güneş ışınım şiddeti değeri veya sıcaklık farkından kaynaklandığı söylenebilir. Düzey yüzeyli kollektörlerde 0.035 kg/s kütlesel debi değeri için ısıl verim %42 ila %50 arasında; 0.044 kg/s kütlesel debi değeri için ısıl verim %53ila %68 arasında değişmektedir. Bakır elek teli serilen kollektörde ise 0.035 kg/s kütlesel debi değeri için ısıl verim %48 ila %58 arasında; 0.044 kg/s kütlesel debi değeri için ısıl verim %64 ila %77 arasında değişmektedir. Kütlesel debi değerinin artması ısıl verimin artmasına katkıda bulunmuştur. Bakır elek teli yüzeyli düşük debili kolektörün ısıl verimi, düz yüzeyli kolektörden ortalama %10 daha iyidir. Aynı şekilde yüksek debi için, bakır elek teli yüzeyli kolektörün ısıl verimi düz yüzeyli kolektörün ısıl veriminden ortalama %15 daha yüksek tespit edilmiştir. Literatürde benzer çalışmaların sonuçları incelendiğinde; Nowzari (2014), saat 13:00 de, 0.032 kg/s debili kolektörün verimini %54 civarında, 0.037 kg/s debili kolektörün verimini %56 civarında bulmuşlardır. Esen (2008) çalışmasında kütlesel debi artışı ile ısıl verimliliğin arttığını belirtmiştir. 0.015 ila 0.025 kg/s arasındaki debiler için ısıl verimleri yaklaşık olarak %28 ila %65 arasında tespit etmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarıyla literatürün uyumlu olduğu görülmektedir.



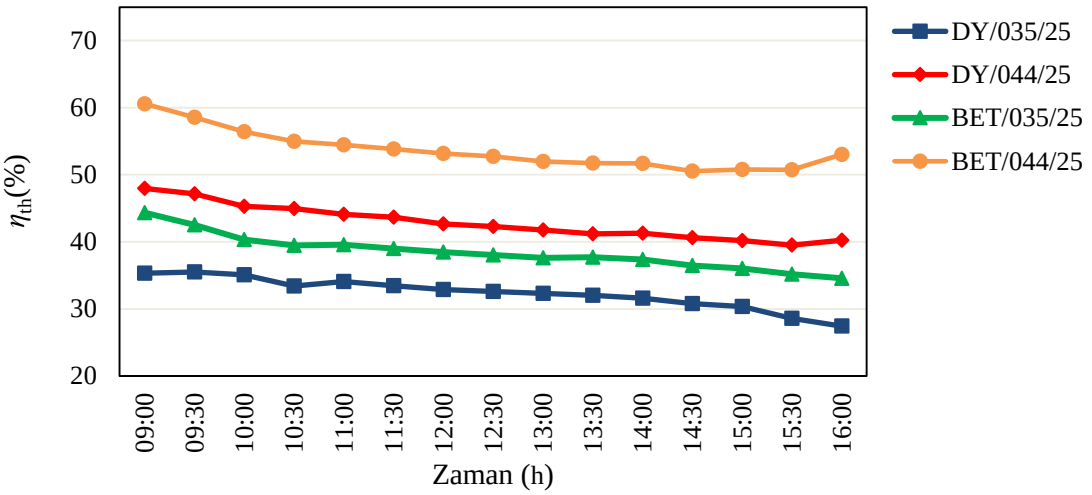
Şekil 4.5 Verim-zaman grafiği

Her bir kolektör tipi ve debisi için hesaplanan ekserji verimleri şekil 4.5'de verilmiştir. DY/035/25 kolektörün 0.035 kg/s debi için değerler %6.26 ile %8.68 arasında, DY/044/25 kolleltörün 0.044 kg/s debi için %6.59 ile %9.22 arasında bulunmuştur. BET/035/25 kolektörün 0.035 kg/s debisi için ekserji verimleri %7.03 ile %9.68 ve BET/044/25 kollektörün 0.044 kg/s debi için %7.24 ile %9.54 arasında bulunmuştur. BET/035/25 ve BET/044/25 kolektörün ekserji verimleri DY/035/25 ve DY/044/25'e göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ekserji verimi %10.84 iken, ekserji yıkım miktarı yani tersinmezlik değeri en yüksek değer olan 681W olmuştur. Ekserji verim değerleri literatürdeki çalışmalarla uyumludur.



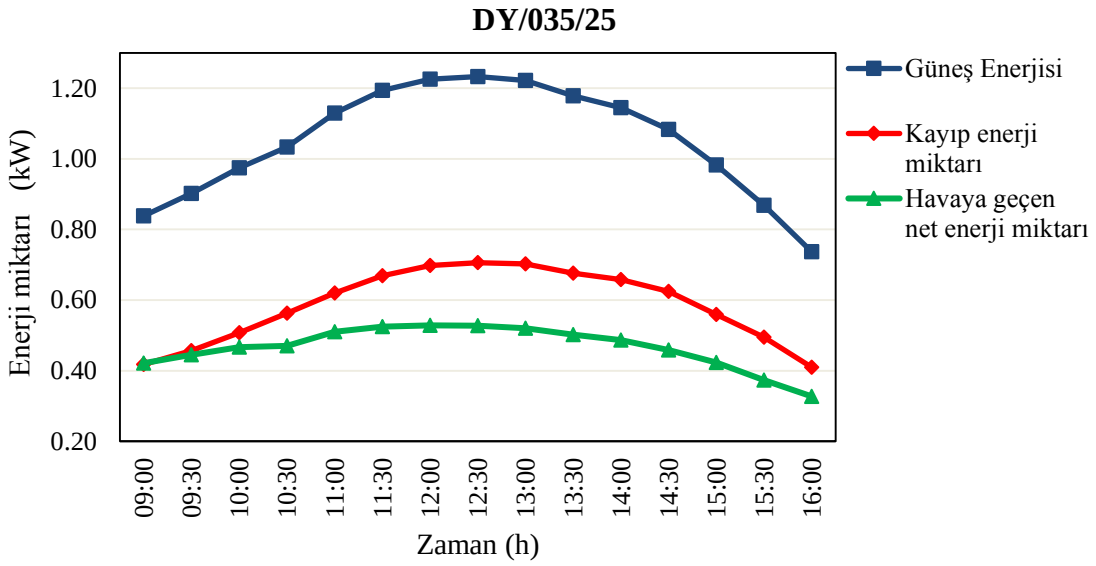
Şekil 4.6. Ekserji verimi-zaman grafiği

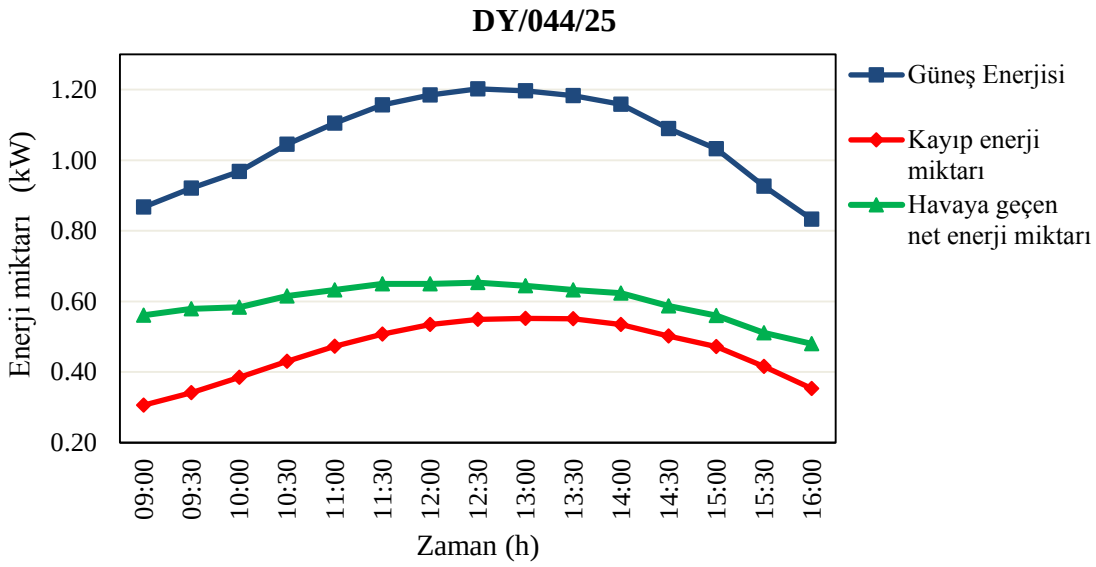
Her bir kolektör tipi ve debisi için hesaplanan hidrolik termal verimleri şekil 4.7'de verilmiştir. DY/035/25 kolektörün 0.035 kg/s debi için değerler %27 ile %35 arasında, DY/044/25 kolleltörün 0.044 kg/s debi için %40 ile %48 arasında bulunmuştur. BET/035/25 kolektörün 0.035 kg/s debisi için ekserji verimleri %35 ile %44ve BET/044/25 kollektörün 0.044 kg/s debi için %53 ile %61 arasında bulunmuştur. DY/044/25 ve BET/044/25 kolektörün termal hidrolik verimleri DY/035/25 ve BET/035/25 e göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En yüksek verim BET/044/25 de bulunmuştur.

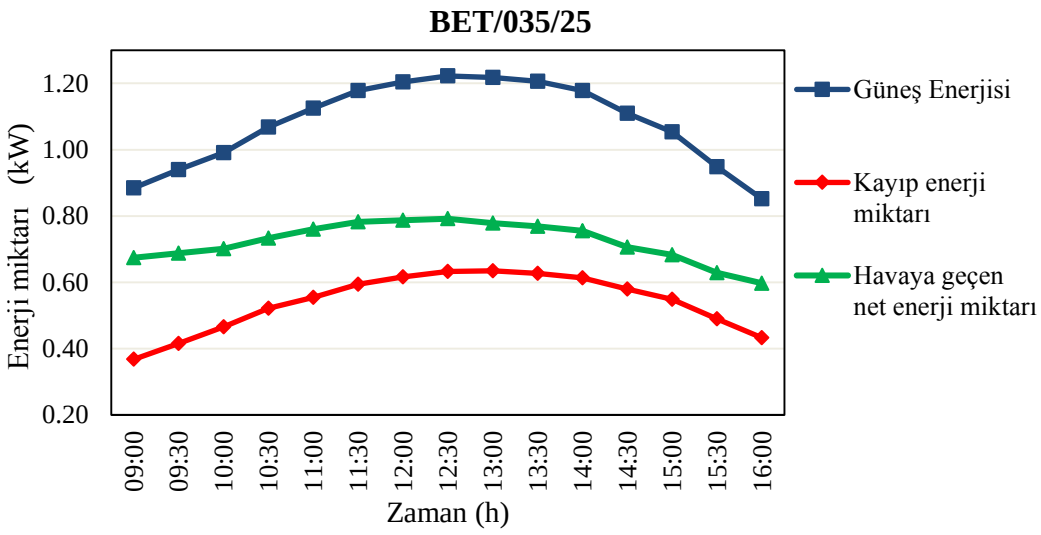


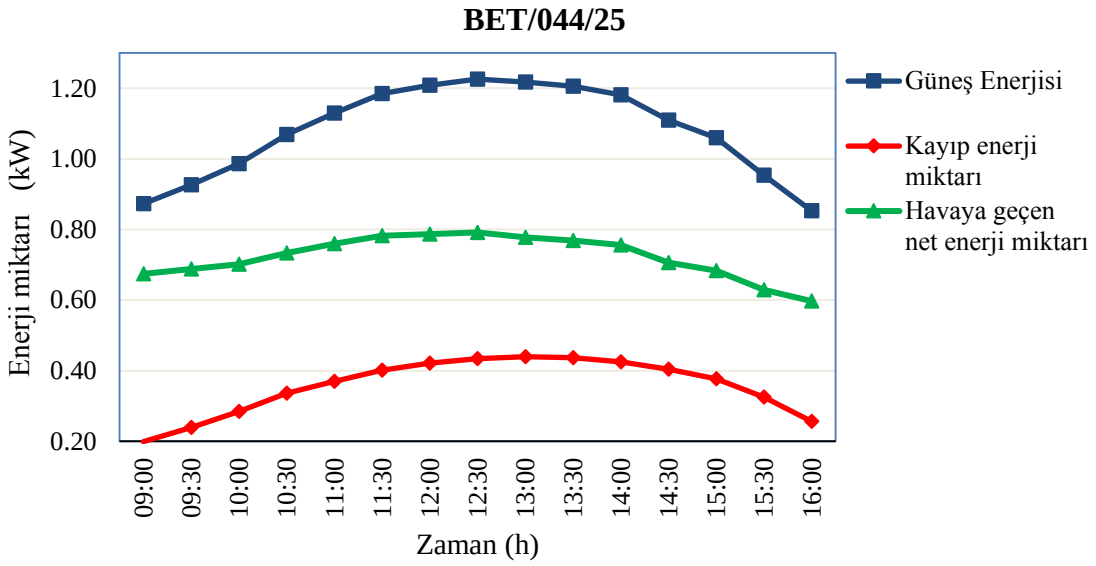
Şekil 4.7. η_{th} -zaman grafiği

Her bir kolektör tipi ve debisi için hesaplanan enerji miktarı değişimi şekil 4.8'de verilmiştir. Güneş enerjisinin kollektör içinde akan akışkana geçme miktarı incelendiğinde BET/035/25 ve BET/044/25 kollektörlerinde havaya geçen enerji miktarı DY/035/25 ve DY/044/25 ye göre daha fazladır. Bu durum emici yüzeyi bakır elek teli ile kaplı kollektörlerin havaya aktarılan enerji miktarındaki katkısını göstermektedir.


DY/035/25
Enerji miktarı (kW)
1.20
1.00
0.80
0.60
0.40
0.20
09:00
09:30
10:00
10:30
11:00
11:30
12:00
12:30
13:00
13:30
14:00
14:30
15:00
15:30
16:00
Zaman (h)
Güneş Enerjisi
Kayıp enerji miktarı
Havaya geçen net enerji miktarı


DY/044/25
Enerji miktarı (kW)
1.20
1.00
0.80
0.60
0.40
0.20
09:00
09:30
10:00
10:30
11:00
11:30
12:00
12:30
13:00
13:30
14:00
14:30
15:00
15:30
16:00
Zaman (h)
Güneş Enerjisi
Kayıp enerji miktarı
Havaya geçen net enerji miktarı


BET/035/25
Enerji miktarı (kW)
1.20
1.00
0.80
0.60
0.40
0.20
09:00
09:30
10:00
10:30
11:00
11:30
12:00
12:30
13:00
13:30
14:00
14:30
15:00
15:30
16:00
Zaman (h)
Güneş Enerjisi
Kayıp enerji miktarı
Havaya geçen net enerji miktarı



Şekil 4.8. Enerji –zaman grafiği

Yapılan çalışmada, bakır elek teli yüzeyli emici plaka ve düz yüzeyli emici plakalı kolektörler iki farklı kütlesel debi için mukayese edilmiştir. Bazı önemli bulgular şöyledir:

a- Düz yüzeyli kollektör ile bakır elek teli serilmiş kolektörün ısıl verimleri %42-%77 arasındadır.

b-Ekserji verimleri %6.26 - %9.54 arasındadır. Isıl ve ekserji verimleri kütlesel debi miktarına arttıkça artmıştır. Aynı verimler ısı emici yüzeyin artışına neden olan bakır elek telli emici plaka kullanılmasıyla artmıştır.

c- Kütlesel debi artışı basınç kaybını yaklaşık %35 arttırmıştır. Bakır elek telli yüzeyde basınç kaybının artmasına sebep olmuştur.

d-Poroz yüzeyli emici plakaya sahip kolektörlerin verimi düz yüzeye göre daha yüksektir.

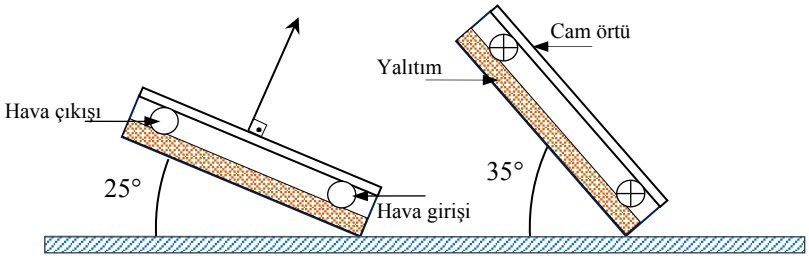
4.1.2. Farklı Kollektör Açılarında Bakır Elek Teli ile Yapılan Deneyler

Bu çalışmada, yeni tasarlanan poroz yutucu plakalı havalı güneş kolektörünün ısıl performansı araştırılmıştır. Yutucu plaka üzerine bakır elek teli serilerek yüzey poroz hale getirilmiştir. Bu şekilde yutucu plakanın daha fazla ısı absorbe etmesi ve akışın ısıl sınır tabakasının bozulması hedeflenmiştir. Çizelge 4.2'de deneylerde kullanılan kolektörleri, kütlesel debi, eğim açısı ve bakır elek teli serilme durumuna göre sınıflandırılması

verilmiştir. Üç farklı değişken ile beş farklı tip deney seti oluşturulmuştur. Her bir tip ile farklı günlerde 06-07.06.2017 ve 23-24.06.2017 tarihleri arasında deneyler tekrarlanmıştır. DY/030/35 da kontrol seti olarak düz yüzeyli kollektör için deneyler sadece 35° eğim açısı ve 0.030 kg/s debi için yapılmıştır.

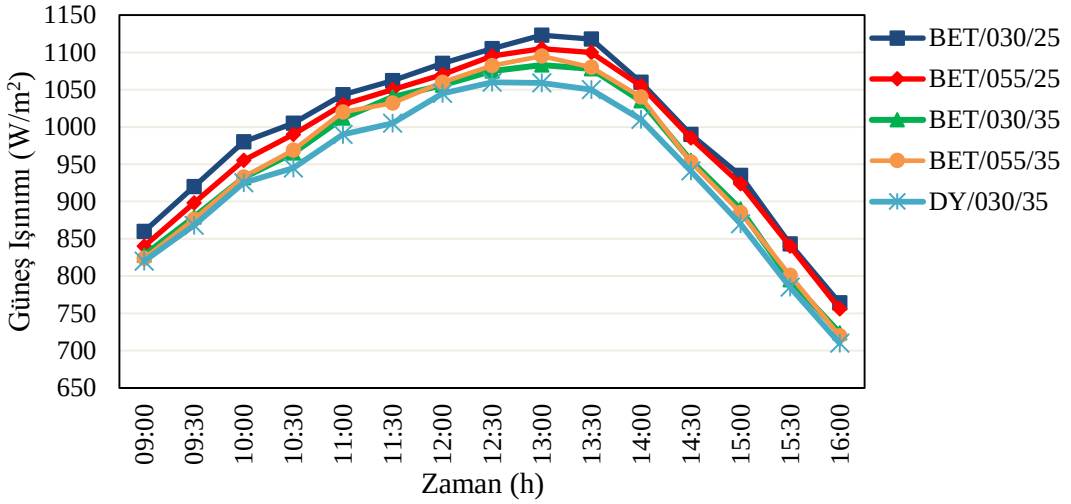
Çizelge 4.2. Kolektör çeşitlerinin sınıflandırılması

	Kütlesel Debi (kg/s)	Kollektör Açısı	Bakır Teli
BET/030/25	0.030	25°	Var
BET/055/25	0.055	25°	Var
BET/030/35	0.030	35°	Var
BET/055/35	0.055	35°	Var
DY/030/35	0.030	35°	Yok



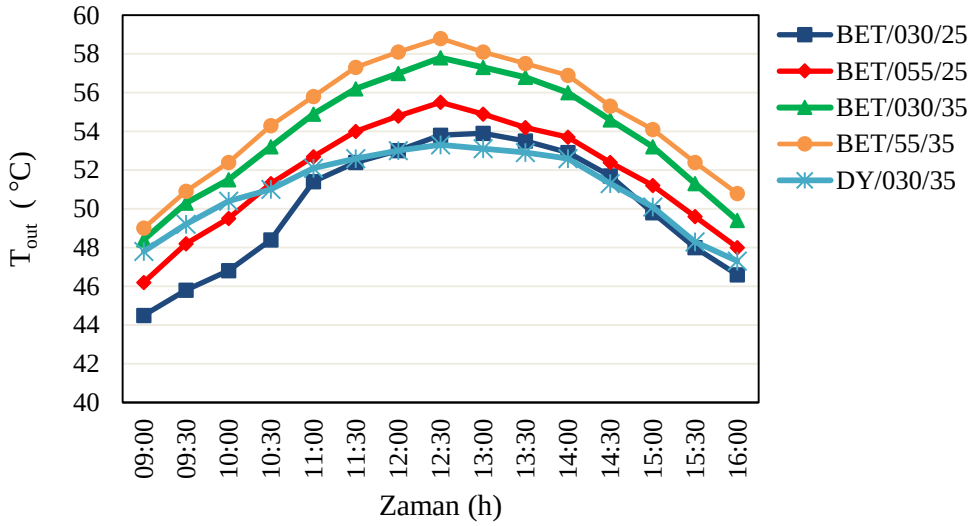
Şekil 4.9. Deney düzeneği

Anlık güneş ışınımı deneysel çalışmaların yapıldığı günlerde her yarım saatte bir kaydedilmiştir. Işınım şiddetinin öğlene doğru arttığı ve öğleden sonra azalma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. BET/030/25: 0.030 kg/s β: 25° de ışınım miktarı en yüksek bulunmuştur. Özellikle saat 11:00 ila 14:00 arasında diğer günlere göre fark artmıştır. Diğer tipler için ışınım miktarları birbirlerine yakın tespit edilmiştir. Işınım miktarının 1123 W/m^2 değerine kadar çıktığı şekil 4.10'da görülmektedir. Işınım miktarının kollektör tiplerine göre değişmesi deneylerin farklı günlerde yapılmasından kaynaklanmaktadır.



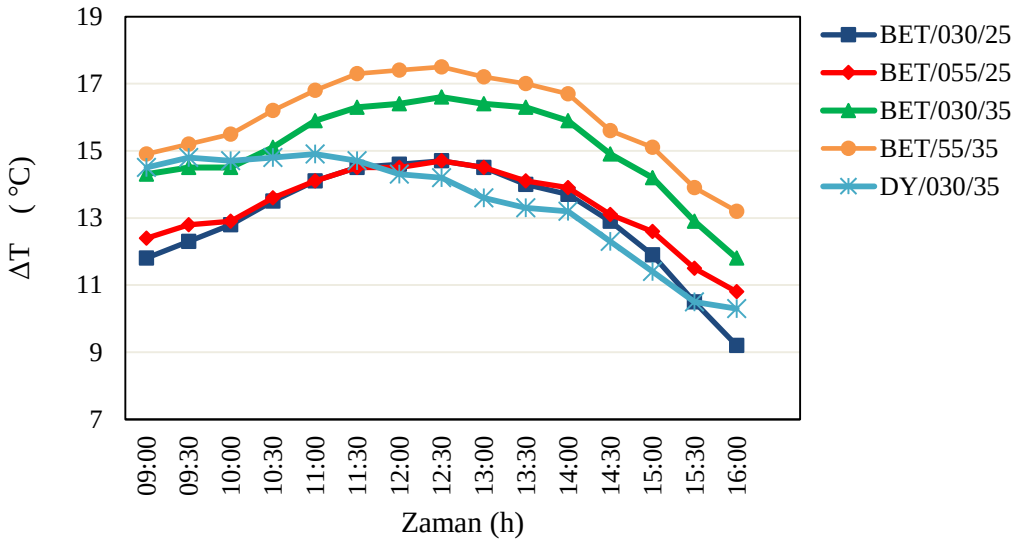
Şekil 4.10. Işınım Miktarı- Zaman Grafiği

Kolektör sıcaklıkları çevre sıcaklığı ve kolektör verimlerine bağlı olarak değişir. Kolektör çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi şekil 4.11'de görülmektedir. Kütlesel debinin artması, T_{out} değerini arttırmıştır. BET/030/35 ile DY/030/35 karşılaştırıldığında aynı kütlesel debide ve aynı kollektör açısında bakır elek teli serili yüzeye ait kollektör verimi düze yüzeyli kollektöre göre T_{out} değerinde daha fazla artış sağladığı görülmüştür. Ayrıca aynı kütlesel debide kollektör açısının artması ile T_{out} arttığı görülmüştür. Saat 11:30 ila 12:30 arasında T_{out} en yüksek değere ulaşmıştır.



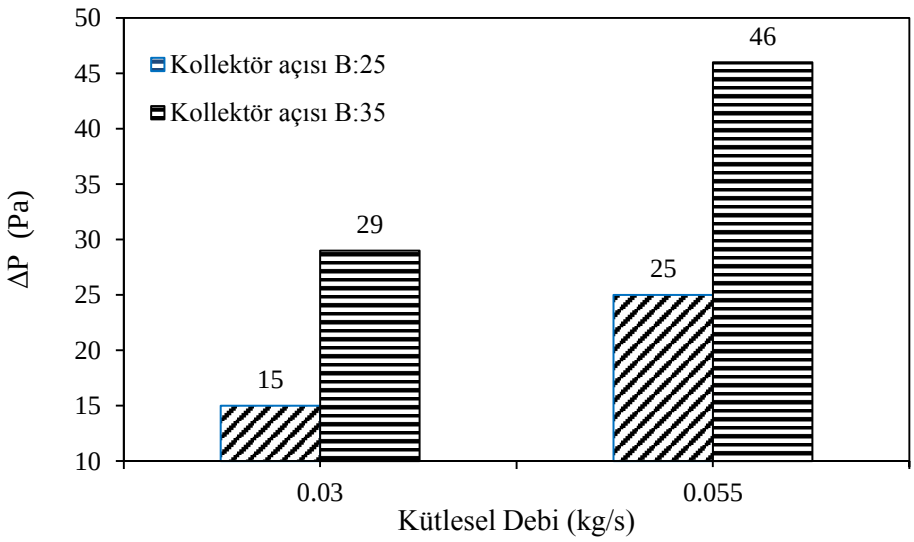
Şekil 4.11. T_{out} –zaman grafiği

Kolektör giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimini gösteren 4.12'de saat 13:30 dan sonra güneş ışınım şiddetiyle orantılı olarak azaldığı görülmektedir. Isıl verim için sıcaklık farkının büyük olması istenen bir durumdur. Grafik incelendiğinde kollektör açısının artması ve yüzeye bakır elek teli serilmesi sıcaklık farkını arttırmıştır.



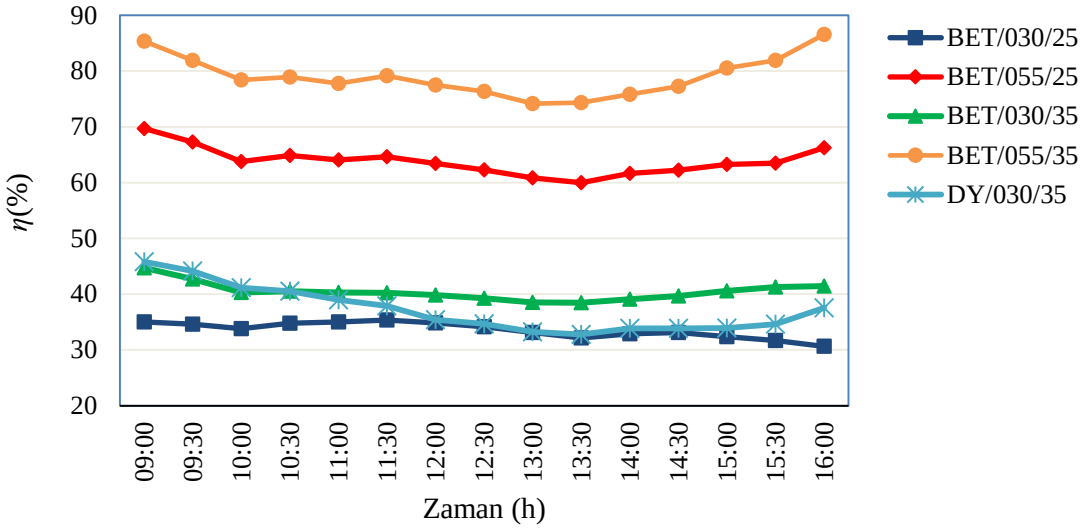
Şekil 4.12. ΔT –Zaman Grafiği

Kolektör tipleri için, giriş ve çıkış hava kanalı arasındaki basınç farkı şekil 4.13'de görülmektedir. Kollektör açısının 35° olduğu durumda 25° deki duruma göre ortalama %37 ile %40 arasında arttığı görülmektedir. Ayrıca yüksek kütlesel debi değerinde de basınç kaybının arttığı görülmektedir.



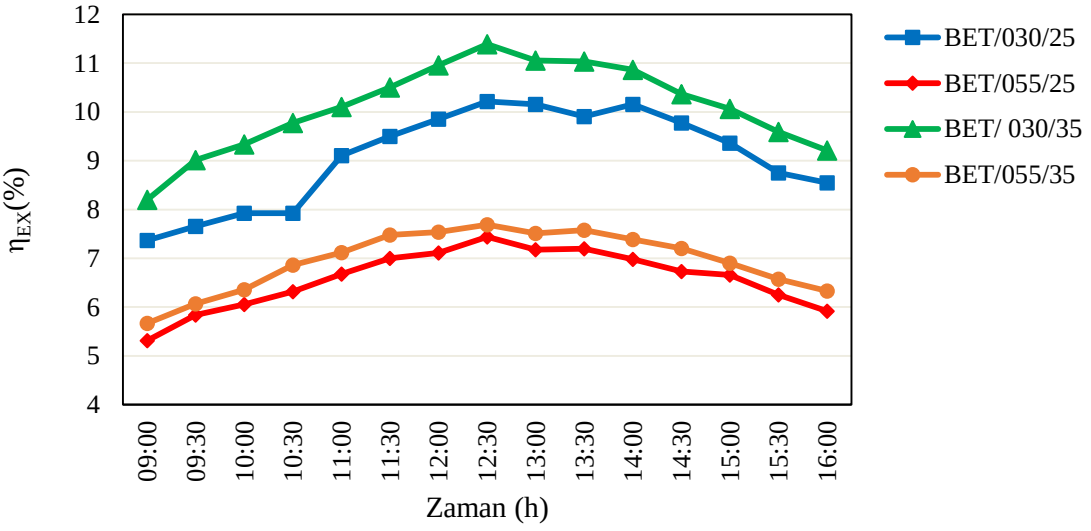
Şekil 4.13 Basınç farkı-kütlesel debi ile değişim grafiği

Hesaplanan η değerinin zamanla değişimi şekil 4.14'de görülmektedir. Bakır Tel yüzeyli yutucu plakaya sahip kolektörlerin β:35° ve 0.055 kg/s kütlesel debide ısıl verimi diğer kolektör tiplerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Kütlesel debinin artması genel olarak verimi en çok etkileyen faktörlerden biri olup kütlesel debinin artmasıyla verimin arttığı görülmüştür. Ayrıca aynı kütlesel debide kollektör açısı olan β' nın artmasıyla verimin arttığı gözlemlenmiştir. Aynı kütlesel debide düz yüzeye sahip kollektörün 35° deki verimi ile bakır elek telli kollektör açısı 25° deki verimleri karşılaştırıldığında kollektör açısının kollektör emici yüzeyine göre verimi daha çok etkilediği görülmektedir. Ayrıca aynı kütlesel ve β:35° açıda bakır elek teli olan yüzeyin düz yüzeye göre daha veriminin daha yüksek olduğu görülmüştür. Genel olarak eğilimler bir birine benzemektedir. Düzgün eğilimi bozan noktaların güneş ışınım şiddeti değeri veya sıcaklık farkından kaynaklandığı söylenebilir. Bakır tel yüzeyli kollektör için 0.030 kg/s kütlesel debi değeri için ısıl verim β: 25° de %31 ila %35 , β:35° için % 41 ile % 45 arasında değişmektedir. 0.055 kg/s kütlesel debi değeri için β:35° de ısıl verim %74 ila % 87 , β:25° için %60 ile % 70 arasında değişmektedir. Düz yüzeyli kollektörde ise β:35° verim değeri %38-%46 arasında bulunmuştur. Poroz yüzeyli düşük debili kolektörün ısıl verimi, düz yüzeyli kolektörden ortalama %15 daha iyidir. Aynı şekilde yüksek debi için, poroz yüzeyli kolektörün ısıl verimi düz yüzeyli kolektörün ısıl veriminden ortalama %9 daha yüksek tespit edilmiştir. Literatürde benzer çalışmaların sonuçları incelendiğinde, Nowzari (2014), saat 13:00 de, 0.032 kg/s debili kolektörün verimini %54 civarında, 0.037 kg/s debili kolektörün verimini %56 civarında bulmuşlardır. Esen (2008), çalışmasında kütlesel debi artışı ile ısıl verimliliğin arttığını belirtmiştir. 0.030 ila 0.055 kg/s arasındaki debiler için ısıl verimleri yaklaşık olarak %28 ila %65 arasında tespit etmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarıyla literatürün uyumlu olduğu görülmektedir.



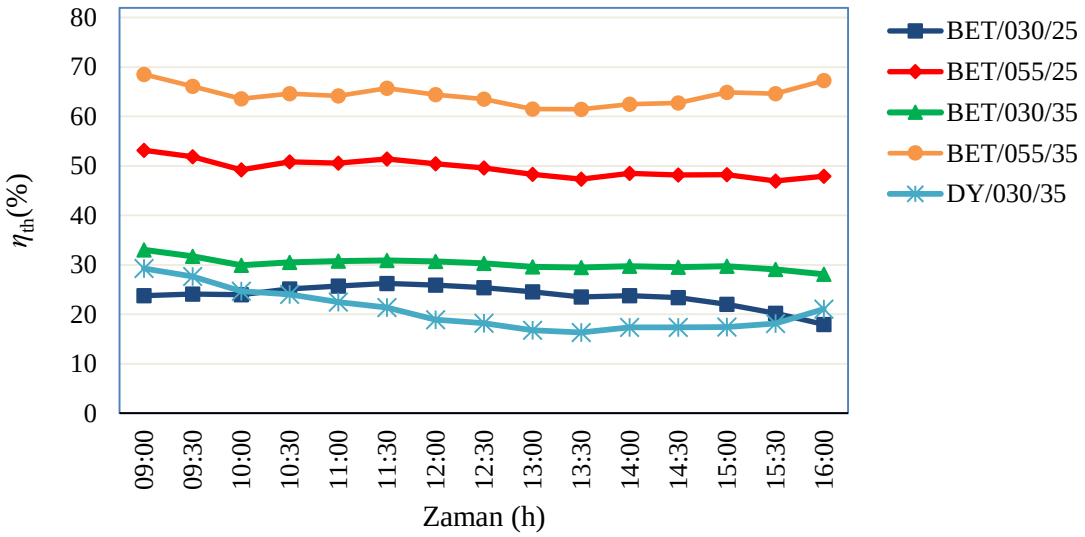
Şekil 4.14. Verim-zaman grafiği

Her bir kolektör tipi ve debisi için hesaplanan ekserji verimleri şekil 4.15'de verilmiştir. 0.030 kg/s kütlesel debide β: 35°'lik kollektör açısına sahip BET/030/35'in β:25° açıya sahip BET/030/25'e göre ekserji veriminin daha fazla olduğu görülmüştür. β:35° ve 0.055 kg/s kütlesel debide ekserji veriminin en yüksek olduğu kollektör BET/055/35 olduğu görülmüştür. Şekil 4.14'de enerji zaman grafiği gösterilmiştir buna göre Ekserji verimi %10.84 iken, ekserji yıkım miktarı yani tersinmezlik değeri en yüksek değer olan 591W olmuştur. Ekserji verim değerleri literatürdeki çalışmalarla uyumludur.



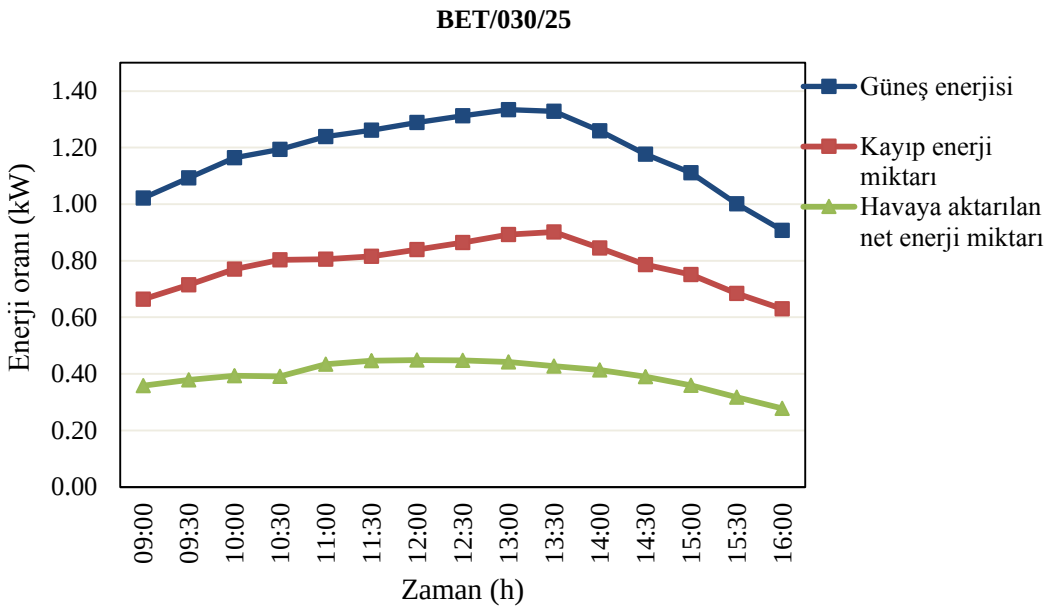
Şekil 4.15. Ekserji-zaman grafiği

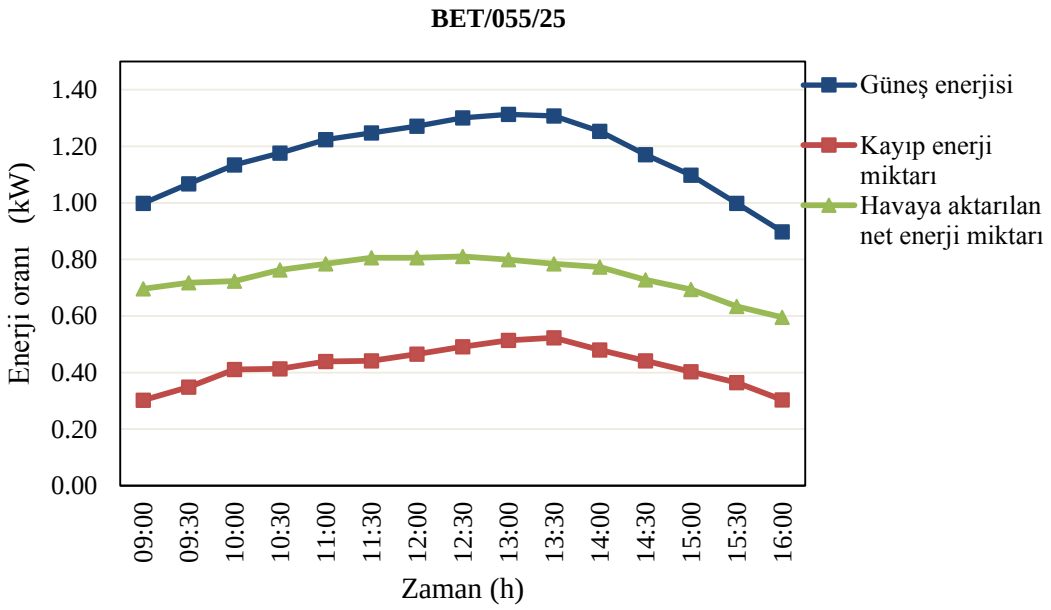
Her bir kolektör tipi ve debisi için hesaplanan hidrolik termal verimleri şekil 4.16 da verilmiştir. BET/030/25 kolektör için %18 ile %24 arasında, BET/055/25 kollektör için %47 ile %53 arasında bulunmuştur. BET/030/35 kolektör için %28 ile %33, BET/055/35 kollektör için %61 ile %69 arasında bulunmuştur. DY/030/35 için %33 ile %46 arasında bulunmuştur. BET/055/25 ve BET/055/35 kolektörün termal hidrolik verimleri diğer tiplere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En yüksek verim BET/055/35 de bulunmuştur.

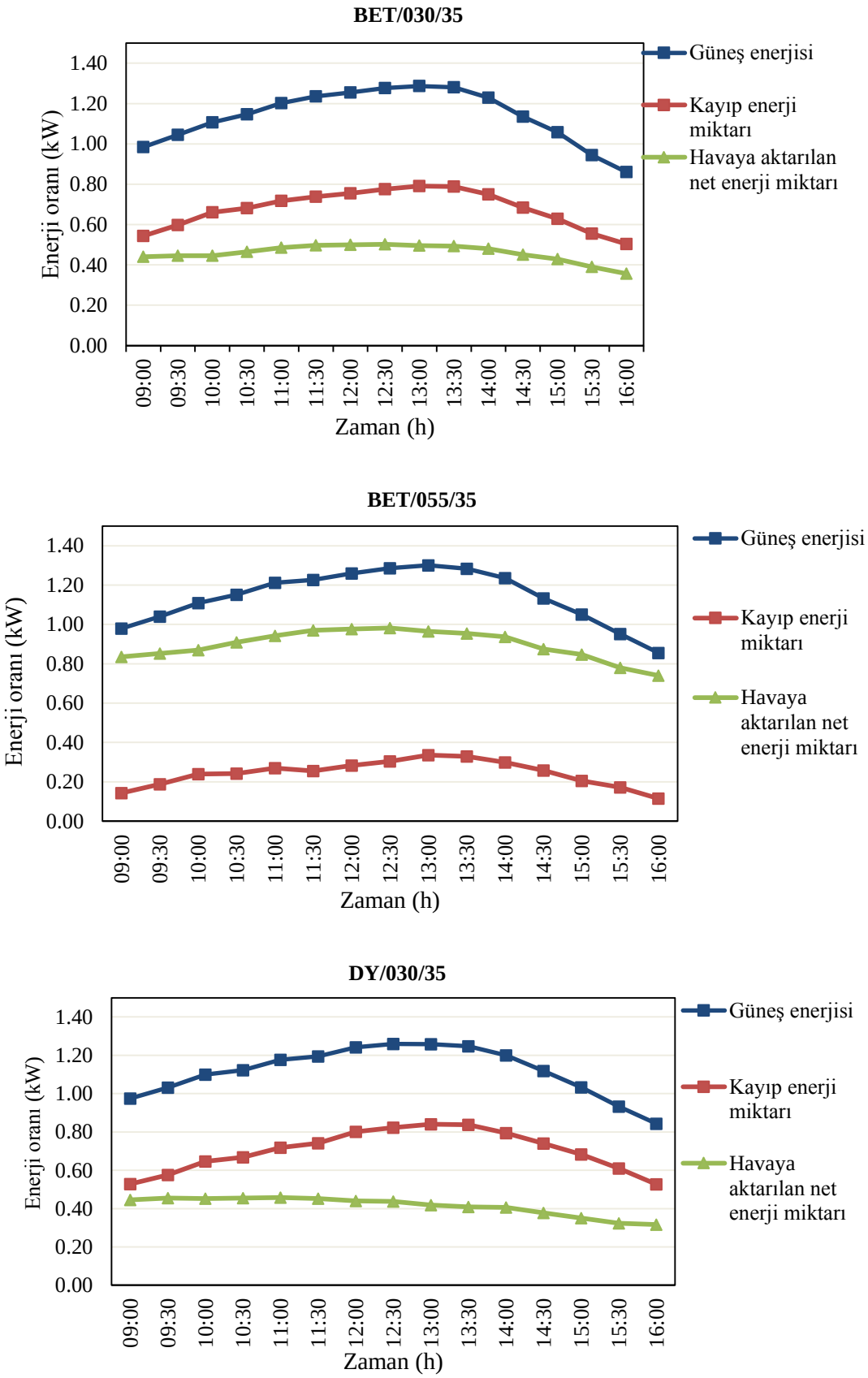


Şekil 4.16. η_{th} -zaman grafiği

Her bir kolektör tipi ve debisi için hesaplanan enerji miktarı değişimi şekil 4.17'de verilmiştir. Güneş enerjisinin kollektör içinde akan akışkana geçme miktarı incelendiğinde kütlesel debinin artmasıyla havaya geçen enerji miktarı artmıştır; bu durum kütlesel debinin önemli bir parametre olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte aynı kütlesel debide bakır elek teli emici yüzeyine sahip kollektörün diğer kollektör tiplerine göre havaya daha fazla enerji aktardığı görülmektedir.


BET/030/25
Enerji oranı (kW)
1.40
1.20
1.00
0.80
0.60
0.40
0.20
0.00
09:00
09:30
10:00
10:30
11:00
11:30
12:00
12:30
13:00
13:30
14:00
14:30
15:00
15:30
16:00
Zaman (h)
Güneş enerjisi
Kayıp enerji miktarı
Havaya aktarılan net enerji miktarı

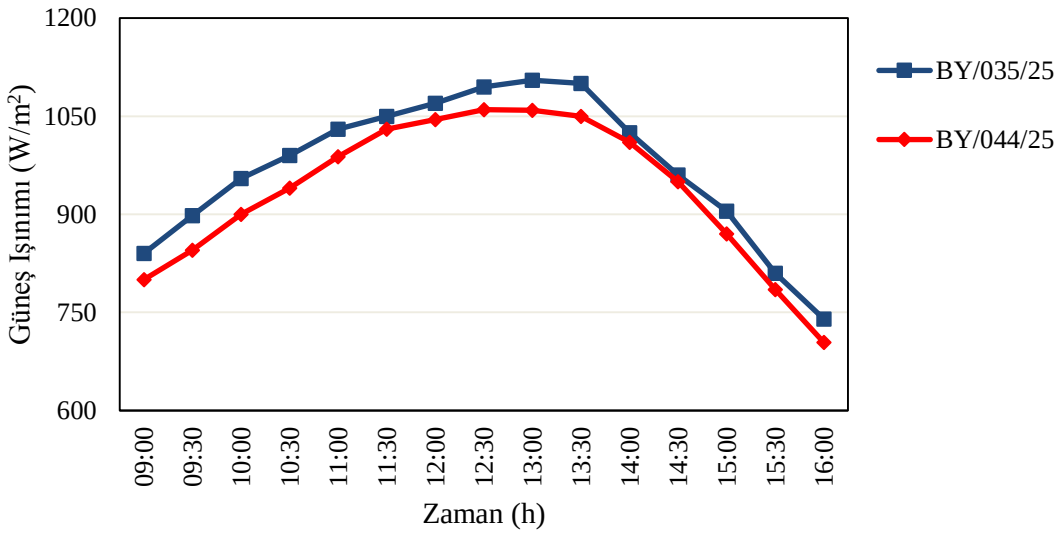

BET/055/25
Enerji oranı (kW)
1.40
1.20
1.00
0.80
0.60
0.40
0.20
0.00
09:00
09:30
10:00
10:30
11:00
11:30
12:00
12:30
13:00
13:30
14:00
14:30
15:00
15:30
16:00
Zaman (h)
Güneş enerjisi
Kayıp enerji miktarı
Havaya aktarılan net enerji miktarı



Şekil 4.17. Enerji değişimi-zaman grafiği

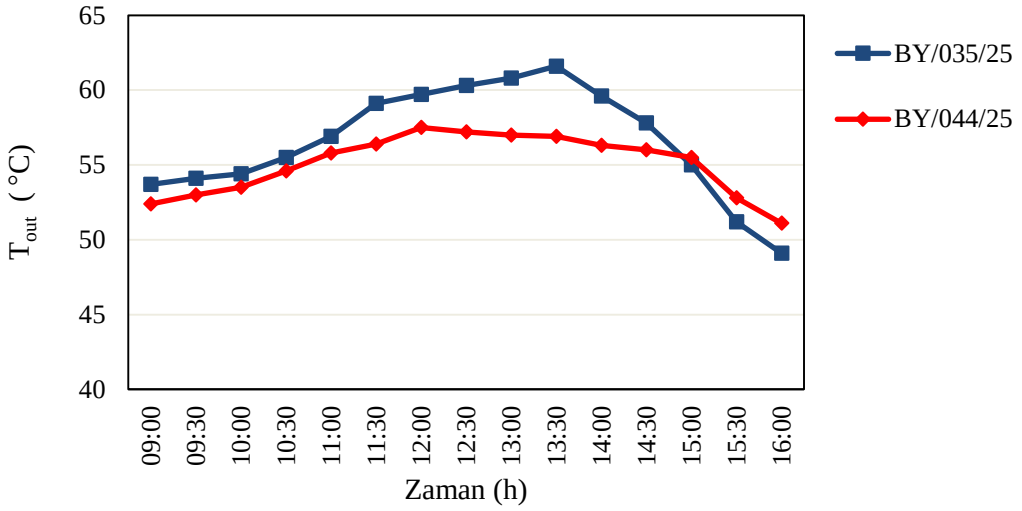
4.1.3. Bakır Yünü ile Yapılan Deneyler

Bu deneyde havalı güneş kollektörünün emici yüzeyine bakır yüne serilerek yüzeyin poroz hale getirilmesi amaçlanmıştır. Bu şekilde emici plakanın daha fazla ısı absorbe etmesi ve akışın ısıl sınır tabakasının bozulması hedeflenmiştir. Deneyler 0.035 ve 0.044 kg/s kütlesel debide 08-09.06.2017 tarihleri arasında tekrarlanmıştır. Anlık güneş ışınımı deneysel çalışmaların yapıldığı günlerde her yarım saatte bir kaydedilmiştir. Işınım şiddetinin öğlene doğru arttığı ve öğleden sonra azalma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. DY/035/25 için ışınım miktarı en yüksek ölçülmüştür. Özellikle saat 11:00 ila 14:00 arasında diğer günlere göre fark artmıştır. Diğer tip için ışınım miktarları birbirlerine yakın tespit edilmiştir. Işınım miktarının 1105W/m^2 değerine kadar çıktığı şekil 4.18 de görülmektedir.



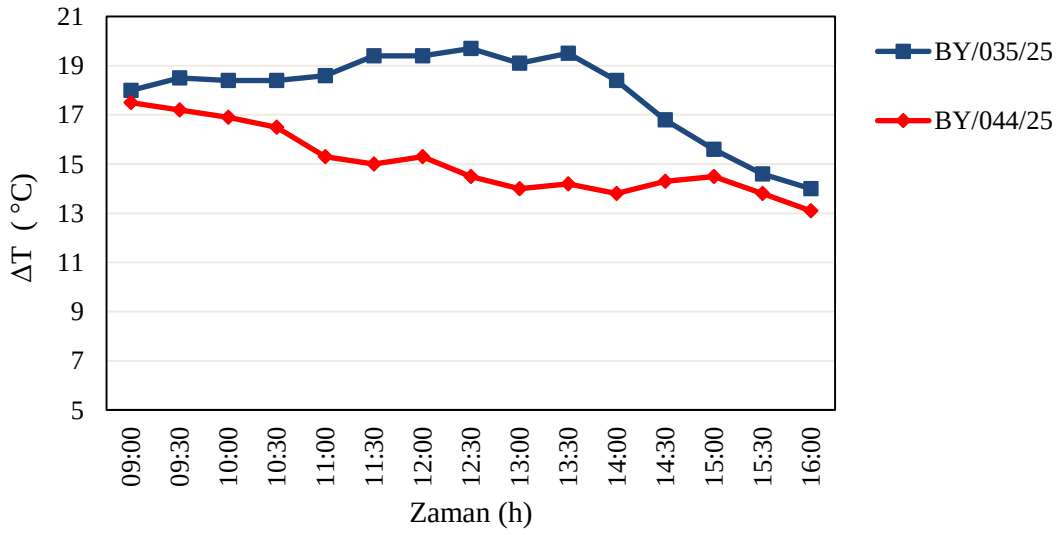
Şekil 4.18. Işınım miktarı-Zaman grafiği

Kolektör sıcaklıkları çevre sıcaklığı ve kolektör verimlerine bağlı olarak değişir. Kolektör çıkış sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi Şekil 4.19'da görülmektedir. Kütlesel debinin artması, T_{out} değerini arttırmıştır. Saat 11:30 ila 12:30 arasında T_{out} en yüksek değere ulaşmıştır.



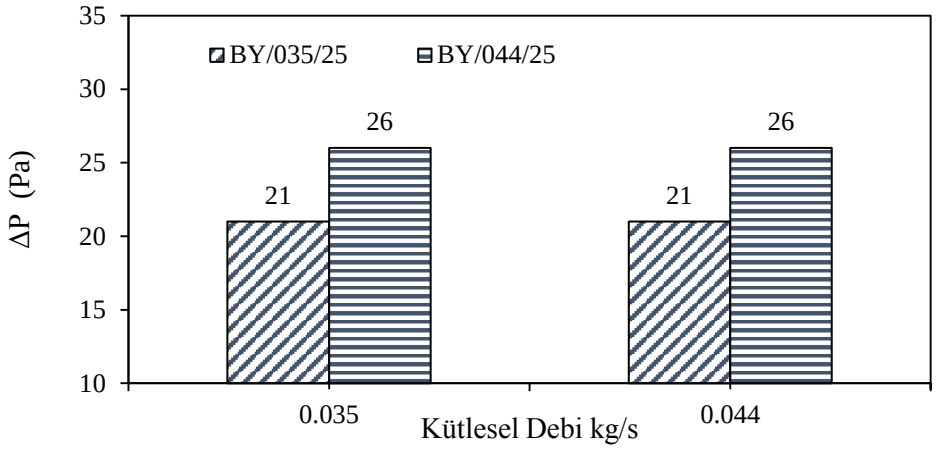
Şekil 4.19. T_{out} –zaman grafiği

Kolektör giriş ve çıkış sıcaklıklarının zamanla değişimini gösteren şekil 4.20 de saat 13:30'dan sonra güneş ışınım şiddetiyle orantılı olarak azaldığı görülmektedir. Isıl verim için sıcaklık farkının büyük olması istenen bir durumdur.



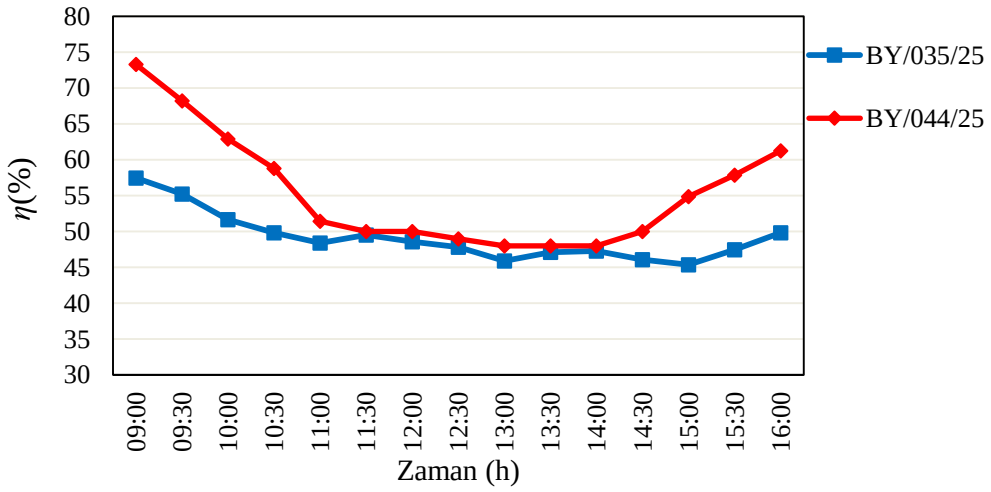
Şekil 4.20. ΔT-Zaman Grafiği

Kolektör tipleri için, giriş ve çıkış hava kanalı arasındaki basınç farkı Şekil 4.21'de görülmektedir. Pürüzlü yüzeyli tiplerde basınç kaybı, düz yüzeyli kolektöre göre ortalama % 31- 37 arasında arttığı görülmektedir. Ayrıca yüksek kütlesel debi değerinde de basınç kaybının arttığı görülmektedir.



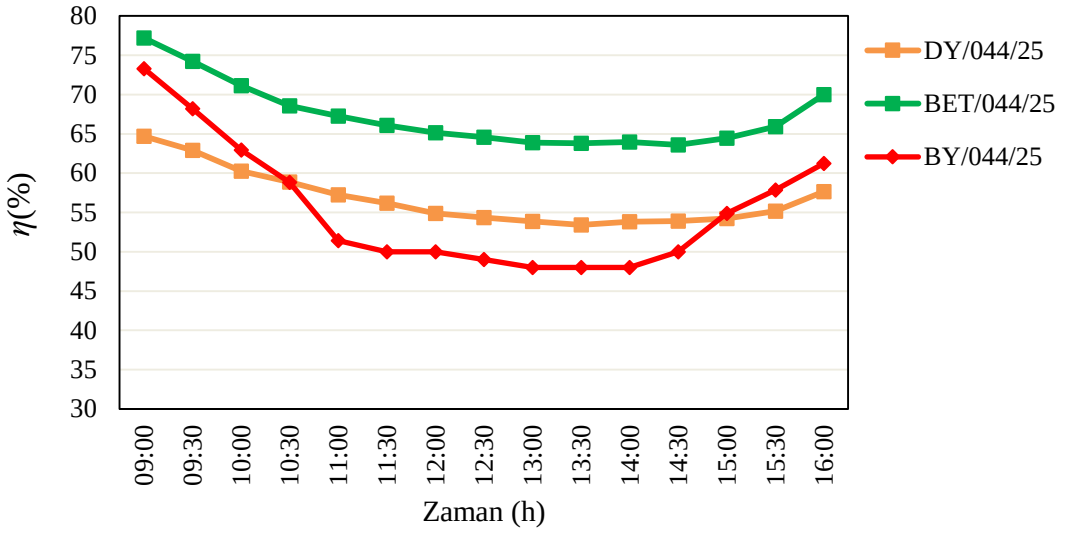
Şekil 4.21. Basınç farkı-kütlesel debi ile değişim grafiği

Hesaplanan η değerinin zamanla değişimi Şekil 4.22'de görülmektedir. Bakır yünlü emici plakaya sahip kolektörde kütlesel debinin artmasıyla ısıl verimlerin arttığı görülmüştür. 0.044 kg/s kütlesel debi değeri bakır yünü için ısıl verim %47 ila %73, bakır teli için ısıl verim %64-%77 arasında değişmektedir. Kütlesel debi değerinin artması ısıl verimin artmasını sağlanmıştır. Yüksek debili kollektörün verimi düşük debili kolektörün ısıl verimine göre, ortalama %10 daha iyidir. Literatürde benzer çalışmaların sonuçları incelendiğinde, Nowzari (2014), saat 13:00 de, 0.032 kg/s debili kolektörün verimini 54% civarında, 0.037 kg/s debili kolektörün verimini %56 civarında bulmuşlardır. Esen (2008), çalışmasında kütlesel debi artışı ile ısıl verimliliğin arttığını belirtmiştir. 0.015 ila 0.025 kg/s arasındaki debiler için ısıl verimleri yaklaşık olarak %28 ila %65 arasında tespit etmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarıyla literatürün uyumlu olduğu görülmektedir.



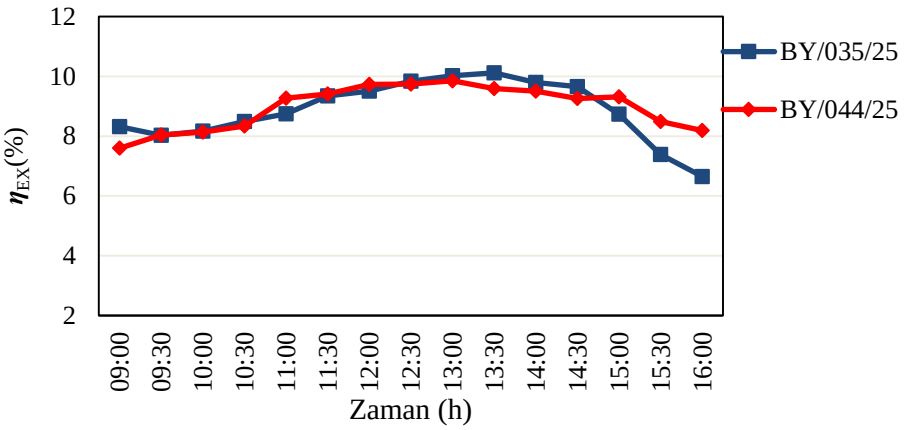
Şekil 4.22. Verim-zaman grafiği

Düz yüzey, bakır elek teli ve bakır yüne emici yüzeye sahip kollektörlerin verim grafiği şekil 4.23'de görülmektedir. Bakır elek teline sahip olan kollektörün verimi aynı kütlesel debide düze yüzey ve bakır yünü örtülü kollektöre göre daha fazla olduğu görülmektedir. Genel olarak eğilimler bir birine benzemektedir. Düzgün eğilimi bozan noktaların güneş ışınım şiddeti değeri veya sıcaklık farkından kaynaklandığı söylenebilir.



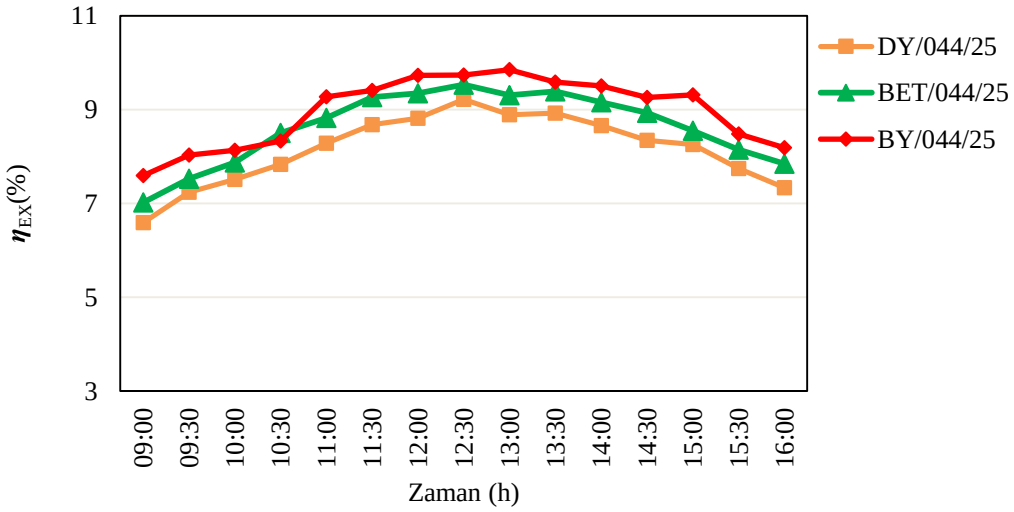
Şekil 4.23. Verim-zaman grafiği

Her bir kolektör tipi ve debisi için hesaplanan ekserji verimleri Şekil 4.24'de verilmiştir. DY/035/25 kolektörün 0.044 kg/s debi için değerler %6.59 ile %9.22 arasında, DY/035/251 için 0.044 kg/s debi için %7.60 ile %9.85 arasında bulunmuştur. Ekserji verimi %10.12 iken, ekserji yıkım miktarı yani tersinmezlik değeri en yüksek değer olan 598 W olmuştur. Ekserji verim değerleri literatürdeki çalışmalarla uyumludur.



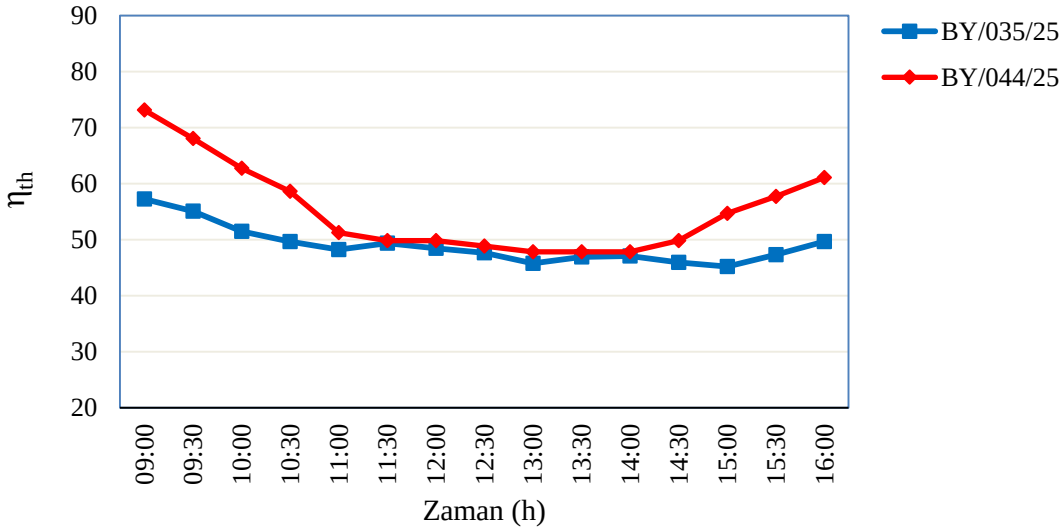
Şekil 4.24. Ekserji verimi-Zaman Grafiği

Düz yüzey, bakır elek teli ve bakır yüne emici yüzeye sahip kollektörlerin ekserji verim grafiği şekil 4.25'de görülmektedir. Bakır yününe sahip olan kollektörün ekserji verimi aynı kütlesel debide düze yüzey ve bakır elek teli örtülü kollektöre göre daha fazla olduğu görülmektedir.



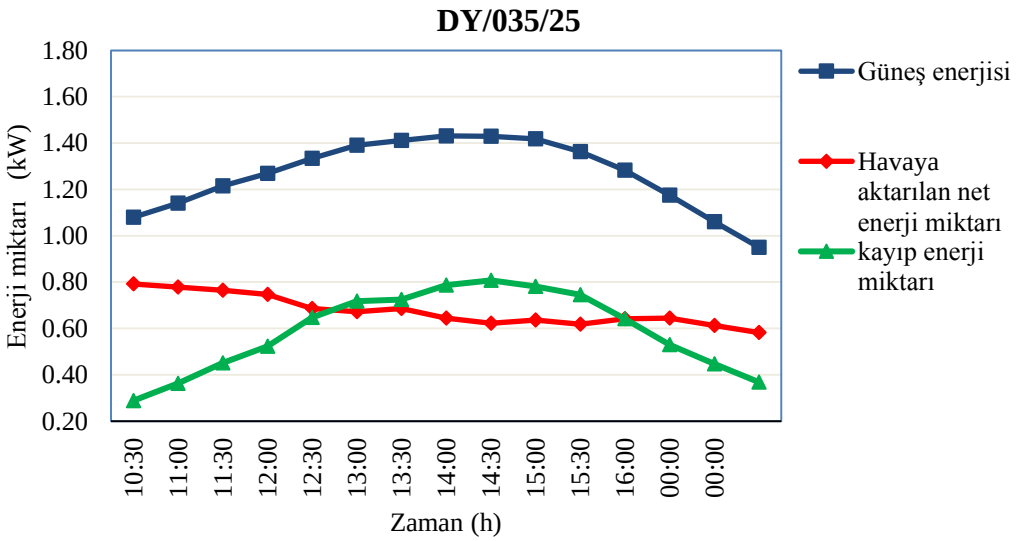
Şekil 4.25. Ekserji verimi-Zaman Grafiği

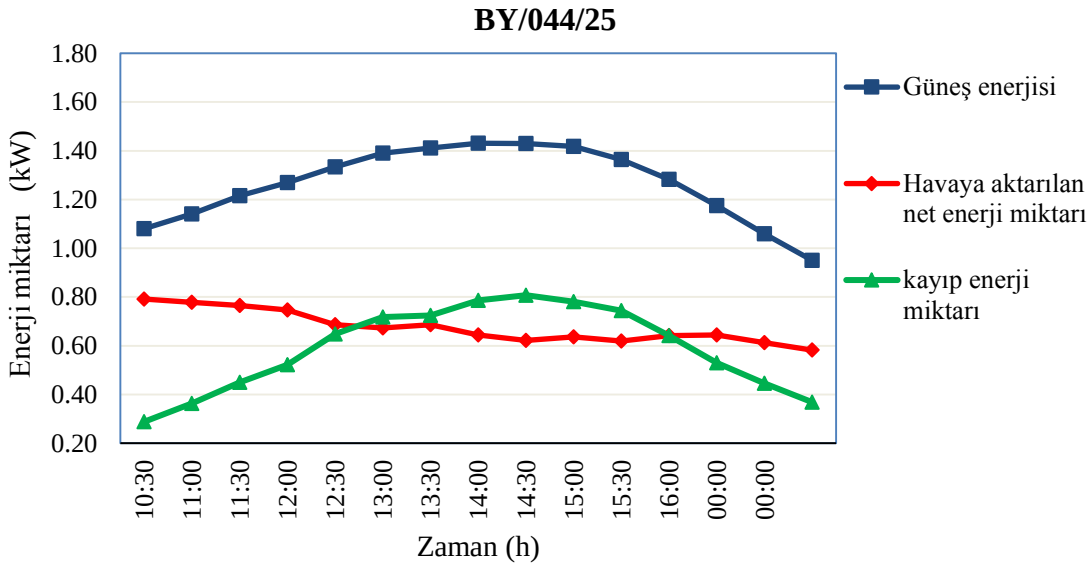
Her bir kolektör tipi ve debisi için hesaplanan hidrolik termal verimleri şekil 4.25 de verilmiştir. DY/035/25 kolektör için % 40 ile % 48 arasında, DY/035/25 kollektör için %34 ile %59 arasında bulunmuştur. BY/044/25 kolektörün termal hidrolik verimleri BY/035/25'e göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.26. η_{th} -zaman grafiği

Her bir kolektör tipi ve debisi için hesaplanan enerji miktarı değişimi Şekil 4.25 de verilmiştir. Güneş enerjisinin kollektör içinde akan akışkana geçme miktarı incelendiğinde BY/044/25 ve BY/035/25 kollektörlerinde havaya geçen enerji miktarı bir birine çok yakın olduğu görülmektedir.





Şekil 4.27. Enerji –zaman grafiği

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada; düz yüzey, yeni tasarlanan bakır yünü ve elek teli kullanılarak oluşturulan emici yüzeye sahip tip havalı güneş kolektörünün (HGK) verimi deneysel olarak incelenmiştir.

Yapılan ilk çalışmada kollektör yüzeyine herhangi bir malzemeden serilmeden düz yüzeyde kollektör performansı araştırılmıştır. İkinci çalışmada yeni tasarlanan poroz yutucu plakalı havalı güneş kolektörünün ısıl performansı araştırılmıştır. Yutucu plaka üzerine bakır elek teli serilerek yüzey poroz hale getirilmiştir. Bu şekilde yutucu plakanın daha fazla ısı absorbe etmesi ve akışın ısıl sınır tabakasının bozulması hedeflenmiştir. Deneyler 0.035 ve 0.044 kg/s kütlesel debide tekrarlanmıştır. Bazı önemli bulgular şöyledir:

a- İki farklı tipteki kolektörlerin farklı kütlesel debide ısıl verimleri %42-%77 arasındadır.

b-Düzey yüzeyli kollektörlerde 0.035 kg/s kütlesel debi değeri için ısıl verim % 42 ila %50 arasında; 0.044 kg/s kütlesel debi değeri için ısıl verim %53 ila %68 arasında değişmektedir. Bakır elek teli serilen kollektörde ise 0.035 kg/s kütlesel debi değeri için ısıl verim %48 ila %58 arasında; 0.044 kg/s kütlesel debi değeri için ısıl verim %64 ila %77 arasında değişmektedir.

c- Ekserji verimleri %6.26 - %9.54 arasındadır.

d- Isıl ve Ekserji verimleri kütlesel debi miktarına arttıkça artmıştır. Aynı verimler ısı absorbe eden yüzeyin artışına neden olan poroz yutucu plaka kullanılmasıyla artmıştır.

d-Poroz yüzeyli yutucu plakaya sahip kolektörlerin verimi düz yüzeye göre daha yüksektir.

Bakır elek telli yüzeyli yutucu plaka ve düz yüzeyli yutucu plakalı kolektörler iki farklı kütlesel debide ve iki farklı kollektör açışında mukayese edilmiştir. Bazı önemli bulgular şöyledir:

a- Bakır elek teli yüzeyli yutucu plakaya sahip kolektörlerin β:35° ve 0.055 kg/s kütlesel debide ısıl verimi diğer kolektör tiplerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir.
b- Aynı kütlesel debide kollektör eğim açısı olan β' nın artmasıyla verimin arttığı gözlemlenmiştir.
c- Kollektör açısının kollektör emici yüzeyine göre verimi daha çok etkilediği görülmektedir.
d- 0.055 kg/s kütlesel debi değeri için β:35° de ısıl verim %87, β:25° için %70 olarak bulunmuştur. Düz yüzeyli kollektörde ise β:35° verim değeri %38-%46 arasında bulunmuştur.

Yapılan üçüncü çalışmada havalı güneş kollektörün emici yüzeryine bakır yünü serilerek havalı güneş kolektörünün ısıl performansı araştırılmıştır. Bu sonuçlar emici yüzeye bakır telli kullanılarak oluşturulan kollektörle mukayese edilmiştir. Bazı önemli bulgular şöyledir;

a- Bakır yünlü emici plakaya sahip kolektörde kütlesel debinin artmasıyla ısıl verimlerin arttığı görülmüştür.
b- Bakır emici plaka ile bakır teli karşılaştırıldığında; bakır elek teline sahip olan kollektörün verimi aynı kütlesel debide bakır yünü örtülü kollektöre göre daha fazla olduğu görülmektedir.
c- 0.035 kg/s kütlesel debi değeri için ısıl verim %46 ila %57 arasında değişmektedir. 0.044 kg/s kütlesel debi değeri bakır yünü için ısıl verim %47 ila %73, bakır teli için ısıl verim %64-%77 arasında değişmektedir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar literatürle mukayese edilmiş olup çizelge 4.3'de gösterilmiştir. Çizelge incelendiğinde kütlesel debinin artmasıyla verimin arttığı görülmektedir. Benzer kütlesel debilerde bakır elek teli kullanılarak oluşturulan emici yüzeye sahip kollektörün yapılan diğer çalışmalara göre veriminin daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca bakır yünü serilerek oluşturulan emici yüzeye sahip kollektörün verimi literatürdeki benzer çalışmalara göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.3. Literatür ile mukayese

Yazar	Emici yüzey	Kütlesel Debi (kg/s)	Verim (%)
Bu çalışma	Bakır elek telli yüzey	0.044	77
	Bakır elek telli yüzey (β:35)	0.055	87
	Bakır yünü örtülü yüzey	0.044	73
Kırbaş ve ark. (2006)	Siyah tabkalı düz yüzey	0.11	73
		0.13	76
		0.14	82
Benli (2013)	Kıvrımlı sac yüzey	0.05	55
	Ters kıvrımlı sac yüzey	0.05	46
	Trapez sac yüzey	0.05	42
	Ters trapez sac yüzey	0.05	28
Ho ve ark. (2015)	Siyah tabkalı düz yüzey	0.045	55
	Bakır telli yüzey	0.038	65
	Bakır telli yüzey	0.077	75
Mahmood ve ark. (2015)	Bakır telli yüzey (3 mm)	0.032	62
Gulcimen ve ark. (2016)	Galvanizli pürüzlü metal yüzey	0.012	42
		0.026	51
		0.033	63
Li ve ark. (2017)	Düz yüzey	0.04	35
	Çıkıntılı yüzey		38
	Sinüzoidal kıvrımlı yüzey		46
	Sinüzoidal çıkıntılı kıvrımlı		43
Demook (2017)	Delikli paslanmaz çelik	0.89	82
Kabeel ve ark. (2017)	Kanatçıklı düz emici yüzeyli ve parafin yalıtkan tabakalı	0.009	20
		0.028	50
		0.062	62
Zhu ve ark. (2017)	Mikro sıralı bakır telli yüzey	0.054	69

Havalı güneş kollektörlerinde emici yüzeyin poroz hale getirilmesi genel olarak kollektör verimi arttığı, kollektör açısının artmasıyla verimin olumlu yönde etkilendiği gözlemlenmiştir. Yüzeyin poroz hale gelmesi basınç kaybını attırmıştır. Bu çalışmada bakır elek teli serilerek oluşturulan emici yüzeyin diğer tiplere göre verime katkısı fazla olduğu görülmüştür. Bakır elek telli kollektörün 0.044 kg/s debi için maksimum ekserji verimi %9.olarak bulunmuş olup diğer kollektör tiplerine göre ekserji veriminin daha fazla olduğu görülmüştür. Emici yüzeyin poroz hale getirilmesinde bakır elek telinin kullanılması gelecekte yapılacak olan çalışmalarda olumlu katkıda bulunacağı düşülmektedir.

6. KAYNAKLAR

Akpinar, E. Koçyigit, F. 2010.Energy and exergy analysis of a new flat-plate solar air heater having different obstacles on absorber plates. ***Applied enerji***.87(11):3438–3450.

Ateş, M,D. Demir, H. Üresin, E. Tunç, Ş. Erdi, H. 2009. Dünya'da Ve Türkiye'de Güneş Enerjisi.Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi.İstanbul,19-20.

Bansal, N,K. Singh, D. 1985.Analysis of a cylindrical plate matrix solar air heater. ***Solar & Wind Technology***.2(2):95–100.

Bayrak, F.2011. İçerisinde Gözenekli Engeller Bulunan Hava Isıtmalı Güneş Kollektörünün Performans Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Benli, H. 2013. Experimentally derived efficiency and exergy analysis of a new solar air heater having different surface shapes. ***Renewable Energy***.50:58-67.

Bevill, V,D. Brandt, H.1968. A solar energy collector for heating air. ***Solar Energy.*** 12(1):19–29.

Bhargava, A,K. Jha, R. Garg, HP. 1990.Analysis of a solar air heater with thermosym- phon flow in one channel and forced flow in other channel. ***Energy Conversion and Management***.30(3):231–4.

Co,Ho. H,Chang, C, Lin. C,Chao. and Yi,Tien.2015.Analytical and experimental studies of wire mesh packed double-pass solar air heaters under recycling operation. ***Energy Procedia.***75:403 – 409.

Chau, K,V. Baird, C,D. Bagnall, LO.1980. Performance of a plastic suspended screen solar air heater. ***Journal of Agricultural Engineering Research.*** 25(3):231–238.

Choudhary, C. Andersen, S,L. Rekstad, J.1988. A solar air heater for low temperature application, ***Solar Energy.*** 40(1):335–343.

Choudhary, C. Garg, HP. 1991.Design analysis of corrugated and flat plate solar air heaters. ***Renewable Energy.*** 1(5/6):595–607.

Choudhary, C. Garg, HP.1991.Evaluation of a jet plate solar air heater.***Solar Energy***. 46(4):199–209.

Dağ, H. 2005. Güneş enerji sistemlerinde kullanılan dairesel borulu kollektörler ile oval borulu kollektörlerin deneysel incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

Damook,A.2017. Experimental Evaluation of an Unglazed Solar Air Collector for Building Space heating in Iraq. ***Renewable Energy***.112:498-509.

Daniels, F. Duffie, J,A.1959. Solar energy research. ***The Canadian Journal of Chemical Engineering***. 37 (2): 77–84.

Değirmencioğlu, C. İlken, Z. 2003. Havalı güneş kolektörleri üzerine bir literatür araştırması ve temel ilkeleri. TTMD. 23: 28-34.

Devecioğlu, A,G. Oruç, V. Kavak Akpınar, E. Tuncer, Z. The energy and exergy analyses of a newly designed solar air collector , Proceedings of the 9th Exergy, Energy and Environment Symposium, 14-17 May 2017, Split, Croatia, 876-881.

Devecioğlu, A.G., Oruç, V., Tuncer, Z., 2018. Energy and exergy analyses of a solar air heater with wire mesh-covered absorber plate, International Journal of Exergy. 26(1/2): 3-20.

Doğan, H. 2002. Uygulamalı Havalandırma ve İklimlendirme Tekniği. Seçkin Yayıncılık. Ankara

Duffie, J. A. Beckman, W. A. 1991. Solar engineering of thermal processes, John Wiley and Sons,New York.

El-khawajah, M,F. Aldabbagh, L,B,Y. Egelioglu, F.2011. The effect of using transverse fins on a double pass flow solar air heater using wire mesh as an absorber. ***Solar Energy.*** 85(7):1479–1487.

El-Sebaii, A,A. Aboul-Enein, S. Ramadan, MRI. Shalaby, SM. Moharram, BM. 2011.Thermal Performance investigation of double pass-finned plate solar air heater. ***Applied Energy.*** 88(5):1727–1739.

El-Sebaii, A, A. Aboul-Enein, S. Ramadan, MRI. Shalaby, SM. Moharram, BM. Investigation of thermal performance of-double pass-flat and V-corrugated plate solar air heaters. ***Energy.*** 36(2):1076–1086.

Esen, H.2008. Experimental energy and exergy analysis of a double-flow solar air heater having different obstacles on absorber plates. ***Building and Environment***. 43(6):1046–1054.

Flores-Irigollen, A. Fernandez, J,L. Rubio-Cerda, E. Poujol, FT.2004. Heat transfer dynamics in an inflatable-tunnel solar air heater. ***Renewable Energy.*** 29(8):1367–1382.

Gao, W. Lin, W. Lu, E.2000. Numerical study on natural convection inside the channel between the flat-plate cover and sine-wave absorber of a cross- corrugated solar air heater. ***Energy Conversion and Management***. 41(2):145–151.

Garg, HP. Sharma, VK.1985. Bhargava, A,K. Theory of multiple pass solar air heaters. ***Energy***. 10(5):589–599.

Garg, H,P. Datta, G. Bandyopadhyay, B.1983. A study on the effect of enhanced heat transfer area in solar air heaters. ***Energy Conversion and Management***. 23(1):43–49.

Garg, H,P. Datta, G. Bhargava, A,K.1989. Performance studies on a finned air heater. ***Energy***. 14(2):87–92.

Garg, H,P. Datta, G. Bhargawa, A,K. 1984. Some studies on the flow passage dimension for solar air heating collectors. ***Energy Conversion and Management***. 24(3)181–184.

Garg, H,P. Jha, R. Choudhur, C. Datta, G. 1991.Theoretical analysis on a new finned type solar air heater. ***Energy***. 16(10):1231–1238.

Goel, V,K. Chandra, R. Raychaudhari, B,C.1987. Experimental investigations on single absorber solar air heaters. ***Energy Conversion and Management***. 27(4):343–349.

Gulcimen,F. Karakaya, H. Durmus, A. 2016. Drying of sweet basil with solar air collectors. ***Renewable Energy***.93:77-86.

Hachemi, A.1997. Thermal heat performance enhancement by interaction between the radiation and convection in solar air heaters. ***Renewable Energy***. 12 (4):419–433.

having different surface shapes.***Renewable Energy***. 50:58-67.

Hernández, AL. Quiñonez, JE. 2013. Analytical models of thermal performance of solar air heaters of double-parallel flow and double-pass counter flow. ***Renewable Energy***. 55:380–391.

Güneş enerjisi ve güneş teknolojileri. http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/genj_tekno. aspx.12.06.2017.

Kabeel,A. Khalil,S. M,Shalaby,M,E. Zayed.2017. Improvement of thermal performance of the finned plate solar air heater by using latent heat thermal storage. ***Applied Thermal Engineering***,123:546–553.

Kalogirou, S. Eleftheriou, P. Lloyd, S. Ward, J. 1994, Desing and performance characteristics of a parabolic-trough solar collector system, ***Applied Energy***. 47(1): 341- 354

Kamil, M. Ghabeeb, A.1997. Effect of thermal radiation inside solar air heaters. ***Energy Conversion and Management.***38(14):1451–1458.

Karim, M. A,, Hawlader, M. N. A. 2006. Performance evaluation of a v-groove solar air collector for drying applications, ***Applied Thermal Engineering.*** 26:. 121-130.

Karwa, R. Karwa, N. Misra R. Agarwal, PC.2007. Effect of flow maldistribution on thermal performance of a solar air heater array with subcollectors in parallel. ***Energy***. 32(7):1260–1270.

Kelek, N.Ü.1996. Hava ısıtıcılı optimum güneş kollektörü dizaynı. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

Kenna, JP.1984. A parametric study of open loop solar heating systems. ***Solar Energy***. 32(6):687–705.

Khanna, ML.1967. Design data for solar heating of air using a heat exchange and storage system. ***Solar Energy.*** 11 (3):142–4.

Kılıç, A.Öztürk, A.1983Güneş enerjisi,***Kipaş Dağıtımcılık,*** İstanbul,30-35.

Kırbaş,İ.2006. Havalı Güneş Kollektörünün Performansınındeneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Klein, SA. Beckman, WA. Duffie, JA.1976. A design procedure for solar heating systems. ***Solar Energy***. 18(2):113–27.

Koçyiğit, F. 2008. Yutucu plaka üzerine farklı türde kanatçıkların yerleştirildiği bir havalı kollektörün enerji ve ekserji analizi. Yüksek Lisans Tezi Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ

Koyuncu, T. 2006. Performance of various design of solar air heaters for crop drying applications, ***Renewable energy***. 31: 1489-1501.

Kurtbaş, I. Durmuş, A. 2004.Efficiency and exergy analysis of a new solar air heater. ***Renewable Energy***. 29(9):593–602

Loveday, DL. 1988. Thermal performance of air heating solar collectors with thick, poorly conducting absorber plates. ***Solar Energy***. 4l(6):593–602.

Macedo, IC. Altemani, CAC.1978. Experimental evaluation of natural convection solar air heaters. ***Solar Energy***. 20(5):367–369.

Mahmood.A,J, Aldabbagh, L. Egelioglu, F. 2015. Investigation of single and double pass solar air heater with transverse fins and a package wire mesh layer.***Energy Conversion and Management***.89 :599–607.

Matrawy, K,K. 1998. Theoretical analysis for an air heater with a box type absorber. ***Solar Energy***,1998.

Mohamad, A,A. 1997. High efficiency solar air heater. ***Solar Energy***.60(2):71–76.

Mohammadi, K. Sabzpooshani, M.2013. Comprehensive performance evaluation and parametric studies of single pass solar air heater with fins and baffles attached over the absorber plate. ***Energy***. 57:741–750.

Nimr, M. Damesh, R.1998. Dynamic behavior of baffled solar air heaters. ***Renewable Energy***.13(2):153-163.

Oğulata, R.T.1997 Enerji tasarrufunda dikkat edilecek hususlar, TSE Dergisi, 9(2): 429-433.

Omojaro, AP. Aldabbagh, LBY.2010. Experimental performance of single and double pass solar air heater with fins and steel wire mesh as absorber. ***Applied Energy***. 87(12):3759–3765.

Özgen, F. 2007. Yutucu Plakası Silindirik Teneke Kutulardan Yapılmış Bir Havalı Güneş Kollektörünün Isıl Performansının Deneysel Olarak Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Özgen, F. Esen, M. Esen, H.2009. Experimental investigation of thermal performance of a double-flow solar air heater having aluminium cans. ***Renewable Energy***. 34(11):2391–2398.

Öztop, F. H, Bayrak, F. ve Hepbaşlı A. 2013. Energetic ned exergetic aspects of solar air collectors, ***Renewable and Sustainable Energy Rewiews,*** 21:59-83.

Öztürk, H. 2008. Isı depolama tekniği, Teknik yayınevi, Ankara.

Parker BF, Lindey MR, Colliver DG, Murphy WE. 1993. Thermal performance of three solar air heaters. ***Solar Energy***. 51(6):467–479.

Promvonge, P. Khanoknaiyakarn, C. Kwankaomeng, S. Thianpong, C.2011. Thermal behavior in solar air heater channel fitted with combined rib and delta- winglet. ***International Communications in Heat and Mass Transfer***. 38(6):749–756.

Raheleh Nowzari, R., Aldabbagh, L.B.Y., Egelioglu, F., Single and double pass solar air heaters with partially perforated cover and packed mesh, ***Energy***. 73 (2014) 694-702.

Ranjan, V. Dhiman, NK. Tiwari, GN. 1983. Performance of suspended flat plate air heater. ***Energy Conversion and Management***. 23(4):211–215.

S,Li.H, Wang.X,Meng.X, Wei.2017.Comparative study on the performance of a new solar air collector with different surface shapes. ***Applied Thermal Engineering***.114:639–644.

Sancar, İ. 2014. Adıyaman İklim Şartlarında Havalı Güneş Kollektörleri İle Mahal Isıtılmasının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.

Satcunanathan S, Deonarine S.1973 A two-pass solar air heater. ***Solar Energy***.15(1):41–49.

Saxena, A. Varun, El-Sebaii,A.2015. Renewable and Sustainable Energy Reviews.43: 863-890. Singh, D. Bansal, NK.1983. Analysis of a glass solar air heater. Energy Conversion and Management, ***Energy Conversion and Management***. 23(4):231–236.

Sorour, MM. Mottaleb, ZA.1984. Effects of design parameters on the performance of channel-type solar energy air heaters with corrugated plates . ***Applied Energy***. 17(3):181–190.

Sorour, MM. Mottaleb, ZA.1984. Performances of channel-type flat-plate solar energy air-heaters. ***Applied Energy***. 18(1):1–13.

Suri, RK. Saini, JS.1969. Performance prediction of single- and double-exposure solar-air heaters. ***Solar Energy***. 12(4):525–530.

T,Zhu.Y,Diao.Y,Zhao,C,Ma. Performance evaluation of a novel flat-plate solar air collector with

Teddy, TA. Gupta, CL.1980. Generating application design data for solar air heating systems. ***Solar Energy***. 25(1):527–530.

Tırıs, Ç. Tırıs, M. 1994.Düzlemsel Güneş Kolektörlerinin Verimini Artıran Parametreler. T.M.M.O. Tesisat Mühendisliği Dergisi, Ankara, 26: 35-40

Verma, R. Chandra, R. Garg, HP.1992. Technical note- Optimization of solar air heaters of different designs. ***Renewable Energy***. 2(4/5):521–531.

Whillier, A. 1964.Performance of black-painted solar air heaters of conventional design. ***Solar Energy***. 8 (1):31–7.

Yadav, AS. Bhagoria, JLA.2013. CFD (computational fluid dynamics) based heat transfer and fluid flow analysis of a solar air heater provided with circular transverse wire rib roughness on the absorber plate. ***Energy***. 55: 1127–1142.

Yeh, HM. Lin, TT.1996. The effect of collector aspect ratio on the collector efficiency of flat plate solar air heaters. ***Energy***. 20(10):1041–1047.

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı :Zafer TUNCER

Doğum Tarihi :30/08/1985

Doğum Yeri :Bismil

Lise :Fatih Lisesi (Diyarbakır)

Üniversite :Karadeniz Teknik Üniversitesi(Trabzon)

Çalıştığı Kurum :Karayolları 9. Bölge Müdürlüğü Diyarbakır

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI İNTİHAL RAPORU FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI VE SOYADI	Zafer TUNCER
ÖĞRENCİ NO	13818003
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2017-2018
YARIYIL	☐ Güz ☒ Bahar
ANABİLİM DALI	Makine Mühendisliği
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	YENİ GELİŞTİRİLEN HAVALI GÜNEŞ KOLEKTÖRÜNÜN ENERJİ VE EKSERJİ PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	83
BENZERLİK ORANI	%15
RAPORLAMA TARİHİ	09/07/ 2018

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 83 (seksen üç) sayfalık kısmına ilişkin, 09/07/2018 tarihinde ~~şahsım~~/tez danışmanım tarafından *Turitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 15 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

☒ Kabul/Onay sayfaları hariç,
☐ Kaynakça hariç
☐ Alıntılar hariç/dâhil
☐ Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Zafer TUNCER

09/07/2018

Dr. Öğr. Üyesi Atilla G. DEVECİOĞLU
Tez Danışmanı

09/07/2018

Doç.Dr. Vedat ORUÇ
Anabilim Dalı Başkanı