



**T.C.
KÜTAHYA DÜMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ
SİMAV TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ**

**GÜNEŞ ENERJİLİ HAVA KOLEKTÖRLERİNDE TEK CAM VE ÇİFT
CAM KULLANIMININ TERMAL PERFORMANSA ETKİSİ**

BERKAY GÖKÇELİ

**BİTİRME PROJESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ MESUT YAZICI**

KÜTAHYA, 2025



T.C.
KÜTAHYA DÜMLUPINARÜNİVERSİTESİ
SİMAV TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ

**GÜNEŞ ENERJİLİ HAVA KOLEKTÖRLERİNDE TEK CAM VE ÇİFT
CAM KULLANIMININ TERMAL PERFORMANSA ETKİSİ**

Berkay GÖKÇELİ tarafından hazırlanan proje çalışması .././....tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Lisans **BİTİRME PROJESİ** olarak edilmiştir.

Proje Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Mesut YAZICI
Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Semra DURMUŞ ACER
Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Murat KOYUNBAKAN
Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mesut YAZICI
Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

ÖNSÖZ

Günümüzde artan enerji ihtiyacı ve fosil yakıtların çevresel etkileri, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini ortaya koyar. Güneş, rüzgar, su gibi doğal kaynaklar çevre dostu olması yanı sıra sürdürülebilirdir. Bu kaynakların etkin kullanımı, insanın enerjiye olan bakış açısını değiştirmesiyle mümkündür. Tüketim odaklı yaşam tarzı yerine doğayla uyumlu, bilinçli ve sorumlu bir tutum benimsenmelidir. Böyle bir dönüşüm sadece teknolojik değil toplumsal değişimi de beraberinde getirir.

SAYFA

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGE VE KISALTMALAR.....	iv
ÖZET	v
1. GİRİŞ.....	1
1.1 PROJENİN AMAÇ VE KAPSAMI.....	1
1.2 PROJE KONUSUNUN ANLAM VE ÖNEMİ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
2.1 KANATÇIKLI YAPILAR	2
2.2 TRAPEZ GEOMETRİ.....	3
2.3 HAREKETLİ YAPI	4
2.4 KURUTMA SİSTEMLERİ	6
3. GÜNEŞ ENERJİSİ.....	10
3.1 TANIM.....	10
3.2 GÜNEŞ IŞIĞI	11
3.3 IŞINIM TÜRLERİ.....	11
3.4 TARİHÇE.....	12
3.5 KULLANIM ALANLARI.....	12
3.6 GÜNEŞ ENERJİLİ HAVA KOLEKTÖRLERİ	15
4. TASARIM	16
4.1 MALZEME SEÇİMİ	16
4.2 BOYUTLANDIRMA VE İMALAT	22
5. DENEYSEL PROSEDÜR.....	27
5.1 DENEY KURULUM.....	27
5.2 ÖLÇÜM EKİPMANLARI	27
5.3 ENERJİ ANALİZİ.....	29

6. BULGULAR VE TARTIŞMA	30
6.1 TEK CAMLI VE ÇİFT CAMLI KOLEKTÖR SONUÇLARI ..	30
6.2 SICAKLIK VE BAĞIL NEM KARŞILAŞTIRMA	31
7.ENERJİ ANALİZİ SONUÇLARI	35
7.1 TERMAL PERFORMANS İNCELENMESİ.....	35
7.2 YORUMLAMA VE KIYASLAMA.....	36
8.SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	39
KAYNAKLAR.....	40

SİMGE VE KISALTMALAR

$\dot{Q}$	=	ısı kazancı (W)
$\dot{m}$	=	havanın kütleli debisi (kg/s)
c_p	=	havanın özgül ısı (J/kg·K)
ΔT	=	kolektör giriş ve çıkışındaki hava sıcaklığı farkı (K)
η	=	termal verim
A_c	=	hava giriş kesit alanı
A	=	emici plaka yüzey alanı (m ²)
ρ	=	yoğunluk (kg/m ³)
G	=	güneş ışıınımı (W/m ²)
V	=	akışkan hızı (m/s)
$\emptyset$	=	çap

GÜNEŞ ENERJİLİ HAVA KOLEKTÖRLERİNDE TEK CAM VE ÇİFT CAM KULLANIMININ TERMAL PERFORMANSA ETKİSİ

Berkay GÖKÇELİ

Makine Mühendisliği Bölümü

Bitirme Projesi

Proje Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Mesut YAZICI

Fosil yakıtlar enerji kaynağı olarak çok uzun zamandır kullanılıyor olsa da ancak çevreye verdiği zararları göz ardı etmek artık mümkün değildir. Öyle ki karbon salınımı, hava kirliliği ve tükenir olması gibi sebepler insanlığı yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmektedir. Güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde erişilebilirlik, kullanım kolaylığı ve yüksek enerji üretim açısından en çok ulaşılabilir ve potansiyele sahip olan enerji kaynağıdır. Güneş enerjili hava kolektörleri ise doğrudan güneş ışığını kullanarak ısı enerjisi üreten sistemler olarak, enerji verimliliği ve çevre dostu bir çözüm sunar.

Bu çalışmada iki adet pilot ölçekte güneş enerjili hava kolektörü tasarlanmış olup biri tek camlı diğeri çift camlı olmak üzere imalatı yapılmıştır. İki sistem arasındaki termal performans farkını belirlemek üzere kolektörlerin içerisinden sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler 9:45-17:00 saatleri aralığında on beşer dakikalık ölçüm aralığı olacak şekilde manuel gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarla enerji analizi yapılarak çift camlı kolektörün tek camlı kolektörden daha fazla bağıl neme sahip olduğu, güneş ışıınımı azalırken kolektörün iç sıcaklık ile dış sıcaklık farkının artmasının veya sabit kalmasının verimde artışa sebep olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Güneş enerjili hava kolektörü, Güneş kolektör camları, Hava ısıtılmalı sistemler, Yenilenebilir enerji

1. Giriş

Günümüzde enerjiye olan talep hızla artarken fosil yakıtların çevreye vermiş olduğu zarar ve sınırlı rezervi, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi kaçınılmaz kılmaktadır. Güneş enerjisi bu noktada sürdürülebilir ve temiz bir kaynak olarak ortaya çıkar. Türkiye, dünya üzerindeki konumu açısından çok önemli bir yere sahiptir. Sıcak iklimi ve elverişli şartları, güneş ışınlarını etkin bir şekilde değerlendirme potansiyeli sunar. Güneş enerjisinin hava kirliliğini önlemek, karbon salınımını azaltmak gibi çok önemli çevresel faydaları vardır. Ekonomik açıdan ise dışa bağımlılığı azaltarak enerji ithalatında harcanan maliyeti düşürür; aynı zamanda yeni iş alanları oluşturarak istihdamı sağlar. Teknolojik olarak ülkemizin enerji altyapısının modernleşmesini destekleyerek yerli üretim ve ar-ge faaliyetlerini arttırır. Tüm bu etkenler bir araya geldiğinde güneş enerjisinin kullanımı, bugünün ihtiyaçlarını karşılamak ve gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakmak adına birer öncüdür.

Güneş ışınlarının bir malzeme üzerine yansıtılarak sıcaklığını arttırmaya yönelik çalışmalar geçmişten günümüze kadar uzanmaktadır. Hava ısıtmalı güneş kolektörü, güneş ışınlarının bir emici plaka üzerine yansıtılması ve ışınlama gelen bu ısıyı taşınım yoluyla kullanmamıza yarar. Bu enerji, olumsuz hava şartlarının olmadığı güneşli günlerde verimli olur çünkü ışınlar doğrudan emici plakaya ulaşır. Güneşli günlerde sıcak havaya ihtiyaç duyulan bazı alanlar; mahsül kurutma, mahal ısıtma, iklimlendirme-havalandırma, havadaki nemi dengeleme gibi faydalı amaçlar ile çeşitlendirilebilir.

Bu çalışmada, güneş enerjili hava kolektörlerinin tasarımı, imalatı ve deneysel testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında biri tek cam diğeri çift cam olmak üzere iki farklı kolektör prototipi hazırlanmıştır. Amaç, cam katmanı sayısının kolektörlerin termal performansı üzerindeki etkisini incelemektir. Her iki kolektörün giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülerek, ısı kazancı ve verim değerleri karşılaştırılmış böylece cam sayısının enerji dönüşümüne olan katkısı ortaya konmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 – Kanatçıklı yapı

Kumar ve Rosen (2011) “Kanatçıklı çift geçişli PV/T güneş enerjili hava ısıtıcının performans değerlendirmesi” adlı çalışmasında çift geçişli sistemde emici yüzeyin altına kanatçıklar yerleştirip, emici yüzeyden havaya gerçekleşen ısı transfer alanını arttırarak termal, elektriksel ve toplam eşdeğer termal verimlerin iyileştiğini gözlemlemiştir.

Peng ve diğerleri yapmış olduğu çalışmada ısı verimi artırmak amacıyla pin-fin (çivili-kanatçıklı) emici yüzeye sahip yeni bir güneş hava kolektörü tasarlamıştır. Deneysel sonuçlara göre, 25 farklı pin-fin dizilimli kolektörün ortalama ısı verimi 0.50–0.74 arasında değişmekte olup, bu değerler cam örtünün güneş geçirgenliği olan 0.83 ile karşılaştırılmıştır. Bu 25 farklı pin-fin düzeni için maksimum ısı verimi (η_{max}) tahmin eden bir bağıntı denklemi geliştirilmiştir. Bu denklemde:

$$\frac{s}{d} = \text{boyutsuz pin-fin aralığı}$$

$$\frac{h}{d} = \text{boyutsuz pin-fin yüksekliği}$$

Şekil 1 Bağıntı denklemi

kullanılmıştır.

Kuramsal hesaplamalarla, düz plakalı kolektör dahil 26 farklı kolektör için ısı verimi temsil eden matematiksel modeller elde edilmiştir. Bu modeller, güneş ışımasını ve hava giriş koşullarının verim üzerindeki etkisini göstermektedir. Ayrıca PZ7-11.25 pin-fin dizilimli kolektörde, hava debisi değişiminin performansa etkisi analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda ısı transfer katsayısı için bağıntı denklem geliştirilmiş, Hava akış hızı ile verim arasındaki ilişki belirlenmiştir.(2010)

Khanlar ve diğerleri “Atık malzemelerden yapılan küçük ölçekli alüminyum yün dolgulu güneş destekli hava ısıtıcısının deneysel incelemesi” isimli çalışmasında birinin içine alüminyum yün koymak üzere iki farklı hava ısıtıcı kullanmışlardır. Şekil 2’de gösterilen içinde alüminyum yün bulunan hava ısıtıcının termal performansı diğerine göre arttığı gözlemlenmiştir ve ek olarak yüzey arttırılarak, kanatçık ekleyerek bu sistemi iyileştirmenin mümkün olduğunu göstermiştir. (2021)



Şekil 2: Isıtıcının içine konumlandırılmış alüminyum yün

2.2 – Trapez geometri

Abuşka ve Akgül “Trapez Yutucu Plakalı Güneş Enerjili Hava Kollektörünün Isıl Veriminin Deneysel Olarak İncelenmesi” adlı çalışmasında trapez ve düz tip yutucu plakalı güneş enerjili hava kolektörlerin ısı verimini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerde dış sıcaklık, ışıınım ve yutucu plaka üzerinden ikişer noktalardan sıcaklık ölçümü yapmışlardır. Deney sonucu trapez yutucu plakalı kolektörün ortalama ısı verimi %28.5 iken düz yutucu plakalı kolektörün ısı verimi ise %23.1 olarak elde edilmiştir. (2014)

Özkaya ve diğerleri ise yapmış oldukları “Havalı Güneş Kollektörünün Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi” isimli çalışmasında üç farklı hava debisinde, farklı gün ve sıcaklık koşullarında deneyleri yürütmüşlerdir. Kollektör giriş-çıkış sıcaklıkları, yutucu plakanın ve çevrenin sıcaklığı, güneş ışıınım değerleri ölçülmüş ve kolektöre ait sıcaklık-zaman, verim-zaman grafikleri oluşturulmuştur. Deney sonuçlarına göre yüksek hava hızlarında kolektör veriminin arttığını gözlemlemişlerdir. (2007)

Bulut ve Durmaz (2006) bu çalışmada, tasarım ve imalatında ekonomiklik, kolektör malzemelerinin kolay temin edilmesi, imalat imkanları ve ısı özellikler gibi temel parametreler göz önüne alınmış bir havalı güneş kolektörü yapılmış ve performansı Şanlıurfa iklim şartlarında deneysel olarak analiz edilmiştir. Deney sırasında kolektör giriş ve çıkışındaki havanın bağıl nemi ve sıcaklığı, bir sıcaklık-nem ölçerle, hava hızı bir hız ölçer ile, kolektör yüzeyine gelen güneş ışıınım şiddeti bir pironometre ile, emici yüzey tabaka sıcaklığı bir temassız sıcaklık ölçer ile ölçülmüştür. Havalı güneş kolektörünün anlık ve ortalama ısı verimi hesaplanmıştır. Havalı güneş kolektörün ortalama ısı verimi %53 olarak bulunmuştur. Kollektöre giriş ve çıkış havası arasındaki

ortalama sıcaklık farkı 20 oC olarak tespit edilmiştir. Özellikle açık günlerde hava kollektörünün havanın sıcaklığını önemli ölçüde arttırdığı gözlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda havalı güneş kolektörlerinin, binaların ısıtılmasında kullanılabileceği görülmüş ve bu amaç için güneş enerjili bir dış hava karışımli ısıtma sistemi önerilmiştir.

Abuşka ve diğerleri (2017) bu çalışmada ısı verimin yükseltilmesine yönelik olarak yeni bir yutucu plaka geometrisi tasarlanmış ve imal etmiştir. Konik yayların çapraz sıralı olarak monte edildiği yutucu plakalı ve karşılaştırma amaçlı düz yutucu plakalı kolektörlerden ibaret test düzeneği kurulmuştur. Çapraz sıralı konik yaylarla yüzey alanının, akışkan ile yutucu plaka etkileşiminin ve türbülans etkisinin artırılarak termal verimin yükseltilmesi amaçlanmıştır. Sistemin performansı deneysel olarak test edilmiştir. Deneylerde havanın kollektöre giriş ve çıkış sıcaklıkları, global radyasyon, kollektörden havanın çıkış hızı, yutucu plaka sıcaklıkları, kollektör kasası dış yüzey sıcaklığı ve saydam örtü sıcaklıkları ölçülmüştür. Yapılan ölçümlere dayalı olarak ısı verimi hesaplanmıştır. Elde edilen deneysel verilerle sistemin Bulanık Mantık modeli oluşturulmuş ve üç farklı üyelik fonksiyonuna (Üçgen- Gaussian- Trapez) göre giriş parametrelerine dayalı olarak havanın kollektörden çıkış sıcaklığı ve ısı verim modellenmiştir. Sonuç olarak bulanık mantık ile üçgen üyelik fonksiyonuna göre yapılan modellemenin sıcaklık için %96, termal verim için ise %94-95 oranında deneysel verilerle uyumlu olduğu sonucu elde edilmiştir.



Şekil 3: Çalışmaya ait deney düzeneği

2.3 – Hareketli yapı

Kırbaş ve diğerleri (2011) hava ısıtmalı güneş kollektörlerinde güneş enerjisinin etkin kullanımını sağlamak için güneş kollektörü güneş takip mekanizması yardımıyla hareketli hale getirmişlerdir. Bu mekanizma sayesinde güneş toplayıcısının güneş

ışınlarını daha fazla soğurabilmesi sağlanmıştır. Çalışmada biri sabit biri hareketli olmak üzere iki adet kolektörün çıkış sıcaklıkları arasındaki fark belirlenmek üzere 2010 yılı Ağustos ayında 3 gün süre ile ölçümler yapılmıştır. Sonuç olarak ise günün 12:00 ila 14:30 saatleri arasında çok fazla bir fark gözlenmemiştir. Sabah ve öğleden sonra ise hareketli tipteki kolektörün çıkış sıcaklığı sabit olan kolektöre göre ortalama 5-12 °C daha fazla olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4: Deney düzeneği

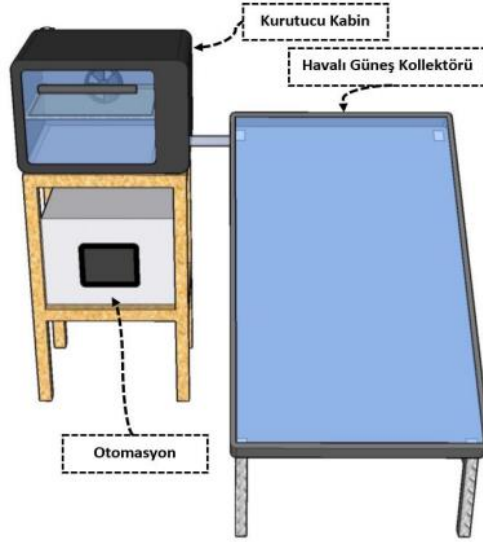
Abuşka ve diğerleri bu çalışmada, güneş enerjili hava kolektörünün (GEHK) ısı veriminin artırılmasına yönelik olarak yutucu plaka üzerine konik engeller yerleştirmiştir. İmal edilen konik yüzey geometrili yutucu plakalı kolektörün ısı performansı deneysel olarak test edilmiştir. Karşılaştırma için düz yutucu plakalı kolektör kullanılmıştır. Yapılan deneylerde kolektörlerin eğimi 86° olarak ayarlanmıştır. Deneyler kolektör debisi 0.06 kg/s olarak ayarlanmıştır. Deneyler Manisa'da ve Mayıs ayında yapılmıştır. Deneylerde havanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklığı, global radyasyon, kolektörden havanın çıkış hızı, yutucu plaka sıcaklığı, kolektör kasası dış yüzey sıcaklığı ve saydam örtü sıcaklığı ölçülmüştür. Yapılan ölçümlere dayalı olarak ısı verimi hesaplanmıştır. Elde edilen deneysel verilerle sistemin yapay sinir ağları (YSA) modülü oluşturularak ısı verim farklı giriş parametreleri için belirlenmiştir. Konik yüzey geometrili ve düz yutucu plakalı kolektörün ortalama ısı verim değerleri sırasıyla %62 ve %30 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca YSA modelinin, konik yüzey geometrili GEHK'nün ısı verimini başarıyla tahmin ettiği belirlenmiştir.



Şekil 5: Deney düzeneği

2.4 – Kurutma sistemleri

Memur (2022) bu çalışmada, armut kurutma uygulamalarının yapıldığı kurutma sistemlerinin karşılaştırılması amacıyla Antalya ilinde kurutma denemeleri yapmıştır. Geleneksel kurutma sistemi ve tasarımı yapılan güneş enerjili kurutma sistemlerinde armut dilimleri numuneleri eş zamanlı şekilde kurutulmuştur. Tasarımı yapılan sistemin etkinliği ve kurutma kalitesi üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Çalışma kapsamında tasarımı yapılan yenilenebilir enerji kaynaklı gıda kurutucu sisteminde armut ürünü kurutulmuştur. Kurutma denemeleri sonucunda armut numunelerinin %83,3 nem içeriğinden %19-20 nem içeriklerine düşürülmüştür.



Şekil 6: Deney düzeneği

Öztürk ve Öztürk (2022) bu çalışmada, kayısıları kabin tipi kurutucularda kurutmuştur. Üç farklı kurutma kabini kullanılmış ve ürünlerin kuruma süreci karşılaştırılmıştır. Kuruyan ürünler belli aralıklarla tartılmış, kuruma hızı kontrol edilmiştir. Kabin içindeki hava sıcaklığı ve bağıl nem değerleri de ölçülmüştür. En verimli sonucun güneş hava kolektörü destekli sistemde alındığı görülmüştür. Bu sistemle kuruma süresi kısalmış, nem uzaklaştırma hızı artmıştır.



Şekil 7: Deney düzeneği

Akpınar ve Daş (2023) bu çalışmada gıda kurutma kalitesini ve performansını arttırmak için havalı güneş kolektör (HGK) destekli sera tipi bir kurutucu tasarlamıştır. Deneyler, açık güneşli ortam şartlarında, Mayıs 2023 tarihinde, Elazığ ili iklim şartlarında gerçekleştirilmiştir. Kurutma deneyleri sonrası kurutulacak ürünün ısı ve kütle transferi

analizleri yapılmıştır. Deneylerde nem içeriği, nem oranı, konvektif ısı transfer katsayısı parametreleri hesaplanmıştır. Deneyler süresince, sera ve HGK giriş ve çıkış sıcaklıkları, güneş ışınlamı ve ürün ağırlık değerleri 15 dakikalık periyotlarla ölçülmüştür. HGK desteği ile sera kurutucunun ürün kurutma süresi %24 oranında azalmıştır. Böylelikle daha hızlı bir kurutma süreci elde edilmiştir. Ayrıca kurutma işlemlerinde önemli bir parametre olan konvektif ısı transfer katsayısı hesaplanmış ve bu parametre için makine öğrenmesi (MÖ) algoritmaları ile tahminsel modeller elde edilmiştir. Bu çalışmanın amacı, sera tipi gıda kurutucuların performansını arttırmak için havalı güneş kollektörü kullanmak ve konvektif ısı transferi için MÖ algoritmaları kullanılarak faydalı modellerin üretilmesidir. Kısaca hem yapay zekâ hem de deneysel uygulamaların yapılacağı termodinamik bir sistem elde edilmiştir. Makine öğrenmesi algoritmaları olarak yapay sinir ağı (YSA) ve karar ağacı (KA) algoritmaları seçilmiştir. MÖ algoritmaları ile elde edilen model sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçları ile YSA sonuçları arasındaki hata %1 iken, KA sonuçları arasındaki hata %7'dir.



Şekil 8: HGK destekli sera kurutma sistemi

Yazıcı ve Daş (2017) bu çalışmada güneş enerjisi destekli bir kurutma sistemi tasarlayarak elma kurutmuştur. Kurutma deney verilerinden kuru baz nem içeriği (MCd), ayrılabilir nem oranı (MR), kurutma hızı (DR) ve konvektif ısı transfer katsayısı (hc) değerleri hesaplanmıştır. Açık havada güneş altında kurutma ile güneş enerjisi destekli kurutma sisteminde yapılan elma kurutma işleminin kurutma performansları karşılaştırılmıştır. Sistem ile kurutulan elmanın normal şartlarda güneş altında kurutmaya göre daha avantajlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Kurutma deneylerinde

güneş enerjisi destekli kurutma sisteminde elmanın hc değerleri 15.5 – 13.5 (W/m² °C) arasında hesaplanmıştır. Güneş enerjisi destekli kurutma sisteminde yapılan deney çalışmalarından elde edilen hc değerleri için yapay sinir ağı (YSA) kullanılarak tahminsel bir model oluşturulmuştur. Uygulanan YSA ile tahminsel hc değerleri gösterilmiştir. Elde edilen tahminsel modelin geçerliliğini belirlemek için, ortalama kareli hata (MSE), kök ortalama karesel hata (RMSE) ve bağıl mutlak hata (RAE) analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak hc değerleri için tahminsel bir model elde edilmiştir ve güneş enerjisi destekli kurutma sistemi daha verimli bir kurutma gerçekleştirmiştir.

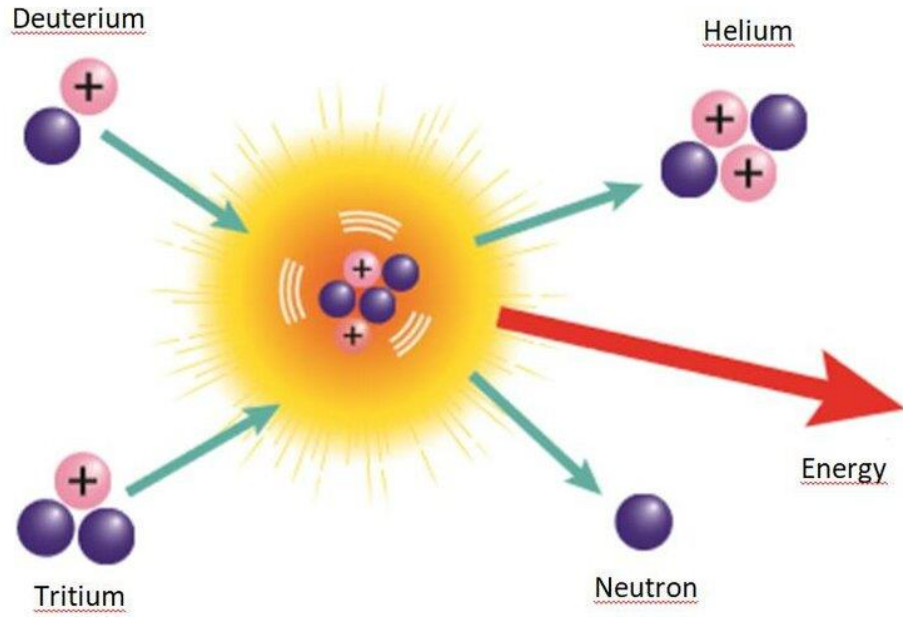
Uzbekov ve diğerleri bu makalede, metal talaşlardan oluşan bir emici yüzey kullanan bir güneş hava kolektörünün geliştirilmesi ve araştırılmasına odaklanmıştır. Çalışmada kolektörün tasarımı, çalışma prensibi ve doğal koşullarda yapılan deneylerin sonuçları açıklanmıştır. Metal talaş kullanımı sayesinde kolektör veriminde %13'lük bir artış sağlanmıştır. Bu yapı, güvenilir hava ısıtması da sağlamaktadır. Deneyler, farklı güneş ışımasını koşullarında da kolektörün etkin şekilde çalıştığını göstermiştir.

Karim ve Hawlader bu makalede, kurutma uygulamaları için V-oluklu (V-groove) güneş hava kolektörünün performansına dair deneysel çalışma sonuçlarını sunmaktadır. Deneysel veriler, V-oluklu kolektörün, düz plakalı kolektöre kıyasla daha yüksek ısı verimliliği sağladığını göstermektedir. Çalışma parametrelerinin ısı performansına etkileri incelenmiştir. Hava debisi arttıkça çıkıştaki hava sıcaklığı azalmakta, bu da çevreye olan ısı kaybını azaltarak verimliliği artırmaktadır. Ancak belirli bir debi değerinden sonra bu iyileşme sınırlı hale gelmektedir. Kurutma işlemleri için 0.035 kg/m²·s hava debisi, hem verimlilik hem de çıkış sıcaklığı açısından uygun görülmektedir.

3. GÜNEŞ ENERJİSİ

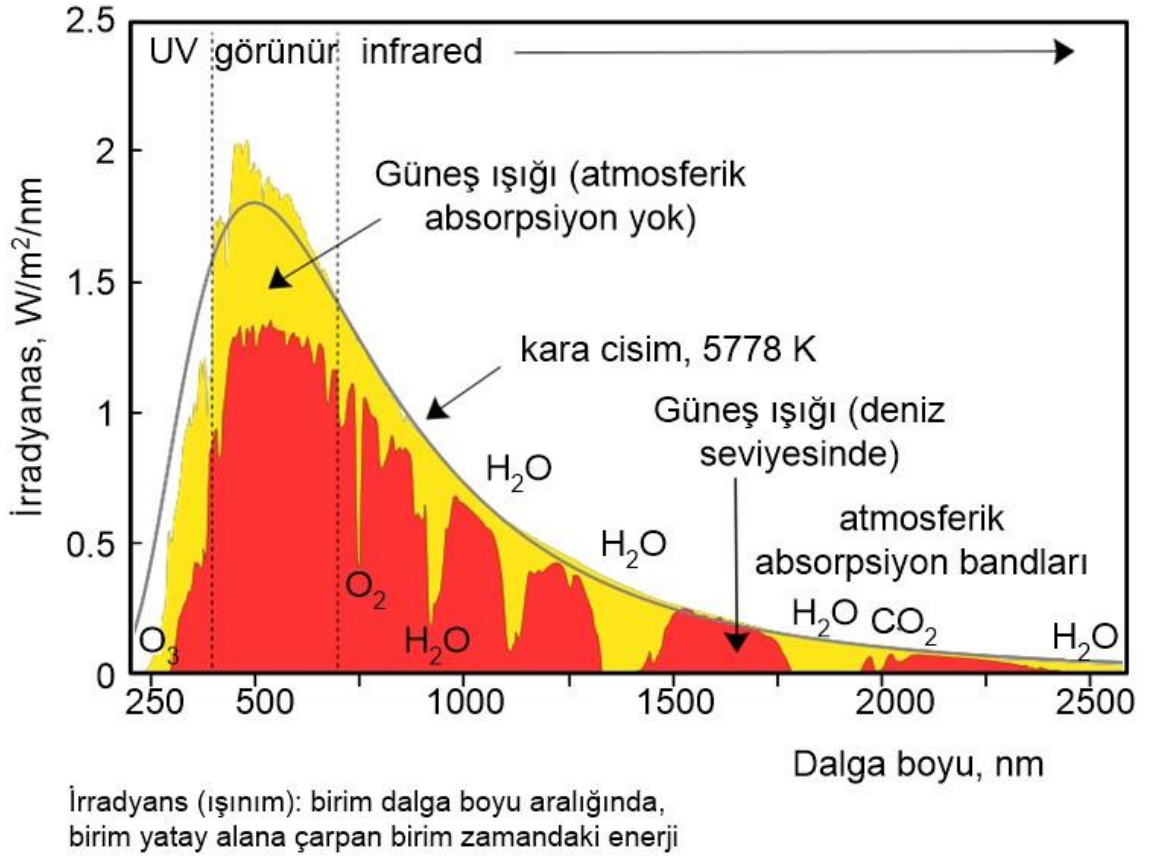
3.1 - Güneş enerjisi

Güneş enerjisi, güneş'in merkezinde meydana gelen nükleer füzyon reaksiyonları sonucu oluşur. Bu süreçte hidrojen atomları birleşerek helyum atomlarına dönüşür ve büyük miktarda enerji açığa çıkar. Açığa çıkan bu enerji, foton adı verilen ışık parçacıkları halinde uzaya yayılır ve dünyaya ulaşması yaklaşık 8 dakika 20 saniye sürer. Bu enerji dünyaya ulaştığında ısı ve ışık olarak hissedilir ve çeşitli şekillerde kullanılabilir hale gelir.



Şekil 9 Nükleer füzyon

Güneş'ten yayılan elektromanyetik ışıınımdan elde edilen enerji türüne denir. Bu ışıınımlar boşlukta veya maddesel ortamlarda yayılım gösterebilir. Elektromanyetik ışıınımlar hem dalga hem de parçacık özellikleri gösterir. Radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi, görünür ışık, morötesi, x-ışınları ve gama ışınları olarak sınıflandırılır. Elektromanyetik ışıınımlar (radyasyon), enerji taşıyan dalgalardan oluşur ve farklı frekans aralığında farklı teknolojik uygulamalarda kullanılır. Güneş ışıınımları 380-780nm dalga boyunda olup görünür spektrumda yer almaktadır.



Şekil 10 Güneş ışığı

3.2 - Güneş Işığı

Güneşten çıkan ışınlar uzay boşluğunda doğrudan ilerler ve elektromanyetik dalgalarla dünyaya taşınır. Dünyaya taşınan bu elektromanyetik radyasyona güneş ışığı denir. Güneş ışığı yaklaşık %43 oranında görünür ışık, %49 oranında kızılötesi ışıma ve %8 oranında ultraviyole ışıma içerir. Güneş ışığı atmosferden yeryüzüne gelene kadar gaz, toz, buhar ve bulut gibi ışığı soğuran veya saçabilen maddelerle karşılaşır. Bu ışıma enerjisi üç bileşene ayrılır:

1 – Doğrudan ışıma (Beam radiation)

Güneşten yeryüzüne difüzyon olmadan, doğrusal hat boyunca gelen enerjiye denir.

2 – Dağılmış ışıma (Diffuse radiation)

Güneşten yeryüzüne ulaşırken bulut, gaz, toz gibi parçacıklarla karşılaşması sonucu yön değiştiren, doğrultusu olmadığı için gökyüzünün her yönünden yeryüzüne gelen ışıma türüne denir.

3 – Yansıyan ışı nım (Reflected radiation)

Atmosferden yeryüzüne ulaşan ışı nımın çevredeki yüzeyler aracılığıyla yansım asına denir. Metalik veya açık renkli yüzeylerde yansım a oranı oldukça yüksektir.

3.4 - Tarihçesi

Antik dönemlerdeki uygarlıklar, barınma alanlarını güneşe göre konumlandırarak pasif güneş enerjisinden yararlanmışlardır. Arşimet güneş ışığını yoğunlaştırarak kullanmayı, güneş ışı nımını ayna ile yansı tma yaparak düş man gemilerini yakmayı başardıktan sonra keş fetmiştir. 1839 yılında Fransız fizikçi Alexandre-Edmond Becquerel icat ettiğ i güneş hücresiyle fotovoltaik etkiyi keş fetmiştir. Selenyum kullanılarak ilk güneş hücresi 1883 yılında Charles Fritts tarafından yapılmış ve %1 gibi çok düşük bir elektrik verimi elde edilmiştir. Geliş en teknoloji beraberinde yeni hücre yapılarını getirmiş ve verimlilik arttırılmış tır.

3.5 - KULLANIM ALANLARI

Fotovoltaik paneller

Güneş enerjisi yenilenebilir, sürdürülebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağ ı olduğ u için kullanım alanı oldukça geniştir. Doğrudan güneş ten gelen ışı nım, ihtiyaç duyulan uygulama alanlarına göre elektrik, ısı, ış ık ve kimyasal enerjiye dönüştürülebilir. Bu dönü şüm süreçlerinde elde edilen verim olumsuz hava koş ulları, atmosfer kirliliğ i, havadaki nem oranı, kullanılan teknoloji, panel malzemesi, panel yerleş im ve panel kirliliğ i, sıcaklık artışı gibi parametreler doğ rultusunda düş er. Bir diğ er etken, enerji dönü şümünde kullanılan sistem elemanlarının kalitesine bağı lı olmakla birlikte kayıplar göz önünde bulundurulmalıdır. Kullanılan PV hücrelerin güneşe maruz kaldığ ı ilk saatlerinde ış ık kaynaklı bozulma (Light Induced Degradation) veya yüksek voltaj farklarının oluş ması (Potential Induced Degradation), zamanla mikro çatlakların oluş ması gibi durumlar da verim kaybına sebep olur.

Güneş panellerini verimli kullanmak için güneş ış ınlarının yeryüzüne dik açıyla geldiğ i 10:00-16:00 saat aralığ ı önemlidir. Güneş ış ınlarının atmosferde kat ettiğ i yol kıs alı r; enerji kayb ı az olur. Dik açıyla gelen güneş ışı nımı atmosferde daha az soğ urulma ve saç ılma yaş ar. Güneş in tepede olduğ u 12:00-13:00 saat aralığ ı bu yüzden verimin en yüksek olduğ u aralıktır.

Güneş enerjisini etkin kullanmanın bir diğer yolu panelin açısını doğru ayarlamaktır. Panelin yerle olan eğim açısının yerel enleme yakın olmasıdır. Türkiye'nin enlemleri 36°-42° olduğu için 30–40° eğim idealdir.



Şekil 11 Bir fabrika çatısına sıralı şekilde yerleştirilmiş güneş panelleri

Güneş enerjisinin kullanım alanları gün geçtikçe artmaktadır ve teknolojiyle entegre haldedir;

1 – Elektrik üretimi

Güneş panelleri, içerisinde yarı iletken silikonlardan oluşan hücrelerdir. Her hücre, iki farklı silisyum katmanından oluşur. Güneşten gelen foton hücreye çarptığında silisyum atomlarındaki elektronları uyarır. Fotonlar sayesinde bazı elektronlar silisyum atomlarından kopar ve katmanlar arasındaki elektrik alandan dolayı yönlendirilerek doğru akım oluştururlar. Bu doğru akım bir invertör aracılığıyla alternatif akıma dönüştürülerek şebekeye bağlı sistemlerde kullanılır.

Evlerde, iş yerlerinde, fabrika veya tesislerin çatılarında, kırsal bölgeler gibi elektrik altyapısının olmadığı yerlerde kullanılır.

2 – Isıtma sistemleri

Güneş enerjisi, ısıtma sistemlerinde çevre dostu, ekonomik ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak önemli bir yer tutar. Bu sistemlerde güneş ışığını doğrudan ısı

enerjisine dönüştüren güneş kolektörleri kullanılır. Güneş kolektörleri aracılığıyla elde edilen ısı enerjisi, bina içi ısıtma ve yüzme havuzu suyu ısıtma gibi çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

3 – Tarım ve hayvancılık

Güneş enerjili pompalarla tarım arazilerinde sulama, sera ısıtma ve havalandırma, çiftliklerde aydınlatma ve elektrik ihtiyacı güneşten karşılanır.

4 – Ulaşım

Güneş enerjili arabalar, otobüsler, tekneler veya drone gibi araçlarla, trafik lambaları, sinyalizasyon, radar, yol kenarı tabelalarda kullanılabilir.

5 – Konutlar

Çatı tipi güneş sistemleriyle elektrik üretimi, güneşle çalışan konut aydınlatma, bahçe lambaları veya akıllı ev sistemlerinde kullanılarak enerji tasarrufu sağlanabilir.

6 – Uzay ve uydu teknolojileri

Yapay uydular, uzay istasyonları ve uzay araçları güneş panelleriyle çalışır. Uzayda güneş enerjisi en temiz ve kesintisiz güç kaynağıdır.

7 – Su arıtma sistemleri

Güneş enerjisiyle çalışan sistemlerle temiz içme suyu üretilir. Kurak ve kıyı bölgelerde deniz suyunun tuzdan arındırılması sağlanabilir.

8 – Portatif sistemler

Güneş enerjisi ile çalışan taşınabilir cihazlar, elektrik altyapısının bulunmadığı kırsal veya doğa alanlarında enerjiye erişim açısından pratik ve sürdürülebilir çözümler sunmaktadır. Güneş panelleriyle entegre edilmiş powerbank (taşınabilir şarj cihazı), kamp lambası ve radyo gibi cihazlar, gündüz saatlerinde güneş ışığını depolayarak, gece saatlerinde veya acil durumlarda kullanıcıya elektrik sağlama kapasitesine sahiptir. Bu tür sistemler, özellikle kampçılık, dağcılık, afet bölgeleri ve şebekeden bağımsız yaşam senaryolarında enerji ihtiyacının karşılanması açısından düşük maliyetli ve çevre dostu alternatifler oluşturmaktadır.

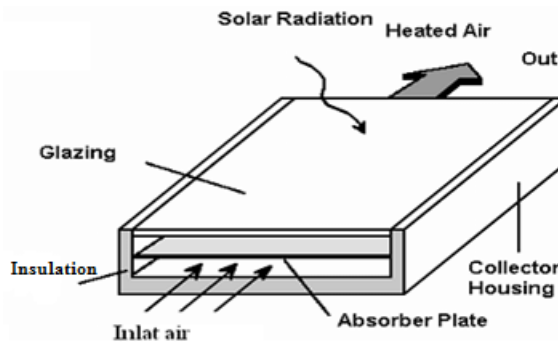
Güneş enerjili sistemleri verimli kullanmak için güneş ışınlarının yeryüzüne dik açıyla geldiği 10:00-16:00 saat aralığı önemlidir. Güneş ışınlarının atmosferde kat ettiği yol kısaldır; enerji kaybı az olur. Dik açıyla gelen güneş ışınımı atmosferde daha az soğurulma ve saçılma yaşar. Güneşin tepede olduğu 12:00-13:00 saat aralığı bu yüzden verimin en yüksek olduğu aralıktır.

Güneş enerjisini etkin kullanmanın bir diğer yolu panelin açısını doğru ayarlamaktır. Panelin yerle olan eğim açısının yerel enleme yakın olmasıdır. Türkiye'nin enlemleri 36°-42° olduğu için 30-40° eğim idealdir.

3.7 - GÜNEŞ ENERJİLİ HAVA KOLEKTÖRÜ

Güneş ışınımını kullanarak havayı ısıtan cihazlardır. Özellikle binaların, seraların, kurutma tesislerinin veya endüstriyel alanların ısıtılmasında kullanılır.

Güneş ışınları saydam yüzeyden içeri girerek emici plakaya ulaşır. Plaka güneş ışığını emerek ısınır. Plaka ile temas eden iç hava ısınır ve yükselir. Isınan hava odaya veya kurutma odasına aktarılır. Soğuyan hava aşağı inerek sistemde hava sirkülasyonu oluşturur. Bu süreç doğal konveksiyon veya fan yardımıyla zorlanmış taşınım şeklinde gerçekleşebilir.



Şekil 12 Çalışma prensibi

Güneş enerjili hava kolektör sisteminde kullanılan başlıca elemanlar şunlardır;

a) Saydam kaplama (cam/polikarbonat)

Sera etkisiyle güneş ışınlarının içeri girmesine izin verir ama dışarı çıkmasını sınırlar.

b) Emici yüzey (absorber)

Güneş ışığını emerek ısıya çevirir. Siyah boyalı alüminyum, bakır veya çelik plakalardır.

c) Yalıtım katmanı

Isı kayıplarını azaltmak için kolektörün içine yerleştirilen yün veya folyo malzemelerdir.

d) Fan veya doğal akış sistemi

Isınan havanın taşınması için kullanılan, fanla desteklenebilen bölümdür.

Güneş enerjili hava kolektörü kullanım alanlarına göre boyutlandırmada, emici plaka, muhafaza malzemesi, yalıtım malzemesi ve fan seçiminde farklılık gösterebilir.

Hava kolektörlü sistemlerin avantajları

- 1- Düşük işletme maliyeti
- 2- Basit ve dayanıklı yapısı
- 3- Çevre dostu olup karbon salınımı yapmaması
- 4- Yakıt maliyetinin olmaması

Hava kolektörlü sistemlerin dezavantajları

- 1- Güneş ışınımına bağımlı olması, geceleri çalışmıyor olması
- 2- Olumsuz hava şartlarında gerçekleşen verim düşüşü
- 3- Sistem için büyük alanlara ihtiyaç duyulması

4. TASARIM

Deney, birbiriyle aynı hava ısıtılmalı güneş kolektörlerinin farklı cam kullanılmasından dolayı oluşacak sıcaklık farklarını ele almaktadır. Birinci kolektörde çift cam, ikinci kolektörde tek cam kullanılıp fan yardımıyla zorlanmış dış taşınım uygulanacaktır.

4.1 - Malzeme seçimi

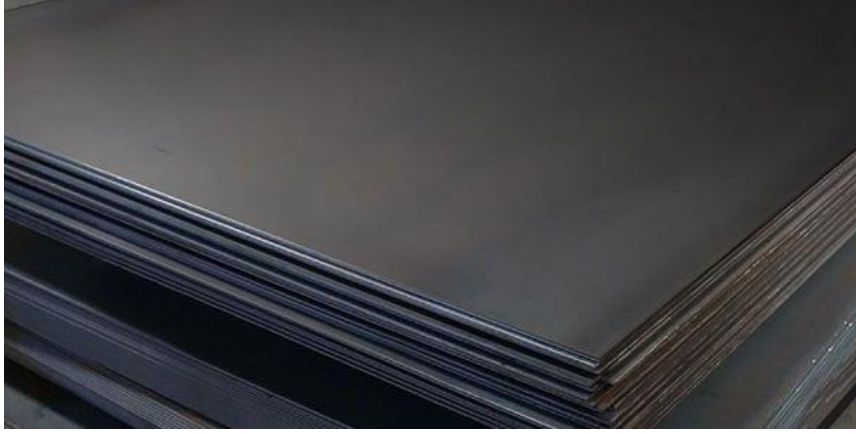
Güneş enerjili hava kolektörü imal etmek için kullanılan malzemeler;

- 1- Galvanizli çelik levha

- 2- OSB Levha
- 3- Sunta
- 4- Cam
- 5- Taş yünü
- 6- Alüminyum folyo
- 7- Silikon

Galvanizli çelik levha

Galvanizli çelik, paslanmayı önlemek için yüzeyi çinko kaplı çelik saclardır. Korozyon direnci yüksek, uzun ömürlü ve dayanıklı yapısı güneş kolektörlerinde emici plaka olarak kullanıma sunar.



Şekil 13 Galvanizli çelik

Taş yünü

Taş yünü, bazalt ve diyabaz gibi volkanik taşların 1400°C üzerinde eritilerek elyaf haline getirilir. Isı ve ses yalıtımında, izolasyon malzemesi olarak kullanılır. İç bölgede OSB Levhanın hemen üzerine yerleştirilerek ana yalıtım malzemesi görevi görecektir.



Şekil 14 Taş yünü

Alüminyum folyo

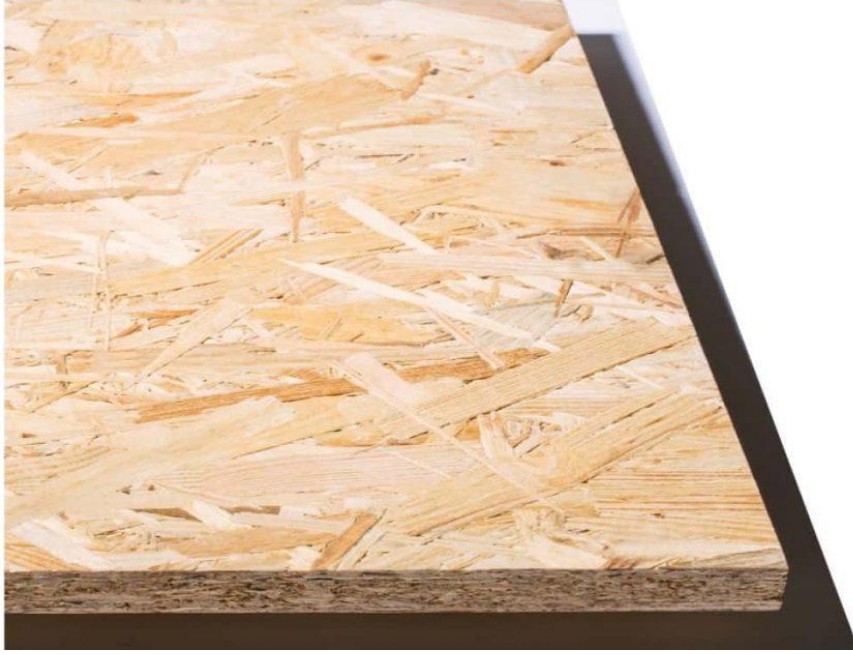
Alüminyum folyo, alüminyumdan üretilen ısı ve ışığı yansıtan çok ince metalik tabakadır. Hafif ve esnek, oksitlenmeye dirençli ve %95 kadar ısı yansıtma özelliğine sahiptir. Taş yünü üzerine konumlandırılarak iç bölgede ısı yalıtımı sağlamak için kullanılacaktır.



Şekil 15 Alüminyum folyo

OSB Levha

OSB Levha, yönlendirilmiş ahşap yongaların özel reçinelerle preslenerek kompozit ahşap panel haline getirilmesidir. Yüksek mekanik dayanımı, homojen yapısı ve montaj kolaylığı vardır. Muhafaza kasa yapımında kullanılacaktır.



Şekil 16 OSB Levha

Sunta

Ağaç artıklarının küçültülüp reçineyle karıştırılarak sıcak preslenmesiyle elde edilen düşük maliyetli levha malzemedir. OSB'ye göre daha zayıftır ve suya dayanımı düşüktür. Muhafazanın duvarları için oluşturacaktır.



Şekil 17 Sunta

Silikon

Yapıştırıcı ve dolgu malzemesi olarak kullanılan polimer malzemedir. Su ve hava geçirmezliği, ısıya dayanıklılık sağlar. Cam montajlarında ve hava kaçağının yaşanmaması için dış kasadaki açıklıklar için kullanılacaktır.



Şekil 18 Silikon

Cam

Çift cam ile tek cam arasındaki farklar ısı yalıtımı, ses yalıtımı ve enerji verimi açısından belirgindir. Tek camın ısı yalıtımı, ses yalıtımı, enerji verimi ve maliyeti çift cama göre düşük kalır. Orta-uzun vadede tasarruf sağlamak ve sistemde ısı-ses kayıplarının giderilmesi için çift cam kullanılır. Çift camların yalıtımını artırmak için iki cam arasında kalan boşluğa gaz dolgusu yapılmaktadır. Havadan daha düşük ısı iletkenliğe sahip olduğu için argon gazı (Hava ≈ 0.026 W/m.K, Argon ≈ 0.016 W/m.K) kullanılır ve bu farktan dolayı ısı kaybı azalır. Argon gazı aynı zamanda ses dalgalarının geçişini yavaşlatır; bu da önemli ölçüde gürültü azaltır. Argon gazının yoğunluğu havanın yoğunluğundan yüksektir (Argon $\approx 0,001784$ g/cm³, Hava $\approx 0,0012250$ g/cm³). Camlar arasındaki gaz hareketi azalır, böylelikle konveksiyonla ısı kaybı azalır. Argon gazı, çift cam sistemlerinde havanın yerine kullanıldığında ısı yalıtımını %30'a kadar sağlayabilir.



Şekil 19 Tek cam

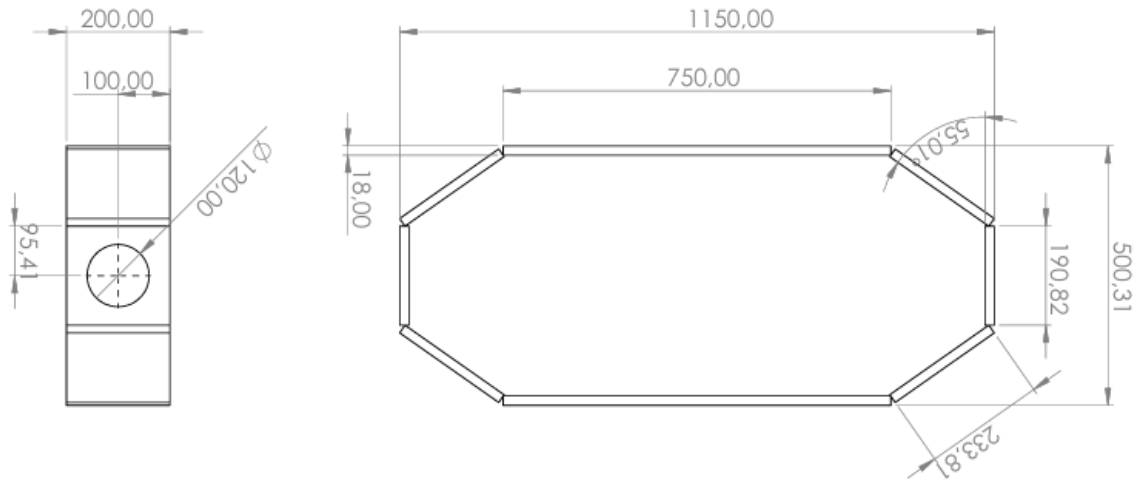


Şekil 20 Çift cam

4.2 - BOYUTLANDIRMA VE İMALAT

Kasa boyutları 115cm x 50cm olarak belirlenip hava giriş-çıkış bölgelerinde 55° trapezoidal geometri sağlanarak verimde artış hedeflenmiştir. Duvar yüksekliği 20cm

belirlenerek havanın giriş-çıkışını sağlamak amacıyla levha merkezlerine 12 cm çapında panç ile ventilasyon açıklığı oluşturulmuştur. Galvanizli çeliğin emici plaka olarak kullanıp, montajı için kasanın merkez noktasından boyu hizasında 12.5cm aşağı ve yukarı olmak üzere iki tane takoz montajı yapıldı. İç bölgedeki ısı yalıtımını sağlamak için önce taş yünü, ısı yansıtmasını iç tarafta tutmak için alüminyum folyo yerleştirildi. Daha sonra 1mm kalınlığındaki emici plakayı konumlandırarak montajı tamamlandı.



Şekil 21 Ölçüler milimetre cinsinden verilmiştir.

Camın montajı için duvarların iç kısmına 4 tane büyük takoz ve takoz aralarına köprü görevi görmesi için çita yerleştirilmiş ve cam yerleşimi için tolerans bırakılarak ölçüler doğrultusunda 45cm x 74cm çift cam, 46cm x 74cm tek cam kestirilmiştir.



Şekil 22 OSB Levhanın kolektör tabanını oluşturma için hazırlanan düzene

Kasanın duvarı için kullanılacak suntu kalınlığı kadar uzaklıkta konumlandırılan takozlar, köşe aparatlarıyla OSB levhaya sabitlendi (1.8cm). Daha sonra suntu duvar yerleştirilerek takozla denk gelen kısmına ikişer tane vidalama işlemi uygulandı.



Şekil 23 Sunta duvar, takoz montajı ve taş yünü yerleşimi

Taş yünü, OSB levha üzerine serilerek zımba ile sabitlenmiştir. Taş yünü kısa süreli su temasına dayanıklıdır ancak su yalıtım malzemesi değildir. Suya maruz kaldığında değiştirilmelidir. Taş yünü suyu içerisine çektiği zaman şişme özelliği gösterir. Yalıtım özelliğini kaybetmemesi için ekstra membran veya folyo gibi malzemeye desteklenmelidir.



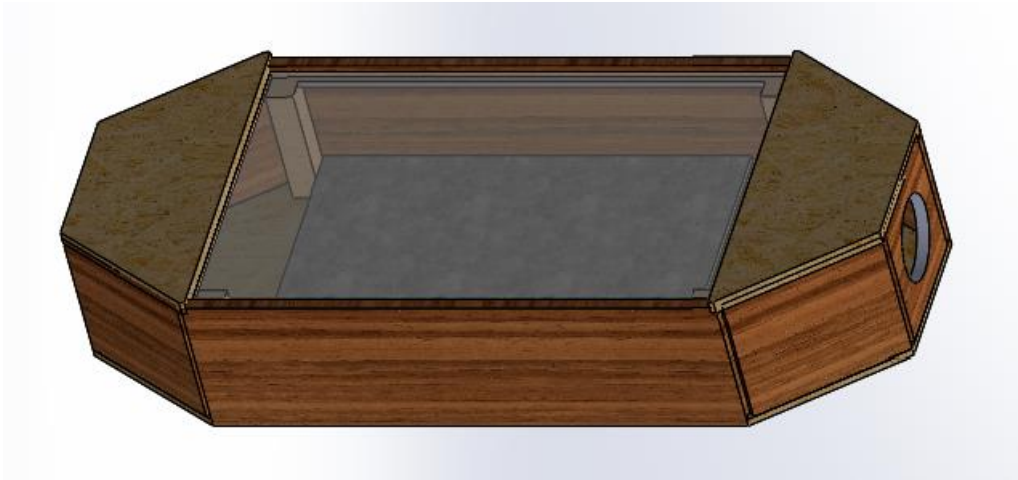
Şekil 24 Alüminyum folyo, emici plaka ve üst muhafaza montajı

Taş yününün üzerine alüminyum folyo yerleştirilip alüminyum bantla kasanın içine ve dışına yapıştırılarak sabitlenmiş daha sonrasında çıtaların duvara vidalanmasıyla montajı tamamlanmıştır. 60cm x 35cm ölçülerinde kestirilen 1mm kalınlığındaki galvanizli çeliğin OSB levhanın merkezinden boyuna doğru konumlandırılmış 2 takoz ile montajı yapılmıştır. Trapezoidal bölgenin üst kısmı OSB levha ile kapatılarak vidalarla montajı yapılmıştır. Kullanılan ölçüler vida montajı ve tahtaların boyutlarındaki minimal farklılıktan dolayı gerçeğe en yakın şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 25 Silikon ile cam montajı

Silikonla camın montajı gerçekleştirilip sızdırmazlık sağlanması için cam yerleşim bölgelerine ve kasanın açıklık kısımlarına ekstra önlemler alınmıştır.



Şekil 26 Kolektör tasarımı

Üç boyutlu tasarım programıyla oluşturulan şekildeki geometri hedeflenmiştir. Hava giriş ve çıkış kanallarına Ø12 cm delikler delinmiştir. İki sistemde de zorlanmış taşınım gerçekleştirmek için fan montajı yapılmıştır.

5. DENEYSEL PROSEDÜR

5.1 – Deney kurulum

Bu çalışmada, güneş enerjili iki farklı hava kolektörünün termal performansı deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Kolektörlerden biri tek camlı, diğeri ise çift camlı olarak tasarlanmış ve imal edilmiştir. Deneysel çalışmalar Türkiye'nin Simav ilçesinde bulunan Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Dr. İbrahim Naci Eren Yerleşkesinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler bulutsuz ve açık hava koşullarında, 3-4 Haziran 2025 tarihlerinde sabah 09:45 ile 17:00 saatleri arasında gerçekleştirilmiştir. Her iki kolektör aynı ortama yerleştirilmiş, aynı açıda ve yönelimde konumlandırılmıştır (yaklaşık 29° eğim ile güney yönüne bakacak şekilde). Kolektör girişine ortam havası alınarak, çıkışta ısıtılan hava sıcaklıkları kayıt altına alınmıştır. Sıcaklık-nem ölçme cihazları kolektörün hava çıkışından içeriye emici plakaya yakın olacak şekilde yerleştirilmiştir. Her 15 dakikada bir sıcaklık verileri kaydedilmiş ve gün sonundaki eğilimler analiz edilmiştir. Tek camlı ve çift camlı kolektörlerin çıkış sıcaklıkları, sıcaklık farkları, termal verimleri karşılaştırmalı olarak grafiklerle sunulmuş ve değerlendirilmiştir.

5.2 - Ölçüm Ekipmanları

Deneyde güneş ışıınımı, sıcaklık ve nem değerleri ölçüleceği için kullanılan ölçüm cihazları;

- 1 – Cem DT-1307 güneş ışıınım ölçer
- 2 – Gentek HT-2 sıcaklık-nem ölçer
- 3 – LYK e20 sıcaklık-nem ölçüm cihazı



Şekil 27 CEM DT-1307 Güneş ışı nım ölçer

- Ölçüm aralığı: 0 – 1999 W/m² (veya 0–634 BTU/ft²·h)
- Hassasiyet: ±10 W/m² (veya ±5%)
- Çözünürlük: 1 W/m²
- Ekran: LCD (Hold, Min/Max, ekran aydınlatma fonksiyonlu)
- Tepki süresi oldukça hızlı (~0,25 s).

Temel Özellikler

- Hava Hızı: 0.4–20 m/s ölçüm aralığı; çözünürlük 0.1 m/s; doğruluk ±(0.2 m/s + %2 ölçüm değeri)
- Sıcaklık (NTC sensör): –10 ... +50 °C; çözünürlük 0.1 °C; doğruluk ±0.5 °C
- Bağıl Nem (RH): 0–100 % RH; çözünürlük 0.1 %; doğruluk ±2.5 % (5–95 % arası)



Şekil 28 LYK 20E Sıcaklık-Nem kayıt cihazı

- Ölçüm aralığı: -40 °C...+125 °C sıcaklık, 0-100 % RH nem; çözünürlük 0.1 birim, nem doğruluğu ±3 % RH
- Hafıza: 16 000 ölçüm kaydedebilir
- Veri periyodu: 1 saniye ila 24 saat arası ayarlanabilir Ekranda anlık & min/max değerler, görsel/sesli alarm sistemleri mevcuttur
- Bağlantı: USB ile bilgisayara veri aktarım; 3 m harici sensör ucu; yazılım CD'siyle birlikte gelir.

5.3 - Enerji Analizi

Kolektöre gelen güneş enerjisinin, hava akışkanına ısı aktarma oranını bulmak için temel enerji dönüşüm denklemlerini kullanmalıyız.

$$\dot{m} = \rho V A_c$$

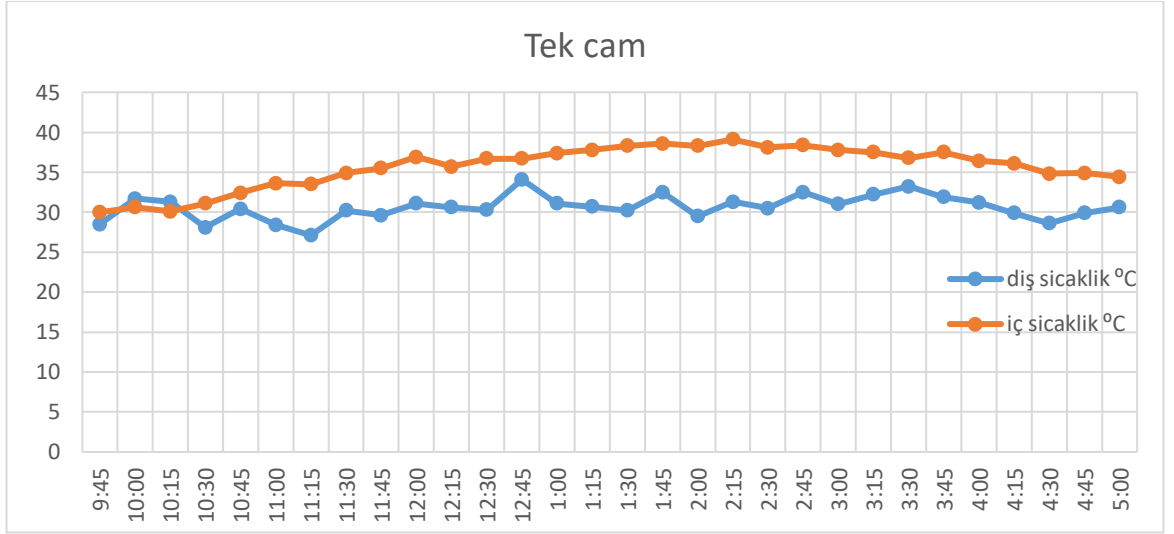
$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{A \cdot G}$$

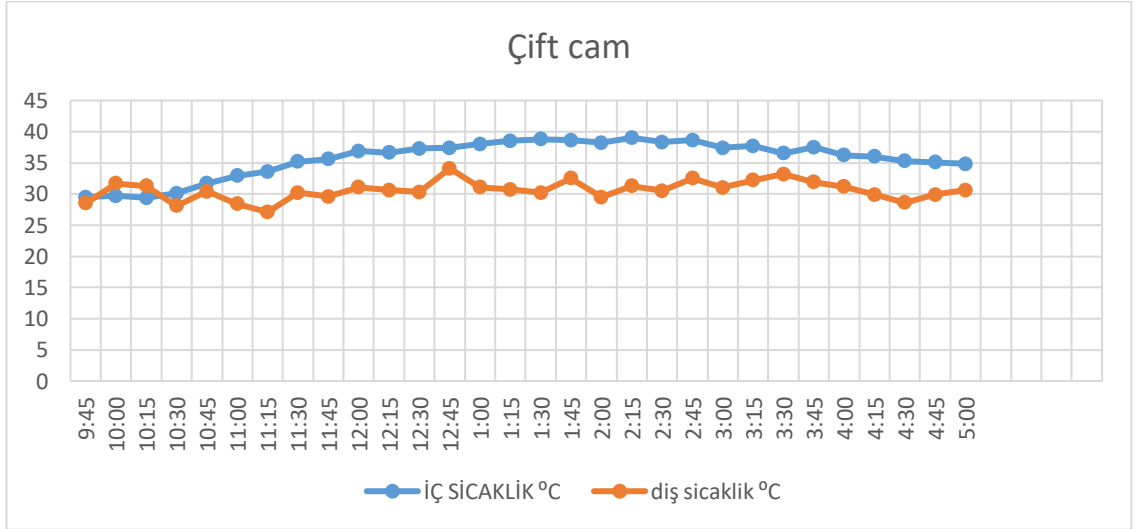
6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1 – Tek camlı ve çift camlı kolektör sonuçları

3.06.2025 tarihinde 9:45-17:00 saat aralığında ölçümler yapılmıştır. Elde edilen verilerle oluşturulan tek camlı kolektör tablosundan güneş ışınımının en fazla olduğu saat 02:15’de iç sıcaklık 39.1° gösterirken dış sıcaklık değeri 31.3° okunmaktadır. Bu da yaklaşık 8° lik bir farkı ifade etmektedir ve beklenenin altındadır.



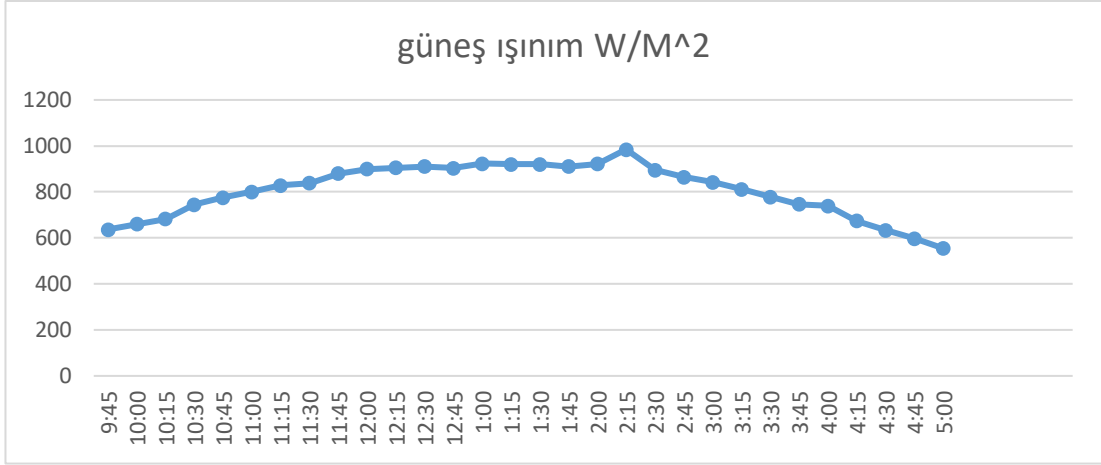
Şekil 29 3 Haziran 2025 Tek camlı kolektörün zamana bağlı sıcaklık grafiği



Şekil 30 3 Haziran 2025 Çift camlı kolektörün zamana bağlı sıcaklık grafiği

Çift cam için oluşturulan tabloda da benzer sonuçla karşılaşmaktayız. İç sıcaklık ve dış sıcaklığın birbirine yakın olduğu sonucu kolektör veriminin düşük olduğunu gösterir. Bu verimi etkileyebilecek başlıca sebepler ısı kayıpları, azalan

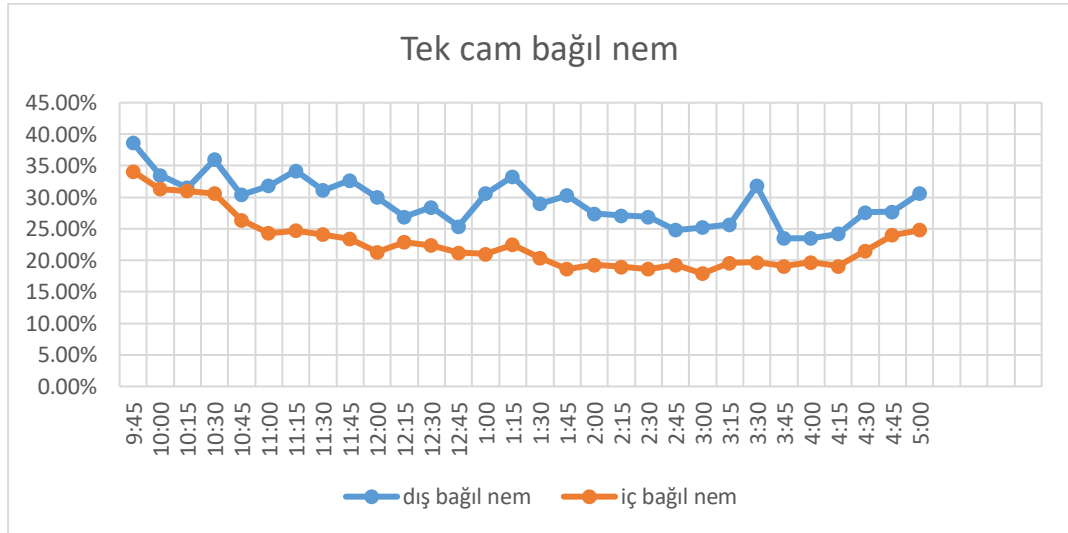
güneş ışınlamı, yanlış hava debisi veya tasarım eksikliği olarak sıralanabilir. Hava hızı ölçümleri yapılarak 1.7-2.1 m/s değerler okunmuştur. Fanlar vasıtasıyla iletilen akışkan hızı, kolektörün debisi için uygun olmadığı sonucuna varılabilir.



Şekil 31 3 Haziran 2025 zamana bağlı güneş ışınlamı grafiği

Güneş ışınlamının 15 er dakikalık ölçümleri yapılmış olup en yüksek sıcaklık 14:15'te ölçülmüştür.

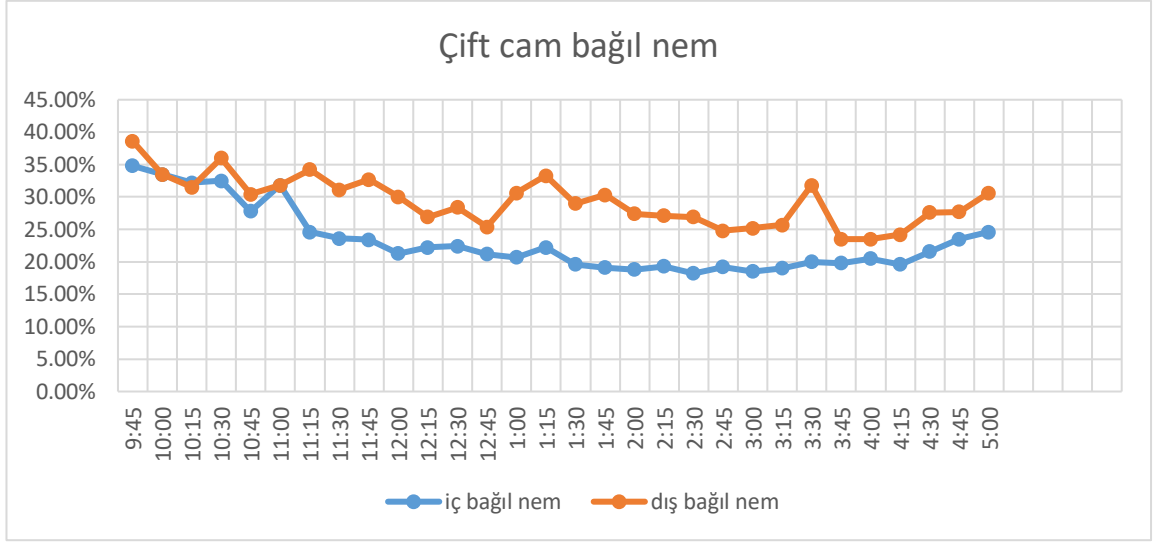
6.2 – Sıcaklık ve bağıl nem karşılaştırma



Şekil 32 3 Haziran 2025 Tek camlı kolektörün zamana bağlı bağıl nem grafiği

Güneş ışınlamının arttığı saatlerde havadaki bağıl nem oranı azalmaktadır. Havadaki nem oranı aynı olsa bile buna artan sıcaklık değeri etki etmektedir. Dış havanın en düşük bağıl nem oranı %23.5 olarak ölçülmüştür. Tek camlı kolektörün bağıl nem oranı da sıcaklıkla ters orantılı bir şekilde %17.9'lara kadar gerilediği görülmüştür.

Çift cam bağıl nem oranı ise en düşük %18.2 ölçülmüş ve gün boyu tek camlı kolektöre yakın sonuçlar vermiştir. Bu da kolektör veriminin düşük olduğunu gösterir.

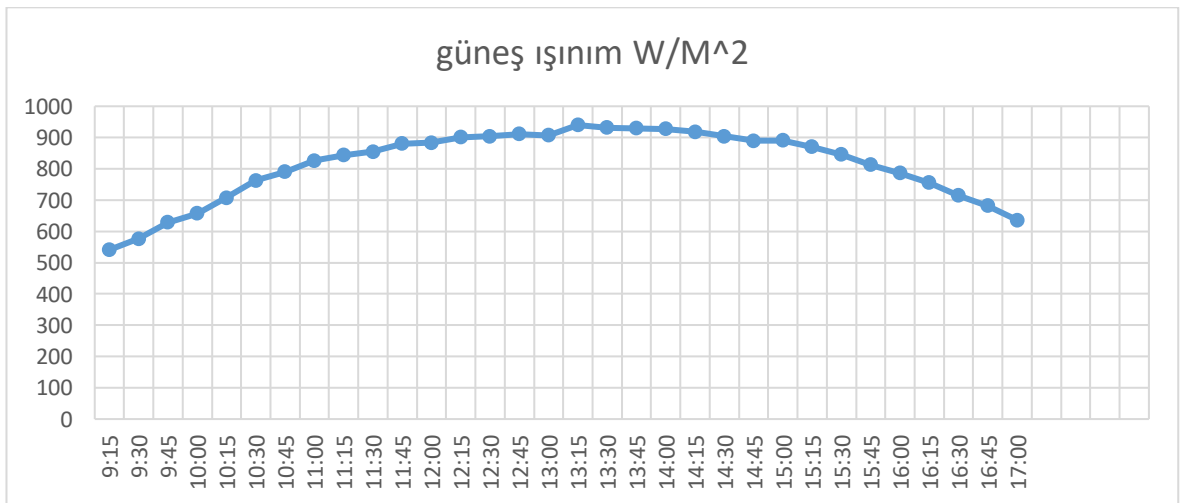


Şekil 33 3 Haziran 2025 Çift camlı kolektörün zamana bağlı bağıl nem grafiği

İkinci Deney Sonuçları

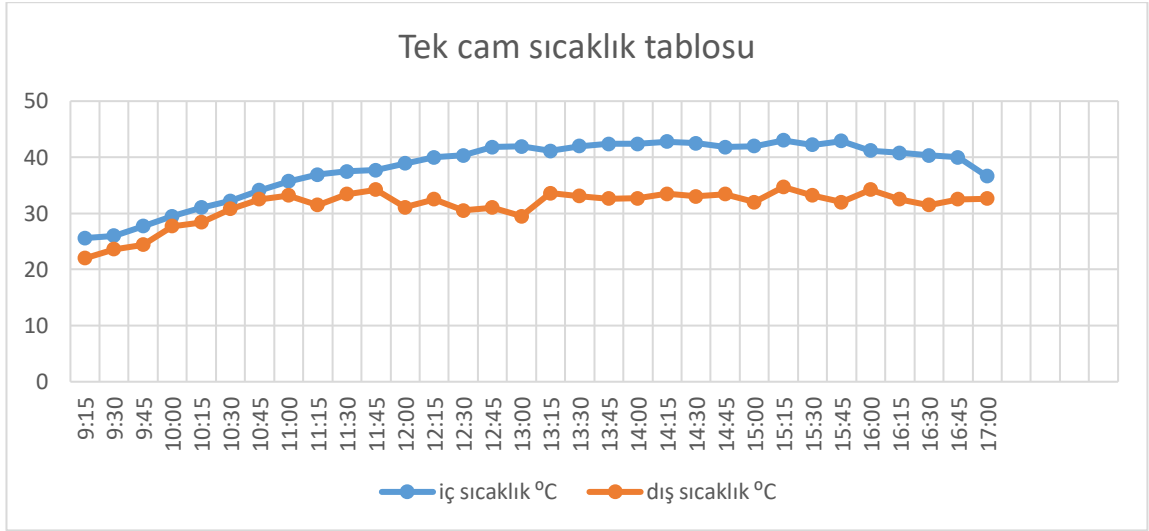
İkinci deney 04.06.2025 tarihinde aynı prosedür takip edilerek 9:15-17:00 saat aralığında yapılmıştır.

Güneş ışınımı sabah 9:15’de 541 W/m² değeri ölçülmüş olup, öğlen 13:15 sularında 940 W/m² en yüksek değer olarak ölçülmüştür. Şekil 34’te görülen zamana bağlı güneş ışınım grafiğini bulutluluk, atmosferik durumlar, gölgeleme gibi faktörler parabolik eğrinin şeklini bozar ve dalgalı, kesintili ya da düzensiz hale getirebilir.



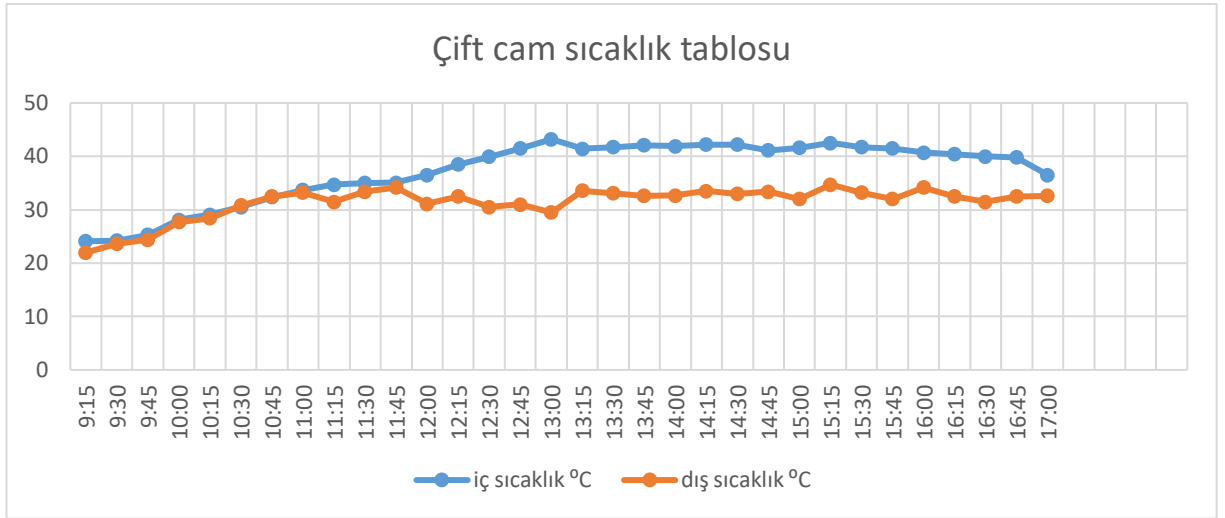
Şekil 34 4 Haziran 2025 zamana bağlı güneş ışınım grafiği

Tek camlı kolektörün sıcaklık tablosuna bakacak olursak iç sıcaklığın dış sıcaklıktan yaklaşık 10°C fazla olması halen beklenenin altındadır. Aynı şekilde çift camlı kolektörün sıcaklık tablosunda da en fazla 43.2°C görülmüş olup aradaki fark gün içerisinde alınan ölçümlerde ortalama 8-10°C değiştiğini göstermiştir.



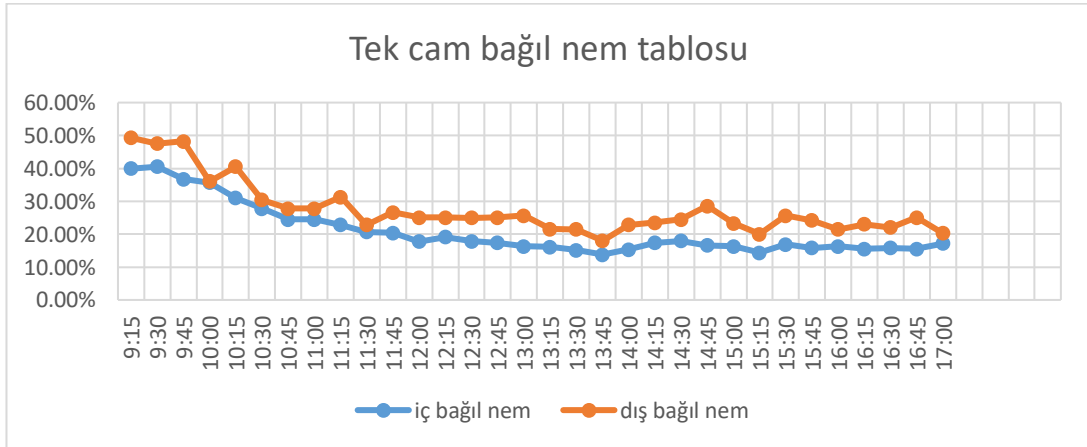
Şekil 35 4 Haziran 2025 Tek camlı kolektörün zamana bağlı sıcaklık grafiği

Sıcaklığın en yüksek olduğu saatlerde tek camlı kolektörün bağıl nem oranı en düşük %13.8 ölçülürken, çift camlı kolektörün bağıl nem oranı en düşük %10.3 ölçülmüştür. Bu da o saat içerisinde çift camlı sistemin ısı yalıtımı konusunda daha iyi olduğunu, sıcaklığın içeride hapsolarak bağıl nem oranını düşürdüğü gözlemlenmiştir. Bu yorumu bütün grafiğe bakarak yapmak mümkün olmayacaktır çünkü iki sistem de birbirine çok yakın sonuçlar vererek şaşırtabilir.



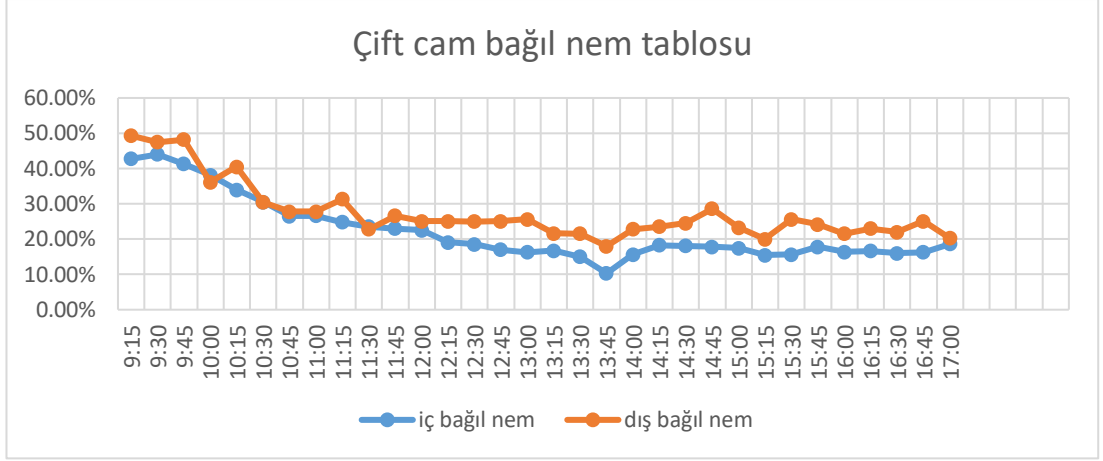
Şekil 36 4 Haziran 2025 Çift camlı kolektörün zamana bağlı sıcaklık grafiği

Tek cam ile çift camlı kolektörlerde hava kaçağının yaşanmadığı defalarca kontrol edilerek doğrulanmıştır. Buna bağlı olarak deney esnasında iki kolektörün de cam yüzeylerine dokunarak sıcaklık farkı hissedilmiş ve çift camın tek camdan daha sıcak olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 37 4 Haziran 2025 Tek camlı kolektörün zamana bağlı bağıl nem grafiği

Çift cam bağıl nem tablosu, iç ve dış nem oranlarının birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir.

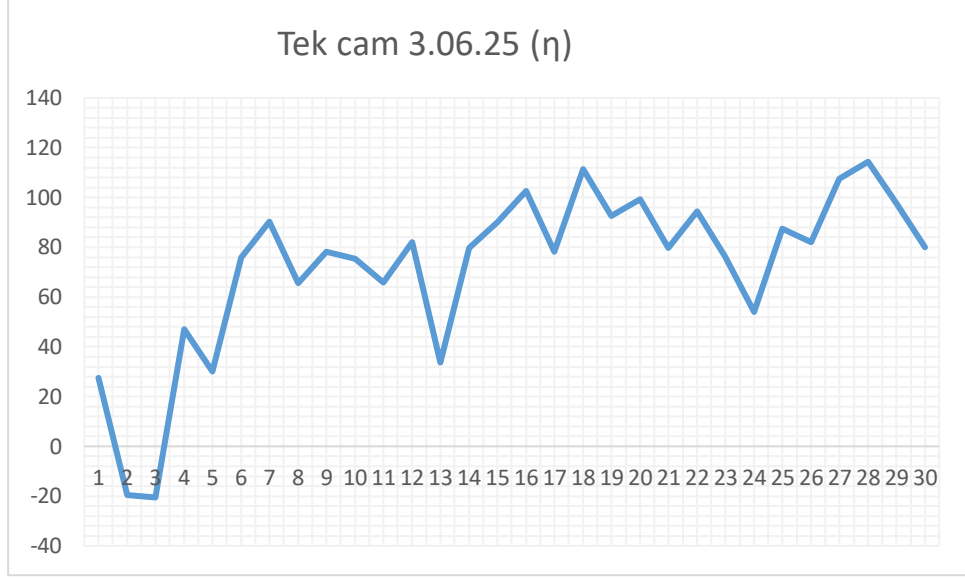


Şekil 38 4 Haziran 2025 Tek camlı kolektörün zamana bağlı bağıl nem grafiği

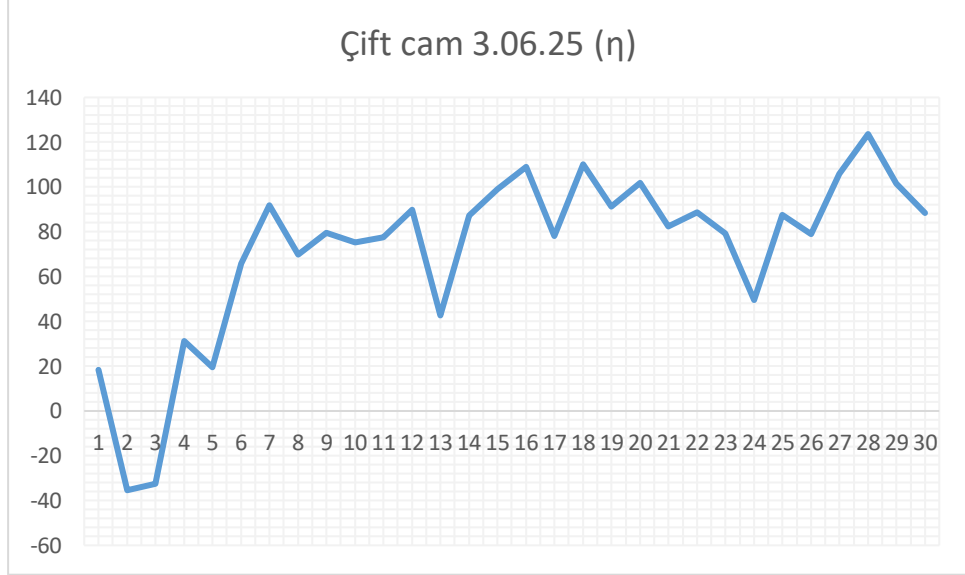
7. ENERJİ ANALİZİ SONUÇLARI

7.1 – Termal performans incelenmesi

Yapılan enerji analizi sonuçlarına göre elde edilen grafikte verim değerleri gözükmemektedir. Bu grafikteki değerlere bakacak olursak verimin en yüksek %123'ü en düşük ise -%35 olduğunu görmekteyiz. %123 verim ve negatif değerlerde verim sonuçları bize bu sistemde hata olduğunu göstermektedir. Bunun başlıca nedeni kullanılan fanın hava debisine uygun olmayışı; içeride soğutma etkisi yaparak çalışmasıdır. Güneş enerjili hava kolektöründe kullanılan fan, eğimin alt yüzeyi hava girişi kabul edilerek montajı yapılmış olup şebekeye bağlanmıştır. Eğimin üst yüzeyindeki kesit çıkış kabul edilerek hava hızı ölçüldüğünde 1.7-1.9 m/s değerleri görülmüştür. Ortalama 1.8 m/s kabul edilen hava hızı değerleriyle analiz yapılmıştır. %123 verimle çalışan güneş enerjili hava kolektörü, güneşten aldığı enerjinin fazlasını üretebiliyor demektir ki bu da enerji korunum yasasına aykırıdır. Termal verimin negatif sonuç vermesi ($Q < 0$, $\eta < 0$) ise sistemde soğutma yapıldığını gösterir.



Şekil 39 Tek cam verim grafiği



Şekil 40 Çift cam verim grafiği

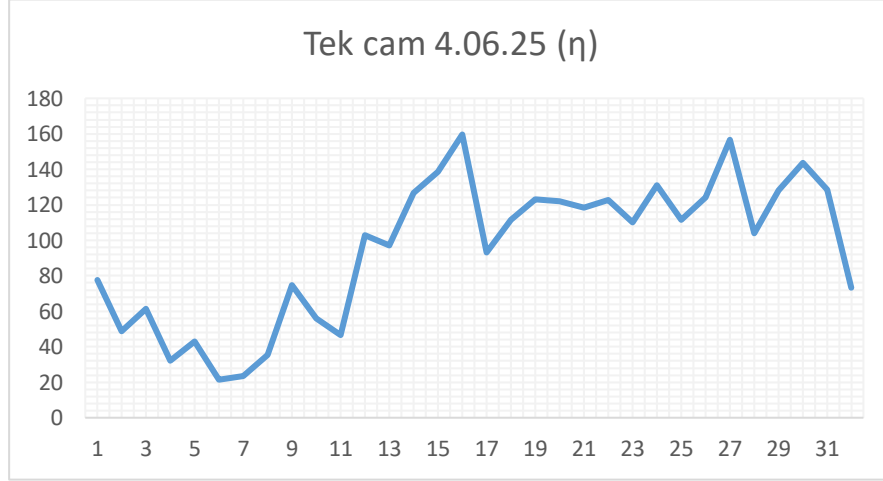
7.2 - Yorumlama ve kıyaslama

Deneyler 4 haziran 2025 tarihinde tekrarlanmış olup benzer sonuçlarla karşılaşılmıştır.

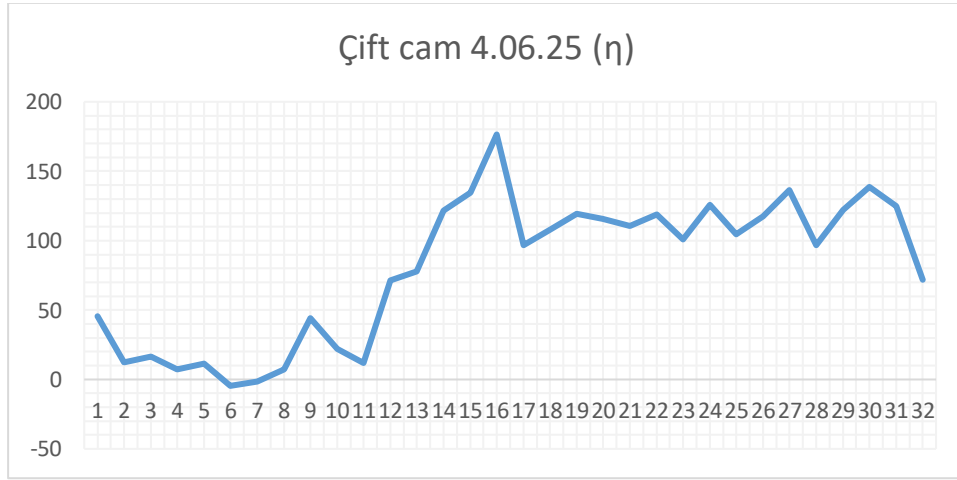
Tablo Şekil 42’de termal verimin en yüksek olduğu saat 13:00 değerine bakacak olursak 907 W/m² güneş ışıınım değeri, iç sıcaklığın 43.2°C, dış sıcaklığın ise 29.5°C olduğu ölçülmüştür. 15 dakika sonrasındaki ölçümde güneş ışıınımı 940 W/m², iç sıcaklık 41.4°C, dış sıcaklık 33.6°C ölçülmüştür. Bu iki durumu karşılaştıracak olursak güneş ışıınımının arttığını, iç sıcaklık farkının azaldığını görebiliriz.

Dolayısıyla güneşin en verimli kullanılacağı saatlerde ışıınımın artmasıyla verimin düşebileceği sonucuna varabiliriz. Şekil 39 ve şekil 40 grafiklerinde 18, 22, 27, 28

noktaları; şekil 41 ve şekil 42 grafiklerinde ise 24, 27, 30 noktalarına bakarak verimdeki net artışı görmek mümkün olur. Şekil 43'te yer alan ölçüm numarası-sıcaklık farkı tablosu 3 Haziran'da yapılan deneyin ölçümleridir. Güneş ışınımının azalmasına rağmen sıcaklığın sabit kaldığı veya yükseldiği durumda verim artışı gözlemlenir. Bu da emici plakanın güneş ışınımı için doygunluğa ulaştığını gösterir.



Şekil 41 Tek cam verim grafiği



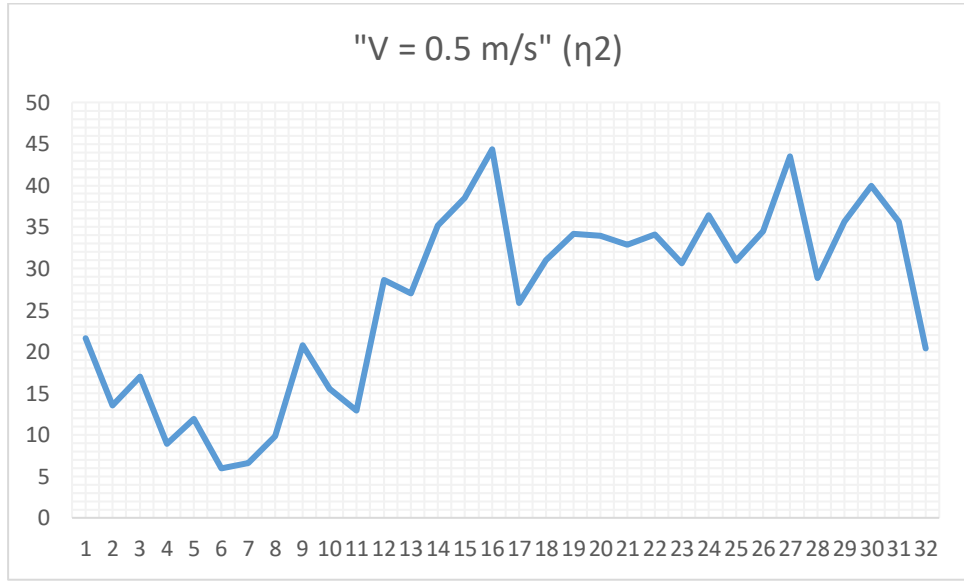
Şekil 42 Çift cam verim grafiği

Ölçüm numarası		ΔT
16		8,1
17		6,1
18		8,8
19		7,8
20		7,6
21		5,9
22		6,8
23		5,3
24		3,6
25		5,6

26		5,2
<u>27</u>		<u>6,2</u>
<u>28</u>		<u>6,2</u>
29		5
30		3,8

Şekil 43 Ölçüm numarasına göre sıcaklık farkı

Kolektörün debisi için fanlara yavaşlatma yapıldığı takdirde gerçeğe yakın verim değerleri elde edilecektir. Kütlesel debi formülünde hava hızını 0.5 m/s olarak değiştirerek verimli bir kolektörde oluşacak senaryoyu tahmin etmemizi mümkün kılar. İç sıcaklık değerleri artış göstererek dış sıcaklıkla arasındaki farkı artıracaktır. Böylelikle ısı kazancı ve dolayısıyla termal verim artacaktır.



Şekil 44 Fan hızı düşürüldüğü senaryoda verim grafiği

8. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Güneş enerjili hava kolektörü kullanım alanlarına göre malzeme seçiminde değişiklik gösterebilir. Bu çalışmada aynı boyutlarda iki kolektör oluşturup tek cam ve çift cam farkı gözlemlenmiştir. Çift camın içindeki gaza bağlı olarak tek camdan daha fazla ısı yalıtımı sağladığı ve çift camlı kolektörün tek camlı kolektörden daha fazla sıcaklık ürettiği ve buna bağlı olarak bağlı nemin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Boyutlandırmadaki değişiklik içerideki akışkanın debisini değiştirir ve kullanılacak fanın gücü önemli bir parametre olur. Elde edilen sonuçlarla yapılan enerji analizi bize bu sistemin çok fazla ısı kaybı olduğunu ve oluşturulan senaryoda fan hızının düşürülmesi durumunda kolektörün rejime ulaşacağını göstermektedir. Aynı zamanda güneş ışınlarının fotovoltaiik panellerde gösterdiği etkiye yakın bir sonuç vermiştir; öyledir ki güneş ışıınının arttığı durumlarda kolektörün doygunluğa ulaşp verimde düşüş yaşanacağı, iç ve dış sıcaklık farkının fazla olmasının verimde artışa sebep olacağını göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] “Performance evaluation of a double pass PV/T solar air heater with and without fins” Rakesh Kumar, Marc A. Rosen
- [2] Khanlari A., Tuncer A. D., Şirin C., Afshari F. ve Güngör A., “Empirical investigation of small-scale aluminium wool packed solar air heater made with waste material”, Journal of Polytechnic, 24(4): 1337-1343, (2021).
- [3] Mesut A., M. Bahattin A. “Trapez Yutucu Plakalı Güneş Enerjili Hava Kollektörünün Isıl Veriminin Deneysel Olarak İncelenmesi”
- [4] M. Galip Özkaya, İbrahim Kırbaş, Veysel İncili “Havalı Güneş Kollektörünün Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi”
- [5] Hüsamettin Bulut ve A. Fatih Durmaz “Bir Havalı Güneş Kollektörünün Tasarımı, İmalatı ve Deneysel Analizi”
- [6] Abuşka M., Akgül M. B. ve Altıntaş V., “Yutucu plaka üzerine konik yayların yerleştirildiği güneş enerjili hava kollektörünün bulanık mantık ile modellenmesi”, Politeknik Dergisi, 20(4): 907-914, (2017).
- [7] Hava Isıtmalı Güneş Kollektörlerin’de Güneş Takip Mekanizması Kullanımı
İbrahim KIRBAŞ^{1*} , Bilal AYDOĞAN¹ ve Ahmet UYUMAZ²
- [8] Mesut ABUŞKA*, Mehmet Bahatin AKGÜL**, Volkan ALTINTAŞ*** KONİK YÜZEY GEOMETRİLİ GÜNEŞ ENERJİLİ HAVA KOLLEKTÖRÜNÜN DİKEY UYGULAMADA ISIL VERİM ANALİZİ
- [9] Ezgi MEMUR “Güneş Enerjili Gıda Kurutucusu Tasarımı ile Kurutma Performans Değerlendirmeleri”
- [10] Harun Kemal OZTURK, Hande MUTLU OZTURK Kabin Tipi Kurutucularda Güneş Enerjisi ile Kayısı Kurutulması
- [11] Ebru AKPINAR , Mehmet DAŞ “Havalı Güneş Kollektör Destekli Sera Gıda Kurutucu Sisteminin Performansının İncelenmesi”

- [12] Ahmet Doğukan YAZICI1* , Mehmet DAŞ2 “Güneş Enerjisi Destekli Kurutma Sistemi İle Elma Ürününün Kurutulması ve Kurutma Değerlerinin Yapay Sinir Ağı İle Modellenmesi”
- [13] Donggen Peng, Xiaosong Zhang, Hua Dong, Kun Lv “Yeni Nesil Bir Güneş Hava Kolektörünün Performans Çalışması”
- [14] Mirsoli Uzbekov1* , Bekzod Boynazarov1 , Feruza Nasretdinova1 , Iqboljon Zoxidov1 , Afzaljon Qodirov1 ve Zuhreddin Hamidjonov1 “Güneş Hava Kolektörünün Geliştirilmesi ve Deneysel Araştırması”
- [15] Md Azharul Karim, M.N.A. Hawlader “Kurutma Uygulamaları için V-Oluklu Güneş Hava Kolektörünün Performans Değerlendirmesi”
- [16] <https://www.test-meter.co.uk/testo-410-2-compact-vane-anemometer>
- [17] <https://www.testo.com/en/testo-410-2/p/0560-4102>
- [18] <https://www.sanayimalzemeleri.com/lyk20e-sicaklik-ve-nem-kayit-cihaz-i-datalogger>
- [19] <https://www.tekniktest.com/urun/cem-dt-1307-gunes-isik-yogunlugu-olcer>
- [20] <https://www.labor.com.tr/urun/cem-dt-1307-gunes-isik-yogunlugu-olcer-solarimetre-1999-w-m-veya-634-btu-ft-h>