



**KARA CİSİM KAPLAMASI YAPILAN DÜZLEM
YÜZEY GÜNEŞ KOLEKTÖRÜ İLE GIDA
KURUTMANIN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

Selda GÖZÜBÜYÜK

Danışman: Doç. Dr. Gökhan ÖMEROĞLU
Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
2021
(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**KARA CİSİM KAPLAMASI YAPILAN DÜZLEM YÜZEY GÜNEŞ KOLEKTÖRÜ
İLE GIDA KURUTMANIN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

(Experimental Investigation of Food Drying With A Plane Surface Solar Collector With
Blackbody Coating)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selda GÖZÜBÜYÜK

Danışman: Doç. Dr. Gökhan ÖMEROĞLU

Erzurum
Kasım, 2021

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Selda GÖZÜBÜYÜK tarafından hazırlanan “KARA CİSİM KAPLAMASI YAPILAN DÜZLEM YÜZEY GÜNEŞ KOLEKTÖRÜ İLE GIDA KURUTMANIN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı çalışması 26 / 11 / 2021 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Termodinamik Bilim Dalında yüksek lisans olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Dr.Öğr. Üyesi A. Numan ÖZAKIN
Atatürk Üniversitesi Aslı Islak İmzalıdır.

Danışman: Doç. Dr. Gökhan ÖMEROĞLU
Atatürk Üniversitesi Aslı Islak İmzalıdır.

Jüri Üyesi: Dr.Öğr. Üyesi Eda Feyza AKYÜREK
Erzurum Teknik Üniversitesi Aslı Islak İmzalıdır.

Enstitü Yönetim Kurulunun
.../.../... tarih ve sayılı
kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN
Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP projesi kapsamında desteklenmiştir.
Proje No:8759

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

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak Doç. Dr. Gökhan ÖMEROĞLU danışmanlığında sunulan “KARA CİSİM KAPLAMASI YAPILAN DÜZLEM YÜZEY GÜNEŞ KOLEKTÖRÜ İLE GIDA KURUTMANIN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	7	30
Kuramsal Temeller	10	30
Materyal ve Yöntem	4	35
Bulgular	2	20
Tartışma	3	20
Tezin Geneli	17	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Selda GÖZÜBÜYÜK	Doç. Dr. Gökhan ÖMEROĞLU
7.12.2021	7.12.2021
İmza: Aslı Islak İmzalıdır.	İmza: Aslı Islak İmzalıdır.

* Tez ile ilgili YÖKTEZ'de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/.../..... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

Enstitü Yönetim Kurulunun/.../..... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans çalışmam süresince engin bilgi, birikim ve tecrübeleri ile her anlamda bana yardımcı olan değerli hocam, danışmanım Sayın Doç. Dr. Gökhan ÖMEROĞLU'na ve aynı zamanda her türlü konuda engin bilgilerini ve tecrübelerini esirgemeyen, özgün bakışı, samimiyeti, sabrı ve desteğiyle beni yönlendiren değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Numan ÖZAKIN'a teşekkürlerimi sunarım.

Finansal desteklerinden dolayı Bilimsel Araştırma Projeleri Kurumu'na (BAP) teşekkür ederim.

Son olarak bugünlere gelmem de sonsuz emeğe sahip olan hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen kariyer ve kazanımlarımda paydaş olan aileme, çalışmam boyunca dostluğu ve manevi desteğiyle hep yanımda olan canım arkadaşım Esen ÇEBOĞLU'na teşekkür ediyorum.

Selda GÖZÜBÜYÜK

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KARA CİSİM KAPLAMASI YAPILAN DÜZLEM YÜZEY GÜNEŞ KOLEKTÖRÜ İLE GIDA KURUTMANIN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Selda GÖZÜBÜYÜK

Danışman: Doç. Dr. Gökhan ÖMEROĞLU

Amaç: Bu çalışmanın amacı, Black 3.0 ve nano akışkan kullanılarak düzlem yüzey güneş kolektöründe kullanılan temel akışkan olan suyun daha fazla ısı kazanmasını sağlamaktır. Böylelikle geleneksel düzlem yüzey kolektörlerine kıyasla daha fazla ısı kazanan akışkan, kondenserde havaya daha fazla ısı geçişi sağlayarak sistemin toplam performansının iyileştirilmesi amaçlanmaktadır.

Yöntem: Bu çalışmada sistemin performans analizi Minitab programı kullanılarak Taguchi metodu ile yapılmıştır. Taguchi L16 (4^{22}) deney planı kullanılarak güneş ışınımı (600 W/m^2 , 700 W/m^2 , 800 W/m^2 ve 900 W/m^2), hava hızı (0,5, 1, 1,5, 2 m/sn), kaplama türü (geleneksel düzlem yüzey kolektör ve Black 3.0 kaplamalı düzlem yüzey kolektör) ve nano partikül oranı (0.1 ve 0,2%) gibi parametrelerin verime olan etkileri incelenmiştir.

Bulgular: Uygulama sonucunda elde edilen verilere göre geleneksel düzlem yüzey güneş kolektörünün ışınımı absorbe eden yüzeyinin nano teknolojik bir kara cisim ile kaplanmasının ve kolektörde termal iletim katsayısını artıran nano akışkanın iş akışkanı olarak kullanılması durumunda termal verimliliği artırdığı belirlenmiştir.

Sonuçlar: Çalışma sonuçlarına göre Pareto grafiğinden yola çıkarak verime etkisi olan parametrelerin önem sırasına göre kaplama türü, ışınım, hava hızı ve nano partikül oranı olduğu görülmektedir. Optimum değerler ise 900 W/m^2 ışınım, kaplama türü Black 3.0 kaplamalı düzlem yüzey kolektör, 0,5 m/sn hava hızında ve % 0,1 ağırlıkça nano partikül oranında olduğu görülmüştür. Optimum değerlere göre havaya kazandırılan güç 129 W 'tır. Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan verilere göre Erzurum ili için yıllık ortalama güneşlenme saati 7 saat olarak alınmıştır. Elde edilen bu güç ile 7 saatlik sürede 3 kg elma, 2,55 kg kırmızıbiber, 2,38 kg şeftali ve kayısı, 2,35 kg muz, 2,23 kg erik kurutulabilmektedir.

Kasım 2021, 93 sayfa

Anahtar Kelimeler: Güneş, Düzlem Yüzey Güneş Kolektör, Kara Cisim, Güneş Enerjili Kurutma, Taguchi metodu

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF FOOD DRYING WITH A PLANE SURFACE SOLAR COLLECTOR WITH BLACKBODY COATING

Selda GÖZÜBÜYÜK

Supervisor: Doç. Dr. Gökhan ÖMEROĞLU

Purpose: The aim of this study is to provide more heat to the water, which is the main fluid used in the plane surface solar collector, by using Black 3.0 and nanofluid. Thus, it is aimed to improve the overall performance of the system by providing more heat transfer to the air in the condenser, with the fluid gaining more heat compared to conventional plane surface collectors.

Method: In this study, the performance analysis of the system was made with the Taguchi method using the Minitab program. Solar irradiance (600 W/m^2 , 700 W/m^2 , 800 W/m^2 and 900 W/m^2), air velocity (0.5, 1, 1.5, 2 m/s) using Taguchi L16 ($4^2 \times 2^2$) experiment plan The effects of parameters such as coating type (traditional plane surface collector and Black 3.0 coated plane surface collector) and nanoparticle ratio (0.1 and 0.2%) on efficiency were investigated.

Findings: According to the data obtained as a result of the application, it has been determined that coating the radiation absorbing surface of the conventional plane surface solar collector with a nano-technological blackbody and using the nanofluid, which increases the thermal transmission coefficient in the collector, increases the thermal efficiency.

Results: According to the results of the study, starting from the Pareto chart, it is seen that the parameters that affect the efficiency are the coating type, radiation, air velocity and nanoparticle ratio, in order of importance. Optimum values were found to be 900 W/m^2 radiation, coating type Black 3.0 coated plane surface collector, 0.5 m/s air velocity and 0.1% wt nanoparticle ratio. According to the optimum values, the power gained to the air is 129 W. According to the data obtained from the General Directorate of Meteorology, the annual average sunshine hours for Erzurum were taken as 7 hours. With this power, 3 kg of apples, 2.55 kg of red pepper, 2.38 kg of peaches and apricots, 2.35 kg of bananas, 2.23 kg of plums can be dried in 7 hours.

November 2021, 93 pages

Keywords: Sun, Plane Surface Solar Collector, Blackbody, Solar Drying, Taguchi method

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	12
Güneş Enerjisi	12
Güneş enerjisi kullanımının avantaj ve dezavantajları.....	13
Güneş enerjisinin kullanım alanları	14
Güneş enerjisi kolektörleri	14
MATERYAL METOD	31
Deney Sistemi	31
Güneş Işınımı Simülatörü	33
Güneş Işınım Şiddeti Ayarı.....	33
Piranometre	34
Veri kayıt cihazı	35
Su debimetresi.....	35
Pompa.....	36
Kondenser	37
Kolektör.....	37
Nem sensörü.....	38
Hava hızı anemometresi.....	38
Taguchi metodu.....	39
Termodinamik analiz	40
Kurutma analizi.....	42
ARAŞTIRMA BULGULARI	43
Taguchi Metodu İle Yapılan Deney Bulguları.....	62
SONUÇLAR ve TARTIŞMA	71

KAYNAKÇA	73
ÖZGEÇMİŞ.....	78



TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Bazı Ürünlerin Kurutma Koşulları	21
Tablo 2. Güneş Simülatörü Özellikleri	33
Tablo 3. Varyak Özellikleri	34
Tablo 4. Piranometrenin Özellikleri	34
Tablo 5. Data Logger Özellikleri	35
Tablo 6. Debimetre Özellikleri	36
Tablo 7. Pompa Özellikleri	36
Tablo 8. Pompanın Devir Özellikleri.....	37
Tablo 9. Kondenser Özellikleri.....	37
Tablo 10. Kolektör Özellikleri.....	38
Tablo 11. Nem Sensörü Özellikleri	38
Tablo 12. Hava Hızı Ölçüm Cihazı Özellikleri	39
Tablo 13. Taguchi Deney Planı	39
Tablo 14. ANOVA.....	63
Tablo 15. Özet Tablosu.....	64
Tablo 16. Korelasyon Denklemleri.....	65
Tablo 17. Optimum Değer	65

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Güneş kütesini oluşturan elementler	12
Şekil 2. Füzyon reaksiyonu	13
Şekil 3. Bir güneş kolektörünün ısı analizi	15
Şekil 4. Düzlem yüzey güneş kolektörünün kısımları 1. Selektif cam 2. Yutucu yüzey 3. Bakır borular 4. Yalıtım 5. Kasa	16
Şekil 5. Tabii dolaşımli açık sistemin şematik görünümü	18
Şekil 6. Pompalı kapalı sistemin şematik görünümü	19
Şekil 7. Pompalı açık sistemin şematik görünümü	19
Şekil 8. Tabii dolaşımli kapalı sistemin şematik görünümü	20
Şekil 9. Tipik güneş enerjili kurutma tasarımları	22
Şekil 10. Açıkta güneş enerjili kurutma çalışma prensibi	23
Şekil 11. Açıkta güneş enerjili kurutma	23
Şekil 12. Tipik dolaylı pasif güneş enerjili kurutucu	24
Şekil 13. Doğrudan pasif güneş enerjili kurutucu	25
Şekil 14. Güneş enerjili oda tipi kurutucu	26
Şekil 15. (a) Cam tavanlı sera tipi güneş enerjili kurutucu (b) Polietilen çadır tipi güneş enerjili kurutucu.....	26
Şekil 16. Tünel tipi güneş enerjili kurutucu	27
Şekil 17. Hibrit tip pasif güneş enerjili pirinç kurutucu	27
Şekil 18. (a) Hibrit tabii dolaşımli güneş enerjili ısı depolu kurutucu (b) Hibrit tip tabii dolaşımli güneş enerjili çok raflı kurutucu	28
Şekil 19. Dolaylı tip aktif güneş enerjili kurutucu	29
Şekil 20. Doğrudan tip aktif güneş enerjili kurutucu	29
Şekil 21. Tipik hibrit aktif güneş enerjili kurutucu	30
Şekil 22. Deney sistemi	31
Şekil 23. Deney sisteminin şematiği	32
Şekil 24. Düzlem yüzey güneş kolektörünün yutucu yüzeyinin Black 3.0 ile kaplanmış görünümü.....	33
Şekil 25. Halojen projektör	33
Şekil 26. Varyak	34
Şekil 27. Piranometre	34
Şekil 28. Data logger	35

Şekil 29. Debimetre.....	35
Şekil 30. Pompa.....	36
Şekil 31. Kondenser	37
Şekil 32. Düzlem yüzey kolektör	37
Şekil 33. Nem sensörü.....	38
Şekil 34. Hava hızı ölçüm cihazı.....	39
Şekil 35. Minitab programı ile yapılan deney planı görünümü.....	40
Şekil 36. 0,5 m/sn hava hızı için geleneksel ve Black 3.0 kaplamalı güneş kolektörün termal verim karşılaştırılması	43
Şekil 37. 1 m/sn hava hızı için geleneksel ve Black 3.0 kaplamalı güneş kolektörün termal verim karşılaştırılması	44
Şekil 38. 1,5 m/sn hava hızı için geleneksel ve Black 3.0 kaplamalı güneş kolektörün termal verim karşılaştırılması	45
Şekil 39. 2 m/sn hava hızı için geleneksel ve Black 3.0 kaplamalı güneş kolektörün termal verim karşılaştırılması	46
Şekil 40. Farklı ışınım değerleri için 0,5 m/sn hava hızında ve akışkan olarak SiO ₂ (%0,1) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması	47
Şekil 41. Farklı ışınım değerleri için 1 m/sn hava hızında ve akışkan olarak SiO ₂ (%0,1) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması	47
Şekil 42. Farklı ışınım değerleri için 1,5 m/sn hava hızında ve akışkan olarak SiO ₂ (%0,1) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması	48
Şekil 43. Farklı ışınım değerleri için 2 m/sn hava hızında ve akışkan olarak SiO ₂ (%0,1) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması	48
Şekil 44. Farklı ışınım değerleri için 0,5 m/sn hava hızında ve akışkan olarak SiO ₂ (%0,2) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması	49
Şekil 45. Farklı ışınım değerleri için 1 m/sn hava hızında ve akışkan olarak SiO ₂ (%0,2) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması	49

Şekil 46. Farklı ışınım değerleri için 1,5 m/sn hava hızında ve akışkan olarak SiO ₂ (%0,2) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması	50
Şekil 47. Farklı ışınım değerleri için 2 m/sn hava hızında ve akışkan olarak SiO ₂ (%0,2) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması	50
Şekil 48. Farklı hava hızı değerleri için 600 W/m ² ışınım ve akışkan olarak su kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması.....	51
Şekil 49. Farklı hava hızı değerleri için 600 W/m ² ışınım ve akışkan olarak SiO ₂ (%0,1) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması	52
Şekil 50. Farklı hava hızı değerleri için 600 W/m ² ışınım ve akışkan olarak SiO ₂ (%0,2) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması	53
Şekil 51. Farklı hava hızı değerleri için 700 W/m ² ışınım ve akışkan olarak su kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması.....	54
Şekil 52. Farklı hava hızı değerleri için 700 W/m ² ışınım ve akışkan olarak SiO ₂ (%0,1) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması	55
Şekil 53. Farklı hava hızı değerleri için 700 W/m ² ışınım ve akışkan olarak SiO ₂ (%0,2) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması	56
Şekil 54. Farklı hava hızı değerleri için 800 W/m ² ışınım ve akışkan olarak su kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması.....	57
Şekil 55. Farklı hava hızı değerleri için 800 W/m ² ışınım ve akışkan olarak SiO ₂ (%0,1) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması	58
Şekil 56. Farklı hava hızı değerleri için 800 W/m ² ışınım ve akışkan olarak SiO ₂ (%0,2) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması	59

Şekil 57. Farklı hava hızı değerleri için 900 W/m^2 ışınlım ve akışkan olarak su kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması.....	60
Şekil 58. Farklı hava hızı değerleri için 900 W/m^2 ışınlım ve akışkan olarak SiO_2 (%0,1) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması	61
Şekil 59. Farklı hava hızı değerleri için 900 W/m^2 ışınlım ve akışkan olarak SiO_2 (%0,2) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması	62
Şekil 60. Pareto grafiği.....	63
Şekil 61. SN ratio	64



KISALTMALAR DİZİNİ

E_{giren}	sisteme giren enerji
$E_{çıkan}$	sistemden çıkan enerji
ΔE_{sistem}	sistemdeki toplam enerjideki değişim
\dot{E}_{giren}	birim zamanda enerji girişi
$\dot{E}_{çıkan}$	birim zamanda enerji çıkışı
Q	ısı
W	iş
\dot{Q}	birim zamanda ısı geçişi
\dot{W}	birim zamanda iş geçişi
e_{giren}	birim kütle için enerji girişi
$e_{çıkan}$	birim kütle için enerji çıkışı
Δe_{sistem}	birim kütle için toplam enerjideki değişim
$W_{net,çıkan}$	sistemden çıkan net iş
$Q_{net,giren}$	sisteme giren net ısı
$\dot{W}_{net,çıkan}$	birim zamanda sistem sınırlarından geçen net iş
$\dot{Q}_{net,giren}$	birim zamanda sistem sınırlarından geçen net ısı
$Q_{çıkan}$	sistemden çıkan ısı
Q_{giren}	sisteme giren ısı
$W_{çıkan}$	sistemden çıkan iş
W_{giren}	sisteme giren iş
E_2	son enerji hali
E_1	ilk enerji hali
δE_{giren}	diferansiyel formda enerji girişi
$\delta E_{çıkan}$	diferansiyel formda enerji çıkışı
δe_{giren}	diferansiyel formda birim kütle için enerji girişi
$\delta e_{çıkan}$	diferansiyel formda birim kütle için enerji çıkışı
Z_L	performans istatistiği
Y_i	i. deneyin performansı
n	tekrar sayısı

GİRİŞ

Güneş enerjisi en önemli yenilebilir enerji kaynaklarından biri olup temiz ve dünyadaki mevcut enerjinin hemen hemen tamamını oluşturmaktadır. 1973 yılında meydana gelen petrol krizi sonucunda fosil yakıtların maliyetindeki dalgalanmalar ve çevresel olarak bozulmalar meydana gelmesi sebebiyle ısıtma, kurutma vb. alanlarda güneş enerjisinin kullanımının arttığı görülmüştür. Gıda kurutmada en eski yöntem olan doğrudan güneş ışınımına maruz bırakılarak açık havada kurutulmaya başlanmıştır. Ancak bu yöntem ile yapılan kurutma çalışmasında kullanılan gıda toz, kir, yağmur ve daha birçok zararlı etkenlerden korunamadığı için gıdaya hasar vermesi sebebiyle modern sisteme geçilerek güneş enerjili kurutma sistemleri geliştirilmiştir.

Güneş enerjili kurutma sistemleri güneş panelleri, güneş kolektörleri ve fotovoltaik sistemleri içerisinde barındırmaktadır. Düzlem yüzey güneş kolektörünün aydınlatıcı iç yüzeyi kara cisim kaplaması yapılması ve akışkan olarak nano akışkan kullanılması durumunda kurutma yapılıp güneş ışınımından maksimum oranda yararlanılması amaçlanmıştır. Bu konu hakkında literatürde sınırlı çalışma yapılmıştır.

Doğu Afrika'da yapılan bir çalışmada, geliştirilmiş bir kurutucu ve fotovoltaik ve elektrik enerjisinin bütünleşik olarak kullanıldığı bir kurutucu olmak üzere her iki kurutma durumu için kurutma performansları analiz edilmiş ve geleneksel açık güneşte kurutma (OSD) yöntemiyle karşılaştırılmıştır. OSD yöntemine göre ISD ve SPE kurutucuların ekonomik performans analizi yapılmıştır. Kurutma performansı sonuçları, OSD yöntemi için ortalama kurutma hava sıcaklığı 27.6°C iken ISD ve SPE kurutucular tarafından elde edilen ortalama kurutma hava sıcaklıkları sırasıyla 31.9°C ve 41.1°C olduğunu görülmüştür. Ortalama olarak, OSD, ISD ve SPE yöntemi için elde edilen termal enerji değerleri sırasıyla 2952, 3551 ve 5757 Watt'tır. OSD yöntemiyle alınan 30 saate karşılık ISD ve SPE kurutucuların meyve (ananas) ürünlerini etkili bir şekilde kurutması 10 ve 18 saat sürmüştür. Sonuçlar geliştirilmiş kurutucuların OSD yönteminden daha üstün performansını doğrulamaktadır (Mohammed *et al.* 2020).

Modifiye edilmiş bir güneş kolektörü plakası ve kurutma kabınınin bütünleşik olarak bulunduğu bir çalışmada Hibrit Dolaylı Pasif (HIP) güneş kurutucu geliştirilmiş ve geleneksel açık güneşte kurutma (OSD) yöntemine karşı daha iyi bir gıda kurutma alternatifi olarak sunulmuştur. Geleneksel bir aktif mod Solar Fotovoltaik ve Elektrik (SPE) kurutucuya ek bir

termal yedekleme sistemi imal edilmiştir. Ananas ve mango meyveleri kullanılarak HIP ve SPE kurutucuların kurutma performansı değerlendirilmiş ve geleneksel açık güneşte kurutma (OSD) yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Geliştirilmiş HIP kurutucunun kurutma verimliliği, SPE kurutucu ile karşılaştırılmış ve OSD yönteminden % 18 daha yüksek olduğu görülmüştür (Ssemwanga *et al.* 2020).

Belirli iklim koşullarında kuruyan gıda ürünlerinin incelenmesi üzerine yapılan bir çalışmada enerjiden bağımsız, aktif bir dolaylı güneş kurutma sistemi geliştirilmiş ve test edilmiştir. Parti başına maksimum kurutma kapasitesi yaklaşık 3 kg ıslak malzemedir. Kış sezonunda kolektörün içerisindeki ortalama hava sıcaklığı artışı 30°C olarak ölçülmüştür. Hava kolektörden geçtikten sonra ortamın bağıl nemi % 21'den % 15'e düşmüştür. Deney sırasında (30 saat) domates dilimlerinin nemi başlangıç değeri olan % 92'den % 22'ye düşmüştür. Maksimum dış sıcaklığın 17.6°C olduğu Aralık ayında 30 saat sonra ürünün denge nem içeriğine ulaşılmıştır. Domatesin kütle kaybı yaklaşık % 90 civarında olmuştur. Kurutucu giriş ve çıkışındaki ısıtılmış hava sıcaklığı ve nem, ortam sıcaklığı ve nem değerlerinin değişmesine bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca numune kalınlığı ile kurutma süresi arasında da doğru bir orantı olduğu görülmüştür. (Noori *et al.* 2019).

Güneş enerjili kurutma üzerine yapılan bir çalışmada, PV ile havalandırılan güneş sera kurutucularının Güneydoğu Asya Ülkelerinde ticari ölçekte kaliteli kuru meyve ve sebze üretimi için uygun olduğunu göstermiştir. Her durumda, güneş enerjili kurutucularının kullanılması, açık güneşte kurutmaya kıyasla kuruma süresinin kısılmasına neden olur ve güneş kurutucularında kurutulan ürünler her türlü dış tehditten korunmaktadır. Güneş enerjili kurutucu, elektrik şebekesinden bağımsız bir PV ile çalıştırılabilir. (Janjai *et al.* 2012).

Güneş enerjili kurutma üzerine yapılan başka bir çalışmada, önerilen güneş tüneli kurutucusunun ve fotovoltaik (PV) sistemin yıldız meyvesini kurutmak için performansını analiz etmektir. Güneş enerjisi ile kurutma odasının dış yüzeyindeki ısı yalıtım kaplaması, tünel kurutucunun ısı performansını artırmıştır. Sonuçlar, yıldız meyvenin kurumasının, sabit bir kuruma hızı periyodunun gözlemlenmediği düşen hız periyodunda gerçekleştiğini göstermiştir. Kalite analiz verileri, güneşte kurutulmuş örneklerde açık güneşte kurutulmuş örneklere göre daha yüksek değerler elde edildiğini ortaya koymuştur. Yıldız meyve dilimleri üzerinde yapılan duyu analizler (tat, aroma ve lezzet), güneşte kurutulmuş dilimlerin açık güneşte kurutulmuş örneklere göre daha iyi puanlar verdiğini göstermiştir (Kondareddy *et al.* 2020).

Poonia ve arkadaşları bir çalışmada, lif meyvesinin kurutma kapasitesini belirlemek amacıyla bir hibrit fotovoltaik / termal (PV / T) güneş kurutucu imal edilmiş ve ekonomik değerlendirmesini yapılmıştır. Bu meyvelerin güvenli seviye nem içeriği %20 olarak

belirlenmiştir. Kombine bir hibrit PV / T güneş kurutucuda lif kurutmanın davranışını tahmin etmek için dört farklı matematiksel model için değerlendirme yapılmıştır. Kurutucudan elde edilen nem oranı (MR) ve sıcaklığın deneysel verileri, dört deneysel kurutma modeline yerleştirilmiştir. Logaritmik modelin lifin ince tabaka kuruma davranışını açıklamak için en uygun olduğu bulunmuştur. Kurutucunun verimi % 16.7 olarak bulunmuştur. Geliştirilen hibrit PV / T kurutma sistemi, güneş enerjisinin verimli kullanılmasından kaynaklı olarak daha kısa sürede daha kaliteli ürünler üretilmesine olanak sağlamıştır. Hibrit fotovoltaiik termal (PV / T) güneş kurutucunun ekonomik değerlendirmesi, kurutucu ünitesini ekonomik olarak uygulanabilirliğini sağlayan uygun maliyetli hale getirdiğini ortaya koymuştur (Poonia *et al.* 2018).

Tiwari ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada, üzümün kurutulması için yarı saydam fotovoltaiik modül (SPVM) entegre sera güneş kurutma sistemi kullanılmıştır. Güneş yoğunluğu, buharlaşan nem, ortam hava sıcaklığı, üzüm yüzey sıcaklıkları, bağıl nem ve sera hava sıcaklığı vb. gibi saatlik deneysel bilgilere dayanarak, SPVM kurutma sistemi için ısı ve kütle transfer katsayısı değerlendirilmiştir. Üzümler için taşınım ile ısı transferi katsayılarının $3,1-0,84 \text{ W / m}^2 \text{ K}$ arasında olduğu görülmüştür. Ayrıca, üzümün kurutulması sırasında teorik ve pratik kütle transferi (buharlaşan nem) arasında korelasyon katsayısı ile eşit bir uyum vardır. Ayrıca, Henderson ve Pabis modeli, Newton modeli ve Page'in modeli gibi çeşitli kurutma modellerine uyması için doğrusal olmayan regresyon prosedürü kullanılmıştır. Analizden, Page'in modelinin SPV serasında üzümün kurutulmasının yanı sıra açık güneşte kurutmaya en uygun olduğu bulunmuştur. Net elektrik enerjisi, termal enerji ve eşdeğer termal enerji altı günlük kurutma süresince sırasıyla 3,61, 17,66 ve 27,15 kWh olarak bulunmuştur (Tiwari *et al.* 2018).

Güneş enerjili kurutma üzerine yapılan bir çalışmada, yeni bir hasat sonrası işleme yöntemi önerilen ve laboratuvar ölçekli bir doğrudan güneş enerjisi kurutucusu kullanılarak araştırılmıştır. Hurma numuneleri damıtılmış suya batırılmış ve ardından güneşte kurutma yöntemi ile kurutulmuştur. Önerilen üç kurutma geliştirilmesi: gölge altında kurutma (DUS), fotovoltaiik enerjili havalandırma (DSV) ile kurutma ve kombinasyon kurutma modu (DCM) test edilmiş ve doğal havalandırma kurutması (DNV) temel durumla karşılaştırılmıştır. Ölçülen hava kurutma sıcaklıkları $39,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ile $56 \text{ }^\circ\text{C}$ arasında değişiklik göstermiştir. Kurutma süresi standart nem içeriğine göre sırasıyla 5.25 ve 8 saattir. Kalite kriterleri ve işlem süresi ile ilgili olarak, en uygun işlem olarak kombinasyon kurutma modu (güneş havalandırmalı gölge altındaki ürün) seçilmiştir (Mennouche *et al.* 2014).

Güneş enerjili kurutma çalışması ile ilgili yapılan başka bir çalışmada ise biyolojik materyallerin kurutulması için üç orijinal cihaz tasarımı geliştirilmiştir. Birincisi, güneş enerjisinin doğrudan ve kombine kullanımıyla çeşitli biyolojik materyalleri kurutmak için iki tip mobil güneş kurutucu belirlenmiştir. İlki güneş enerjili kurutucuları kapsarken diğeri güneş hava toplayıcı ve rüzgar motorunun kombine olduğu bir tasarım olarak yapılmıştır. Kurutucunun bazı temel elemanlarını boyutlandırma prosedürü sunulmuş ve kurutulan malzemelerin parametrelerinin, kolektör yapısının ve iklimin nasıl olduğunu gösteren analizler verilmiştir. Ayrıca, radyasyon kaynağı ve kurutulan malzemenin özelliklerinin kurutma oranını ve kurutulmuş malzeme kalitesini nasıl etkilediğini gösteren analize göre önerilen mobil kurutucu tasarımının çalışma modlarının ve yapım parametrelerinin optimizasyonu sağlanmıştır (Topić *et al.* 2003).

Kara cisim kaplaması yapılan bir çalışmada ultra yüksek tepe güçlü lazer sistemleri, vakumda ışın yolunun güvenli bir şekilde sonlandırılmasına olanak tanıyan, yüksek düzeyde soğurucu ve hasarlı eşik ışın dökümleri gerektirmiştir. Yüksek güçlü lazer ışını boşaltma tasarımları için çeşitli optik malzemeler sunulmuştur. Çeşitli malzemelerin optik özelliklerini karakterize edilmiş ve hasar eşikleri ölçülmüş olup optimum ışın boşaltma performansları değerlendirilmiştir. Test edilen kiriş boşaltma malzemeleri, farklı optik yoğunluklara sahip kaplamalar ve soğurucu camlar, yüksek düzeyde emici (>% 99,8) kara cisim içermektedir. Lazer kaynaklı hasar eşiği (LIDT) testleri, belirli koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Hasar eşiğini belirlemek için iki farklı test yöntemi kullanılmıştır. Kara cisim kaplamalar, yüksek düzeyde emici ve metal alt tabakalar üzerinde uygulanabilirken, orta derecede bir ultra hızlı hasar eşiği göstermiştir. Yüksek optik yoğunluğa sahip soğurucu camlar daha yüksek hasar direncine sahiptir ve en yüksek yoğunlukta düşük tekrarlama oranı uygulamaları için kullanılabilir. Optik özellikleri ve LIDT sonuçlarını karşılaştırarak, bu ışın boşaltma malzemelerinin ultra hızlı yüksek güçlü lazer sistemleri için uygunluğu tartışılmıştır (Velpula *et al.* 2019).

Kara cisim kaplaması yapılan başka bir çalışmada altın kap, siyah kap ve çift kap olmak üzere üç farklı yöntem kullanılarak 2,1 ila 2,5 μm spektral aralık üzerinde 200°C ila 450°C sıcaklıklar arasındaki emisivite ölçümleri için bir cihaz sunulmuştur. Cihazın genişletilmiş belirsizliği 200°C'de 0,058 ve 450°C'de 0,030 ($k = 2$) olarak belirlenmiştir. Çeşitli belirsizlik kaynaklarının kapsamlı bir şekilde analiz edilmesiyle, her yöntemin en uygun ölçüm aralığı kantitatif olarak değerlendirilmiş ve belirlenmiştir. Altın kap yöntemi düşük emisyonlu malzemelerin ölçümü için daha iyi sonuç vermiştir, siyah kap ve çift kap yöntemleri ise diğer tüm salım gücü aralıkları için uygun bulunmuştur. Spesifik bir uygulama için en uygun ölçüm

yönteminin dikkatli bir şekilde seçilmesiyle, cihazın çok düşük bağıl genişletilmiş belirsizliğe ulaştığı görülmüştür. Cihaz kapasitesi, bazı uygulama alanları için doğru emisivite ölçümleri sağlamıştır (Zhu *et al.* 2020).

Zeider ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada, kullanılan malzemeler arasında bulunan kara cismin saçılma özelliklerinin, KAGRA'nın birçok alt sisteminde kullanılan Solblack'e kıyasla en göze çarpan olduğu görülmüştür Bununla birlikte, (yere dayalı) yerçekimi dalgası dedektörleri gibi zorlu ortamlarda kullanılabilirliği bir şekilde sınırlı kalmıştır. Gaz boşaltma hızı Solblack'inkinden 4 kat daha yüksektir.(2 gün vakumda bekletildikten sonra, bir alüminyum levha üzerindeki kara cisim için gaz boşaltma hızı $\sim 4 \cdot 10^{-6}$ Pa.m³.s⁻¹.m⁻² iken Solblack için ise $\sim 10^{-6}$ 'dır.) Bununla birlikte, kara cisim gelecekteki yerçekimi dalgası dedektörlerinde önemli bir saçılma bastırıcı kaplama olma olasılığı vardır, çünkü daha da artan bir hassasiyetle saçılma konusunun da artabileceğinden emin olunmuştur (Zeider *et al.* 2019).

Mezosferik Airglow / Aerosol Tomografi Spektroskopisi (MATS) adı verilen atmosferik araştırmalar için yeni bir uydunun eksen dışı üç aynalı teleskopunun kaçak ışık özelliklerini araştırmak için simülasyonlar ve ölçümler kullanılmıştır. Çalışmada kaçak ışıkların önüne geçebilmek için 700 mm'lik bir breadboard bölmesi tasarlanmış ve test edilmiştir. Bölmenin içi kara cisim ile kaplanarak normalden daha iyi bir performans elde edilmiştir. S-VIS cihazın algılama bandında (270-776 nm) % 0,2-0,6 yarı küresel yansımaya sahiptir. Tam boyutlu bölme devre tahtası için belirli bir noktada kaynak transmittansı (PST) ölçülmüştür. Breadboard sonuçlarından elde edilen verilere göre OpticStudio'da tüm cihazın uçuş temsili bir prototip için simülasyon modeli kurulmuştur (Hammar *et al.* 2018).

Nano akışkanın kolektör verimi üzerine etkisi incelenen bir çalışmada ısı transfer akışkanlarının termo-fiziksel özelliklerinin tasarımı ve modifikasyonu incelenmiştir. Ayrıca çalışmada entegre termal enerji depolama ve düz plakalı güneş kolektörlerinin termo-ekonomik performansındaki son gelişmeler incelenmiştir. Nano yağların, orta sıcaklık aralığında çalışan güneş enerjisi termal kolektörlerinin ısı transfer performansını artıracığı ortaya konulmuştur (Akhter *et al.* 2020).

Nano akışkanların kolektör verimi üzerine etkisi incelenen başka bir çalışmada, su/Al₂O₃ nano akışkan kullanılarak güneş kolektörlerine deneysel bir çalışma uygulanmış ve ardından sayısal simülasyonları yapılmıştır. Ayrıca, akış hızı ve hacim fraksiyonunun artmasıyla ısı transfer katsayısı yükselmiştir. Parabolik kolektörün termal verimliliğinin doğrudan nano-akışkan konsantrasyonuna bağlı olduğu görülmüştür; %0,1'den %0,3'e yükselmesi 2 L·dk debi için termal verimliliğin %26'dan %30,1'e yükseltilmesiyle sonuçlanmıştır (Naverdinzadeh *et al.* 2020).

Sabit termal akı sınır şartlarında, 700 µm çapında dairesel bir mikro kanalda SiO₂-saf su nano akışkanlarının termal performansları ve basınç düşüşleri deneysel olarak incelenmiştir. Konveksiyon katsayısı saf suya göre minimum %3.1 oranında artış %0.2 orana sahip nano akışkanda elde edilirken maksimum %10.6 oranında artış %1.2 orana sahip nano akışkanında gözlenmiştir (Bayram *et al.* 2019).

Nano akışkanların termal özellikleri ile ilgili yapılan bir çalışmada, % 0.2, % 0.4 ve % 0.8 olmak üzere üç farklı hacimsel oranda Al₂O₃ nano partikülleri baz akışkan olan saf su içerisine katılarak nano akışkanlar hazırlanmış ve daha sonra bu nano akışkanların termofiziksel özellikleri (ısıl iletkenlik, viskozite gibi) belirlenmiştir. Partikül hacim oranı ile orantılı olarak ısıl iletkenlik değeri artmıştır ve ısıl iletkenlik değerleri tüm karışım oranlarında baz akışkanın ısıl iletkenlik değerinden fazla olduğu belirlenmiştir. %0.2 hacimsel orana sahip Al₂O₃-su nano akışkanı için elde edilen ısıl iletkenlik değerleri Maxwell eşitliği ile karşılaştırıldığında % 2.66, Bruggeman modelinden % 2.69, Lu-Lin modelinden ise % 1.23 yüksek olduğu belirlenmiştir (Budak *et al.* 2017).

Nano akışkanların kolektör verimi üzerine etkisi incelenen diğer bir çalışmada, helisel insertlere sahip tube içerisinde çalışma sıvısı olarak Al₂O₃/su nanoakışkan kullanılan kolektörün ısı transferi, sürtünme özellikleri ve verimi analiz edilmiştir. Al₂O₃/su %0,1 nanoakışkan ile yapılan deneylerde oluşan türbülans sebebiyle nano partikülün yayılma hızı ve girdap akışı hızlandırılmıştır. Bu nedenle, güneş kolektöründe çalışma sıvısı olarak su ile karşılaştırıldığında Nusselt sayısı ve taşınım katsayısının sırasıyla %8,17 ve %6,86 oranında arttığı belirlenmiştir (Suthahar *et al.* 2020).

Kumar ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, düzlem yüzey güneş kolektörleri için grafen nano partikül kullanılarak verimlilik analizleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda referans durumuna kıyasla maksimum %16.06 termal verimlilik artışı elde edilmiştir (Kumar *et al.* 2021).

Nano akışkanın kolektör verimi üzerine etkisi incelenen bir çalışmada, çeşitli nano akışkanlar kullanan üç farklı tip güneş kolektörünün performansları teorik olarak araştırılmıştır. Ayrıca, iki farklı nano akışkanın iki farklı konsantrasyonu güneş kolektörlerinin performansları üzerinde incelenmiştir. Çalışma sonucunda önemli ölçüde daha yüksek termal iletkenliğe sahip olan MWCNT, en yüksek sıcaklık artışını göstermiş ve bunu nispeten düşük özgül ısıya sahip CuO nanoakışkan izlemiştir (Lee *et al.* 2021).

Önder ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, güneş kolektörlerinde termal performansı etkileyen önemli bir değişken olan çalışma akışkanı için amorf yapıdaki nano partiküller kullanılmış ve bu akışkanların performansa etkisi incelenmiştir. Nano akışkanların termal

sistemlerde ve özellikle ısı borularında iyi sonuçlar verdiği ve termal performansı dikkate değer derecede iyileştirdiği görülmüştür (Önder *et al.* 2019).

Kolektör veriminin iyileştirilmesi üzerine yapılan bir çalışmada, partikül konsantrasyonu ve partikül boyutu gibi ana etkili parametreler göz önünde bulundurularak, düzlem yüzey güneş kolektörlerinin termal performans iyileştirmesi üzerine yapılan son çalışmalar kısaca gözden geçirilmiştir. Nano akışkanlara genel bir bakış, sınıflandırma ve hazırlama yöntemleri kısaca sunulmuştur ve düzlem yüzey güneş kolektörlerinin termal performansları analiz edilmiştir (Al Yasiri *et al.* 2021).

Nano akışkanın kolektör verimi üzerine etkisi incelenen başka bir çalışmada, düzlem yüzey güneş kolektöründe Multi-walled carbon nanotube + Fe₃O₄ hibrit nano akışkan için deneysel analizler yapılmıştır. Kolektör termal verimliliğinin %28.09 artırıldığı belirtilmektedir (Saleh *et al.* 2021).

Nano akışkanın kolektör verimi üzerine etkisi incelenen diğer bir çalışmada, TiO₂ NPs-nano akışkan, TiO₂ NWs-nano akışkan gibi iki su bazlı nano akışkan numunesi hazırlanmış ve termofiziksel özellikleri deneysel olarak belirlenmiştir. 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 ve 0.5 L/dak debilerinde TiO₂ NP'ler kullanılarak maksimum verim artışı sırasıyla %5.5, %7, %8.3, %10.4 ve %12.2 olarak elde edilmiştir. Aynı debilerde TiO₂ NWs kullanılan durumda ise sırasıyla %7,8, %10,1, %13.9, %17,5 ve %21 oranlarında verimin artırıldığı belirtilmiştir (Hosseini *et al.* 2021).

Kolektörlerin verimleri üzerine yapılan bir çalışmada ise Konya iklim koşullarında deneysel veriler kullanılarak güneş radyasyonu, havanın kolektöre giriş, çıkış, cam örtü, yutucu plaka sıcaklıkları ve kolektör termal veriminin saatlik varyasyonları incelenmiştir. Çalışmada kolektörün en yüksek ısı verimi 0,069 kg/s hava debisinde öğle saatlerinde %76 bulunmuştur. Ayrıca havanın üç ayrı kütle debisinden elde edilen verilere göre, kolektörün ortalama ısı verimi %52 olarak belirlenmiştir (Darıcı *et al.* 2020).

Nano akışkanın kolektör verimi üzerine etkisi incelenen bir çalışmada ise nano akışkanların düzlem yüzey güneş kolektörlerinde kullanımı, performansını artırmanın etkili bir yolu olarak belirtmek mümkündür. Çünkü akışkanı ısı özelliklerinin iyileştirilmesi, güneş kolektörünün ısı verimini önemli ölçüde artırabilmektedir. Bu amaçla yapılan bir çalışmada Al₂O₃ ve TiO₂ için kolektör verimliliğindeki maksimum artış, sırasıyla referans sıvıya göre yaklaşık %22 ve %30'dur (Gad *et al.* 2021).

Nano akışkanın kolektör verimi üzerine etkisi incelenen başka bir çalışmada düz plakalı bir güneş kolektörün termal performansı ASHRAE standardı 93-2003'e göre karbon ve metal

oksit bazlı nano akışkanlar kullanılarak değerlendirilmiş olup, farklı ısı akılarında (597, 775 ve 988 W/m²), kütle akış hızları (0,8, 1,2 ve 1,6 kg/dak), giriş akışkan sıcaklıkları (30-50 C) ve ağırlık konsantrasyonları (0.025-0.2%) için deneyler yapılmıştır. Çalışma sonucunda düz plakalı güneş kolektörünün termal verimliliği değerleri suya kıyasla sırasıyla %17,45 > %13,05 > %12,36 olarak bulunmuştur (Akram *et al.* 2021).

Nano akışkanın kolektör verimi üzerine etkisi incelenen diğer bir çalışmada ise CuO, Al₂O₃ ve TiO₂ bazlı nano akışkanlar çeşitli çalışma modları altında enerji verimliliği açısından karşılaştırılmıştır. Çalışma sıvısının nano partikül oranı ve kütle akış hızı sırasıyla %0-3 ve 0.018-0.036 kg/s aralığındadır. CuO-bazlı nano akışkanın, baz akışkan (su) ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 2,7 ve %11,1 olarak enerji verimliliğinde artış oluşturduğu belirtilmiştir (Allouhi *et al.* 2021).

Yousefi ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada, çalışma akışkanı olarak Al₂O₃-su nano akışkanı kullanılan düzlem yüzey güneş kolektörünü deneysel olarak incelenmiştir. Partikül boyutu 15 nm olan nano akışkanın ağırlıkça oranı %0.2 ve %0.4 olarak belirlenmiştir. Nano akışkanın kütleli debisi 1 ile 3 lt/dk arasında değişmiştir. Sonuç olarak ağırlıkça %0.2 oran ile yapılan deneyler için verimlilik %28.3 artmıştır (Yousefi *et al.* 2012).

Isı transfer özelliklerinin iyileştirilmesi ile ilgili yapılan bir çalışmada, düzlem yüzey güneş kolektörü için termal performans değerlendirilerek ve titreşim kullanılarak ısı transferinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Termal performansı iyileştirmek için on farklı yöntem kullanılmıştır. Sonuç olarak titreşim kullanılarak yapılan deneylerde ısı transferi yaklaşık %78 civarında artırılmıştır (Shamsual *et al.* 2020)

Nano akışkanın kolektör verimi üzerine etkisi incelenen diğer bir çalışmada, aynı koşullar altında nano akışkanların metal oksitleri ile karşılaştırıldığında karbon esaslı nano akışkanların kullanımının, düzlem yüzey güneş kolektörünün enerji veriminde büyük bir iyileşme sağladığı belirtilmiştir (Alawi *et al.* 2020).

Nano akışkanın kolektör verimi üzerine etkisi incelenen başka bir çalışmada ise referans akışkan olarak Therminol-55 ve nano katkı maddesi olarak Al₂O₃ ve TiO₂ içeren hibrit nano akışkanlar parabolik oluklu toplayıcılar için incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre termal iletkenlik, sıcaklıkla ve nano partikül konsantrasyonunun artışıyla bir artış sergilemiştir. Ağırlıkça %0.5 konsantrasyonlu hibrit Al₂O₃ ve TiO₂ Therminol-55 nano sıvı kullanıldığı durumda maksimum 0.15 W/mK ısı iletkenlik gözlemlenmiştir (Gulzar *et al.* 2021).

Isı transferi, sürtünme faktörü ve kolektör verimliliği bir düzlem yüzey güneş kolektöründe çok duvarlı karbon nanotüpler+Fe₃O₄ hibrit nano akışkanları kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel olarak, 0.1 ile 0.75 L/dk debilerinde ve %0.05 ile %0.3 arasında çeşitli konsantrasyonlarda gerçekleştirilmiştir. Hibrit nano akışkanların farklı sıcaklık ve konsantrasyonlarda viskozitesi ve termal iletkenliği deneysel olarak ölçülmüştür. Hibrit nano akışkanların kolektörlerde daha iyi termal verimlilik elde edilebilmesinin nedeni geliştirilmiş termofiziksel özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak Nusselt sayısı, ısı iletim katsayısı ve sürtünme faktörü, maksimum güneş radyasyonunda %0.3 hacim konsantrasyonunda ve 60°C su verilerinde % 18.68, % 39.22 ve % 18.91 oranında arttığı belirtilmiştir (Saleh *et al.* 2021).

Nano akışkanın kolektör verimi üzerine etkisi incelenen bir çalışmada akışkanın %1'e kadar hacimsel yoğunluğa sahip SiO₂/etilen glikol-su nano akışkan kullanılan düzlem yüzey güneş kolektörü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Güneş kolektörünün termal verimi 0,018 ile 0,045 kg/s arasındaki kütleli debiler için elde edilmiştir. Çalışmada, SiO₂ nano parçacıklarının, diğer nano parçacıklara kıyasla düşük ısı iletkenliğine rağmen güneş kolektörünün verimliliğini artırma potansiyelinin daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Meibodi *et al.* 2015).

Nano akışkanın kolektör verimi üzerine etkisi incelenen başka bir çalışmada ise Cu/su, Al₂O₃/su, TiO₂/su ve SiO₂/su olmak üzere dört farklı nano akışkan kullanılarak mini kanal tabanlı bir güneş kolektörünün performansını değerlendirmek amacıyla analitik bir analiz yapılmıştır. Çalışma sonucuna göre, en yüksek ısı transfer katsayısını Al₂O₃/su nano akışkanının gösterdiği, en düşük değerin ise SiO₂/su ile elde edildiği belirtilmiştir (Mahian *et al.* 2021).

Nano akışkanın kolektör verimi üzerine etkisi incelenen diğer bir çalışmada, U-tüplü bir güneş kolektörünün termal performansını analiz edilmiştir. Çalışmada referans akışkan olarak %20 konsantrasyona sahip PG (propilen glikol)-su akışkanı kullanılmıştır. MWCNT, Al₂O₃, CuO, SiO₂ ve TiO₂ gibi çeşitli nano akışkanlar için güneş kolektörü verimliliği hesaplanarak enerji tasarrufu belirlenmiştir. Sonuç olarak, nano akışkan konsantrasyonu arttıkça termal iletkenliğin arttığı belirtilmiştir. Güneş kolektörünün verimliliği ise sırasıyla: MWCNT, CuO, Al₂O₃, TiO₂ ve SiO₂ olarak belirtilmiştir (Kim *et al.* 2016).

Nano akışkanın kolektör verimi üzerine etkisi incelenen farklı bir çalışmada, düzlem yüzey güneş kolektörü kullanılarak SiO₂, Al₂O₃ ve grafin nanosivilerinin performansı incelenmiştir. MATLAB programı kullanılarak enerji verimliliği teorik olarak karşılaştırılmıştır. Çalışma, farklı hacim oranları (%0,25, %0,5, %0,75 ve %1), farklı kütleli debi (0,0085, 0,017 ve 0,0255 kg/s) ve güneş ışınımı (500, 750 ve 1000 W/m²) parametreleri

kullanılarak yapılmıştır. Nano akışkanlar standart çalışma sıvılarına kıyasla daha iyi termofiziksel özellikler göstermiştir. Çalışma sonuçlarına göre kullanılan nano akışkanların termal verimliliklerinin 64.45%-76.56% aralığında olduğu belirtilmiştir (Liu *et al.* 2020).

Zahra ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada, Al_2O_3 , SiO_2 ve CuO gibi nano partiküllerin farklı hacimsel konsantrasyonlarda düzlem yüzey güneş kolektörünün tasarımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Referans akışkan olarak su kullanılmış ve nano akışkanların her biri için optimum parametreler elde edilmiştir (Zahra *et al.* 2020).

Nano akışkanın kolektör verimi üzerine etkisi incelenen bir çalışmada, düzlem yüzey bir güneş kolektörü içerisinde kullanılan Al_2O_3 , CuO , SiO_2 ve TiO_2 nano partiküllerinin performansı, entropi üretimi, ısı transferini artırması ve basınç düşüşü gibi parametreler göz önünde bulundurularak incelenmiştir. Bu nano akışkanlar, sırasıyla %1-4 ve 1-4 L/dk aralığında ve farklı nano partikül hacim yoğunluklarına göre analiz edilmiştir (Alim *et al.* 2013).

Taguchi metodu ile sistem optimizasyonu sağlanan bir çalışmada, ortogonal dizilere dayalı olarak düzlem yüzey güneş kolektörünün kalite karakteristiğinin içerisinde verimlilik katsayısını ve ısı yayma faktörünü barındırdığı belirtilmiştir. Her bir kalite karakteristiğine ilişkin veriler elde edildikten sonra, bu kalite özellikleri üzerinde önemli etkileri olan parametreleri belirlemek için bir takım analizler yapılmıştır. Üç doğrulama testi yapılmış olup sonuçlar, verimlilik katsayısı ve ısı yayma faktörünün ortalama değerlerinin %95 CI (güven aralığı) içinde olduğunu göstermiştir (Kuo *et al.* 2011).

Taguchi metodu ile sistem optimizasyonu sağlanan diğer bir çalışmada ise öngörülen yeni bir bileşik sistemin uygulanabilirliğini incelemek için, fotovoltaiik ünite, düzlem yüzey güneş kolektörü, fotovoltaiik termal modül ve bileşik sistem dahil olmak üzere dört sistemin performansı, geçici bir üç boyutlu model kullanılarak sayısal olarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca, optimum değerleri ve çalışma koşullarının katkısını göstermek için Taguchi tabanlı bir araştırma kullanılmıştır (Kazemian *et al.* 2021).

Bhalla ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada, kolektörün yüksekliği, nano akışkan kütle debisi, güneş ışınımı, nano parçacık kütle oranı ve kolektörün uzunluğu olmak üzere beş farklı faktördeki varyasyonun güneş kolektörünün genel performansı üzerindeki etkisi Taguchi yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuçlar, iki faktörün (kolektörün uzunluğu ve gelen güneş akısı) güçlü bir artış eğilimi gösterdiğini, bir faktörün (nano parçacık kütle oranı) çıkışta (çıkış kolektör sıcaklığı) optimize edici bir eğilim gösterdiği belirtilmiştir (Bhalla *et al.* 2019).

Taguchi yöntemi kullanılarak parabolik oluklu kolektörün (PTC) performansını ve ısı transfer özelliklerini geliştirmek için kütle debisi, absorber çapı ve absorber malzemesi gibi çeşitli çalışma parametreleri optimize edilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışmada seçilen parametrelerin seçilen yanıtlar üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ve doğrulama sonuçlarının düzlem yüzey güneş kolektörün performans özellikleri üzerinde önemli bir gelişme gösterdiği belirtilmiştir (Prakash *et al.* 2018).

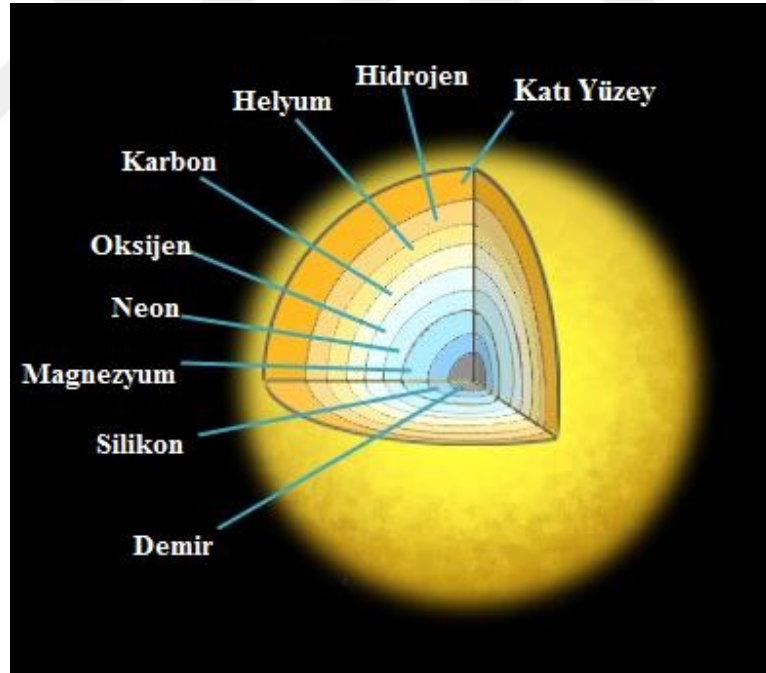
Literatür taraması sonucunda düzlem yüzey güneş kolektörünün kontrol hacminin kara cisim kaplaması yapılmasıyla ilgili bir incelemeye rastlanmamıştır. Bu çalışmada düzlem yüzey güneş kolektörünün kara cisim kaplaması yapılması ve akışkan olarak nano akışkan kullanılması durumunda kurutma süresine olan etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda literatürde bulunan çalışmalar incelenmiş olup bu çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Çalışma kapsamında, güneş enerjisi ile ilgili tanımlamalar, kullanım alanları, kurutma çalışması gibi genel konular, tez çalışmasında kullanılan sistem ve malzemelerin teorik ve deneysel uygulamalarla yanıtlarını içerecektir.

KURAMSAL TEMELLER

Güneş Enerjisi

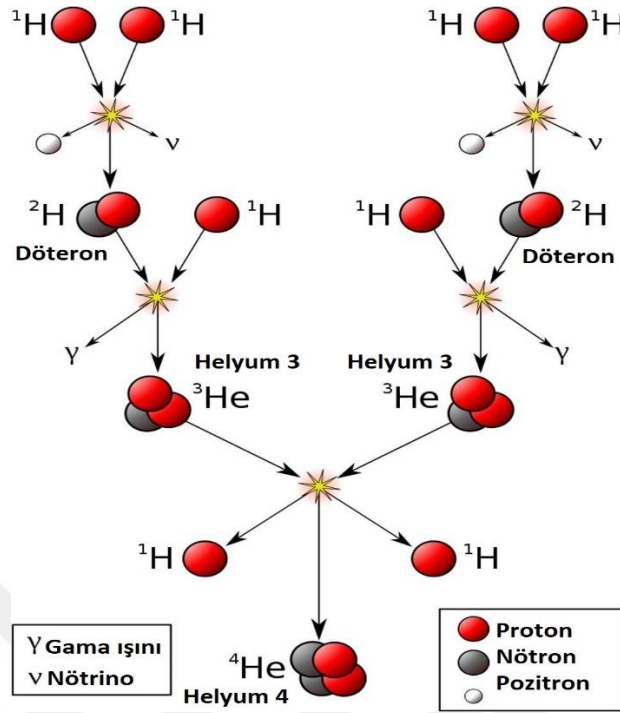
Güneş, enerjisini ışına yoluyla her yöne eşit bir biçimde yaymaktadır. Güneşe ait radyasyon enerjisi, atmosferde ve yeryüzünde bulunan biyolojik ve fiziksel etkileşimlerini şekillendiren başlıca bir enerji kaynağıdır (Kılıç *et al.* 2015). Güneş kütlelerinin %78,5'ini hidrojen, % 19,7'sini helyum, % 0,86'sını oksijen, % 0,4'ünü karbon, % 0,14'ünü demir ve % 0,54'ünü de diğer elementler oluşturmaktadır (Anonim 2021a). Güneşin kütlesi yaklaşık olarak 1.99×10^{30} kg olup yüzey sıcaklığı 6000 K'dir. Güneşin inanılmaz derecedeki yüksek sıcaklıklarda bir saniyede yayılan radyasyon enerjisi, tahminen 4×10^{23} kW'tır. Güneşten dünyamıza gelen enerji, oldukça uzun bir mesafe olmasına rağmen 8 dakikada kat edilmektedir. Yerküre ise dünya üzerinde bir yılda üretilen net enerjiye eşit bir enerjiyi güneş ışınlarından absorbe etmektedir (Kılıç *et al.* 2015).



Şekil 1. Güneş kütlelerini oluşturan elementler (Anonim 2021b)

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde meydana gelen füzyon reaksiyonu, yani 4 hidrojen protonu bir araya gelerek helyum çekirdeğine dönüşmesi ile gerçekleşen bu reaksiyon sonucunda 1 helyum çekirdeğinin kütlesi 4 hidrojen protonunun kütlesinden daha az olduğu için kütle kaybı nedeniyle açığa çıkan ışın enerjisidir. Kütlelerin enerjiye dönüşen kısmı ışınım

olarak uzaya yayılmaktadır. Bu olay sürekli olarak devam edeceğinden güneş, dünyamız için tükenmeyen ve sınırsız bir enerji kaynağıdır.



Şekil 2. Füzyon reaksiyonu (Anonim 2021c)

Atmosfere gelen güneş ışınımının yaklaşık %17.5'i ortamı ısıtmak için kullanılmaktadır. Diğer bir kısmı yerden yansyarak yine uzaya dönmektedir. Kalan % 47.5'lik kısmı ise yerküreye düşerek ısıya dönüşmektedir. Güneş enerjisi genellikle ısı elde etmek ve elektrik üretmek amacıyla kullanılmaktadır (Kılıç *et al.* 2015).

Güneş enerjisi kullanımının avantaj ve dezavantajları

Güneş enerjisini kullanımında bir takım avantaj ve dezavantaj ile karşılaşmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda belirtilmiştir:

Güneş enerjisinin kullanımının avantajları;

- Bitmeyen ve sınırsız bir enerji kaynağıdır.
- Temiz bir enerji kaynağı olup gaz, karbon monoksit, duman vb. çevreyi kirletebilecek atıkları yoktur.
- Enerjiye ihtiyaç duyulabilen hemen hemen her uygulamada kullanılabilir.
- Güneş enerjisi herhangi bir ekonomik maliyete tabi değildir.
- Güneş enerjili sistemler çalışırken ses çıkarmadığından dolayı gürültüye neden olmamaktadır.

- Kolay kurulabilen sistemler olup enerji ihtiyacı artması durumunda hızlı ve kolay bir şekilde genişletilebilirler.
- Herhangi bir yakıt maliyeti yoktur.

Güneş enerjisinin kullanımının dezavantajları;

- Güneş enerjili birçok sistemin ilk kurulum maliyetleri çok yüksek olması nedeniyle uzun geri dönüş sürelerine sahiptir.
- Güneş sürekli olmadığından depolamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak depolama için ise ayrıca maliyet gerekmektedir.
- Güneş pillerinin verimleri düşüktür.
- Güneş enerjisi verimini bulutlu havalar, güneşin yönü gibi parametreler direkt etkilemektedir.
- Yüzeze gelen güneş radyasyonu az olduğundan dolayı geniş toplayıcı yüzeylere ihtiyaç duymaktadır.
- Geceleri güneş olmadığından dolayı enerji üretememektedir.

Güneş enerjisinin kullanım alanları

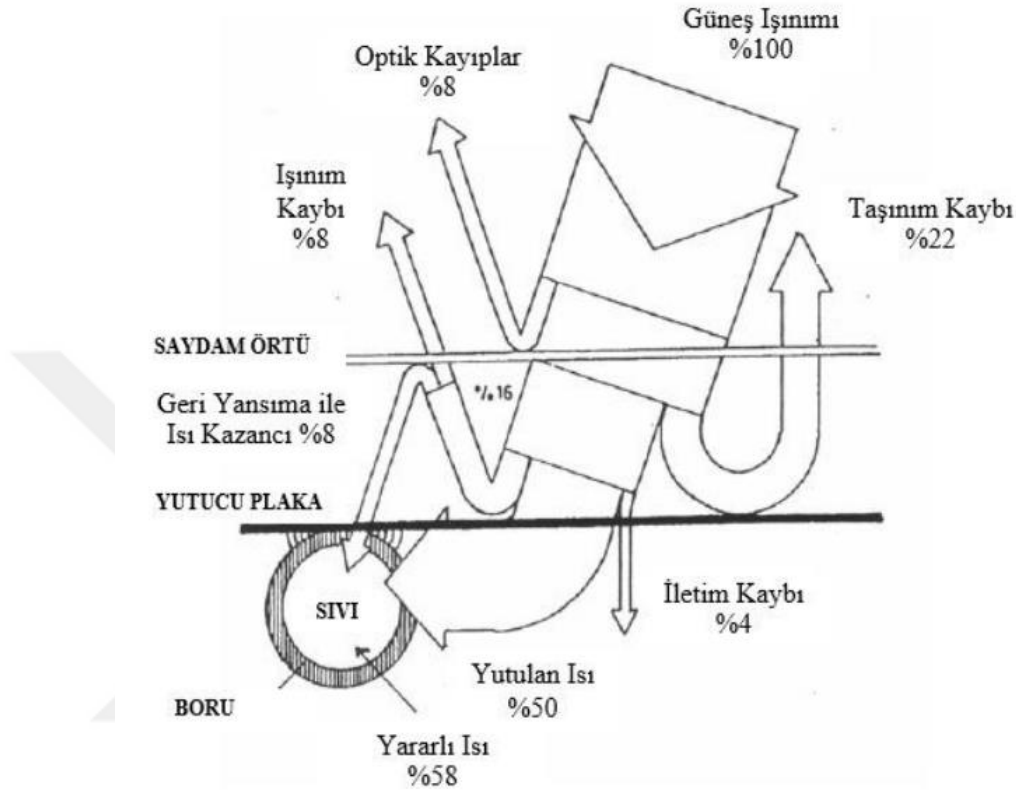
Güncel olarak gelişen ve gelişmekte olan teknolojinin gelişim süreciyle paralel olarak güneş enerjisi sistemlerinin kullanım alanları da artmakta ve farklı alanlarda yer almaktadır. Bunlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- Konutların ve farklı binaların elektrik gereksiniminin üretilmesinde,
- Farklı mahallerin ısıtılması ve kullanım için sıcak su elde edilmesinde,
- Soğutma gibi iklimlendirme uygulamalarında,
- Kurutma ve nem alma proseslerinde,
- Su damıtılması proseslerinde,
- Karayollarının ve caddelerin ışıklandırılmasında,
- Trafik uyarı işaretlerinin ve lambalarının elektrik ihtiyaçlarının karşılanmasında,
- Yapay uydularda ve güneş kulelerinde,
- Henüz prototip aşamasında olan güneş arabalarında. (Anonim 2021d)

Güneş enerjisi kolektörleri

Güneş enerjisi sistemlerinin en temel elemanlarından biri güneş kolektörleridir. Güneş kolektörlerine gelen güneş radyasyonu, ısıya dönüşmektedir. Bu ısının bir kısmı saydam örtüden yansır, bir kısmı yutulur ve geriye kalan kısmı yutucu plakaya ulaşır. Yutucu plaka ile etkileşimde olan malzeme ısının bir kısmını taşıyıcı akışkana geçer. Taşıyıcı akışkana geçen

ısıya yararlı ısı denilmektedir. Ancak, yararlı ısı ve yüzeyde depolanan ısının haricindeki ısı ortama geçmektedir. Ortama gerçekleşen ısı kaybı, güneş ışınımı şiddeti, hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, kolektörün tipi, yerleşimi, özellikleri gibi değişkenlere bağlıdır. Şekil 3'te kolektör yüzeyine düşen doğrudan ve yayılı güneş ışınlarının belli bir kısmı ısıya dönüşürken, geri kalanı da radyasyon, konveksiyon ve iletimle çevreye geçerek kaybedilmektedir. (Yılancı *et al.* 2019)



Şekil 3. Bir güneş kolektörünün ısıl analizi (Yılancı *et al.* 2019)

Ayrıca güneş kolektörleri güneş ışınımından topladığı kullanılabilir enerjiyi çeşitli akışkanlara (su, hava, yağ vs.) ileterek farklı bir ortama ileten bir elemandır (Değirmencioğlu, 2003).

Enerji toplama niteliklerine göre sabit ve odaklanabilen kolektörler olmak üzere iki tip kolektör vardır (Özgen, 2007). Isı aktarma türlerine göre de sıvılı ve gazlı olmak üzere iki tip vardır (TSE, 1983).

Sabit Kolektörler

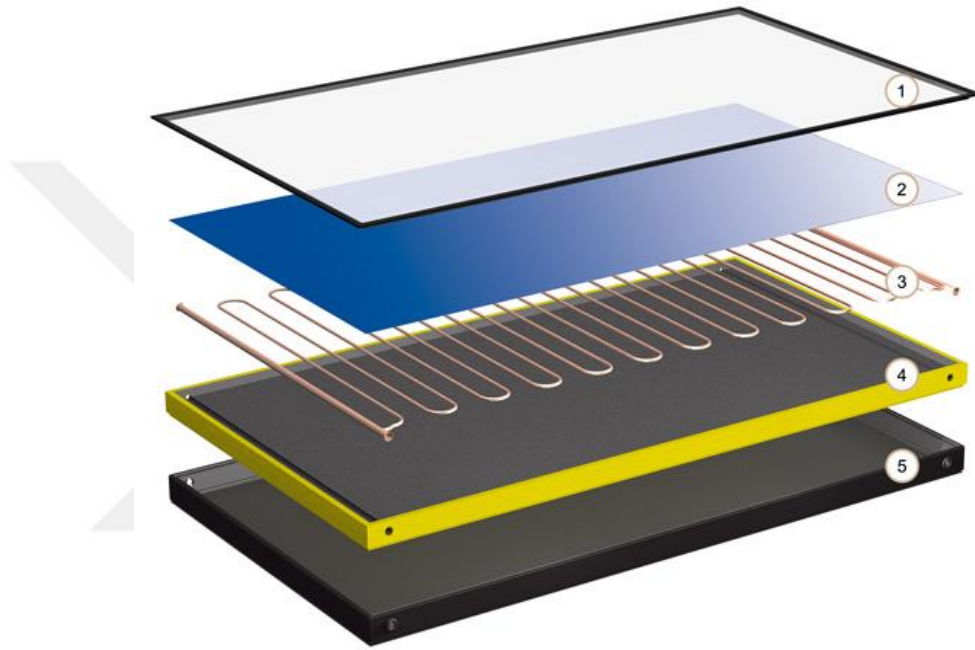
Sabit güneş kolektörleri hareketsizdir ve güneşi izlemezler. Sabit güneş kolektörleri üçe ayrılmaktadır. Bunlar;

1. Düzlemsel güneş kolektörleri
2. Parabolik güneş kolektörleri
3. Vakumlanmış borulu kolektörler (Şener, 2013)

Düzlemsel yüzey güneş kolektörleri

Uygulamada kullanılan düzlemsel kolektörler beş ana kısımdan oluşur. Bunlar;

1. Güneş ışınımını geçiren ve üstten ısı kaybını önleyen bir veya çok sayıdaki saydam örtü
2. Enerji toplamak amacıyla kullanılan yutucu yüzey
3. Isı taşıyıcı akışkan borular
4. Yutucu yüzeyin güneş görmeyen parçalarının ısı yalıtımı
5. Kolektör kasası (Koçyiğit, 2008).



Şekil 4. Düzlem yüzey güneş kolektörünün kısımları 1. Selektif cam 2. Yutucu yüzey 3. Bakır borular 4. Yalıtım 5. Kasa (Anonim, 2021e)

Saydam örtü

Saydam örtü kullanılmasının amacı taşınım ile meydana gelen ısı kaybını azaltmaktır. Ayrıca yutucu yüzeyi birçok olumsuz etkenden korumaktadır.

Saydam örtüden beklenen özellikler;

- a. Güneş ışınımının çoğunluğunu geçirmeli,
- b. Isıl yansımayı önlemeli,
- c. Aşınmamalı,
- d. Sıcaklıkla deformasyona uğramamalı,
- e. Dayanıklı olmalı,
- f. Kolay kırılmamalı,
- g. Ultraviyole ışınımdan bozulmamalı,

- h. Ağır olmamalı,
- j. Ekonomik olmalıdır. (Kılıç ve Öztürk, 1984).

Yutucu yüzey

Güneş ışınımını yutan ve ısıyı borulardaki akışkana ileten parçadır. Yutucu yüzeyde ısı transferini hızlandırmak için ince levha ve yüksek katsayılı malzeme seçilmesi gerekmektedir. Güneş kolektörlerinde yutucu yüzey olarak genelde, bakır, alüminyum ve paslanmaz çelik kullanılmaktadır.

Yüzeyin yutma oranı, geliş açısına bağlı olarak değişmekte olup normal doğrultudaki güneş ışınımı yutma oranları 0,9-0,95 mertebesindedir. (Sakallı, 2005)

Akışkan taşıyıcı borular

Akışkan taşıyıcı borular, güneş kolektöründe kullanılabilir ısıyı akışkan aracılığıyla dolaştıran ve böylece ısının iletilmesini sağlayan ekipmandır. Sıvı kolektörlerde, akış boruları yutucu yüzeyin tüm yüzeyini kaplamaz. Bu nedenle ısı, emici plaka iletim yoluyla akış borularındaki sıvıya ulaşmak zorundadır. Bu borular emici plaka üzerine aralıklı olarak yerleştirilmektedir. (Sakallı, 2005)

Isı yalıtım malzemesi ve kolektör kasası

Yalıtım malzemesi kullanılmasının amacı kolektörün en sıcak parçası olan yutucu yüzeyin dış ortam ile ilişkisinin kesilmesini sağlanmasıdır. Bunun için bazı poliüretan köpükler, cam yünü vb. yalıtkanlar kullanılmaktadır. (Sakallı, 2005)

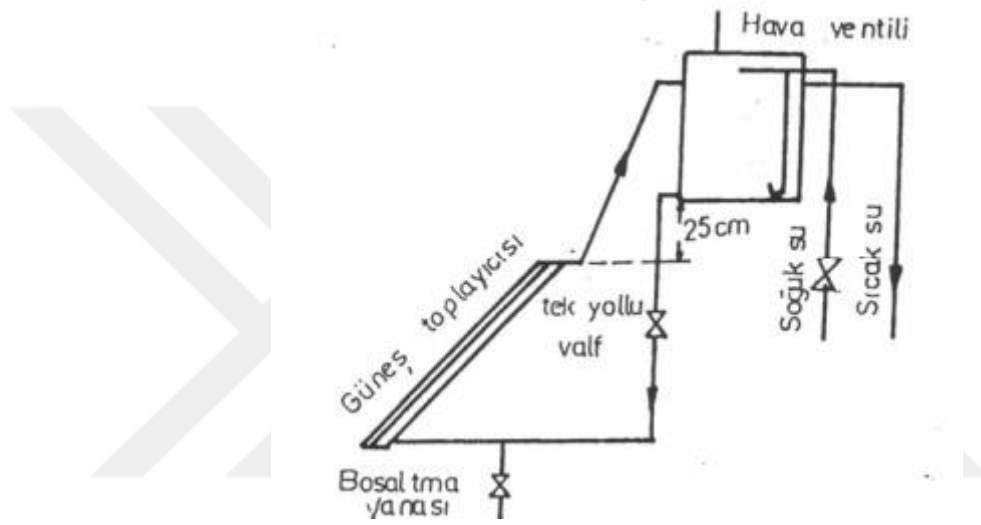
Kolektör kasaları ahşap ve metal olmak üzere iki tip olabilmektedir. Ancak ahşap kasa sıcaklık değişimlerinden etkilenmesi sebebiyle tercih edilmemektedir. Daha çok metal kasalar tercih edilmektedir. Bunun sebebi ise dayanıklı ve uzun ömürlü olmasından kaynaklanmaktadır. Isı iletim katsayıların yüksek olması bir dezavantaj olarak görülse de yutucu levha alttan yalıtılması durumunda bu sorun ortadan kalkmaktadır (Sakallı, 2005).

Düzlem yüzey güneş kolektör sistemleri

Güneş kolektörlü sistemler doğal dolaşimli ve zorlanmış dolaşimli olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar.

Tabii Dolaşımli Sistemler

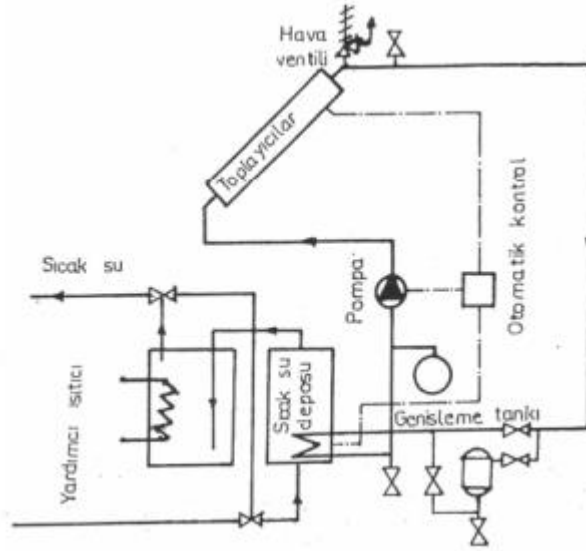
Tabii dolaşımli sistemler ısı transfer akışkanının herhangi bir itici güç olmadan doğal olarak dolaştığı sistemlerdir. Kolektörlerde ısınan akışkanın özkütlesinin artma ve azalma niteliğine dayanmaktadır. Doğal dolaşımli sistemlerde akışkan tankı kolektörün üst seviyesinden en az 30 cm yukarıda olması gerekmektedir. Deponun yukarıda olma zorunluluğu nedeniyle büyük sistemlerde kullanımı tercih edilmemektedir. Deponun alt seviyesinden alınan akışkanın kolektörlerde ısınarak akışkan tankının bulunduğu üst seviyelere çıkarmaktadır. Cebri sistemlere göre daha ucuzdur. Şekil 5'te doğal dolaşımli açık sistemin şematik olarak görünümü verilmiştir (Kaan, 2006).



Şekil 5. Tabii dolaşımli açık sistemin şematik görünümü (Karaçavuş, 2001)

Pompa (Cebri) sistemler

Isı transfer akışkanının sistemde pompa yardımıyla zorlanmış bir şekilde dolaştırıldığı sistemlerdir. Tabii dolaşımli sistemlerin aksine deponun kolektör seviyesinin üzerinde olma zorunluluğu yoktur. Büyük sistemlerde kullanılmaktadır. Örneğin apartmanların toplu su ısıtma sistemlerinde pompalı sistemler tercih edilmektedir. Bunun sebebi ise büyük bir deponun çatıya montajının zor olmasından kaynaklanmaktadır (Kaan, 2006).

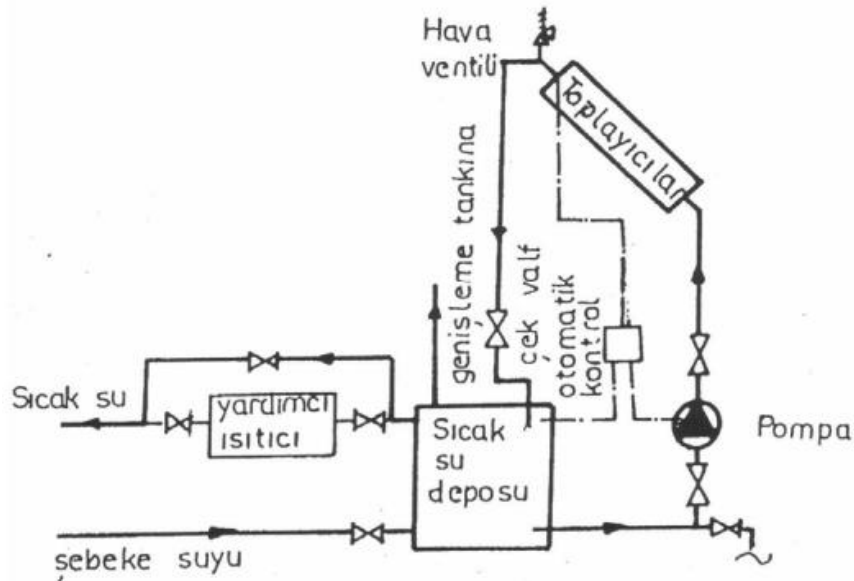


Şekil 6. Pompalı kapalı sistemin şematik görünümü (Karaçavuş, 2001)

Cebri sistemler otomatik kontrol devresi aracılığıyla çalışırlar. Depo tabanına ve kolektör çıkışına olmak üzere iki tane termostatın sensörü yerleştirilmiştir. Bu sayede kolektörlerdeki akışkanın depodaki akışkandan 10°C daha sıcak olması halinde pompayı çalıştırarak sıcak akışkanı depoya alır, bu fark 3°C olduğunda ise pompayı durdurmaktadır (Kaan, 2006).

Açık Sistemler

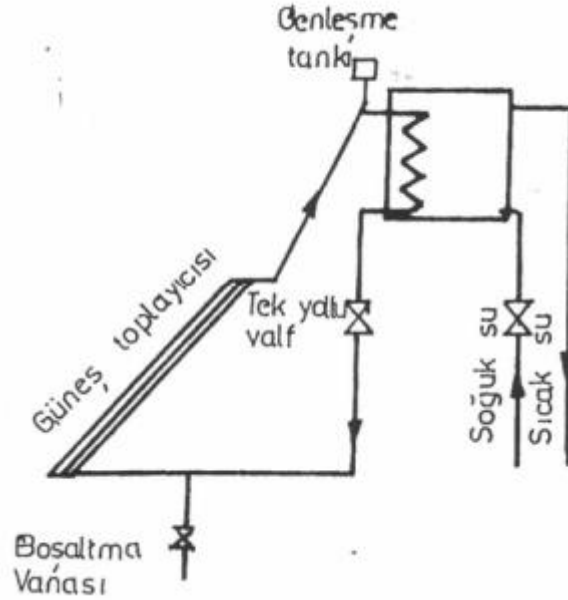
Kullanım suyu ile kolektörler de dolaşan suyun aynı olduğu sistemlere açık sistemler denir. Kolektör içerisinde güneşten gelen ışınımın etkisi ile akışkan ısınmaktadır. İstenilen sıcaklığa gelmesi durumunda ya da ısıtıldığı yerde direkt olarak depolanan sistemlerdir. Kapalı sistemlere göre verimleri yüksek ve maliyeti ucuzdur (Kaan, 2006).



Şekil 7. Pompalı açık sistemin şematik görünümü (Karaçavuş, 2001)

Kapalı sistemler

Kullanım suyu ile kolektörlerde dolaşan akışkanın ayrı ayrı olduğu sistemlere kapalı sistem denir. Kolektörlerde ısınan akışkanın bir ısı değiştiricisi yardımıyla ısısını kullanım suyuna aktarır. Açık sistemlere göre maliyeti daha fazladır. Ancak verimleri açık sistemlere göre daha düşüktür. Bunun sebebi ise ısı değiştirici kullanılmasıdır (Kaan, 2006).



Şekil 8. Tabii dolaşımli kapalı sistemin şematik görünümü (Karaçavuş, 2001)

Kurutma kavramı

Gazlardan, sıvılardan veya katılardan su veya diğer sıvıların uzaklaştırılması işlemine kurutma denir (Güngör ve Özbalta, 1997). Başka bir deyişle gıdaların % 80 ila % 90 oranındaki su miktarının ısı uygulamalarıyla % 10 ila %20 seviyelerine kadar düşürülmesidir. (MEB, 2019)

Kurutma işlemi ısı ve kütle iletiminin aynı zaman diliminde gözlenen kompleks bir işlemdir. İşlem sırasında ısıtılan hava kurutma makinesinde kurutulacak gıdaya doğru ısı iletimi gerçekleşmektedir. Kurutmada gıdanın kullanım özelliklerinin olumsuz etkilenmesinden dolayı son kurutma sıcaklığının çok mühim olduğu kabul edilmektedir. Bu sebeple kurutma işleminin düzenli bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Kurutma havası için belirli sıcaklık, bağıl nem ve debi değerleri gereklidir. Böylelikle belirli özellikleri verilen kurutma havası hem gıdanın sıcaklığının ve buharlaşma gizli ısısının artışı, hem de buharlaşan suyun (nemin) buharlaşma yüzeyinden uzaklaştırılmasını sağlamaktadır (Güngör, 2010).

Tablo 1. Bazı Ürünlerin Kurutma Koşulları (Anonim 2021f)

Ürün adı	Nemlilik (yaş esas)		Maksimum kurutma sıcaklığı (°C)	Buharlaştırılan su (kg/t)	Enerji gereksinimi (kJ/tx10 ⁶)
	Başlangıç %	Son %			
Elma	80	24	70	736,8	1,502
Kayısı	85	18	65	817,1	1,666
Muz	80	15	70	823,5	1,679
Lahana	80	4	55	791,7	1,614
Havuç	70	5	75	684,2	1,365
Manyok (Cassava)	62	17		542,2	1,105
Karnabahar	80	6	65	787,2	1,605
Kırmızı biber	80	5	65	789,5	1,610
Kakao çekirdeği	50	7		462,4	0,943
Kahve çekirdeği	55	12		488,6	0,996
Kahve	50	11		438,6	0,695
Kozalaklı ağaç	30-40	10-15	50	222,2-294,1	0,453-0,600
Mısır	24	14	50	116,3	0,237
İncir	80	24		736,8	1,502
Balık	75	15	30	705,9	1,439
Yeşil yapraklı ağaçlar	25-35	17-20	50	96,4-187,5	0,197-0,382
Sarımsak	80	4	55	791,7	1,674
Üzüm	80	15-20	70	750,0-623,5	1,529-1,679
Yeşil fasulye	70	5	75	664,2	1,395
Yeşil bezelye	80	5	65	789,5	1,610
Yer fıstığı	40	9	50	340,6	0,694
Guava (Hintarmudu)	80	7	65	784,9	1,600
Soğan	80	4	55	791,7	1,614
Şeftali	85	18	65	817,1	1,666
Ananas	80	10	65	777,8	1,586
Patates	75	13	75	712,6	1,453
Erik	85	15	55	823,5	1,769
Çeltik	24	11	50	146,1	0,298
İspanak	80	10		777,8	1,566
Tatlı patates	75	7	75	731,2	1,491
Buğday	20	16	45	47,6	0,097

Kurutma yöntemleri

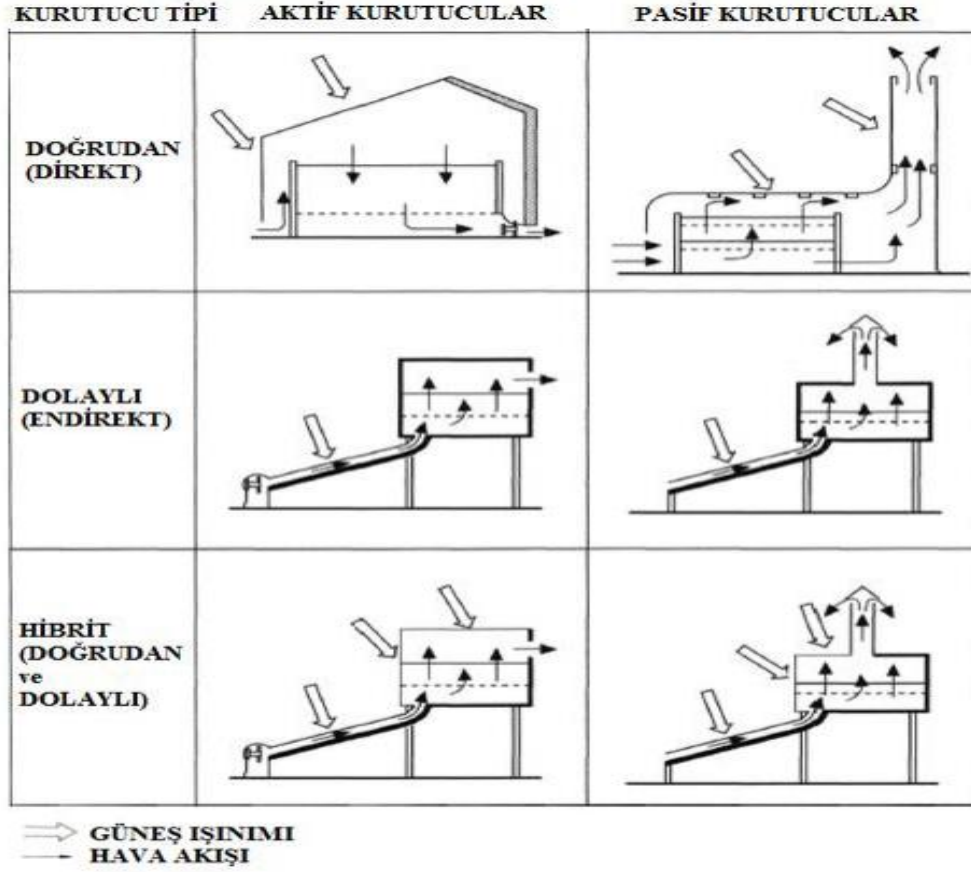
Kurutma, yöntem bakımından “yapay kurutma” ve “güneşte kurutma” olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Özel, 2010). Kurutulacak ürünlerdeki gerekli suyun uzaklaştırılması amacıyla sağlanan ısının transfer şekli kurutma yönteminin temelini oluşturmaktadır. Kurutmada üç farklı şekilde ısı geçişi olmaktadır:

- Konveksiyonel ısı geçişi
- İletimle ısı geçişi
- Radyasyonla ısı geçişi (Özel, 2010).

Güneş ile kurutma yöntemleri ise şu şekilde sınıflandırılmaktadır:

- Tabii sistemler; meyve, sebze gibi ürünlerin doğrudan güneş ışınlarına maruz bırakılarak kurutulması,
- Pasif sistemler; sistemde ek enerji olmaması durumundaki kurutma,
- Aktif sistemler; sistemde ek enerji bulundurulması durumundaki kurutma

yapılmaktadır (Özel, 2010).

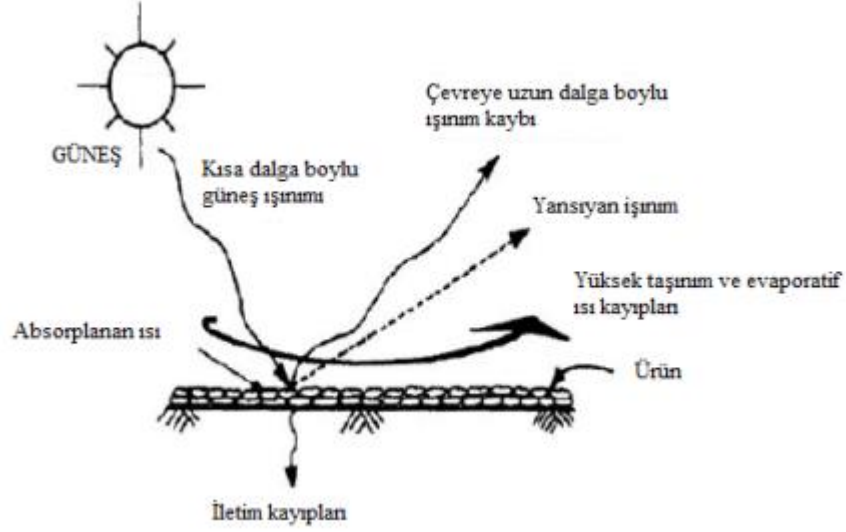


Şekil 9. Tipik güneş enerjili kurutma tasarımları (Anonim 2021f).

Güneş enerjili kurutma sistemlerinin temel kaynağı güneştir. Güneş enerjili kurutma sistemleri, kurutulmak istenen ürüne ve işletme şartları bakımından çeşitlikler göstermektedir. Bu sistemler, kurutma için gerekli olan ısıyı sistem üzerine düşen ışınlar yardımıyla elde edebilmektedir. Hava akışı doğal veya yapay yollardan sağlanabilmektedir. Bir ürünü kuşatan ürün sıcaklığından fazla sıcaklığa sahip havanın iletimi ile veya ışınlama ile kurutma için en büyük gereklilik olan ısı transferi işlemi gerçekleştirilmektedir. Isının transferi durumunda ürün içindeki suyun buharlaşması için gerekli enerji sağlanmaktadır.

Açıkta güneş enerjili kurutma

Kurutulacak ürün güneş ışığına doğrudan maruz bırakılarak yapılan kurutma işlemidir. Ürün üzerine gelen güneş enerjisinin bir kısmı yansır ve diğer bir kısmı ise yüzey tarafından absorbe edilmektedir. Absorbe edilen ışınım, termal enerjiye dönüştürülmektedir. Termal enerjiye dönüştürülmesi ile ürünün sıcaklığı yükselmeye başlar. Güneş enerjisinden başka enerji kullanılmaz ve bu sebepten ötürü maliyet açısından en hesaplı yöntem olmasına rağmen çevrede oluşabilecek toz, kir veya yağış gibi durumlardan korunamamaktadır ve ürün zarar görmektedir (Anonim 2021f).



Şekil 10. Açıkta güneş enerjili kurutma çalışma prensibi (Anonim 2021f)



Şekil 11. Açıkta güneş enerjili kurutma (MEB, 2019)

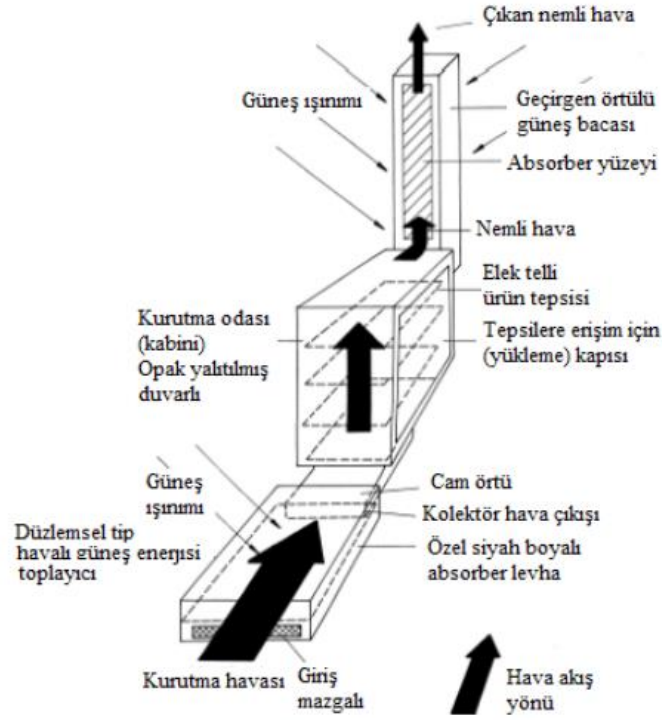
Pasif güneş enerjili kurutma sistemleri

Bazı ülkelerde pasif kurutma genel olarak iki farklı biçimde yapılmaktadır. Birincisi ürünün yetiştiği bitki toprakla etkileşim halindeyken veya ikinci olarak topraktaki kökünden çıkarılmadan bitkinin kesilerek ölmesine izin verilir. Böylece ürün bulunduğu ortamda kurutulmaktadır. Güneş enerjisi ve tabii hava hareketleri ile ürün toprak ve benzeri alanlara serilerek yatay ya da dikey raflara konulması ile kurutulmaktadır. Bu tip kurutma sistemlerinin dezavantajları arasında yüksek ürün kaybı, toz ve kir oluşumu, hayvanların zararına uğraması ve değişiklik gösteren hava şartları gibi kısıtlayıcı faktörler yer almaktadır (Özçelik, 2020).

Endirekt tip pasif güneş enerjili kurutucular

Tabii konveksiyonuna sahip olan endirekt tip kurutuculardır. Birden fazla tepsi tabakasından oluşan ve bu tepsilerin tertiplenmesi sebebiyle hava için oluşturulan ilâve direncin

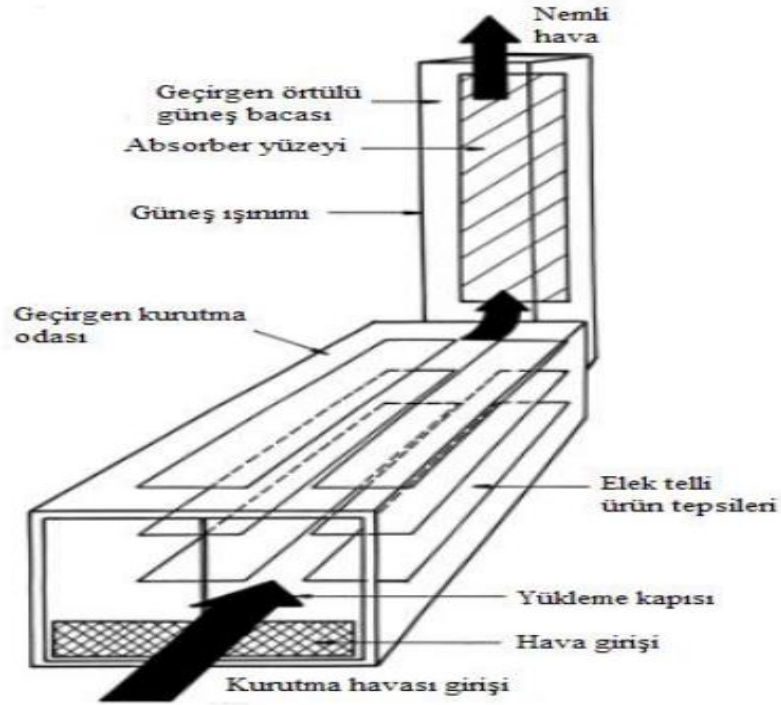
revizyonu için hava akımının oluşturduğu “baca etkisi” ile sağlanmaktadır. Baca etkisi, kurutma odası içindeki ve ortamdaki hava arasındaki özkütle farkının bir sonucu olarak dikey doğrultudaki havanın akımını artırmaktadır (Anonim 2021f).



Şekil 12. Tipik dolaylı pasif güneş enerjili kurutucu (Anonim 2021f)

Şekil 12’de görüldüğü gibi ürün kurutmada kullanılan tipik dolaylı pasif güneş enerjili kurutucu bir hava ısıtmalı güneş enerjisi kolektöründen, izolasyonlu bir borudan, bir kurutma kabini ve bir bacadan oluşmaktadır.

Doğrudan tip pasif güneş enerjili kurutucular

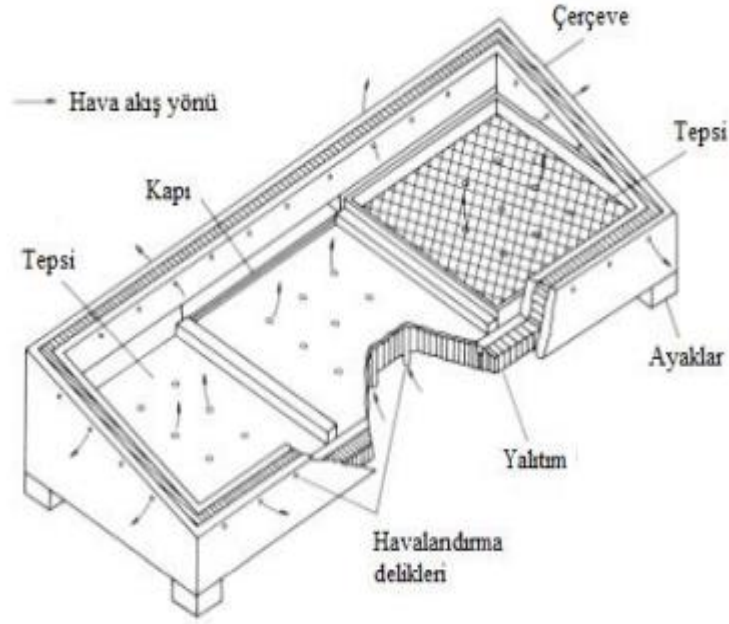


Şekil 13. Doğrudan pasif güneş enerjili kurutucu

Doğrudan pasif güneş kurutucusunun özellikleri, Şekil 13'te gösterilmektedir. Kabin ve sera tipi kurutucular olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Anonim 2021f).

I. Güneş enerjili oda türü kurutucular

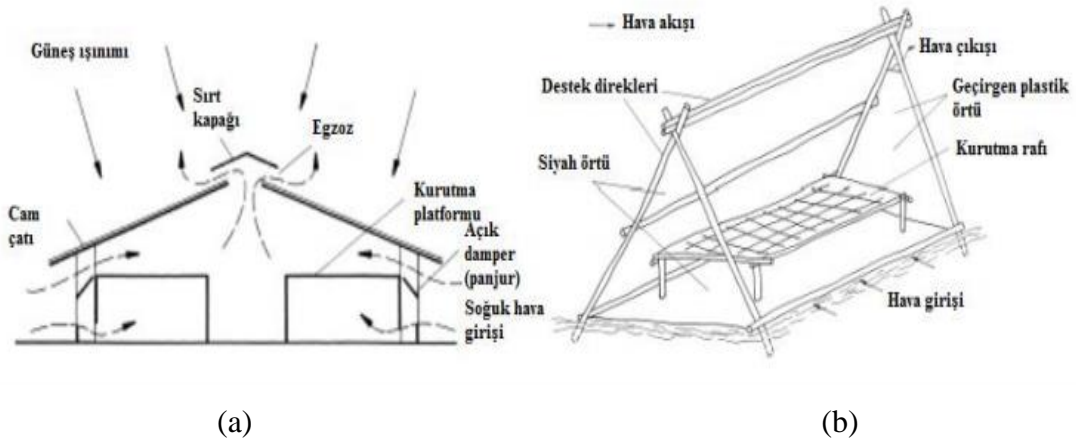
Genel olarak güneş oda türü kurutucular 1-2 m²'lik kurutma alanına sahip olan ve 10-20 kg arasında kapasitesi olan, tarımsal ürünlerin, baharatların ve bitkilerin kurutulması için uygun olduğu bilinmektedir. Isıtılan hava cam tabakadan geçerek ürüne iletilir ve aydınlatıcı iç yüzeyin koyu renkli olması sebebiyle üründe emilmektedir. Pasif güneş enerjili kabin tip kurutucu, yapımının kolay olması ve ayrıca ucuz olması gibi bazı avantajlara sahiptir, ancak en büyük dezavantajları ise düşük kuruma hızlarının olması ve yaklaşık 70°C ila 100°C gibi yüksek sıcaklıklarda çalışması sebebiyle ürün aşırı ısınmaktadır (Anonim 2021f).



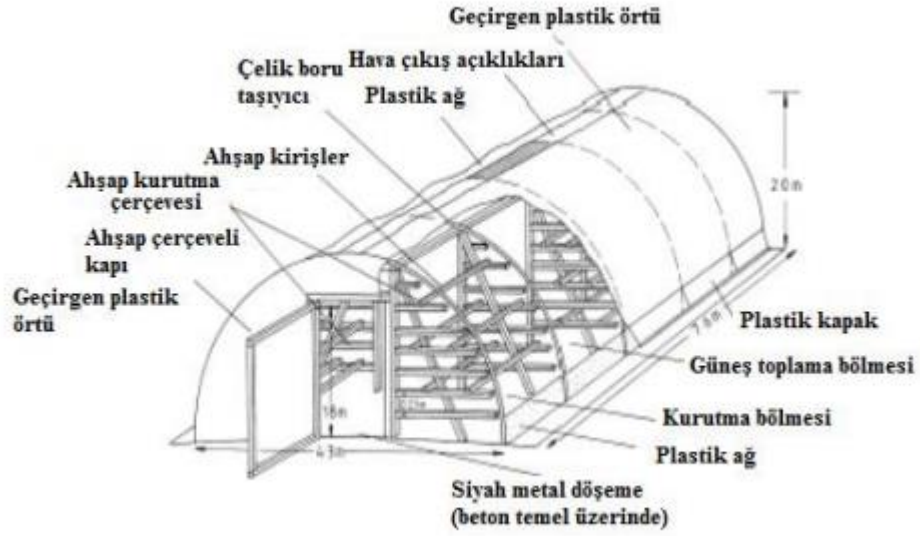
Şekil 14. Güneş enerjili oda tipi kurutucu

II. Tabii dolaşımli tünel (sera) tipi kurutucular

Sera tipi güneş kurutucular aynı zamanda çadır kurutucu olarak da adlandırılmaktadır. Güneş ışınımının soğurulmasını arttırmak için sera tipi güneş kurutucuların içerisinde bulunan zemine siyah bir polietilen levha da yerleştirilebilmektedir. Tünel tipi güneş kurutucu içine hava akışını kontrol etmek amacıyla kaplamanın ve sistemin üst kısmında delikler açılmaktadır. Ayrıca bu delikler egzoz havasının çıkışını sağlamak amacıyla da kullanılmaktadır (Anonim 2021f).



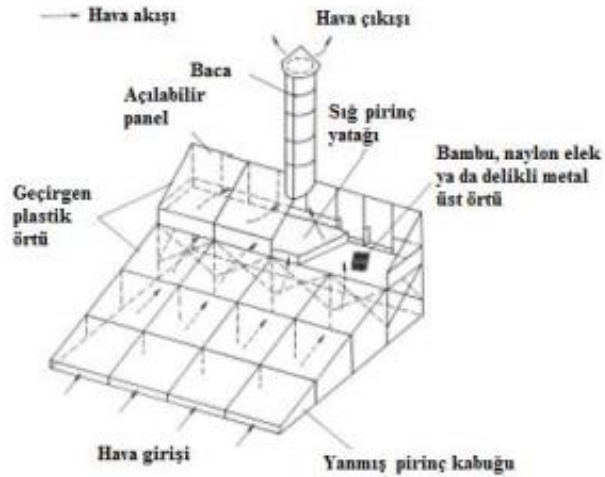
Şekil 15. (a) Cam tavanlı sera tipi güneş enerjili kurutucu (b) Polietilen çadır tipi güneş enerjili kurutucu (Anonim 2021f)



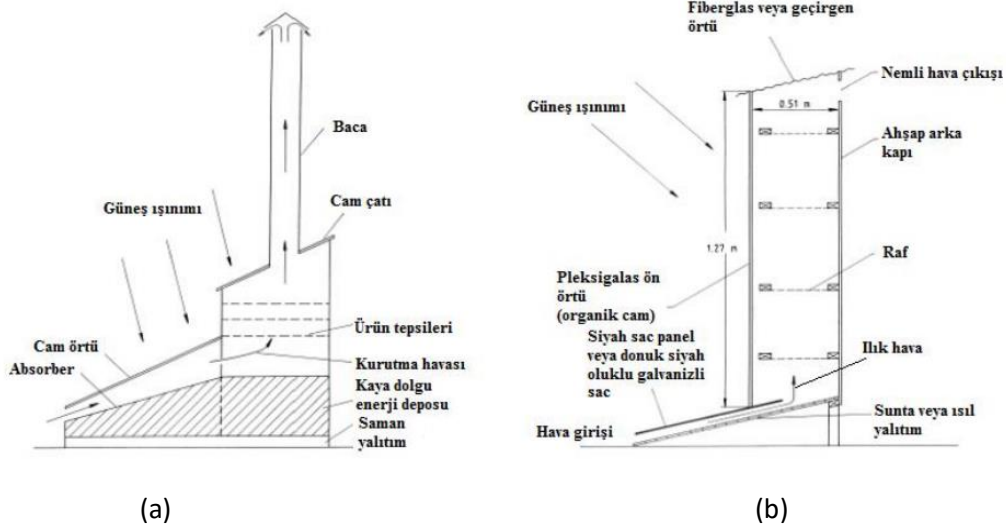
Şekil 16. Tünel tipi güneş enerjili kurutucu (Anonim 2021f)

Hibrit tip bir pasif güneş enerjisi kurutucusu

Direkt ve endirekt tür pasif güneş enerjili kurutucular ile aynı yapısal özelliklere sahiptir. Ayrıca kurutma odasının içerisinde camlı duvarlar vardır. Böylece güneş radyasyonu, doğrudan tip pasif güneş enerjili kurutucularda olduğu gibi doğrudan ürüne etki etmektedir. Zaman içerisinde bu sistemler farklı farklı tasarımlar ile karşımıza çıkmıştır (Anonim 2021f).



Şekil 17. Hibrit tip pasif güneş enerjili pirinç kurutucu (Anonim 2021f)



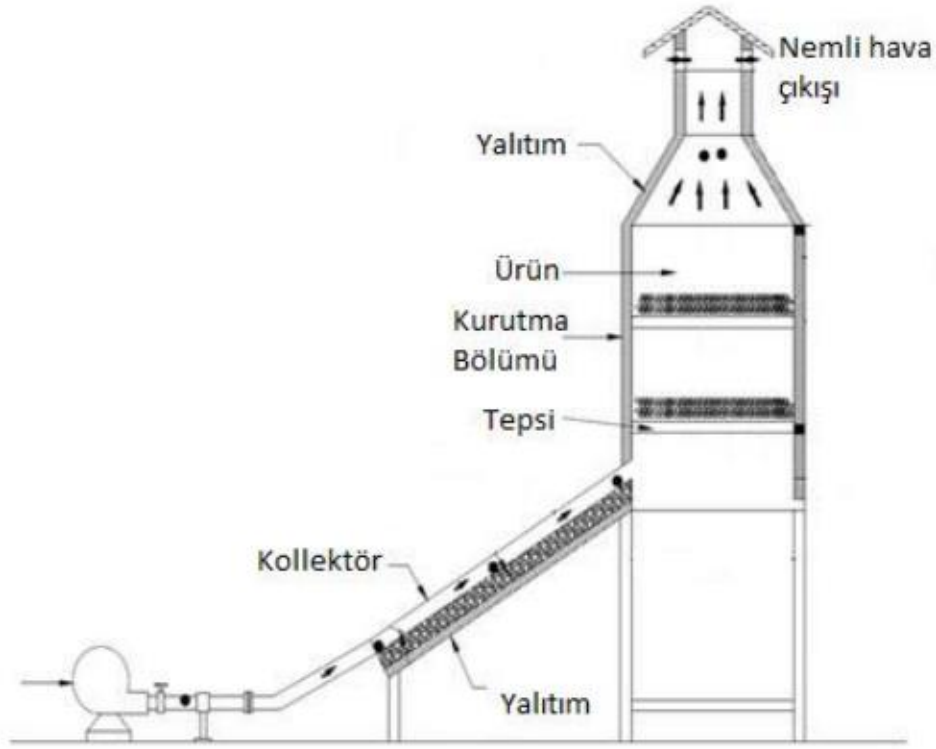
Şekil 18. (a) Hibrit tabii dolaşimli güneş enerjili ısı depolu kurutucu (b) Hibrit tip tabii dolaşimli güneş enerjili çok raflı kurutucu (Anonim 2021f)

Aktif güneş enerjili kurutma sistemleri

Güneş enerjisi ile sağlanan ısıyı fanlar gibi harici mekanik araçlar vasıtasıyla kurutma odalarına sıcak hava biçiminde hareket ettirmek için tasarlanan sistemlerdir. Aktif güneş enerjili kurutma sistemleri kısmen güneş enerjisine bağımlıdır. Isıtma sistemleri için güneş enerjisi ve elektrik enerjisi ya da fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Geleneksel aktif güneş enerjili bir kurutma sisteminde, ısı kaynağı olarak sadece güneş enerjisi kullanılırken, kuruma havasının dolaşımı için fanlar veya pompalar kullanılmaktadır. Aktif güneş enerjili kurutma sistemleri pasif güneş kurutma sistemlerine oranla daha hızlı kurutmaktadırlar (Anonim 2021f).

Dolaylı tip aktif güneş enerjili kurutucular

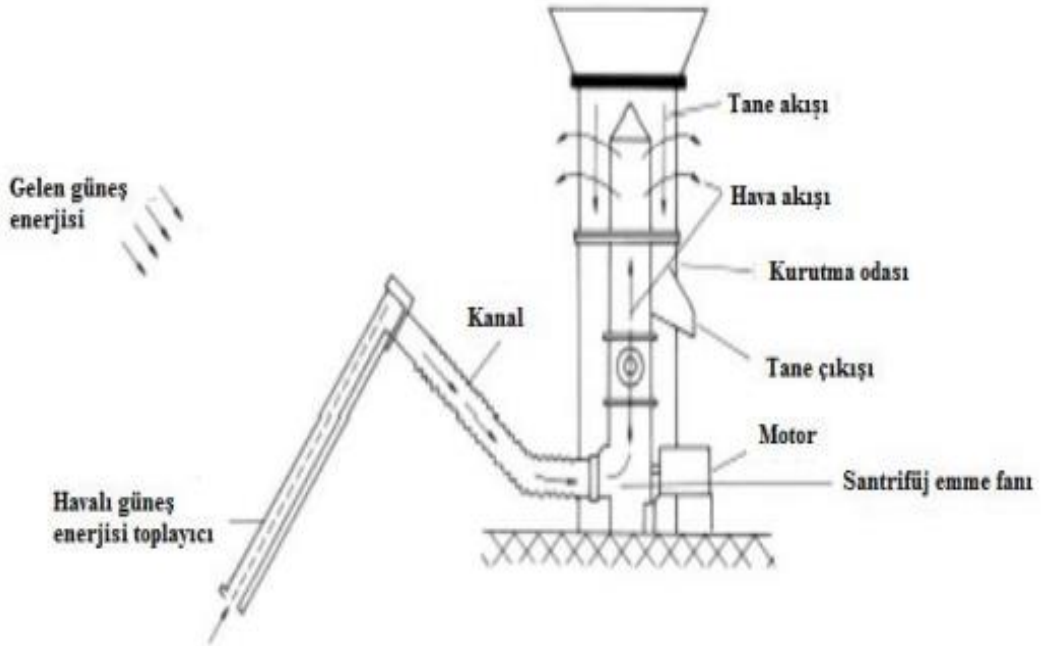
Genellikle dolaylı tip kurutucular dört kısımdan oluşmaktadır. Bunlar güneş enerjisi ısıtıcısı, kurutma odası, hava dolaşımı için hava kanalları ve bir fanıdır. Ayrıca kullanılan hava ısıtma ünitesi sayesinde, hava debisinin kontrol edilebilmesiyle birlikte daha yüksek sıcaklıklara kolaylıkla ulaşılabilir. Güneş kolektörlerinin, kaplamaları genellikle ahşap ve metal emicilerden yapılmaktadır ancak siyah polietilen gibi malzemeler de ekonomik olduğundan dolayı kullanılabilir. Şekil 19’da görüldüğü gibi tipik bir dolaylı aktif güneşli kurutucuyu göstermektedir (Anonim 2021f).



Şekil 19. Dolaylı tip aktif güneş enerjili kurutucu

Direkt aktif güneş enerjili kurutucular

Direkt aktif güneş enerjili kurutucuların dolaylı tip aktif güneş enerjili kurutuculardan farkı entegre edilmiş güneş toplayıcı bir ünitesinin olmasıdır. Bu tip kurutucuların absorpsiyon tipi, depolamalı ve sera tipi olmak üzere üç farklı tasarımı bulunmaktadır (Anonim 2021f).



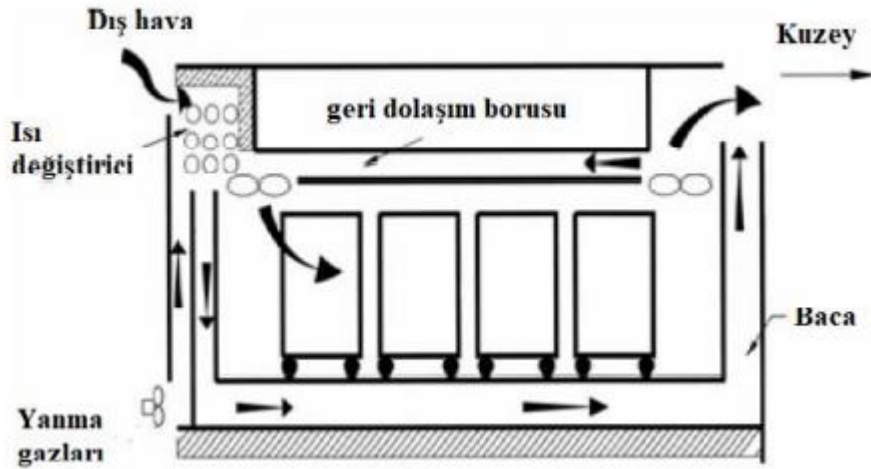
Şekil 20. Doğrudan tip aktif güneş enerjili kurutucu (Anonim 2021f)

I. Absorpsiyon tipi kurutucular

İsminden de anlaşılacağı gibi absorpsiyon tipi kurutucular güneş ışığını doğrudan soğurabilmektedir. Bu tip kurutucuların tipik tasarımlarında kurutucunun tavanı ya da duvarı ile kurutma odasının bir kısmı kolektör görevi görmektedir. Siyah boyalı kurutma odasına sahiptir. Böylelikle güneş ışınımının soğurulması konusunda olumlu etkiler göstermektedir. (Anonim 2021f)

Hibrit tip aktif güneş enerjili kurutucular

Hibrit tip aktif güneş enerjili kurutucular yaklaşık olarak % 50 ila %60 arasında çalışan orta ila büyük ölçekli tesislerde iklimsel belirsizliklerin sebep olduğu sıcaklık değişimlerini telafi etmektedir. Hibrit tipi aktif güneş enerjili kurutucular için birkaç farklı tasarım yapılmıştır. Elektriğin olmadığı alanlarda ilâve bir ısıtma kaynağı ile dış çevre havasının yanma gazı ile istenen sıcaklığa getirildiğinde bir eşanjörden geçer ve böylelikle ısıtılan hava kurutma odasına gönderilmektedir. Şekil 21’de görüldüğü gibi kullanılan havanın bir bölümü kurutucunun çeperlerinden ayrılır ve geri kalanı sirkülasyon kanallarından tekrar dolaştırılır ve soğutulmuş gaz bacadan dışarıya atılır. (Anonim 2021f)



Şekil 21. Tipik hibrit aktif güneş enerjili kurutucu (Anonim 2021f)

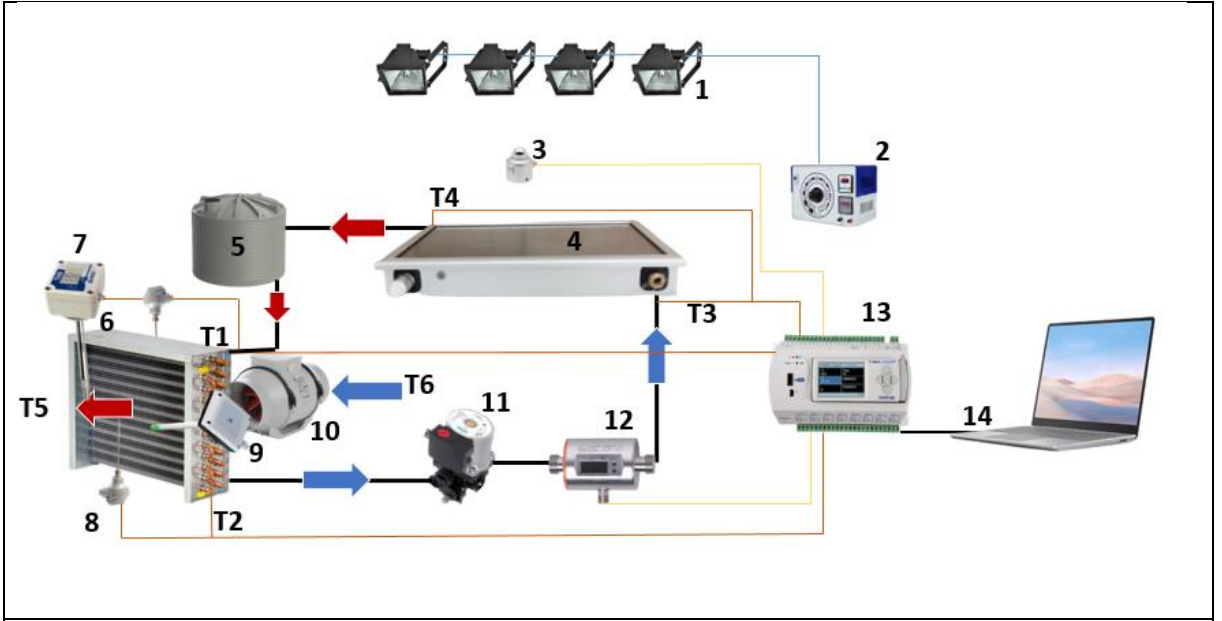
MATERYAL METOD

Deney Sistemi

Bu çalışmanın amacı, Black 3.0 ve nano akışkan kullanılarak düzlem yüzey güneş kolektöründe kullanılan temel akışkan olan suyun daha fazla ısı kazanmasını sağlamaktır. Böylelikle geleneksel düzlem yüzey kolektörlerine kıyasla daha fazla ısı kazanan akışkan, kondenserde havaya daha fazla ısı geçişi sağlayacak ve sistemin toplam performansını yükseltecektir. Sonuç olarak konvansiyonel kurutma sistemlerine göre daha efektif bir kurutma sağlanmış olacaktır.

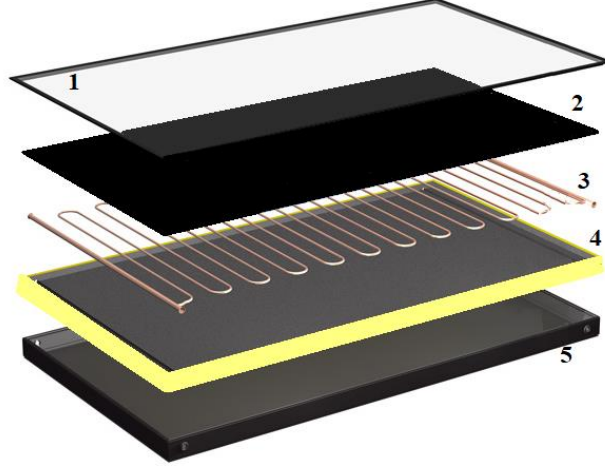


Şekil 22. Deney sistemi



- 1.Halojen projektör
- 2.Varyak
- 3.Piranometre
- 4.Kolektör
- 5.Tank (Nano akışkan için)
- 6.Kondenser
- 7.Nem sensörü
- 8.Pt-100 sıcaklık sensörü (Kondensere hava giriş ve çıkışı için)
- 9.Anemometre
- 10.Fan
- 11.Pompa
- 12.Debimetre
- 13.Data logger
- 14.Bilgisayar

Şekil 23. Denei sisteminin şematığı



Şekil 24. Düzlem yüzey güneş kolektörünün yutucu yüzeyinin Black 3.0 ile kaplanmış görünümü

Güneş Işınımı Simülatörü

Laboratuvar ortamında gerçek güneş ışınımı oluşturulamadığı için güneş ışınımını simüle etmek amacıyla halojen projektör kullanılmıştır. Deney sisteminde 500 Watt gücünde 4 adet güneş simülatörü kullanılmıştır. Şekil 25'te bu simülatörlerin görüntüsü ve Tablo 2'de güneş simülatörünün teknik özellikleri bulunmaktadır.



Şekil 25. Halojen projektör

Tablo 2. Güneş Simülatörü Özellikleri

Maksimum Güç	Gerilim	Frekans	Sınıf	Üretim yeri	Renk	Duy Tipi
500 W	220-240V	50/60Hz	1	Çin	Siyah	Rx7s

Güneş Işınım Şiddeti Ayarı

Güneşi simüle etmek için kullanılacak ışınım kaynağının ışınım şiddetini ayarlamak amacıyla varyak kullanılmıştır. Bu ışınımlar farklı noktalardan piranometre ile ölçüm alınarak ortalama değerler alınmış ve sırasıyla 900, 800, 700 ve 600 W/m² olarak belirlenmiştir. Şekil 26'da varyak'ın görüntüsü ve Tablo 3'te varyak'ın teknik özellikleri bulunmaktadır.



Şekil 26. Varyak

Tablo 3. Varyak Özellikleri

Marka	Voltaj	Amper	Boy	Genişlik	Yükseklik	Ağırlık
Varsan	220 V	9 A	45 cm	45 cm	40 cm	30 kg

Piranometre

Piranometre düzlem yüzey güneş kolektörü üzerine düşen güneş ışınımı ölçmek amacıyla kullanılmıştır. Dene düzenleğinde kullanılan piranometrenin görüntüsü Şekil 27’de ve teknik özellikleri Tablo 4’de verilmiştir.



Şekil 27. Piranometre

Tablo 4. Piranometrenin Özellikleri

Parametre	Özellik
Ölçüm	Hemisferik güneş ışınımı
Ölçüm aralığı	0-1600 W/m ²
Görüş açısı	180°
ISO sınıfı	ISO 9060:1990-2.sınıf
Hata oranı	Maks % 1.8
Voltaj aralığı	5-30 V DC
Sinyal çıkışı	4-20 Ma

Veri kayıt cihazı

Deney düzeneğinde hava giriş ve çıkış sıcaklıklarını ölçmek amacıyla iki adet sıcaklık, bir adet kapalı sistemde dolaşan suyun debisi, bir adet havanın nemi bir adet ışınlam ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümler gerçek zamanlı olarak fieldlogger aracılığıyla kaydedilmiştir. Şekil 28’de bu veri kayıt cihazının görüntüsü ve Tablo 5’te veri kayıt cihazının teknik özellikleri bulunmaktadır.



Şekil 28. Data logger

Tablo 5. Data Logger Özellikleri

Parametre	Özellik
Analog giriş kanalı	8 adet
Röle çıkışı	2 adet
Güç kaynağı	AC gücü (100-240 V) DC gücü (19-30 V)
Arabirimi	RS485
Dahili hafıza	2 MB
SD hafıza	16 MB
Ölçüler	165x117x70 milimetre

Su debimetresi

Kapalı sistemde dolaşan akışkanın yani kollektör içerisindeki akışkanın debisini ölçmek amacıyla kullanılmıştır. Akışkan sisteme 3 lt/dk debide girmektedir. Şekil 29’da bu debimetrenin görüntüsü ve Tablo 6’da debimetrenin teknik özellikleri bulunmaktadır.



Şekil 29. Debimetre

Tablo 6. Debimetre Özellikleri

Parametre	Özellikler
Ölçüm aralığı	0.1-25 lt/dk
Çalışma sıcaklığı	-10...60°C
Basınç direnci	16 bar
Malzeme	Paslanmaz çelik
Çalışma voltajı	19-30 DC
Analog çıkışı	4-20 mA /1-10 V
Kullanım alanı	İletken sıvılar

Pompa

Tanktaki suyu kolektör içerisine iletme amacıyla kullanılmıştır. Şekil 30'da bu pompanın görüntüsü, Tablo 7 ve Tablo 8'de pompanın teknik özellikleri bulunmaktadır.

**Şekil 30.** Pompa**Tablo 7.** Pompa Özellikleri

Parametre	Özellik
Malzeme	Sıralı dökme demir
Pompa tipi	RS15/6-3 Ku C
Sınıf	F
Kapasitör (μ F)	2,6
Güç besleme	230V-50Hz
Üretim yeri	AB

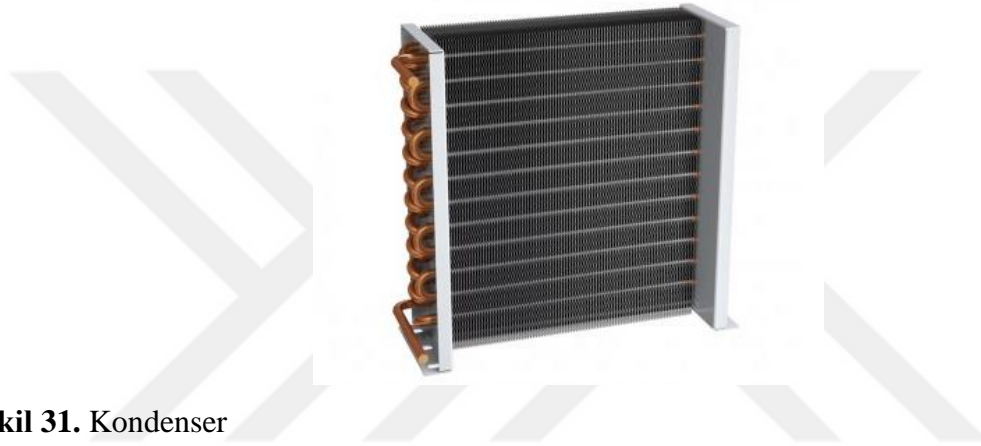
Ayrıca bu pompa üç farklı devirde çalışmaktadır.

Tablo 8. Pompanın Devir Özellikleri

Devir	A	W
1.Devir	0,2	46
2.Devir	0,3	67
3.Devir	0,4	93

Kondenser

Kolektörde ısınan akışkanın kondensere girerek soğutulup tekrar tanka iletilmesi amacıyla kullanılmıştır. Deney düzeneğinde kullanılan kondenserin görüntüsü Şekil 31’de ve teknik özellikleri Tablo 9’da verilmiştir.



Şekil 31. Kondenser

Tablo 9. Kondenser Özellikleri

Kondenser türü	Soğutma malzemesi	Uzunluk	Genişlik
Su soğutmalı	Alüminyum	24 cm	26 cm

Kolektör

Tanktaki akışkan kolektör içerisine girerek ısınır. Daha sonra ısınan akışkan kondenser içerisinden geçerek ısının havaya kazandırılması amaçlanmıştır. Deney düzeneğinde kullanılan kolektörün görüntüsü Şekil 32’de ve teknik özellikleri Tablo 10’da verilmiştir.



Şekil 32. Düzlem yüzey kolektör

Tablo 10. Kolektör Özellikleri

KOLEKTÖR ÖZELLİKLERİ	
Brüt alan	0,24 m ²
Açıklık alanı	0,18 m ²
Absorber tipi	Alüminyum Selektif
Kolektör tipi	Bakır boru / Izgara
Üst örtü	4mm Temperli Solar Cam
Alt örtü	0.4mm Alüminyum
İzalosyan	40 mm Taş Yünü

Nem sensörü

Hava ısıtıldıktan sonraki yani çıkış durumundaki nemi ölçülmüştür. Deney düzeneğinde kullanılan nem sensörünün görüntüsü Şekil 33'te ve teknik özellikleri Tablo 11'de verilmiştir.



Şekil 33. Nem sensörü

Tablo 11. Nem Sensörü Özellikleri

Parametre	Özellikleri
Sıcaklık	-40°C ile +100°C
Bağıl nem	%0 ile %100
Tepki süresi	8 sn
Güç kaynağı	12V DC -30V DC
Verici çalışma sıcaklığı	0°C İLE 70°C

Hava hızı anemometresi

Fan tarafından sağlanan havanın hızını ölçmek amacıyla kullanılmıştır. Deney düzeneğinde kullanılan hava hız anemometresinin görüntüsü Şekil 34'te ve teknik özellikleri Tablo 12'de verilmiştir.



Şekil 34. Hava hızı ölçüm cihazı

Tablo 12. Hava Hızı Ölçüm Cihazı Özellikleri

Parametre	Özellikler
Ölçüm aralığı	20 m/sn
Minimum ölçüm aralığı	0,2 m/sn
Ağırlık	147 g
Sinyal	4-20 mA / 0-10V DC
Prob malzemesi	PC yangına dayanıklı (UL94V-2)
Prob başlığı malzemesi	Cam elyaf

Taguchi metodu

Düzlem yüzey güneş kolektörü ile havaya ısı kazandırılması durumu için referans verimler belirlendikten sonra sistemde kullanılan nano akışkan malzemenin ağırlıkça nanoakışkan yüzde oranı;iki seviye, kolektörün kaplama;iki seviye, ışını;dört seviye, hava hızı;dört seviye olmak üzere sistem optimizasyonu için Taguchi (L16) deney planına göre deneyler yapılmıştır. Tablo 13'te bu deney planı görülmektedir.

Tablo 13. Taguchi Deney Planı

Deney numarası	Işınım (W/m ²)	Kaplama	Hava hızı (m/sn)	Karışım oranı (%)
1	900	Black 3.0	0,5-1	0,1
2	900	Geleneksel	1,5-2	0,2
3	800	Geleneksel	0,5-1	0,1
4	800	Black 3.0	1,5-2	0,2
5	700	Black 3.0	0,5-1	0,2
6	700	Geleneksel	1,5-2	0,1
7	600	Geleneksel	0,5-1	0,2
8	600	Black 3.0	1,5-2	0,1

Minitab - Untitled

File Edit Data Calc Stat Graph View Help Assistant

Navigator

Taguchi Design

Taguchi Design

WORKSHEET 1

Taguchi Design

Design Summary

Taguchi Array L16(4^2 2^2)

Factors: 4

Runs: 16

	C1	C2	C3	C4-T	C5	C6
	İŞİNİM	HAVA HIZI	KARIŞIM	KAPLAMA		
1	900	0,5	0,1	BLACK3.0		
2	900	1,0	0,1	BLACK3.0		
3	900	1,5	0,2	GELENEKSEL		
4	900	2,0	0,2	GELENEKSEL		
5	800	0,5	0,1	GELENEKSEL		
6	800	1,0	0,1	GELENEKSEL		
7	800	1,5	0,2	BLACK3.0		
8	800	2,0	0,2	BLACK3.0		
9	700	0,5	0,2	BLACK3.0		
10	700	1,0	0,2	BLACK3.0		
11	700	1,5	0,1	GELENEKSEL		
12	700	2,0	0,1	GELENEKSEL		
13	600	0,5	0,2	GELENEKSEL		
14	600	1,0	0,2	GELENEKSEL		
15	600	1,5	0,1	BLACK3.0		
16	600	2,0	0,1	BLACK3.0		

Worksheet 1

Şekil 35. Minitab programı ile yapılan deney planı görünümü

Termodinamik analiz

Düzlem yüzey güneş kolektöründe deneyler kararlı hal koşulları baz alınarak yapılmıştır. Bu gibi sistemlerin termal performansı, Termodinamiğin I. yasası, enerji dengesinden yola çıkarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$E_{giren} - E_{çıkan} = \Delta E_{sistem} \quad (1)$$

veya birim zaman için,

$$\dot{E}_{giren} - \dot{E}_{çıkan} = \frac{dE_{sistem}}{dt} \quad (2)$$

Zamana göre değişim oranı sabit olduğu durumlarda, Δt zaman aralığı boyunca toplam nicelikler birim zaman ağırlığındaki niceliklerle aşağıdaki gibi ilişkilidir,

$$Q = \dot{Q} \Delta t \quad (3)$$

$$W = \dot{W}\Delta t \quad (4)$$

$$\Delta E = \frac{dE}{dt} \Delta t \quad (5)$$

Birim kütle için enerji dengesi aşağıdaki gibi açıklanmaktadır.

$$e_{giren} - e_{çıkan} = \Delta e_{sistem} \quad (6)$$

Bu denklem, denklem 6'daki tüm terimlerin sistemin kütlesi m , ile bölünmesi ile elde edilmektedir. Enerji dengesinin aynı zamanda diferansiyel formda yazılışı,

$$\delta E_{giren} - \delta E_{çıkan} = dE_{sistem} \quad (7)$$

$$\delta e_{giren} - \delta e_{çıkan} = de_{sistem} \quad (8)$$

Çevrim oluşturan kapalı bir sistem için, ilk ve son haller aynıdır. Bu nedenle

$$\Delta E_{sistem} = E_2 - E_1 = 0 \quad (9)$$

dır. Bu durumda enerji dengesi

$$E_{giren} - E_{çıkan} = 0 \quad (10)$$

veya

$$E_{giren} = E_{çıkan} \quad (11)$$

şekline dönüşmektedir. Kapalı sistemin sınırlarından kütle geçişi olmamaktadır. Bu durumda enerji dengesi, ısı ve iş etkileşimi terimleri ile açıklanmaktadır.

$$W_{net,çıkan} = Q_{net,giren} \quad (12)$$

$$\dot{W}_{net,çıkan} = \dot{Q}_{net,giren} \quad (13)$$

Başka bir deyişle çevrim sırasında net ısı geçişi, net işe eşit olmaktadır. Bu durumda, kapalı sistem için enerji dengesi,

$$Q_{net,giren} - W_{net,çıkan} = \Delta E_{sistem} \quad (14)$$

veya

$$Q - W = \Delta E \quad (15)$$

burada

$$Q = Q_{net,giren} = Q_{giren} - Q_{çıkan} \quad (16)$$

sisteme olan net ısı geçişini,

$$W_{net,çıkan} = W_{çıkan} - W_{giren} \quad (17)$$

sistem tarafından yapılan işi göstermektedir. (Çengel, 2021)

Kurutma analizi

Kurutma hesabı yapılabilmesi için kullanılan gıdanın başlangıç ve son nem değerlerinin, belirlenen süre içerisinde kolektör tarafından toplanan ısı, kurutulacak ürünün 1 kg için ne kadar enerji gereksinimine ihtiyaç duyduğu ve ne kadar suyun buharlaştırılması gerektiğinin bilinmesi gerekmektedir. (Sarsılmaz, 1998)

$$\frac{100 - \text{son nem}}{100 - \text{başlangıç nemi}} \quad (18)$$

ile 1 kg kuru meyve veya sebze elde etmek için gereken taze meyve veya sebze miktarını belirtir.

$$\frac{\text{Kurutmada geçen nihai süre için kolektör tarafından toplanan ısı}}{\text{Kullanılan meyve veya sebzenin enerji gereksinimi}} \quad (19)$$

kurutma için geçen nihai süreçte kolektör tarafından elde edilen toplam ısı ile kullanılan meyve ve sebzeden ne kadar su buharlaştırıldığını göstermektedir.

$$\frac{\text{Nihai süre} * \text{Buharlaştırılan su miktarı}}{\text{Nihai süre}} \quad (20)$$

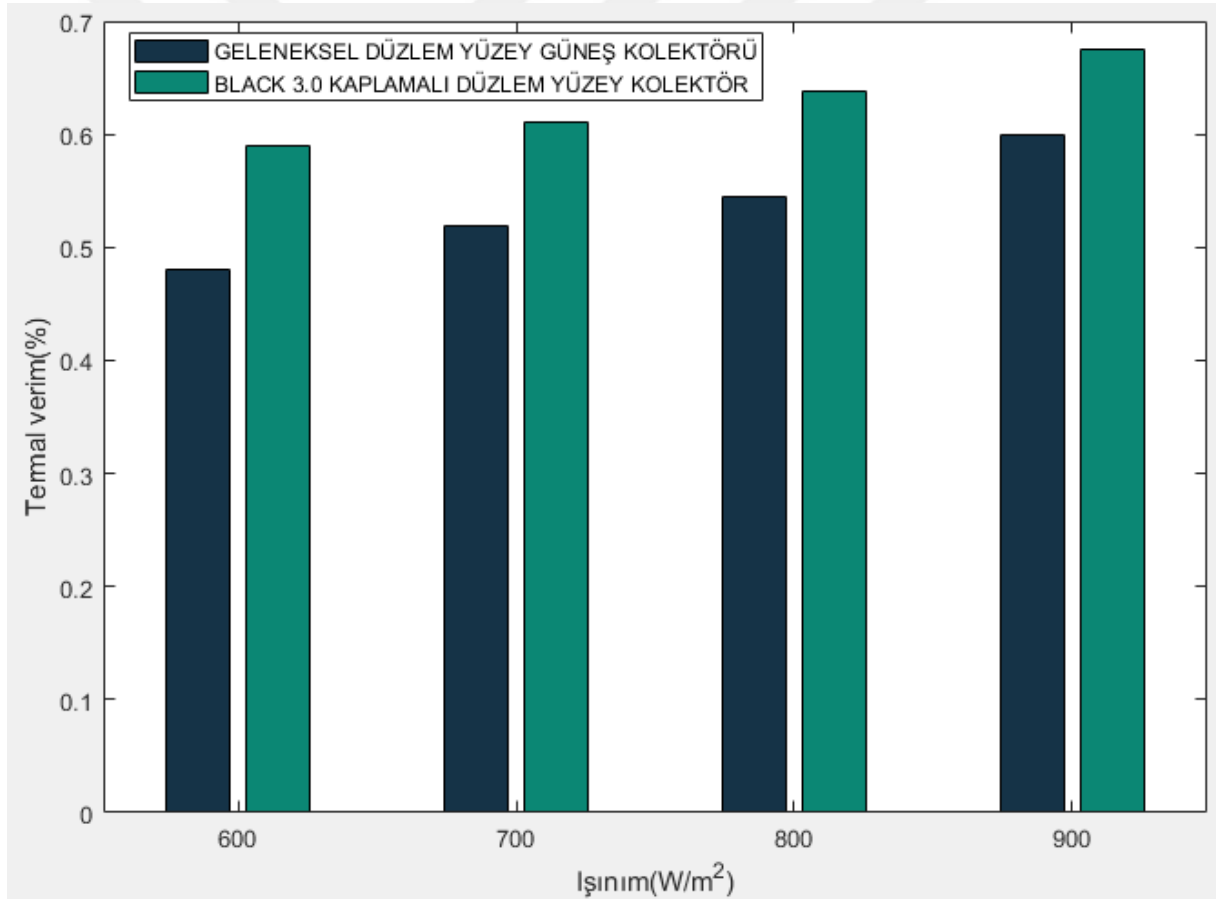
kurutma için gereken sürede ne kadar su buharlaşacağını belirtmektedir.

$$\frac{\text{Nihai sürede buharlaştırılan su miktarı}}{1 \text{ kg için meyve veya sebzenin buharlaştırması gereken su miktarı}} \quad (21)$$

bu sürede ne kadar meyve kurutabileceğini göstermektedir.

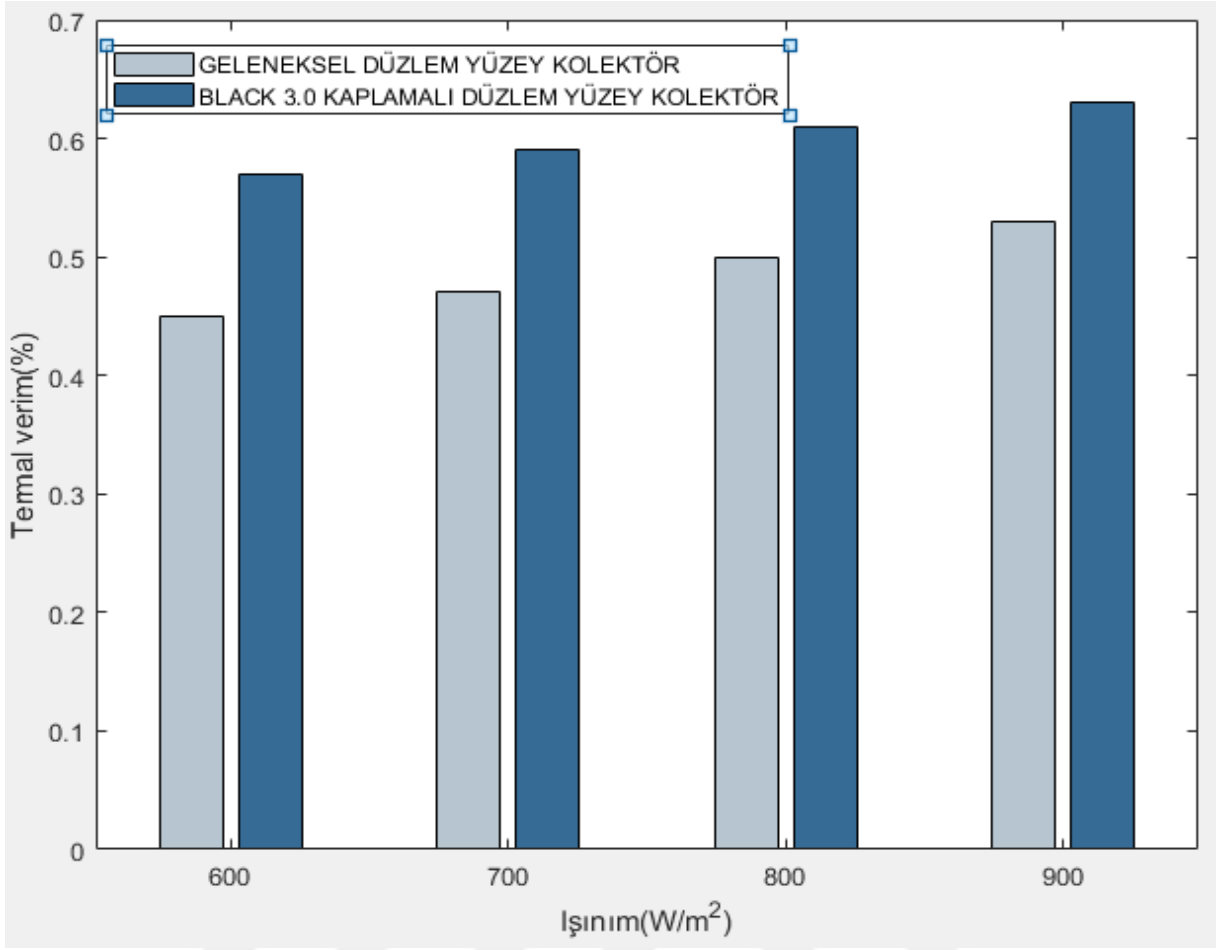
ARAŞTIRMA BULGULARI

Düzlem yüzey güneş kolektörlerinin verimini artırmak amacıyla iki farklı parametre üzerinde durulmuştur. Bunlardan birincisi düzlem yüzey kolektörünün yutucu yüzeyinin Black 3.0 malzemesi ile kaplanması iken ikincisi ise akışkan olarak nano akışkan kullanılmasıdır. İlk olarak temel akışkan olan su kullanılmış olup geleneksel düzlem yüzey kolektörü ile Black 3.0 kaplaması yapılan güneş kolektörünün dört farklı hava hızı ve ışınım değeri için termal verimi karşılaştırılmıştır. Dört farklı hava hızının her biri için sırasıyla Şekil 36, Şekil 37, Şekil 38 ve Şekil 39’da düzlem yüzey güneş kolektörün aydınlatıcı yüzeyinin Black 3.0 ile kaplanması halinde termal verime olan etkileri görülmektedir.



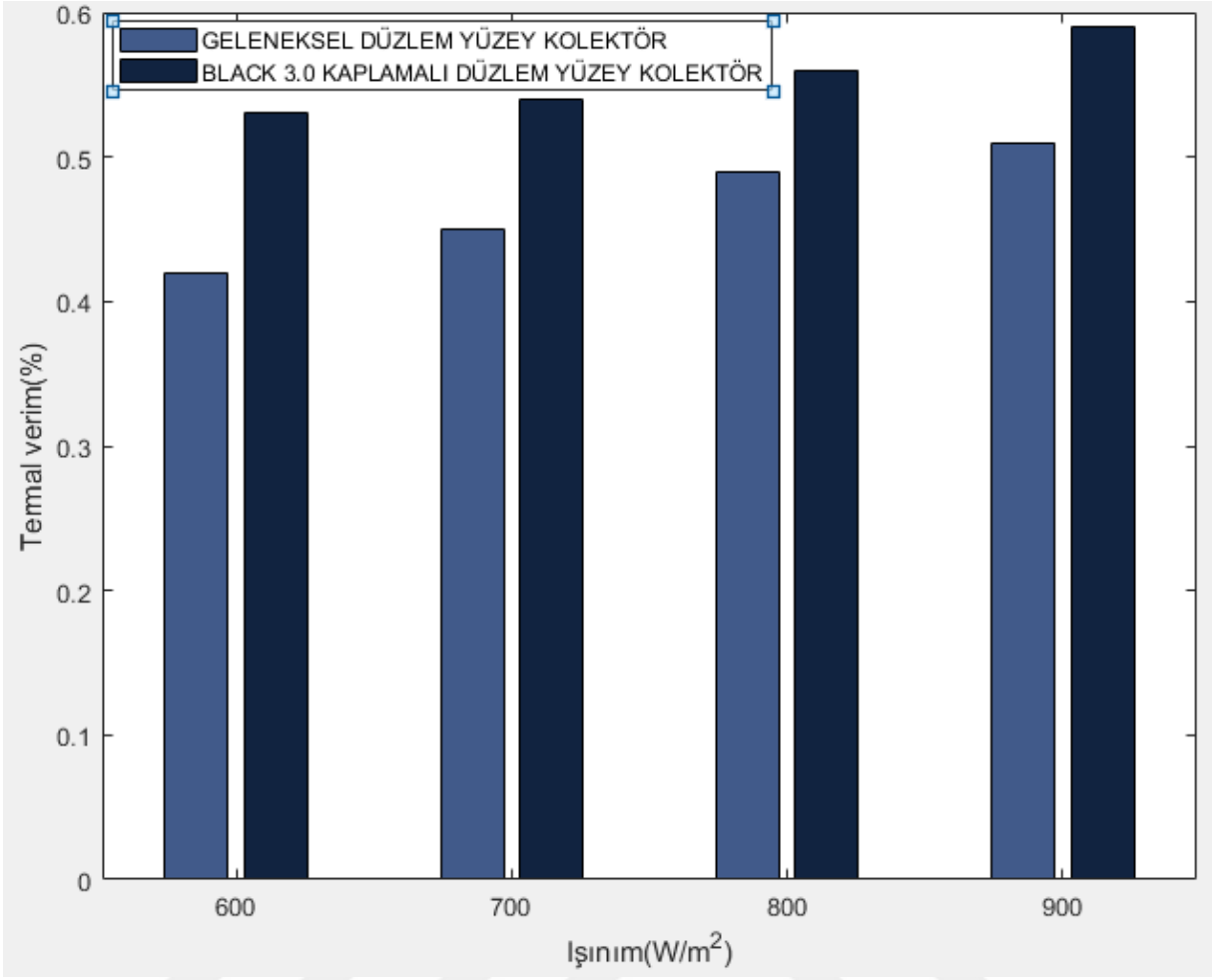
Şekil 36. 0,5 m/sn hava hızı için geleneksel ve Black 3.0 kaplamalı güneş kolektörün termal verim karşılaştırılması

Şekil 36’da geleneksel düzlem yüzey kolektörü ile Black 3.0 kaplamalı kolektörde 0,5 m/sn hız için ve akışkan olarak su kullanılması durumunda 600,700, 800, 900 W/m² ışınımlar için verim artışı sırasıyla %22,9, %19,6, %16,6 ve %12,5 olarak saptanmıştır.



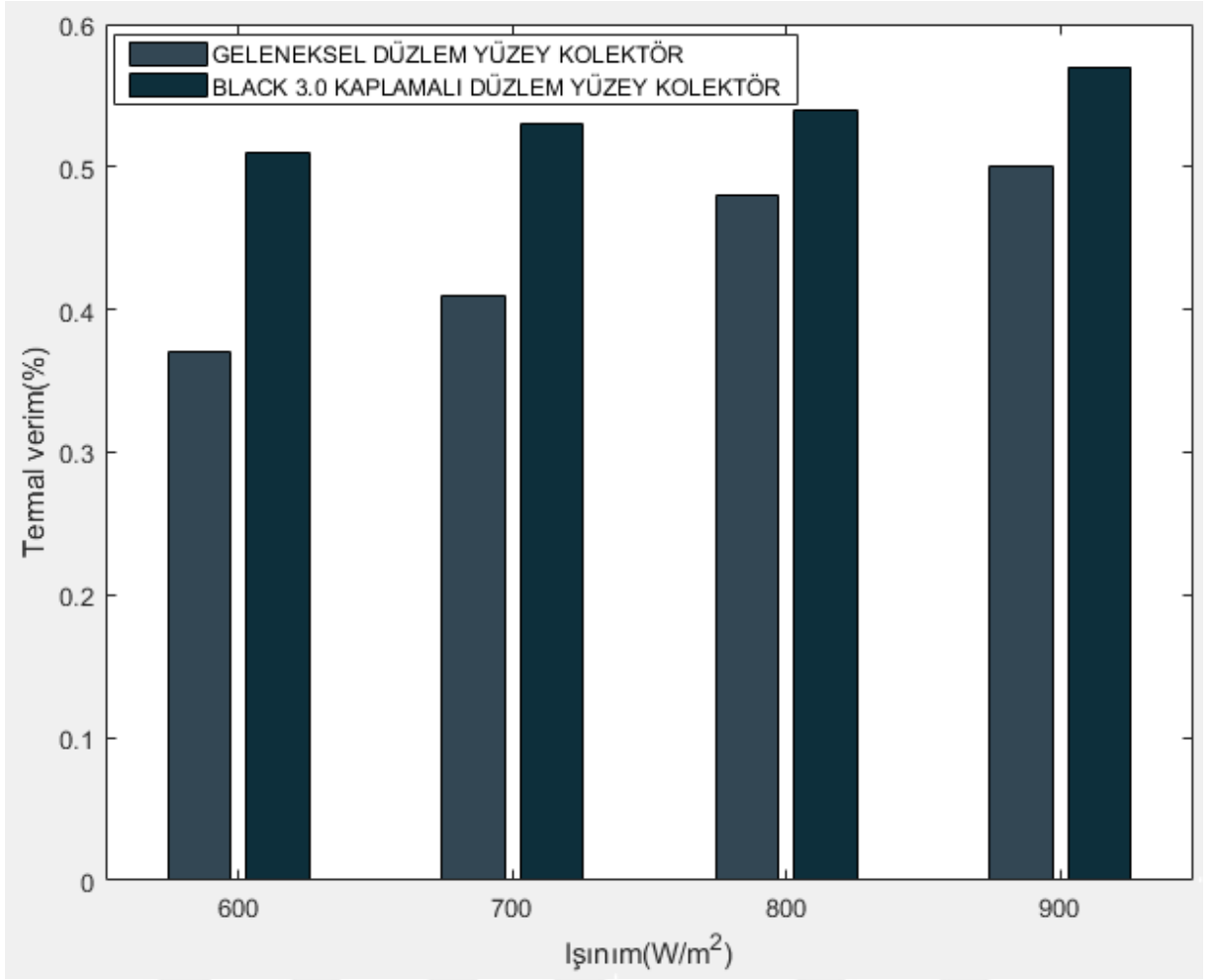
Şekil 37. 1 m/sn hava hızı için geleneksel ve Black 3.0 kaplamalı güneş kolektörün termal verim karşılaştırılması

Şekil 37’de geleneksel düzlem yüzey kolektörü ile Black 3.0 kaplamalı kolektörde 1 m/sn hız için ve akışkan olarak su kullanılması durumunda 600,700, 800, 900 W/m² ışınımlar için verim artışı sırasıyla %26,6, %25,5, %22 ve %21,15 olarak saptanmıştır.



Şekil 38. 1,5 m/sn hava hızı için geleneksel ve Black 3.0 kaplamalı güneş kolektörün termal verim karşılaştırılması

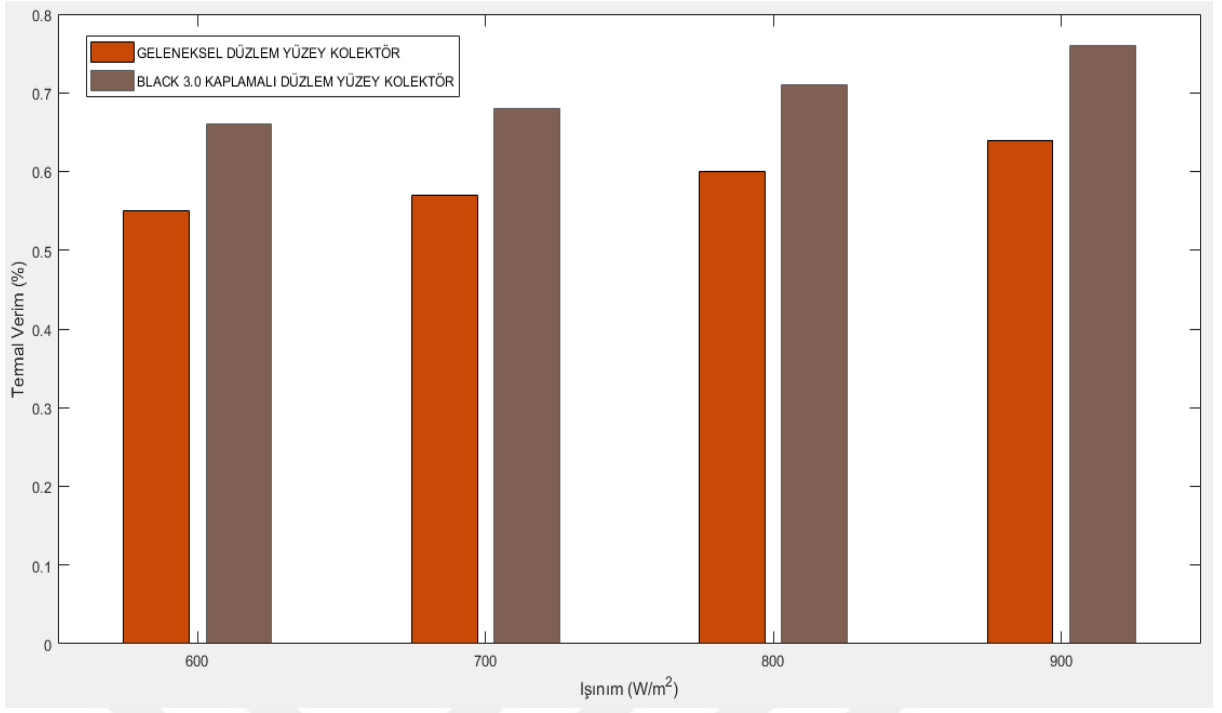
Şekil 38’de geleneksel düzlem yüzey kolektörü ile Black 3.0 kaplamalı kolektörde 1,5 m/sn hız için ve akışkan olarak su kullanılması durumunda 600,700, 800, 900 W/m² ışınımlar için verim artışı sırasıyla %26,1, %20, %14,2 ve %15,6 olarak saptanmıştır.



Şekil 39. 2 m/sn hava hızı için geleneksel ve Black 3.0 kaplamalı güneş kolektörün termal verim karşılaştırılması

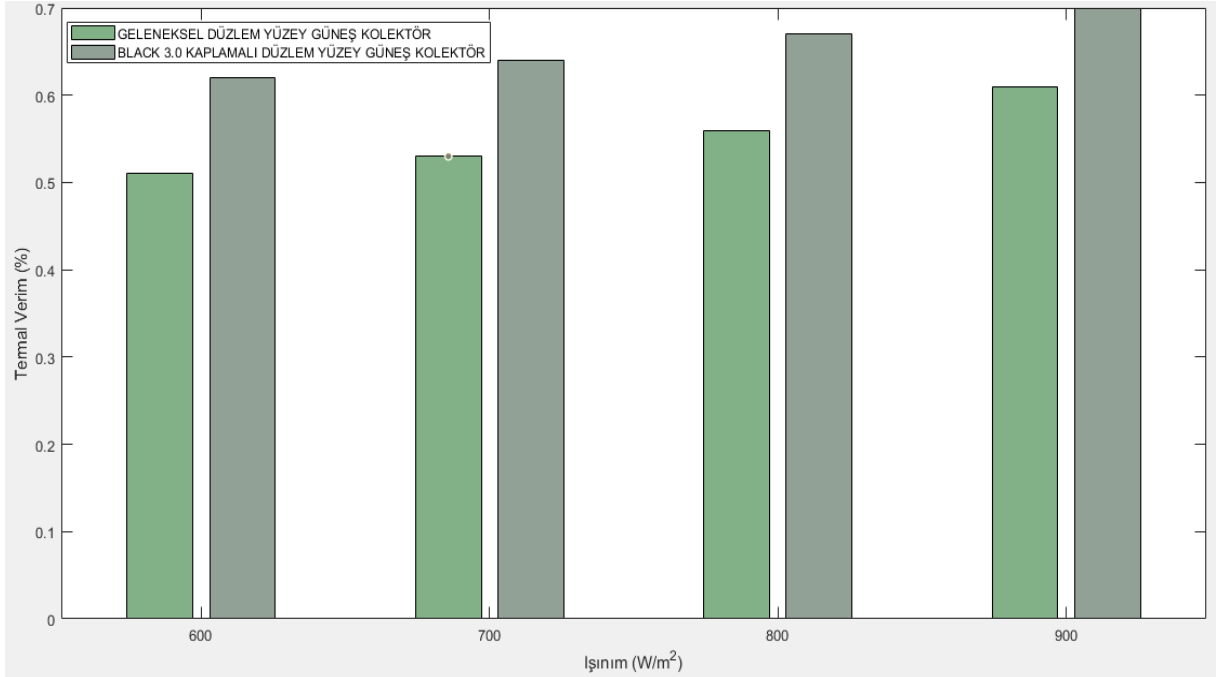
Şekil 39’da geleneksel düzlem yüzey kolektörü ile Black 3.0 kaplamalı kolektörde 2 m/sn hız için ve akışkan olarak su kullanılması durumunda 600,700, 800, 900 W/m² ışınımlar için verim artışı sırasıyla %37,8, %29,26, %12,5 ve %14 olarak saptanmıştır.

İkinci bir deney olarak ise SiO₂ nano akışkanının ağırlıkça %0,1-0,2 olmak üzere iki farklı konsantrasyon için tekrar geleneksel ve Black 3.0 kaplamalı sistemlere entegre edilerek yapılmıştır. Daha sonra ise nano akışkanın sistemde verim artışına olan etkisi incelenmiştir.



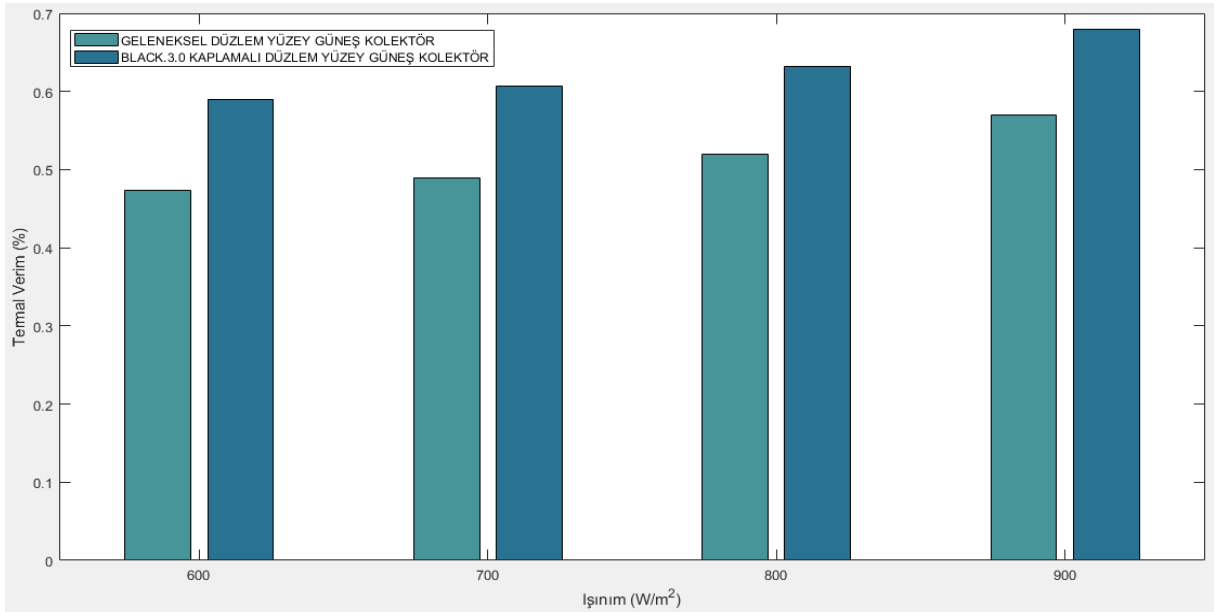
Şekil 40. Farklı ışınım değerleri için 0,5 m/sn hava hızında ve akışkan olarak SiO₂ (%0,1) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması

Şekil 40'ta geleneksel düzlem yüzey kolektörü ile Black 3.0 kaplamalı kolektörde 0,5 m/sn hız için ve akışkan olarak SiO₂ (%0,1) kullanılması durumunda 600,700, 800, 900 W/m² ışınımlar için verim artışı sırasıyla %20, %19,7, %18,3 ve %16,92 olarak saptanmıştır.



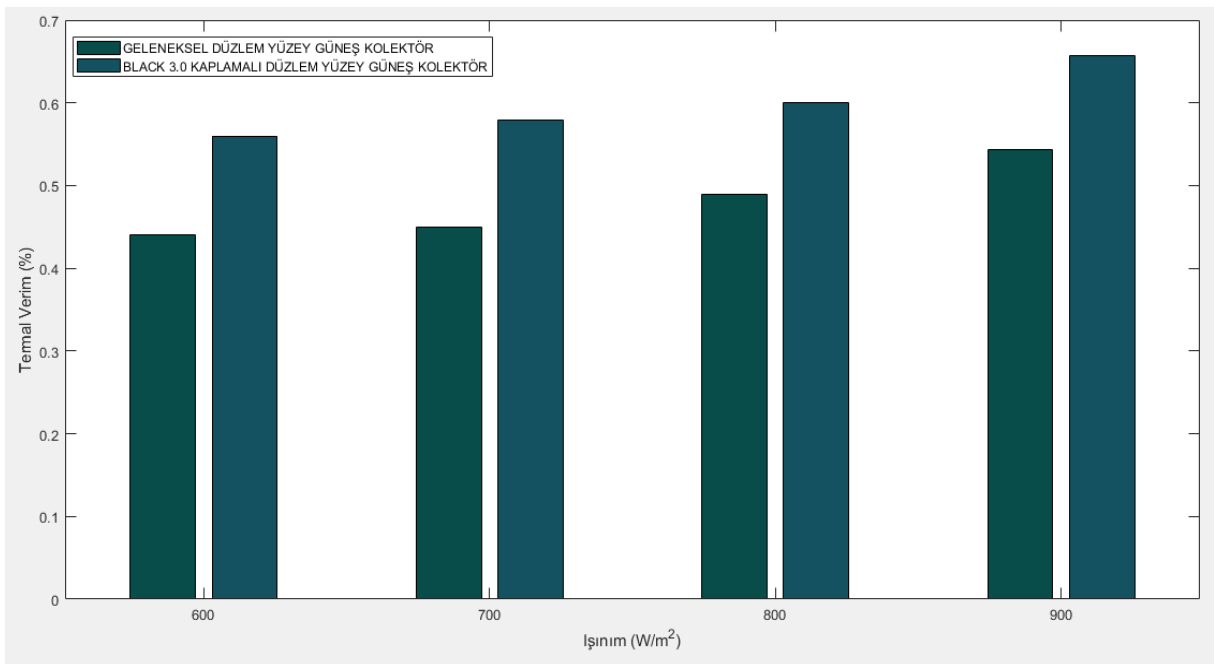
Şekil 41. Farklı ışınım değerleri için 1 m/sn hava hızında ve akışkan olarak SiO₂ (%0,1) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması

Şekil 41’de geleneksel düzlem yüzey kolektörü ile Black 3.0 kaplamalı kolektörde 1 m/sn hız için ve akışkan olarak SiO₂ (%0,1) kullanılması durumunda 600,700, 800, 900 W/m² ışınımlar için verim artışı sırasıyla %21,5, %20,7, %18,47 ve %14,75 olarak saptanmıştır.



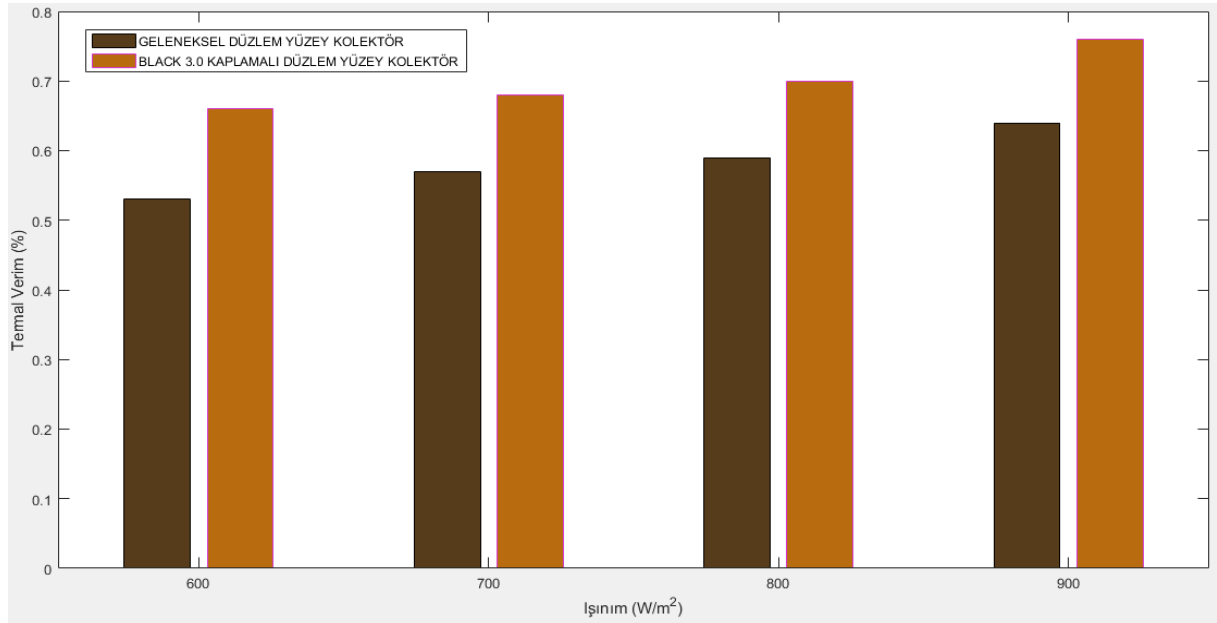
Şekil 42. Farklı ışınım değerleri için 1,5 m/sn hava hızında ve akışkan olarak SiO₂ (%0,1) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması

Şekil 42’de geleneksel düzlem yüzey kolektörü ile Black 3.0 kaplamalı kolektörde 1,5 m/sn hız için ve akışkan olarak SiO₂ (%0,1) kullanılması durumunda 600,700, 800, 900 W/m² ışınımlar için verim artışı sırasıyla %25,5, %22,4, %23,5 ve %19,3 olarak saptanmıştır.



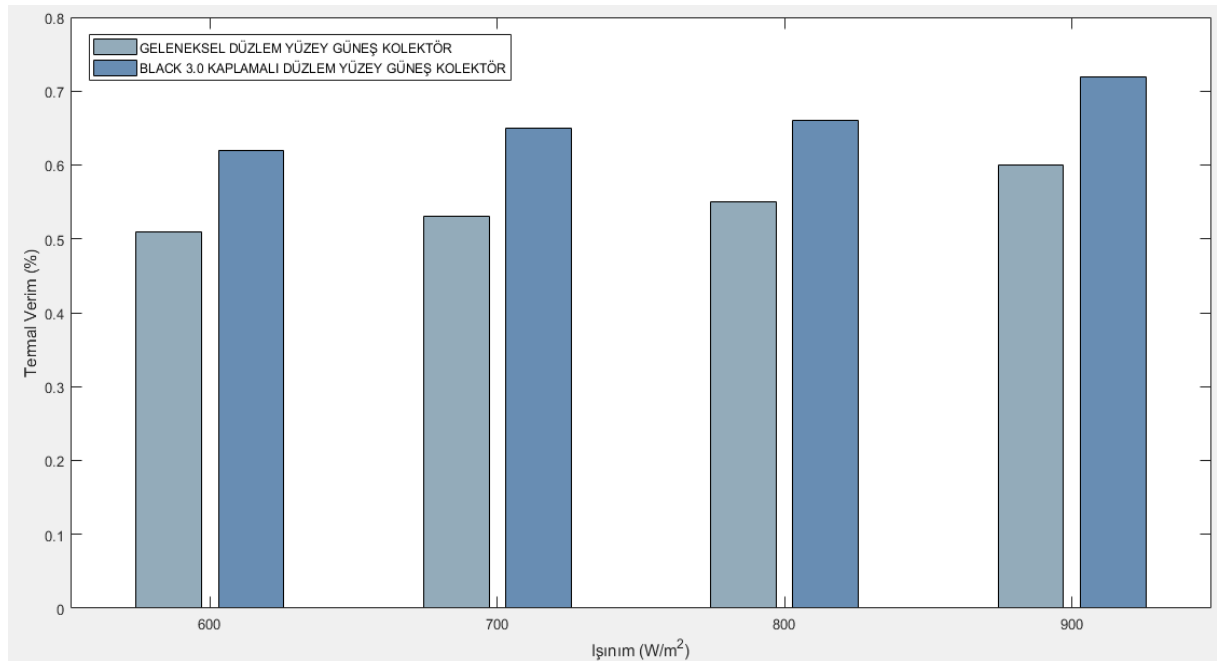
Şekil 43. Farklı ışınım değerleri için 2 m/sn hava hızında ve akışkan olarak SiO₂ (%0,1) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması

Şekil 43'te geleneksel düzlem yüzey kolektörü ile Black 3.0 kaplamalı kolektörde 2 m/sn hız için ve akışkan olarak SiO₂ (%0,1) kullanılması durumunda 600,700, 800, 900 W/m² ışınımlar için verim artışı sırasıyla %27,2, %26,6, %22,4 ve %20 olarak saptanmıştır.



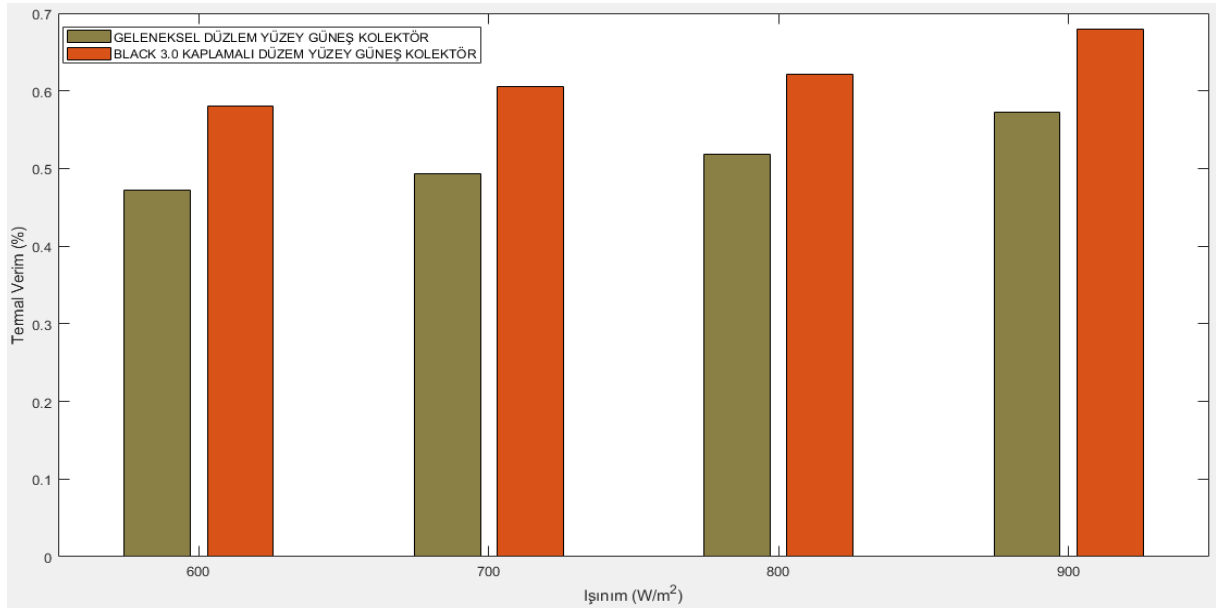
Şekil 44. Farklı ışınım değerleri için 0,5 m/sn hava hızında ve akışkan olarak SiO₂ (%0,2) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması

Şekil 44'te geleneksel düzlem yüzey kolektörü ile Black 3.0 kaplamalı kolektörde 0,5 m/sn hız için ve akışkan olarak SiO₂ (%0,2) kullanılması durumunda 600,700, 800, 900 W/m² ışınımlar için verim artışı sırasıyla %24,5, %19,2, %18,6 ve %17,2 olarak saptanmıştır.



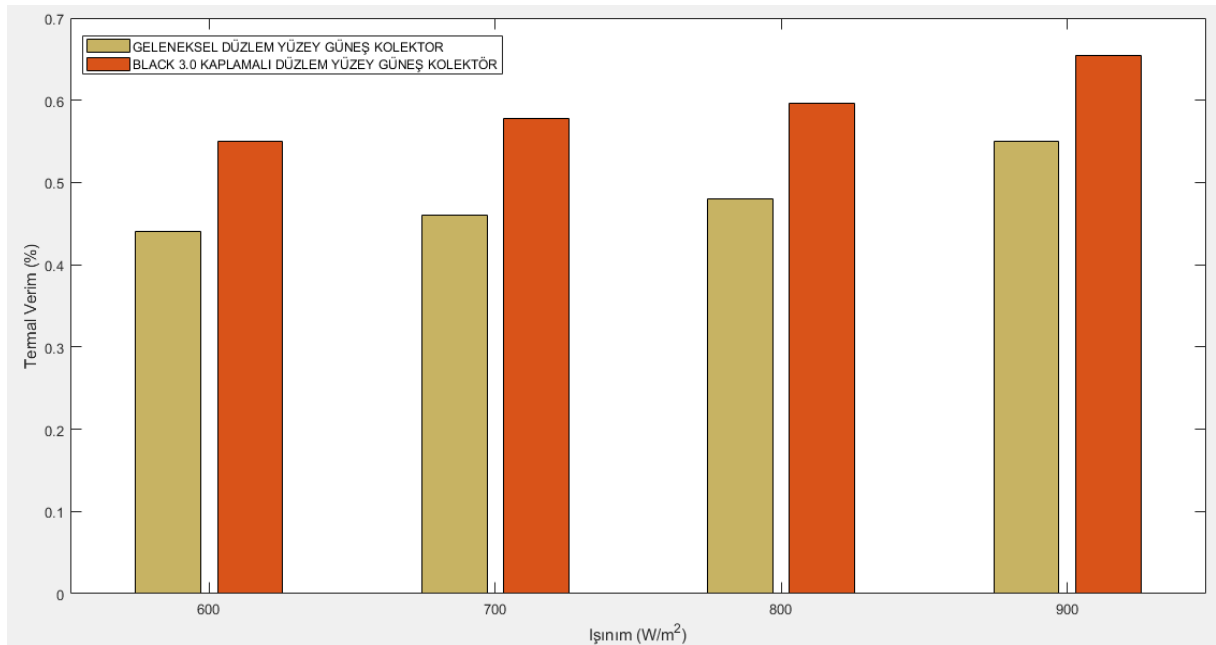
Şekil 45. Farklı ışınım değerleri için 1 m/sn hava hızında ve akışkan olarak SiO₂ (%0,2) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması

Şekil 45'te geleneksel düzlem yüzey kolektörü ile Black 3.0 kaplamalı kolektörde 1 m/sn hız için ve akışkan olarak SiO₂ (%0,2) kullanılması durumunda 600,700, 800, 900 W/m² ışınımlar için verim artışı sırasıyla %21,5, %22,6, %20 ve %20 olarak saptanmıştır.



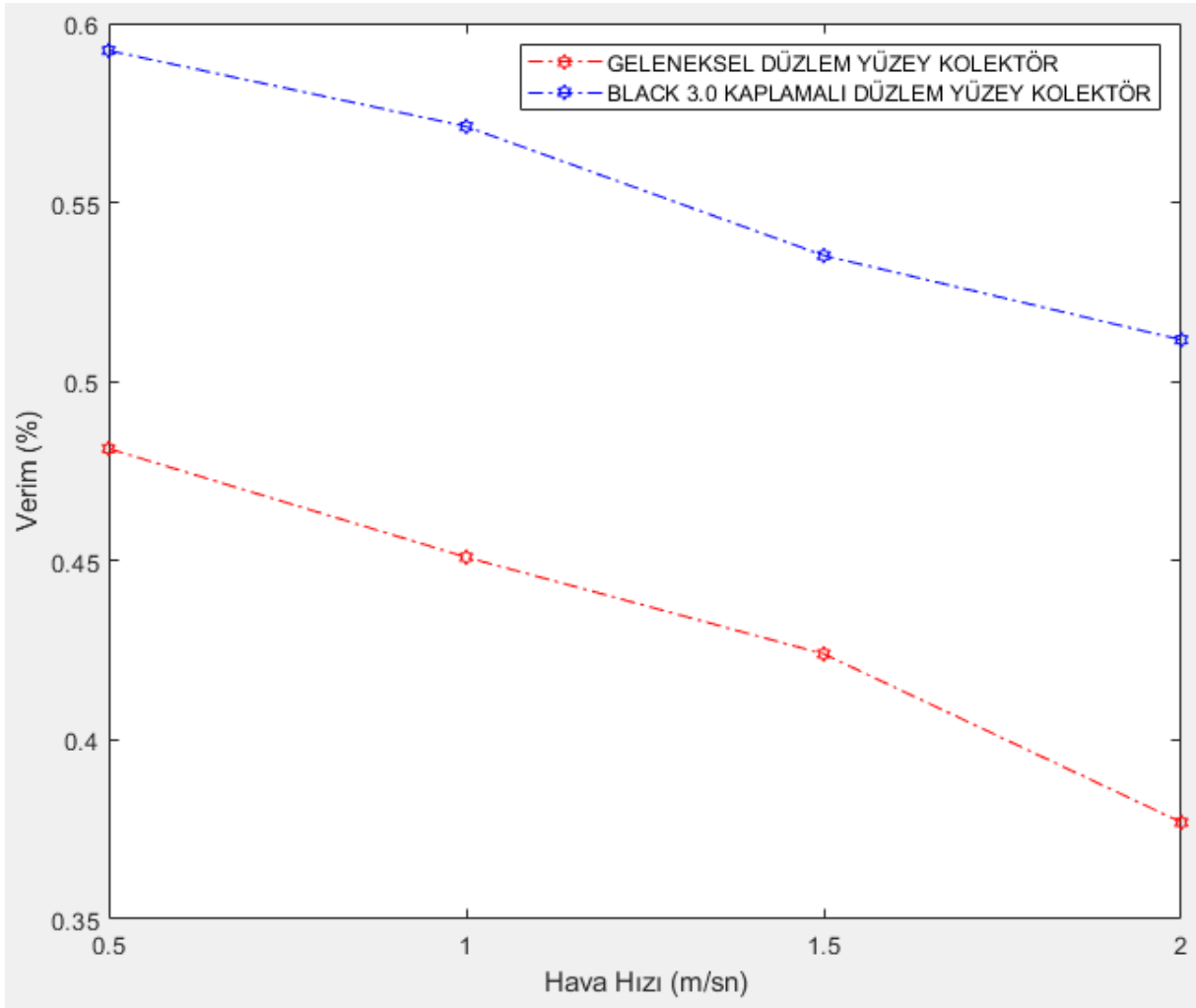
Şekil 46. Farklı ışınım değerleri için 1,5 m/sn hava hızında ve akışkan olarak SiO₂ (%0,2) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması

Şekil 46'da geleneksel düzlem yüzey kolektörü ile Black 3.0 kaplamalı kolektörde 1,5 m/sn hız için ve akışkan olarak SiO₂ (%0,2) kullanılması durumunda 600,700, 800, 900 W/m² ışınımlar için verim artışı sırasıyla %23,9, %23, %18,3 ve %19,5 olarak saptanmıştır.



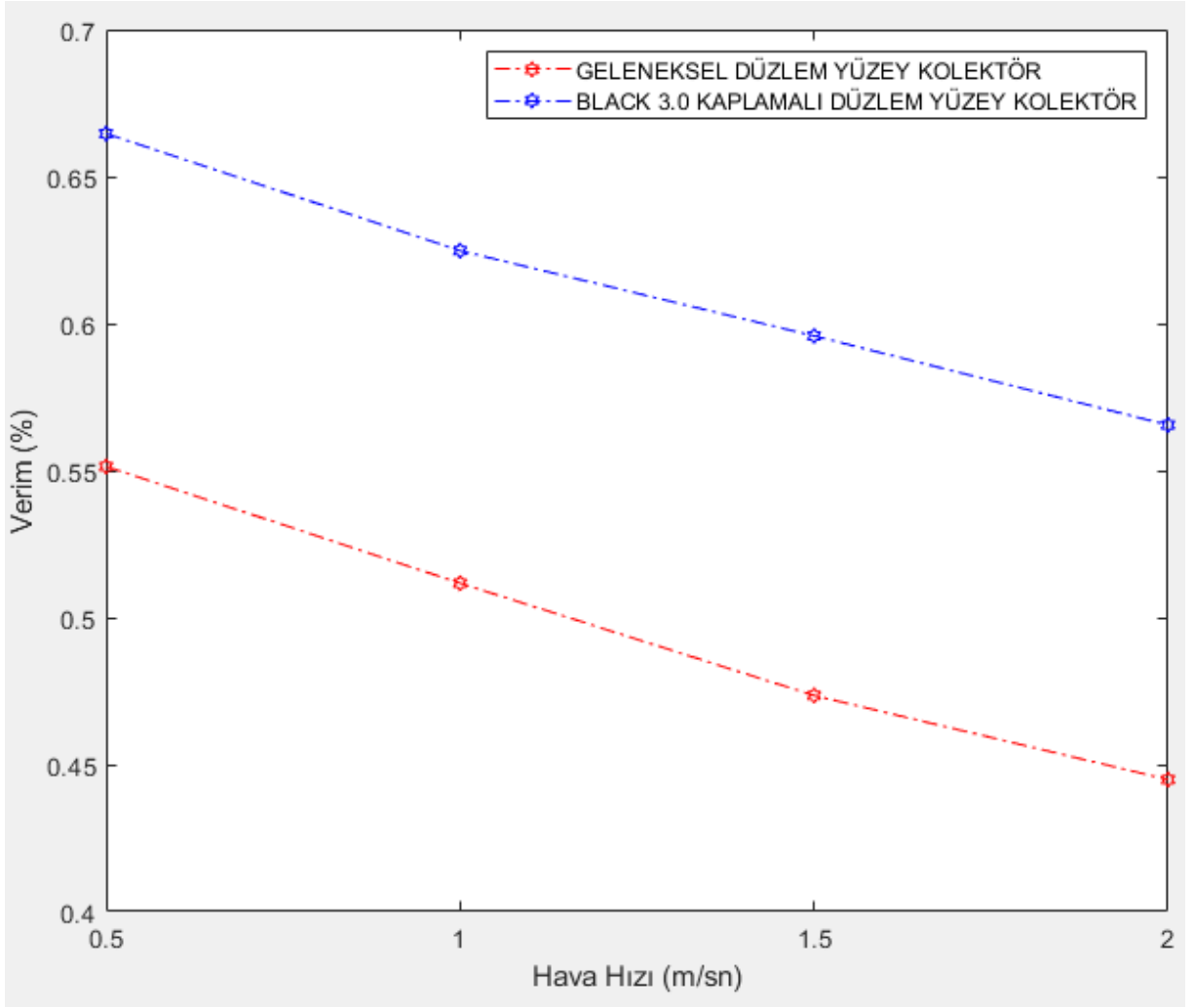
Şekil 47. Farklı ışınım değerleri için 2 m/sn hava hızında ve akışkan olarak SiO₂ (%0,2) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması

Şekil 47’de geleneksel düzlem yüzey kolektörü ile Black 3.0 kaplamalı kolektörde 2 m/sn hız için ve akışkan olarak SiO₂ (%0,2) kullanılması durumunda 600,700, 800, 900 W/m² ışınımlar için verim artışı sırasıyla %25, %23,9, %22,9 ve %19 olarak saptanmıştır.



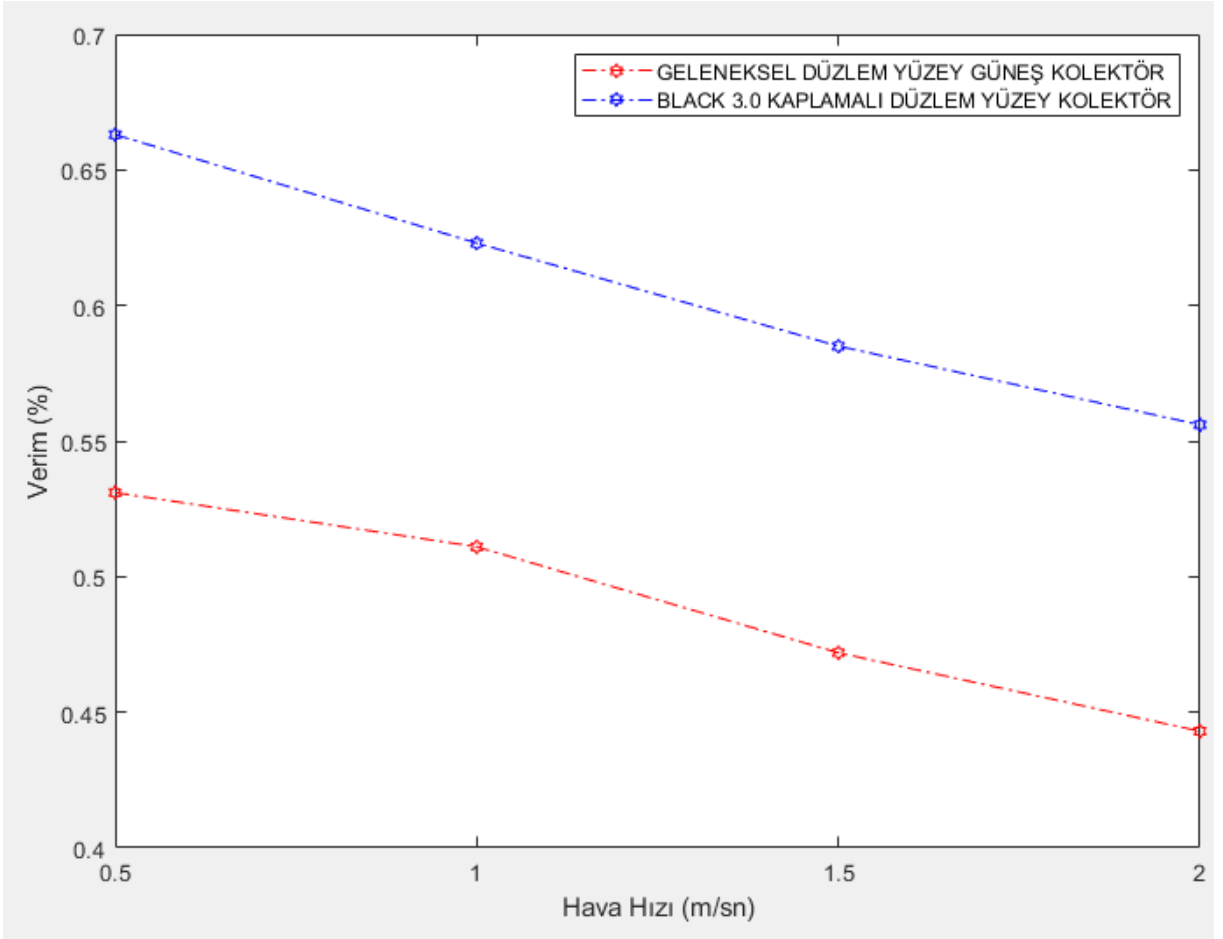
Şekil 48. Farklı hava hızı değerleri için 600 W/m² ışınım ve akışkan olarak su kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması

Şekil 48’de 600 W/m² ışınım için 0,5, 1, 1,5, 2 m/sn hız ve akışkan olarak su kullanılması durumunda geleneksel düzlem yüzey kolektör ile Black 3.0 kaplamalı sistem karşılaştırıldığında sırasıyla % 22,9, % 26,6, % 26,1, % 37,8 verim artışı görülmüştür.



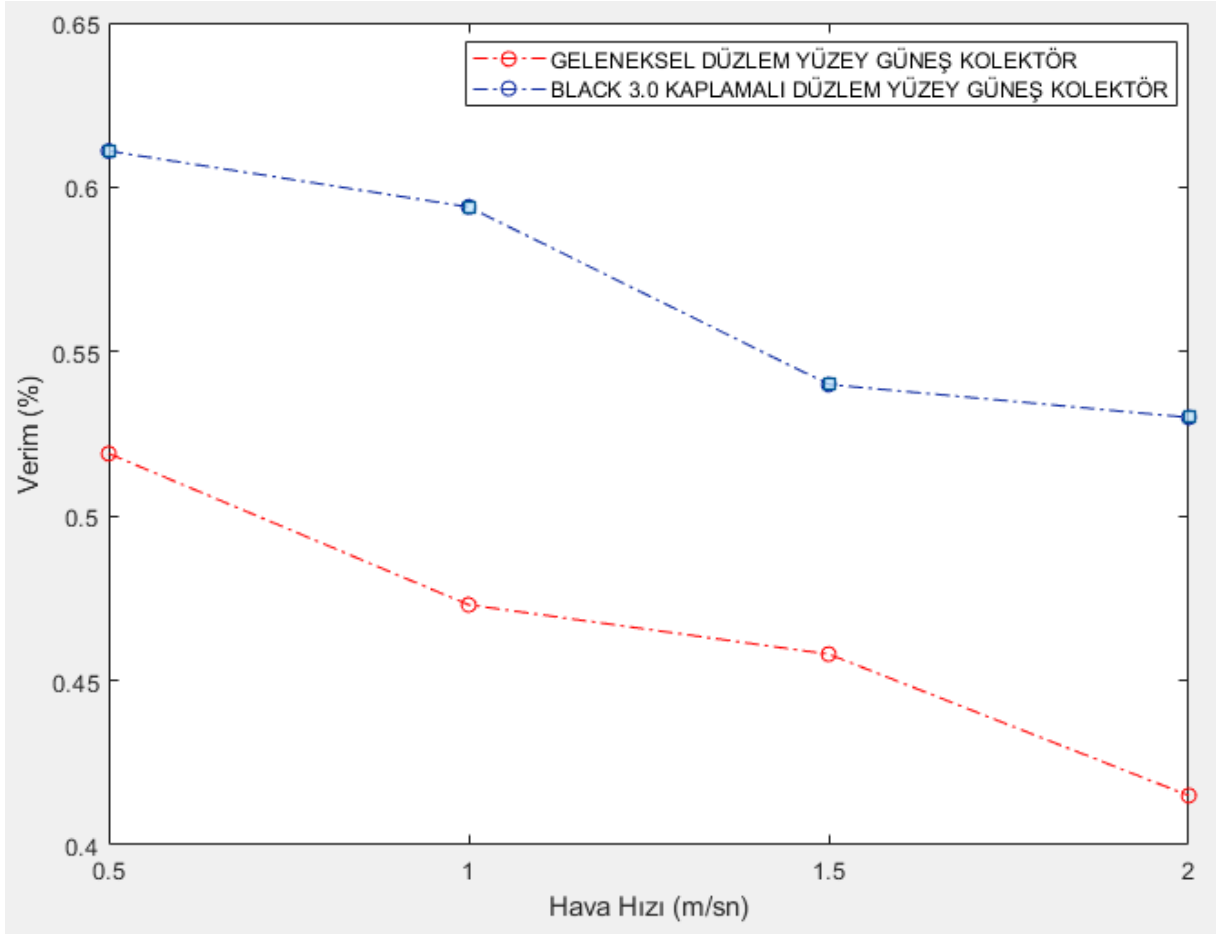
Şekil 49. Farklı hava hızı değerleri için 600 W/m^2 ışınlım ve akışkan olarak SiO_2 (%0,1) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması

Şekil 49’da 600 W/m^2 ışınlım için 0,5, 1, 1,5, 2 m/sn hava hızı ve SiO_2 (%0,1) nano akışkan kullanılması durumunda geleneksel düzlem yüzey kolektör ile Black 3.0 kaplamalı sistem karşılaştırıldığında sırasıyla % 20, %21,5, %25,5, %27,2 verim artışı görülmüştür.



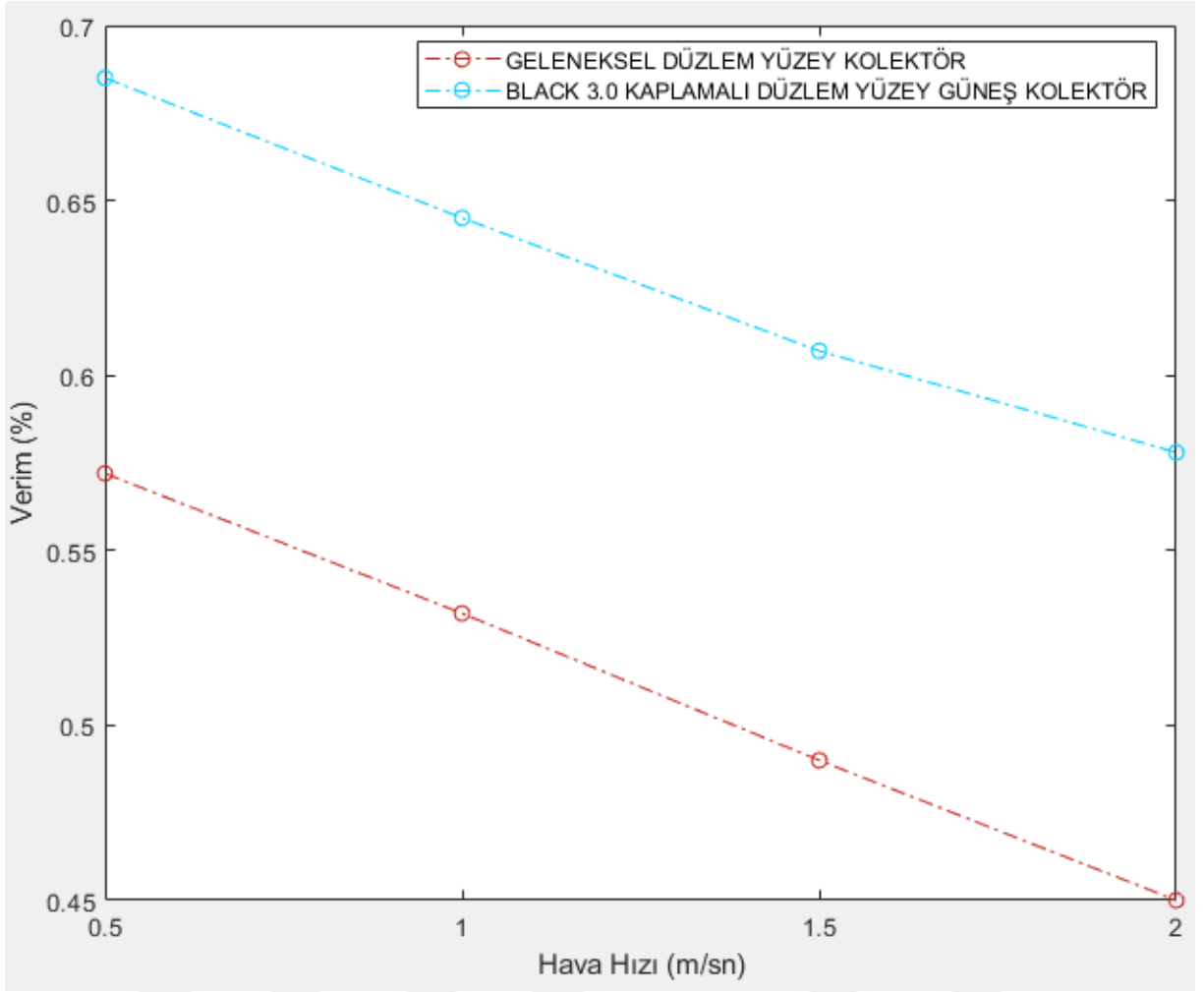
Şekil 50. Farklı hava hızı değerleri için 600 W/m^2 ışınlım ve akışkan olarak SiO_2 (%0,2) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması

Şekil 50’de 600 W/m^2 ışınlım için 0,5, 1, 1,5, 2 m/sn hava hızı ve SiO_2 (%0,2) nano akışkan kullanılması durumunda geleneksel düzlem yüzey kolektör ile Black 3.0 kaplamalı sistem karşılaştırıldığında sırasıyla % 24,5, %21,5, %23,9, %25 verim artışı görülmüştür.



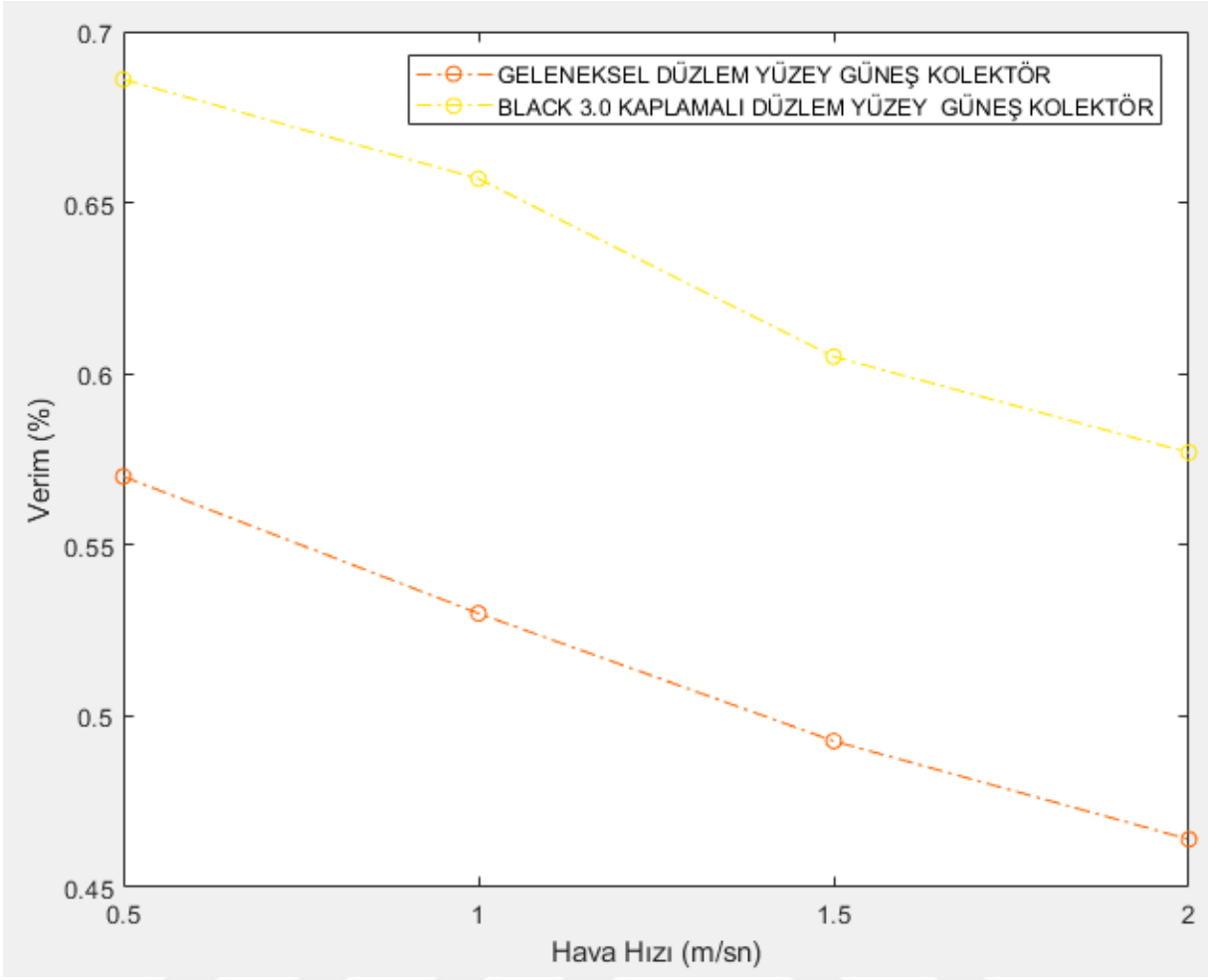
Şekil 51. Farklı hava hızı değerleri için 700 W/m^2 ışınlım ve akışkan olarak su kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması

Şekil 51’de 700 W/m^2 ışınlım için 0,5, 1, 1,5, 2 m/ sn hız ve akışkan olarak su kullanılması durumunda geleneksel düzlem yüzey kolektör ile Black 3.0 kaplamalı sistem karşılaştırıldığında sırasıyla % 19,6, %25,5, %20, %29,26 verim artışı görülmüştür.



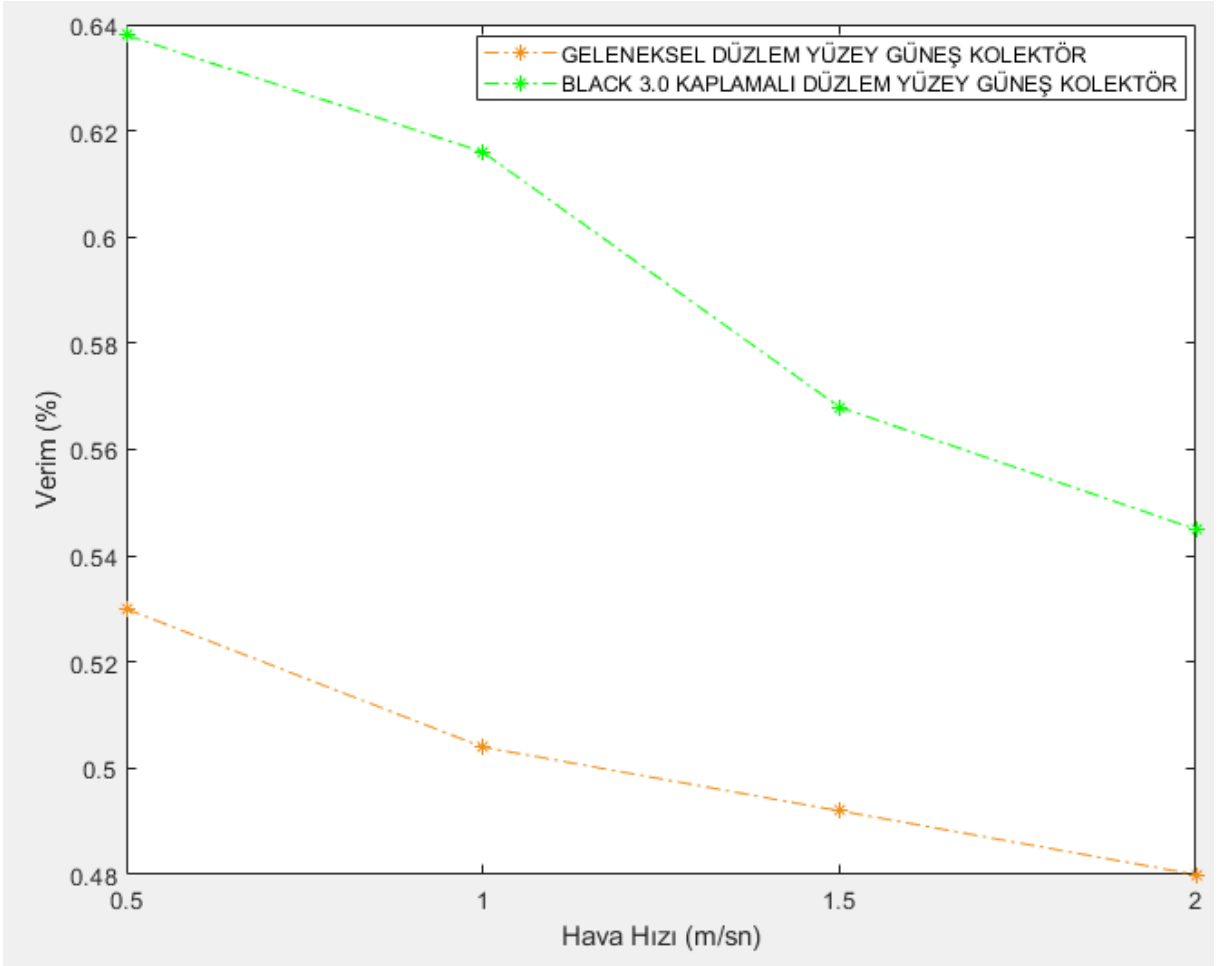
Şekil 52. Farklı hava hızı değerleri için 700 W/m^2 ışınlım ve akışkan olarak SiO_2 (%0,1) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması

Şekil 52’de 700 W/m^2 ışınlım için 0,5, 1, 1,5, 2 m/sn hava hızı ve SiO_2 (%0,1) nano akışkan kullanılması durumunda geleneksel düzlem yüzey kolektör ile Black 3.0 kaplamalı sistem karşılaştırıldığında sırasıyla % 19,7, %20,7, %22,4, %26,6 verim artışı görülmüştür.



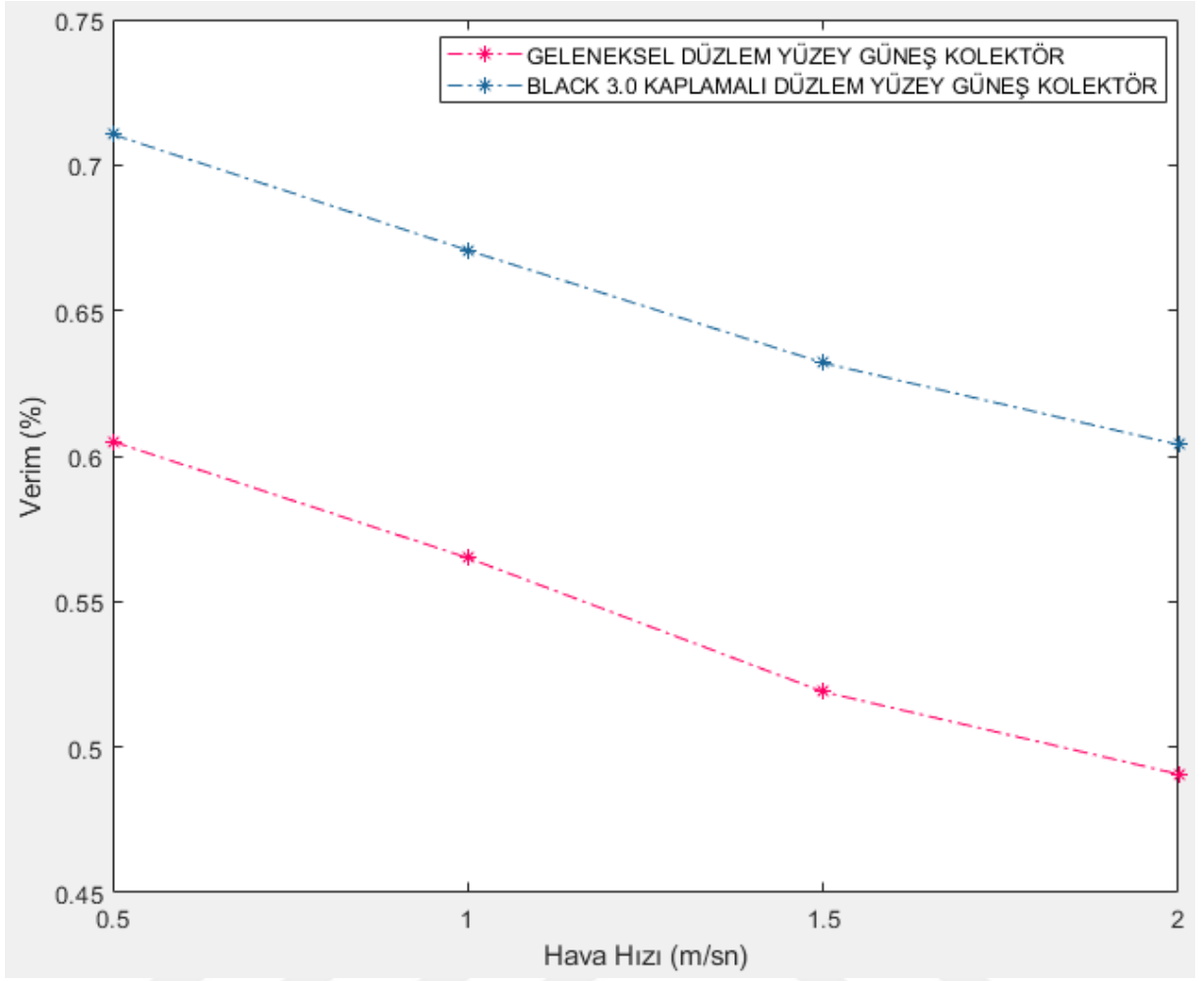
Şekil 53. Farklı hava hızı değerleri için 700 W/m^2 ışınlım ve akışkan olarak SiO_2 (%0,2) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması

Şekil 53'te 700 W/m^2 ışınlım için 0,5, 1, 1,5, 2 m/sn hava hızı ve SiO_2 (%0,2) nano akışkan kullanılması durumunda geleneksel düzlem yüzey kolektör ile Black 3.0 kaplamalı sistem karşılaştırıldığında sırasıyla % 19,2, %22,6, %23, %23,9 verim artışı görülmüştür.



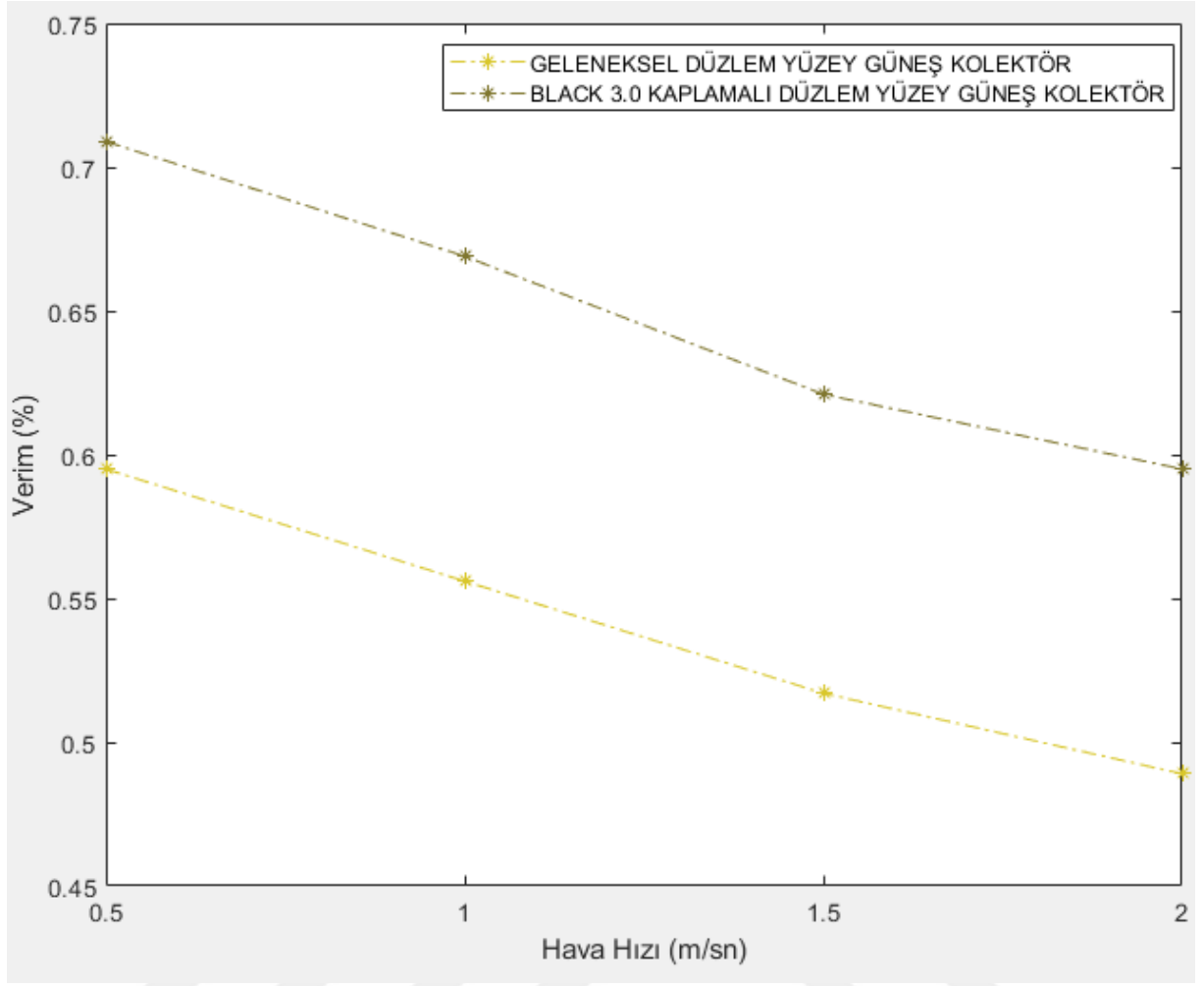
Şekil 54. Farklı hava hızı değerleri için 800 W/m^2 ışınlım ve akışkan olarak su kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması

Şekil 54'te 800 W/m^2 ışınlım için 0,5, 1, 1,5, 2 m/sn hız ve akışkan olarak su kullanılması durumunda geleneksel düzlem yüzey kolektör ile Black 3.0 kaplamalı sistem karşılaştırıldığında sırasıyla % 16,6, %22, %14,2, %12,5 verim artışı görülmüştür.



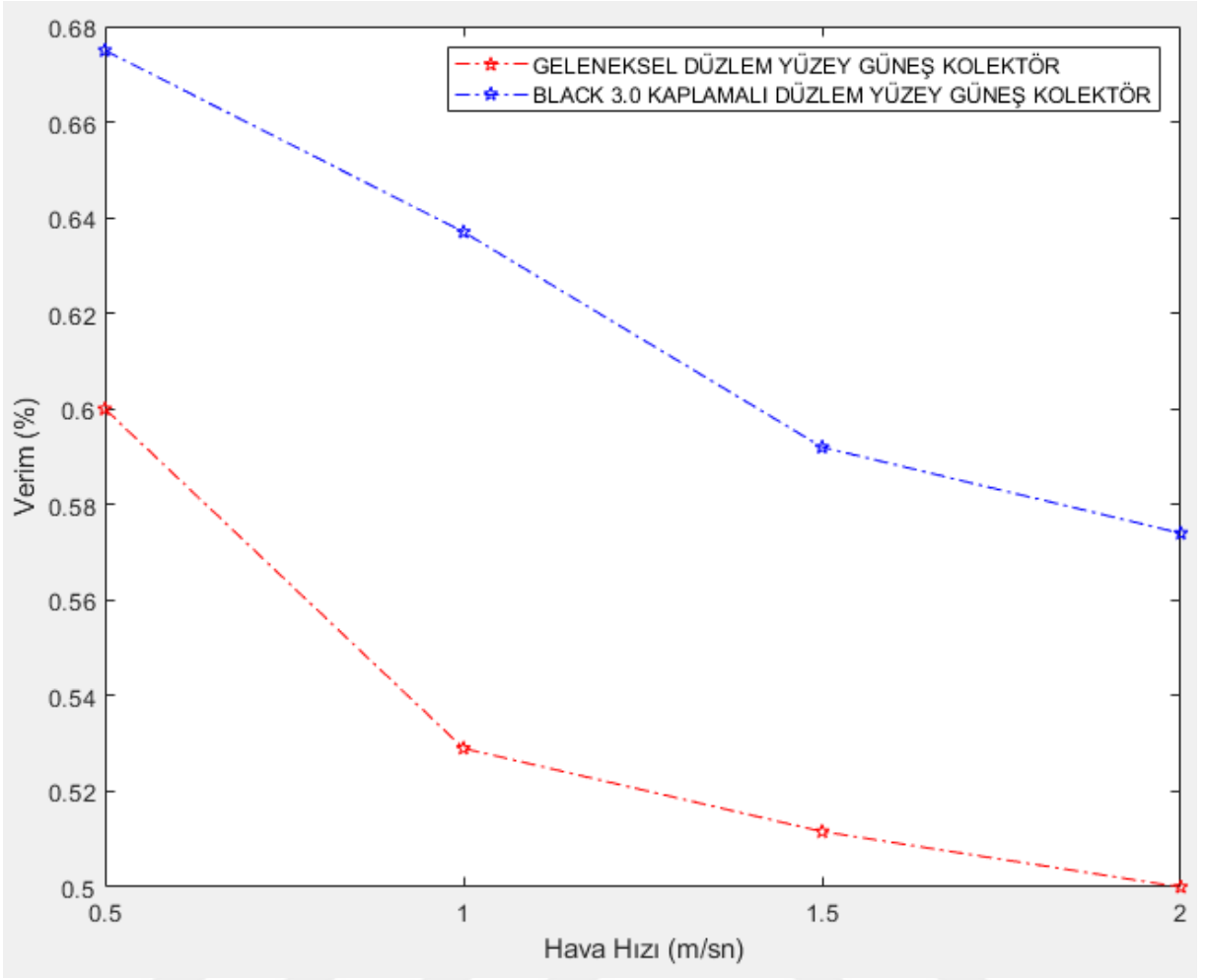
Şekil 55. Farklı hava hızı değerleri için 800 W/m^2 ışınlım ve akışkan olarak SiO_2 (%0,1) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması

Şekil 55'te 800 W/m^2 ışınlım için 0,5, 1, 1,5, 2 m/sn hava hızı ve SiO_2 (%0,1) nano akışkan kullanılması durumunda geleneksel düzlem yüzey kolektör ile Black 3.0 kaplamalı sistem karşılaştırıldığında sırasıyla % 18,3, %18,47, %23,5, %22,4 verim artışı görülmüştür.



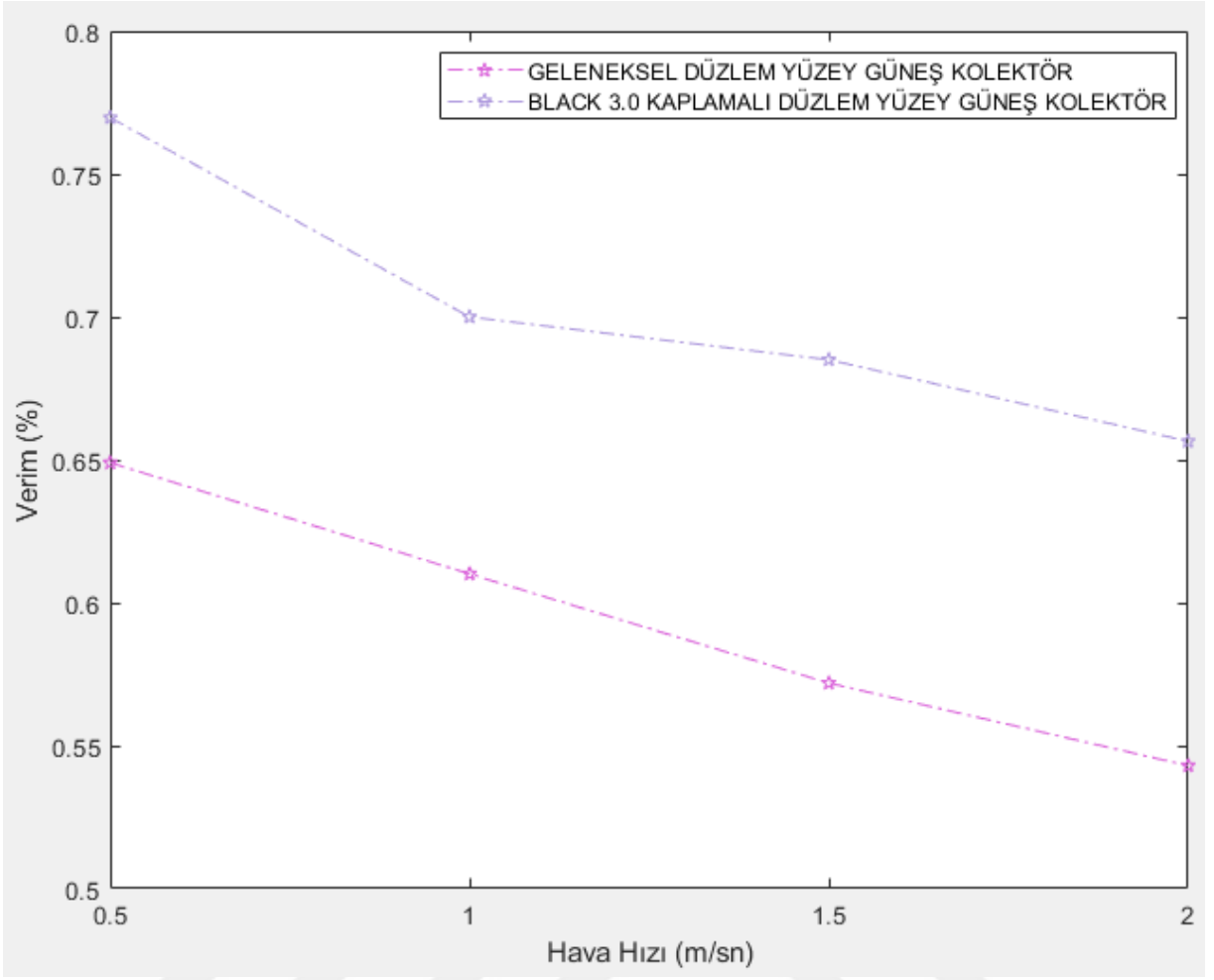
Şekil 56. Farklı hava hızı değerleri için 800 W/m^2 ışınlım ve akışkan olarak SiO_2 (%0,2) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması

Şekil 56'da 800 W/m^2 ışınlım için 0,5, 1, 1,5, 2 m/sn hava hızı ve SiO_2 (%0,2) nano akışkan kullanılması durumunda geleneksel düzlem yüzey kolektör ile Black 3.0 kaplamalı sistem karşılaştırıldığında sırasıyla % 18,6, %20, %18,3, % 22,9 verim artışı görülmüştür.



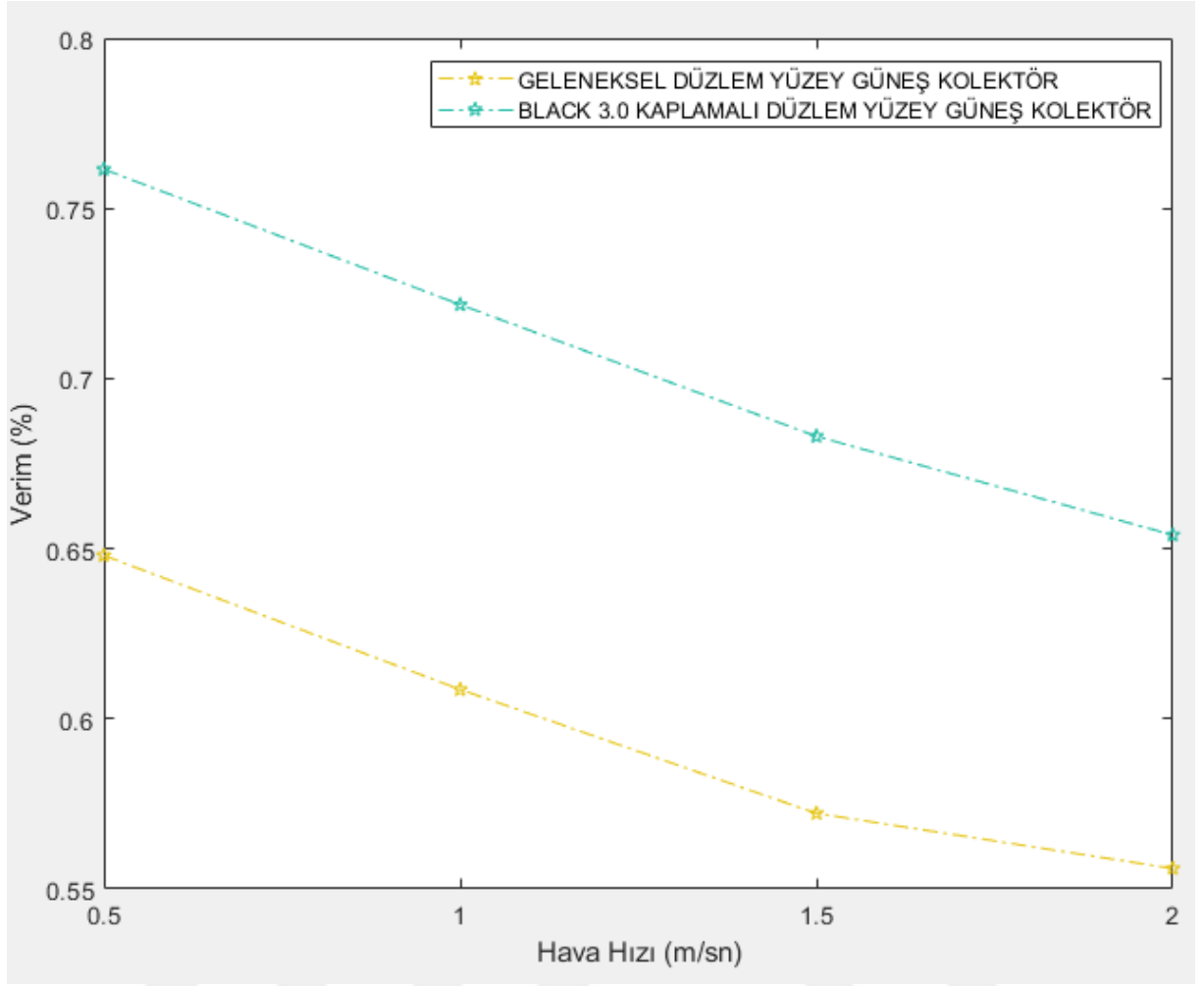
Şekil 57. Farklı hava hızı değerleri için 900 W/m^2 ışınlım ve akışkan olarak su kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması

Şekil 57'de 900 W/m^2 ışınlım için 0,5, 1, 1,5, 2 m/sn hız ve akışkan olarak su kullanılması durumunda geleneksel düzlem yüzey kolektör ile Black 3.0 kaplamalı sistem karşılaştırıldığında sırasıyla % 12,5, %21,15, %15,6, %14 verim artışı görülmüştür.



Şekil 58. Farklı hava hızı değerleri için 900 W/m^2 ışınlım ve akışkan olarak SiO_2 (%0,1) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması

Şekil 58’de 900 W/m^2 ışınlım için 0,5, 1, 1,5, 2 m/sn hava hızı ve SiO_2 (%0,1) nano akışkan kullanılması durumunda geleneksel düzlem yüzey kolektör ile Black 3.0 kaplamalı sistem karşılaştırıldığında sırasıyla % 16,92, %14,75, %19,3, %20 verim artışı görülmüştür.



Şekil 59. Farklı hava hızı değerleri için 900 W/m^2 ışıma ve akışkan olarak SiO_2 (%0,2) kullanılması durumunda geleneksel kolektör ile Black 3.0 kaplamalı kolektörün termal verim karşılaştırılması

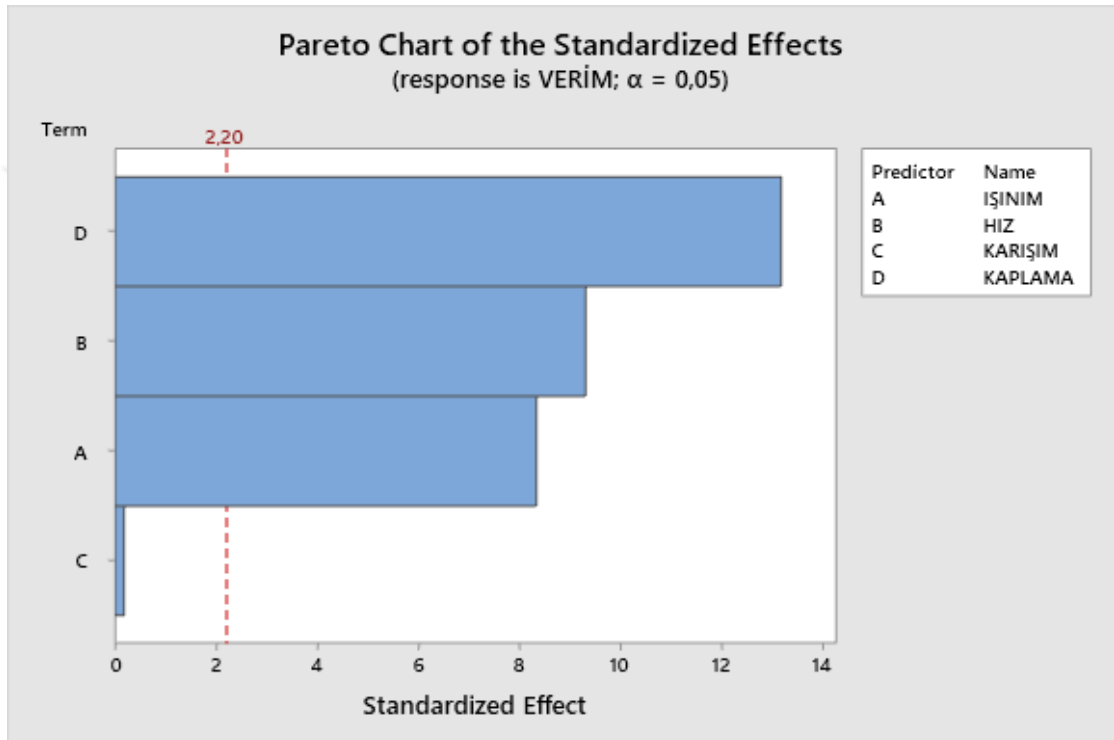
Şekil 59’da 900 W/m^2 ışıma için 0,5, 1, 1,5, 2 m/sn hava hızı ve SiO_2 (%0,2) nano akışkan kullanılması durumunda geleneksel düzlem yüzey kolektör ile Black 3.0 kaplamalı sistem karşılaştırıldığında sırasıyla % 17,2, %20, %19,5, %19 verim artışı görülmüştür.

Taguchi Metodu İle Yapılan Deney Bulguları

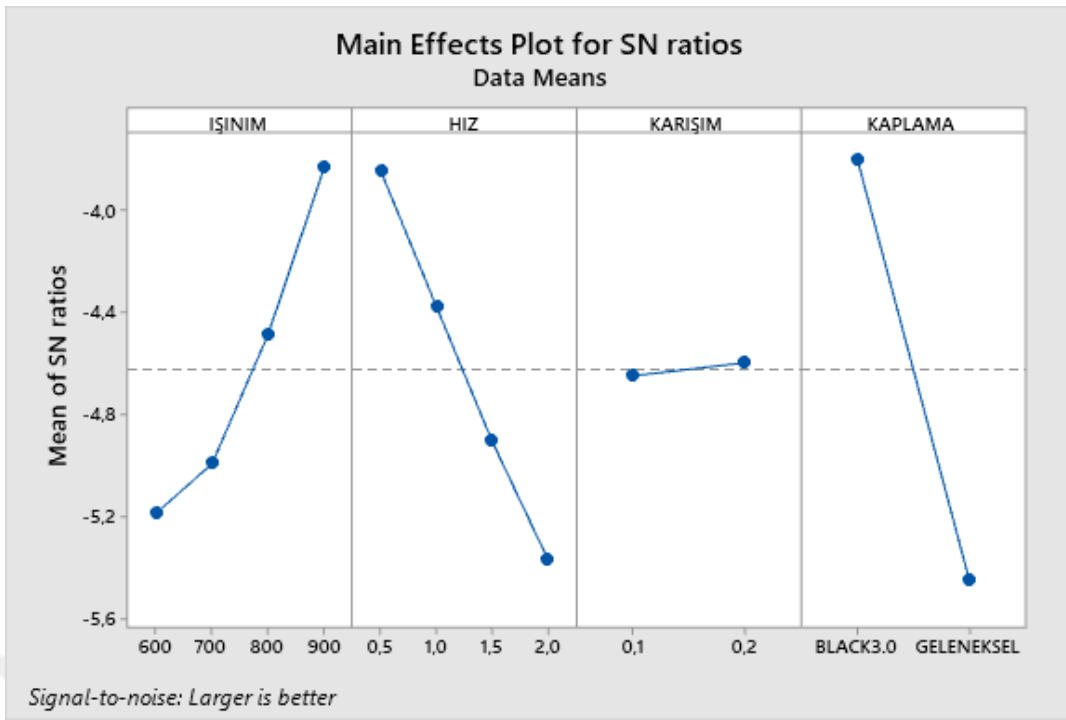
Taguchi L16 ($2^2 \times 4^2$) deney planına göre hedef fonksiyon olarak termal verim seçilmiştir. Kolektör verimini etkileyen parametrelerin anlamlı bir şekilde farklılaşp farklılaşmadığını test etmek amacıyla istatistiksel testlerden parametrik bir test olan varyans analizi yapılmıştır. Varyans analizi sonucunda hesapların $P < 0.05$ olması durumunda istatistiksel olarak anlamlı olduğu kabul edilmektedir. Düzlem yüzey güneş kolektörün verimlilik katsayısı, farklı faktörlerin göreceli etkisinin daha objektif bir değerlendirme yöntemini sağlayan ANOVA teorisine dayalı olarak analiz edilmiştir. Tablo 14’te gösterildiği gibi, genel olarak F-oranının 2’den büyük olması faktör etkisinin anlamlı olduğunu göstermektedir. (Kuo *et al.* 2011)

Tablo 14. ANOVA

Source	DF	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
İŞİNİM	3	21,52%	0,021657	0,007219	25,43	0,000
HAVA HIZI	3	25,58%	0,025746	0,008582	30,23	0,000
KARIŞIM	1	0,01%	0,000010	0,000010	0,03	0,859
KAPLAMA	1	50,91%	0,051237	0,051237	180,46	0,000
Error	7	1,97%	0,001987	0,000284		
Total	15	100,00%				

**Şekil 60. Pareto grafiği**

Pareto grafiği ile hedef fonksiyona etki eden en önemli parametreleri listeleyip önem derecesini görmemizi sağlar. Şekil 60'da verilen pareto grafiğine göre, verimlilik katsayısı üzerinde en önemli etkiye sahip olan parametrelerin sırasıyla kaplama, hız (hava hızı), işinim ve karışım oranı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 61. SN ratio

Çalışmada öncelikle, SN oranını elde etmek için deneysel veriler hesaplanmıştır. Bu yüzden hesaplama metodu, beklenen kalite özelliklerine bağlıdır. Ortalama yanıt değeri çeşitli faktör seviyeleri için hesaplanmış ve çeşitli faktör seviyelerinin ana etki değeri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, her bir parametre aşamasının etki analizi için bir sonuç grafiğine çizilmiştir (Şekil 61). Bir faktörün ana etki değeri ne kadar büyükse, faktörün sistem üzerindeki etkisi diğer faktörlere göre o kadar fazladır. Aynı zamanda, bir faktörün ana etki değeri diğer faktörlere kıyasla küçükse, kalite iyileştirme etkisi anlamlı değildir. Düzlem yüzey güneş kolektör daha yüksek bir verimlilik katsayısı gerektirdiğinden, verimlilik katsayısının belirlenmesi için daha büyük daha iyi (larger is better) olarak seçilmiştir. (Kuo *et al.* 2011)

$$Z_L = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right) \quad (22)$$

Burada Z_L performans istatistikleri, n deneysel kombinasyonlar için yapılan tekrar sayısı ve Y_i ise i . deneyin performans değerini ifade etmektedir (Şahin, 2005).

Tablo 15. Özet Tablosu

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0168502	98,03%	95,77%	89,68%

Model özet tablosu, model ile bağımlı değişken arasındaki ilişkinin gücünü belirtmektedir. Belirleme katsayısı olan R-sq, çoklu korelasyon katsayısının karesini ifade

etmektedir. Tablo 15’te görüldüğü gibi model belirleme katsayısı 0,95’ten yüksektir, yani verilerin %95,77’inin en iyi model tarafından açıklandığı anlamına gelmektedir. Ayrıca bu katsayının yüksek olması model ile bağımlı değişken arasındaki ilişkinin güçlü olduğunu göstermektedir.

Tablo 16. Korelasyon Denklemleri

KAPLAMA	
BLACK3.0	VERİM = 0,5005 + 0,000320 IŞINIM - 0,07157 HAVA HIZI - 0,0155 KARIŞIM
GELENEKSEL	VERİM = 0,3874 + 0,000320 IŞINIM - 0,07157 HAVA HIZ - 0,0155 KARIŞIM

Çalışmada geleneksel düzlem yüzey kolektörü ve Black 3.0 kaplamalı olmak üzere iki farklı kaplama kullanıldığı durumda termal verimler için belirlenen korelasyonlar denklemleri Tablo 16’da verilmiştir.

Tablo 17. Optimum Değer

Işınım	900 W/m ²
Hava hızı	0,5 m/sn
Karışım oranı	0,1
Kaplama türü	Black 3.0
Optimum değer	% 76,9734

Tablo 17’de geometrik parametreler ile optimal olarak hesaplanan değerlerin kesişimini göstermektedir. Gri ilişkisel sınıftan yararlanılarak, düzlem yüzey güneş kolektörü sisteminin çoklu performans özellikleri basitleştirilerek en iyi çalışma ortamı koşulu belirlenir. Optimum koşul, tüm faktörlerin aynı anda en yüksek gri ilişkisel derecesine sahip olması durumunda gerçekleşir. Elde edilen optimal değerlerin temel koşullara göre önemli ölçüde daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılabilir.

Optimum şartlarda havaya kazandırılan güç 129 W’tır. Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan verilere göre Erzurum ili için yıllık ortalama güneşlenme saati 7 saat olduğundan dolayı belirli meyve ve sebzeleri kurutmak için referans alınmıştır.

Optimum değer saptaması yapıldıktan sonra kurutma işleminde bu parametreler kullanılarak teorik hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda havaya kazandırılan maksimum güç ile sırasıyla elma, muz, şeftali, erik, kırmızıbiber ve kayısı için

kurutma hesabı yapılmıştır. Maksimum güç ile en fazla kurutulabilecek meyve elma iken en az kurutulan meyve erik olmuştur.

1. Elma

Deneyle süresince elmanın başlangıç neminin %80 olduğu ve kuruma gerçekleşebilmesi için neminin % 24 oranlarına düşürülmesi gerekmektedir. Denklem 18 ile;

$$\frac{100 - 24}{100 - 80} = 3,8 \text{ kg}$$

1 kg kuru elma elde edebilmek için 3,8 kg taze elmaya ihtiyaç vardır. Bir kg elmanın kurutulması için 0,7368 kg suyun buharlaştırılması gerekmektedir. (Anonim 2021f) Buharlaştırılacak her bir kg elma için 1502 kJ'lük ısı gerekmektedir. 7 saatlik bir güneşlenme günü için kolektör 3250.8 kJ'lük ısı toplar. Bu ısıyla denklem 19 ile;

$$\frac{3250.8 \text{ kJ}/7 \text{ saat}}{1502 \text{ kJ}/\text{kg}.su} = 2,16 \text{ kg}.su/7 \text{ saat}$$

su buharlaştırılabilir. 7 saat sonunda kuruluğa getirileceği kabul edilerek denklem 20 ve 21 ile;

$$\frac{7 \text{ saat} * 2,16 \text{ kg}.su}{7 \text{ saat}} = 2,16 \text{ kg}.su$$

$$\frac{2,16 \text{ kg}.su}{0,7368 \text{ kg su}/\text{kg elma}} = 2,93 \text{ kg elma}$$

0,1863 m² alana sahip bir kolektör ile 7 saatte yaklaşık 3 kg elma kurutulabilir. 1 ay boyunca bu işlemin devam etmesi durumunda bir kolektör ile yaklaşık 90 kg elma kurutulabilmektedir.

Ayrıca geleneksel düzlem yüzey kolektör için optimum durumda ise 7 saatlik bir güneşlenme günü için kolektör 2560.32 kJ'lük ısı toplamaktadır. Bu ısıyla denklem 19 ile;

$$\frac{2560.32 \text{ kJ}/7 \text{ saat}}{1502 \text{ kJ}/\text{kg}.su} = 1,7 \text{ kg}.su/7 \text{ saat}$$

su buharlaştırılabilir. 7 saat sonunda kuruluğa getirileceği kabul edilerek denklem 20 ve 21 ile;

$$\frac{7 \text{ saat} * 1,7 \text{ kg}.su}{7 \text{ saat}} = 1,7 \text{ kg}.su$$

$$\frac{1,7 \text{ kg}.su}{0,7368 \text{ kg su}/\text{kg elma}} = 2,3 \text{ kg elma}$$

0,1863 m² alana sahip geleneksel düzlem yüzey güneş kolektör ile 7 saatte yaklaşık 2,3 kg elma kurutulabilir. Geleneksel düzlem yüzey kolektörü ile 1 aylık süreçte ise 69 kg elma kurutulabilmektedir.

Bu kapsamda bir aylık süreç için 1 ton elma kurutmak gerekirse Black 3.0 kaplamalı ve nano akışkan kullanılması durumundaki optimum şartlar ile 12 adet kolektör gerekirken, geleneksel düzlem yüzey kolektörü kullanılarak optimum şartlarında ise yaklaşık 15 adet kolektör ile yapılabilmektedir.

2. Muz

Deneyle süresince muzun başlangıç neminin %80 olduğu ve kuruma gerçekleşebilmesi için neminin % 15 oranlarına düşürülmesi gerekmektedir. Denklem 18 ile;

$$\frac{100 - 15}{100 - 80} = 4,25 \text{ kg}$$

1 kg kuru muz elde edebilmek için 4,25 kg taze muza ihtiyaç vardır. Bir kg muzun kurutulması için 0,8235 kg suyun buharlaştırılması gerekmektedir. (Anonim 2021f) Buharlaştırılacak her bir kg muz için 1679 kJ'lük ısı gerekmektedir. 7 saatlik bir güneşlenme günü için kolektör 3250.8 kJ'lük ısı toplar. Bu ısıyla denklem 19 ile;

$$\frac{3250.8 \text{ kJ}/7 \text{ saat}}{1679 \text{ kJ}/\text{kg. su}} = 1,93 \text{ kg. su}/7 \text{ saat}$$

su buharlaştırılabilir. 7 saat sonunda kuruluğa getirileceği kabul edilerek denklem 20 ve 21 ile;

$$\frac{7 \text{ saat} * 1,93 \text{ kg. su}}{7 \text{ saat}} = 1,93 \text{ kg. su}$$

$$\frac{1,93 \text{ kg. su}}{0,8235 \text{ kg su}/\text{kg muz}} = 2,35 \text{ kg muz}$$

0,1863 m² alana sahip bir kolektör ile 7 saatte yaklaşık 2,35 kg muz kurutulabilir.

3. Şeftali

Deneyle süresince şeftalinin başlangıç neminin %85 olduğu ve kuruma gerçekleşebilmesi için neminin % 18 oranlarına düşürülmesi gerekmektedir. Denklem 18 ile;

$$\frac{100 - 18}{100 - 85} = 5,46 \text{ kg}$$

1 kg kuru şeftali elde edebilmek için 5,46 kg taze şeftaliye ihtiyaç vardır. Bir kg şeftalinin kurutulması için 0,8171 kg suyun buharlaştırılması gerekmektedir. (Anonim 2021f) Buharlaştırılacak her bir kg şeftali için 1666 kJ'lük ısı gerekmektedir. 7 saatlik bir güneşlenme günü için kolektör 3250.8 kJ'lük ısı toplar. Bu ısıyla denklem 19 ile;

$$\frac{3250.8 \text{ kJ}/7 \text{ saat}}{1666 \text{ kJ}/\text{kg. su}} = 1,95 \text{ kg. su}/7 \text{ saat}$$

su buharlaştırılabilir. 7 saat sonunda kuruluğa getirileceği kabul edilerek denklem 20 ve 21 ile;

$$\frac{7 \text{ saat} * 1,95 \text{ kg. su}}{7 \text{ saat}} = 1,95 \text{ kg. su}$$

$$\frac{1,95 \text{ kg. su}}{0,8171 \text{ kg su/kg şeftali}} = 2,38 \text{ kg şeftali}$$

0,1863 m² alana sahip bir kolektör ile 7 saatte yaklaşık 2,38 kg şeftali kurutulabilir.

4. Erik

Deneyle süresince eriğin başlangıç neminin %85 olduğu ve kuruma gerçekleşebilmesi için neminin % 15 oranlarına düşürülmesi gerekmektedir. Denklem 18 ile;

$$\frac{100 - 15}{100 - 85} = 5,66 \text{ kg}$$

1 kg kuru erik elde edebilmek için 5,66 kg taze eriğe ihtiyaç vardır. Bir kg eriğin kurutulması için 0,8235 kg suyun buharlaştırılması gerekmektedir. (Anonim 2021f) Buharlaştırılacak her bir kg erik için 1769 kJ'lük ısı gerekmektedir. 7 saatlik bir güneşlenme günü için kolektör 3250.8 kJ'lük ısı toplar. Bu ısıyla denklem 19 ile;

$$\frac{3250.8 \text{ kJ}/7 \text{ saat}}{1769 \text{ kJ}/\text{kg. su}} = 1,83 \text{ kg. su}/7 \text{ saat}$$

su buharlaştırılabilir. 7 saat sonunda kuruluğa getirileceği kabul edilerek denklem 20 ve 21 ile;

$$\frac{7 \text{ saat} * 1,83 \text{ kg. su}}{7 \text{ saat}} = 1,83 \text{ kg. su}$$

$$\frac{1,83 \text{ kg. su}}{0,8235 \text{ kg su/kg erik}} = 2,23 \text{ kg erik}$$

0,1863 m² alana sahip bir kolektör ile 7 saatte yaklaşık 2,23 kg erik kurutulabilir.

5. Kırmızıbiber

Deneyle süresince kırmızıbiber başlangıç neminin %80 olduğu ve kuruma gerçekleşebilmesi için neminin % 5 oranlarına düşürülmesi gerekmektedir. Denklem 18 ile;

$$\frac{100 - 5}{100 - 80} = 4,75 \text{ kg}$$

1 kg kuru kırmızıbiber elde edebilmek için 4,75 kg taze kırmızıbiber ihtiyaç vardır. Bir kg kırmızıbiberin kurutulması için 0,7895 kg suyun buharlaştırılması gerekmektedir. (Anonim 2021f) Buharlaştırılacak her bir kg kırmızıbiber için 1610 kJ'lük ısı gerekmektedir. 7 saatlik bir güneşlenme günü için kolektör 3250.8 kJ'lük ısı toplar. Bu ısıyla denklem 19 ile;

$$\frac{3250.8 \text{ kJ}/7 \text{ saat}}{1610 \text{ kJ}/\text{kg}.su} = 2 \text{ kg}.su/7 \text{ saat}$$

su buharlaştırılabilir. 7 saat sonunda kuruluğa getirileceği kabul edilerek denklem 20 ve 21 ile;

$$\frac{7 \text{ saat} * 2 \text{ kg}.su}{7 \text{ saat}} = 2 \text{ kg}.su$$

$$\frac{2 \text{ kg}.su}{0,7895 \text{ kg su}/\text{kg kırmızıbiber}} = 2,55 \text{ kg kırmızıbiber}$$

0,1863 m² alana sahip bir kolektör ile 7 saatte yaklaşık 2,55 kg kırmızıbiber kurutulabilir. 1 ay boyunca bu işlemin devam etmesi durumunda bir kolektör ile yaklaşık 77 kg kırmızıbiber kurutulabilmektedir.

Ayrıca geleneksel düzlem yüzey kolektör için optimum durumda ise 7 saatlik bir güneşlenme günü için kolektör 2560.32 kJ'lük ısı toplamaktadır. Bu ısıyla denklem 19 ile;

$$\frac{2560.32 \text{ kJ}/7 \text{ saat}}{1610 \text{ kJ}/\text{kg}.su} = 1,59 \text{ kg}.su/7 \text{ saat}$$

su buharlaştırılabilir. 7 saat sonunda kuruluğa getirileceği kabul edilerek denklem 20 ve 21 ile;

$$\frac{7 \text{ saat} * 1,59 \text{ kg}.su}{7 \text{ saat}} = 1,7 \text{ kg}.su$$

$$\frac{1,59 \text{ kg}.su}{0,7895 \text{ kg su}/\text{kg kırmızıbiber}} = 2 \text{ kg kırmızıbiber}$$

0,1863 m² alana sahip geleneksel düzlem yüzey güneş kolektör ile 7 saatte yaklaşık 2 kg kırmızıbiber kurutulabilir. Geleneksel düzlem yüzey kolektörü ile 1 aylık süreçte ise 60 kg kırmızıbiber kurutulabilmektedir.

Bu kapsamda bir aylık süreç için 1 ton kırmızıbiber kurutmak gerekirse Black 3.0 kaplamalı ve nano akışkan kullanılması durumundaki optimum şartlar ile yaklaşık 13 adet kolektör gerekirken, geleneksel düzlem yüzey kolektörü kullanılarak optimum şartlarında ise yaklaşık 17 adet kolektör ile yapılabilmektedir.

6. Kayısı

Deneyler süresince kayısı başlangıç neminin %85 olduğu ve kuruma gerçekleşebilmesi için neminin % 18 oranlarına düşürülmesi gerekmektedir. Denklem 18 ile;

$$\frac{100 - 18}{100 - 85} = 5,46 \text{ kg}$$

1 kg kuru kayısı elde edebilmek için 5,46 kg taze kayısıya ihtiyaç vardır. Bir kg kayısının kurutulması için 0,8171 kg suyun buharlaştırılması gerekmektedir (Anonim 2021f).

Buharlaştırılacak her bir kg kayısı için 1666 kJ'lük ısı gerekmektedir. 7 saatlik bir güneşlenme günü için kolektör 3250.8 kJ'lük ısı toplar. Bu ısıyla denklem 19 ile;

$$\frac{3250.8 \text{ kJ}/7 \text{ saat}}{1666 \text{ kJ}/\text{kg. su}} = 1,95 \text{ kg. su}/7 \text{ saat}$$

su buharlaştırılabilir. 7 saat sonunda kuruluğa getirileceği kabul edilerek denklem 20 ve 21 ile;

$$\frac{7 \text{ saat} * 1,95 \text{ kg. su}}{7 \text{ saat}} = 2 \text{ kg. su}$$

$$\frac{1,95 \text{ kg. su}}{0,8171 \text{ kg su}/\text{kg kayısı}} = 2,38 \text{ kg kayısı}$$

0,1863 m² alana sahip bir kolektör ile 7 saatte yaklaşık 2,38 kg kayısı kurutulabilir.



SONUÇLAR ve TARTIŞMA

1. 600 W/m² ışınım ve akışkan olarak su kullanılması durumunda geleneksel düzlem yüzey kolektör ile Black 3.0 kaplamalı sistem karşılaştırıldığında en fazla verim artışı 2 m/sn hız için elde edilmiştir.
2. 700 W/m² ışınım ve akışkan olarak su kullanılması durumunda geleneksel düzlem yüzey kolektör ile Black 3.0 kaplamalı sistem karşılaştırıldığında en fazla %29,26'lık bir verim artışı görülmüştür.
3. 800 W/m² ışınım ve akışkan olarak su kullanılması durumunda geleneksel düzlem yüzey kolektör ile Black 3.0 kaplamalı sistem karşılaştırıldığında en fazla verim artışı 0,5 m/sn hız için elde edilmiştir.
4. 900 W/m² ışınım ve akışkan olarak su kullanılması durumunda geleneksel düzlem yüzey kolektör ile Black 3.0 kaplamalı sistem karşılaştırıldığında en fazla verim artışı 1 m/sn hız için elde edilmiştir.
5. 600 W/m², 700 W/m², 900 W/m² ışınımları ve SiO₂ (%0,1) nano akışkan kullanılması durumunda geleneksel düzlem yüzey kolektör ile Black 3.0 kaplamalı sistem karşılaştırıldığında en fazla verim artışı 2 m/sn hız için elde edilmiştir.
6. 800 W/m² ışınım ve SiO₂ (%0,1) nano akışkan kullanılması durumunda geleneksel düzlem yüzey kolektör ile Black 3.0 kaplamalı sistem karşılaştırıldığında en fazla %23,5'lik bir verim artışı görülmüştür.
7. 600 W/m², 700 W/m², 800 W/m² ışınımları ve SiO₂ (%0,2) nano akışkan kullanılması durumunda geleneksel düzlem yüzey kolektör ile Black 3.0 kaplamalı sistem karşılaştırıldığında en fazla verim artışı 2 m/sn hız için elde edilmiştir.
8. 900 W/m² ışınım ve SiO₂ (%0,2) nano akışkan kullanılması durumunda geleneksel düzlem yüzey kolektör ile Black 3.0 kaplamalı sistem karşılaştırıldığında en fazla %20'lik bir verim artışı görülmüştür.
9. Optimum koşullar Black 3.0 kaplamalı 900 W/m² ışınım, 0,5 m/sn hava hızında ve nano akışkan oranı SiO₂ (0,1) olduğu durumda gerçekleşmiştir.
10. Optimum deney şartları altında üretilen maksimum güç 129 W olarak belirlenmiştir.
11. En fazla kurutulan ürün elma iken en az kurutulan ürün eriktir.
12. Maksimum güç ile 7 saatlik sürede kurutulan ürün miktarları sırası ile elma 3 kg, kırmızıbiber 2,55 kg, şeftali ve kayısı 2,38 kg, muz 2,35 kg, erik 2,23 kg kurutma yapılabileceği belirlenmiştir.

13. Black 3.0 kaplamalı düzlem yüzey güneş kolektör ve nano akışkan kullanılması durumundaki optimum şartlar ile bir ay içerisinde bir ton elma kurutmak için yaklaşık 12 adet kolektör gerekirken, geleneksel düzlem yüzey kolektör ve su kullanılması durumundaki optimum şartlar ile yaklaşık 15 adet kolektör gerekmektedir. Benzer şekilde bir ton elmanın kurutulması için optimum şartlar ve Black 3.0 kaplamalı düzlem yüzey güneş kolektöründe nano akışkan kullanılması durumunda 24 gün gerekirken, geleneksel düzlem yüzey kolektör ve su kullanılması durumunda 30 gün kurutma yapılması gereklidir.
14. Black 3.0 kaplamalı düzlem yüzey güneş kolektör ve nano akışkan kullanılması durumundaki optimum şartlar ile bir ay içerisinde bir ton kırmızıbiber kurutmak için yaklaşık 13 adet kolektör gerekirken, geleneksel düzlem yüzey kolektör ve su kullanılması durumundaki optimum şartlar ile yaklaşık 17 adet kolektör gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Akhter, J., Gilani, SI, Al-Kayiem, HH, Ali, M., & Masood, F. 2020. "Experimental evaluation of thermophysical properties of oil- based titania nanofluids for medium temperature solar collectors." *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik* 51.6, 792-802.
- Akram, N., Montazer, E., Kazi, S. N., Soudagar, M. E. M., Ahmed, W., Zubir, M. N. M., ... & Sarsam, W. S. 2021. "Experimental investigations of the performance of a flat-plate solar collector using carbon and metal oxides based nanofluids." *Energy* 227, 120452.
- Alawi, O. A., Kamar, H. M., Mallah, A. R., Mohammed, H. A., Kazi, S. N., Sidik, N. A. C., & Najafi, G., 2020. "Nanofluids for flat plate solar collectors: fundamentals and applications." *Journal of Cleaner Production* 125725.
- Alim, M. A., Abdin, Z., Saidur, R., Hepbasli, A., Khairul, M. A., & Rahim, N. A., 2013. "Analyses of entropy generation and pressure drop for a conventional flat plate solar collector using different types of metal oxide nanofluids." *Energy and Buildings* 66, 289-296.
- Allouhi, A., and M. Benzakour Amine. 2021. "Heat pipe flat plate solar collectors operating with nanofluids." *Solar Energy Materials and Solar Cells* 219, 110798.
- Al-Yasiri, Qudama, Márta Szabó, and Müslüm Arıcı. 2021. "Single and hybrid nanofluids to enhance performance of flat plate solar collectors: application and obstacles." *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering* 65.1, 86-102.
- Anonim 2021d. <http://www.esnafbulteni.com/ito-50-mekanik-tesisat-ve-dogalgaz-tesisati-komitesi-sektorun-sorunlarina-urettigi-cozum-onerilerini-hayata-gecirmek-icin-yogun-caba-sarf-ediyor/178619/>
- Anonim 2021e. <https://www.solarbayer.com/Flat-plate-collector-PremiumPlus.html>
- Anonim 2021f. <https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/10%20-%20G%C3%9CNE%C5%9E%20ENERJ%C4%B0L%C4%B0%20KURUTMA%20TEKNOLOJ%C4%B0LER%C4%B0%20ve%20UYGULAMALARDA%20GEL%C4%B0%C5%9EMELER%20-%20Prof.%20Dr.%20Ali%20G%C3%BCng%C3%B6r.pdf>
- Anonim, 2021a. <https://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/ozonuv/gunes.pdf>
- Anonim, 2021b. https://www.e-education.psu.edu/astro801/content/l6_p5.html
- Anonim, 2021c. <https://khosann.com/gunesin-enerjisi-hidrojen-fuzyonundan-mi-geliyor/>
- Bhalla, Vishal, Vikrant Khullar, and Himanshu Tyagi. 2019. "Investigation of factors influencing the performance of nanofluid-based direct absorption solar collector using Taguchi method." *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 135.2, 1493-1505.
- Budak Ziyadanoğulları, Neşe, 2017. "Al₂O₃-Su nanoakışkanı ile ısı transferinin iyileştirilmesi." *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi* 7.2/2, 253-260
- Çanka Kılıç, F., 2015. "Güneş enerjisi, Türkiye'deki son durumu ve üretim teknolojileri." *Mühendis ve Makina* 56.671 28-40.
- Çengel, Y., 2021. *Termodinamik Mühendislik Yaklaşımıyla*. Palme Yayınevi, 978 syf, Türkiye
- Değirmencioğlu, Can, and Mak Müh. 2003. "Havalı güneş kolektörleri üzerine bir literatür araştırması ve temel ilkeleri." *TTMD* 23, 28-34.
- Gad, M. S., and Mokhtar Said. 2020. "Effect of different nanofluids on performance analysis of flat plate solar collector." *Journal of Dispersion Science and Technology* 1-12

- Gulzar, Ovais, Adnan Qayoum, and Rajat Gupta. 2021. "Experimental study on thermal conductivity of mono and hybrid Al₂O₃-TiO₂ nanofluids for concentrating solar collectors." *International Journal of Energy Research* 45.3, 4370-4384.
- Güngör, A. ve Özbalta, N., 1997. Endüstriyel kurutma sistemleri, TMMOB, MMO, III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, İzmir.
- Hajabdollahi, Zahra, Hassan Hajabdollahi, and Kyung Chun Kim. 2020. "Multi-objective optimization of solar collector using water-based nanofluids with different types of nanoparticles." *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 140.3, 991-1002.
- Hammar, A., Christensen, O. M., Park, W., Pak, S., Emrich, A., & Stake, J. 2018. "Stray light suppression of a compact off-axis telescope for a satellite-borne instrument for atmospheric research." *Optical Design and Testing VIII*. Vol. 10815. International Society for Optics and Photonics
- Hosseini, Seyed Mohammad Sadegh, and Mohammad Shafiey Dehaj. 2021. "Assessment of TiO₂ water-based nanofluids with two distinct morphologies in a U type evacuated tube solar collector." *Applied Thermal Engineering* 182, 116086.
- Janjai, Serm. 2012. "A greenhouse type solar dryer for small-scale dried food industries: development and dissemination." *International Journal of Energy and Environment* 3.3, 383-398.
- Kaan Ö., 2006. Düzlemsel kolektörlerde performans artırma yöntemlerinin deneysel olarak incelenmesi ve maliyet analizi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Isparta
- Karaçavuş K., 2001, Edirne İli Koşullarında Foto – Kontrol Üniteli Hareketli Deney Standında Çeşitli Düzlemsel Güneş Enerjisi Toplayıcılarının Verim Değerinin Araştırılması”, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Edirne, 12-20, 56-60 s.
- Kazemian, A., Parcheforosh, A., Salari, A., & Ma, T. 2021. "Optimization of a novel photovoltaic thermal module in series with a solar collector using Taguchi based grey relational analysis." *Solar Energy* 215, 492-507.
- Kılıç, A. ve Öztürk, A. 1984. Güneş Işınımı ve Düz Toplayıcılar, Ankara, 61 s., s. 65-66, 69 s., s. 71-73, s. 103-110
- Kim, H., Ham, J., Park, C., & Cho, H. 2016. "Theoretical investigation of the efficiency of a U-tube solar collector using various nanofluids." *Energy* 94, 497-507.
- Koçyiğit F., 2008. Yutucu plaka üzerinde farklı türde kanatçıkların yerleştirildiği bir havalı kolektörün enerji ve ekserji analizi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Kondareddy, R., Sivakumaran, N., Radhakrishnan, K., & Nayak, P. K. 2020. "Performance analysis of solar tunnel dryer with thermal storage and Photovoltaic system for drying star fruit." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 463. No. 1. IOP Publishing
- Kumar, L. H., Kazi, S. N., Masjuki, H. H., Zubir, M. N. M., Jahan, A., & Sean, O. C. 2021. "Experimental study on the effect of bio-functionalized graphene nanoplatelets on the thermal performance of liquid flat plate solar collector." *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 1-18.
- Kuo, C. F. J., Su, T. L., Jhang, P. R., Huang, C. Y., & Chiu, C. H. 2011. "Using the Taguchi method and grey relational analysis to optimize the flat-plate collector process with

- multiple quality characteristics in solar energy collector manufacturing." *Energy* 36.5, 3554-3562.
- Lee, Minjung, Yunchan Shin, and Honghyun Cho. 2021. "Theoretical study on performance comparison of various solar collectors using binary nanofluids." *Journal of Mechanical Science and Technology* 35.3, 1267-1278
- Liu, S., Afan, H. A., Aldlemy, M. S., Al-Ansari, N., & Yaseen, Z. M. 2020. "Energy analysis using carbon and metallic oxides-based nanomaterials inside a solar collector." *Energy Reports* 6, 1373-1381.
- Mahian, O., Kianifar, A., Sahin, A. Z., & Wongwises, S. 2014. "Performance analysis of a minichannel-based solar collector using different nanofluids." *Energy Conversion and Management* 88, 129-138.
- Meibodi, S. S., Kianifar, A., Niazmand, H., Mahian, O., & Wongwises, S. 2015. "Experimental investigation on the thermal efficiency and performance characteristics of a flat plate solar collector using SiO₂/EG–water nanofluids." *International Communications in Heat and Mass Transfer* 65, 71-75.
- Mennouche, D., Bouchekima, B., Boubekri, A., Boughali, S., Bouguettaia, H., & Bechki, D. 2014. "Valorization of rehydrated Deglet-Nour dates by an experimental investigation of solar drying processing method." *Energy Conversion and Management* 84, 481-487.
- Mohammed, Ssemwanga, Nakiguli Fatumah, and Nasejje Shadia. 2020. "Drying performance and economic analysis of novel hybrid passive-mode and active-mode solar dryers for drying fruits in East Africa." *Journal of Stored Products Research* 88, 101634.
- Nayerdinzadeh, S., Soultanzadeh, M. B., Haratian, M., & Zamanimehr, A. 2020. "Experimental and numerical evaluation of thermal performance of parabolic solar collector using water/al₂o₃ nano-fluid: a case study." *International Journal of Thermophysics* 41.5, 1-21.
- Noori, Abdul Wasim, Mohammad Jafar Royen, and Juma Haydary. 2019. "An active indirect solar system for food products drying." *Acta Chimica Slovaca* 12.1, 142-9.
- Özçelik, Ç. 2020. *Faz Değiştirmeli Güneş Enerjisi Depolama Sistemiyle Entegre Güneş Enerjili Meyve Kurutma Sistemi Modellenmesi, Dizaynı, Testleri ve Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir*
- Özel, F.Ö., 2010. *Balkabağının Farklı Kurutma Şartlarındaki Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi, Konya.*
- Özgen F., 2007. *Yutucu plakası silindirik teneke kutulardan yapılmış bir havalı güneş kollektörünün ısı performansının deneysel olarak araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.*
- Poonia, Surendra, A. K. Singh, and Dilip Jain. 2018. "Design development and performance evaluation of photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid solar dryer for drying of ber (*Zizyphus mauritiana*) fruit." *Cogent Engineering* 5.1, 1507084.
- Prakash, Earnest Vinay, and Ajeet Kumar Rai. 2018. "Performance optimization of solar Ptc using Taguchi method." *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)* 9, 523-529
- Sahin, B., Yakut, K., Kotcioglu, I., & Celik, C. 2005. "Optimum design parameters of a heat exchanger." *Applied Energy* 82.1, 90-106.
- Sakallı U., 2005. *Antifrizli sulu vakumlu ısı borulu güneş kollektörü ile klasik direkt dolaşımli güneş kollektörlerinin verimlerinin karşılaştırılması. Bilim Uzmanlık Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.*

- Saleh, Bahaa, and Lingala Syam Sundar. 2021. "Thermal efficiency, heat transfer, and friction factor analyses of mwcnt+ fe3o4/water hybrid nanofluids in a solar flat plate collector under thermosyphon condition." *Processes* 9.1,180
- Sarsılmaz, C.,1998. Güneş enerjisi destekli kayısı kurutma sistemi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Shamsul Azha, N. I., Hussin, H., Nasif, M. S., & Hussain, T. 2020. "Thermal performance enhancement in flat plate solar collector solar water heater: a review." *Processes* 8.7, 756.
- Ssemwanga, M., E. Makule, and S. I. Kayondo. 2020. "Performance analysis of an improved solar dryer integrated with multiple metallic solar concentrators for drying fruits." *Solar Energy* 204, 419-428.
- Su, Umut Önder, Sözen Adnan ve Menlik Tayfun. 2019. "Isı borulu güneş kolektörlerinde nano çözelti ile performansın iyileştirilmesi." *Politeknik Dergisi* 22.1: 245-257.
- Suthahar, ST Jaya, S. Jaisankar, and S. Saravanan. 2020. "Experimental investigation on solar flat plate collector using alumina nanofluid with tube inserts." *Materials Technology* 1-11.
- Şahin, B., Bayramian, H., Mandev, E., & Manay, E. 2019. "Dairesel bir mikro kanalda sio2 nano akışkanların ısı transferi ve basınç düşümü karakteristiklerinin incelenmesi." *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 9.1: 446-457.
- Şener M., 2013. Etkin bir havalı güneş kolektörünün tasarımı ve optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum.
- T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Gıda Teknolojisi Sebzeleri Kurutma, http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Sebzeleri%20Kurutma.pdf (Erişim tarihi: 11 Mart 2019).
- Tariq, H. A., Anwar, M., Ali, H. M., & Ahmed, J. 2020. "Effect of dual flow arrangements on the performance of mini-channel heat sink: numerical study." *J Therm Anal Calorim*
- Tiwari, Sumit, and G. N. Tiwari. 2018. "Grapes (*Vitis vinifera*) drying by semitransparent photovoltaic module (SPVM) integrated solar dryer: an experimental study." *Heat and Mass Transfer* 54.6, 1637-1651.
- Topić, Radivoje M. 2003. "Small capacity mobile dryers for drying biological materials." *Drying Technology* 21.6 (2003): 1137-1150.
- Türk Standartları Enstitüsü: Standart No:3817, 1983. Genel Tip Güneş Enerjisi ile Su Isıtıcıları için Genel Kurallar, Ankara
- Velpula, P. K., Kramer, D., Ďurák, M., & Rus, B. 2019. "The beam dump materials and their LIDT measurements for PW/multi-PW laser systems." *Short-pulse High-energy Lasers and Ultrafast Optical Technologies*. Vol. 11034. International Society for Optics and Photonics
- William Estupiñán-Campos, J., Isaza-Roldán, C. A., Toapanta-Ramos, F., & Lobato-Campoverde, A. 2020. "Numerical Analysis Of A Water Heating System Using A Flat Plate Solar Collector" *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, (24), 97-106.
- Darıcı, Selçuk. 2020. "Tek geçişli bir havalı güneş kolektörü tasarımı, imalatı ve farklı kütle debilerinde ısı analizi." *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University* 35.3

- Yılançı, A., Atalay, Ö., Koçar, G., & Eryaşar, A. 2019. "Dinamik test metodu ile bir güneş kolektörünün ısı performansının belirlenmesi." Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 25.4, 417-422.
- Yousefi, T., Veysi, F., Shojaeizadeh, E., & Zinadini, S. 2012. "An experimental investigation on the effect of Al₂O₃-H₂O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors." Renewable Energy 39.1, 293-298
- Zeidler, S., Akutsu, T., Torii, Y., & Aso, Y. 2019. "Measuring scattering light distributions on high-absorptive surfaces for stray-light reduction in gravitational-wave detectors." Optics Express 27.12, 16890-16910.
- Zhu, Chengxi, Matthew J. Hobbs, and Jon R. Willmott. 2020. "An accurate instrument for emissivity measurements by direct and indirect methods." Measurement Science and Technology 31.4, 044007.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	: Selda GÖZÜBÜYÜK
Doğum tarihi	:
Doğum Yeri	:
Uyruğu	:
Adres	:
Tel	:
E-mail	:
Eğitim	
Lise	:
Lisans	:
Yüksek lisans	:
Doktora	:
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce	:
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
Tezden Üretilmiş Yayınlar	