



HAVA ISITMALI GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜ'NÜN

ISIL VERİMİNİN SAYISAL ANALİZİ

NECAT TABAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DR. ÖĞR. ÜYESİ MEHMET DAŞ

Haziran- 2022

Her hakkı saklıdır

T.C.
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HAVA ISITMALI GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNÜN
ISIL VERİMİNİN SAYISAL ANALİZİ**

NECAT TABAK

TOKAT
Haziran- 2022

Her hakkı saklıdır

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr. Öğr. Üyesi Mehmet DAŞ danışmanlığında hazırlamış olduğum “Hava Isıtmalı Güneş Kolektörünün Isıl Veriminin Sayısal” adlı Yüksek Lisans tezinin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

23/06/2022

Necat TABAK

.....



JÜRİ KABUL ve ONAY

Necat TABAK tarafından hazırlanan “**Hava Isıtmalı Güneş Kolektörünün Isıl Veriminin Sayısal Analizi**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 23 HAZİRAN 2022 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **MEKATRONİK** Anabilim Dalı’nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmzası

Üye (Başkan): Dr. Öğr. Üyesi Orhan Erdal AKAY

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mithat ŞİMŞEK

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet DAŞ

.....

ONAY

...../...../.....

Prof. Dr. Mehmet GÜNEŞ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ÖNSÖZ

Yapmış olduğum tez çalışması sürecinde bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ve her konuda yardımcı olan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehmet DAŞ'a, sayısal analiz uygulamalarında destek aldığım Öğr. Gör. Murat ÇALATKAYA ya, tezde yapılacak sayısal analizlerde kullanılan deneysel verilerin temini için Öğr. Gör. Doğan Burak SAYDAM'a, Dr. Öğr. Üyesi K. Neyfel ÇERÇİ'ye, Doç. Dr. Ertaç HÜRDOĞAN'a ve tez süreci boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim

Necat TABAK

23 Haziran 2022

ÖZET

HAVA ISITMALI GÜNEŞ KOLLEKTÖRÜNÜN ISIL VERİMİNİN SAYISAL ANALİZİ

Necat TABAK

Yüksek Lisans, Eğitim Programları ve Öğretim Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Daş

Haziran, 2022 xii + 67 sayfa

Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan güneş, geçmişten günümüze gıda kurutma ve ısınma gibi insani gereksinimlerde önemli rol oynamaktadır. Güneş enerjisi kullanılan sistemler için araştırmacılar tarafından her geçen gün verim artırıcı yeni çözümler üretilmektedir. Bu sistemlerden biri de hava güneş kolektörleridir. Bu çalışmada, daha önce deneysel olarak incelenmiş bir havalı bir güneş kolektörünün (HGK) hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizi yapılarak ve farklı emici plaka yüzey geometrileri kullanılması durumunda kolektörün performans değişimi incelenmiştir. Bu sayısal çalışmada 190x90x10 cm boyutlarında, V tipi emici plaka yüzey geometrisine sahip çift geçişli havalı bir güneş kolektörü incelenmiştir. Literatürde deneysel olarak incelenen bu kolektör için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizleri yardımı ile 2 farklı geometriye sahip yutucu plaka tipinin aynı kolektör için termal performansları incelenmiştir. HAD analizlerinde ANSYS FLUENT 'in öğrenci versiyonu Rosseland Radiation Modül'ü (RRM) kullanılmıştır. Bu modülün özelliği, bir güneş ışını izleme algoritması kullanmasıdır. HAD analizleri sonucunda en iyi termal performans, sinüs tipi yutucu plakalı HGK'da gözlemlenmiştir. Analizler sonucunda yutucu plaka geometrisinin havalı güneş kolektörü üzerinde önemli bir rol oynadığı sonucuna varılmış ve yeni yutucu plaka geometrileri modelleri önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Havalı güneş kolektörü, Termal performans, HAD

ABSTRACT

NUMERICAL ANALYSIS OF THERMAL EFFICIENCY OF SOLAR AIR COLLECTOR

Necat TABAK

Master's Thesis, Division of Curriculum, and Instruction

Advisor: Assit.Prof.Dr. Mehemet DAŞ

June, 2022, xii+ 67 pages

The sun plays a vital role in human needs such as food drying and heating from past to present as a renewable energy source. Researchers produce new efficiency-enhancing solutions each day for the systems with solar energy usage. One of these systems is solar air collectors. In this study, computational fluid dynamics (CFD) analysis of a previously experimentally investigated solar air collector (SAC) was performed, and the performance variation of the collector was investigated in the case of using different absorber plate surface geometries. The numerical study herein contains the investigation of a 190x90x10 cm double pass solar air collector with V-type absorber plate surface geometry. The thermal performances of the absorber plate type with two different geometries for the same collector were investigated with the help of computational fluid dynamics (CFD) analyses regarding the experimental examination present in the current literature. Rosseland Radiation Module (RRM) of ANSYS FLUENT student version was used in CFD analysis. The significance of this module is that it uses a sunray tracking algorithm. As a result of CFD analysis, the best thermal performance was observed in SAC with sinus type absorber plate. The analysis results concluded that the geometry of the absorber plate plays an essential role in the solar air collector, and new models of absorber plate geometries were proposed in this context.

Keywords: Solar energy, Solar air collector, Thermal performance, CFD

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK SÖZLEŞME	i
JÜRİ KABUL ve ONAY	ii
ÖNSÖZ	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
TABLO LİSTESİ	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ	11
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	19
3.1.Havalı Güneş Kollektörleri	19
3.2. Deney Seti.....	20
3.3. HAD Analizlerinde Modellenen DeneySEL Prosedür	22
3.4. Enerji Analizi	23
3.5. HAD Analizi	24
4. SAYISAL ANALİZ ve BULGULAR	35
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	48
6. KAYNAKLAR	50

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	Sayfa
Şekil 1.1. Güneşten gelen ışıının dağılımı	2
Şekil 1.2. Dünya güneş enerji haritası (Watt/m ²).	3
Şekil 1.3. GEPA’da yer alan genel potansiyel görünümü ve aylık ortalama global radyasyon dağılımı.....	4
Şekil 1.4. Türkiye’nin enerji kaynakları dağılımı.....	6
Şekil 1.5. Güneş enerjisinin kullanım alanları	7
Şekil 1.6. Havalı güneş kolektörü genel şematığı.....	8
Şekil 1.7. Düzlemsel bir kollektörde enerji akışı.....	8
Şekil 3.1. V tipi emici plakalı havalı güneş kollektörü.....	20
Şekil 3.2. HAD analizinde kullanılan HGK nın çalışma prensibi	21
Şekil 3.3. (a)Deney düzeneği kolektörün teknik çizimi,(b) Deney düzeneği fotoğrafı .	21
Şekil 3.4. Sıcaklık ve ışıının değerlerinin zaman ile değişimi.....	23
Şekil 3.5. HAD analizi yapılan V plaka alanı: 1.815 m ²	28
Şekil 3.6. HAD analizi yapılan trapez plaka alanı: 1.841m ²	29
Şekil 3.7. HAD analizi yapılan sinüs tip plaka alanı: 1.947m ²	30
Şekil 3.8. HAD simülasyonunun akış şeması	33
Şekil 4.1. HGK’nın 50 mm elaman boyutu için mesh görüntüsü.....	35
Şekil 4.2. HGK’nın 100 mm elaman boyutu için mesh görüntüsü.....	36
Şekil 4.3. HGK’nın 150 mm elaman boyutu için mesh görüntüsü.....	36
Şekil 4.4. HGK çıkış sıcaklık değerleri için deneysel ve HAD sonuçlarının karşılaştırılması	38
Şekil 4.5. V tipi yutucu plaka üzerindeki sıcaklık dağılımı	39
Şekil 4.6. V tipi yutucu plaka üzerindeki hava hız dağılımı	39
Şekil 4.7. V tipi yutucu plaka üzerindeki basınç dağılımı	40
Şekil 4.8. V tipi yutucu plakalı HGK’nın cam yüzey sıcaklık dağılımı	40

Şekil	Sayfa
Şekil 4.9. V tipi yutucu plakalı HGK sıcaklık dağılımı.....	41
Şekil 4.10. Sinüs tipi yutucu plaka sıcaklık dağılımı.....	42
Şekil 4.11. Sinüs tipi yutucu plaka hava hız dağılımı.....	42
Şekil 4.12. Sinüs tipi yutucu plaka basınç dağılımı	43
Şekil 4.13. Sinüs tipi yutucu plakalı HGK'nın cam yüzey sıcaklık dağılımı	43
Şekil 4.14. Sinüs tipi yutucu plaka HGK'nın sıcaklık dağılımı.....	44
Şekil 4.15. Trapez tipi yutucu plaka sıcaklık dağılımı	45
Şekil 4.16. Trapez tipi yutucu plaka hava hız dağılımı.....	45
Şekil 4.17. Trapez tipi yutucu plaka basınç dağılımı.....	46
Şekil 4.18. Trapez tipi yutucu plakalı HGK'nın cam yüzey sıcaklık dağılımı	46
Şekil 4.19. Trapez tipi yutucu plaka HGK'nın sıcaklık dağılımı	47

TABLO LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 1.1. Türkiye’ de bölgelerin ısıtım değerleri ve güneşlenme süreleri.	5
Tablo 1.2. Türkiye’ de güneş enerjisi değerlerinin aylara göre değerlendirmesi.	5
Tablo 3.1. Tasarımı yapılan V tipi havalı güneş kolektörü teknik özellikleri	22
Tablo 3.2. Deneysel çalışmada kullanılan cihazlara ait özellikler.....	22
Tablo 3.3. Sonlu eleman ağı metrik aralıklar.....	25
Tablo 4.1. Mesh kalitesi.....	37
Tablo 4.2. Deneysel ve HAD HGK çıkış sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması	37
Tablo 4.3. Farklı yutucu plakalı HGK’ların 13:00 deney saati için termal performansları	47

SİMGELELER ve KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
A	Alan (m^2)
C_p	Sabit basınçta özgül ısı ($kJ/kg.K$)
I	Yüzeye gelen toplan ışıınım miktarı (W/m^2)
k	Isı iletim katsayısı (W/mK)
$\dot{m}$	Kütlesel debi (kg/s)
q_r	İşınım ısı akısı (W/m^2)
Q	Birim zamanda ısı geçişi miktarı (W)
P	Basınç (kPa)
T	Sıcaklık (K)
U_c	Enerji kayıp katsayısı
α	Yutma oranı
ε	Yayma oranı
η	Verim
ρ	Yoğunluk (kg/m^3)
Γ	Rosselland faktörü

Kısaltmalar	Açıklama
CFD	Computational Fluid Dynamics
HAD	Hesaplmalı Akışkanlar Dinamiği
GEPA	Türkiye Güneş Enerjisi potansiyeli Atlası
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
HGK	Havalı Güneş Kollektörü
SAC	Solar Air Collector
RRM	Rosseland Radiation Module
3D	Üç Boyutlu
2D	İki Boyutlu

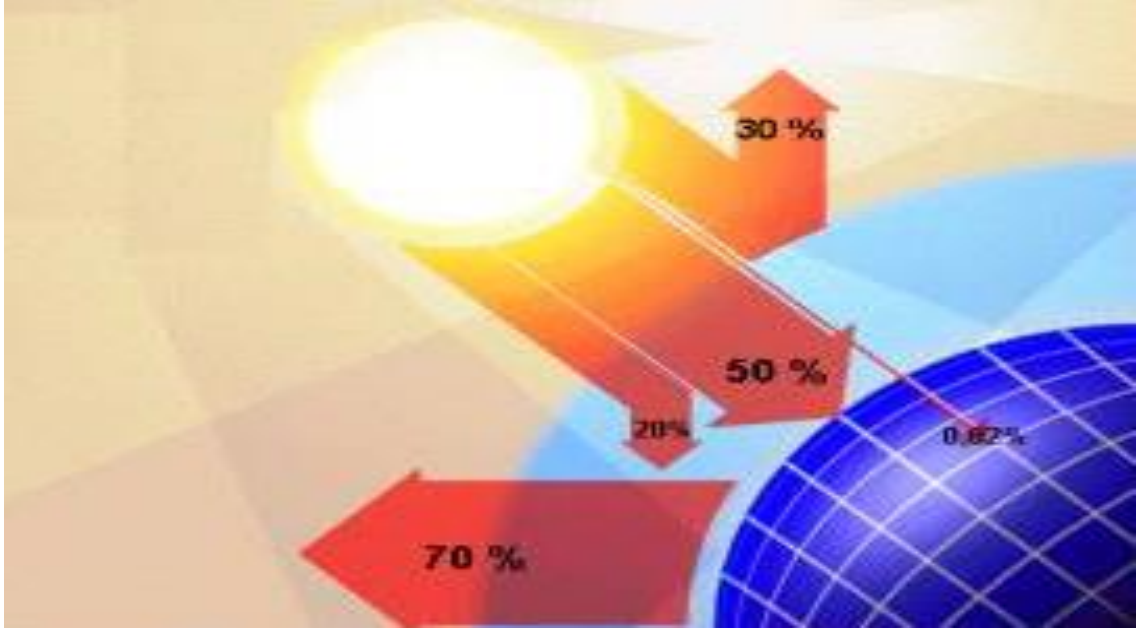
1. GİRİŞ

Enerji, insanlık tarihinden bu yana gerek gündelik hayatta gerekse üretimde oluşan ihtiyaçtan dolayı insan hayatı için önemli bir faktördür. Teknolojinin gelişmesine paralel olarak günümüzde enerji ihtiyacının da aynı oranda artmaktadır. Bu enerji talebinin karşılanması için günümüze kadar en çok kullanılan kaynak dünyadaki fosil enerji kaynaklarıdır. Ancak dünyadaki mevcut fosil enerji kaynaklarının artan enerji ihtiyacını karşılayamaması, sınırlı olması ve fosil yakıtların bilinçsizce tüketiminin oluşturduğu çevresel etkiler nedeniyle gerek insanlara gerekse doğal yaşama büyük hasarlar verdiği bilinmektedir. Dünyadaki fosil rezervlerinin petrol için Amerikan Enerji Enformasyon Ajansı'nın tahminlerine göre 75 yıl kadar ömürle sınırlı olduğu, kömür ve doğalgaz potansiyel rezervi 2012 itibarı ile yapılan değerlendirmede 222 yıl yeteceğini tahmin edilmektedir. Belirtilen sürelerde aynı zamanda dünyada enerji ihtiyacının sürekli artışından dolayı gereken enerji ihtiyacını karşılayamayacağı düşünülmektedir. Dünyanın gelişimine paralel olarak artan nüfus, kentsel büyüme teknolojik gelişmeler ve bunlar bağlı olarak artan enerji talebi gün geçtikçe karşılanamamaktadır (GAZBİR, 2017). Fosil kaynaklardan enerji üretiminin bütün bu olumsuz etkilerinden dolayı dünya ve insanlığın geleceği için daha çevreci insana, doğaya zarar vermeyen yenilenebilir enerji kaynaklarının araştırılması ve kullanımının yaygınlaşması gerekmektedir (Kannan ve Vakeesan, 2016).

Gelişmekte olan ülkelerde enerji ihtiyacının ve enerji maliyetlerinin artışından dolayı son yıllarda güneş enerjisi konularında daha agresif çalışmalar yapılmıştır. Güneş enerjisinin maliyet ve etkinliği açısından kullanılabilir olduğunu tüm dünya ülkeleri kabul etmiştir ve yenilenebilir enerji konusunda yapılan çalışmalara kıyasla Güneş enerjisinin maliyetleri ve faydaları noktasına verimlilik ve mevcut kapasiteler ele alındığında en iyi seçenek olarak kabul görmüştür (Tiwari ve diğ., 2016).

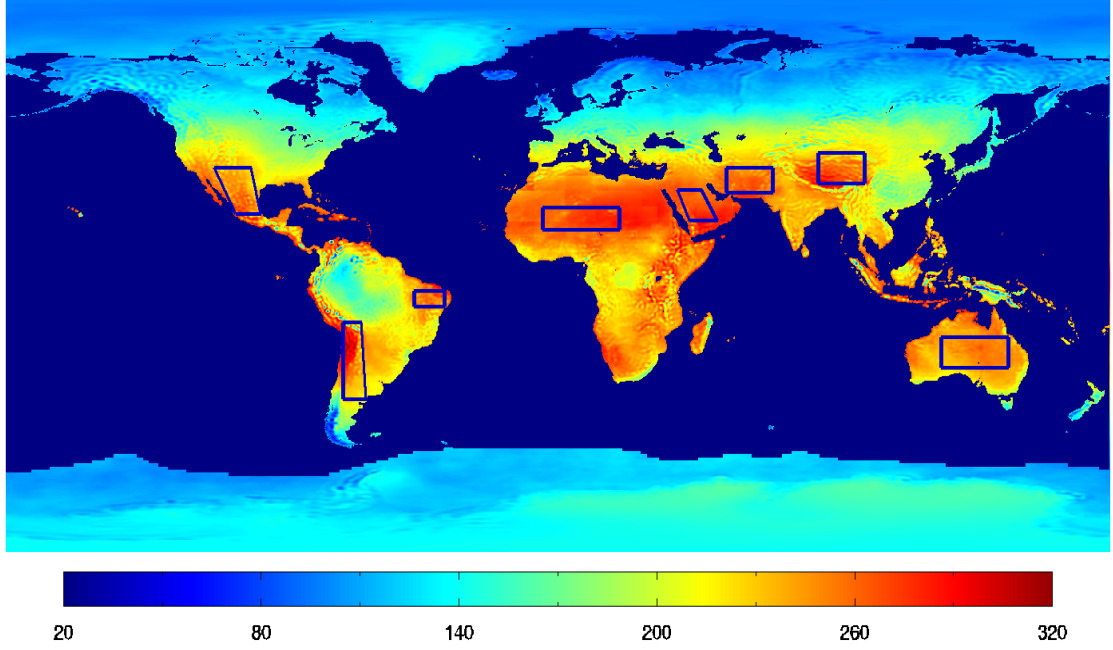
Güneş yüksek enerji potansiyeline sahip dünya için büyük bir kaynaktır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında çevre dostu enerji kaynaklarından biridir. Şekil 1.1'de güneşten gelen enerji potansiyelini ele alınacak olursa toplam dünyaya gelen ışınımın yaklaşık %30 yansıma yoluyla tekrardan geri dönmektedir. Kalan %70 dünya atmosferine giren güneş

ışınımlarının yaklaşık %20 si atmosferde ve bulutlardan etkilenerek absorbe edilmektedir. Güneşten gelen ışınlamların sadece kalan %50 si yeryüzüne ulaşmaktadır. Toplamda dünyadan gelen enerji miktarı (1.5×10^{15}) MW/h'dır. Bu miktar güneşten dünyaya gelen ışınlam miktarına bağlı olarak bir yılda ihtiyaç duyulan toplam enerjinin 28 bin katı kadardır (Das ve diğ., 2020).



Şekil 1.1. Güneşten gelen ışınlamın dağılımı (Karacabey ve Buzrul, 2017)

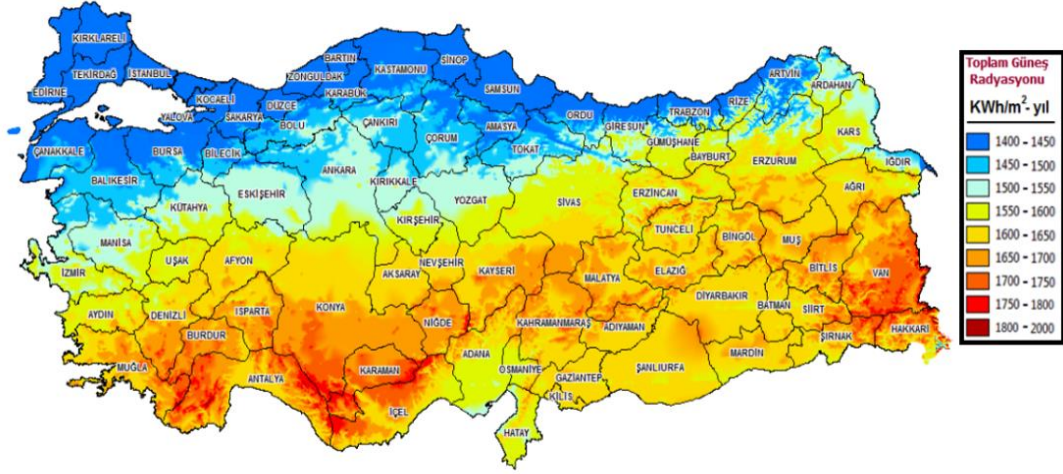
Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) yapmış olduğu çalışma, Güneşten gelen ve yeryüzüne ulaşan 90 dakikalık güneş ışığını, Dünyanın bir yılda ihtiyacı olan enerji ihtiyacına karşılık geldiğini belirtmişlerdir. Ayrıca 2030 sonuna kadar, Dünyanın enerji ihtiyacının karşılanması açısından yenilenebilir enerji kaynaklarının yıl bazında büyüme oranı %7.6 olacağı tahmin edilmektedir (Kılıç, 2015). Güneş enerjisi üzerine yapılan çalışmalar gelecekte insanlığın enerji ihtiyacını gerek dünyada gerekse insanlığın teknolojinin ulaşabileceği her alanda karşılanması açısından önem arz etmektedir.



Şekil 1.2. Dünya güneş enerji haritası (Watt/m²) (Kaplukan, 2014).

Şekil 1.2’de güneşin dünyamıza sağladığı ışıınım potansiyeli açısından en verimli bölgeler gösterilmiştir. Gelişmiş ülkeler bu potansiyelden yararlanmak için fazlasıyla yatırım yapmaktadır. Ancak diğer bölgeler Afrika ,Güney Amerika ve Avusturalya büyük potansiyele sahip olmasında rağmen bu bölgelerde yatırımlar daha az olmaktadır (Kaplukan, 2014).

Türkiye coğrafi olarak Kuzey Yarım Küre 36- 42° kuzey enlem ve 26- 45° doğu boylamları içerisinde ve güneş kuşağında yer alması mevcut coğrafi yapısından dolayı güneşin sahip olduğu güneş enerji potansiyelinin değerlendirilmesi açısından en iyi konuma sahip ülkelerden biridir. Türkiye, sahip olduğu coğrafi konumun avantajlarından dolayı çok büyük güneş enerjisi kapasitesine sahiptir. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, yıllık ortalama güneşlenme süresi toplamda 2741.07 saat ve ortalama yıllık ışıınım değeri toplamda 1527.46 kWh/m² olarak hesaplanmıştır (Kılıç, 2015).



Şekil 1.3. GEPA’da yer alan genel potansiyel görünümü ve aylık ortalama global radyasyon dağılımı (Evin ve Uçar, 2019).

Şekil 1.3’e göre Türkiye’nin en fazla güneş alan ısıtım değerleri en yüksek bölgeleri şöyle sıralayabilir. Güneydoğu Anadolu, Akdeniz, Doğu Anadolu, İç Anadolu, Ege, Marmara ve Karadeniz takip etmektedir. Bu bölgeler coğrafi olarak güneşlenme süresi bakımında en iyi sonuç alınabilen yerlerdir. Ayrıca güneşlenme süresi ve ısıtım kalitesi açısından en yüksek potansiyele sahip bölgeler, Akdeniz bölgesi ve doğu Anadolu bölgesi değerlendirilebilir. Karadeniz ve Marmara bölgesi ısıtım olarak zayıf olduğundan potansiyeli düşüktür (Abuşka ve Akgül, 2014).

Tablo 1.1’de Türkiye’deki bölgelere göre ısıtım değerleri ve güneşlenme süreleri verilmiştir. ısıtım ve güneşlenme süresi olarak ele alındığında en çok, G. Doğu Anadolu, Akdeniz, Doğu Anadolu olduğu, en az İç Anadolu, Ege, Marmara, Karadeniz bölgelerinin güneş potansiyeline sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 1.1. Türkiye’ de bölgelerin ısıtım değerleri ve güneşlenme süreleri(Kamer ve diğ., 2016).

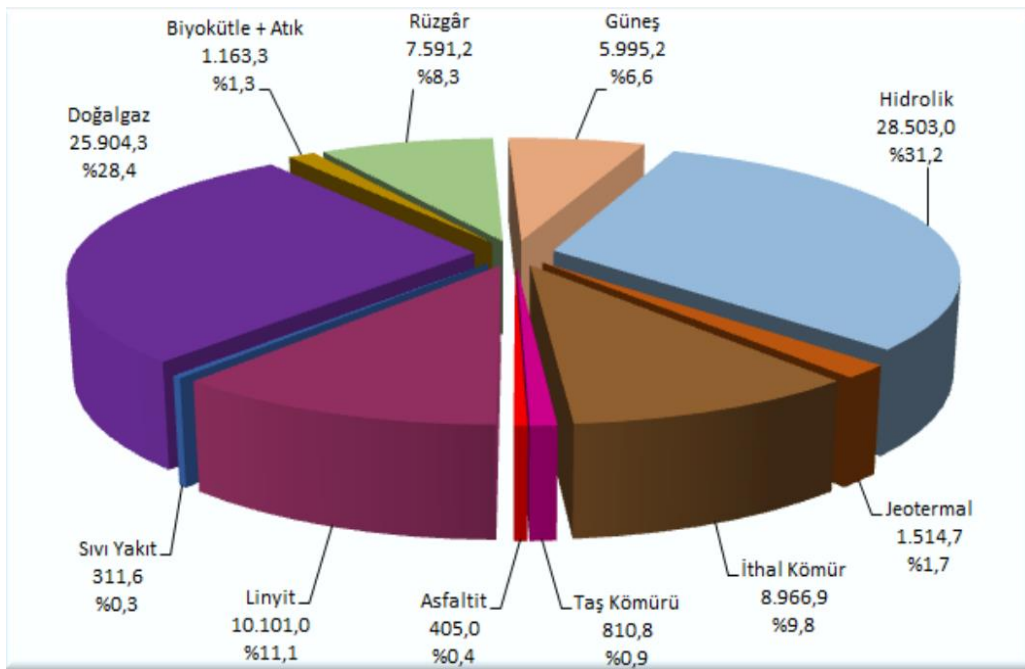
Bölge	Toplam güneş enerjisi (kWh/m ² -yıl)	Güneşlenme süresi (Saat/yıl)
G. DOĞU ANADOLU	1.460	2.993
AKDENİZ	1.390	2.956
DOĞU ANADOLU	1.365	2.664
İÇ ANADOLU	1.314	2.628
EGE	1.304	2.738
MARMARA	1.168	2.409
KARADENİZ	1.120	1.971

Tablo 1.2’de bir yıl için Türkiye’de hangi aylarda Güneşten yararlanma ve güneşlenme süresi verilmiştir. Kış aylarında Şubat, Bahar aylarında Mayıs, Yaz ayları içerisinde en yüksek Temmuz ve sonbaharda Eylül ayı, güneşten en fazla fayda sağlanacak aylardır.

Tablo 1.2. Türkiye’ de güneş enerjisi değerlerinin aylara göre değerlendirmesi (Kamer ve diğ., 2016).

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		GÜNEŞLENME SÜRESİ
	(Kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	(Saat/ay)
OCAK	4.45	51.75	103
ŞUBAT	5.44	63.27	115
MART	8.31	96.65	165
NİSAN	10.51	122.23	197
MAYIS	13.23	153.86	273
HAZİRAN	14.51	168.75	325
TEMMUZ	15.08	175.38	365
AĞUSTOS	13.62	158.4	343
EYLÜL	10.6	123.28	280
EKİM	7.73	89.9	214
KASIM	5.23	60.82	157
ARALIK	4.03	46.87	103
TOPLAM	112.74	1311	2640
ORTALAMA	308.0 cal/cm ² -gün	3.6 kWh/m ² -gün	7.2 saat/gün

Şekil 1.4’ de Türkiye’nin mevcut kullanılan enerji kaynakları dağılımını göstermektedir. Türkiye’nin mevcut toplam enerji gereksinimi %14.8’i hidroelektrik, %31.2’si doğal gaz %28.4’i ithal kömür, %15.1 yerli kömürden sağlanmaktadır. Çevreye zararsız yenilenebilir enerji kaynakları için enerji üretim oranları, rüzgâr %8.3, güneş %6.6’lık orana sahip olduğu yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur. Kalan enerji ihtiyacı ise diğer elde edilen jeotermal, fuel-oil ve biyokütle gibi enerji kaynaklarından sağlanmaktadır (GAZBİR, 2017).

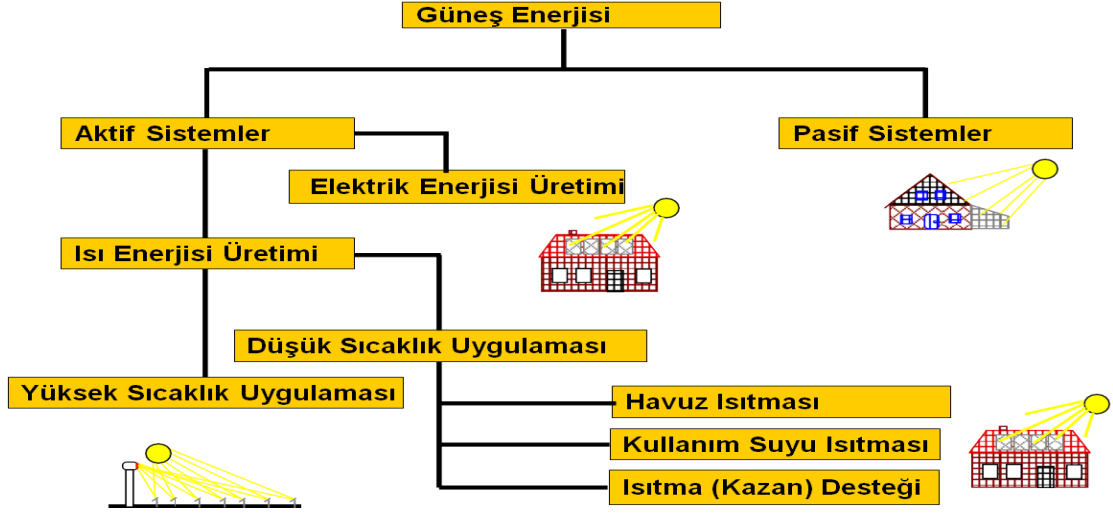


Şekil 1.4. Türkiye’nin enerji kaynakları dağılımı (GAZBİR, 2017).

Türkiye, gelişmekte olan ülkeler arasında ilk sıralardadır ve Avrupa da en genç nüfusuna sahiptir. Nüfus artışı, sanayileşmenin gelişmesiyle yatırım ve istihdam ’la birlikte enerji ihtiyacı her yıl ortalama %12 artmaktadır (GAZBİR, 2017).

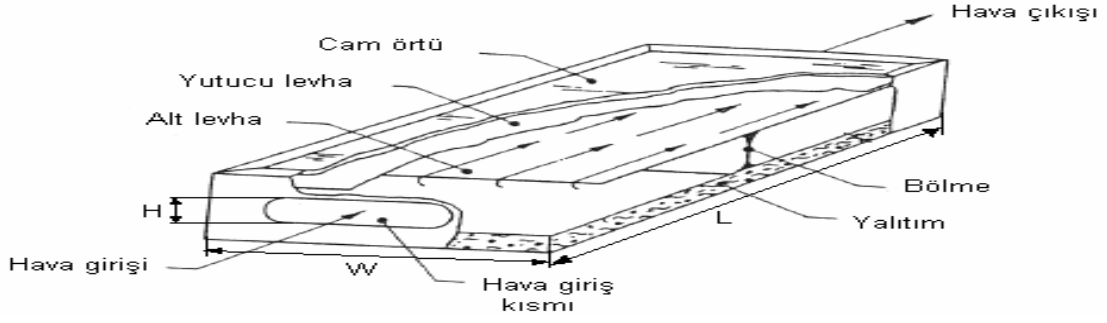
Güneş enerjisi günümüzde farklı uygulama alanlarına sahiptirler; sanayi tesisleri ve evlerde elektrik enerjisi üretmede, seralar ve binaların ısıtılması ve sıcak su ihtiyacının karşılanmasında, tekstil, ürün kurutma meyve ve sebzelerin kurutulmasında, soğutmada, trafik işaretlerinde ve aydınlatmalarında, saatlerde, hesap makinalarında, taşınabilir cep

telefonu şarj cihazlarında, enerji ihtiyacı olan hemen hemen her alanda kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Şekil 1.5’de güneş enerjisinin genel kullanım alanları verilmiştir.



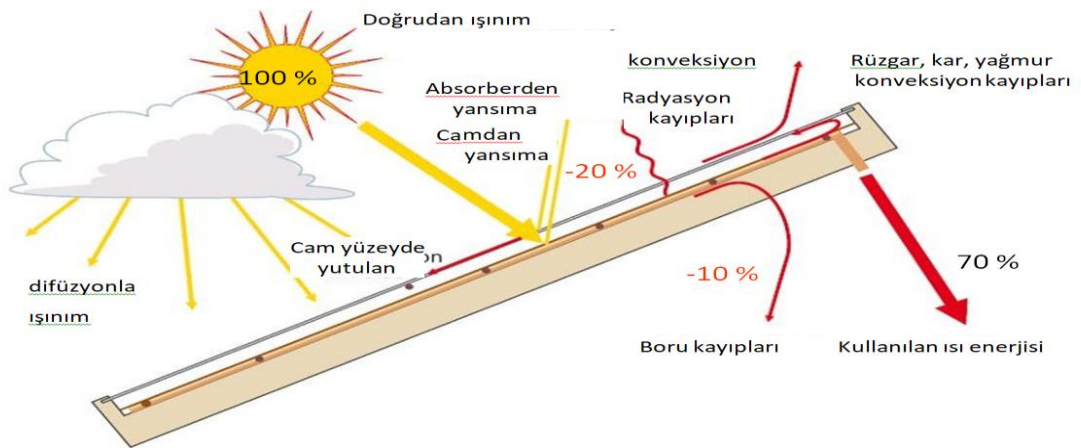
Şekil 1.5. Güneş enerjisinin kullanım alanları (Öksüz, 2014)

Enerjinin öneminin giderek arttığı günümüzde düzlemsel güneş kolektörleri yardımı ile elektrik ve çeşitli proseslerde kullanılan sıcak akışkan üretimi giderek yaygınlaşmaktadır (Pandey ve Chaurasiya, 2017). Güneş enerjisi uygulamalarında farklı tip kolektörler kullanılmaktadır. Düzlemsel güneş kolektörleri güneş enerjisinden yararlanılabilecek en basit yapıli kolektörlerdir (De Bakker ve Everaerd, 1996). Şekil 1.6’da düzlemsel kolektörde genel yapısı verilmiştir. Burada kolektör yapısının cam örtü, yutucu levha, alt levha, sahip olduğu bölme ve yalıtımla birlikte kolektör kasasını oluşturan materyaller ait görünümün genel şematığı verilmiştir. Elektrik üretiminde kullanılan fotovoltaiik düzlemsel güneş kolektörleri en yaygın kullanılan kolektör türüdür. Sıcak akışkan üretmek için kullanılan güneş kolektörlerinin büyük bir çoğunluğunu cam örtülü, sıvılı ve havalı düzlemsel güneş kolektörleri oluşturmaktadır (Ion ve Martins, 2006). Sistemde kullanılan akışkana göre su veya havaya göre isimlendirilir. Su akışkanına sahip kolektörler sıcak su elde etmek için daha yaygın olarak kullanılır. Akışkanı hava olan kolektörlerde düşük sıcaklık uygulamalarında, ürün kurutmada kullanılmaktadır (Cinciz ve diğ., 2019).



Şekil 1.6. Havalı güneş kolektörü genel şematiği (Yildiz, 2007)

Havalı güneş kolektörlerini temelde cebri dolaşım ve atmosferik olarak iki sınıfa ayırmak mümkündür. Atmosferik doğal olarak çalışan kolektörlerin dışardan herhangi bir enerji gereksinimine ihtiyaç duymadan çalışırken cebri olarak çalışan kolektörler de dışardan enerji desteği alınarak havanın kolektörden iletimi sağlanmaktadır. Bu kolektörlerin maliyet açısından uygun olması nedeniyle, kolektör verimlerini arttırmak için üzerine farklı araştırma ve çalışmalar yapılmaktadır (Gülmez, 2020). Şekil 1.7’de düzlemsel bir kolektörde enerji akışı şematik olarak gösterilmiştir. Güneşten gelen doğrudan ışıının kolektör yüzeyine %100 olarak ele alınırsa emici plakadan yaklaşık %20’lik kısmı ve sistem içerisinde ve diğer etkenlerden dolayı %10’luk kayıplarla birlikte kolektörde çıkışta yaklaşık %70 kullanılan ısı elde edilmektedir.



Şekil 1.7. Düzlemsel bir kolektörde enerji akışı (Serdar Öksüz, 2014).

Güneş enerjisinden fayda sağlamak için genel olarak güneş enerji kolektörleri kullanılmaktadır. Bu doğrultuda yapılan çalışmalar deneysel ve teorik olarak iki ye ayırmak mümkündür.

Bilgi ve teknoloji çağı olan günümüz koşullarında birçok mühendislik uygulamalarında deneysel çalışmaların doğruluğunun önceden hesaplanabilmesi için farklı analiz programları kullanılmaktadır. Bu analizlerin başında akışkan analizleri gelmektedir. CFD (Computational Fluid Dynamics) diğer bir deyişle HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) analizlerinin temeli akışkanların sergilediği davranışları bilgisayar aracılığı ile sayısal metodolojiler ve algoritmalar kullanılarak analiz etmektir. Akışkanların davranışları ile ilgili yapılan çalışmaların %99 da daha kesin veriler elde etmek için Hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılmalıdır. Öncelikle akış belirlenen bölgeye ait temel diferansiyel denklemlerinin simülasyonu yapılarak düzgün yapılı elemanlardan ve noktalardan oluşturulacak ağ yapısı liberasyonları ile çözüm üzerine çalışma yapılır (Pasban ve diğ., 2017).

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği farklı yapıdaki birçok problemin çözümünde kullanılabilir. Güneşten gelen ışıınımların güneş kolektörlerinde meydana getirdiği etkileri daha hızlı ve net sonuçlar elde etmek için HAD analizlerinin fayda sağlamaktadır. Kolektörlerin üretimleri öncesinde yapılacak modelleme ve hesaplama, maliyet ve zaman açısından ve kullanıcı açısından geri dönüşlere daha hızlı cevap verilmesi sağlanabilir (Keçel, 2015). Düzlemsel kolektörlerde akışkanın panel içerisindeki verdiği tepkilerin belirlenmesi önemlidir. Dizayn edilen karmaşık modellerde hesaplamalar zaman tasarrufu açısından uzun sürmesi ve kolay yapılamamasından dolayı, akış hızları, basınç kayıpları, ısı transferleri ve verimleri gibi daha bir çok verilerin, modellenecek veya deneyi yapılacak düzlemsel güneş enerji kolektörünün yapısında HAD aracılığı ile bilgisayar ortamında simülasyonu yapılarak sonuçların daha doğru ve hızlı bir şekilde elde edilebilir. Yapılan deneysel çalışmasının HAD ile analizi yapılarak doğruluğu karşılaştırılabilir. Deney sonucunda ortaya çıkacak verilerin doğruluğu hakkında HAD daha net ve gerçek sonuçlar ortaya çıkarabilmektedir (Kumar ve diğ., 2022).

HAD kodları sayısal değerler etrafında yapılandırılmıştır. Akışkan akışı problemlerini çözebilen algoritmaların çoğu ticari çözüm süreçlerine kolay eşitlikler sağlamayı amaçlar. HAD paketleri, problem parametreleri ve sonuçlarını incelemek için gelişmiş kullanıcı ara yüzleri içerir (Tuncer ve diğ., 2020).

HAD analizi temel olarak dört aşamadan oluştuğu söylenebilir. Problemin tespiti, yapılacak çalışmaya ait analiz için beklenti ve çıktıların kesin olarak ortaya konulması gerekmektedir. Ön işlemler (Pre Prosessing), geometrik yapının belirlenmesi, sayısal olarak belirlenen aę yapısı mesh kalitesinin belirlenir. Çözüm, bu kısımda hesaplamalar yenilenerek sonuçların süreç içerisinde kontrol edilmesi ve değerlendirilmesi sağlanır. Son işlem bütün çalışma için çözümlemeler bittikten sonra sonuç verilerinin elde edildiği bölümdür (Sharma ve diğ., 2021).

Bu çalışmada, deneysel çalışması yapılmış olan bir havalı güneş kollektörünün, farklı yüzey geometrisine sahip emici plakalar için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizleri yöntemi ile performans değerlendirilmesi yapılmıştır. V tipi emici yüzey geometrisine sahip mevcut kollektörün deneysel verilene yakınsayan HAD modeli geliştirilmiş ve bu model üzerinde üzerin de sinüs tip ve trapez formda ki yutucu plakaların performansı incelenmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Güneş enerjisi sistemleri içerisinde düzlemsel havalı güneş kolektörlerinin kullanımı oldukça yaygındır. Düşük hava sıcaklık uygulamalarında birçok değerli çalışmalar yapılmıştır.

Abuşka, ve arkadaşları, trapez ve düz tip yutucu plakalı güneş enerjili hava kolektörlerin ısı verimi deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerde dış hava sıcaklığı, yutucu plaka üzerinde iki noktadan yüzey sıcaklığı, kolektör çıkış hava hızı ve sıcaklık değerlerini ölçmüşlerdir. Bu ölçümlerle ısı verimleri hesaplamışlardır. Trapez yutucu plakalı kolektörün ortalama ısı verimi %28.5 iken düz yutucu plakalı kolektörün ısı verimi ise %23.1 olarak bulmuşlardır. Trapez yutucu plakalı kolektörün, düz yutucu plakalı kolektöre göre ısı veriminin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir (Abuşka ve Akgül, 2014).

Aktaş ve Arkadaşları, Çoklu Geçişli kanatçıklı HGK'ile aynı ölçüye sahip iki geçişli kanatçiksız HGK'nın Enerji-Ekserji ve performans analizini deneysel olarak aynı iklim koşullarında karşılaştırmalı olarak test etmişlerdir. Her iki güneş kolektörünün toplam yutucu alanı 0.325 m² olarak belirlemişlerdir. Deneyler sonucunda çift geçişli kanatçıklı HGK'nın ısı veriminin %47.85 ve %51.86, çoklu geçişli kanatçiksız HGK'nın ısı veriminin %67.10 ve %72.86 olarak hesaplamışlardır (Aktaş ve diğ., 2019).

Ural, çalışmasında, soğurucu olarak tekstil kumaşa sahip yeni bir düz plakalı güneş hava kolektörünün enerji ve ekserji analizlerini deneysel performans değerlendirmesi yapmıştır. Yeni bir güneş hava kolektörünün HGK'nın deneysel olarak enerjisi, ekserjisi ve ekonomik analizleri hakkında çalışma yapmıştır. Elde edilen sonuçları da düz plakalı HGK'nın termodinamik performansı ile karşılaştırmıştır. Bu amaçla yerleştirilen tekstil kumaştan havanın geçirildiği yeni bir HGK üretilmiştir. Kumaş kolektör kasası içinde çapraz bir yüzey olarak konumlandırmıştır. Her iki kolektör de deney düzeneğinde aynı ortam ve test koşullarında sıcaklık, kütle akışı ve güneş radyasyonu aynı anda kaydedilmiştir. Çalışmanın sonuçları, enerji ve ekserjinin Düz plakalı yüzeye sahip HGK (FP-SAC) verimleri sırasıyla %53 ve %31, tekstil plakalı yüzeye sahip HGK (TP-SAC)

ise %70 ve %41 olduğunu bulmuştur. Sonuç olarak, bu çalışmanın tekstil kumaşlarının güneş enerjisiyle ısıtma ve kurutma uygulamalarında kullanımını açısından yol gösterici bir çalışma olması amaçlanmıştır (Ural, 2019).

Binguang ve arkadaşları, spiral yapıya sahip havalı güneş enerji panelinin performansı üzerine yapmış oldukları deneysel çalışmada, serpantin şekli yerine spoylerin spiral şekli kullanılarak elde ettikleri yeni tip HGK'nın performansını deneysel olarak incelenmişlerdir. Çalışmalarında giriş ve çıkış arasındaki sıcaklık farkı, ısınlama ve ısı toplama ile doğrusal olarak ilişkili olduğunu bulunmuşlardır (Jia ve diğ., 2019).

Das ve arkadaşları, Soğurucu yüzey pürüzlülüğüne sahip bir havalı güneş kolektörünün yüzey pürüzlülüğünün HGK'nın performansına etkisi üzerine çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada HGK'nın yutucu plaka yüzeyini değiştirerek düz plaka HGK'ya göre termal verimini arttırmayı amaçlamışlardır. Düz bir emici plakaya sahip bir HGK ile pürüzlü emici plakaya sahip diğer bir HGK'nın performanslarını laboratuvar koşullarında karşılaştırmışlardır. Testleri 400, 600 ve 800 W/m² değerleri ve 0.01 ila 0.02 kg/s arasında değişen değişken hava kütle akış hızlarında yapmışlardır. Sonuç olarak yüzey pürüzlülüğüne sahip HGK için termal verim daha yüksek olduğunu bulmuşlardır (Das ve diğ., 2020).

Debnath ve arkadaşları, düz ve oluklu güneş hava kolektörünün enerji ve ekserji analizinin deneysel olarak araştırmasını yapmışlardır. Deneyleri (Aralık) ve (Mayıs-Haziran) aylarında gerçekleştirmişlerdir. Kolektör eğim açıları 30° ve 45° ve hava akış hızı $3.9-11.8 \times 10^{-3}$ kg/s arasında değişen tek ve çift camlı kolektörler için enerji ve ekserji analizlerini yapmışlardır. Sonuç olarak bir HGK'nın 45° eğim açısında ısı veriminin daha yüksek olduğunu ayrıca HGK'lara ait ısı verimlerin yaz aylarında kış aylarına göre daha yüksek olduğunu bulmuşlardır (Debnath ve diğ., 2020).

Darıcı, farklı kütle debilerinde ısı analizi yapmak için tek geçişli bir havalı güneş kolektörü tasarımı, imalatı yapmıştır. Çalışmasında tek geçişli, zorlanmış konvektif HGK'nın termal analizini yapmıştır. Deneyleri Konya/Türkiye iklim koşulları altında, üç farklı günlerde ve açık hava koşullarında farklı kütle akış hızlarında

gerçekleştirmiştir. Kütle akış hızındaki artış ile HGK çıkışındaki havanın sıcaklığı azalırken, termal kollektörün verimi arttığını belirtmiştir. Özellikle yüksek sıcaklıklı uygulamalarda güneş enerjisi kollektörü kullanılacaksa, sistemi düşük kütle akış hızlarında çalıştırılmasını önermiştir. Havanın maksimum çıkış sıcaklığı 66°C'ye ulaştığını göstermiştir. Tüm kütle akış hızları için HGK'nın ortalama %52 enerji verimliliğine sahip olduğunu ifade etmiştir (Darıcı, 2020).

Günümüzde sayısal analiz yöntemleri ile akışkan etkileşimli herhangi bir termodinamik sistemin tasarım öncesi sıcaklık, akışkan hızı, basınç ve türbülans kinetik enerji gibi birçok faydalı analizleri yapılabilir. Literatürde hava ısıtmalı düzlemsel güneş kollektör sistemleri için yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Alıç ve arkadaşları, düzlemsel bir hava ısıtmalı güneş kollektörü için farklı yutucu plaka geometrileri kullanarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında 3 farklı yutucu plaka için sıcaklık, hız ve basınç parametrelerini HAD analizi ile incelemişlerdir. HAD analizinde en iyi mesh modeli eleman sayısını 1.340.820 ve mesh boyutu ise 0.6-0.1 mm olarak belirlemişlerdir. HAD analiz sonuçları deneysel güneş kollektörü çıkış sıcaklığına göre doğrulamışlardır. Doğrulama yöntemi olarak HAD analiz sonucu ile deneysel sonuçlar arasındaki hata oranını %1 den az bulmuşlardır. 3 farklı yutucu plakalı kollektör tiplerinin HAD sonuçlarına göre en termal performansa sahip kollektör tipinin Z tipi kollektör olduğunu belirtmişlerdir (Alıç ve diğ., 2021).

Sima ve Arkadaşları, Romanya koşullarında düzlemsel bir hava ısıtmalı güneş kollektörünün ısı verimi için deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Güneş kollektörü için HAD analizi 3D geometrisi deneysel çalışmaya göre yapılmıştır. HAD analizi için 2.95 milyon eleman için mesh ağının en iyi sonucu ortaya çıkardığı gözlemlenmiştir. Deney setinde Romanya koşullarında ısı verimi %45 olarak bulunan HGK'nın HAD analizlerinden elde edilen verim sonuçlarıyla yakınsaklık gösterdiğini bulmuşlardır (Sima ve diğ., 2021).

Sari ve Arkadaşları, delta kanatçıklı bölmeli ve girdap üreteçli yüzeye sahip bir havalı güneş kollektörünün verimliliğini artırmak için çalışma yapmışlardır. HGK'nın emici

yüzeyindeki bölmelerin ve delta kanatçık girdap üreticinin birleşik etkilerinin HGK'nin performansı üzerine araştırmalar yapmışlardır. Yapılan deneysel kurulumun HAD analizi için HGK'nın 3D modellemesi Ansys Fluent'te gerçekleştirilmiştir. Reynolds sayısı 1.000 ve 10.000 arasında belirlenmiştir. HAD analizinde en iyi mesh modeli eleman sayısını 480.000 olarak seçilmiştir. Kollektördeki akış hızı 20 m/s'den az olacak şekilde belirlenmiştir. Sonuçlar düz plakalı HGK ile karşılaştırıldığında, bölmeli ve delta kanatçıklı HGK'nın enerji ve ekserji verimliliğinde ortalama %7.4 ve %12 oranında artış olduğunu, deney setinden elde edilen sıcaklıklarla HAD analizinden elde edilen sıcaklıkların uyum içerisinde olduğunu bulmuşlardır (Sari ve diğ., 2021).

Singh ve Arkadaşları, Pürüzlendirilmiş ısıtıcı kanala sahip emici plakada kırık kanatçıklı ve kare kanatçıklı olan iki HGK'nın deneysel ve HAD analizi yapılarak karşılaştırılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Reynolds aralığını 3.000–18.000 olarak seçmişlerdir. İki farklı deney seti için ısı transferi ve sürtünme faktörü özelliklerine etkisi deneysel ve sayısal araştırmalar kullanılarak incelemişlerdir. Deney setine ait modellemeler her iki emici plaka için 3D olarak yapılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan geometrik ve akış parametreleri için gerçekleştirilen HAD analizi sayısal sonuçları %6.2 sapma ile deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu göstermişlerdir. (Singh ve diğ., 2019).

Vivekanandan ve arkadaşları, tam gelişmiş düzlemsel hava akışlı güneş kolektörünün deneysel ve HAD analizini için çalışma yapmışlardır. HAD analiz sonuçları doğrulamak için deneysel sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. HGK 20°, 30°, 40°, 50° ve 60° gibi farklı eğim açılarında yapılan deneysel ve HAD analizi sonuçları karşılaştırıldığında 20° eğim açısında HGK'nın çıkış sıcaklığının diğerlerinden daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Deney setinden elde edilen çıkış sıcaklıklarıyla HAD analizinden elde edilen çıkış sıcaklıkları arasındaki hata oranını %15 olarak hesaplamışlardır. HAD sonuçları deneysel değerlerle uyum içinde olduğunu göstermişlerdir (Vivekanandan ve diğ., 2020).

Kansara ve diğerleri, emici yüzeye entegre edilmiş kanatçıklı , gözenekli düzlemsel HGK'nın deneysel ve HAD analizi için çalışma yapmışlardır. 3 farklı yüzeye sahip HGK'dan elde edilen veriler ile emici yüzey yapısı boş düzlemsel hava kolektörü verilerini karşılaştırmışlardır. HAD analizinde düz yüzeye sahip HGK için en iyi mesh

modeli eleman sayısını 8.431.49 ve mesh boyutu 2.5 mm , kanatçıklı yüzeye sahip HGK için 1.004.480 ve mesh boyutu 2.5 mm , gözenekli ve dolgulu yüzeye sahip HGK için 1.013.533 ve mesh boyutu 2.5 için HGK çıkış sıcaklıklarını araştırmışlardır. Çıkış sıcaklığı artışının gözenekli ortamlı bir kollektörde boş bir kanala sahip kollektörden %16 daha iyi olduğunu bulmuşlardır. HAD Modelin deneysel sonuçlarla iyi bir uyum içinde olduğu kanıtlanmıştır (Kansara ve diğ., 2021).

Shreyas ve arkadaşları, dairesel delikli emici plaka bir güneş enerjili hava ısıtıcısının sayısal analizi çalışmasını, emici plakanın konfigürasyonları için yapmışlardır .5 mm'lik 8 mm, 10 mm ve 12 mm kanat çapları ve kanat sayısı 24, 36 ve 54 olarak değişen emici plakanın konfigürasyonları kullanmışlardır. HAD analizini 3.000 ile 21.000 arasında değişen Reynolds sayıları için yapmışlardır. Çalışmalarında HAD analizinde en iyi mesh modeli eleman sayısını 174.000 olarak belirlemişlerdir. HGK'nın termohidrolik verimi, havalandırma çapındaki artışla doğru orantılı olduğunu bulmuşlardır. Dairesel geometrinin ve havalandırmalı soğurucu plakanın, türbülansın neden olduğu ısı transferinde artışa neden olan girdap oluşumuna neden olduğunu HAD analizi yardımıyla ortaya koymuşlardır. HAD analizi sonuçlarının ortalama %2,91 hatayla deneysel sonuçlara benzer olduğunu bulmuşlardır (Shetty ve diğ., 2021).

Sharma ve diğerleri, emici plakası kare şekilli çıkıntılı HGK'nın termal verimliliği artırmak için HAD tabanlı çalışma yapmışlardır. On altı geometrik düzenlemeye sahip güneş enerjili hava ısıtıcısının 3 boyutlu HAD modeli pürüzlülük, 4.000 ila 20.000 arasında değişen Reynolds sayısı altında analiz edilmiştir. HAD tabanlı yapılan incelemede, pürüzsüz emici plakanın bulunduğu güneş enerjili hava ısıtıcısının 3 boyutlu modeli ANSYS Fluent 18.2 versiyonu kullanılarak pürüzlü olarak simüle etmişler ve çıkıntılı kare şekle dönüştürmüşlerdir. HAD analizi için en iyi mesh modeli eleman sayısını 1.105.817 olarak ve mesh boyutu ise 10 mm ile 5 mm arasında belirlemişlerdir. HAD analizleri ile kare şekilli çıkıntılı havalı güneş kollektörünün termal verimliliği performans artırma metodolojileri arasında en yüksek oranı %63.17 olarak bulmuşlardır (Sharma ve diğ., 2021).

Abuşka ve Kayapınar , konik yüzeyli havalı güneş kollektörün termal performansını deneysel ve sayısal olarak araştırmasını yapmışlardır. Bu çalışmada Konik yüzeyli HGK (model 2) ile Düz yüzeyli HGK (model 1) deneysel ve sayısal olarak karşılaştırılmıştır. Deney seti HAD analizi için 3D modellemesi yapılmıştır. Reynold sayısı 5.160 olarak ele alınmıştır. HAD analizinde en iyi mesh modeli eleman sayısını 116.688 -1.047.251 olarak ele almışlar ve her iki HGK için 23.405–217.065 arasında düğüm noktası seçmişlerdir. Deneysel sonuçlar, HAD tarafından elde edilen sayısal sonuçlarla karşılaştırıldığında iyi bir uyum olduğunu göstermişlerdir (Abuşka ve Kayapınar, 2021).

Rahmani ve arkadaşları, dalgalı ve rakun şeklinde farklı yüzeye sahip havalı güneş kollektörünün kanatçık yüksekliğinin performansa etkisinin sayısal simülasyonunu HAD analizini incelemişlerdir. Reynolds sayısı 12.000 ve 24.000 de incelenmiştir. HGK'nın 3D sayısal simülasyonu tasarlamışlardır. HAD analizleri için her iki HGK'nın kanatlarına ait kanal yüksekliğinin 0.25 ve 0.5 olarak belirlemişlerdir. HAD analizi mesh sayısı dalgalı yüzeye sahip HGK için 1.748.499-1.868.677 ve rakun şekilli yüzeye sahip HGK için 1.894.722- 1.757.455 olarak seçmişlerdir. Kanatlı ve kanatsız havalı güneş enerji kollektörleri karşılaştırılmıştır. Termal performans faktörü, kanatçıkların yüksekliğine bağlı olarak yaklaşık %20'lik bir artış göstermiştir. HAD analizleri sonucunda dalgalı ve rakun şeklindeki kanatçıklı HGK'nın termal performans arttırması adına teşvik edici rolünü ortaya koymuşlardır (Rahmani ve diğ., 2021).

Haldar ve arkadaşları, pürüzlülük parametrelerinin, yapay dalgalı pürüzlülüğe sahip Bir havalı güneş kollektörü performansına etkisinin HAD kullanarak incelenmesini yapmışlardır. Mevcut çalışmada, Ansys FLUENT yazılımı, bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi yapmak için kullanılmıştır. Yapay dalgalı pürüzlülüğe sahip yutucu plakalı HGK'nın pürüzlülük elemanları incelemişlerdir. HAD analiz mesh eleman sayısını 142.153 olarak seçmişlerdir. HAD analizlerinde 12 geometri setinden oluşturmuş ve her konfigürasyondaki eleman sayısı 100.000 ila 200.000 arasında yapmışlardır. HAD analizinde ısı transferi ve akışkan özelliklerinin simülasyonu gerçekleştirmişlerdir. HAD analizinden elde edilen sonuçlarda önceki araştırmalarda elde edilen bulgularla iyi bir uyum içinde olduğunu bulmuşlardır (Haldar ve diğ., 2022).

Nidhul ve diğerkleri, çalışmalarında ayrıık çoklu eğimli bölmelere sahip HGK'nın termo-hidrolik performansını güçlendirmek için ikincil akış yarı silindirik yan duvarlara sahip düz plakalı HGK'nın etkisini deneysel ve HAD analizi ile ifade etmişlerdir. Nervürlü HGK ortalama %3 oranında daha yüksek ekserji verimliliğine sahip olduğunu bulmuşlardır. HAD analizi için 3D modelleme yapmışlardır. Reynold sayısı (6.000-14.000)olarak seçilmiştir. HAD analizi için en iyi mesh modeli eleman sayısını 0.8 ila 2.1 milyon olarak ve mesh boyutu ise 10 mm ile 5 mm arasında belirlemişlerdir. Mevcut HAD analizi metodolojisini doğrulamak için düz plaka dikdörtgen HGK'nın sonuçları eşleştirildiğinde Nusselt sayısı ve Sürtünme faktörü için deneysel sonuçlardan maksimum %8.4 ve %7.02 sapma olduğunu bulmuşlardır (Nidhul ve diğ., 2022).

Singh, ve O.P. Singh, HAD analizi kullanarak kavisli yüzeye bir havalı güneş kollektörünün performansının artırılması için çalışmalar yapmışlardır. Çalışmada karşılaştırmalar için çeşitli emici yüzeylere sahip kavisli HGK tasarımının iki boyutlu katı geometrisini tasarlamışlardır. Kavisli plaka pürüzsüz tek geçişli, düz plaka pürüzsüz çift geçişli, kavisli plaka pürüzsüz tek geçiş, kavisli plaka pürüzsüz çift geçişli , kavisli plaka yarım daire şeklinde oluklu tek geçişli, kavisli plaka V oluklu tek geçiş olacak şekilde farklı emici yüzeye sahip geometrilerin HAD analizi için 2D modeller tasarlanmışlardır. HAD analizi için en iyi mesh modeli eleman sayısını 682.000, 727.000, 1.670.000 ve 2.900.000 olarak seçmişlerdir. HAD analiz sonuçlarının maksimum sapma değerkinin $\pm$ %13.42 olduğunu belirtmişlerdir. Karşılaştırmalarda en iyi termal verimlilik kavisli plakalı V oluklu tek geçişli HGK'ya ait olduğunu ve bu HGK'nın maksimum %91.93 termal verimliliğe sahip olduğunu belirtmişlerdir (Singh ve Singh, 2018).

Hung ve arkadaşları, düz plakaya sahip havalı güneş kollektörü için ısı transfer karakteristiğinin sayısal analizi ve deneysel olarak incelemişlerdir. HAD yaklaşımında akış ve ısı transferinin özelliklerini doğrulamak için deney setinin verilerini kullanmışlardır. Mevcut çalışmada en uygun kütle akış hızı için optimum tasarım 50 x 10 mm en boy oranının kombinasyonu olduğunu bulmuşlardır. Deney seti, tüm panel 1.6 m yüksekliğinde, 0.6 m genişliğinde ve 0.085 m kalınlığında ve emici plaka siyaha boyanmış olarak izolasyon için fiberglas, yün zarf kullanılarak tasarlamışlardır. HAD analizi için mesh sayısı 1.235.850 olarak ve mesh ölçüleri 3.875 mm ve 4 mm olarak

almışlardır. Deney setinden elde edilen sonuçlar ile HAD analiz değerlerinin uyumlu olduğunu ve analizin güvenilir olduğunu göstermişlerdir (Hung ve diğ., 2017).

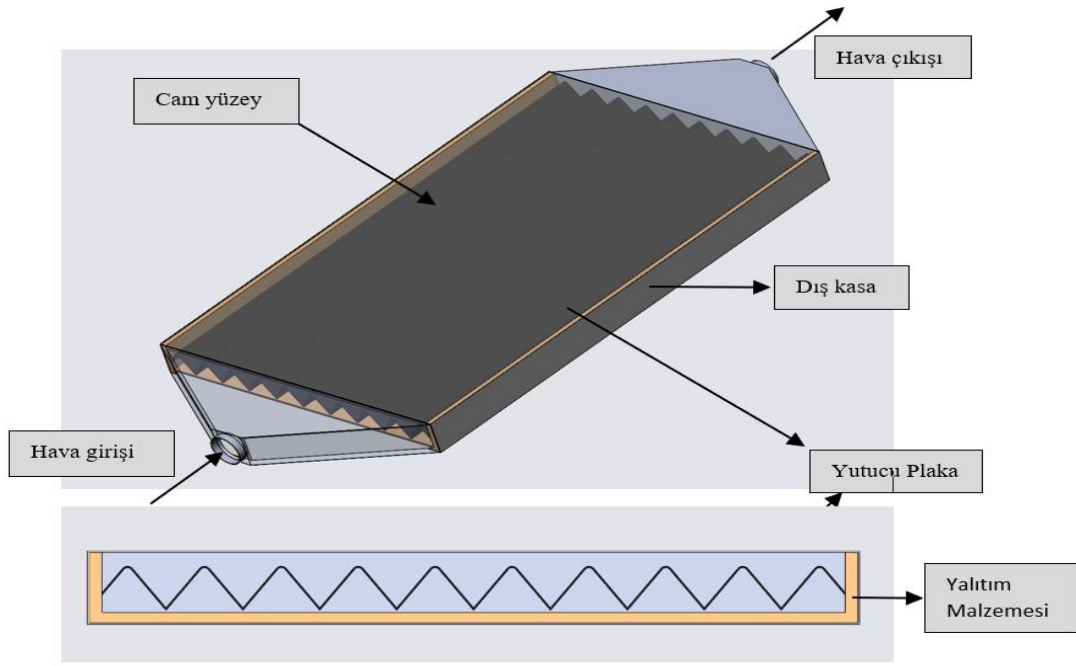
Alic ve arkadaşları, tek geçişli zorunlu konveksiyon havalı güneş kolektörünün Tasarım, üretim, sayısal analiz ve çevresel etkileri hakkında yapmış oldukları çalışmada, dört farklı emici plaka sahip tasarlanan HGK'nın , exerji tabanlı yöntemler kullanılarak çevresel etkileri değerlendirilme üzerine çalışma yapmışlardır. HAD analizi için referans alınan deney seti için tasarlanan model (Das Model) üretildi ve Elazığ/ Türkiye'de ili iklim koşullarında sabit kütle akışında ve farklı zamanlarda test edilmiştir. Numerik analiz ve sayısal metodoloji hesaplamalı HAD analiz programı ile yapılmıştır. Bu amaçla, HGK'nın modellenmesi 3D olarak yapılmıştır. HAD analizi için mesh eleman sayısı, model 1 için 188.900 ve mesh boyutu ise 0.1-14 mm, model 2 için 374.080 ve 0.1-10 mm , Model 3 için 1.340.820 ve 0,1-6 mm olarak belirlenmiştir. HAD analizinden elde edilen hata değerleri %1'den az olduğunu bulmuşlardır (Alic ve diğ., 2021).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu tez çalışmasında Saydam, Çerçi ve Hürdoğan tarafından 2021 yılında yapılmış olan “V Tipi Havalı Bir Güneş Kolektörünün Isıl Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi ve Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi” adlı makaledeki deneysel veriler kullanılarak sayısal çözümler yapılmıştır (Saydam ve diğ., 2021). Çalışmada kullanılan mevcut kolektörün yutucu plaka geometrisi değiştirilerek HAD analizi yardımı ile sıcaklık ve hız dağılımları incelenmiştir.

3.1.Havalı Güneş Kolektörleri

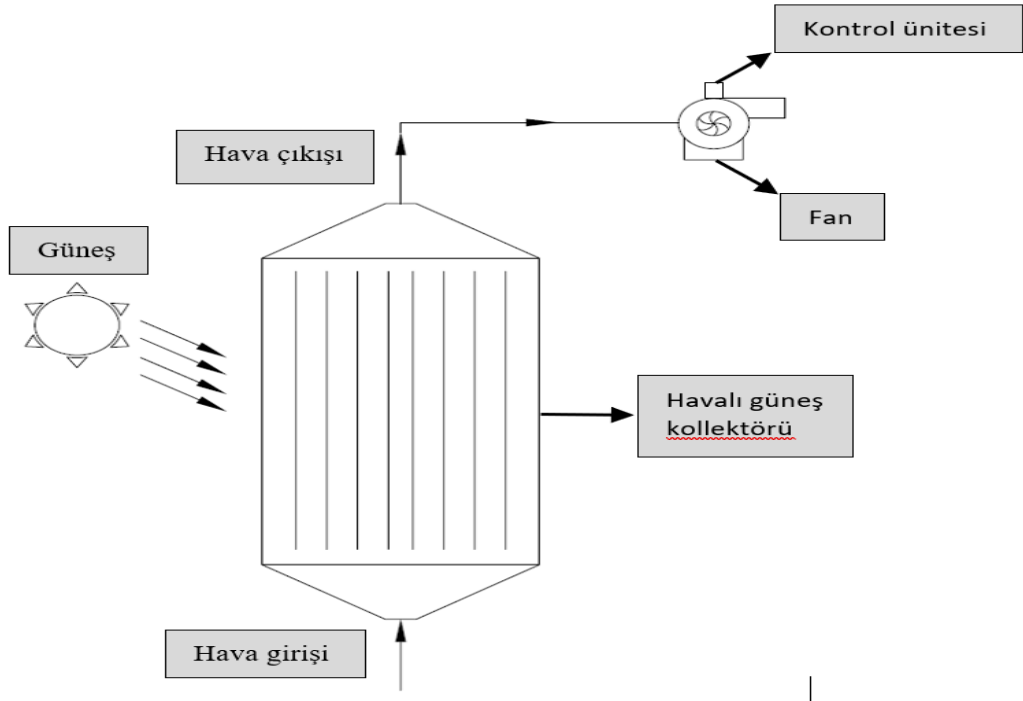
Taşıyıcı akışkanı hava olan güneş kolektörleridir. Kullanılan hava akışkanı ile kolektör emici yüzeye gelen ışınları absorbe ederek kolektör içerisindeki havaya iletilmesini amaçlar. Tasarım olarak basit yapılı olup, genel olarak; Yutucu plaka, yalıtım malzemeleri, hava geçiş kanalları ve saydan cam örtü ve kasa gibi bileşenlerden oluşan basit yapılı kolektörlerdir(Sacilik ve Elicin, 2006). Havalı güneş kolektörü düşük sıcaklık uygulamalarında en yaygın kullanılan kolektördür. Temel olarak güneşten aldığı ışınımı kolektör içerisindeki havaya taşıyarak ısıyı değiştirir (Doymaz, 2012). Şekil 3.1’de HAD analizinde kullanılan deney setine ait çizim verilmiştir. Şekilde yutucu plaka geometrisi, HGK komponentleri ve kolektör hava giriş ve çıkış yerleri gösterilmektedir.



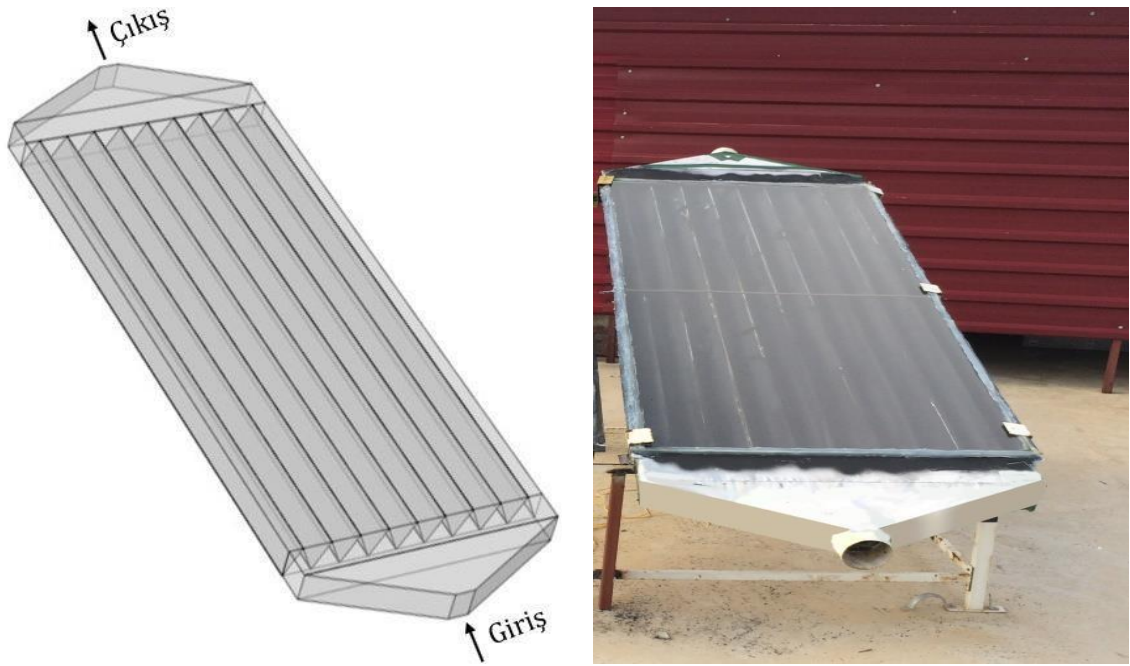
Şekil 3.1. V tipi emici plakalı havalı güneş kollektörü

3.2. Deney Seti

Şekil 3.2’de, deney seti için daha önce dizayn edilen V tipi çift geçişli havalı güneş kollektörüne ait çizimi ve Şekil 3.4 (a) ve (b)’te deney düzeneğine ait çizim ve fotoğraf verilmiştir. Tablo 1’de ebatları verilen kollektörde kullanılan malzemeler; kollektör kasası Şeffaf pleksi levhadan imal edilmiş ve oluşabilecek ısı kayıplarını engellemek için kasanın alt ve yan taraflara gelen yüzeylerinde cam yünü döşenerek alüminyumla kaplanmıştır. Isı transferinin iyileştirilmesi açısından havanın kollektör içerisinden daha uzun süre dolaşım sağlayabilmesi için mevcut alüminyum plaka üzerine V şeklinde alüminyumdan yapılmış oluklu kanatçıklar montajlanmıştır. Kollektör yüzeyi ve üzerindeki bağlantılarda oluşabilecek hava kaçaklarına karşı sızdırmazlık için slikonla işlem yapılarak sızdırmazlık sağlanmıştır. Güneş ışınlarını absorbe etmesi ve Kollektör yüzeyindeki ışınlardan daha fazla yararlanabilmek için yutucu plaka ve kollektör içi kısımlarına alkit reçine esaslı siyah mat renk kollektör boyası uygulanmıştır.



Şekil 3.2. HAD analizinde kullanılan HGK'nın çalışma prensibi



Şekil 3.3. (a) Deney düzeneği kolektörün teknik çizimi, (b) Deney düzeneği fotoğrafı (Saydam ve diğ., 2021)

Yapılan çalışmaya ait güneş kollektörü kullanılan malzemeler ve teknik özellikleri 3.1’de deneysel veriler için kullanılan ölçüm cihazları tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Tasarımı yapılan V tipi havalı güneş kollektörü teknik özellikleri

Yutucu plaka tipi	V
Geçirgen üst örtü	Tek cam
Kasa boyutu	190x90x10 cm
İzolasyon malzemesi	Cam yünü, sızdırmazlık için silikon
Yutucu plaka	Alkit reçine esaslı siyah mat renk kollektör boyası
Kasa malzemesi	siyah mat boyalı alüminyum sac 2 mm sac

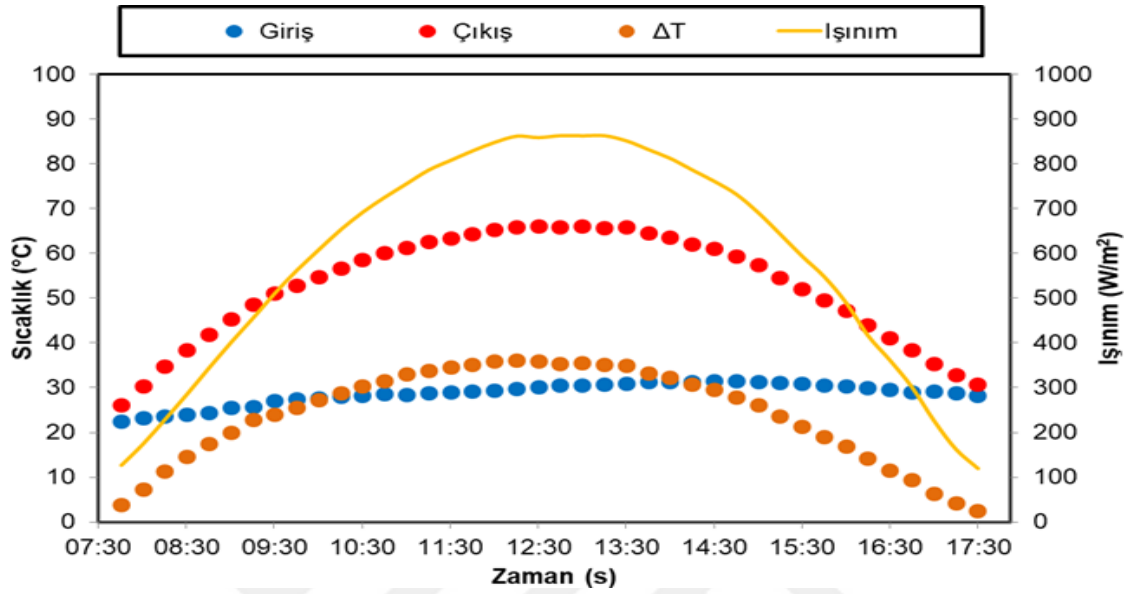
Tablo 3.2. Deneysel çalışmada kullanılan cihazlara ait özellikler (Saydam ve diğ., 2021)

Cihaz Ölçüm yaptığı değişkenler	Cihaz marka ve tipi	Hassasiyet oranı
Sıcaklık	COLE PARMER K tipi Isıl Eleman Çifti	0.1 °C
Rölatif nem	EPLUSE nem ölçer	%2-3
Hava hızı	TESTO 435 hava hızı ölçüm probu	0.1 m/s
Işınım	TRITEC ışıınım sensörü	%±5
Veri kayıt	IOTECH PD3001	16 bit

3.3. HAD Analizlerinde Modellenen Deneysel Prosedür

Deneyler saat 07:30 -17:30 arasında yapılmıştır. Kollektör girişi hava kütle debisi 0.034 kg/s olarak sabit alınmıştır. Dış ortam hava akışkanı deney süresince kullanılmıştır. Sistemde kullanılan hava akışkanı hızı 3.1 m/s olarak sabit alınmıştır ve kollektör dışına atılmıştır (Saydam vd., 2021). Şekil 3.4’te Kollektör giriş (dış hava)-çıkış sıcaklıkları, (ΔT) sıcaklık farkı ve ışıınının zamana bağlı olarak gün içerisindeki değişimi verilmiştir

(Saydam vd., 2021). Deney başlangıcında yaklaşık %80 civarında olan rölatif nemin dış ortamın ısınması ile birlikte %26'lık oranlara kadar düşmüştür.



Şekil 3.4. Sıcaklık ve ısıtım değerlerinin zaman ile değişimi (Saydam ve diğ., 2021)

3.4. Enerji Analizi

Termodinamiğin birinci yasası, enerjini korunumu olarak bilinmektedir. Tabiatta var olan en temel yasa olarak nitelendirilebilir. Enerjiye sahip herhangi bir sistemin çevresi ile temas halinde olması durumunda sistemin kaybettiği enerjinin çevresi ile kazandığı enerji miktarlarının eşit olması gereklidir. Burada enerji farklı formlarda ısı yada elde ettiği iş ile geçiş yapabilir (Özgen ve Makale, 2021).

Havalı güneş kolektörü emici plaka yüzeyi V şeklinde dizayn edilen deney sisteminde, panel içerisinden geçen havaya aktarılan faydalı enerji için yapılacak hesaplama Eşitlik 1 verilmiştir.

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_g - T_c) \quad (1)$$

Verilen bu eşitlikte ;

$\dot{m}$: Kollektörde akışkan olarak kullanılan hava için kütle debisini (kg/s),

C_p : Havaya ait özgül ısı (J/kgK),

T_g : Giriş sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$),

T_c : Çıkış sıcaklığı, ifade etmektedir. Havanın sahip olduğu kütle debisi için Eşitlik 2 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{m} = \rho \cdot V A_c \quad (2)$$

Eşitlik 2 için;

ρ : hava yoğunluğu (kg/m³),

V : hava hızını (m/s),

A_c : ise kolektör çıkışı kesit alanını (m²) olarak ifade etmektedir.

Termodinamiğin 1. Kanunundan güneş kolektörün ısı verimi, η_c ise Eşitlik 3'e göre hesaplanmıştır.

$$\eta_c = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_g - T_c)}{I \cdot A} \quad (3)$$

3.5. HAD Analizi

Hesaplama Akışkanlar Dinamiği analizleri için (HAD) analizi için ANSYS Fluent kullanılmıştır. ANSYS Fluent modülü sonlu hacimler çözücü metodolojisini kullanır. Had analizinde bu yaklaşımla oluşturulan HAD simülasyonları, akış hacmindeki tutarlılığı sağlayabilmek için sayısal tabanlı kontrol hacimli denklemlerden yararlanmaktadır. ANSYS Fluent problemin çözümünde yaklaşım olarak (yoğunluk tabanlı , ayrılmış ve basınç tabanlı) olarak farklı çözüm yöntemleri sunabilmektedir. HAD analizinde ihtiyaç duyulan ana parametrelerin sıcaklık , verim vb. gibi çözümlemelerinde kolaylık sağlamaktadır (Awasthi ve diğ., 2020).

Havalı güneş kollektörü HAD analizinde oluşturulan matematik modele ait performans simülasyon için kararlı durum (steady state) kullanılır. Bu model hesaplama süresi daha kısadır, belirlenen özel koşullar altında çalışmaktadır esnek değildir. Deney seti ve tasarlanan emici plaka modelleri için HAD analizleri zamandan bağımsız olacak şekilde (steady state) aracılığı ile sayısal modellemeler yapılmıştır. HAD analizinde problem çözümlerinde kullanılacak sonlu eleman ağı, mesh üretimi bu karmaşık diferansiyel denklemlerinde sayısal olarak çözümlenmelerde önem taşımaktadır. Problemden sonucun etkileyen çözümlemedeki ağ yapısına ait eleman kalitesini iyileştirmek için kabul edilebilirlik aralığı çarpıklık (Skewness) 0.80-0.94'tür. HAD analizi ağ kalitesi için eleman kalitesi , Analizde kullanılacak sonlu eleman ağı metrik aralıklar Tablo 3.3'te verilmiştir (Ali ve diğ., 2014).

Tablo 3.3. Sonlu eleman ağı metrik aralıklar (Ali ve diğ., 2014)

Kabul	Mükemmel	Çok iyi	İyi	Kabul Edilebilir	Kötü	Kabul Edilemez
Skewness (Çarpıklık)	0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00
Ortogonal kalite	0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

Deney seti ve 2 farklı emici yüzey için oluşturulacak simülasyonlar için, öncelikle model geometrilerinin ana hatları çizilerek belirtilmiştir. Tasarımda HAD analizi sonlu eleman metoduyla yapılacağı için modelin meshlenmesi çözümlemede ikinci adım olacaktır. Simülasyonlar için genel ayarlar enerji denklemi ve güneş radyasyon yükü modeli gerçekleştirildiğinden yapılır. Enlem, yükseklik ve saat dilimi model için tanımlanır. Modelde kullanılan malzeme türlerini ve özellikleri belirtilir. Sınır koşulları da belirlendikten sonra, son olarak çözümleme ve son işlem yürütülerek sonuç verileri elde edilir (Fatchurrohman ve Chia, 2017).

Analizler için giriş sınır koşulları "hız ve basınç" için sınır koşulları belirlenmiştir. Havanın girişte türbülans şiddeti %5, viskozite oranı %10 olacak şekilde belirlenmiştir. Sınır koşulu için çıkışta basınç farkı sıfır olarak ve çıkışta oluşacak türbülans modülü için Ansys Fluent mevcut değerler kullanılmıştır. Cam yüzeye gelen ışıma emici plaka

doğrudan etkilenir. Kollektör yüzeyleri (no-slip smooth wall) kaymayan sabit duvar olarak belirlenmiştir (Yürük ve Gemalmayan, 2019).

HAD analizleri için simülasyonlarda güneş ışınlamalarının bağlı olarak Ansys Fluent beş radyasyon modeli sağlar; Ayrık radyasyon transfer modeli (DTR); DTRM, tüm yüzeylerin dağınık olduğunu varsayar. Bu, gelen radyasyonun yansımalarının yüzey katı açısına göre izotropiktir. P-1 Radyasyon Modeli; P-1 modeli, tüm yüzeylerin dağınık olduğunu varsayar. Bu, gelen radyasyonun yansıması anlamına gelir. Rosseland Radyasyon Modeli; Rosseland modelinin P-1 modeline göre iki avantajı vardır. Ekstra bir taşımayı çözmediği için gelen radyasyon denklemi (P-1 modelinin yaptığı gibi), Rosseland modeli P-1'den daha hızlıdır ve bu model ve daha az bellek gerektirir. Rosseland modeli yalnızca optik olarak kalın ortamlar için kullanılabilir. Surface-to-Surface (S2S) Radyasyon Modeli; muhafaza edilen radyasyon transferini modellemek için iyidir, katılımcı ortam olmadan (örneğin, uzay aracı ısı reddetme sistemleri, güneş kolektör sistemleri radyasyonlu alan ısıtıcıları, DTRM ve DO radyasyonu ile karşılaştırıldığında modellerde, görünüm faktörü hesaplamasının kendisi olmasına rağmen, S2S modeli yineleme başına çok daha hızlı bir zamana sahiptir. Ayrık Ordinatlar (DO); DO modeli, tüm optik kalınlık aralığını kapsar ve değişen sorunları çözmenize olanak tanır.

Yukarıda belirtilen radyasyon modelleri kullanılarak yüzeylerin ısıtılması sağlanabilir. Ansys Fluent, simülasyona güneş etkilerini dahil etmek için bu radyasyon modellerine ek olarak bize bir solar yük “Solar Load” modelinden yararlanılabilir (Fluent, 2013).

Bu çalışmada Rosseland Radyasyon Modeli kullanılmıştır. Rosseland Modeli yalnızca basınç tabanlı çözücü için kullanılabilir. Güneş hesaplayıcısı, konumun deneylerin yapıldığı Osmaniye iline ait 37.074628 ve 36.246400 boylam ve enlem açısı vardır. Analiz sonuçlarında gün içerisinde 10:00 ile 17:00 saatleri arasındaki değerler dikkate alınmıştır. Üst örtüden ortama radyasyon ve karışık taşınım şartları kullanılarak modellenmiştir.

Değiştirilmiş taşıma denklemi dağılma oranı ε için, bir tam denklemden türetilmiştir. Realizable " terimi, modelin Reynolds üzerindeki belirli matematiksel kısıtlamaları karşıladığı anlamına gelir. Realizable k- ε modeli, türbülanslı viskozite için alternatif bir formülasyon içerir.

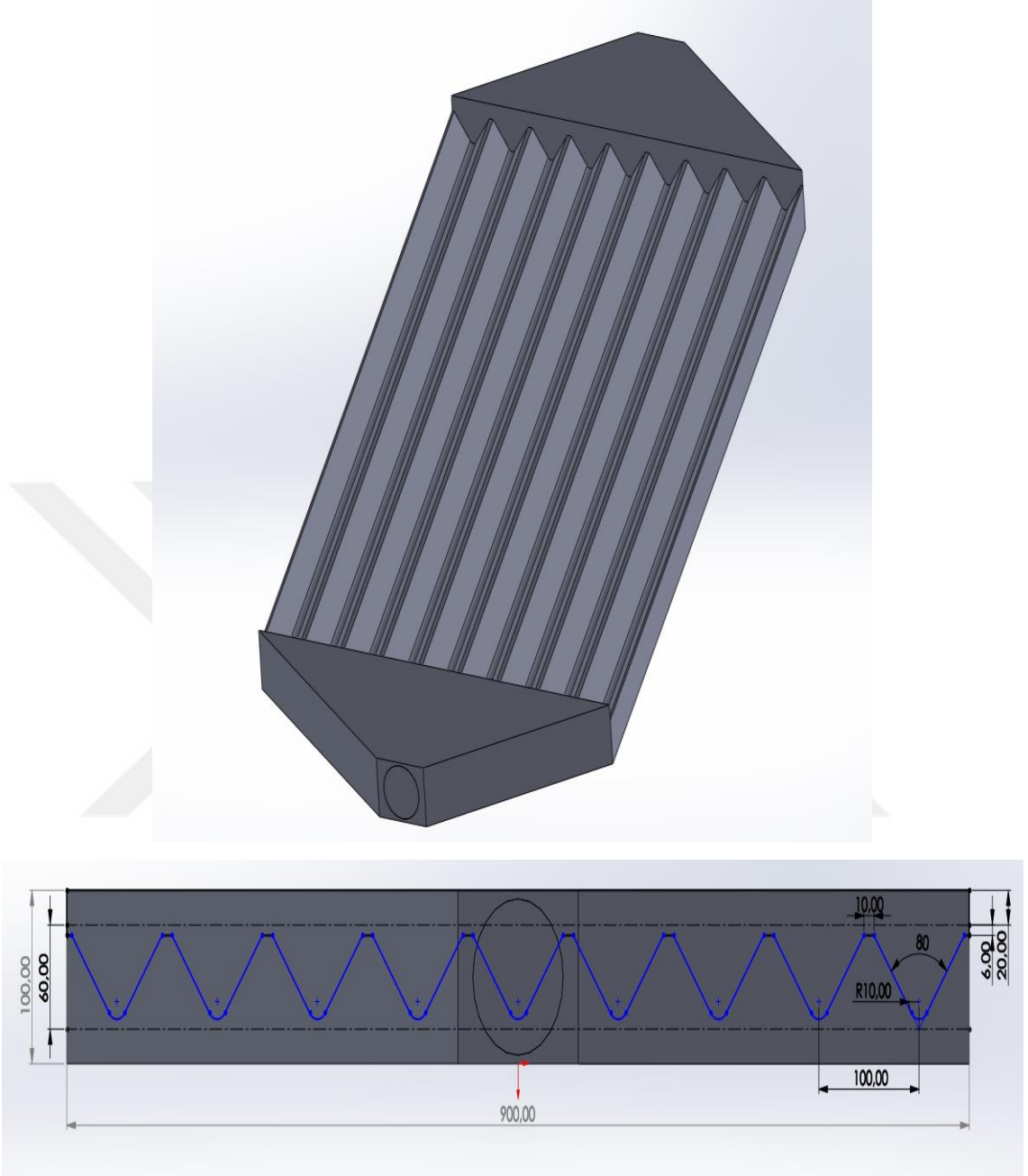
Bu çalışma için; akışın zamandan bağımsız ve basınca bağlı olduğu kabul edilerek sayısal simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Türbülans modellemesi için, Realizable k- ε türbülans modeli standart duvar şartları ayarlamasıyla kullanılmıştır.

Bu çalışmada akış analizleri Ansys fluent aracılığıyla sonlu hacim (finite volume method) metodu kullanılmıştır. HAD analizi için simülasyonu yapılan kollektör emici plakaları; Isı transferi, hava akışı ve enerji denklemleri aşağıda literatürde kabul edildiği gibi verilmiştir. k- ε modeli HAD analizleri için bir çok çalışmada genel olarak kullanıldığı için seçilmiştir. Enerji denklemleri ısı transferi açısından açık tutulur (Karmare ve Tikekar, 2010).

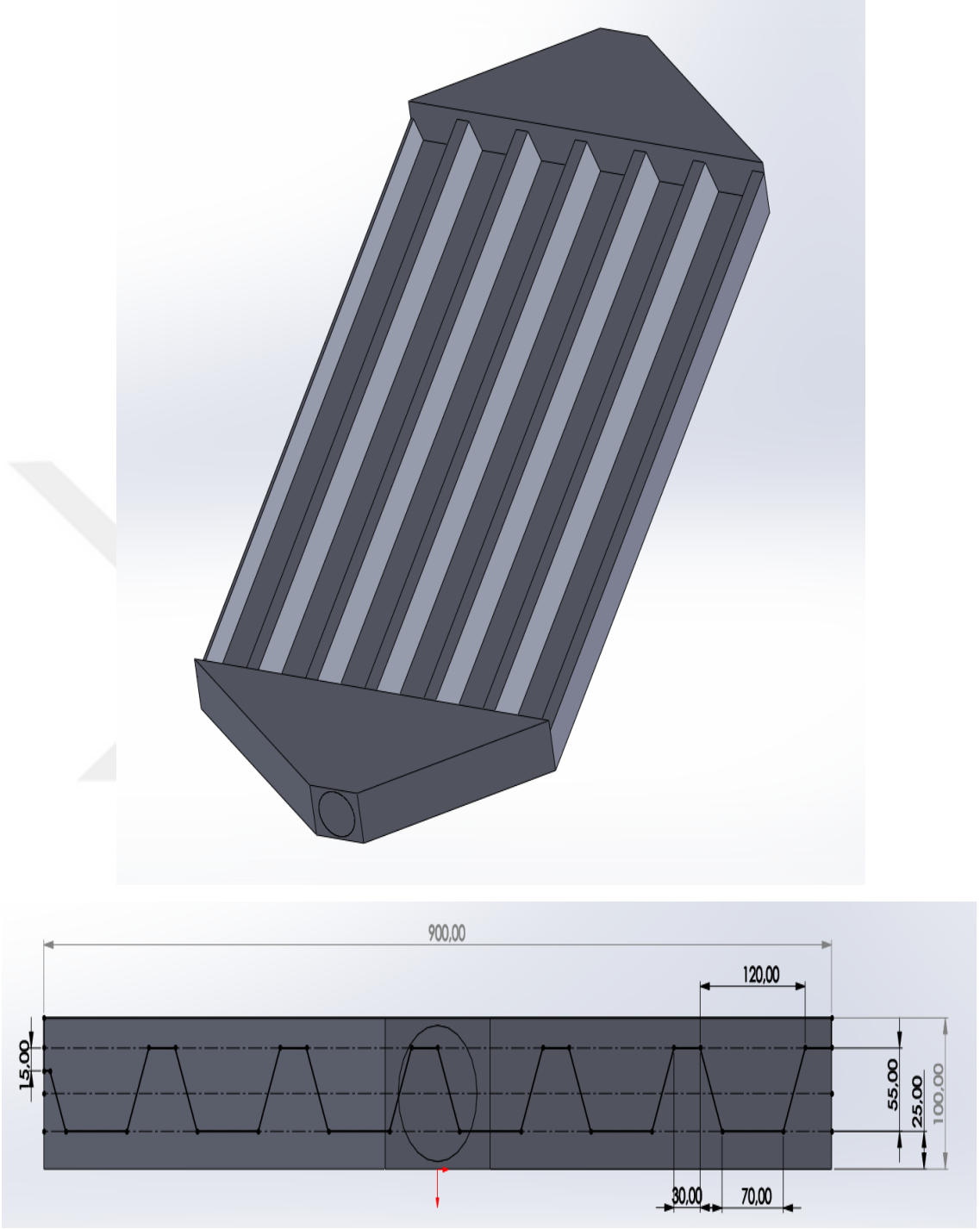
Simülasyonlar için kabuller aşağıdaki verilmiştir:

- Rosseland Modeli, radyasyon modellemesi olarak kullanılmıştır.
- Modelde hesaplamalar güneş için hava şartları açık olacak şekilde ayarlanmıştır.
- Kollektörde kullanılan malzemeler; üst yüzey cam, dış kasa alüminyum, yutucu plaka bakır olarak seçilmiştir.
- Kollektördeki hava akışkan hızı 3.1 m/s olarak seçilmiştir.
- Çevre koşullarında hava giriş 305.5 K sıcaklığı sabit alınmıştır.
- Duvar tanımlı bütün elemanlar (no-slip smooth Wall) uygulanmıştır.
- Sınır şartları, kollektöre giriş yapan hava için "velocity inlet", çıkış için "pressure outlet" olarak tanımlanmıştır.
- Sistemde basınç değişiklikleri dikkate alınmamıştır. Çözümleme denklemlerinde basınç ve hız hesaplanması için SIMPLE algoritması kullanılmıştır.

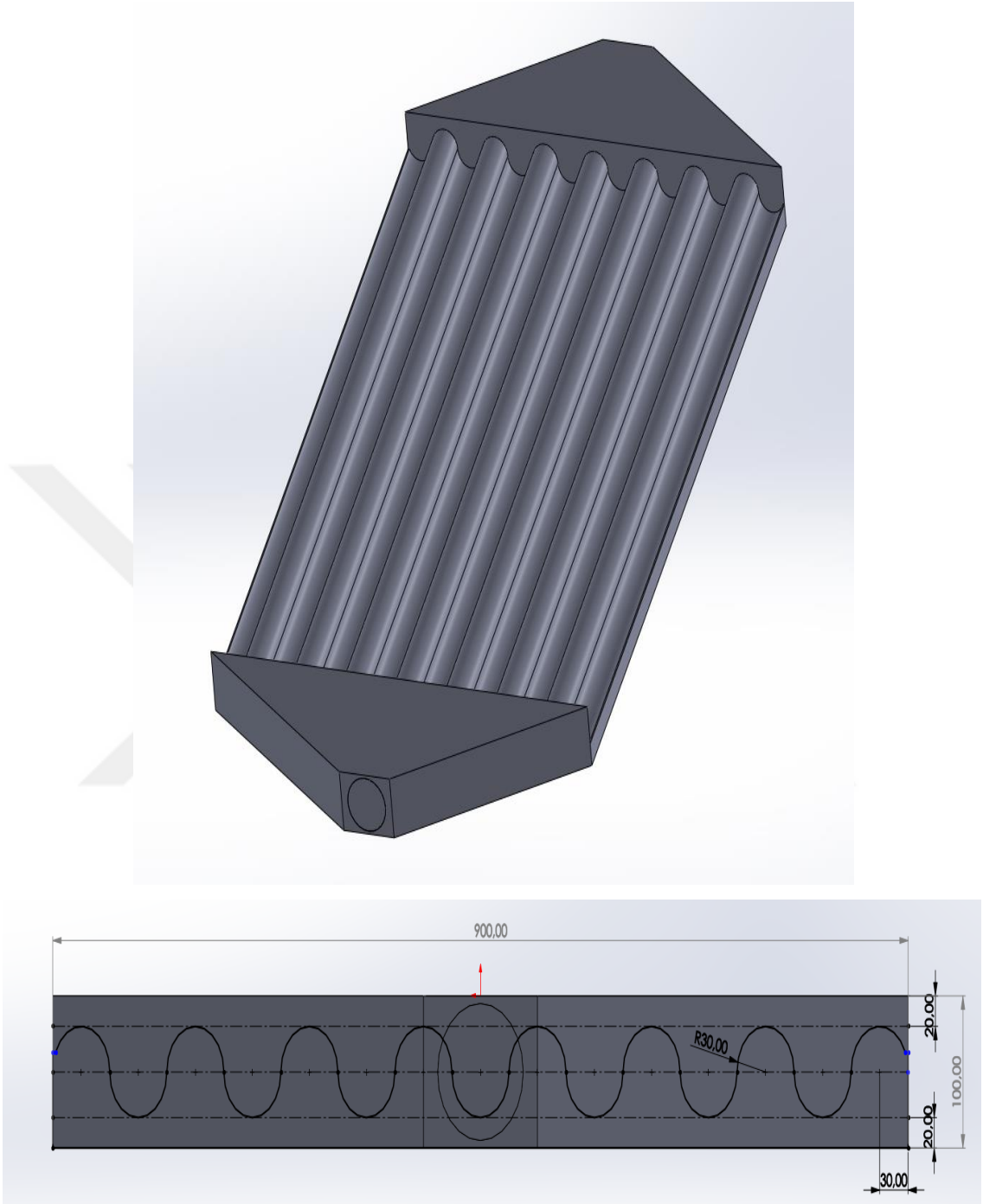
Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da HAD analizi yapılan V tipi, Sinüs tipi ve Trapez tipi emici plaka teknik çizimleri ve yüzey ölçülendirmeler verilmiştir.



Şekil 3.5. HAD analizi yapılan V plaka alanı: 1.815 m²



Şekil 3.6. HAD analizi yapılan trapez plaka alanı: 1.841m²



Şekil 3.7. HAD analizi yapılan sinüs tip plaka alanı: 1.947m²

Sayısal analizde kullanılan çözüm denklemleri Eşitlik 4-16’da verilmiştir (Fluent, 2013).

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (4)$$

Naiver Stokes denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + (\vec{v} \cdot \nabla) \rho \vec{v} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{v} + \frac{\mu}{3} \nabla (\nabla \cdot \vec{v}) + \rho \vec{g} + S \quad (5)$$

Enerji denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla \cdot (\rho E + p) \vec{v} = \nabla \cdot k_{\text{eff}} \nabla T + S_h \quad (6)$$

S momentum kaynağı terimidir. Enerji denklemi için önemli bir parametre olan S_h , radyasyon kaynağı terimleri olarak tanımlanmaktadır.

Radyasyon hesaplama ara yüzünde hesaplama aracı olarak seçilen Rosseland'ın ifadeleri aşağıda yer almaktadır.

$$q_r = -\Gamma \nabla G \quad (7)$$

Γ Hesaplama için Eş. 6 kullanılmaktadır.

$$\Gamma = \frac{1}{(3(a + \sigma_s) - C\sigma_s)} \quad (8)$$

G hesaplamak için Eş. 7 kullanılmaktadır.

$$G = 4\sigma n^2 T^4 \quad (9)$$

$$q_r = -16 \sigma \Gamma n^2 T^2 \nabla T \quad (10)$$

Işınım ısı akısı, Fourier iletim yasası ile aynı forma sahip olduğundan, aşağıdaki gibi yazmak mümkündür.

$$q = q_r + q_c \quad (11)$$

$$q = -(k + k_r) \quad (12)$$

$$q = k_r = -16 \sigma \Gamma n^2 T^3 \quad (13)$$

Burada “ k_r ” ışıınımı ve “ k ” ise ısııl iletkenliği ifade etmektedir. Burada Eş. 13 toplam ısı akısını ifade etmektedir.

Bu çalışmada kullanılan türbölans çözücü Realize k- ϵ eşitlikleri (14-16) aşağıda verilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \epsilon u_j) = \\ \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\epsilon + G_b - \rho C_2 \frac{\epsilon^2}{k + \sqrt{\nu \epsilon}} + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} C_{3\epsilon} G_b + S_\epsilon \end{aligned} \quad (15)$$

$$C_1 = \max \left[0, 43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right] \rightarrow \eta = S \frac{k}{\epsilon}, \rightarrow S = \sqrt{2 S_{ij} S_{ij}} \quad (16)$$

HGK içerisindeki akışın laminar veya türbölans durumu için Reynold sayısı,

$$Re = \frac{\rho \cdot U \cdot D_h}{\mu} \quad (17)$$

olarak tanımlanır. Burada,

μ (kg/m.s): Dinamik viskozite (ortalama HGK giriş çıkış sıcaklığına göre belirlenmiştir),

ρ (kg/m³): Yoğunluk,

U (m/s): ortalama hız,

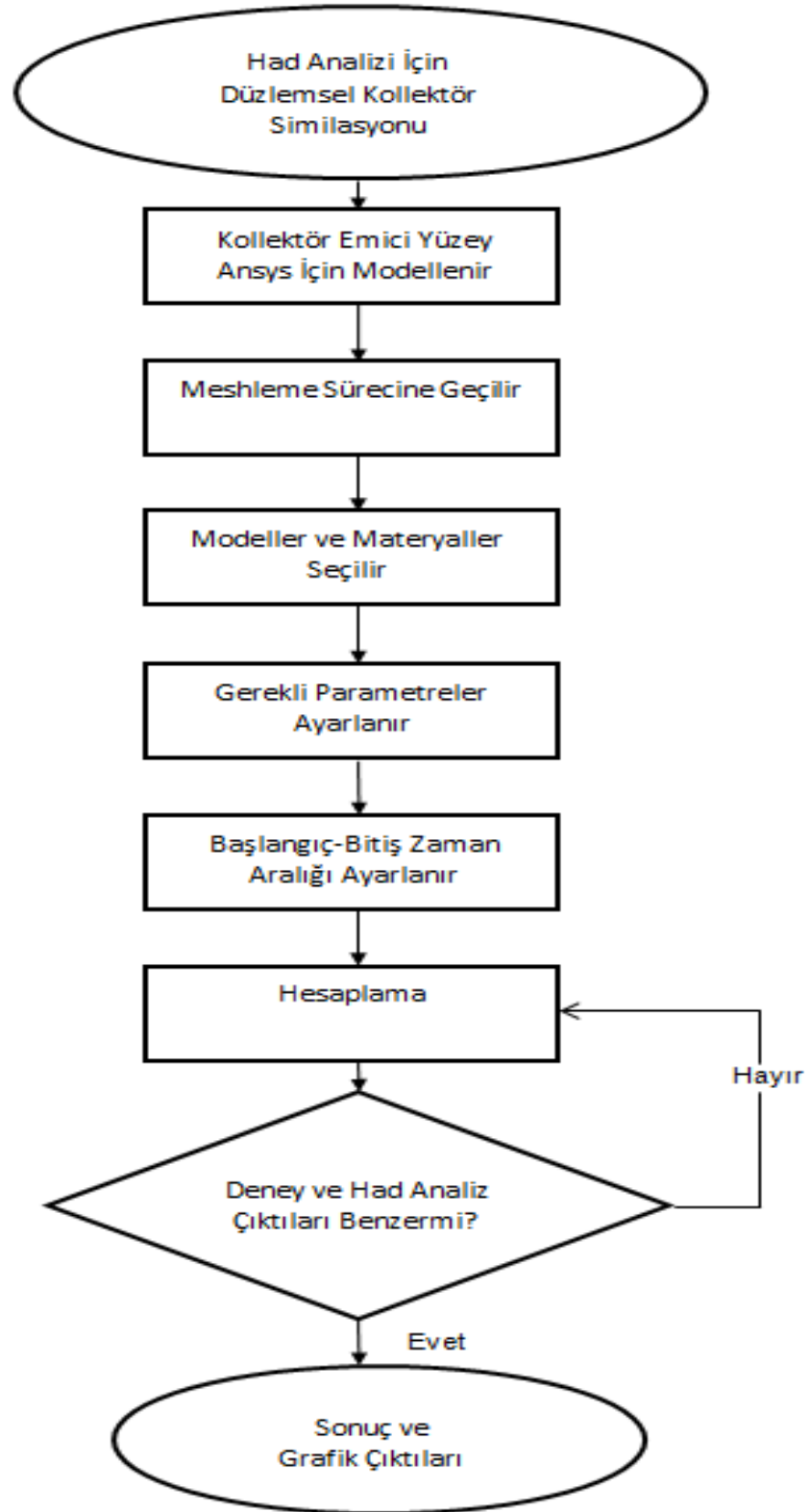
D_h (m): Hidrolik çap olarak değerlendirilir.

Dikdörtgen kanal için hidrolik çap;

$$D_h = \frac{4x \text{ Alan}}{\text{Çevre}} \quad (18)$$

Eşitliğinden elde edilir.

Yapılan analizlerde türbülans akışı zamandan bağımsız hava kanal giriş sıcaklığı 305.5 K giriş sıcaklığında ve 3.1 m/sn sabit hızda ve akış debisi 0.034 kg/s olarak alınmıştır. Ayrıca $Re > 4000$ olduğundan akış türbülanslıdır.

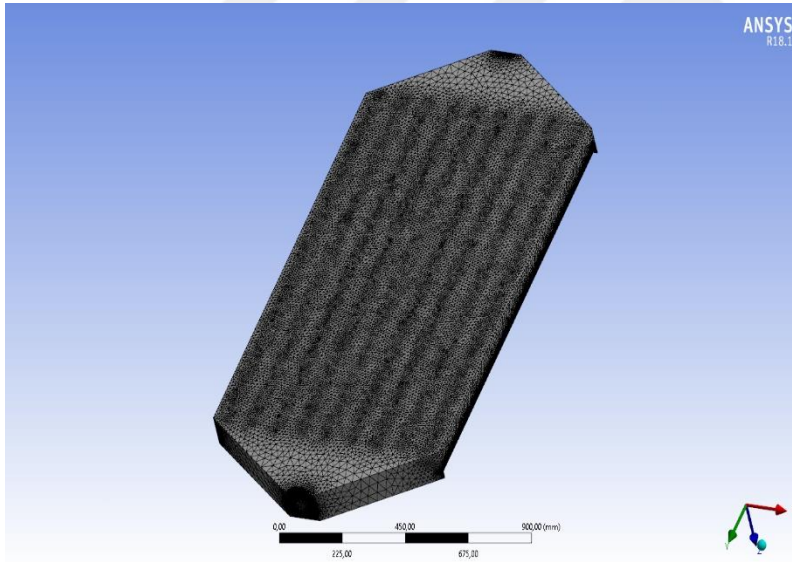


Şekil 3.8. HAD simülasyonunun akış şeması

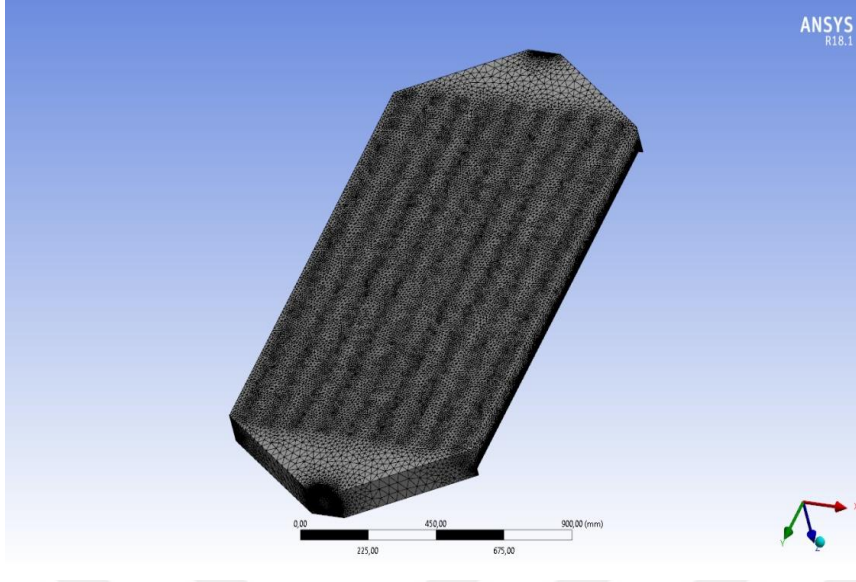
4. SAYISAL ANALİZ ve BULGULAR

Sunulan bu tez çalışmasında Saydam vd. tarafından deneysel araştırması daha önceden yapılmış ve literatürde makale haline getirilmiş bir çalışmadaki (Saydam ve diğ., 2021). HGK'nın V tipi yutucu plaka geometrisi sayısal olarak değiştirilmiştir. Anasys programında spaceclaim arayüzü kullanılarak sinüs tipi ve trapez tipi geometriye sahip 2 farklı yutucu plaka tasarlanmıştır. Daha sonra Saydam vd. tarafından yapılan çalışmadaki deneysel şartlar ile aynı giriş şartlarında HAD analizleri yapılmıştır. Saydam vd. nin yaptığı çalışmada saat 13.00 için geçerli olan deney şartlarında V tipi, sinüs tipi ve trapez tipi yutucu plakaların sıcaklık, hız ve basınç dağılımları incelenmiştir.

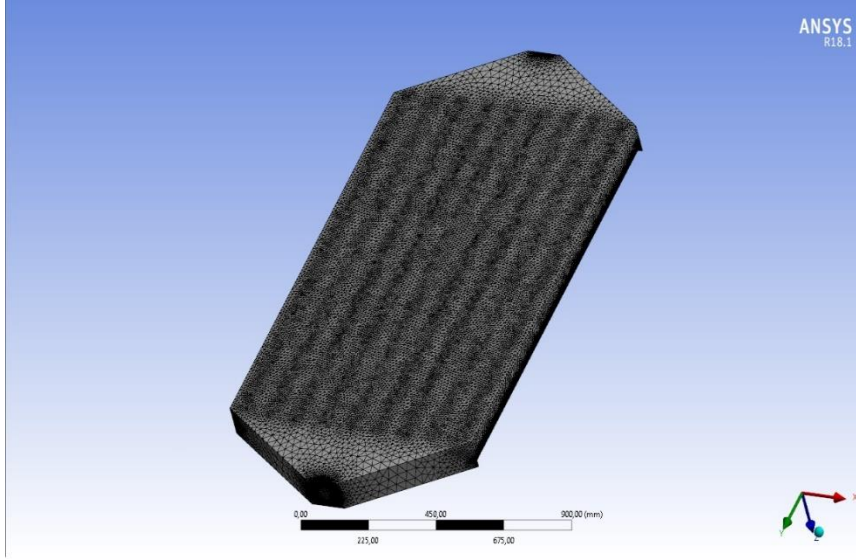
HAD analizlerinde 3 model için mesh ağ kalitesini gösteren sırayla 50 mm ,100 mm, 150 mm mesh eleman ölçüleri için görüntüler sırasıyla Şekil 4.1-4.3 de verilmiştir.



Şekil 4.1. HGK'nın 50 mm eleman boyutu için mesh görüntüsü



Şekil 4.2. HGK'nın 100 mm eleman boyutu için mesh görüntüsü



Şekil 4.3. HGK'nın 150 mm eleman boyutu için mesh görüntüsü

V tipi yutucu plakaya sahip HGK için yapılan sayısal analiz için en iyi mesh yapısı 50 mm eleman boyutunda elde edilmiştir. Eleman boyutlarına göre değişen mesh yapıları

Aşağıdaki Tablo 4.1’de verilmiştir. Tabloya göre çarpıklık değeri en iyi olan 50 mm eleman boyutuyla yapılan mesh dir.

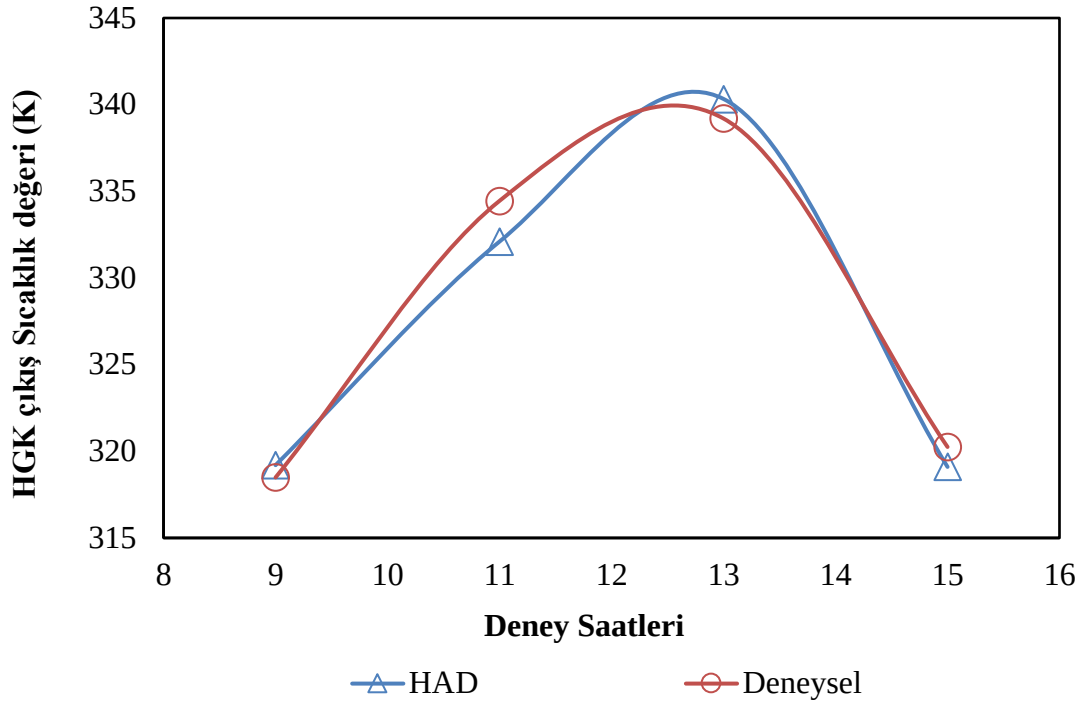
Tablo 4.1. Mesh kalitesi

Yutucu Plaka Tipi	Yutucu Plaka Yüzey Alanı m ²	Eleman Sayısı	Mesh Sayısı	Çarpıklık (Skewness)
V	1.8	50 mm	2.484.977	0.84
V	1.8	100 mm	1.299.866	0.85
V	1.8	150 mm	893.131	0.88
TRAPEZ	1.8	50 mm	793.131	0.84
SİNÜS	1.9	50 mm	1.299.866	0.85

Tablo 4.2’de Saydam vd. nin yaptığı V tipi yutucu plakalı HGK’nın deneysel çıkış sıcaklık değerleri ile HAD analizleri sonucu aynı deneysel şartlarda elde edilen HGK çıkış sıcaklık değerleri karşılaştırılmıştır. Tabloda MAPE değerleri incelendiğinde, deneysel sonuçlar ile HAD sonuçlarının uyumlu olduğu görülmektedir. Tablo 4.2’de deneysel ve HAD sıcaklık değerleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Şekil 4.4’de görüleceği üzere deneysel ve HAD HGK çıkış sıcaklık değerleri uyum içerisinde.

Tablo 4.4. Deneysel ve HAD HGK çıkış sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması

Saat	Deney sonuçları (K)	HAD sonuçları (K)	MAPE
9	318.49	319.2	0.223
11	334.45	332.1	0.703
13	339.2	340.33	0.333
15	320.25	319.1	0.359



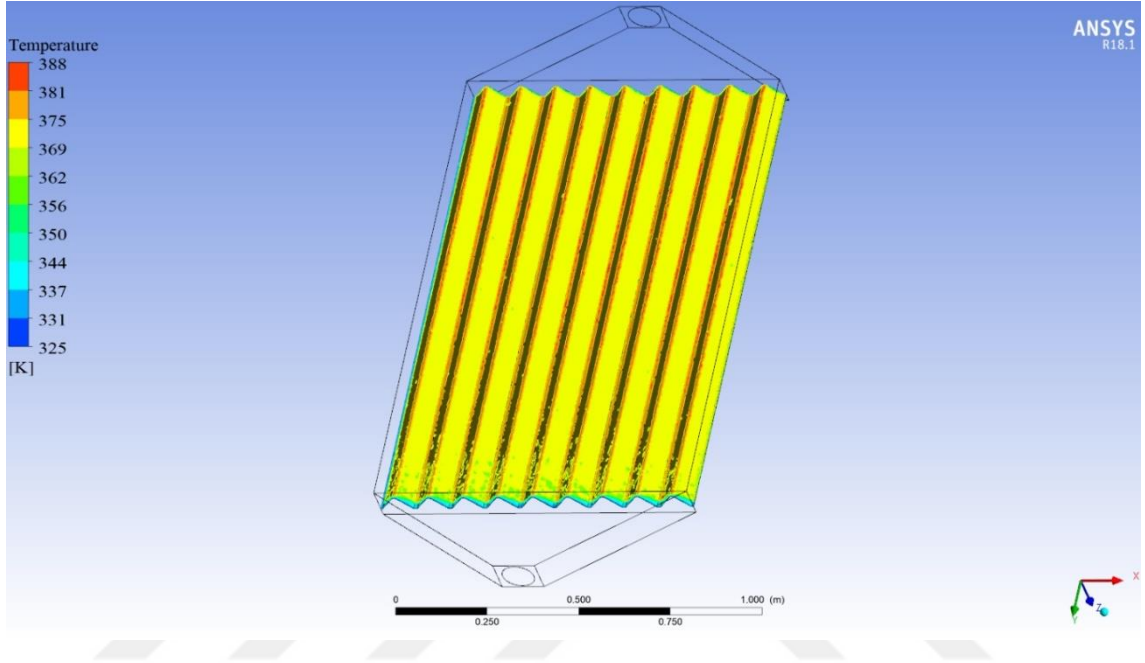
Şekil 4.4. HGK çıkış sıcaklık değerleri için deneysel ve HAD sonuçlarının karşılaştırılması

V tipi yutucu plakaya sahip HGK'nın deneysel çalışmasında saat 13:00 da ki sıcaklık, hız ve basınç dağılım kontürleri sırasıyla Şekil 1.3'de verilmiştir.

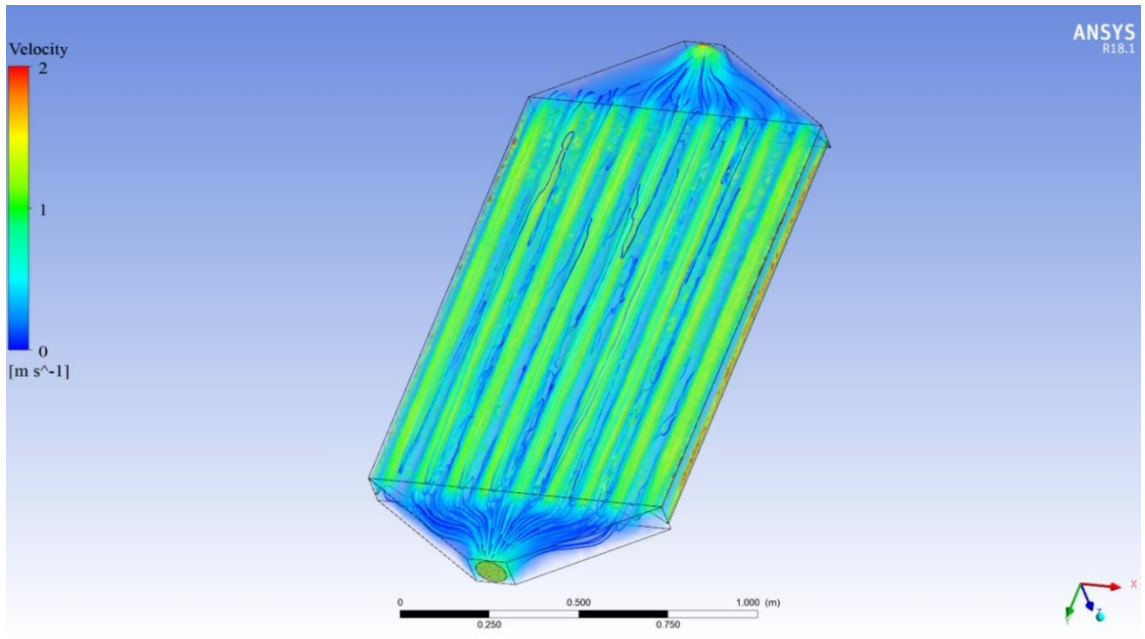
Şekil 4.5 incelendiğinde V oluk aralarının saat 13:00 da güneş ışınlarına doğrudan temas halinde olan kısımlarının ısındığı, HGK girişinin çıkışı kısmına göre soğuk olduğu görülebilir. Şekil 4.6 ya göre hava hareketinin yukarı yönlü olduğu ve V oluk aralarında daralmadan dolayı havanın hız değerlerinin arttığı gözlemlenebilir. Şekil 4.7'de basınç dağılımı incelendiğinde, HGK'nın üst kısmından vakum yapılarak hava akışı sağlandığı için basınç değerinin plakanın üst kısımlarına doğru giderek düştüğü görülebilir.

Şekil 4.8'de V oluklu HGK'nın saat 13:00 deneysel değerleri için cam yüzey sıcaklık dağılımı gösterilmektedir. Hem güneş hem de yutucu plakadan yansıyan ışınlar ile ısınan cam yüzeyin sıcaklık dağılımı aşağıdan yukarıya doğru giderek artmaktadır.

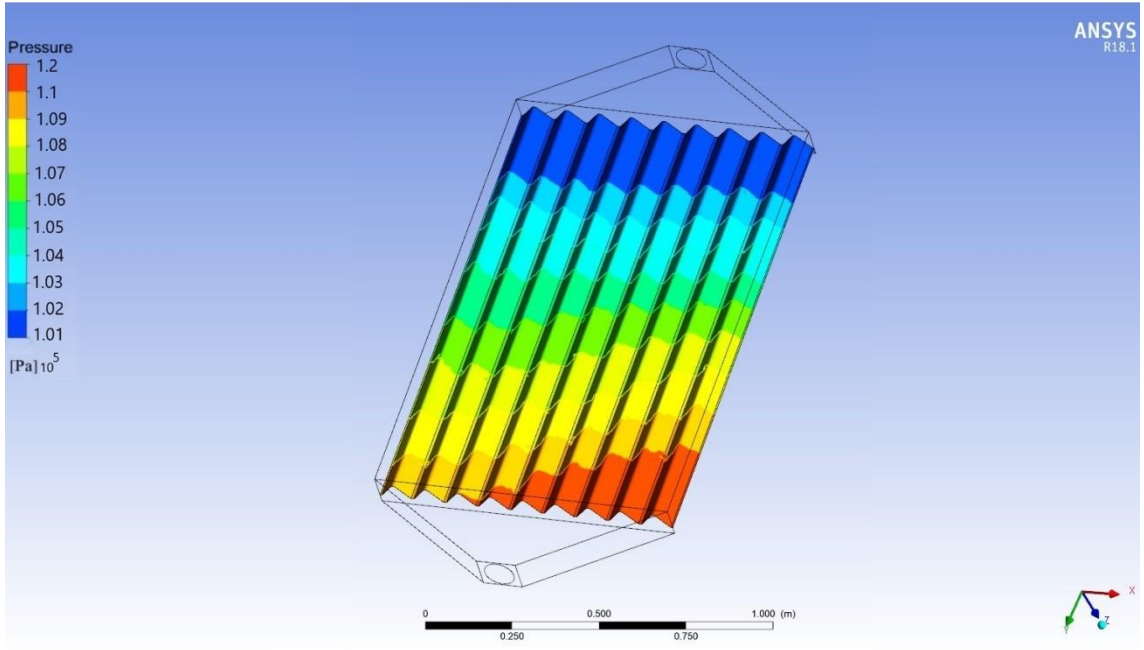
Şekil 4.9’da V oluklu HGK’nın saat 13:00 deneysel değerleri için tüm kollektör sıcaklık dağılımı gösterilmiştir. Isınan havanın HGK giriş ve çıkışındaki sıcaklık değerleri bu şekilde açıkça görülmektedir.



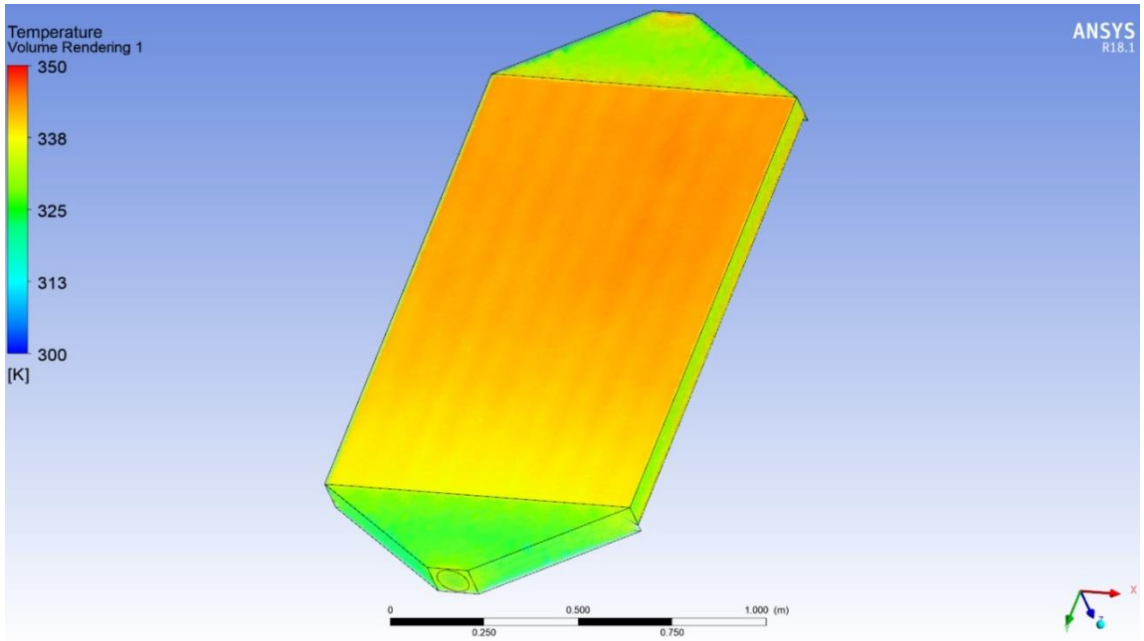
Şekil 4.5. V tipi yutucu plaka üzerindeki sıcaklık dağılımı



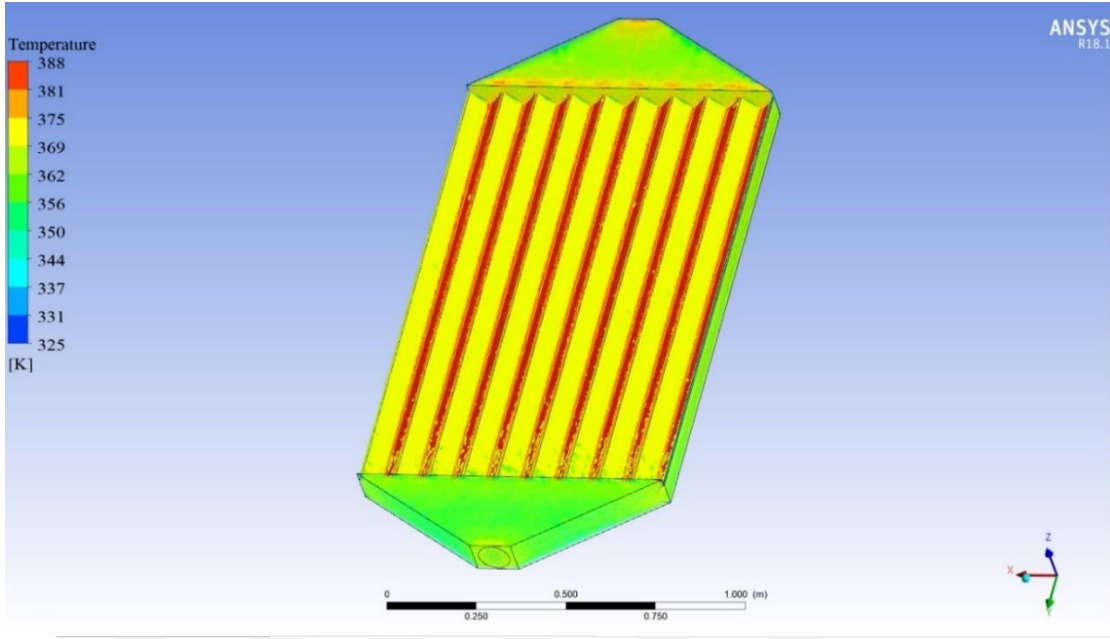
Şekil 4.6. V tipi yutucu plaka üzerindeki hava hız dağılımı



Şekil 4.7. V tipi yutucu plaka üzerindeki basınç dağılımı



Şekil 4.8. V tipi yutucu plakalı HGK'nın cam yüzey sıcaklık dağılımı



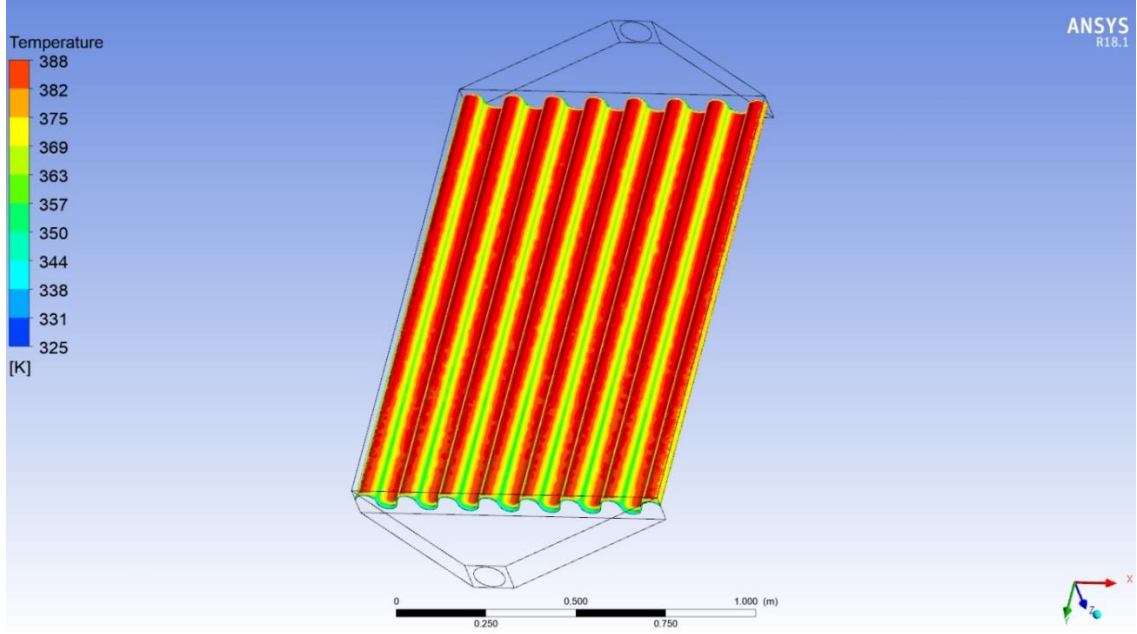
Şekil 4.9. V tipi yutucu plakalı HGK sıcaklık dağılımı

Sinüs tipi yutucu plakaya sahip HGK'nın Saydam vd. nin yaptığı çalışmasında saat 13:00 da ki deneysel şartlar için sıcaklık, hız ve basınç dağılım kontürleri sırasıyla Şekil 4.10-4.12'de verilmiştir.

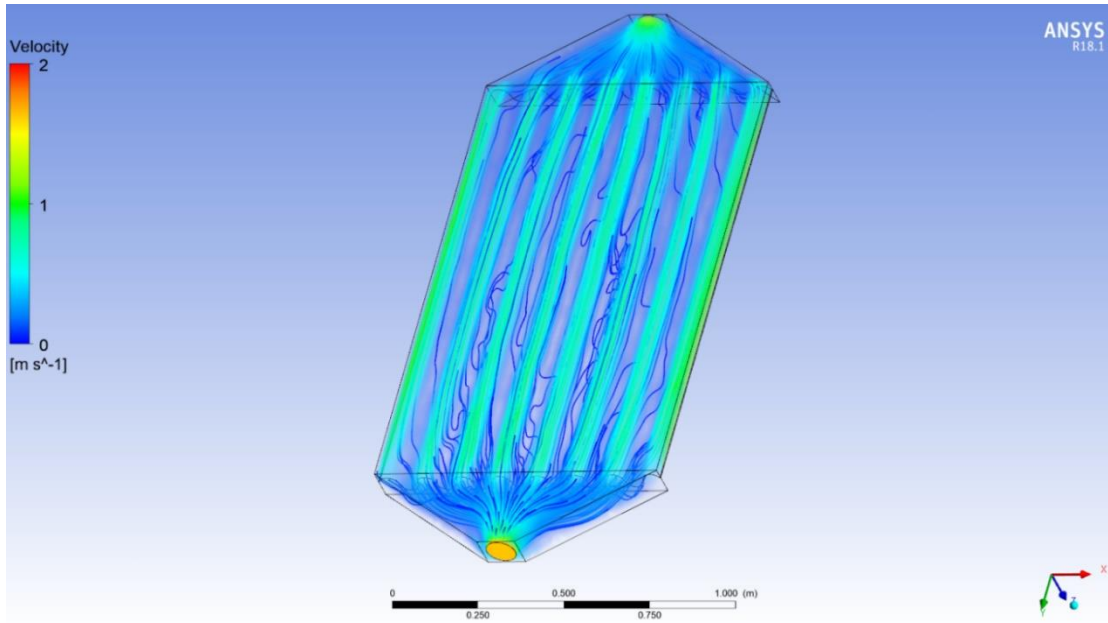
Şekil 4.10 incelendiğinde sinüs oluk yüzeyleri saat 13:00 da güneş ışınlarına doğrudan temas halinde olan kısımlarının ısındığı, HGK girişinin çıkışı kısmına göre soğuk olduğu görülebilir. Şekil 4.11'e göre hava hareketinin yukarı yönlü olduğu ve sinüs oluk aralarında daralmadan dolayı havanın hız değerlerinin arttığı gözlemlenebilir. Şekil 4.12'de basınç dağılımı incelendiğinde, HGK'nın üst kısmından vakum yapılarak hava akışı sağlandığı için basınç değerinin plakanın üst kısımlarına doğru giderek düştüğü görülebilir.

Şekil 4.13'de sinüs oluklu HGK'nın saat 13:00 deneysel değeri için cam yüzey sıcaklık dağılımı gösterilmektedir. Hem güneş hem de yutucu plakadan yansıyan ışınlar ile ısınan cam yüzeyin sıcaklık dağılımı aşağıdan yukarıya doğru giderek artmaktadır.

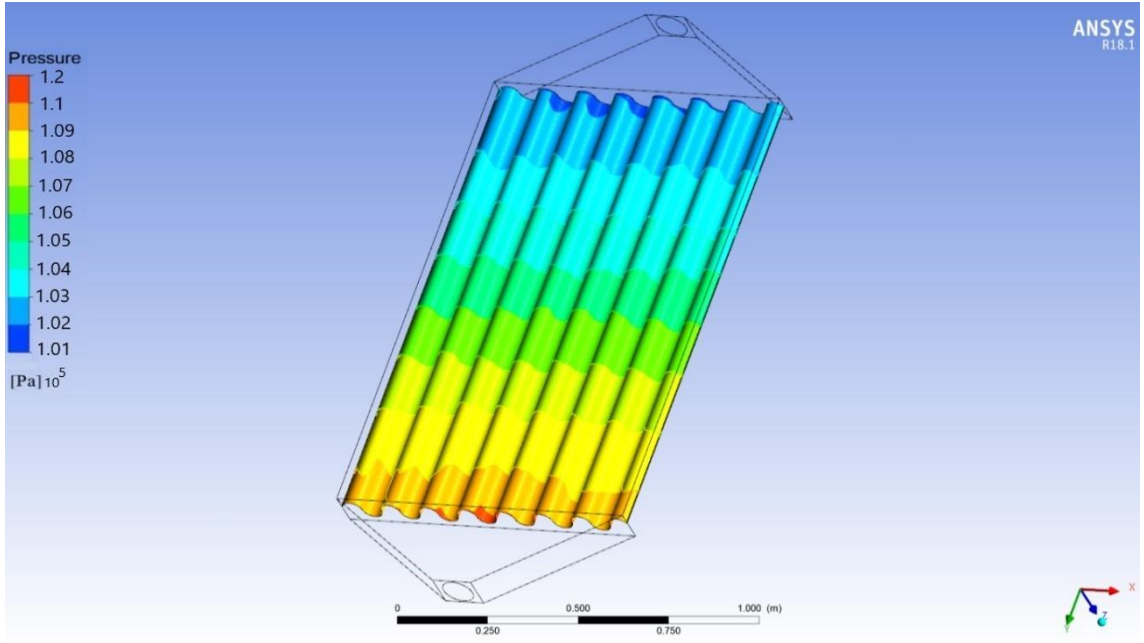
Şekil 4.14’de sinüs oluklu HGK’nın saat 13:00 deneysel deneysel değerleri için tüm kollektör sıcaklık dağılımı gösterilmiştir. Isınan havanın HGK giriş ve çıkışındaki sıcaklık değerleri bu şekilde açıkça görülmektedir.



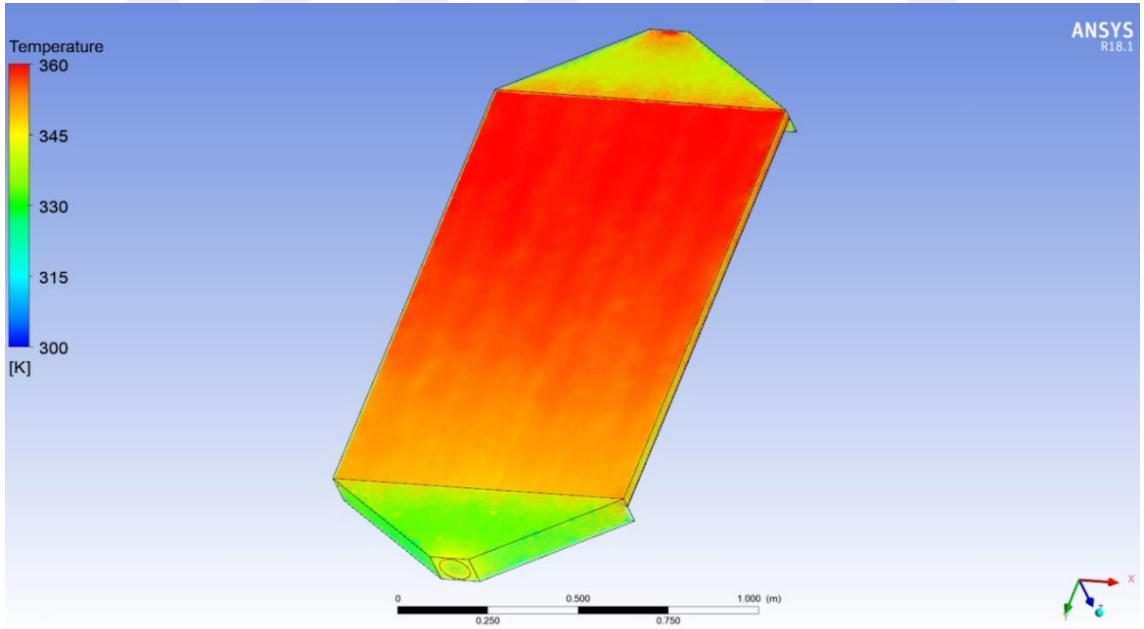
Şekil 4.10. Sinüs tipi yutucu plaka sıcaklık dağılımı



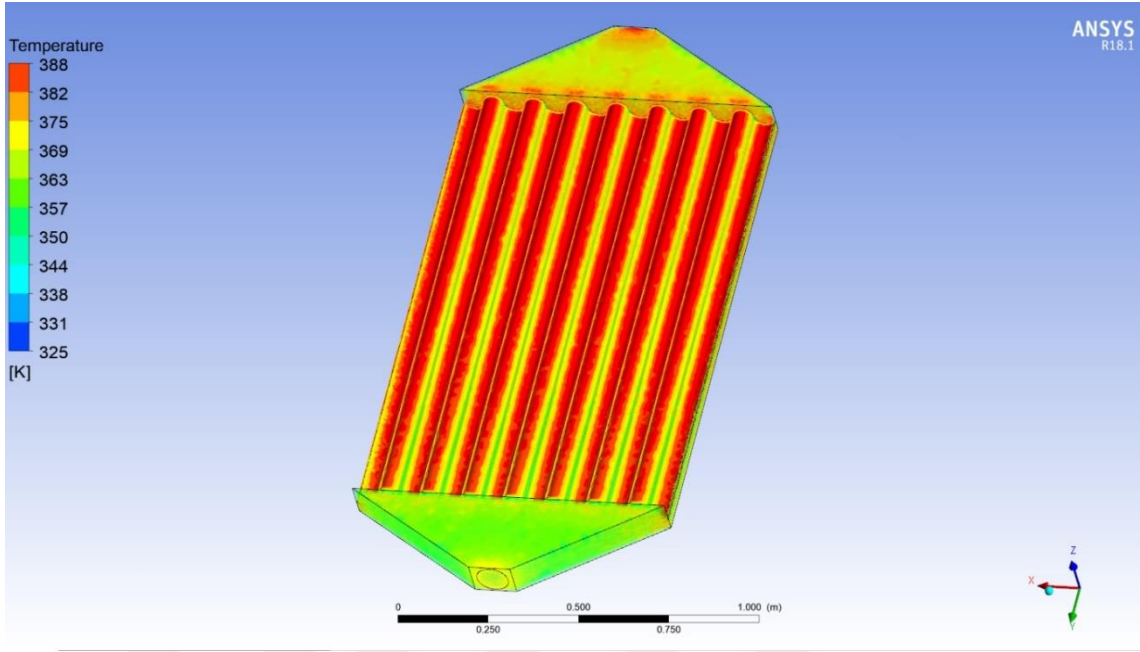
Şekil 4.1. Sinüs tipi yutucu plaka hava hız dağılımı



Şekil 4.2. Sinüs tipi yutucu plaka basınç dağılımı



Şekil 4.3. Sinüs tipi yutucu plakalı HGK'nın cam yüzey sıcaklık dağılımı



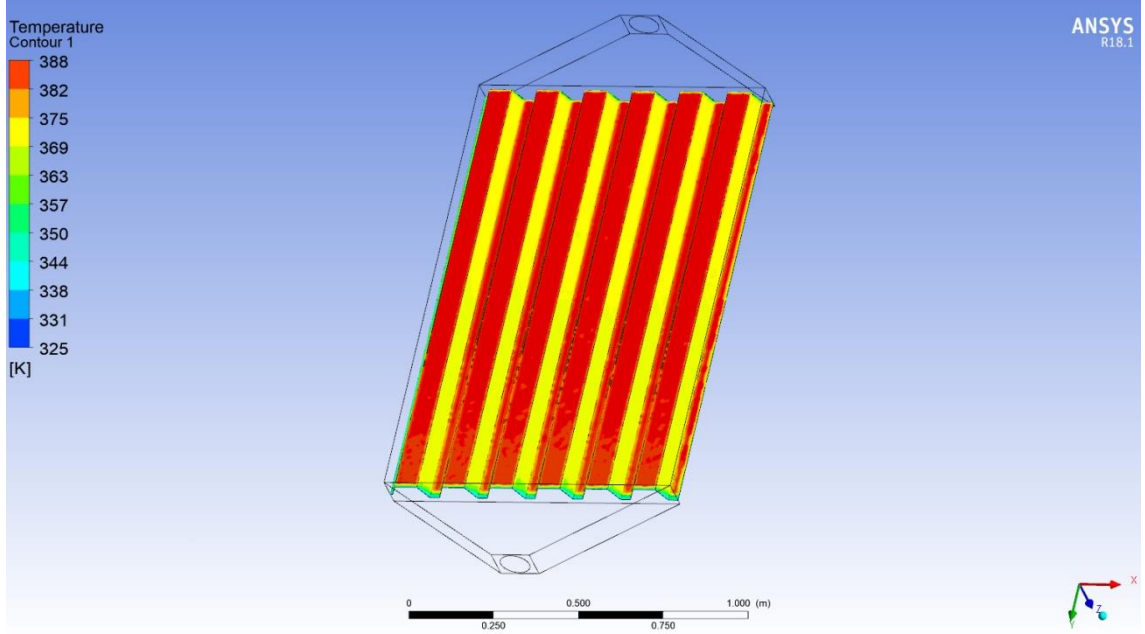
Şekil 4.4. Sinüs tipi yutucu plaka HGK'nın sıcaklık dağılımı

Trapez tipi yutucu plakaya sahip HGK'nın Saydam vd. nin yaptığı çalışmasında saat 13:00 da ki deneysel şartlar için sıcaklık, hız ve basınç dağılım kontürleri sırasıyla Şekil 4.15-4.17'de verilmiştir.

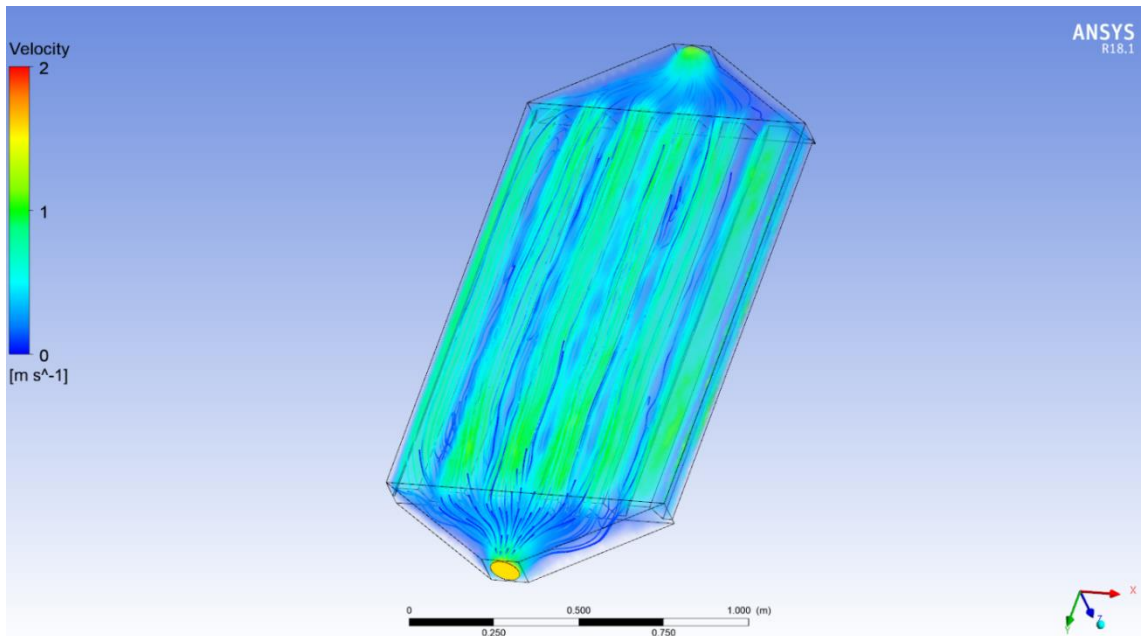
Şekil 4.15 incelendiğinde trapez oluk yüzeyleri saat 13:00 da güneş ışınlarına doğrudan temas halinde olan kısımlarının ısındığı, HGK girişinin çıkışı kısmına göre soğuk olduğu görülebilir. Şekil 4.16'ya göre hava hareketinin yukarı yönlü olduğu ve trapez oluk aralarında daralmadan dolayı havanın hız değerlerinin arttığı gözlemlenebilir. Şekil 4.17'de basınç dağılımı incelendiğinde, HGK'nın üst kısmından vakum yapılarak hava akışı sağlandığı için basınç değerinin plakanın üst kısımlarına doğru giderek düştüğü görülebilir.

Şekil 4.18'de trapez oluklu HGK'nın saat 13:00 deneysel değeri için cam yüzey sıcaklık dağılımı gösterilmektedir. Hem güneş hem de yutucu plakadan yansıyan ışınlar ile ısınan cam yüzeyin sıcaklık dağılımı aşağıdan yukarıya doğru giderek artmaktadır.

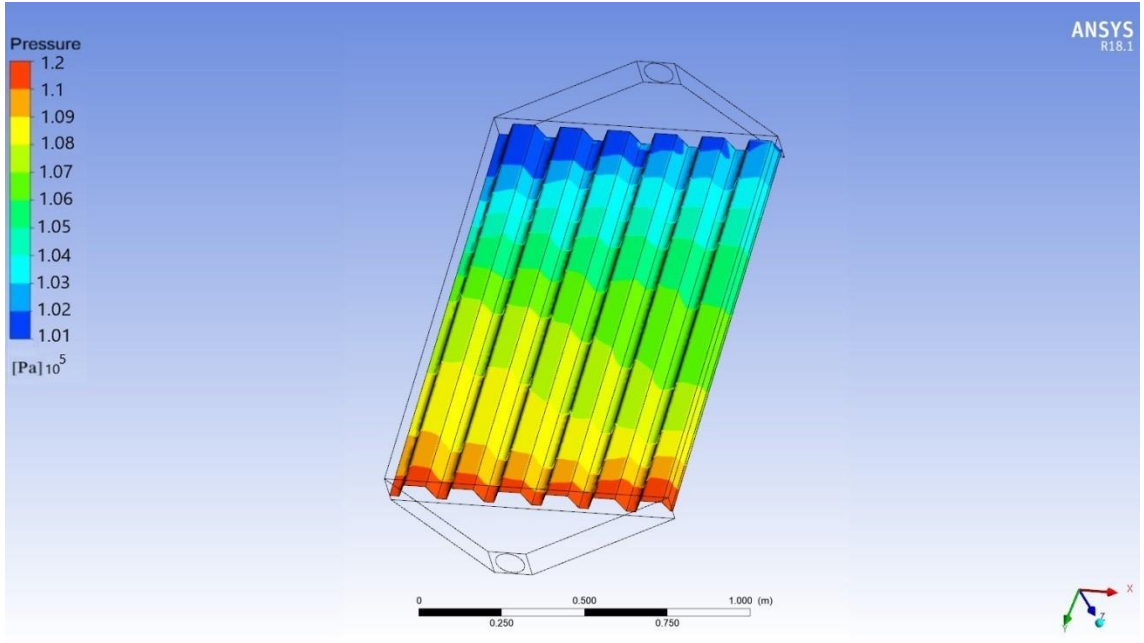
Şekil 4.19’da trapez oluklu HGK’nın saat 13:00 deneysel deneysel değerleri için tüm kollektör sıcaklık dağılımı gösterilmiştir. Isınan havanın HGK giriş ve çıkışındaki sıcaklık değerleri bu şekilde açıkça görülmektedir.



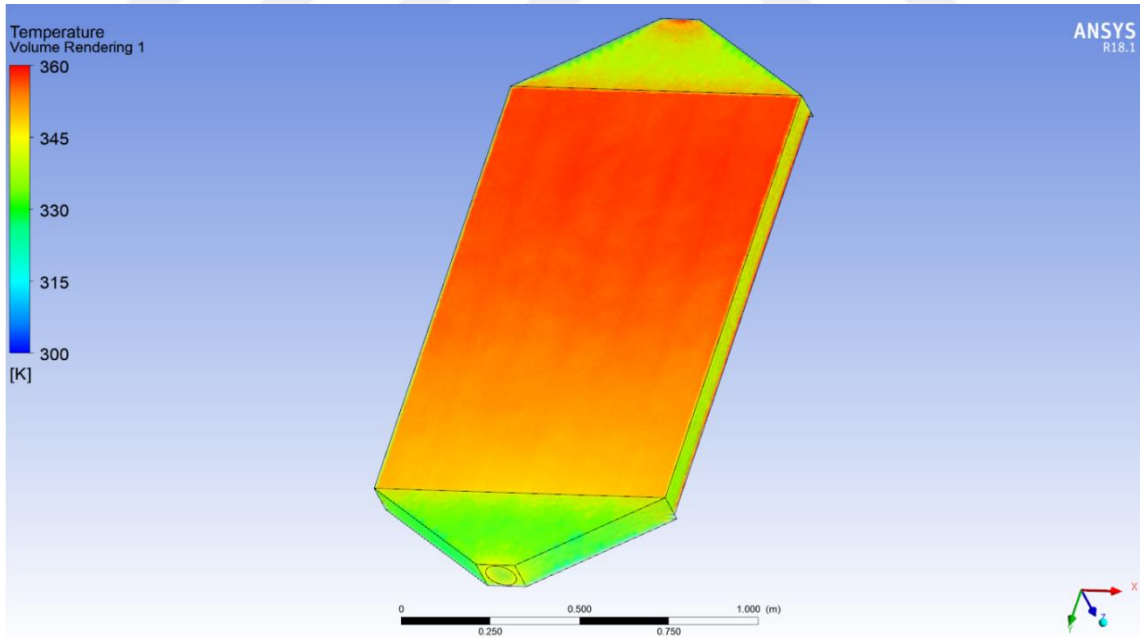
Şekil 4.5. Trapez tipi yutucu plaka sıcaklık dağılımı



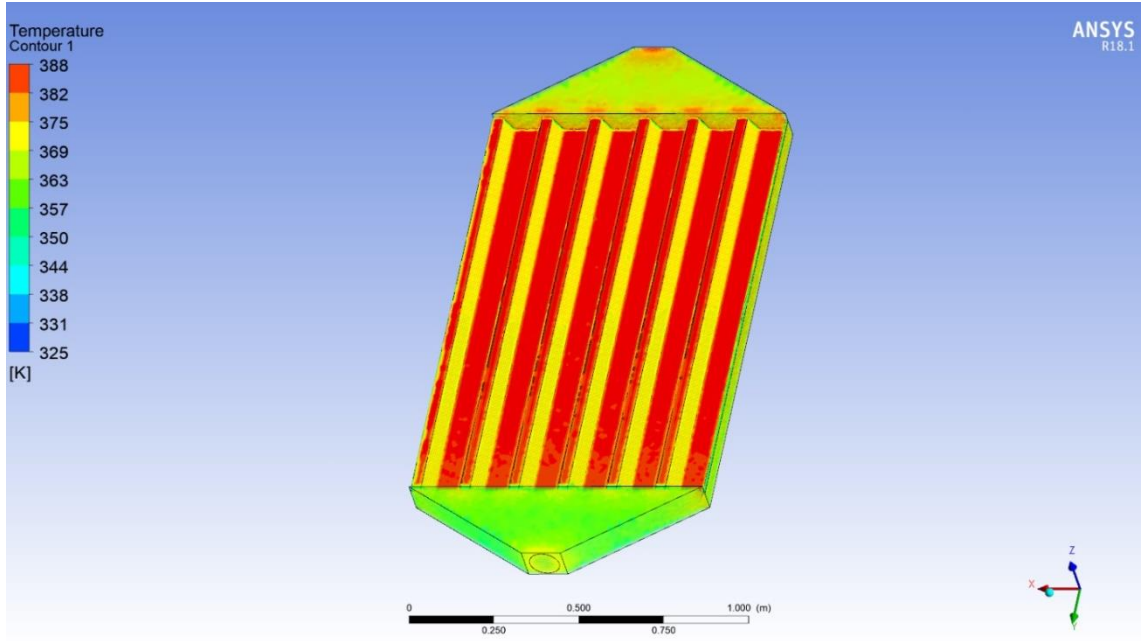
Şekil 4.6. Trapez tipi yutucu plaka hava hız dağılımı



Şekil 4.7. Trapez tipi yutucu plaka basınç dağılımı



Şekil 4.8. Trapez tipi yutucu plakalı HGK'nın cam yüzey sıcaklık dağılımı



Şekil 4.9. Trapez tipi yutucu plaka HGK'nın sıcaklık dağılımı

Saat 13:00 için yapılan deneysel çalışmada kullanılan V tipi HGK'nın ve HAD analizi sonucu incelenen trapez tip ve sinüs tip HGK'nın çıkış sıcaklıkları, giriş çıkış sıcaklık farkları ve enerji verimleri Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.5. Farklı yutucu plakalı HGK'ların 13:00 deney saati için termal performansları

Yutucu Panel Tipi	Saat	HGK Giriş Sıcaklık °C	HGK Çıkış Sıcaklık °C	HGK yutucu plaka yüzey alanı m ²	Enerji Verim %	ΔT °C
V	13:00	30.51	66.05	1.71	58.09	35.54
Trapez	13:00	30.51	70.63	1.841	65.58	40.12
Sinüs	13:00	30.51	73.81	1.947	70.78	43.3

Tablo 4.3'de verilen özelliklere göre en yüksek HGK çıkış sıcaklığı sinüs tip HGK ya ait olduğu gözlemlenmektedir. Aynı şekilde HGK enerji verim değerinin en yüksek olduğu yutucu plaka tipi sinüs tipidir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasında; 1.815 m² emici yüzey alanına sahip V tipi bir havalı güneş kolektörünün deneysel çalışmalarında elde edilen veriler referans alınarak, 1.947 m² Sinüs ve 1.841 m² trapez emici yüzey alanına sahip kolektörlere ait HAD analizleri yapılmıştır. HAD analizlerinde Rosseland Radyasyon Modeli kullanılmıştır. Analizler gün içerisinde 09:00 11:00 13:00 ile 16:00 saatleri arasındaki değerler dikkate alınarak sonuçlar elde edilmiştir. Sayısal simülasyonlar steady state pressure-based solver modülleri ile yapılmıştır. Türbülans modellemelerinde, kullanılan model Realizable k- ϵ ve “standard wall functions” seçilmiştir. Sayısal analiz için emici plaka simülasyonlarında akışkan olarak hava kullanılmıştır. Hava sıcaklığı giriş için 300 K olarak sabit alınmıştır. HAD analizlerde, basınç değişimleri ihmal edilmiştir. Sınır koşulları, havanın kolektöre girişi “velocity inlet”, ve çıkışı “pressure outlet” olarak belirlenmiştir.

Her bir analiz için girişi hava kütle debisi 0.034 kg/s ve hava hızı 3.1 m/s olacak şekilde sabit alınmış ve analizler gün içerisinde saat 13:00 için yapılmıştır. Analizler sonucunda kolektör cam yüzey, emici plaka ve iç sıcaklık, hava hızı ve basınç dağılımları elde edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre trapez yüzeye sahip kolektörün çıkış sıcaklığı 70.63 °C ve en büyük emici yüzey alanına sahip sinüs plakalı kolektörün çıkış sıcaklığı 73.81 °C olarak bulunmuştur.

Analizlerden elde edilen çıkış sıcaklıklarına bağlı olarak referans alınan V tipi emici plaka verimi %58.09 iken Trapez ve sinüs emici plaka verimleri sırasıyla %65.58 ve %70.78 olarak bulunmuştur. Trapez ve Sinüs yüzeyli plakalar arasındaki verimin %7.84 oranında artış gösterdiği ve V tipi ve sinüs yüzeyli plakalar arasındaki verimin ise %21.8 oranında artış gösterdiği bulunmuştur.

Sayısal analizler için modellenen emici yüzeylerde elde edilen sıcaklıklar öğle saatlerinde en yüksek değerde olduğu, sabah ve akşam saatlerinde zaman aralıklarında sıcaklıkların azaldığı görülmüştür. Modellenen emici yüzeyler kendi aralarında karşılaştırıldığında, sinüs plakalı emici yüzeye sahip kolektörün en yüksek yüzey sıcaklıkları görülmüştür.

Yapılan çalışma sonucunda, farklı tipte emici yüzeye sahip havalı güneş kolektörlerinde emici plakanın yüzey yapısı çıkış sıcaklığını arttırdığı ve yüzey alanının büyük olması için kullanılacak farklı yüzey geometrilerinin enerji verimini artırdığı görülmüştür. Kolektörlerde verim artışının sağlanması için kullanılan emici plakanın yüzey yapısı HAD analizleri ile deneysel çalışma sonucu arasında literatürde kabul edilebilir derecede yakınsaklık sağlamaktadır. Farklı emici yüzeye sahip plakaların geometrik yapısı ve yüzey alanı verimi artırıcı yönde etkisi olduğu bulunmuştur. Farklı geometri yapıya sahip emici plakalar üzerine yapılacak çalışmaların kolektör verimini arttırabileceği öngörülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Abuşka, M., Akgül, M.B., 2014. Trapez Yutucu Plakalı Güneş Enerjili Hava Kollektörünün Isıl Veriminin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Politek. Derg.* 17, 177–181.
- Abuşka, M., Kayapınar, A., 2021. Experimental and numerical investigation of thermal performance in solar air heater with conical surface. *Heat Mass Transf. und Stoffuebertragung* 57, 1791–1806. <https://doi.org/10.1007/s00231-021-03054-5>
- Aktaş, M., Sözen, A., Tuncer, A.D., Arslan, E., Koşan, M., Çürük, O., 2019. Energy-exergy analysis of a novel multi-pass solar air collector with perforated fins. *Int. J. Renew. Energy Dev.* 8, 47–55. <https://doi.org/10.14710/ijred.8.1.47-55>
- Ali, B.H., Gilani, S.I., Al-Kayiem, H.H., 2014. A three dimensional performance analysis of a developed evacuated tube collector using a CFD fluent solar load model. *Matec Web Conf.* 13, 3–7. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20141306011>
- Alic, E., Das, M., Akpınar, E.K., 2021. Design, manufacturing, numerical analysis and environmental effects of single-pass forced convection solar air collector. *J. Clean. Prod.* 311, 127518. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127518>
- Awasthi, A., Shukla, A.K., Murali Manohar, S.R., Dondariya, C., Shukla, K.N., Porwal, D., Richhariya, G., 2020. Review on sun tracking technology in solar PV system. *Energy Reports* 6, 392–405. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.02.004>
- Cingiz, Z., Katircioğlu, F., Çay, Y., Kolip, A., 2019. Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Sisteminde R22 Alternatifi Soğutucu Akışkanların Termodinamik Analizi. *J. Polytech.* 0900, 1205–1212. <https://doi.org/10.2339/politeknik.548115>
- Darıcı, S., 2020. Design, manufacture and thermal analysis of a single pass solar air collector at different mass flow rates. *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.* 35, 1187–1197. <https://doi.org/10.17341/GAZIMMFD.488518>
- Das, B., Mondol, J.D., Debnath, S., Pugsley, A., Smyth, M., Zacharopoulos, A., 2020. Effect of the absorber surface roughness on the performance of a solar air collector: An experimental investigation. *Renew. Energy* 152, 567–578. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.01.056>
- De Bakker, I.P.M., Everaerd, W., 1996. Measurement of menopausal hot flushes:

- Validation and cross-validation. *Maturitas* 25, 87–98. [https://doi.org/10.1016/0378-5122\(96\)01046-8](https://doi.org/10.1016/0378-5122(96)01046-8)
- Debnath, S., Das, B., Randive, P., 2020. Energy and exergy analysis of plain and corrugated solar air collector: effect of seasonal variation. *Int. J. Ambient Energy* 0, 1–35. <https://doi.org/10.1080/01430750.2020.1778081>
- Doymaz, I., 2012. Evaluation of some thin-layer drying models of persimmon slices (*Diospyros kaki* L.). *Energy Convers. Manag.* 56, 199–205. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2011.11.027>
- Evin, D., Uçar, A., 2019. Investigation of the Temperature Distribution of a Small Solar Chimney. *Eur. J. Sci. Technol.* 109–116. <https://doi.org/10.31590/ejosat.582533>
- Fatchurrohman, N., Chia, S.T., 2017. Performance of hybrid nano-micro reinforced mg metal matrix composites brake calliper: Simulation approach. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 257. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/257/1/012060>
- Fluent, A., 2013. ANSYS fluent theory guide 15.0. ANSYS, Canonsburg, PA.
- Gazbir, 2017. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu 13.
- Gülmez, B., 2020. Pürüzlü Yüzeylerin Kollektör Verimi Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi.
- Haldar, A., Varshney, L., Verma, P., 2022. Effect of roughness parameters on performance of solar air heater having artificial wavy roughness using CFD. *Renew. Energy* 184, 266–279. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.11.088>
- Hung, T.C., Huang, T.J., Lee, D.S., Lin, C.H., Pei, B.S., Li, Z.Y., 2017. Numerical analysis and experimental validation of heat transfer characteristic for flat-plate solar air collector, *Applied Thermal Engineering.* <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.09.126>
- Ion, V., Martins, G., 2006. Design, developing and testing of a solar air collector. *Ann. “Dunarea Jos” Univ. Galati.* ... 2, 7–10.
- Jia, B., Liu, F., Wang, D., 2019. Experimental study on the performance of spiral solar air heater. *Sol. Energy* 182, 16–21. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.02.033>
- Kamer, M.S., Şahin, H.E., Sönmez, K., İmal, M., Kaya, A., 2016. Kabak ve Patlıcan Dilimlerinin Kuruma Davranışının Deneysel İncelenmesi Experimental Investigation of Drying Kinetics of Pumpkin and Eggplant Slices 19, 1–8.
- Kannan, N., Vakeesan, D., 2016. Solar energy for future world: - A review. *Renew.*

- Sustain. Energy Rev. 62, 1092–1105. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.022>
- Kansara, R., Pathak, M., Patel, V.K., 2021. Performance assessment of flat-plate solar collector with internal fins and porous media through an integrated approach of CFD and experimentation. Int. J. Therm. Sci. 165, 106932. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2021.106932>
- Kapluhan, E., 2014. Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Güneş Enerjisinin Dünya'daki ve Türkiye'deki Kullanım Durumu, İstanbul Üniversitesi Edeb. Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi 29.
- Karacabey, E., Buzrul, S., 2017. Modeling and predicting the drying kinetics of apple and pear: Application of the weibull model. Chem. Eng. Commun. 204, 573–579. <https://doi.org/10.1080/00986445.2017.1291427>
- Karmare, S. V., Tikekar, A.N., 2010. Analysis of fluid flow and heat transfer in a rib grit roughened surface solar air heater using CFD. Sol. Energy 84, 409–417. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.12.011>
- Keçel, S., 2015. Sabit T Ve Takip Sistemi Güneş Kollektörleri Nüfus Isıl Tracking Solar Collectors With Computational Fluid Dynamics 1, 77–98.
- Kılıç, F.Ç., 2015. Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu Ve Üretim Teknolojileri. Mühendis ve Makina Derg. 56, 28–40.
- Kumar, A., Singh, A.P., Akshayveer, Singh, O.P., 2022. Performance characteristics of a new curved double-pass counter flow solar air heater. Energy 239. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121886>
- Nidhul, K., Yadav, A.K., Anish, S., Arunachala, U.C., 2022. Thermo-hydraulic and exergetic performance of a cost-effective solar air heater: CFD and experimental study. Renew. Energy 184, 627–641. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.11.111>
- Özgen, F., Makale, O.B., 2021. Design Of An Air Solar Collector With An Absorber Plate Made Of Porous 5.
- Pandey, K.M., Chaurasiya, R., 2017. A review on analysis and development of solar flat plate collector. Renew. Sustain. Energy Rev. 67, 641–650. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.078>
- Pasban, A., Sadriani, H., Mohebbi, M., Shahidi, S.A., 2017. Spectral method for simulating 3D heat and mass transfer during drying of apple slices. J. Food Eng. 212,

- 201–212. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.05.013>
- Rahmani, E., Moradi, T., Fattahi, A., Delpisheh, M., Karimi, N., Ommi, F., Saboohi, Z., 2021. Numerical simulation of a solar air heater equipped with wavy and raccoon-shaped fins: The effect of fins' height. *Sustain. Energy Technol. Assessments* 45, 101227. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101227>
- Sacilik, K., Elicin, A.K., 2006. The thin layer drying characteristics of organic apple slices. *J. Food Eng.* 73, 281–289. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.024>
- Sari, A., Sadi, M., Shafiei Sabet, G., Mohammadiun, M., Mohammadiun, H., 2021. Experimental analysis and exergetic assessment of the solar air collector with delta winglet vortex generators and baffles. *J. Therm. Anal. Calorim.* 145, 867–885. <https://doi.org/10.1007/s10973-020-10298-6>
- Saydam, D.B., Çerçi, K.N., Hürdoğan, E., 2021. Tipi Havalı Bir Güneş Kolektörünün Isıl Performansının DeneySEL Olarak İncelenmesi Ve YapaSinir Ağları İle Modellenmesi. *Mühendislik Bilim. ve Tasarım Derg.* 9, 1212–1223. <https://doi.org/10.21923/jesd.935201>
- Serdar Öksüz, 2014. Güneş Enerjisi Sistemleri Temel Prensipler 66.
- Sharma, S., Singh, R., Bhushan, B., 2021. CFD based thermal efficiency of square shape protruded roughened absorber plate for solar air heater. *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.* 00, 1–22. <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1908460>
- Shetty, S.P., Madhwesh, N., Vasudeva Karanth, K., 2021. Numerical analysis of a solar air heater with circular perforated absorber plate. *Sol. Energy* 215, 416–433. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.12.053>
- Sima, C., Teodosiu, C., Croitoru, C., Bode, F., 2021. Analysis of numerical and experimental results of a solar glazed air collector configuration in Romania climate. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 664. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/664/1/012085>
- Singh, A.P., Singh, O.P., 2018. Performance enhancement of a curved solar air heater using CFD. *Sol. Energy* 174, 556–569. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.09.053>
- Singh, I., Vardhan, S., Singh, S., Singh, A., 2019. Experimental and CFD analysis of solar air heater duct roughened with multiple broken transverse ribs: A comparative study.

- Sol. Energy 188, 519–532. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.06.022>
- Tiwari, G.N., Tiwari, A., Shyam, 2016. Solar Water-Heating Systems Á Natural circulation Á Forced circulation Á Heat.
- Tuncer, A.D., Sözen, A., Afshari, F., Khanlari, A., Şirin, C., Gungor, A., 2020. Testing of a novel convex-type solar absorber drying chamber in dehumidification process of municipal sewage sludge. J. Clean. Prod. 272, 122862. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122862>
- Ural, T., 2019. Experimental performance assessment of a new flat-plate solar air collector having textile fabric as absorber using energy and exergy analyses. Energy 188, 116116. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116116>
- Vivekanandan, M., Jagadeesh, D., Natarajan, A., Mohan, N., Dineshkumar, M., 2020. Experimental and CFD investigation of fully developed flow solar air heater. Mater. Today Proc. 37, 2158–2163. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.638>
- Yildiz, A., 2007. Bir Düzlemsel Havalı Güneş Kolektörünün Matematiksel Modeli Mathematical Modeling of a Flat-Plate Solar Air Collector 13–22.
- Yürük, F., Gemalman, N., 2019. Tek Eksenli Güneş Takip Sistemi Rüzgâr Kuvveti Dayanımının Analitik Çözümleri. Bayburt Üniversitesi Fen Bilim. Derg.