

**T.C.
KİLİS 7 ARALIK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ VE STİRLİNG MOTOR KULLANARAK
ELEKTRİK ÜRETİMİ**

Adil ALAHMAD

DANIŞMAN: Prof. Dr. Ö. Faruk FARSAKOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**2018
KİLİS**

KABUL VE ONAY SAYFASI

Prof. Dr. Ö. Faruk FARSAKOĞLU danışmanlığında, **Adil ALAHMAD** tarafından hazırlanan “**GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ VE STIRLING MOTOR KULLANARAK ELEKTRİK ÜRETİMİ**” adlı tez çalışması/...../20.. tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy ile Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik Elektronik Mühendisliği** Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı, Adı Soyadı (Kurumu)	İmza
Başkan	Prof. Dr. Ö. Faruk FARSAKOĞLU Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği	
Üye	Doç.Dr. Muharrem KARAASLAN İskenderun Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği	
Üye	Dr. Öğr. Üyesi M. Mikail ÖZÇİLOĞLU Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği	

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun/...../201... tarih ve/..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Tez No:

ONAY
...../...../2018

ÜNVANI ADI SOYADI
Dr. Öğr. Üyesi Hülya DEDE
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ VE STIRLING MOTOR KULLANARAK ELEKTRİK ÜRETİMİ

Adil ALAHMAD

Kilis 7 Aralık Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ö. Faruk FARSAKOĞLU

Yıl: 2018 Sayfa: 73

Enerji; içinde yaşadığımız evrenin en önemli unsurlarından birisidir. Yapılan herhangi bir işte mutlaka enerji ile ilgili bir kavramla karşılaşmaktadır. Günümüzde enerji üretimi ve kullanımı amacıyla farklı alanlarda değişik metotlar kullanılmaktadır. Birincil enerji kaynağı olan “Güneş” dünyanın en temel enerji kaynağıdır. Güneş bir taraftan dünyanın aydınlanmasını ve ısınmasını sağlarken diğer taraftan canlıların yaşamasını ve ikincil enerji kaynaklarının ortaya çıkmasını sağlar. Kaynağını güneşten alan enerji üretim sistemleri de doğa dostu özellikleriyle enerji üretimi alanında ön plana çıkmıştır. Güneş enerjisi üzerine yapılan Ar-Ge çalışmalarının her geçen gün arttığı görülmektedir. Bu çalışmaların, enerji üretiminin artmasına ve işletim maliyetlerinin azalmasına olanak sağladığı görülmektedir.

Yapılan bu tez çalışmasının amacı yenilenebilir ve bitmeyen enerji kaynağı olan güneş enerjisinden optimum düzeyde faydalanmaktır. Ayrıca; güneş enerjisi orta sıcaklık uygulamalarında kullanılan, teknolojik olarak hızla gelişen ve yoğunlaştırıcı kolektör tiplerinden biri olan “Güneş Takip Sistemi ve Stirling Motor Kullanarak Elektrik Üretimi” sistemini incelemek, tasarımını yapmak, kolektör üretiminde kullanılan malzemelerin özelliklerini araştırmak ve temin etmek. Bunun yanında deney düzeneği

kurmak, kolektör performansını incelemek ve bilgisayar ortamında simülasyonunu gerçekleştirmektir.

Gerçekleştirilen bu çalışmada, “Güneş Çanak-Stirling Sistemi”nin tasarımı ve geliştirilmesi sırasında karşılaşılan sorunlar ve bunlara getirilen çözümler ele alınmıştır. Tasarım için popüler bir 3D CAD programı olan Solidworks kullanılmıştır. Yapılan tasarım çalışmalarında; konum, güneş yükseklik açısı, ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı ve hava yoğunluğu (yükseklik) vb. performansı etkileyen özellikler hesaplanarak bu parametreleri optimize edilmiştir. Uygulamada kullanılan çanak sisteminin yüzeyi alüminyum tabaka ile kaplanmıştır. Deney çalışmalarında 500 Watt, 12 V DC jeneratör ve 800 Watt Gamma tipi Stirling motoru kullanılmıştır. Sistemin verimi % 24 – %36 arasında gerçekleşmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, güneş takip sistemi, Stirling motoru, kolektör, DC motor kontrol.

ABSTRACT

MSc. Thesis

ELECTRICITY PRODUCTION BY USING SOLAR DISH POWER PLANT WITH SOLAR TRACKING SYSTEM

Adil ALAHMAD

Kilis 7 Aralık University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical Electronics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ö. Faruk FARSAKOĞLU

Year: 2018 Pages: 73

Energy; It is one of the most important elements of the universe we live in. There is absolutely a concept of energy in any work that is done. Today, different methods are used in various fields for energy production and use. The primary energy source, the "Sun", is the world's most basic energy source. On the one hand, the sun provides the enlightenment and warming of the world, while on the other the living beings live and secondary energy sources emerge. The energy production systems that take its source from the sun have come to the forefront in the field of energy production with its nature friendly features. It is observed that R & D work on solar energy is increasing day by day. These studies seem to allow for increased energy production and reduced operating costs.

The aim of this thesis is to make optimum use of solar energy, which is the renewable and endless source of energy. Also; To study and design the system of "Solar Tracking System and Electricity Production Using Stirling Motor" which is one of the technologically fast developing and condensing collector types used in solar energy medium temperature applications and to investigate and provide the properties of the materials used in collector production. In addition, item installation, examining the collector performance and simulation in computer environment are done.

In this work, the problems encountered during the design and development of the "Solar Dish-Stirling System" and the solutions brought to them are discussed. Solidworks, a popular 3D CAD program for design, has been used. In the design studies; position, sun altitude, ambient temperature, wind speed and air density (altitude), etc. these parameters are optimized by calculating the properties that affect performance. The surface of the bowl system used in practice is covered with aluminum layer. Experimental studies use 500 Watt, 12 V DC generator and 800 Watt Gamma type Stirling motor. The yield of the system is between 24% and 36%.

Keywords: Solar energy, solar tracking system, Stirling engine, collector, dish system, DC motor control.

TEŞEKKÜR

Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu alışma Sayın Prof. Dr. Ö. Faruk FARSAKOĞLU rehberliğinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmam boyunca hep yanımda hissettiğim, yardımlarını ve desteğini hiçbir şekilde esirgemeyen hocam Prof. Dr. Ö. Faruk FARSAKOĞLU'na teőekkürlerimi sunarım.

Eđitim öđretim hayatım boyunca hiçbir zaman maddi manevi desteklerini esirgemeyen annem Fatehieh BAKUR, babam Asi ALAHMAD ve eřim Arwa ALDBIES'e çok teşekkür ederim.

Adil ALAHMAD

Kilis, 2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET	II
ABSTRACT	IV
TEŞEKKÜR	VI
İÇİNDEKİLER	VII
SİMGELER ve KISALTMALAR	IX
ÇİZELGELER DİZİNİ	XI
1. GİRİŞ	1
1.2. Güneşin Elektromanyetik Spektrumu	2
1.3. Güneş Işığında Elektrik Üretimi.....	3
1.4. Diğer CSP ve PV Sistemleri, Güneş Çanak Stirling Sistemi ile Karşılaştırılması .	5
2. MATERYAL VE YÖNTEM	6
2.1 Amaç	6
2.2. Güneş Stirling Çanak Sistemini Tarihçesi.....	6
2.3. Güneş Enerjisi Potansiyeli Hesaplama	9
2.4. Güneş Stirling Çanak Sisteminin Tasarımı	11
2.4.1. Stirling motoru	12
2.4.2. Stirling motorun MATLAB analizi	15
2.4.3. Uygulanan Stirling motoru (GPU-3).....	23
2.5. Kolektör (Çanak).....	25
2.5.1. Konsantrasyon oranı	25
2.5.2. Kolektör malzemesi	29
2.5.3. Kolektör tasarımı	30
2.5.4. Kolektör desteği.....	32
2.6. Çift Eksen Mekanizma Tasarımı	33
2.7. Güneş Takip Sistemi	34
2.8. Güneş Takip Sistemini Proteus Simülatörü.....	38
2.9. Sistem Performansı ve Verimliliği	41
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	43
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	47
KAYNAKLAR	50

Ek A1 - TEKNİK RESİMLER	53
Ek A2 - YAZILIMIN UYGULANMASI	65
Ek A3 - MATLAB ANALİZİ	67
ÖZGEÇMİŞ.....	73



SİMGELER ve KISALTMALAR

k_p	Elde edilen “sıcak” hacim oranı, $[V_p/V_D]$
k_s	Alan hacim oranı, $[V_s/V_D]$
k_{SH}	Elde edilen “soğuk” hacim oranı, $[V_{SH}/V_s]$
k_{SR}	Kullanılmayan sıcak alan hacim oranı, $[V_{SR}/V_s]$
k_{SC}	Kullanılmayan soğuk alan hacim oranı, $[V_{SC}/(V_s+V_s)]$
k_{SDP}	Toplam hacmin kullanmayan sıcak alan hacme oranı, $[V_s/V_1]$
k_{ST}	Toplam hacmin kullanmayan soğuk alan hacme oranı, $[V_p/V_D]$
p_m	Ortalama çevrim basıncı, $[N/m^2]$
p_{max}	Elde edilen maksimum çevrim basıncı, $[N/m^2]$
P_I	Belirtilen motor gücü, $[W]$
T_c	Soğuk silindir çalışma gazı sıcaklığı, $[K]$
T_H	Sıcak silindir çalışma gazı sıcaklığı, $[K]$
V_D	Dağıtıcı silindir hacmi, $[m^3]$
V_p	Elde edilen güç pistonu hacmi, $[m^3]$
V_s	Kullanılmayan alan hacmi, $[m^3]$
V_{SH}	Kullanmayan sıcak alan hacmi, $[m^3]$
V_{SR}	Kullanmayan rejeneratör hacmi, $[m^3]$
V_{sc}	Kullanmayan soğuk alan hacmi, $[m^3]$
W_{net}	Net motor çalışması $[J]$
F	Motor devir frekansı $(rps/Hz/s^{-2})$
G	Güneş ışınımı $[W /m^2]$
P_{el}	İstenen elektrik sistem gücü
D	Çanak çapı $[m]$
C	(öngörülen) Kolektör açıklık alanının odak nokta alanına oranı
A_{ap}	Yoplayıcı diyafram alanı
A_{im}	Alicı diyafram alanı
τ_b	Atmosferik geçirgenlik
η_{sys}	Sistem verimliliği
$\eta_{collector}$	Kolektör verimliliği
η_{rec}	Alicı verimliliği

η_{SC}	Stirling motor verimi
η_{gen}	Jeneratör verimliliği
Σ	Stefan-Boltzmann sabiti [W/(m ² *K)]
τ	Gaz aşırı sıcaklıkların oranı (TH/TL)
$\eta_{(II,X)}$	Tamamlanmamış yenilenme nedeniyle ikinci yasa etkinliği
$\eta_{(II,\Delta P)}$	Rejeneratör kaynaklı Basınç kaybı etkisi
ψ	Maksimum konsantrasyon oranına izin veren kenar açısı 45°



ÇİZELGELER DİZİNİ

Şekil 1.1. Güneşten gelen ışının dağılımı	2
Şekil 1.2. Güneşin elektromanyetik spektrumu	2
Şekil 1.3. CSP Yoğunlaştırılmış Güneş (Termik) Enerji Santrali Sistemleri	4
Şekil 2.1. Stirling motor kullanarak Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretim.....	8
Şekil 2.2. Kilis'in güneş enerjisi potansiyeli	9
Şekil 2.3. Yüzey azimut açısı (γ), yükseklik (α), azimut açısı (β), zenit (θ_z), geliş(θ), ..	10
Şekil 2.4. Kilis ve Türkiye'de 2017 yılında ortalama sıcaklık	11
Şekil 2.5. P-V & T-S Stirling döngüsünün çizimi	13
Şekil 2.6. Stirling motor modeli blok şeması.....	16
Şekil 2.7. Stirling motor modelin şeması.....	16
Şekil 2.8. Sıcak ve soğuk silindirlerde çalışan gazın ısının akışı.....	21
Şekil 2.9. GPU-3 Stirling motoru	24
Şekil 2.10. Kolektörün ve alıcının açıklık alanları	26
Şekil 2.10. Yüzey odak uzaklıklarının değişimi	27
Şekil 2.12. Geometrik çanak parametreleri.....	27
Şekil 2.13. Bir paraboloidin enine kesitte ağız açısının temsili.....	28
Şekil 2.14. Ağız açısı ve d/f değeri arasındaki ilişki.....	29
Şekil 2.15. Tasarlanan ve uygulanan çanak sistemini.....	31
Şekil 2.16. Geometrik kolektör hatalarının çeşitleri	32
Şekil 2.17. Kolektör destek tasarımı	33
Şekil 2.18. Çift eksen mekanizma tasarımı.....	34
Şekil 2.19. Güneş takip sistemi blok diyagramı	35
Şekil 2.20. Güneş takip sistemi MATLAB Simülasyonu	36
Şekil 2.21. Güneş takip sistemin programının operasyonu	38
Şekil 2.21. Proteus programında gerçekleşen simülasyon.....	39
Şekil 2.23. Projenin kontrol panosu	40
Şekil 2.24. Sistem güç akış şeması	42
Şekil 3.1. Farklı günlerde (42 C ve 38 C) sistemin çıkış gücü (W).....	43
Şekil 3.2. Farklı basınçta (2.5 MBar ve 1.5 MBar) sistemlerinin çıkış güçleri (W).....	44
Şekil 3.3. Ağustos ayında Güneş Stirling sisteminin çıkış gücü.....	44
Şekil 3.4. Stirling motorunun performansı	45

Şekil 3.5. Güneş çanak Stirling sistemi46



TABLÖLAR

Tablo 1.1. Güneş ışığından elektrik üretimi için uygulanan yöntemler	3
Tablo 2.1. Stirling motorun ısıyı çevrim işlemleri	13
Tablo 2.2. Stirling motorlarının avantajları ve dezavantajları	14
Tablo 2.3. GPU-3 Stirling motorunun özellikleri	24
Tablo 2.4. Yüzeyde kullanılan bazı malzemeler ve yansıtma oranları.....	29
Tablo 2.5. Güneş takip sisteminde kullanılan elemanlar.....	37

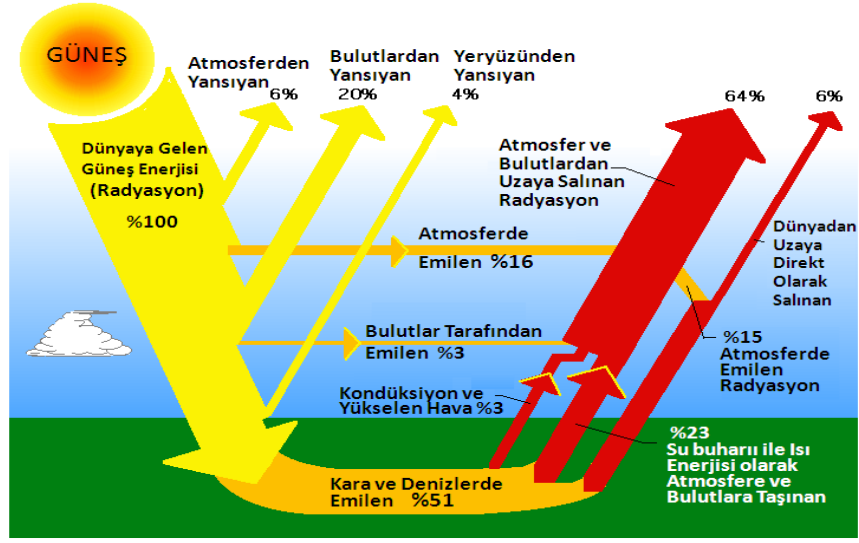


1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun sürekli artması sebebiyle kullanılan enerji miktarı da her geçen gün artmaktadır. Artan bu enerji gereksinimi birincil enerji kaynaklarının tükenmesine neden olmakta ve bu da bilim adamlarını alternatif enerji kaynakları bulma konusunda araştırmalara sevk etmektedir. Bunun yanı sıra birincil enerji kaynağı olarak kullanılan petrol ve türevleri gibi fosil yakıtların kullanımı sonrası ortaya çıkan zararlı gazlar hem çevreye, hem de canlılara çok büyük zararlar vermektedir. Tüm bunlar düşünüldüğünde kullanılan enerji kaynaklarının çok sağlıklı olmadığı dolayısıyla daha temiz ve güvenli enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulduğu bir gerçektir.

Güneş dünyanın en önemli enerji kaynağıdır. Yakın zamana kadar aktif bir şekilde enerji kaynağı olarak kullanılmasa da günümüzde hem yenilenebilir hem de temiz enerjinin vazgeçilmez bir kaynağı haline gelmiştir. Çevre kirliliği gibi önemli sorunları ortadan kaldıran, kullanılması kolay bir teknolojiye sahip olan ve uzun süreli bir verim vaat eden güneş enerji sistemleri üzerinde yoğun çalışmalar sürdürülmektedir. Güneş enerjisinden elektrik elde edilmesinin yollarından birisi de “Güneş Stirling Çanak Sistemi”dir. Güneş Stirling çanak sistemi birçok yönden avantajlıdır. Çok sessiz çalışabilmesi, çevre dostu özellikleri ve en küçük ısı değişikliklerine bile duyarlı olması bu avantajlardan bir kaçıdır. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda güneş Stirling çanak sistemlerinden % 30 ile % 40 arasında bir verimle elektrik üretilebildiği kanıtlanmıştır[1].

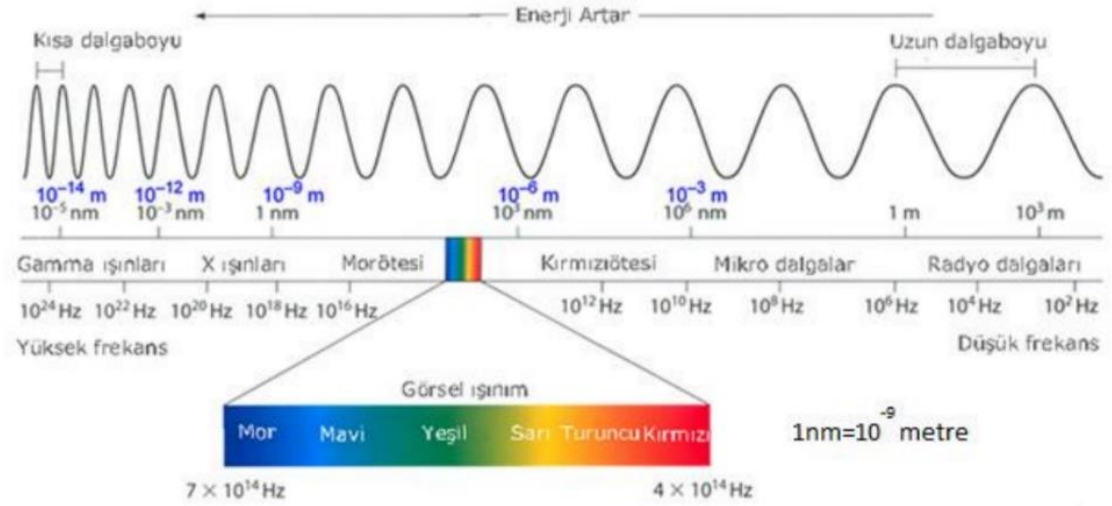
Güneş bilindiği gibi dünyanın en önemli enerji kaynaklarından birisidir. Doğadaki hemen hemen bütün olaylar; rüzgâr, deniz dalgaları, okyanustaki sıcaklık farkları, iklim değişiklikleri güneş enerjisindeki değişimler sebebiyle gerçekleşmektedir. Ayrıca güneş enerjisi diğer enerji türlerine göre daha temiz ve daha güvenli olduğu için son yıllarda daha çok tercih edilmektedir. Dünyaya gelen güneş enerjisi (radyasyon) Şekil 1.1’de temsili olarak gösterilmiştir. Gelen ışınının % 6’sı atmosferden, % 20’si bulutlardan ve % 4’ü yeryüzünden yansımaktayken; % 16’sı atmosfer, % 3’ü bulutlar ve % 51’i kara ve denizler tarafından emilmektedir [2].



Şekil 1.1. Güneşten gelen ışının dağılımı

1.2. Güneşin Elektromanyetik Spektrumu

Güneş ışınları farklı dalga boylarında yayılır. Bu ışıklardan en kısa dalga boyuna, en yüksek frekansa ve en büyük foton enerjisine sahip olanı gama ışınlarıdır. Şekil 1.2'de bu ışınlar gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Güneşin elektromanyetik spektrumu

Gama ışınları çok tehlikelidir ve canlılar bu ışıklara maruz kalırsa yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalabilirler. Gama ışınlarını X ışınları takip etmektedir. X ışınlarının enerji seviyesi ve frekansı gama ışınlarından daha düşük iken, dalga boyu daha büyüktür.

Morötesi ışınlar ise spektrumun daha kısa boylu ama daha yüksek enerjili olan bölümünü oluşturmaktadır. Kızılötesi ışınlar görünür ışığa göre biraz daha uzun dalga boyuna ve daha düşük enerjiye sahiptir. Radyo - televizyon haberleşmesinde ve radar sistemlerinde kullanılmaktadırlar [3].

1.3. Güneş Işığından Elektrik Üretimi

Güneşten elektrik üretmek için günümüze gelinceye kadar çok çeşitli Ar-Ge çalışmalarının yapıldığı görülmektedir. Ana metotlar üç grupta incelenebilir; PV (Fotovoltaik), CPV (Yoğunlaştırılmış Fotovoltaik) ve CSP (Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi). Tablo 1.1’de güneşten elektrik enerjisi üretimi için uygulanan yöntemler verilmiştir [4].

Tablo 1.1. Güneş ışığından elektrik üretimi için uygulanan yöntemler

Güneşten Elektrik Enerjisi Üretimini		
PV Fotovoltaik Panel	CPV Yoğunlaştırılmış Fotovoltaik	CSP Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi (Termik Enerji) Parabolik
		1. Parabolik Oluk
		2. Fresnel Sistemi
		3. Güneş Kulesi
		4. Güneş Stirling çanak sistemi

Parabolik; CSP-Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi (Termik Enerji), güneş ışığının tek noktada yoğunlaştırılması ile kullanılan akışkanın sıcaklığının artması sağlanır. Bu sıcak akışkan ile buhar türbin sistemi çalıştırılır. Dolayısıyla termodinamik süreçlerden oluşan ve çalışma yapısı termik santrallere benzeyen temiz enerji kaynak modeli elde edilmiş olur. CSP’lerde yoğunlaştırma ve yansıtma işlemi kolektörler veya aynalar tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu aynalar ve kolektörler, güneş enerjisini 5-2500 kat yoğunlaştırabilme kapasitesine sahiptir. Güneş ışınlarının sabit bir açıyla gelmemesi ve gün içinde sürekli değişimlere uğraması CSP GES’ lerdeki en büyük problemi oluşturmaktadır [5].

Bu sorun genellikle bir güneş takip sistemi ile yani sürekli güneşin hareketini izleyen bir sistem yardımı ile çözülmektedir. Bunun yanında yüksek verim için bulutlanmanın az ve güneş görme süresinin yüksek olduğu çöl bölgeleri tercih edilmektedir [5].

Güneş Çanak Stirling Sistemi diğer CSP sistemlerine kıyasla küçük enerji dönüşüm birimleridir. Standart sistemler genellikle 5 - 25 kW aralığındadır. Genel olarak kurulan parabolik çanaklar ısı motorları gibi Stirling motorları ile donatılmıştır. Aynı zamanda Stirling motor yerine mikro gaz türbinleri de kullanılabilir.

Şekil 1.3’de farklı güçteki CSP sistemleri yer almaktadır. Güneş parabolik santralleri şu ana kadar inşa edilmiş en büyük enerji santralleridir. Şimdiye kadar ki en büyük enerji santrali (elektrik enerjisine göre) 580 MWatt Noor 1 Fas Drâa Tafilalet bölgesinde yapılmıştır [6]. CSP Yoğunlaştırılmış Güneş Enerji Santral sistemleri Şekil 1.3’de verilmiştir.



A. Parabolik Oluklu CSP



B. Doğrusal Fresnel



C. Güneş Kulesi



D. Güneş Stirling Motor

Şekil 1.3. CSP Yoğunlaştırılmış Güneş (Termik) Enerji Santrali Sistemleri

1.4. Diğer CSP ve PV Sistemleri, Güneş Çanak Stirling Sistemi ile Karşılaştırılması

Bu bölümde Güneş Stirling Çanak Sistemi ve güneş enerjisinden elektrik enerjisine dönüştürme sistemleri arasındaki avantajlar ve dezavantajlar ele alınmıştır

Avantajlar:

- a. Sistem verimi diğer CSP sistemlerine göre daha yüksektir.
- b. Çanak / motor sistemleri ısı devresinde herhangi bir ısı iletici sıvıya ihtiyaç yoktur. Bu şekilde maliyetin ve aynı zamanda ısı devresindeki kayıpların azaltılması mümkün olmaktadır.
- c. Çanak / motor sistemleri küçük ve şebekeden bağımsız uygulamalarda kullanılabilir. Modüler besleme kaynağı olarak da kullanılabilir.

Dezavantajlar:

- a. Çanak - motor sistemlerinde şimdiye kadar termal enerji depolama imkânı sağlanılamamıştır.
- b. Hareketli parçaları olduğundan bakım onarım gerektirmektedir. (PV'nın tüm parçaları sabittir).
- c. Her CSP sistem gibi PV sistemleri yayılmış radyasyonu kullanırken, çanak / motor sistemleri sadece doğrudan radyasyonu kullanır.
- d. Çanak - motor sistemleri hâlihazırda çok yeni bir sistemdir. Dolayısıyla maliyet hesaplamaları sonuçlandırılmamıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Amaç

Öncelikle konu ile ilgili genel bir araştırma yapılmış daha sonra yapılan çalışmalar ele alınmıştır. Tez konusunun tespitinden sonra Güneş Çanak Stirling Sistemi hakkında faydalanılabilecek kitaplar, tezler ve bilimsel makaleler temin edilerek detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Yapılan araştırmada, mekanik tasarım 3D kullanılarak Solidworks programı ile gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan parçalar CNC (Bilgisayarlı Nümerik Kontrol) makinesi kullanılarak kesilmiştir. Elektrik tasarımı ise Proteus simülatörü ile yapılmıştır. Uygulamada kullanılan malzemelerin özellikleri araştırılmış ve uygun olanları tedarik edilmiştir.

Tezin amacı özetle şu şekildedir:

- a. Güneş Çanak Stirling Sisteminin tasarımı, simülasyonu, geliştirilmesi ve test edilmesi.
- b. Güneş Çanak Stirling Sisteminin performansını artırmak isteyen araştırmacılar için rehberlik edilmesi.
- c. Güneş Çanak Stirling Sistemini kullanarak Kilis’de küçük ölçekli elektrik üretme imkânlarının incelenmesi.

2.2. Güneş Stirling Çanak Sistemini Tarihçesi

Güneş enerjisinden faydalanabilmek için insanların yaptığı çalışmalar çok eski tarihlerden başlamıştır. Parabolik aynaların geometrik nitelikleri, özellikle konsantrasyonları ve yön verici nitelikleri, matematik ve geometri uzmanı olan Yunanlı Arşimet tarafından M.Ö. 200 yılında tanımlanmıştır. Örneğin; Arşimet parabolik aynalarla güneş ışığını odaklayarak Sirakuzayı kuşatan gemileri yakmayı başarmıştır.

Güneş Çanak Stirling Sistemleri ile ilgili yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda sunulmuştur [7]:

1872 yılında, John Ericsson tarafından ilk Güneş Stirling motor sistemi kurulmuştur. Bu sistemde Stirling motor kolektör yardımıyla elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir.

1980 yılında Shenandoah Georgia'da 114 parabolik çanak kolektör ile büyük bir uygulama yapılmıştır. 450 kW gücündeki sistem ile elektrik üretilmiş ve bir triko fabrikasının 173 °C'de ısıtılması sağlanmıştır. Sistem 1990 yılına kadar çalışmıştır.

1984 yılında, Güneş Stirling sistemi Kaliforniya, Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) Advanco-Vanguard tarafından kuruldu. Bu sistem çanak çapı 10.5 m, reflektör malzemesi 336 cam - gümüş aynalar, güç 25 kW ve maksimum sistem verimliliği % 30'u bulan özelliklere sahiptir.

1986 yılında, Güneş Stirling sistemi Riyad, Suudi Arabistan'da kuruldu. Çanak çapı 17m, reflektör malzemesi gümüş kaplamalı aynalar, güç 50 kW ve maksimum sistem verimliliği % 23'ü bulan özelliklere sahiptir.

1991 yılında, Güneş Stirling sistemi Almería Spanish'de kuruldu. Çanak çapı 7,5 m, reflektör malzemesi gümüş kaplamalı aynalar, güç 9 kW ve maksimum sistem verimliliği %20'yi bulan özelliklere sahiptir.

2007 yılında, Güneş Stirling sistemi Kennewick, WA, Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) Infinia tarafından kuruldu. Çanak çapı 4.5 m, reflektör malzemesi 336 cam - gümüş kaplamalı aynalar, güç 3 kW ve maksimum sistem verimliliği % 24'ü bulan özelliklere sahiptir.

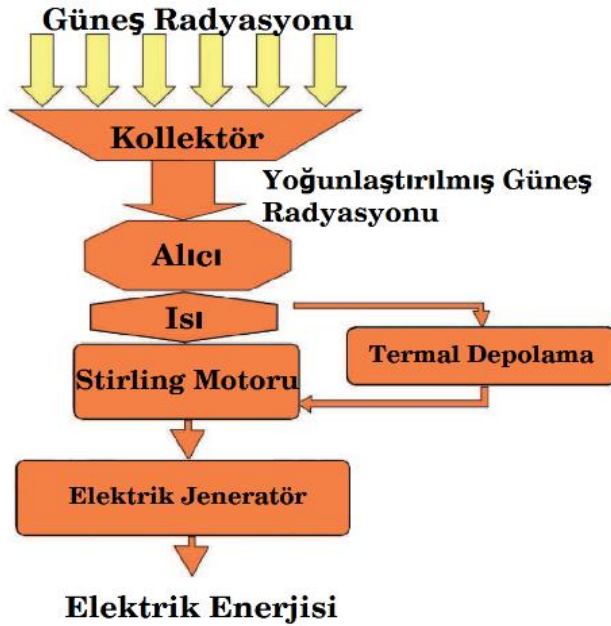
2010 yılında, Güneş Stirling sistemi Kaliforniya, Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) SES Solar tarafından kuruldu. Çanak çapı 11.6 m, reflektör malzemesi 336 cam - gümüş kaplamalı aynalar, güç 750 MW ve maksimum sistem verimliliği % 31.25'i bulan özelliklere sahiptir.

2015 yılında, Güneş Stirling sistemi Güney Afrika’da Ripasso parabolik çanak tarafından kuruldu. Çanak çapı 14.5m, reflektör malzemesi 336 cam - gümüş kaplamalı aynalar, güç 60 MW ve maksimum sistem verimliliği % 32’yi bulan özelliklere sahiptir.

Günümüzde ışığı toplamak ve bir noktaya yansıtmak için çeşitli çanak geometrileri uygulanmaktadır. Bunların en önemlileri uydu antenleri, yansıtıcı teleskop ve parabolik yüzey kullanan aydınlatma cihazlarıdır. Güneş Çanak Stirling sistemi elektrik üretmek için doğrudan radyasyon kullanan güç dönüşüm birimleridir [8]. Bir Güneş Çanak Stirling sisteminin ana bileşenleri şunlardan oluşmaktadır:

- A. Kolektör ve Alıcı (Mekanik tasarımı ve Kontrol sistemi
- B. Güneş takip sistemi
- C. Stirling motoru ve jeneratör.

Güneş Çanak Stirling sisteminin basitleştirilmiş çalışma şeması Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Stirling motor kullanarak Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretim şeması

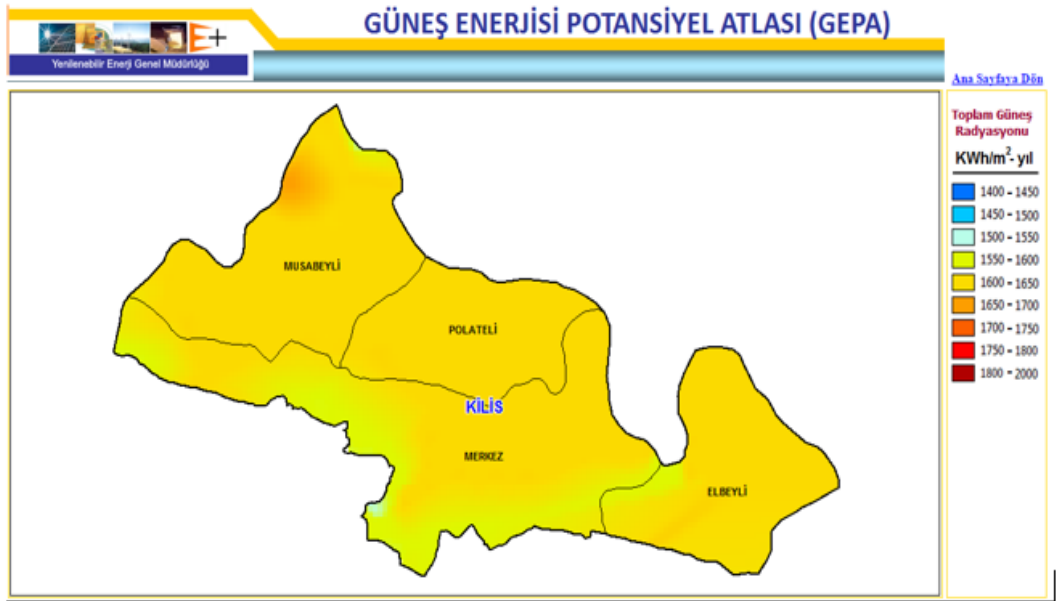
Tasarlanan ve uygulanan Güneş Çanak Stirling Sisteminin ana parçaları aşağıdaki başlıklar altında sunulmuştur:

- a. Güneş radyasyonunun hesaplanması

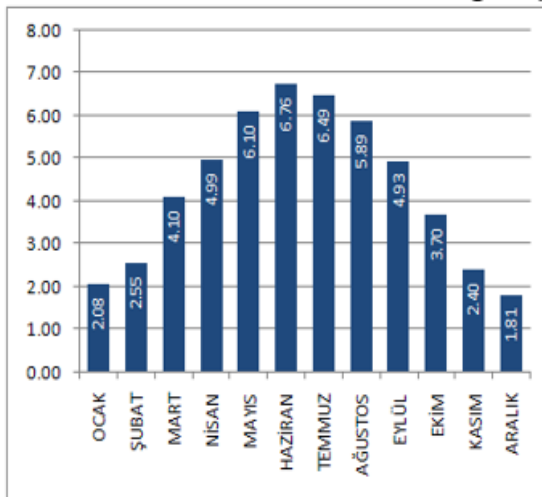
- b. Stirling motorun hesaplamaları ve seçimi
- c. Kolektör hesaplamaları ve seçimi
- d. Çift eksen mekanizma tasarımı ve üretimi
- e. Güneş takip sistemi tasarımı ve üretimi

2.3. Güneş Enerjisi Potansiyeli Hesaplama

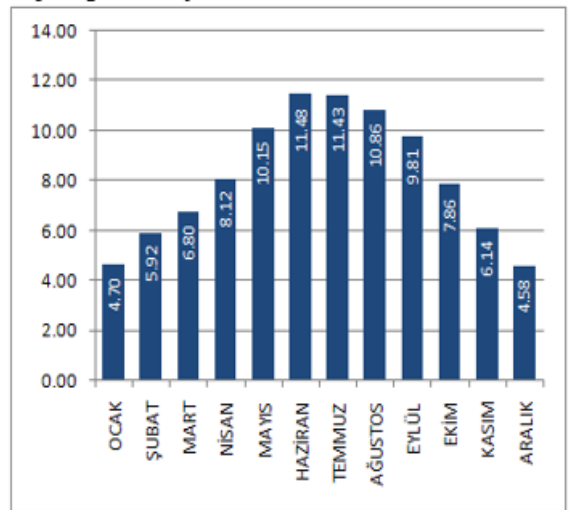
Kilis'in güneş enerjisi potansiyeli Şekil 2.2'de grafiksel olarak yer almaktadır.



Kilis iline ait güneş enerjisi potansiyel atlası



Kilis global radyasyon değeri (kWh/m²)

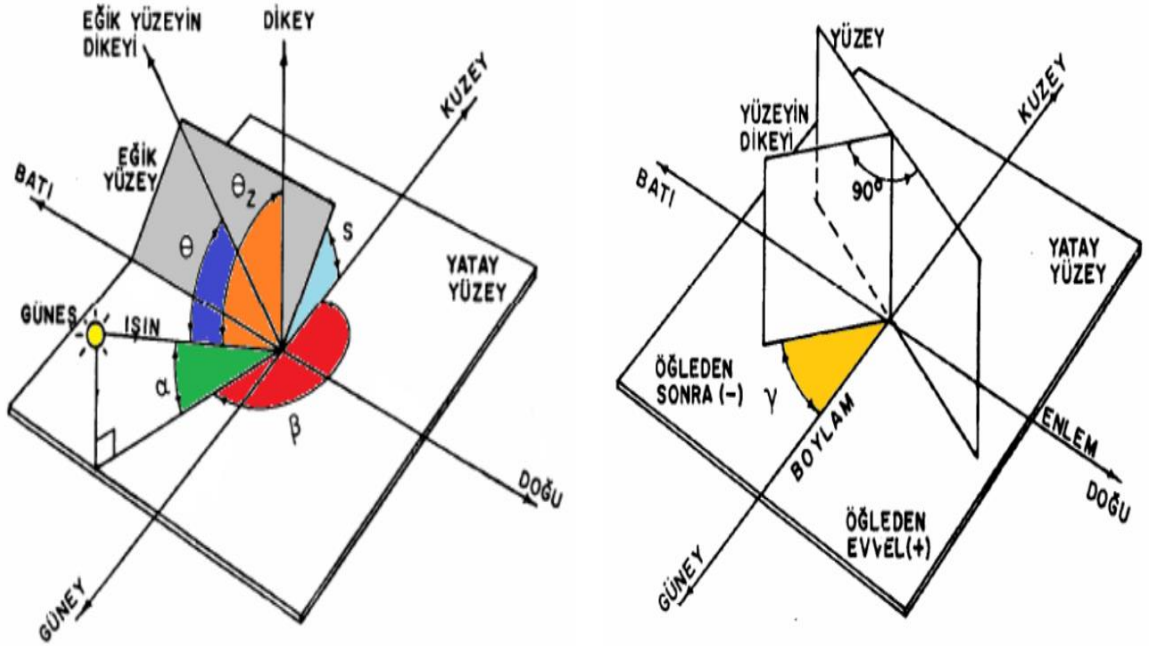


Kilis güneşlenme süreleri (Saat)

Şekil 2.2. Kilis'in güneş enerjisi potansiyeli

Üretilebilecek toplam enerjiyi hesaplamak için, bir yıl içinde çanak tarafından alınan güneş ışınlarının miktarını belirlemek gerekmektedir. Kilis'te ortalama Güneş ışınımı (enlem $36.7^{\circ} 42'$ 'Kuzey ve boylam $37.6^{\circ} 6'$ 'da) yılda $1000 \text{ kWh} / \text{m}^2$ 'den fazladır. Bu alan aynı zamanda yılda yaklaşık 1000 saat Güneş ışınımını almaktadır [9].

Dünyamız hem güneşin etrafında hem de kendi eksenini etrafında dönmektedir. Dünya üzerindeki herhangi bir noktaya göre güneşin gökyüzündeki konumu yıl boyunca değişmektedir. Aynı konuma tekrar gelmesi için bir yıl geçmesi gerekmektedir. Konumun hesaplanması için çeşitli açıları belirlemek önemlidir. Bu açılar (α) yükseklik açısı: güneş ışını ile yatay yüzey arasındaki açıdır. (θ_z) zenit açısı: yatay yüzeyin normali ile güneş ışınları arasında oluşan açıdır. (γ) yüzey azimut açısı: yüzeyin dikinin yatay düzlemdeki izdüşümü ile güney doğrultusundaki açıdır. (β) Güneş azimut açısı: güneş ışınlarının kuzeye göre, saat dönüş yönünde sapmasını gösteren açıdır. (θ) geliş açısı: eğik yüzeyin dikeyi ile ışın arasındaki açıdır. (δ) deklinasyon açısı: güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. (S) eğim açısı: yatay yüzey ile eğik yüzey arasında kalan açıdır ve (Φ) enlem açısı: ekvator düzlemi ile yerden dünyanın merkezine olan radyal çizgi arasındaki açıdır. Şekil 2.3'te bahsedilen açılar şekil üzerinde verilmiştir [10].



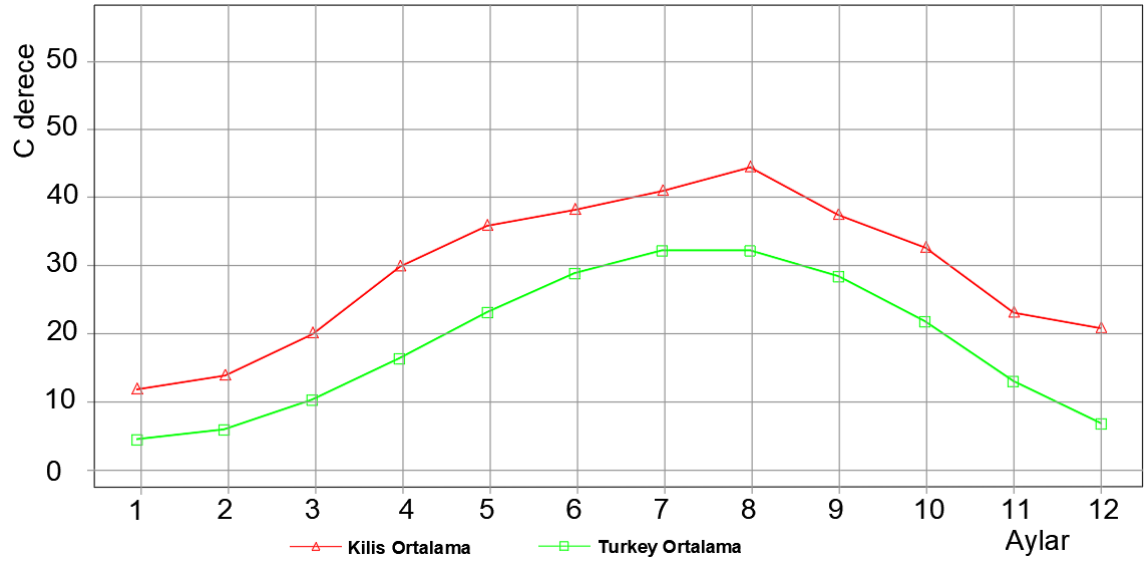
Şekil 2.3. Yüzey azimut açısı (γ), yükseklik (α), azimut açısı (β), zenit (θ_z), geliş(θ), eğim(s) açıları

Güneş enerjisi potansiyeli hesaplanması aşağıdaki şekilde yapılır [9].

$$G=G_{on}\times\tau_b\times\cos\theta \quad (2.2.1)$$

Burada; G: güneş enerji potansiyeli, G_{on} : güneşten gelen enerji potansiyeli (dünya dışı güneş ışınımı), τ_b : atmosferik geçirme faktörü ve θ : geliş açısını ifade etmektedir. θ , 0 değerini almaktadır, çünkü tasarlanan sistem ile çift eksenli bir mekanizma sürekli olarak güneşi takip etmektedir.

Kilis'te 2017 yılında ortalama sıcaklık 17,75 °C olarak hesaplanmıştır. Kış mevsimi sıcaklık ortalaması 7,5 °C nin üzerindedir. Yaz mevsimi sıcaklık ortalaması 28 °C nin üzerindedir [11]. Türkiye'de 2017 yılında ortalama sıcaklık 12,25 °C dir. Kış mevsimi sıcaklık ortalaması 3.5 °C nin üzerindedir. Yaz mevsimi sıcaklık ortalaması 21 °C nin üzerindedir. Kilis ve Türkiye'de 2017 yılında ortalama sıcaklık Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Kilis ve Türkiye'de 2017 yılında ortalama sıcaklık

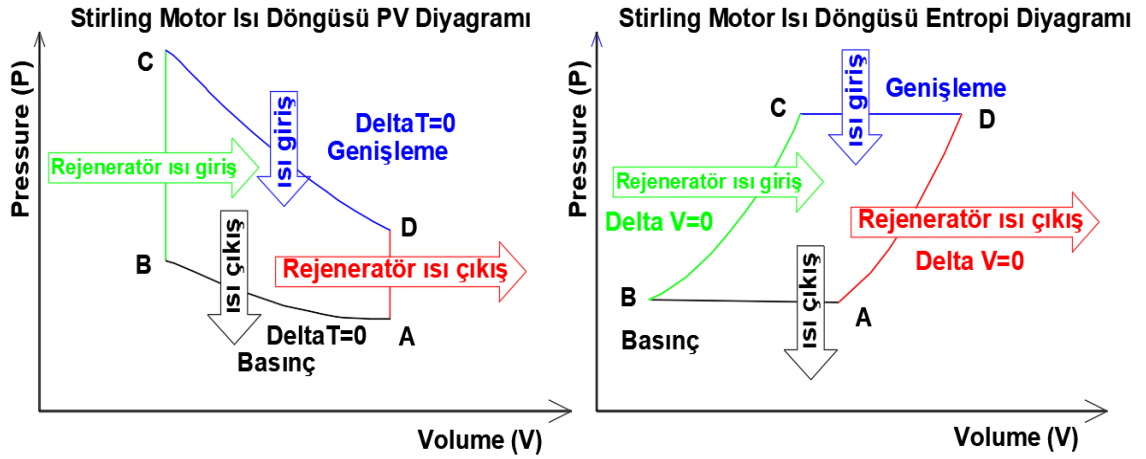
2.4. Güneş Stirling Çanak Sistemin Tasarımı

Güneş en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir ve güneş enerjisi, Stirling çanak sisteminde enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır [12]. Çanak Stirling motoru, güneş ışığını elektrik enerjisine çeviren bir sistemdir. Çanak, güneş ışınlarını alıcıya

yoğunlaştırır ve bu şekilde Stirling motoruna termal enerji sağlanır. Stirling motor, çanağın odak noktasına yerleştirilir. Stirling motorunun pistonu üzerine odaklanan güneş ışını miktarı, normal güneş ışınından 94 kat daha fazladır. Pistonlar, termal enerjiyi Stirling motorunda çalışan bir gaz (helyum) aktarır. Stirling motoru güneş enerjisini mekanik enerjiye dönüştürür ve sonunda bir jeneratör bu mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Bu tez’de yapılan sistemin bazı temel şartlara sahip olması gerekmektedir. Bunların en önemlisi, sistemin hedeflenen alanın güneş potansiyelini en verimli şekilde kullanmak için kapsamlı bir kontrol sistemine sahip olmasıdır. Bu amaçla, oluşturulan sistemde yüksek verimli bir güneş takip sistemi yer almaktadır. Güneş takip sistemi oldukça yüksek kaliteli motor kontrol algoritmasına sahip olmak zorundadır. Bu nedenle sistemin kontrolü için kullanılan mikrodenetleyici özenle seçilmiş, oldukça kararlı bir kontrol panosu oluşturulmuştur [13]. Öte yandan, sistemin mekanik parçaları sistemin tüm etkinliği göz önünde bulundurularak tasarlanmış ve yapılmıştır. Ana kısım küçük parçalar halinde ve ayna malzemesi ile monte edilmiş, parlatılmıştır. Projenin mekanik tasarımı Solidworks programı (3D tasarım analiz) kullanılarak hazırlanmıştır. Sistemin ana bileşenlerinin ayrıntılı açıklaması aşağıdaki başlıklar altında sunulmaktadır.

2.4.1. Stirling motoru

İlk Stirling motoru Robert Stirling tarafından 1816’da imal edilmiştir. Stirling motoru bir ısı makinesidir. Bu makine ısıyı mekanik harekete dönüştürmektedir. O dönemdeki araştırmacılar, buhar makinelerinin güvensizliğinden dolayı, alternatif olarak bu makineleri kullanmıştır. Stirling motoru temel olarak iki pistondan oluşmaktadır. İlk değişir pistonunun görevi çevrim akışkanını sıcak ve soğuk bölgeler arasında hareketlendirmektir. İkinci piston olan güç pistonu motordaki gücü üreten pistondur. Stirling çevriminde soğuk ve sıcak ısı kaynaklarının sıcaklıkları arasındaki fark arttıkça ısı veriminin arttığı bilinmektedir. Bu sistem için ısı geçişine rejeneratör adı verilmektedir. Stirling motor, hareketini herhangi bir sıcaklık kaynağından sağlayabilir. Stirling motorun çalışması aşağıdaki gibi basit bir termodinamik döngü ile tanımlanabilir. P-V & T-S Stirling döngüsünün çizimi Şekil 2.5’te verilmiştir [14]. Stirling çevrimi sıcak hava motorları için ideal bir çevrimdir.



Şekil 2.5. P-V & T-S Stirling döngüsünün çizimi

Tablo 2.1’de bir Stirling motorun ısıyı çevrim prosesleri verilmiştir.

Tablo 2.1. Stirling motorun ısıyı çevrim işlemleri

A-B	İzotermal (Sabit sıcaklık) sıkıştırma: sistemden dış ortama ısı geçişi
B-C	Sabit hacimde rejenerasyon: rejeneratörden aracı akışkana sistem içi ısı transferi
C-D	İzotermal (Sabit sıcaklık) genişleme: sisteme dış kaynaktan ısı geçişi
D-A	Sabit hacimde rejenerasyon: aracı akışkandan rejeneratöre sistem içi ısı geçişi

Stirling motor tasarımında çeşitli alternatifler bulunmaktadır. Bu tasarımlar aynı termodinamik döngüyü takip etmektedir. Aralarındaki fark mekanik kısımdan kaynaklanmaktadır. Stirling motorunun önemli çeşitlerinden bazıları aşağıdaki başlıklar altında sunulmaktadır.

1- Alfa tipi

Alfa motorunun tasarımında, 2 farklı silindirde genişleme ve sıkıştırma alanları bulunmaktadır. Bu konfigürasyon iki pistonu sahiptir. Sıcak piston, gaz sıkıştırma devresinde çalışmaktadır (sıkıştırma pistonudur). Soğuk piston da gaz genişleme devresinde çalışmaktadır (genleşme pistonudur).

2- Beta tipi

Beta motorunun tasarımında, 2 piston aynı silindirdedir. Bir piston hem genişleme hem de sıkıştırma işlemi yapmaktadır. Diğer piston döngü sırasında güç üretmektedir.

3- Gama tipi

Gama tasarımı, Beta tasarımı gibidir. Fakat 2 piston iki farklı silindirde yer almaktadır. Yer değiştirme ve güç pistonları bulunmaktadır.

4- Serbest pistonlu Stirling motoru (FPSE)

Serbest pistonlu Stirling motor tasarımı, Gama tasarımı gibidir. Fakat pistonlardan birinin veya her ikisinin de herhangi bir mekanik bağlantısı yoktur.

Stirling motorunun tasarımları farklı zamanlarda icat edilmiştir. Bahsedilen motor çeşitlerinin, üretim olanakları ve çalışma koşulları farklıdır. Bu tasarımları daha uygun fiyatlı ve yüksek verimli hale getirme çalışmaları devam etmektedir. Tablo 2.2’de Stirling motorlarının ana tiplerinin avantaj ve dezavantajları özetlenmektedir.

Tablo 2.2. Stirling motorlarının avantajları ve dezavantajları

Tip	Avantaj	Dezavantajları
Alfa	En basit mekanik konfigürasyon.	İki pistonda aynı zamanda çalışmalıdır. Pistonlar arasındaki açı sabit olmalıdır.
	Çiftlik piston tasarımı daha kompakt tasarıma ve daha yüksek özgül güce olanak tanır.	Büyük motor boyutlarında güç ve hız problemi vardır.
Beta	Kompakt tasarım.	Montajı zor.
	Silindirin hacmi daha iyi kullanılmaktadır.	Yüksek maliyetli tasarım.
Gamma	Kompakt tasarım.	Yer değiştiren pistonun hacmi büyüktür
	Silindir hacmi daha iyi kullanılmaktadır.	

	Daha basit bir yapı ile daha ucuzdur.	
	Mekanik kayıpları azaltır.	Daha karmaşık tasarım
FPSE	Kendi çalışmaktadır.	Montajı zor
	Daha yüksek çıkış basınçlı	Yüksek maliyetli tasarım

2.4.2. Stirling motoru hesaplamaları

Gama-Stirling motorunun net çıkışı denklemi (2.3.1) Schmidt formülü kullanılarak doğrudan hesaplanabilir. A, B ve p_m değişkenleri, sırasıyla Denklemi 2.3.2, Denklem 2.3.3 ve Denklem 2.3.4 ile tanımlanmıştır [17].

$$W_{net} = [p_m \times V_P \times \pi \times \sin \alpha \times (1-\tau)] \times [A+(A^2-B^2)]^{-0.5} \quad (2.3.1)$$

$$A = (1 + \tau + k_p + [(4 \times k_s \times \tau) / (1 + \tau)]) \quad (2.3.2)$$

$$B = [(1 - \tau)^2 + k_p^2 - (2 \times (1 - \tau) \times k_p \times \cos \alpha)]^{-0.5} \quad (2.3.3)$$

$$p_m = p_{max} \times [(A - B) / (A + B)]^{-0.5} \quad (2.3.4)$$

Burada; W_{net} : net motor çalışması [J], τ : gaz aşırı sıcaklıkların oranı (TH/TL), α faz açılı kurşun, güç pistonu üzerinde yer değiştiren, k_p : elde edilen “sıcak” hacim oranı [V_P/V_D], k_s : alan hacim oranı [V_S/V_D], p_m : ortalama çevrim basıncı [N/m^2] ve p_{max} : elde edilen maksimum çevrim basıncı [N/m^2] ifade etmektedir.

Güç çıkışı (PI) Schmidt formülünde hesaplanabilir (f, çevrim frekansı).

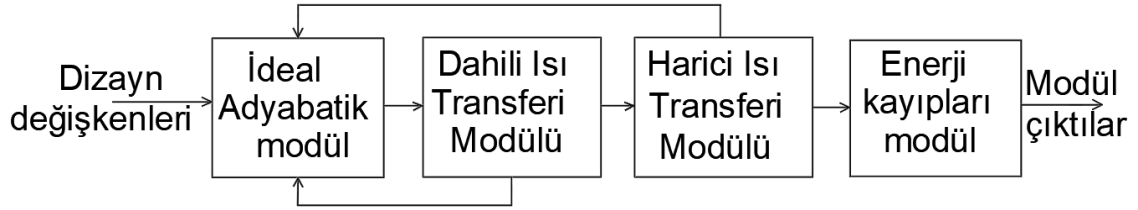
$$P_I = W_{net} \times f \quad (2.3.5)$$

Burada; P_I : motor gücü, [W] ve f: motor devir frekansı (rps/Hz/s⁻²) ifade etmektedir.

2.4.2. Stirling motorun MATLAB analizi

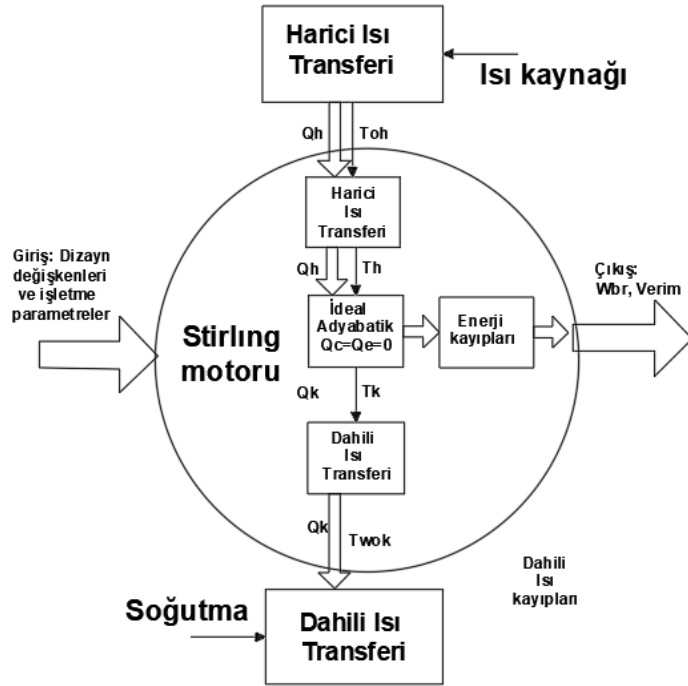
Gerçekleştirilen simülasyon, motorun termodinamiğini, ısı transferini, akışkan dinamiklerini ve mekanik verimliliğini dikkate alan sayısal bir modeldir. Ayrıca, genel SSCHP (small scale combined heat and power/küçük ölçekli kombine ısı ve güç) sistemleri için de tasarım optimizasyonu ve entegrasyon çalışmalarına izin vermektedir.

Model geliştirme, tahmin doğruluğu ve hesaplama gereklilikleri arasındaki uyumluluk göz önünde bulundurularak ikinci dereceden bir analiz yaklaşımı izlenmiştir [18]. Stirling motoru için tasarlanan modelin blok şeması Şekil 2.6’da yer almaktadır.



Şekil 2.6. Stirling motor modeli blok şeması

Şekil 2.6’daki modülün çıktıları, ısı transferi, motor basıncı ve rejenerasyon hacmi bağlanılmaktadır. Bu modüle de rejenerasyonun içindeki çalışan gazının sıcaklığının hesaplanması edilmesine izin verilmektedir. Sıcak ve soğuk pistonlar, rejenerasyondaki sıcaklığı değerlendirmek için bir yinleme döngüsü de vardır. Son modülde, termal ve mekanik kayıplar hesaplanmaktadır[19]. Şekil 2.7’de Stirling motorunun modeline ait bir şema verilmektedir.



Şekil 2.7. Stirling motor modelin şeması

İdeal yalıtma modülü

Aşağıdaki varsayımlar Stirling motorun MATLAB analizlerinde kullanılmıştır [20]:

- a. İzotermal; genişleme ve sıkıştırma işlemleri sırasında çalışma hacimlerindeki sıcaklığın sabit olduğu varsayılır. Bu şekilde değişken sıcaklığı sabit bir değere düşürülür ve analizde bilinmeyenlerin sayısını azaltılmış olur.
- b. Motordaki hacmin sinüzoidal bir modelde değiştiği varsayılmıştır. Bu, hacim değişkeni V 'yi sınırlamak için önemlidir. Bu şekilde herhangi bir krankta motorun içindeki V hacmi değerlendirilebilir.
- c. İşletim sırasında motordan gaz kaçağı yoktur. Bu önemli kabul ile motor içerisindeki gazın toplam mol sayısının (M) sabit olduğu varsayılır. Bilinen T , V ve M değerlerini kullanarak, herhangi bir anda N (P) basıncı hesaplanabilir.
- d. Çalışma gazı ideal gaz yasasına uyarlanır. İdeal gaz yasasına bağlı T , V ve M değerleri kullanılarak basınç değerinin hesaplanıp hesaplanamayacağı belirlenir.
- e. Motor basıncı sabittir. Bu önemlidir, çünkü PdV çalışması her an hesaplanmaktadır. PdV hesaplayabilmek için sabit basınç gerekmektedir.
- f. Sıcak ve soğuk silindirlerin sıcaklıkları sabittir. Yani sıcak ve soğuk silindirlerdeki çalışma gazına ısı transferi, silindir duvarları ve çalışma gazı arasındaki sıcaklık farkı ΔT olmadan gerçekleştirildi.
- g. Anlık basınçta hacimdeki anlık değişiktir. Döngünün toplam çalışma çıktısı verilmektedir. Yani 0° 'dan 360° 'ya kadar olan krank açısındaki toplam çalışmanın anlık toplamı ile verilmektedir.
- h. Stirling devresinde mükemmel bir şekilde yenilenme gerçekleşmektedir. Bu varsayım önemlidir, çünkü gerçek motorlarda karşılaşılan kusurlu rejenerasyon, motor performansını büyük ölçüde etkilemektedir.
- i. Çeşitli ısı transfer mekanizmalarına bağlı sürtünme ve diğer kayıplar ihmal edilmiştir.
- j. Rejeneratör sıcaklığı sabittir ve silindirlerin sıcaklıklarının logaritmik ortalamasına eşittir.

Analizler aşağıdaki adımlar izlenerek gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler, MATLAB'da yapılmıştır.

- a. Sıcak ve soğuk silindirlerin sıcaklıklarını hesaplanır.

- b. Krank açısı derece olarak seçilir.
- c. Krank açısı 0° olduğunda rejeneratör basıncı hesaplanır
- d. İlk basıncın bilindiği, ölçme ile hesaplandığı ve motorda bulunan gazın (M) mollerinin hesapladığı varsayılır.
- e. Varsayılan ani krank açısının artışı için rejeneratör anlık hacmi hesaplanır
- f. T ve M sabit olduğundan, yeni hesaplanmış anlık hacim için yeni anlık basınç olan P (N) hesaplanır.
- g. Sonra diferansiyel çalışma hesaplanır. $dW = PdV$
 $dV = V_{yeni} - V_{önceki}$ (2.3.6)
- h. Her adım için krank açısını artırarak yukarıdaki tüm adımları tekrarlanır.
- i. Krank açısı 360°'ya ulaştığında, yinelemeleri durdurulur. Artık J / devir döngüsündeki iş çıkışı W elde edilmiştir.

Yukarıdaki adımların hesaplanması için gerekli formüller aşağıda verilmiştir:

1. Rejeneratör sıcaklığının hesaplanması aşağıdaki şekilde yapılır:

$$T_R = (T_H - T_C) / (\ln(T_H / T_C)) \quad (2.1.7)$$

Burada; T_R : Rejeneratör sıcaklığı, T_H : Sıcak silindir çalışma gazı sıcaklığı ve T_C : Soğuk silindir çalışma gazı sıcaklığını ifade etmektedir.

2. Motor içinde çalışan gazın mol değerini hesaplamak için gerekli formül aşağıda verilmiştir:

$$M = [P_{(1)} \times V \times A \times \ln(T_H / T_C)] / [R \times (T_H - T_C)] \quad (2.3.8)$$

Burada; $P_{(1)}$: İlk hareket basıncını, V: Silindir hacmini, A: Silindir yüzey alanını ve R: İdeal gaz sabitini ifade etmektedir.

3. Sıcak silindir maksimum seviye hesaplanması aşağıdaki şekilde yapılır:

$$V_L = (\pi \times R_C \times D_B^2) / 2 \quad (2.3.9)$$

Burada; V_L : Sıcak silindir maksimum seviyesini, R_C : Rejeneratör devresini ve D_B : Rejeneratör çapını sıcak silindir tarafında ifade etmektedir.

4. Soğuk silindir maksimum seviye hesaplanması aşağıdaki şekilde yapılır:

$$V_K = [\pi \times R_C \times (D_B^2 - D_D^2)] / 2 \quad (2.3.10)$$

Burada; V_K : Soğuk silindir maksimum seviyesini, D_D : Rejeneratör çapını soğuk silindir tarafında ifade etmektedir.

5. Güç pistonu ile ilişkili soğuk silindir maksimum hacminin hesaplanması için gerekli formül aşağıda verilmiştir:

$$V_P = [\pi \times R_2 \times (D_C^2 - D_D^2)] / 2 \quad (2.3.11)$$

Burada; V_P : Güç pistonu hacmini ve D_C : Motor silindirin içindeki çapı ifade etmektedir.

6. Rejeneratör hacminin hesaplanması aşağıdaki şekilde yapılır:

$$R_D = [\pi \times L_R \times (D_B^2 - D_D^2)] / 2 \quad (2.3.12)$$

Burada; R_D : Rejeneratör hacmini ve L_R : Rejeneratör uzunluğunu ifade etmektedir.

7. 3 adet hacim, anlık sıcak silindir hacmi $H(N)$, anlık soğuk silindir hacmi $C(N)$ ve toplam anlık motor hacmi $V(N)$ 3 dizi tanımlanmaktadır.

8. Anlık sıcak silindir hacminin hesaplanması aşağıdaki şekilde yapılır:

$$H(N) = H_D + [V_L \times (1 - \cos F)] / 2 \quad (2.3.13)$$

Burada; F : krank açısını ve H_D : Sıcak silindir hacmini ifade etmektedir.

9. Anlık soğuk silindir hacminin hesaplanması aşağıdaki şekilde yapılır:

$$C(N) = C_D + [V_K \times (1 + \cos F)] / 2 + [V_P \times (1 - \cos (F - A_L))] / 2 \quad (2.3.14)$$

Burada; C_D : Soğuk silindir hacmini ve A_L : Rejeneratör ve güç pistonu arasındaki açıyı ifade etmektedir.

10. Toplam anlık motor hacminin hesaplanması aşağıdaki şekilde yapılır:

$$V(N) = H(N) + C(N) + R_D \quad (2.3.15)$$

11. Anlık hareket basıncının hesaplanması için gerekli formül aşağıda verilmiştir:

$$P(N) = [M \times R] / [(H(N) / T_H) + (C(N) / T_C) + (R_D / T_R)] \quad (2.3.16)$$

12. Anlık motor hacmindeki değişikliğin hesaplanması aşağıdaki şekilde yapılır:

$$dV = V(N) - V(N - 1) \quad (2.3.17)$$

13. Anlık çalışmanın hesaplanması aşağıdaki şekilde yapılır:

$$dW(N) = P(N) \times dV \quad (2.3.18)$$

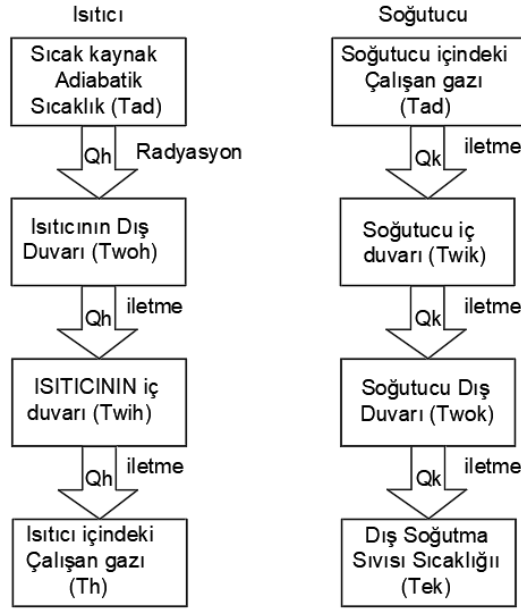
14. Anlık toplam çalışmanın hesaplanması aşağıdaki şekilde yapılır:

$$W(N) = W(N) + dW(N) \quad (2.3.19)$$

Devir başına iş çıkışı hesaplanması için, F ile 0'dan 360'a kadar artırılarak yukarıdaki hesaplamalar tekrarlanır.

Isı transfer modülleri

Yalıtma modülü Stirling motorundaki farklı değişkenleri tahmin etmektedir. Ancak ısı transfer değişkenleri bu tahmine dâhil değildir. Bu nedenle, model sınırlamalarını tamamlamak için ısı transfer modülleri birleştirilir. Bu modüller, motordan çıkan termal enerjiyi dikkate alır [21]. Şekil 2.8'de sıcak ve soğuk silindirlerde çalışan gazın ısının akışı verilmektedir.



Şekil 2.8. Sıcak ve soğuk silindirlerde çalışan gaza ısının akışı

Isı transfer analizi iki şekilde verilmiştir:

- 1- **Harici ısı modülü:** Sıcak veya soğuk kaynaktan ısı rejeneratör dış duvarına uygulanmaktadır.
- 2- **Dâhili ısı modülü:** Sıcak veya soğuk kaynaktan ısı rejeneratör iç duvarına uygulanmaktadır.

Harici ısı modülü ve dahili ısı modülü için hesaplamalarda aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır.

Dâhili ısı transfer modülü

- a. Isıtıcının ısıtma miktarı şu şekilde hesaplanır:

$$Q_h = [T_{wh} - T_h] / [R_{cih} + R_{hih} + R_{fih}] \quad (2.3.20)$$

Burada; Q_h : Isıtıcın ısıtma miktarını, T_{wh} : Isıtıcının dış duvar sıcaklığını, T_h : Isıtıcı içinde çalışan gazın sıcaklığını, R_{cih} : Soğuk silindir devresini, R_{hih} : Sıcak silindir devresini ve R_{fih} : Rejeneratör devresini ifade etmektedir [22].

- b. Isıtıcının ısıtma transferi hesabı aşağıdaki şekilde yapılır:

$$h_{ih} = [C_{fh} \times C_{ph} \times \mu_h] / [2 \times d_h \times P_{rh}] \quad (2.3.21)$$

Burada; h_{ih} : Isıtıcın ısıtma transferini, C_{fh} : Sıcak silindir ısıtma transferinin katsayısını, C_{ph} : Rejeneratör ısıtma transferinin katsayısını, μ_h : Isıtma transferi katsayısını, d_o : Soğuk silindir dış çapını ve P_{rh} : Sıcak silindir basıncını ifade etmektedir.

- c. Soğutucunun ısıtma miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$Q_k = [T_{wih} - T_k] / [R_{cih} + R_{hih} + R_{fih}] \quad (2.3.22)$$

Burada; Q_k : Soğutucunun ısıtma miktarını, T_{wok} : Soğutucunun dış duvar sıcaklığını ve T_h : Soğutucunun içindeki çalışan gazın sıcaklığını ifade etmektedir.

- d. Soğutucunun ısıtma transferi hesabı aşağıdaki şekilde yapılır:

$$h_{ik} = [C_{fk} \times C_{ph} \times \mu_h] / [2 \times d_h \times P_{rh}] \quad (2.3.23)$$

Burada; h_{ik} : Soğutucunun ısıtma transferini, C_{fk} : Soğuk silindir ısıtma transfer katsayısını ifade etmektedir.

Enerji kayıpları modülü

Önceki modüller de kullanılmayan hacimler, ısı transfer sınırı ve rejenerasyon kusuru kaynaklı enerji kayıpları hesaplanmamıştır. Enerji kayıpları modülünde, kullanılmayan hacimler, ısı transfer sınırı, rejenerasyon kusuru ve motor kayıpları hesaplanmıştır [23].

- a. Isıtıcının ve soğutucunun enerji kayıpları aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\Delta P_I = [c \times f \times \rho \times v^2 \times L_H] / [2 \times L_k] \quad (2.3.24)$$

Burada; c : Isı transfer sabitini, f : Radyasyon iletim katsayısını, ρ : Basınç şiddetini, v : Ortalama kayma hızını, L_H : Isıtıcının uzunluğunu ve L_k : Soğutucunun uzunluğunu ifade etmektedir.

- b. Rejeneratör enerji kayıplarının hesaplanması ise aşağıdaki şekilde yapılır:

$$\Delta P_{II} = [C_f \times n \times \rho \times v^2] / 2 \quad (2.3.24)$$

Burada; C_f, n : ve ρ : ifade etmektedir.

c. Toplam kayıpların hesaplanması aşağıdaki şekilde yapılır:

$$W_{\text{ploss}} = \int_0^{2\pi} \left(\sum_{i=1}^{i=3} \Delta P_i * \frac{dV_e}{d\varphi} \right) d\varphi \quad (2.3.25)$$

Yapılan MATLAB analizi EK-A3 de verilmiştir. Test durumunda iş çıkışı elde etmek için aşağıdaki motor parametreleri seçilir. Bunlar rastgele seçilen parametreler değildir, MATLAB analizinin defalarca çalıştırması ve hedeflenen güç çıkışının optimize edilmesi sonucu belirlenmiştir:

1. Motor tipi GAMA
2. Sıcak silindir çalışma hacmi, $\text{cm}^3 = 36 \text{ cm}^3$
3. Soğuk silindir çalışma hacmi, $\text{cm}^3 = 36 \text{ cm}^3$
4. Çalışma pistonu çalışma hacmi, $\text{cm}^3 = 30 \text{ cm}^3$
5. Sıcak silindir ısı değiştirici hacmi, $\text{cm}^3 = 3 \text{ cm}^3$
6. Soğuk silindir ısı değiştirici hacmi, $\text{cm}^3 = 3 \text{ cm}^3$
7. Rejeneratör hacmi, $\text{cm}^3 = 1.75 \text{ cm}^3$
8. $K = 800 \text{ K}$ 'da sıcak uçlu ısı değiştirici sıcaklığı
9. $K = 300 \text{ K}$ 'da soğuk uçlu ısı değiştirici sıcaklığı
10. $K = 450 \text{ K}$ 'de etkili rejeneratör sıcaklığı
11. Piston ve çalışma pistonu arasındaki faz açısı $= 90$
12. Çalışma gazı Helyum
13. Motorda dolu gaz kütlesi $= 0.1 \text{ mol}$
14. Helyum için özgül ısı oranı $= 1.6667$

2.4.3. Uygulanan Stirling motoru (GPU-3)

Gama tipi bir konfigürasyon kullanan GPU-3 Stirling motoru El.Ma. (Electronic Machining) tarafından geliştirilmiştir. GPU-3 Stirling'in kapsamlı deneysel performans analizi, Martini tarafından yazılan el kitabında NASA tarafından belgelenmiştir [11]. GPU-3 Stirling'in yapısını ve çalışma hacimlerini, çalışma sıcaklıklarını ve ortalama basıncını ve parametrelerini bilmek önemlidir [24]. GPU-3, El.Ma. (Electronic

Machining) tarafından üretilen en başarılı Stirling motorlarından biridir. GPU-3, farklı ortam basınçlarında ve farklı sıcaklıklarda çalışabilir. GPU-3 Stirling motorunun özellikleri Tablo 2.3'te gösterilmiştir.

Tablo 2.3. GPU-3 Stirling motorunun özellikleri

Parametre	Değerleri	Parametre	Değerleri
Sıcak silindir		Soğuk silindir	
Basınç varsayımı	2 bar	Basınç varsayımı	2 bar
Sıcak silindir dış çapı D_o	30 cm	Soğuk silindir dış çapı d_o	28 cm
Silindir kalınlığı T_{hc}	1,5 mm	Silindir kalınlığı t_{cc}	1,5 mm
Sıcak silindirin iç çapı D_i	0,5 mm	Sıcak silindirin iç çapı d_c	0,5 mm
Sıcak silindirin uzunluğu L_h	75 cm	Soğuk silindirin uzunluğu l_c	67 cm
Sıcak piston		Soğuk piston	
Sıcak piston çapı D_p	29,5 mm	Soğuk piston çapı d_p	27,5 mm
Sıcak pistonun kalınlığı T_{hp}	1,2 mm	Soğuk pistonun kalınlığı t_{cp}	1 mm
Sıcak pistonun uzunluğu L_p	80mm	Soğuk pistonun uzunluğu l_p	35mm

GPU-3 Stirling motoru Şekil 2.19'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. GPU-3 Stirling motoru

2.5. Kolektör (Çanak)

Güneş ışığının toplanması için mercek sistemi kullanılabilir. Mercek sistemi pahallı ve meşakkatli olduğu için çok tercih edilmemektedir. Gerçekleştirilen bu projede, kolay ve ucuz yoldan güneş ışığının toplanmasına çalışılmıştır. Güneş ışınlarının toplanması ve istenen noktaya odaklanması için çanak kullanılmıştır. Kullanılan çanak sisteminin yüzeyi alüminyum tabaka ile kaplanmıştır. Bunun sonucunda çok güçlü ışık ve sıcaklık kaynağı elde edilebilmiştir [26].

2.5.1. Konsantrasyon oranı

Diğer konsantre sistemlerde olduğu gibi, konsantrasyon oranını kolektörün merkezi parametrelerinden hesaplamak önemlidir. Konsantrasyon oranı, Stirling motorunun tahmini gücünü hesaplamak için kullanılmaktadır. Konsantrasyon oranı C, odak noktasında ışın akısı yoğunluğunun oranı olarak tanımlanmaktadır. Konsantrasyon oranının hesaplanması aşağıdaki şekilde yapılır:

$$C = [C_{im}] / [G] \quad (2.4.1)$$

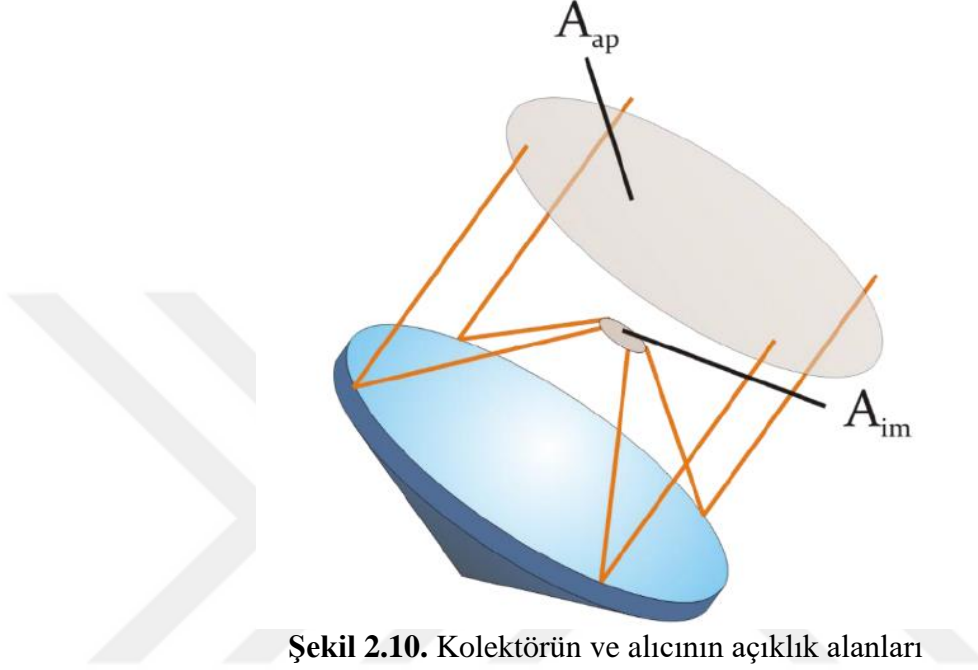
Burada; C: Konsantrasyon oranını, C_{im} : Işın akı yoğunluğunu ve G: Güneş enerjisi potansiyelini ifade etmektedir.

Diğer yandan normal ışınım için odak noktasındaki ortalama radyant akı yoğunluğu kullanılarak ortalama bir konsantrasyon oranı elde edilebilir. Yine odak noktasındaki radyant akı yoğunluk değişkenleri hesaplanarak anlık konsantrasyon oranı değerlendirilebilir. Bu durumda, özel bir nokta ile bağlantılı konsantrasyon oranını tanımlamak için odak noktasındaki konsantrasyon C_{im} olarak alınır. Odak noktasındaki düzensiz radyant akı yoğunluğunun dağılımı, doğrudan güneş radyasyonunun tam ışık yayılmasının ve kendi bölümündeki güneş disk uzantısının bir sonucudur [26].

Ortalama konsantrasyon oranı C_G herhangi bir ölçüm yapılmadan, aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$C_G = [A_{ap}] / [A_{im}] \quad (2.4.2)$$

Burada; C_G : Ortalama konsantrasyon oranını, A_{ap} : Kolektörün açıklık alanını ve A_{im} : Alıcının açıklık alanını ifade etmektedir. Ortalama konsantrasyon oranı kolektörün açıklık alanının alıcının açıklık alanına oranıdır. Ortalama konsantrasyon oranı, kolektörün açıklık alanı ve alıcının açıklık alanı Şekil 2.10'da gösterilmiştir.

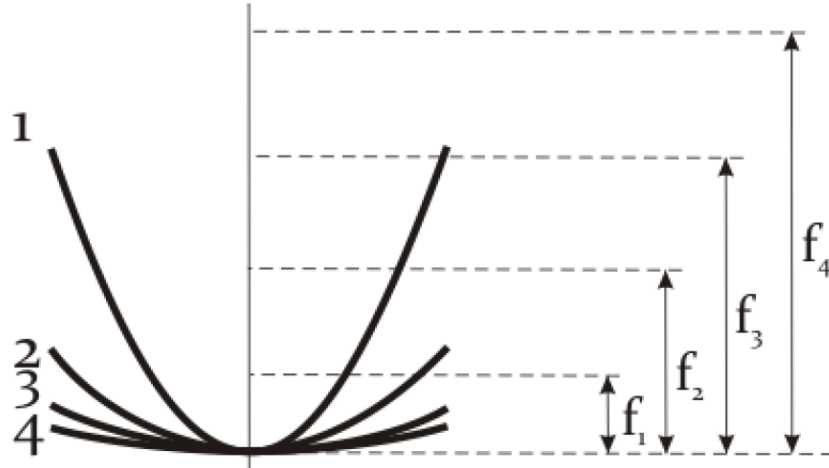


Şekil 2.10. Kolektörün ve alıcının açıklık alanları

Ortalama konsantrasyon oranı sadece gerçek radyasyon konsantrasyonunun yaklaşımıdır. Öncelikle aynanın sınırlı yansıtması değerlendirilmemektedir. İkincisi, geometrik ayna kusurları uzak alıcı açıklıktan gelen ışığın yalnızca bir kısmını dağıtabilir. Üçüncü olarak da kolektör üzerindeki gölge etkileri göz ardı edilmektedir.

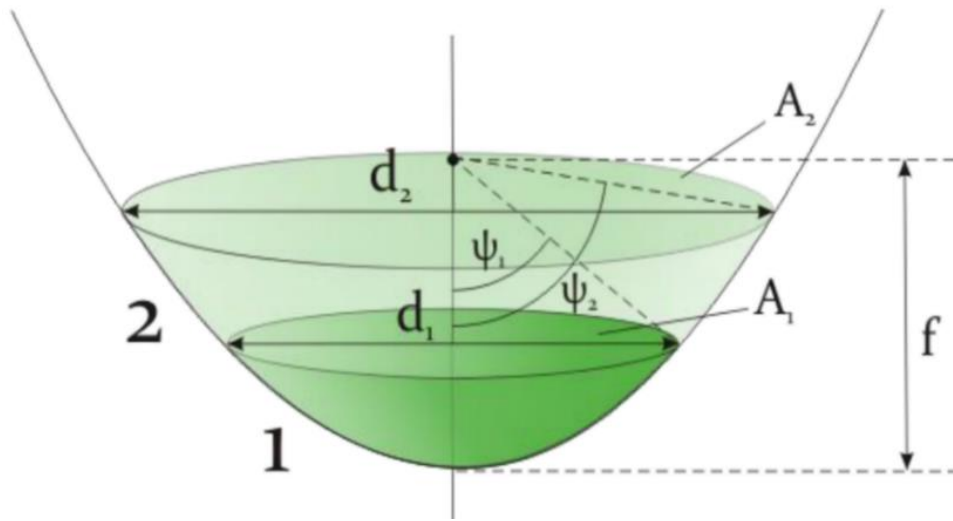
Yukarıda sözü edildiği gibi, bir güneş çanağı parabolik ya da yaklaşık olarak ona benzer şekle sahiptir. Bir parabolün geometrik şekli kendi ölçülerinde sonsuz iken parabolik bir ayna bir parabolün sadece bir kesitini kapsamaktadır. Yani bir parabolün ölçüsünü ve şeklini tanımlamak için ilk olarak parabolün tanımına ihtiyaç vardır. İkinci olarak da parabolün ayna kapaklarının tanımı yapılmalıdır. Dolayısıyla bir parabolik aynanın şekli ve ölçüsü için iki parametreye gereksinim vardır.

Analitik olarak, dairesel bir paraboloid olarak kartezyen koordinat sistemi olarak tarif edilebilir. $a^2 + b^2 = 4fz$; f : odak uzaklığı, tek parametredir. Yüzey odak uzaklıklarının değişimi (Focal length as shape parameter) Şekil 2.11’de gösterilmiştir[16].



Şekil 2.11. Yüzey odak uzaklıklarının değişimi

Parabolik bir ayna kapağını içeren bölüm, bir paraboloidin dölnel simetrik kesitini tanımlar. Bu demektir ki, tüm kenarları tepe noktasından aynı uzaklıkta olan kesiti kapsar. Parabolik ayna kapaklarının kesit uzaklığını tanımlamak için çeşitli yöntemler kullanılabilir. Örneğin; açma yüzeyi, açma çapı veya daire ile optik eksen ve daire, odak noktası ve ayna açısı arasındaki ağız açısı kullanılabilir. Çanak parametreleri Şekil 2.12’de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Geometrik çanak parametreleri

Bazen kolektörün mutlak büyüklüğü önemli değildir, ancak şekli önemlidir. İki kolektör geometrik olarak benzerse aynı şekle sahiptir. Diğer bir deyişle bunlardan biri muntazam bir ölçekleme ile diğerine uygun hale getirilebilir. Bu durumda, bir tek parametre yeterlidir. Bu parametre tamamen bir kolektörün şeklini tanımlayan bir ağız açısı olabilir (ψ). Ağız açısını belirtmek, bir parabolik aynanın şeklini belirtmek için kısa ve etkili bir yoldur. Ağız açısının aynanın şeklini tamamen tanımlaması şaşırtıcı olsa da ispatlar ayrıntılı olarak ekte sunulmuştur.

Kolektör ağız açısı odaklama uzaklığının diyafram çapına oranı ile bağlantılıdır. Parabolün cebirsel temsili vardır ($y = x^2 / 4f$) ve Şekil 2.13'te verilmiştir.

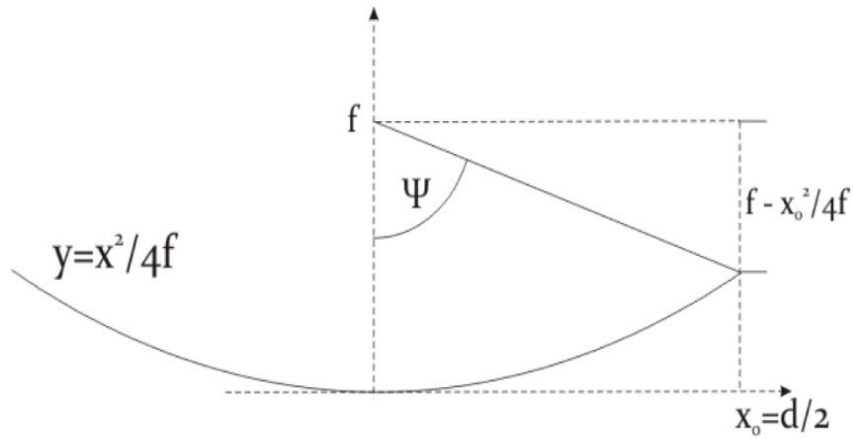
Kolektör ağız açısının hesaplanması aşağıdaki şekilde yapılır:

$$\tan \psi = O_X / [f - (X_o^2 / 4f)] \quad (2.4.3)$$

Burada; ψ : Kolektör ağız açısını, ($X_o = d / 2$) d : Kolektör açıklık alanının yarıçapını ve f : kolektör odaklama uzaklığını ifade etmektedir.

($d = 2 \times X_o$) kolektör açıklık alanının yarıçapı, denklemde X_o yerine konulduğunda, kolektör ağız açısının hesaplanması aşağıdaki şekilde yapılır:

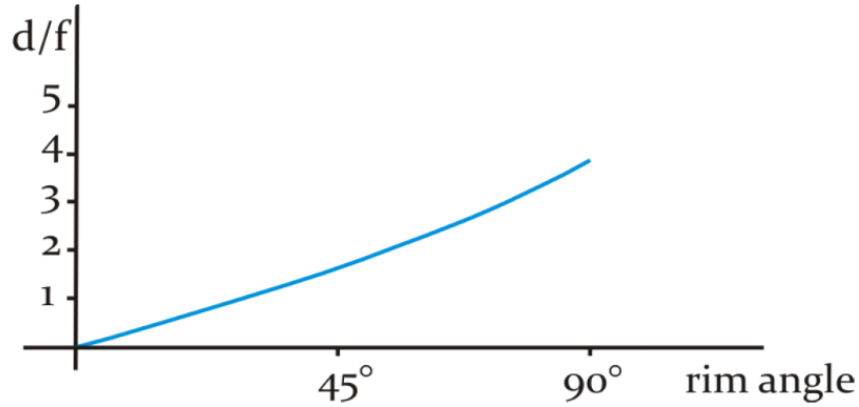
$$\tan \psi = d / \{ f \times [2 - 8 \times (d / f)^2] \} \quad (2.4.4)$$



Şekil 2.13. Bir paraboloidin enine kesitte ağız açısının temsili

Her hangi bir (d) kolektör açıklık alanının yarıçapı ve (f) kolektör odaklama uzaklığı, kolektör ağız açısı kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanır ve Şekil 2.14'teki şema bu ilişkiyi temsil etmektedir.

$$d / f = - (4 / \tan \psi) + [16 + (16 / (\tan \psi)^2)^{-0.5}] \quad (2.4.5)$$



Şekil 2.14. Ağız açısı ve d/f değeri arasındaki ilişki

2.5.2. Kolektör malzemesi

Yüksek yansıtıcı faktörlere sahip kolektör yüzey malzemesinin seçilmesi önemlidir. Kolektör olarak ışınların yoğunlaştırıldığı yansıtıcı yüzeyler için farklı ürünler seçilebilir. Yüzeyde kullanılan bazı malzemeler ve yansıtma oranı Tablo 2.4'te verilmiştir. Tasarlanan ve uygulanan çanak sisteminin yüzeyi alüminyum tabaka ile kaplanmıştır. Alüminyum tabaka hem yüksek yansıtma faktörüne sahip olması hem de maliyet tarafından daha uygun olması nedeniyle seçilmiştir.

Tablo 2.4. Yüzeyde kullanılan bazı malzemeler ve yansıtma oranları

Malzeme	Yansıtma faktörü
Gümüş	0,94
Arkası gümüş ayna	0,88
Alüminyum tabaka	0,88
Altın	0,76

Kolektör seçiminde aşağıdaki özelliklere dikkat etmek gerekir:

1. Yansıtıcı yüzey:

Reflektör yüksek yansıtıcı yüzeye sahip olmalıdır. Ayna tipi malzemeler için güneş spektral aralığı yansıtma değerleri 0,7 ve 0,9 arasındadır.

2. İklim direnci:

Kalıcı bir yüksek yansıtma sağlamak için konsantratör ve kaplamanın, iklimsel stres faktörlerine, UV ışığı ve yüksek sıcaklık değişimlerine, özellikle de yüksek günlük varyasyonlarına karşı dayanıklı olması gerekmektedir.

3. Ağırlık:

Hafiflik, kolay taşıma ve hafif yatak yapısı bakımından bir avantajdır. Ayrıca kolay takip sağlanabildiğinden daha az enerji tüketimi gerekmektedir.

4. Düşük maliyet ve bakım gerekliliği

Daha verimli yansıtıcı yüzey elde edebilmek için:

- Yansıtıcı yüzey basit parlatılmış metal, alüminyum ya da paslanmaz çelikten imal edilebilir.
- Yansıtıcı yüzey üzerinde arka yüzü kaplanmış cam ayna kullanılabilir.
- Ayrıca yüzey koruması için plastik filmler taşıyan ve ters uygulanan yansıtıcı metal tabakalar kullanılabilir.

2.5.3. Kolektör tasarımı

Güneşten zemin seviyesinde alınan enerjinin toplam miktarı güneşe olan mesafemize ve yılın zamanına bağlıdır. Temmuz ayında bu değer % 3,3'den daha yüksektir ve Ocak ayında % 3,3'den daha düşüktür.

Kolektör ölçüleri temel olarak istenen elektrik gücü, güneş enerjisi potansiyeli ve sistem verimliliğine bağlıdır [19]. Kolektörün açıklık alanının hesaplanması aşağıdaki şekilde yapılır:

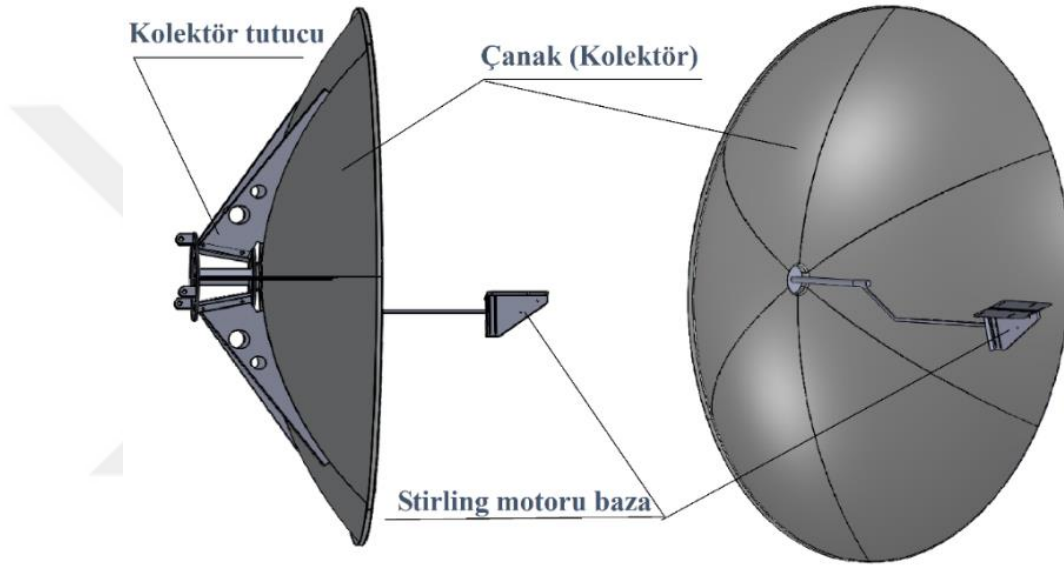
$$A_{ap} = P_{el} / (\eta_{sys} \times G) \quad (2.4.6)$$

Burada; A_{ap} : Kolektörün açıklık alanını, P_{el} : İstenen elektrik gücünü ve G : Güneş enerjisi potansiyelini ifade etmektedir.

Denklem 2.4.6'ya göre, kolektör açıklık alanının yarıçapının hesaplanması ise aşağıdaki şekilde yapılır:

$$d = \sqrt{P_{el} / (\pi \times \eta_{sys} \times G)} \quad (2.4.7)$$

Tasarlanan ve uygulanan çanak sistemi Şekil 2.15'te gösterilmiştir. Tasarlanan ve uygulanan çanak sistemi ile ilgili teknik resimler Ek A1'de verilmiştir.



Şekil 2.15. Tasarlanan ve uygulanan çanak sistemini

Kolektör Hataları

Optik kolektör kayıpları geometrik hatalardan ve yansıtıcı malzemenin sınırlı yansıtma özelliğinden kaynaklanmaktadır. Geometrik hatalar üç kısımda incelenebilir:

a. Meyil hatası:

İdeal bir çanak yüzeyi dairesel bir parabolik şekle sahiptir. İdeal şekille bağlantılı olarak bir ayna yüzeyindeki açısal sapmalar, meyil hataları olarak adlandırılır.

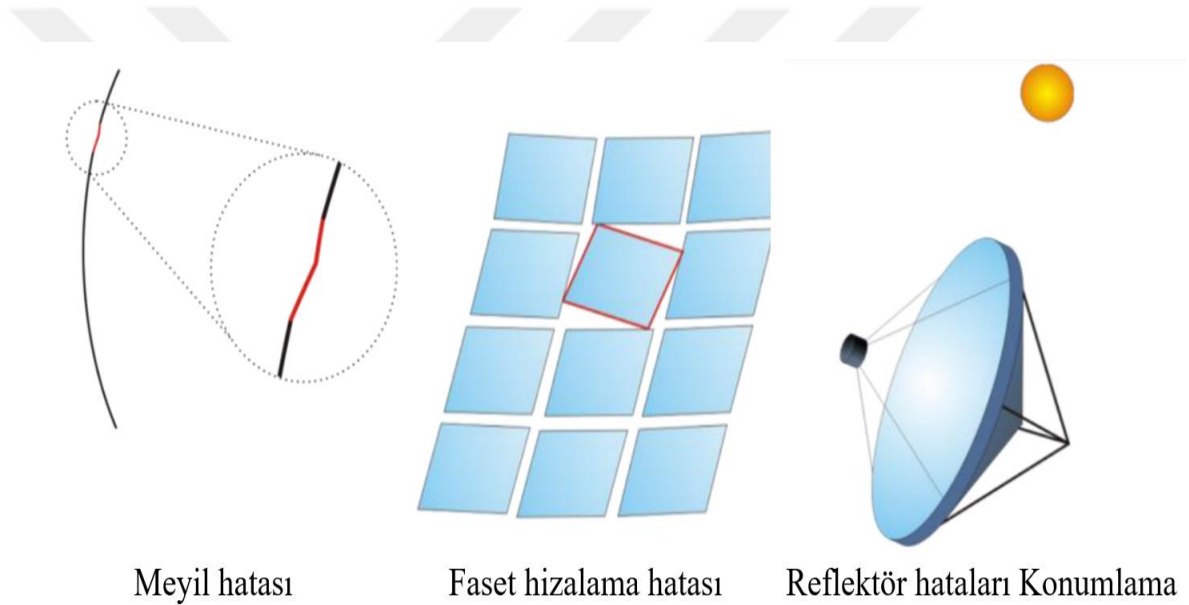
b. Faset hizalama hatası:

Çok yönlü reflektörde, bir destek çerçevesine bir sayı ile yerleştirilen fasetler uygunsuz montaj yüzünden geometrik hatalara neden olabilir ve bu durumda ışık ya parçalı şekilde yansır ya da hiç yansımaz.

c. Reflektörlerin hatalı konumlanması:

Parabolik çanak güneş doğrultusunda optik eksenini korumak için iki eksenli izlemeye ihtiyaç duymaktadır. Çanaklar konumlandırma ve izleme hatalarına da meyillidir. Konumlandırma hataları optik sistem ekseninin güneş ile uyumlu olmadığını gösterir.

Geometrik kolektör hatalarının çeşitleri Şekil 2.16'da gösterilmiştir [12].



Şekil 2.16. Geometrik kolektör hatalarının çeşitleri

2.5.4. Kolektör desteği

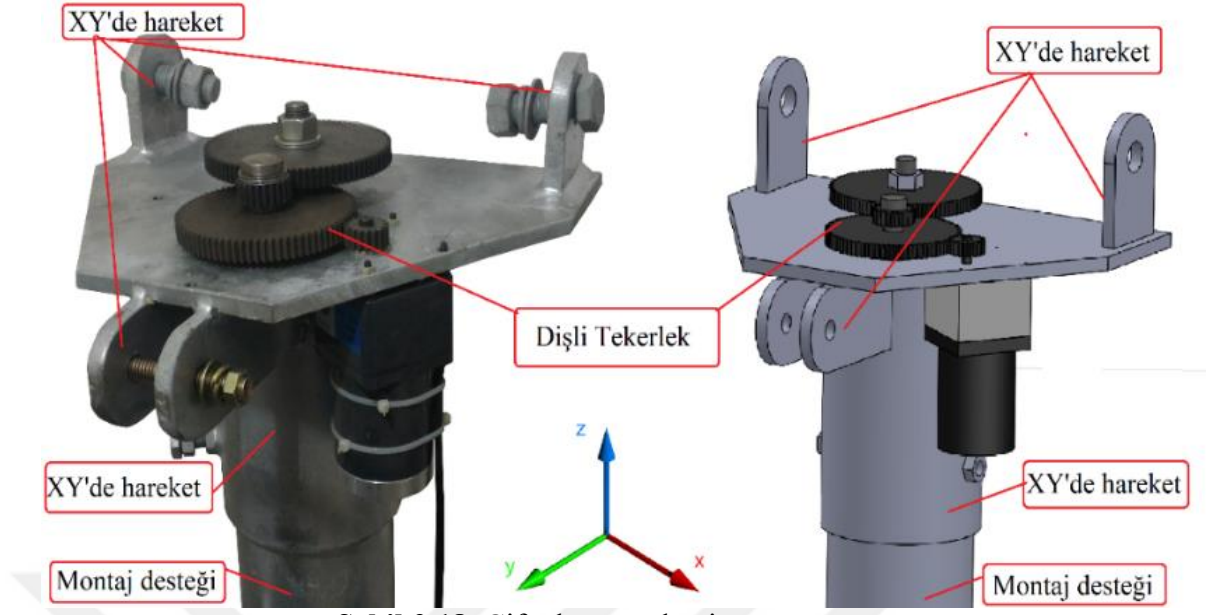
Kolektör desteğinde kullanılan malzeme; boru çapı 113,5 mm, uzunluğu 1500 mm ve kalınlığı 8 mm olan sıcak haddelenmiş (HRP) sacdır. Tüm parçalara kaynaktan sonra sıcak daldırma galvaniz işlemi uygulanmıştır. Bu destek ağırlığa ve farklı dış kuvvetlere (Örnek: rüzgâr kuvveti) dayanıklı olmalı, mekanik stabilite ile denge sağlamalıdır. Bu projede sistem ağırlığı 126 kg'dır. Kolektör destek tasarımı Şekil 2.17'de gösterilmiştir. Kolektör desteği ilgili teknik resimler Ek A1'de verilmiştir.



2.6. Çift Eksen Mekanizma Tasarımı

Kolektör yoğunluğu noktasında maksimum güneş enerjisi elde etmek için iki eksenli bir takip sistemine ihtiyaç bulunmaktadır. Böylece kolektör her zaman güneşe doğru yönlendirilir ve doğrudan güneş radyasyonu sistemin optik eksenine odaklanır. Mekanizmada dişli çark, iletilebilen güç ve ulaşılabilen hızları kontrol edebilir. Mekanizma içerisindeki parçaların yağlı olması gerektiğinden dolayı su, toz vb. etkenlerden korunması için sac malzemeden bir kapak yapılmıştır.

Mekanizma (Z-Y) aşağı-yukarı ve (X-Y) sağa-sol hareketlerini sağlayacak 2 adet DC motor ve bunların hareketlerini sisteme aktaracak olan dişlilerden oluşmaktadır. Çift eksen mekanizma tasarımı Şekil 2.18’de gösterilmiştir. Çift eksen mekanizma ile ilgili teknik resimler Ek A1’de verilmiştir.

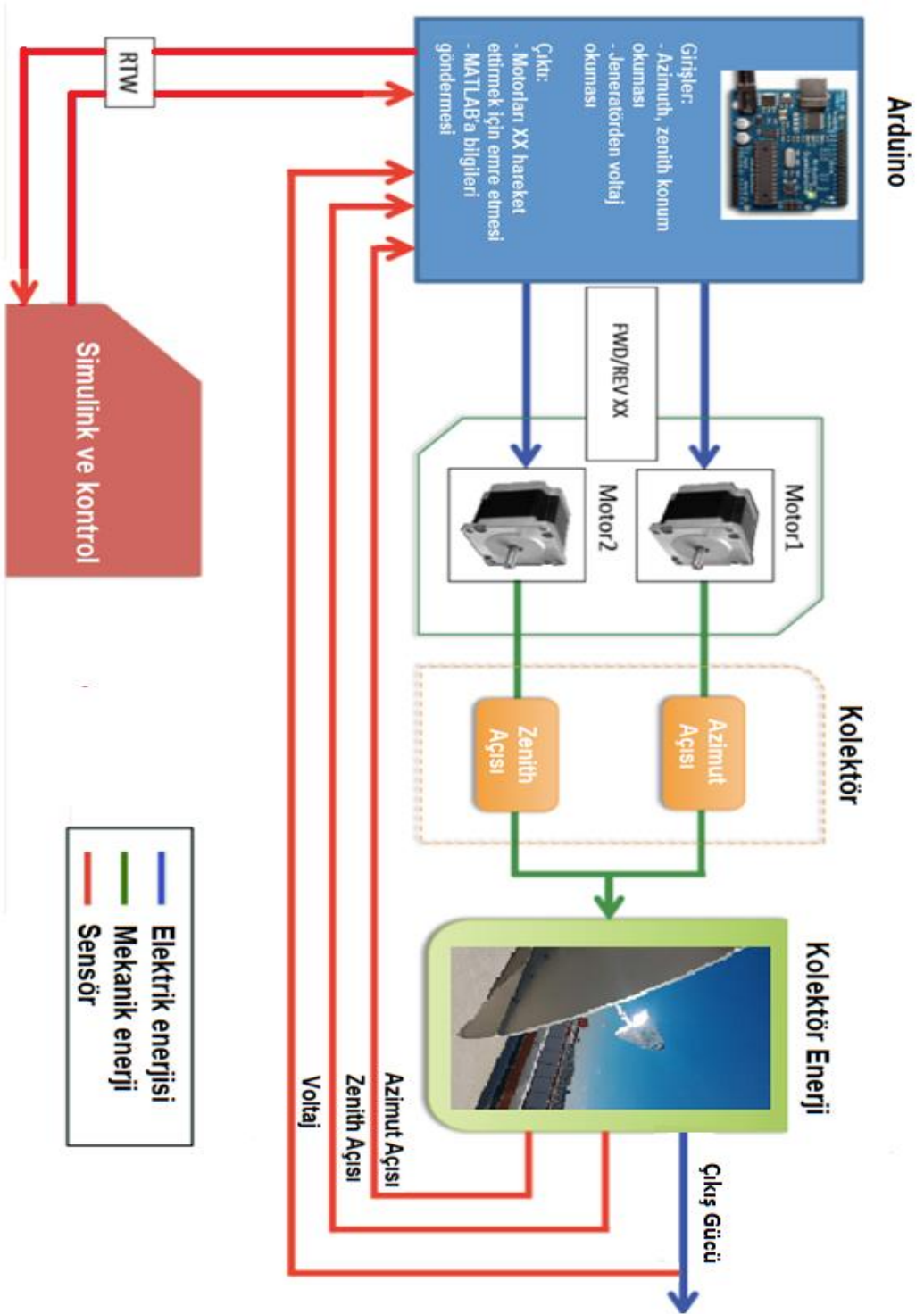


Şekil 2.18. Çift eksen mekanizma tasarımı

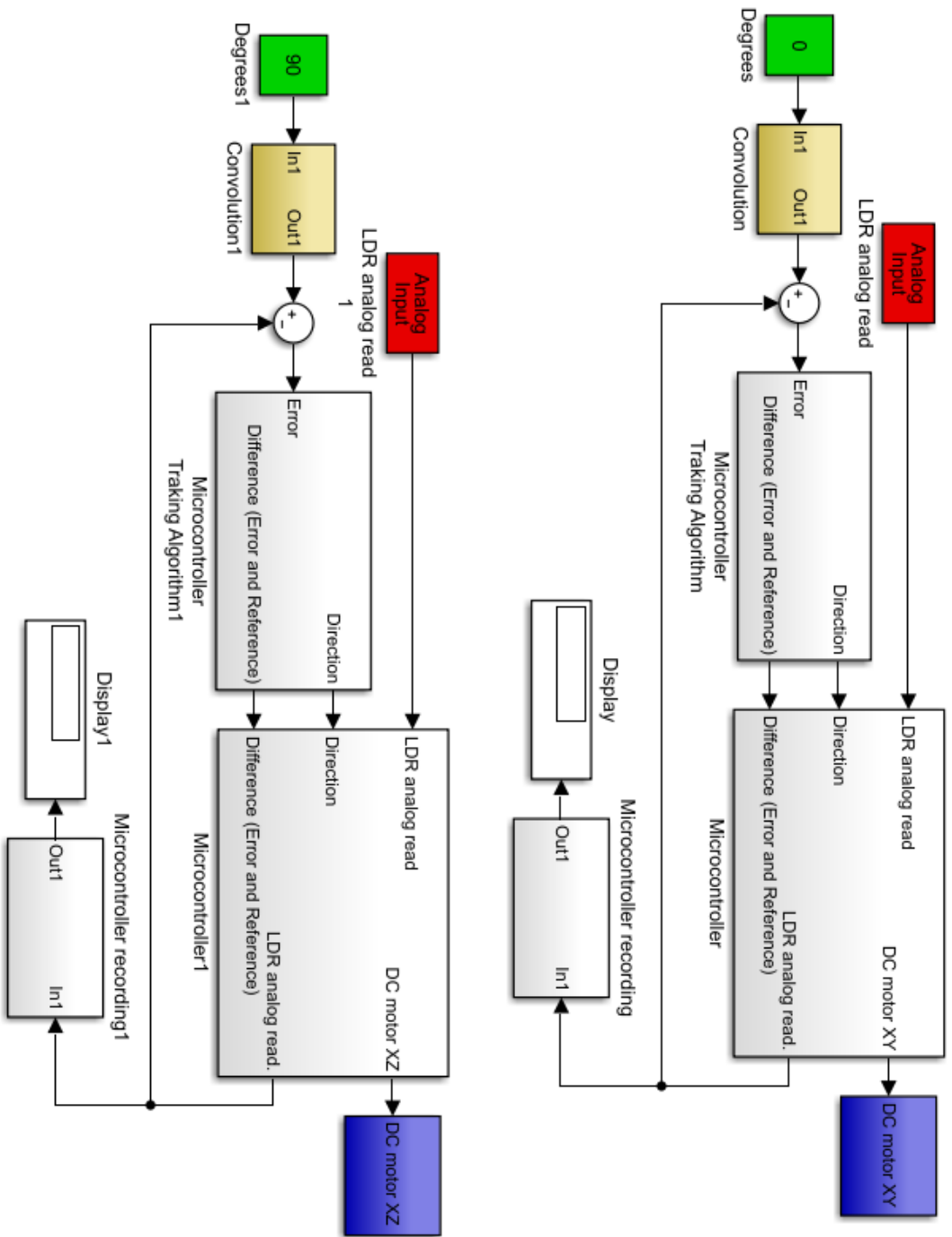
2.7. Güneş Takip Sistemi

Bu tezde çift eksen mekanizma güneşin doğudan batıya hareketini izlemesi için kullanılmaktadır. Bu şekilde Stirling motoruna gelen güneş ışını açısının dik olması sağlanır. Bu yolla, Stirling motordan üretilen elektrik enerjisi miktarında artış sağlanmaktadır. Takip sistemi aracılığıyla güneş enerjisinin gün boyu kullanılması ve bu şekilde kayıpların azaltılması ve verimin artırılması amaçlanmaktadır. Sistemin ana kontrol algoritması, MATLAB Simulink programları tarafından desteklenerek oluşturulmuştur. Nihai kodlama sürecinin ardından, kontrol algoritması, 32 bit ARM mimarisi 162 MHz mikrodenetleyici üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca devre tasarım programlarıyla elektronik devre oluşturulmuş ve simüle edilmiştir. Güneş takip sistemine ait blok diyagram Şekil 2.19'da gösterilmiştir. Güneş takip sistemi MATLAB simülasyonu Şekil 2.20'de gösterilmiştir.

Mikrodenetleyici, Simulink aracılığıyla bir bilgisayar ile kolayca haberleşebilir. Simülasyon modellerinde gerçek zamanlı blok kullanılarak fiziksel sistemin de gerçek zamanlı olarak çalışması sağlanabilir.



Şekil 2.19. Güneş takip sistemi blok diyagramı



Şekil 2.20. Güneş takip sistemi MATLAB Simülasyonu

Mikrodenetleyici ile bilgisayar arasındaki haberleşme USB portu üzerinden sağlanır. MATLAB ile mikrodenetleyici'den gelen bilgiler analiz edilir. MATLAB simülasyonu için aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

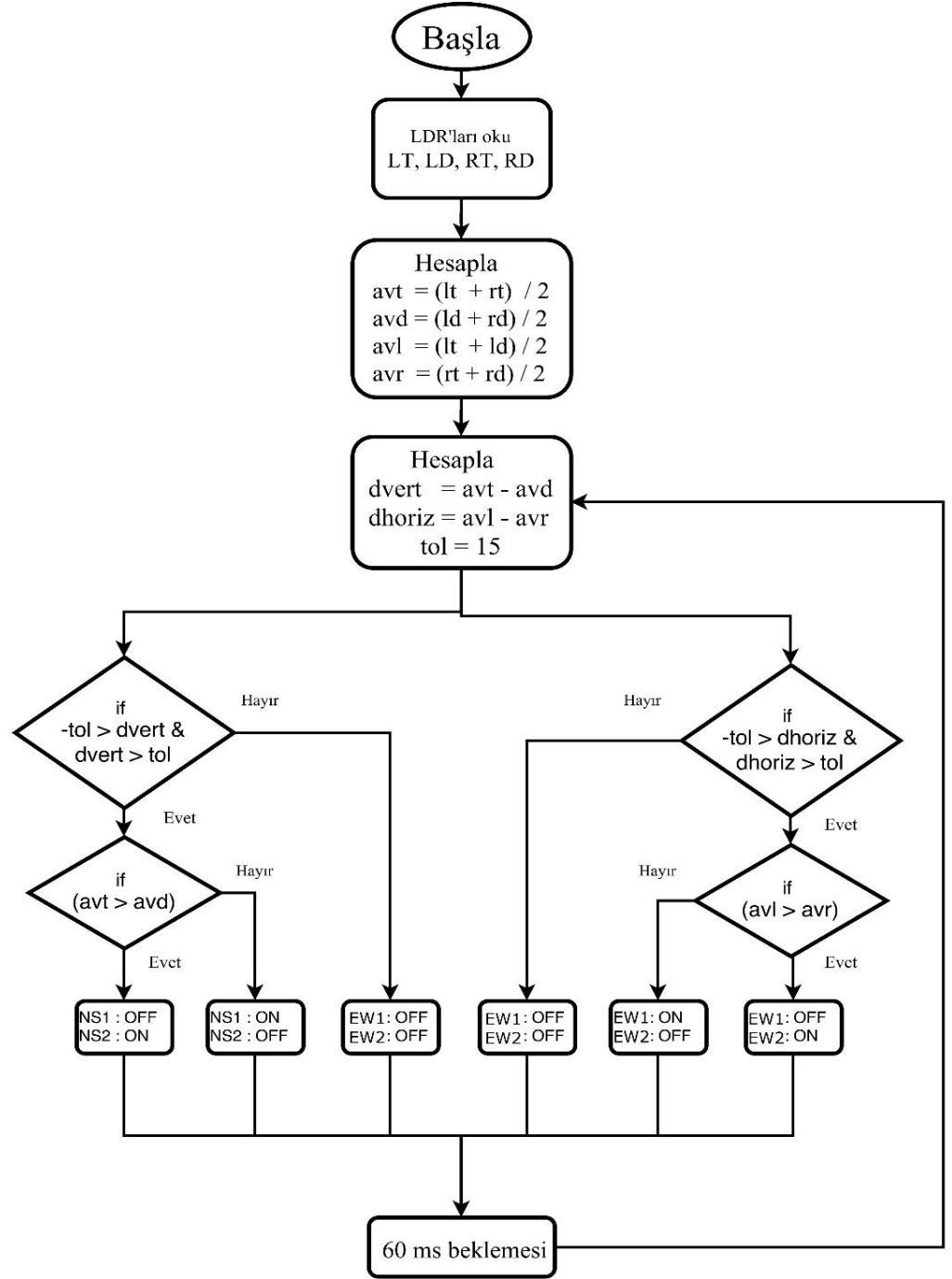
1. Yeni donanımı tanıtmak için Arduino USB'yi masaüstüne takılır.
2. Yeni donanım iletişim portunu tanıtmak için Başlat -> Denetim Masası -> Sistem -> Donanım -> Devicemanager -> Bağlantı Noktaları (COM ve LPT) 'ye gidilir.
3. Arduino destekleyici sürücüleri aşağıdaki bağlantıdan yüklenir.
<http://arduino.cc/en/Guide/Windows#toc4>
4. Aygıt aşağıdaki sayfada yer alan yönergeler izlenerek kurulur.
<http://arduino.cc/en/Guide/UnoDriversWindows8>
Arduino'yu başlatmak için MATLAB destek dosyaları aşağıdaki bağlantıdan yüklenir: <http://www.mathworks.com/MATLABcentral/fileexchange/32374>
5. Aşağıdaki başlatma dosyaları yürütülür: arduino.m ve arduino.m dosyası yüklenir (indirilen MATLAB klasöründen ArduinoIO -> simulink)
6. Modeli çalıştırılır.

Güneş takip sistemi kontrol panelinin malzeme listesi Tablo 2.5'te gösterilmektedir.

Tablo 2.5. Güneş takip sisteminde kullanılan elemanlar

Eleman	Adet	Not
Arduino Uno	1	
Röle Kartı	1	8'li 5V
DC Motor kontrol Kartı	1	
DC Motor	1	
Vites kutusu	1	
Lineer Aktüatör	1	
Foto Direnç	4	LDR
Direnç	4	47 K Ω

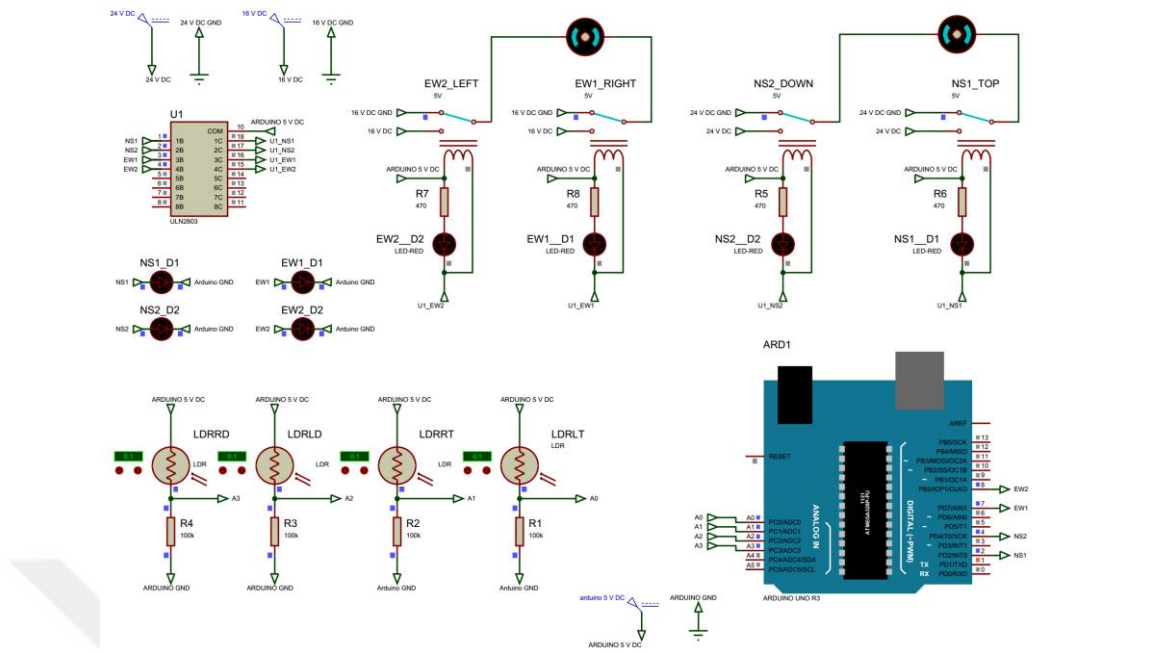
Güneş takip sisteminin çalışma prensibi kolay anlaşılır bir yapıdadır. Güneş takip sistem programının operasyonu Şekil 2.22'de gösterilmektedir. Yazılı kodun algoritması, aşağıdaki adımları içerir.



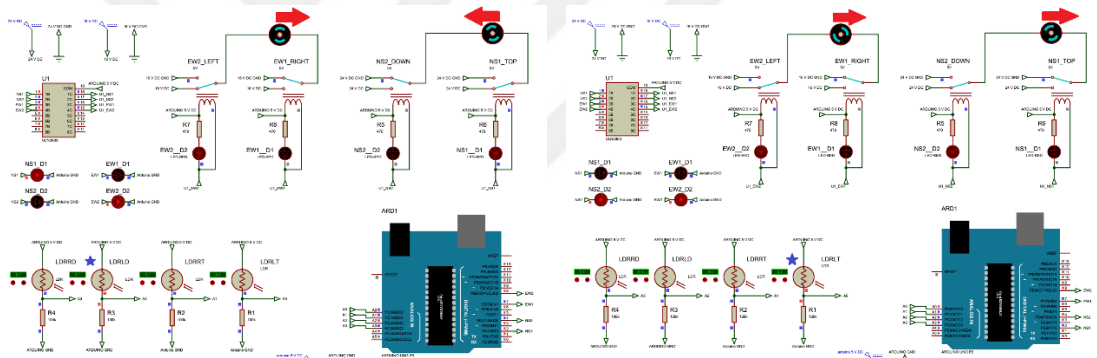
Şekil 2.21. Güneş takip sistemin programının operasyonu

2.8. Güneş Takip Sistemini Proteus Simülâtörü

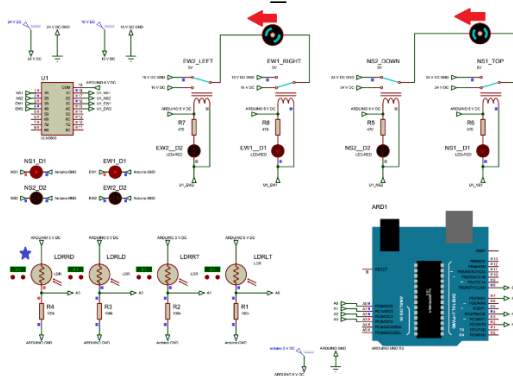
Proteus programı kullanılarak gerçekleştirilen simülasyon Şekil 2.22’de gösterilmektedir



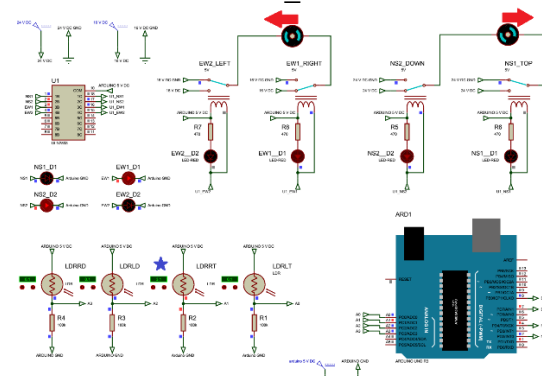
Durum 1



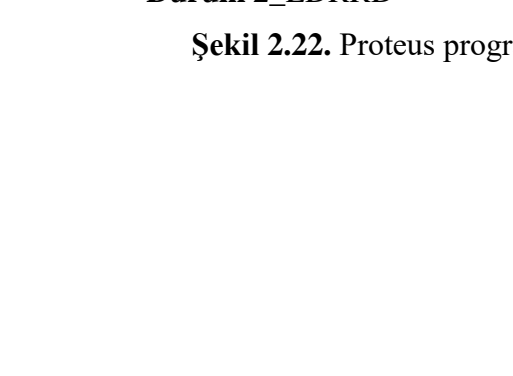
Durum 2_LDRLD



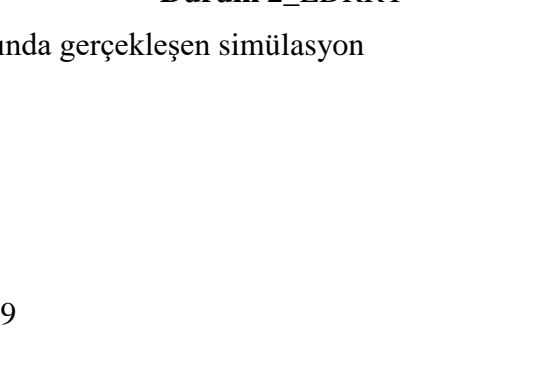
Durum 2_LDRLT



Durum 2_LDRRD



Durum 2_LDRRT



Şekil 2.22. Proteus programında gerçekleştirilen simülasyon

Sistemimizde 2 adet DC motor kullanılıyor, biri dikey yüzeyde (yukarı-aşağı) diğeri yatay düzeyde (sağ-sol) çanağı hareket ettirmekten sorumludur (LDR ile). Daha önce belirtildiği gibi mikro işlemci olarak Arduino-UNO kullanılmıştır, yazılımın doğru sonuç verip vermeyeceğinin kontrolü için Proteus ile simülasyon yapılmıştır. Şekil 2.22’de yer alan çizimde kullanılan sistem görülmektedir.

Durum 1: Tüm LDR’ler eşit ve iyi / uygun ışık yoğunluğu altında:

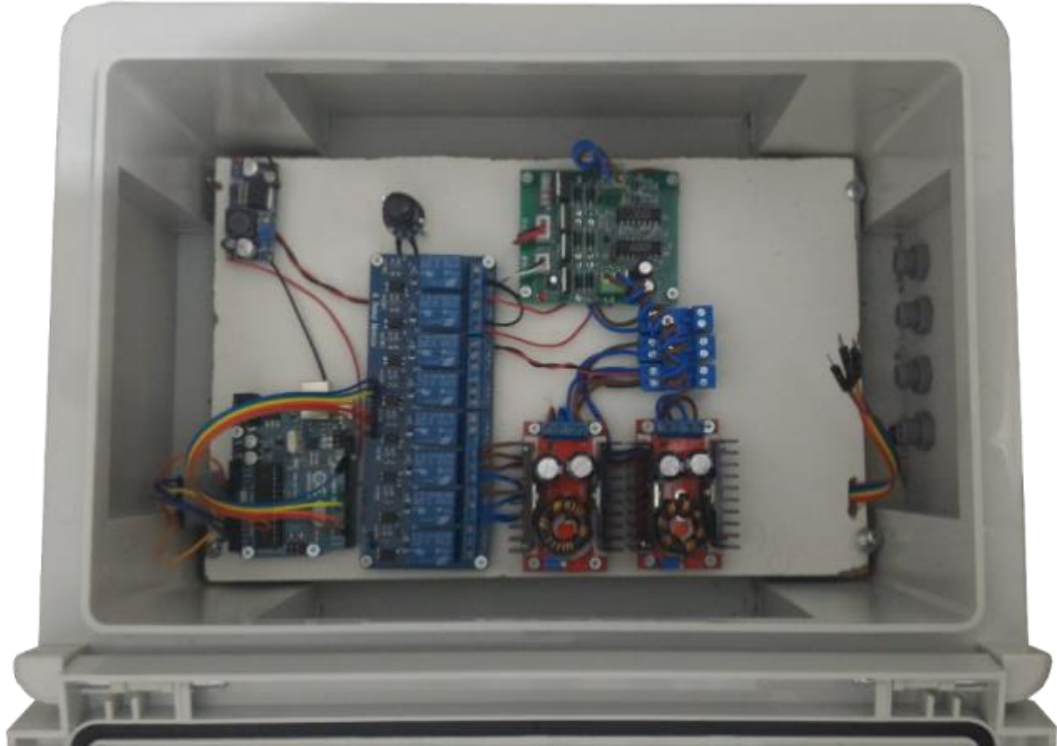
$$\text{LDRLD Işık Yoğunluğu} = \text{LDRLT} = \text{LDRRD} = \text{LDRRT}$$

Burada sensörlere bağlı girişlerde 0,1V okunmaktadır ve Motor EW ve Motor NS dönmemektedir. Bu durum gerçek uygulamada güneş ışığı çanağa dik gelmekte iken gerçekleşmektedir.

Durum 2: LDRX Işık Yoğunluğu > tüm diğeri LDR Işık yoğunluğu

Burada sensöre LDRLD bağlı girişlerine 0,1V -3,91V düşmektedir. Amaç Durum 1’e geri gelmektir, dolayısıyla Motor EW ve Motor NS uygun yön ve şekilde dönmeye başlayacak. (X: LT,LD,RT ya da RD).

Uygulamada kullanılan kontrol panosu Şekil 2.23’te gösterilmiştir



Şekil 2.23. Projenin kontrol panosu

2.9. Sistem Performansı ve Verimliliği

Kolektör toplam kayıpları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır [24].

$$Q_{\text{toplam kayıpları}} = Q_{\text{konveksiyon kayıpları}} + Q_{\text{yansıtılmış kayıpları}} + Q_{\text{optik kayıpları}} \quad (2.7.1)$$

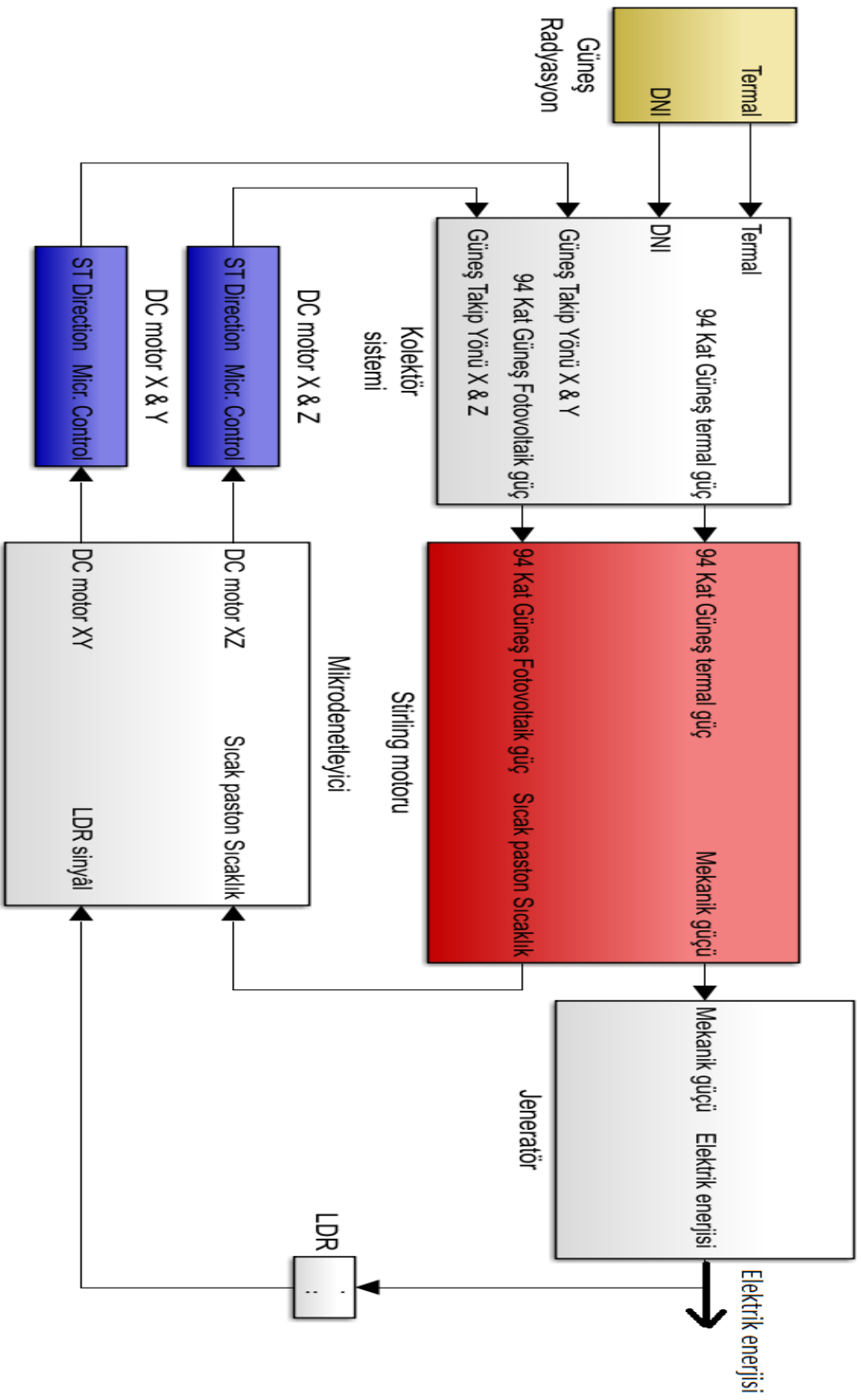
Carnot verim formülü kullanılarak Stirling motor ısıl verimi aşağıdaki gibi hesaplanır [15].

$$\eta_{SE} = (1 - \tau) \times \eta_{II,X} \times \eta_{II,\Delta P} \quad (2.7.2)$$

Buradan sistemin toplam verimliliği şöyle elde edilir[16].

$$\eta_{SİSTEM} = \eta_{\text{Kolektör}} \times \eta_{\text{Rec}} \times \eta_{SE} \times \eta_{\text{Gen}} \quad (2.7.3)$$

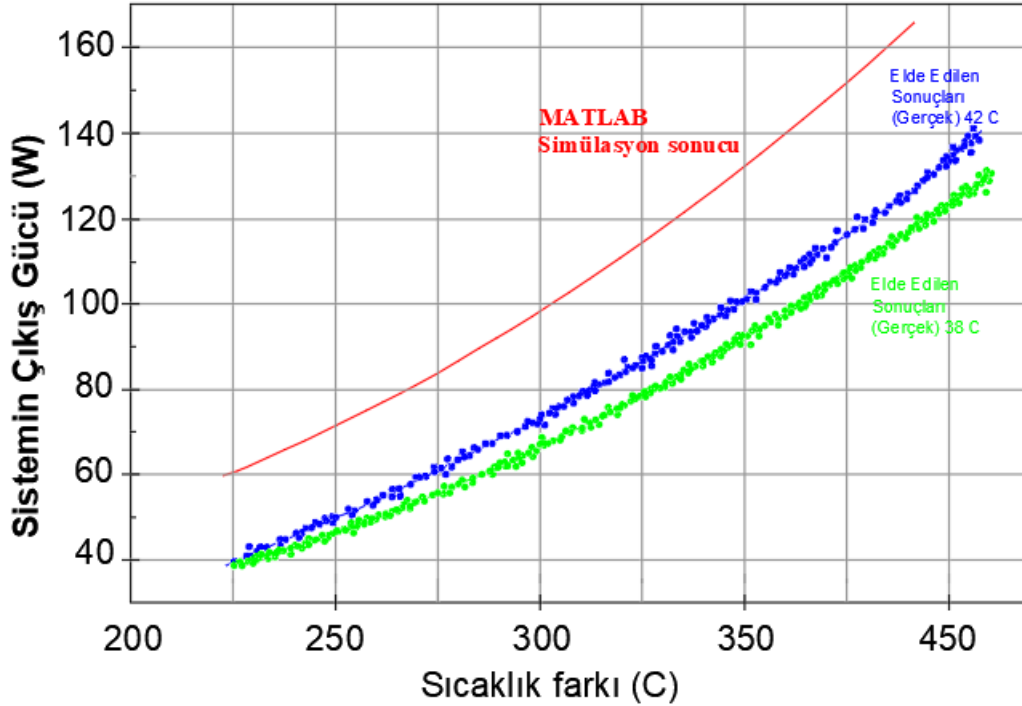
Sistem güç akış şeması Şekil 2.24'te verilmiştir.



Şekil 2.24. Sistem güç akış şeması

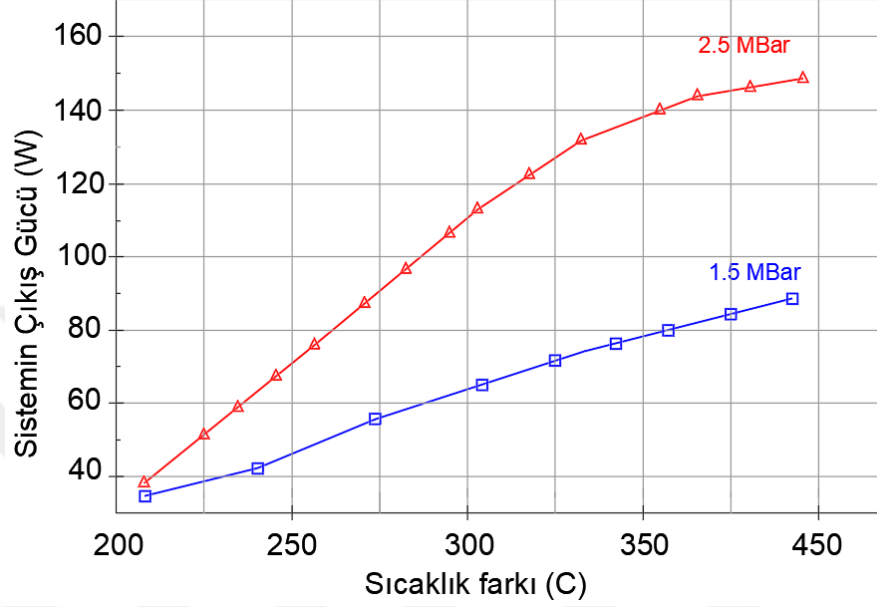
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Proje, deneysel kurulum ve test amacıyla Kilis 7 Aralık Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi binasının çatısında kurulmuştur. İlk deneme 12.07.2017 tarihinde burada gerçekleştirilmiş ve uygun sonuçlar elde edilmiştir. Bu işlemlerde kullanılan ekipmanlar şunlardır: bir pirometre, bir takometre, bir dijital multimetre (DMM), bir wattmetre ve 12V DC motor (150W). Deneysel kurulum için; motorun hızı ve yönü güneş takip sistemi kullanılarak sıcaklık ve güneş yoğunluğuna göre belirlenir. Stirling motoru kolektör odak noktasında takip edilerek, 5 dakika boyunca motor ısınması için çalıştırılmıştır. Sonrasında motor hızının sabitlenmesi için 1 dakika beklenmiştir. Sabit çalışmadan sonraki test aşamasında motorun hızı, yer değiştirici sıcak ve soğuk pistonların sıcaklığı, ortam sıcaklığı verileri kaydedilmiştir. İlk test gününde, birkaç ayarlama problemi görülmüştür. Tüm problemlerin çözümlenmesinden sonra test prosedürü takip eden günlerde devam ettirilmiş ve nihayet kurulan sistemden istenilen sonuçlar alınabilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile MATLAB analiz sonuçları karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 3.1’de verilmiştir.



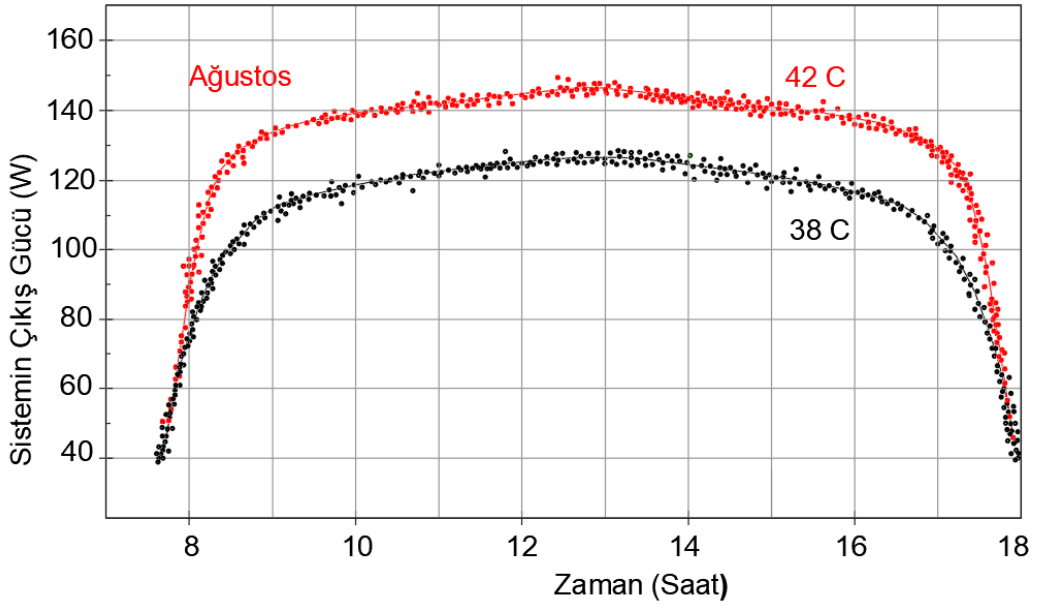
Şekil 3.1. Farklı günlerde (42 C ve 38 C) sistemin çıkış gücü (W)

Şekil 4.2’de farklı sıcaklıklar ve farklı basınçlar için elde edilen MATLAB sonuçları görülmektedir. Simülasyonda çalışan gaz Helyum, sıcak silindir içindeki sıcaklık $T_h = 404^\circ \text{C}$ ve soğuk silindir sıcaklığı ise $T_{wi} = 25^\circ \text{C}$ ’dir. İki farklı basınçta (2.5 MBar kırmızı renk ve 1.5 MBar mavi renk) simülasyon yapılmıştır.



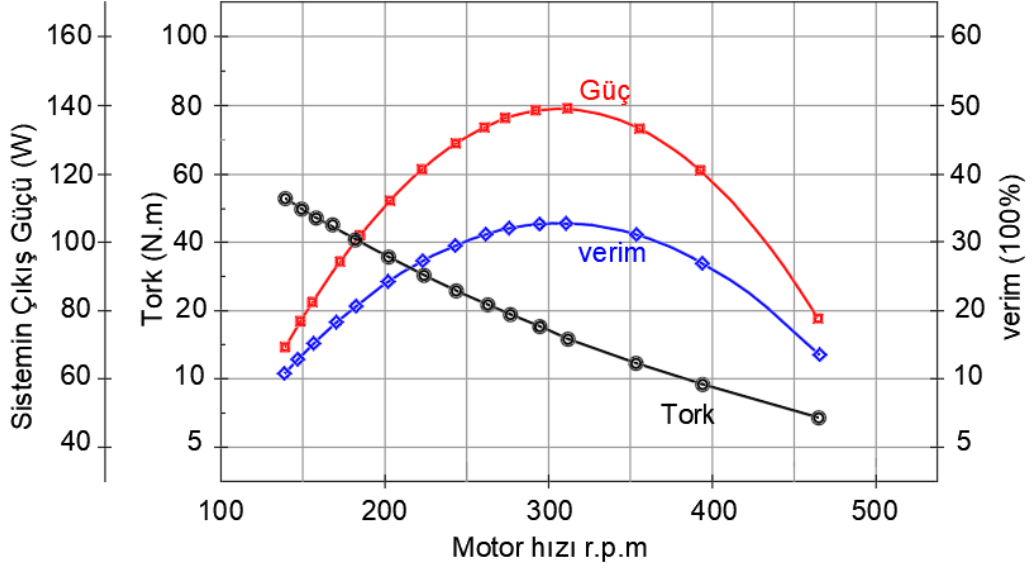
Şekil 3.4. Farklı basınçta (2.5 MBar ve 1.5 MBar) sistemlerinin çıkış güçleri (W)

Ağustos ayında Güneş Stirling sistemi ile elde edilen çıkış gücü Şekil 3.3’te verilmiştir.



Şekil 3.5. Ağustos ayında Güneş Stirling sisteminin çıkış gücü

Şekil 3.4’te gerçek ısı girişindeki Stirling motorunun performansı verilmiştir.



Şekil 3.4. Stirling motorunun performansı

Kullanan Stirling motorun performans eğrilerinin tanımları aşağıda sunulmaktadır:

- Stirling motoru testinde; yük yavaş yavaş motora uygulandıktan sonra, belirli bir yük, motoru durdurana kadar motor hızı kademeli olarak azalacaktır.
- Karakteristikler, motor hızına karşı tork eğrisi ile temsil edilir. Bu grafikte de görüldüğü üzere motor torku artan motor devri ile azalmaktadır.
- Değişik hızlarda çıkış gücünün motor devri ile değişimleri görülebilmektedir.
- Çıkış gücü, maksimum çıkış gücüne ulaşana kadar motor devri ile birlikte artmaktadır ve daha sonra artan motor devri ile azalmaktadır.
- Maksimum noktadan sonra shaft gücü azalmaktadır. Bunun sebebi yüksek hızda yetersiz ısı transferleri ve artan hız ile birlikte artan sürtünmedir.

Test sonuçlarına göre, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Güneş Stirling sisteminin ortalama elektriksel verimliliğinin %17 olduğu, ancak maksimum elektrik verimliliğinin %21 olduğu gözlemlenmiştir.
- Stirling motorunun ortalama termal verimi %55, maksimum verimi ise %65'dir.
- Stirling motorunun dönüş hızı 450 rpm'dir.

4. Motor gücünün ve hızının, artan sıcaklık farkıyla arttığı gözlenmiştir. Sistemin başlangıçtaki güç çıkışı büyüklüğüne aşağıdaki faktörlerden dolayı ulaşamamıştır:
 - a. Motordaki mevcut sürtünme (Sürtünme, Stirling motorunun performansını etkileyen önemli bir faktördür).
 - b. Motor tasarımı; sıcak ve soğuk silindirlerin birbirlerine yakın olması
 - c. Kirlilik; yansımayı azaltan bir faktördür. Dolayısıyla verime doğrudan etki etmektedir.
 - d. Hava koşulları.
 5. Güneş Stirling sisteminin tasarımı, uygun miktarda net elektrik miktarının elde edilmesi ile başarılı olmuştur. Ancak yapılabilecek birkaç değişiklik ile verimi daha da arttırmak mümkündür. Örneğin kolektör veya Stirling motor parametrelerinde kullanılan yansıma malzemesinin değiştirilmesi ile daha fazla verim sağlanabilir.
 6. Ölçümler sonucunda, Stirling motorunu çalıştırmak için uygun sıcaklık değerinin 350°C olduğu ortaya çıkmıştır.
- Güneş Çanak Stirling Sistemi Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Güneş çanak Stirling sistemi

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde elektrik enerjisi üreten sistemlerin çoğu çevreye zarar vermektedir. Bu zarar canlı hayatını olumsuz yönde etkilemektedir. Termik santraller, nükleer santraller, hidroelektrik santraller gibi büyük enerji üretim merkezleri, doğada geri dönüşü olmayan ve telafisi mümkün olmayan tahriplere yol açmaktadır. Bu olumsuz durumlardan kurtulmak adına, enerji üretirken daha sağlıklı, daha verimli, daha ucuz ve daha dayanıklı sistem ya da sistemler bütününe ihtiyaç duyulmaktadır. Gerçekleştirilen bu çalışma bahsedilen hedefler doğrultusunda ‘Temiz Enerji’ alanında ihtiyaç duyulan eksikliği gidermeye yöneliktir.

Enerji üretimi esnasında çevre kirliliğine karşı bir tedbir olarak hazırlanan bu çalışma, kaynağını güneşten alması nedeniyle hem yenilebilir enerji ve hem de temiz enerji alanında sınıflandırma yönünden kendisine üst sıralarda yer bulacaktır. Bu çalışmayı oluşturan alt sistemler; fotovoltaik sistemler, güneş takip sistemi ve sıcak hava motoru (Stirling motor) ile bağlantılı sistemlerdir. Bu sistemler hem maliyet hem de dayanıklılık bakımından tercih sebebi olmuştur.

Fotovoltaik sistem; güneşten gelen farklı açılardaki ışınları belli bir merkezde toplayıp sıcak hava motoruna gönderilmesini sağlamaktadır. Bu motorun içindeki gazlar toplanan güneş ışınlarıyla ısınarak basıncın yükselmesini sağlar, daha sonra da güç pistonlarını harekete geçirerek güç dönme hareketi üretir. Gaz soğutulduğunda basınç düşer ve bunun sonucunda piston dönüş hareketinde gazı tekrar sıkıştırmak için oluşan işin bir kısmını kullanır. Ortaya çıkan net iş motor mili üzerinde dönme hareketi oluşturur. Çalışma gazı sıcak ve soğuk ısı eşanjörleri arasında periyodik olarak akar. Bu hareketten elektrik enerjisi elde edilmesi sağlanır.

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında; en ucuz, en verimli ve en doğal enerji kaynağı olan güneş enerjisi kullanılarak çevre dostu bir sistemle elektrik üretimi hedeflenmiştir. Bu çalışma gelecek adına güven veren bir altyapı sistemi olarak önemli bir konuma sahiptir. Bu tarz çalışmalar yalnızca dünyamızın ihtiyaç duyduğu bir enerji üretim modeli olmakla

kalmayıp, bundan sonraki süreçte üzerinde çok ciddi araştırma ve yatırımların yapılacağı önemli sektörlerden biri olacaktır. Yaptığımız bu tez çalışmasında; Güneş Çanak Stirling Sisteminin tasarımı, simülasyonu, geliştirilmesi ve test edilmesi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Güneş Çanak Stirling Sisteminin performansını artırılmak için temel kriterler ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada kullanılan Stirling motorun performans eğrilerinden bazı sonuçları elde edilmektedir. Şöyle ki; yük yavaş yavaş motora uygulandığında, belirli bir yük değerinden sonra motor hızı motoru durduruna kadar kademeli olarak ayarlanmaktadır. Yükün bu değerinden sonra şaft gücü azalmaktadır. Bunun sebebi ise yüksek hızda yetersiz ısı transferi ve artan hız ile birlikte sürtünmenin artmasıdır.

Bunun yanında; kullanılan güneş takip sisteminde motorların çok hızlı dönmesinden dolayı bazı yön bulma problemleri ortaya çıkabilmektedir. Bunun için motoru yönlendiren sinyallerin etkin periyodunun ayarlanması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, kullanılan LDR'lerin aynı karakteristikte olması gerekmektedir. Bu kusur ana kontrol kartı üzerinde bulunan trimpotların ayarlanmasıyla giderilmiştir. Bu trimpotlar sayesinde aralık değerini ayarlayıp LDR'lerin 10 – 100 mA arasında olması gerektiği belirlenmiştir. Bu değerler arasında kararlı bir durum oluşmaktadır.

Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar ana hatlarıyla aşağıda sunulmuştur:

1. Güneş Stirling sisteminin ortalama elektriksel verimliliğinin %17 olduğu, ancak maksimum elektrik verimliliğinin %21 olduğu gözlemlenmiştir.
2. Stirling motorunun ortalama termal verimi %55, maksimum verimi ise % 65'dir.
3. Stirling motorunun dönüş hızı 450 rpm'dir.
4. Güneş Stirling sisteminin tasarımı, uygun miktarda net elektrik miktarının elde edilmesi ile başarılı olmuştur. Ancak yapılabilecek birkaç değişiklik ile verimi daha da arttırmak mümkündür. Örneğin kolektör veya Stirling motor parametrelerinde kullanılan yansıma malzemesinin değiştirilmesi ile daha fazla verim sağlanabilir.
5. Ölçümler sonucunda, Stirling motorunu çalıştırmak için uygun sıcaklık değerinin 350 ° C olduğu ortaya çıkmıştır.

6. Deney çalışmalarında 500 Watt, 12 V DC jeneratör ve 800 Watt Gamma tipi Stirling motoru kullanılmıştır. Sistemin verimi % 24 – %36 arasında gerçekleşmiştir.

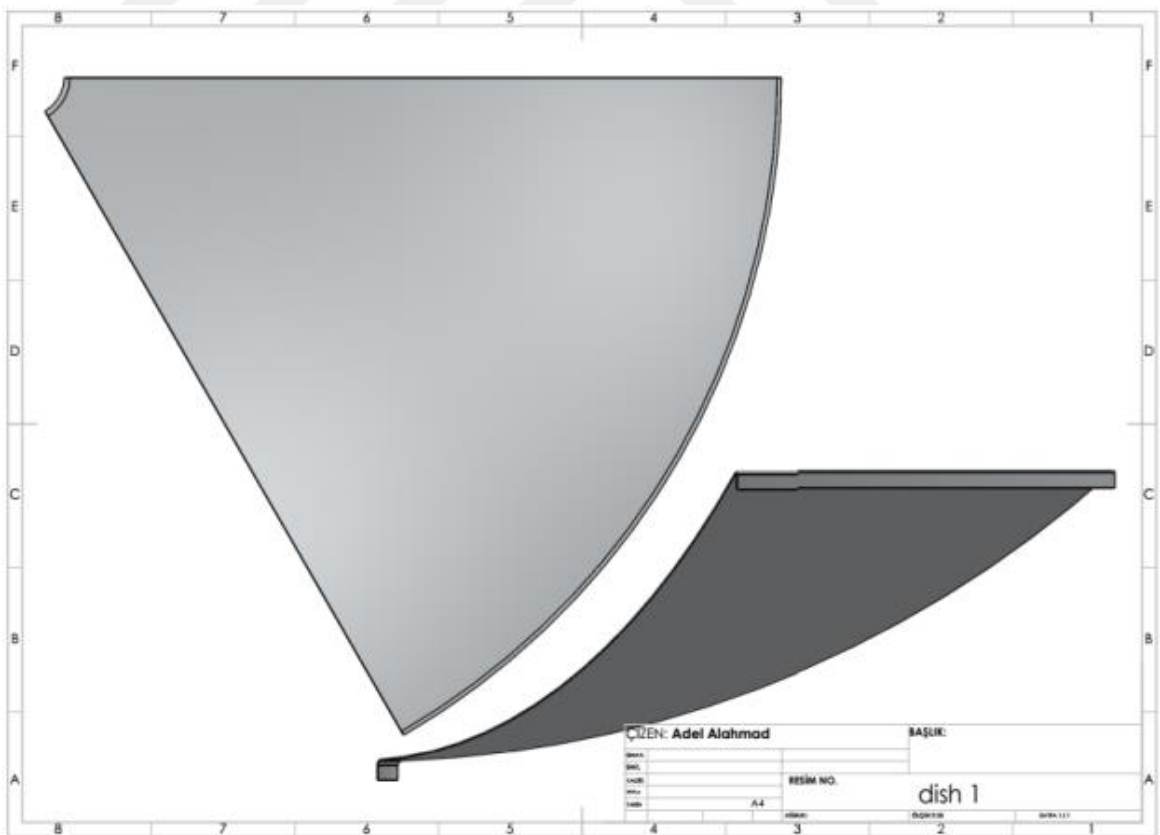
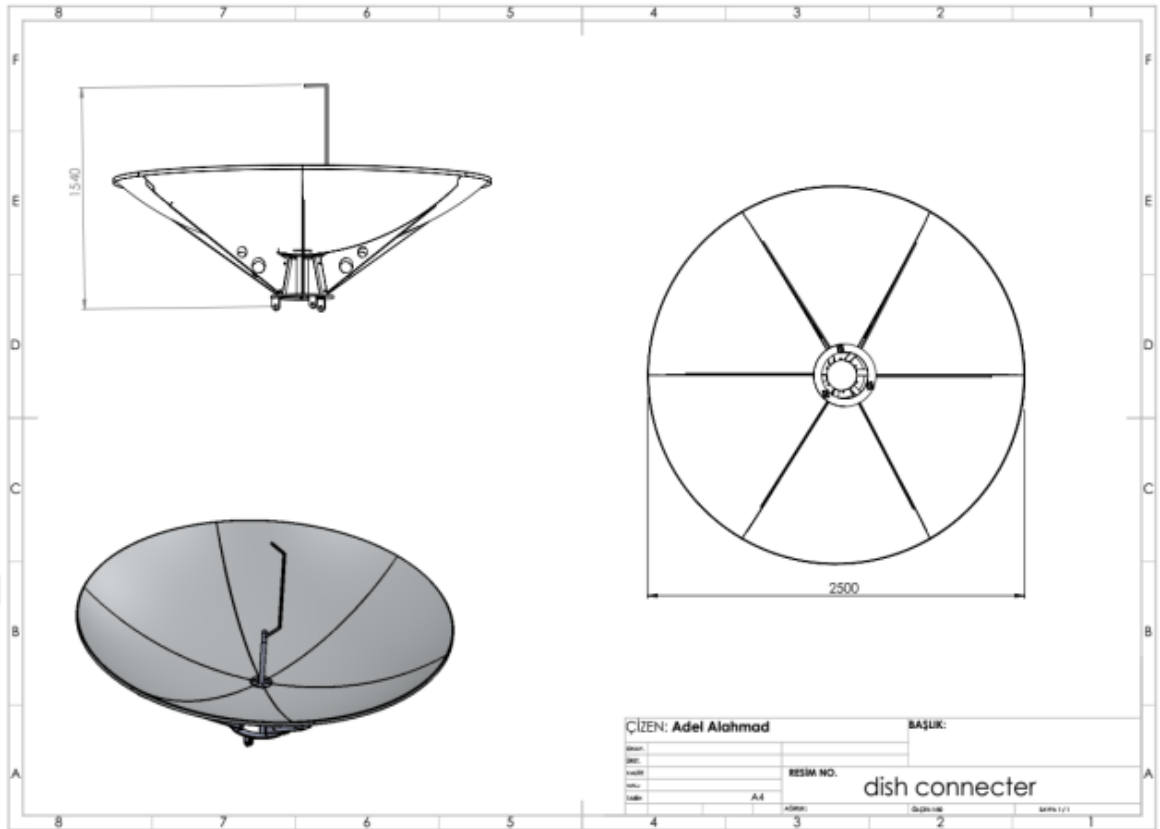


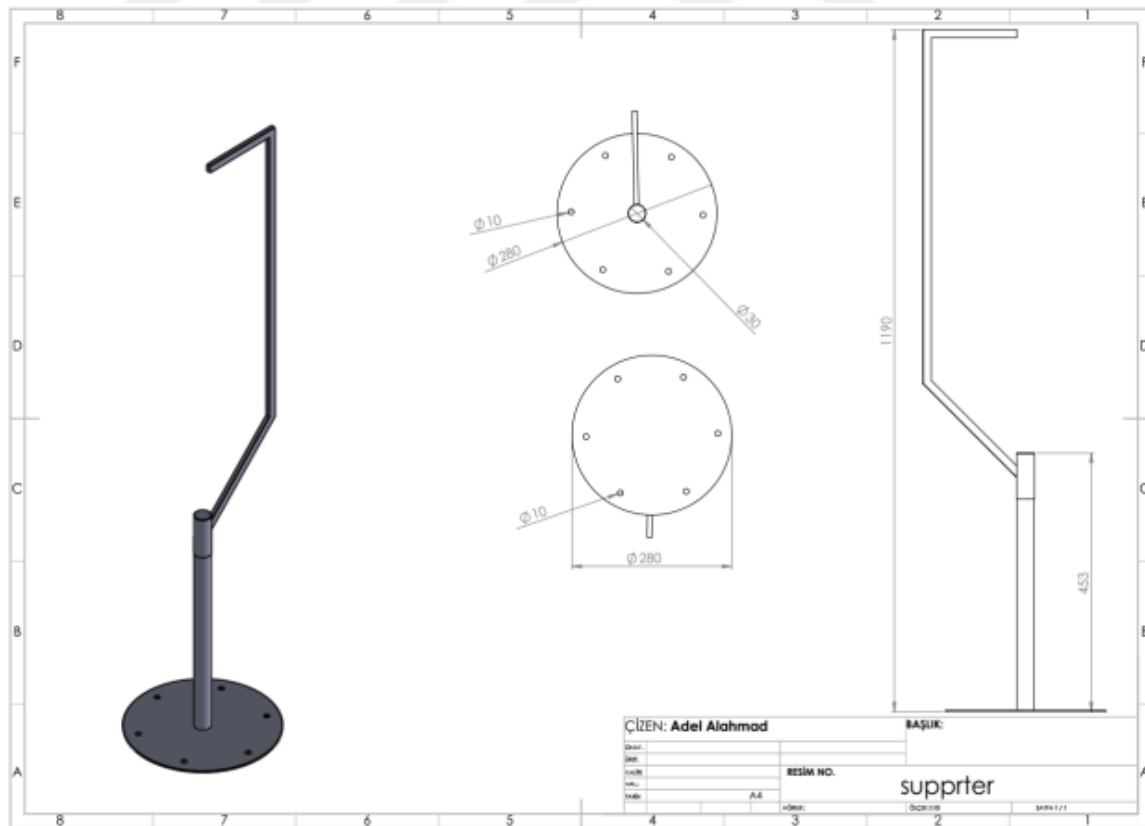
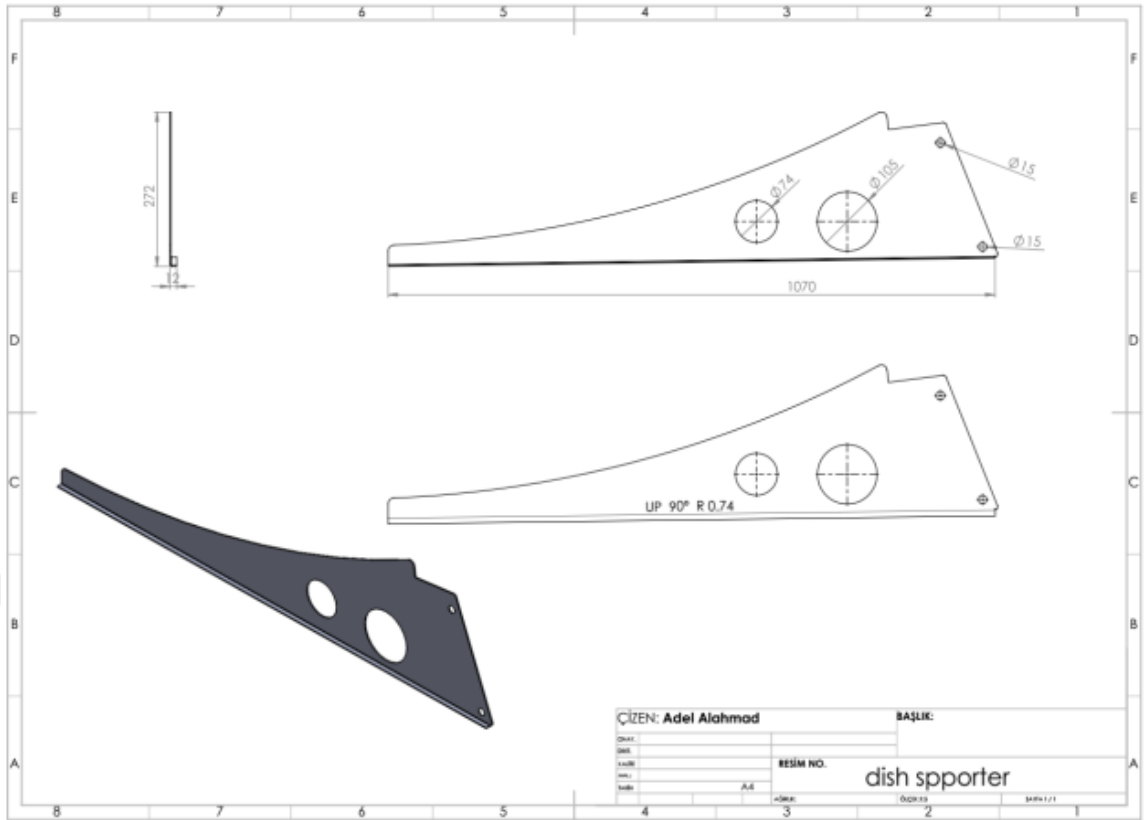
KAYNAKLAR

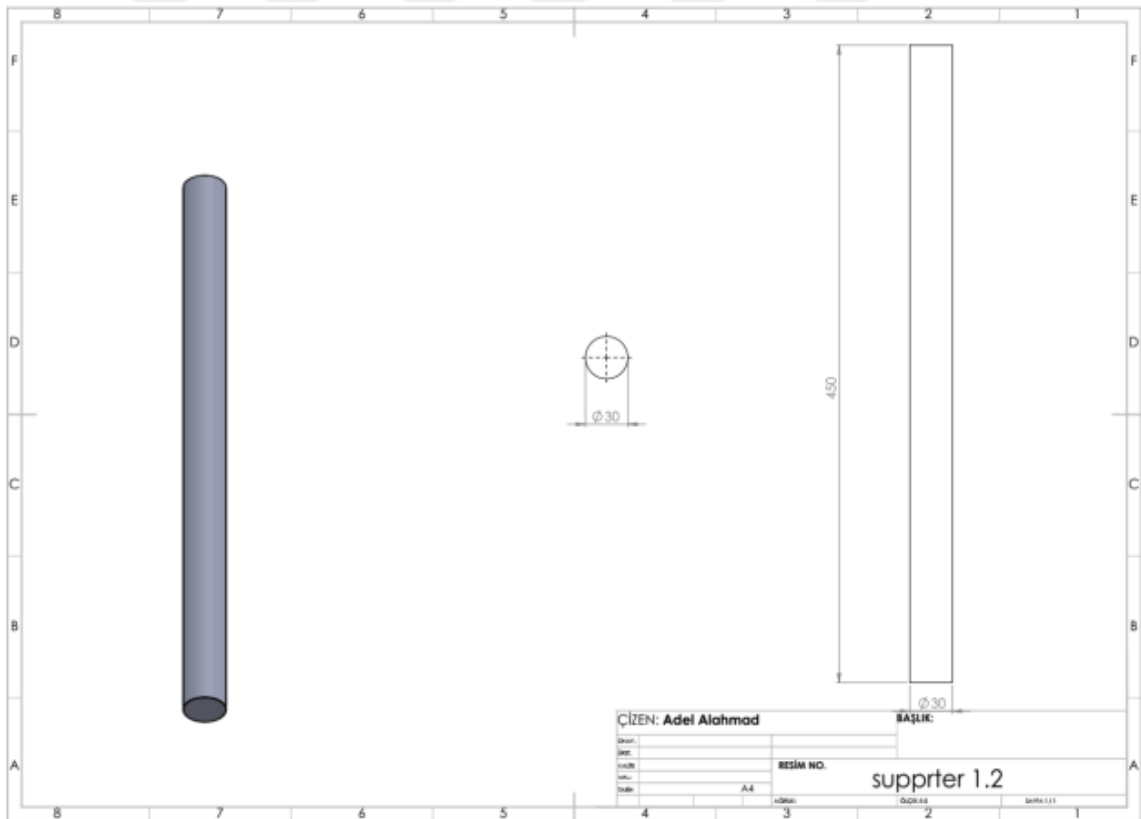
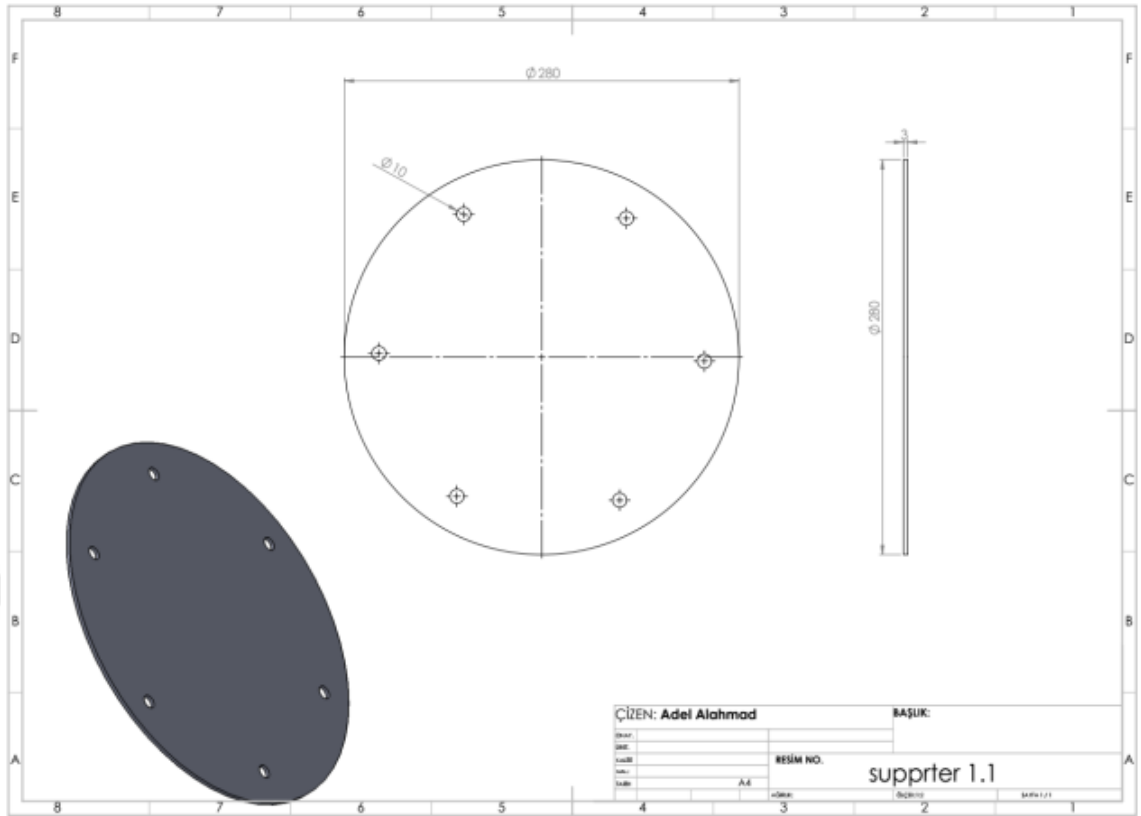
- [1] Güçlüer, D, “Güneş Enerjisi Santrali Kurulacak Alanların CBS - Çok Ölçütlü Karar Analizi Yöntemi İle Belirlenmesi ”, Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.
- [2] Meteoroloji Avustralya Hükümeti Bürosu, <http://www.bom.gov.au/climate/data-services/solar/#tabs=Understanding>.
- [3] Zarza, E, Renewable Energies, “ Future Renewable Energy Costs: Solar-Thermal Electricity, How Technology İnnovation is Anticipated to Reduce the Cost of Energy From European Solar-Thermal Electricity Plants ”, KIC InnoEnergy SE, 2, 612 AB Eindhoven, Holland, 2015.
- [4] ESTELA Position paper, “ Concentrating Solar Power on the Road to 2030 ”, ESTELA, Brussels, Belgium, 2015.
- [5] Protermosolar, D, “ Understanding the Costs of Solar Thermal Electricity Plants”, ESTELA, Brussels, Belgium, 2015. https://issuu.com/estelasolar/docs/understanding_the_costs_of_ste_plan/1?e=0/31737795.
- [6] Shahbazfar, R, “Advanced CSP Teaching Materials ”, Solar Dish Technology, Institute for Electrical Engineering, University of Kassel, Germany, 2008 http://mjnorouzi.mech.iut.ac.ir/sites/mech.iut.ac.ir/files/upload_res_proj/1361468083chapter_07_dish_2.pdf.
- [7] Stine, W, and Harrigan, R, “Power From The Sun ”, Courtesy of sandia national laboratories, chapter01, Solar thermal projects, Shenandoah, Georgia. 2014. <http://www.powerfromthesun.net/Book/chapter16/chapter16.html>.
- [8] Rogdakis, E.D., “The 1.5-MW Maricopa Solar Power Plant”, Solar thermal projects, California and Texas, USA, 2010. <http://www.powermag.com/dish-stirling-solar-plant-debuts>.
- [9] Akkurt, F, “Güneş Enerjisi Kaynaklı Enjektörlü Soğutma Sisteminin Performansının Deneysel İncelenmesi”, Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Anabilim Dalı, Temmuz-2012 KONYA.
- [10] Stine, W, and Harrigan, R, “Power From The Sun ”, Courtesy of sandia national laboratories, chapter03, Solar thermal projects, Shenandoah, Georgia. 2014.

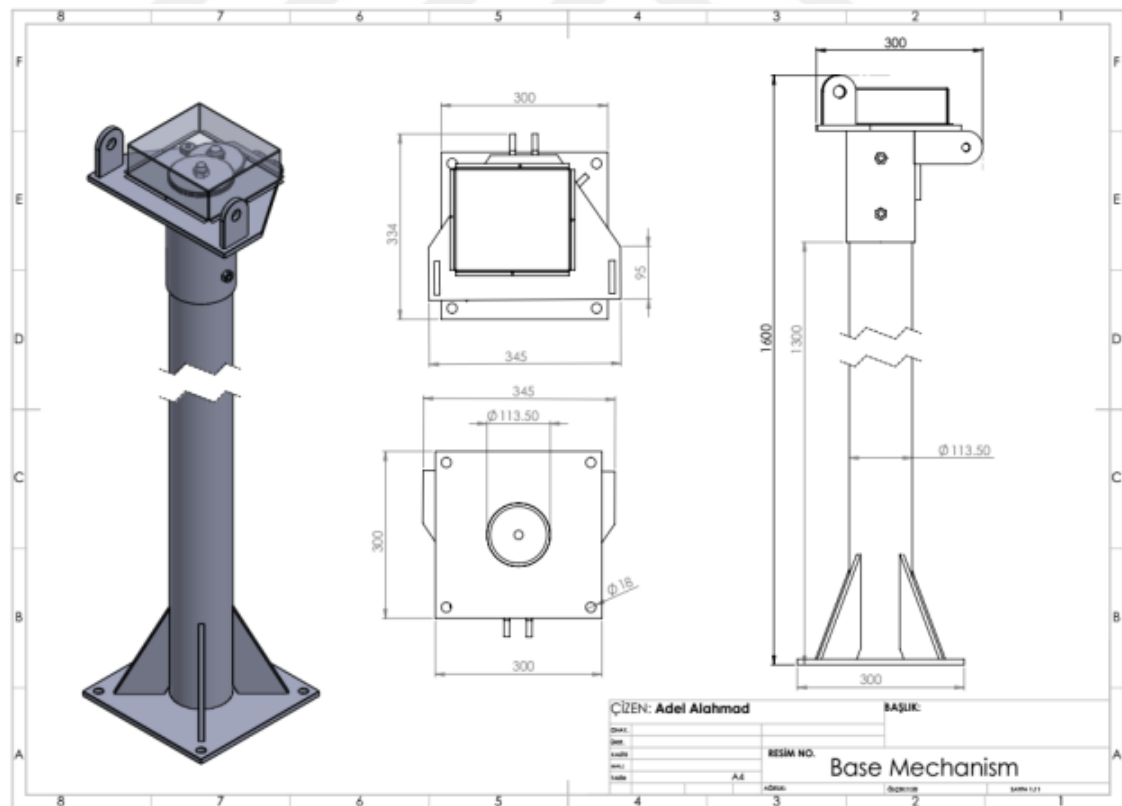
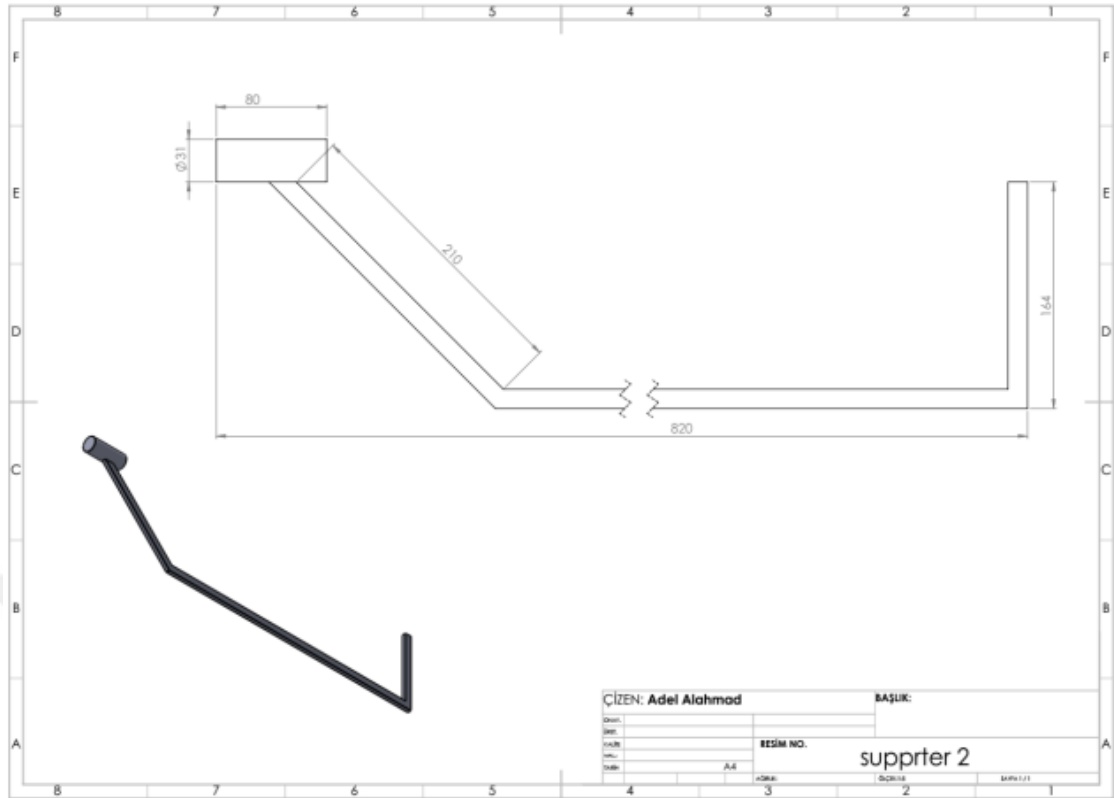
- [11] Advanced CSP Teaching Materials, “Chapter 7 solar Dish Technology”, Al-zaytona University, P.O. Box 130, Amman, 11733 Jordan 2014.
- [12] Fedkin, V, Ph.D. in Geo-Environmental Engineering, “Utility Solar Power and Concentration”, Renewable Energy and Sustainability Systems (Online Masters and Graduate Certificates Program), The Pennsylvania State University, 2004. <https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/557>.
- [13] Sayma, A, Professor of Energy Engineering, “Optimised Microturbine Solar Power System”, City University London, July 2013. <https://omsop.serverdata.net/SiteAssets/Pages/Publications%20and%20Reports/D3.4%20%20Report%20on%20state-of-the-art%20dish-engine%20applications.pdf>.
- [14] Douglas, M, “Stirling Energy Systems”, SOLar Dish Stirling, The Arizona, USA 2004 <http://www.galaide.org/2004/05/05/a-stirling-idea/>.
- [15] Akdağ, M, “Temel Kavramları ile Mühendislik Termodinamiği ”, Qafqaz Üniversitesi, Bakü, Azerbaycan 2009. www.qu.edu.az/downloads/publications/Termodinamik_Designed.pdf.
- [16] Metin, A, “ Sıcak Hava Motoru ”, Trakya Üniversitesi Merkez Kütüphanesi <http://193.255.140.18/Tez/0058419/METIN.pdf>.
- [17] Deniz, O, “İçten Yanmal Motorlar DERS Notları”, Dep. of Mechanical Eng. Automotive Sciences Subdivision, Yıldız Teknik Üniversitesi, Turkey-İstanbul, 2008. <http://www.yildiz.edu.tr/~odeniz/Ders%20Kitabi.pdf>.
- [18] Boucher, J. Lanzetta, F. ve Nika, P., “Optimization of A Dual Free Piston Stirling Engine”, Applied Thermal Engineering, Jean Moulin, France , 2007.
- [19] Rogdakis, E.D., Bormpilas, N.A. ve Koniakos, I.K., “A Thermodynamic Study for the Optimization of STablooperation of Free Piston Stirling Engines”, Department of Mechanical Engineering, Thermal Engineering Section, National Technical University of Athens, Athens, Greece, 2004.
- [20] Kalker, G, Stirling Engines, Clarendon Press, Oxford, 1980.
- [21] T.C Kalkınma Bakanlığı, Kop Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, <http://www.kop.gov.tr/upload/dokumanlar/69.pdf>.
- [22] T.C Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <http://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/ozonuv/gunesspectrumu.pdf>.

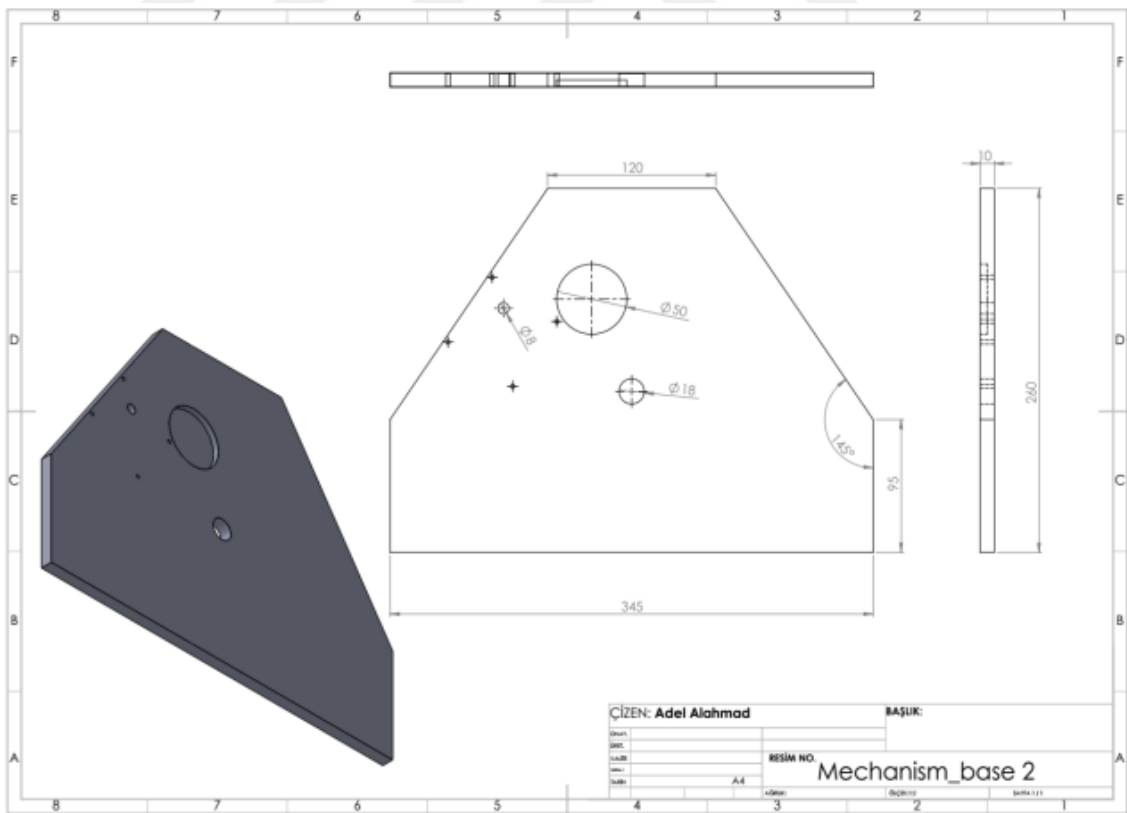
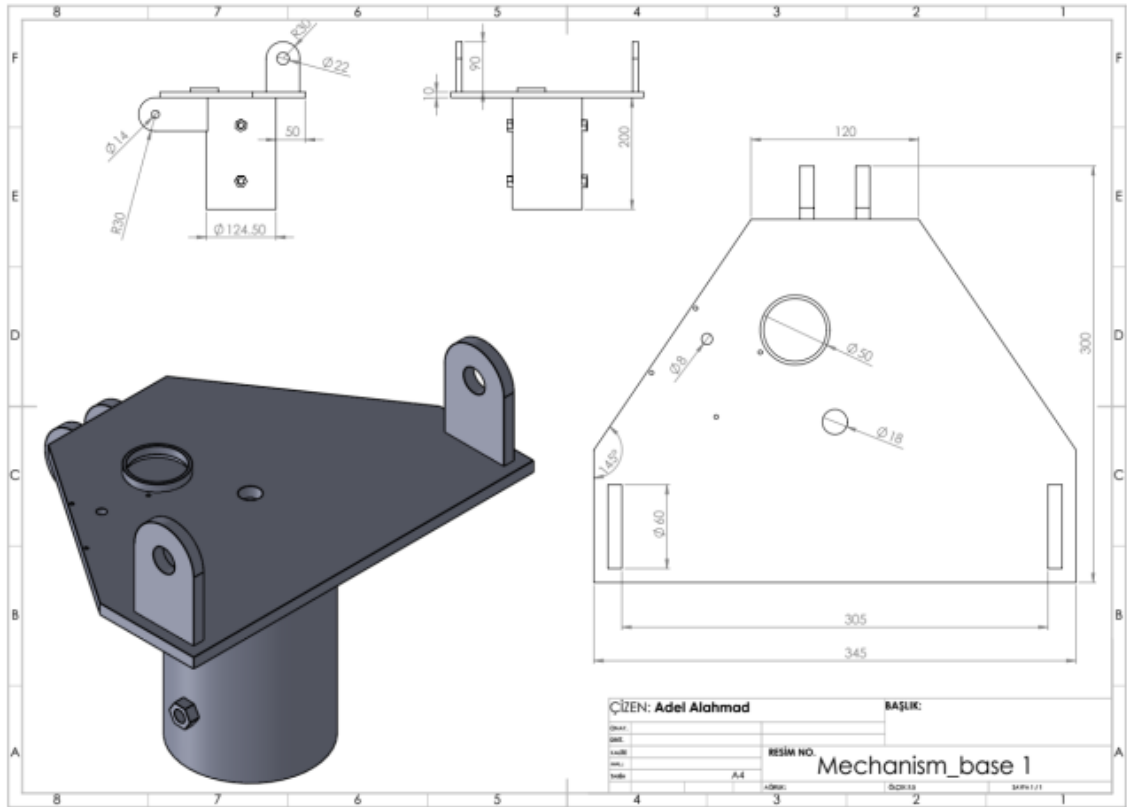
- [23] Beale, W.T., “Free Piston Stirling Engines - Some Model Tests and Simulations”, International Automotive Engineering Congress, Detroit, Michigan, 1969.
- [24] Karabulut, H. “Dynamic Analysis of A Free Piston Stirling Engine Working with Closed and Open Thermodynamic Cycles”, Automotive Engineering Department, Gazi University, Ankara, Turkey, 2010.
- [25] Hsu, S.T. Lin, F.Y. ve Chiou, J.S., “Heat Transfer Aspects of Stirling Power Generation Using Incinerator Waste Energy”, Renewable Energy, University of California - Berkeley, USA , 2003.
- [26] Lane, N.W. ve Beale, W.T., “A 5KW Electric free-Piston Stirling Engine”, Proceedings of the Seventh International Conference on Stirling Cycle Machines, Tokyo, Japan, Kasım 1995.

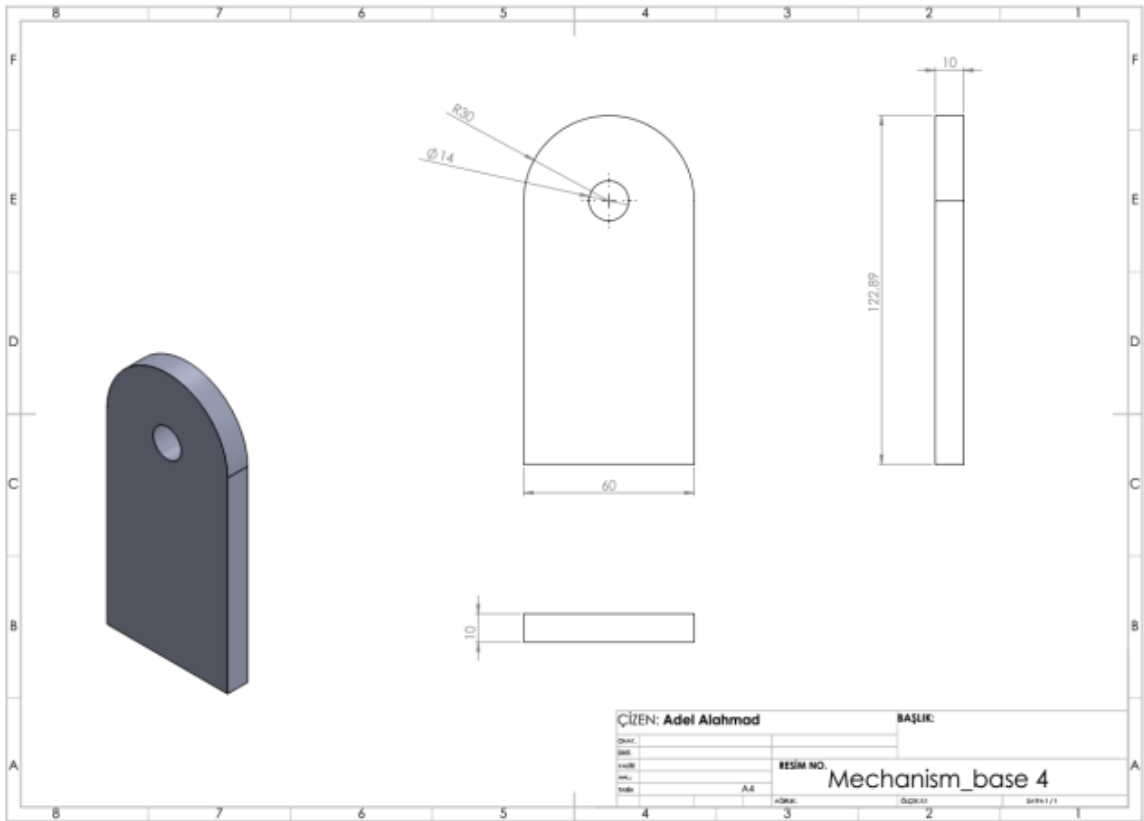
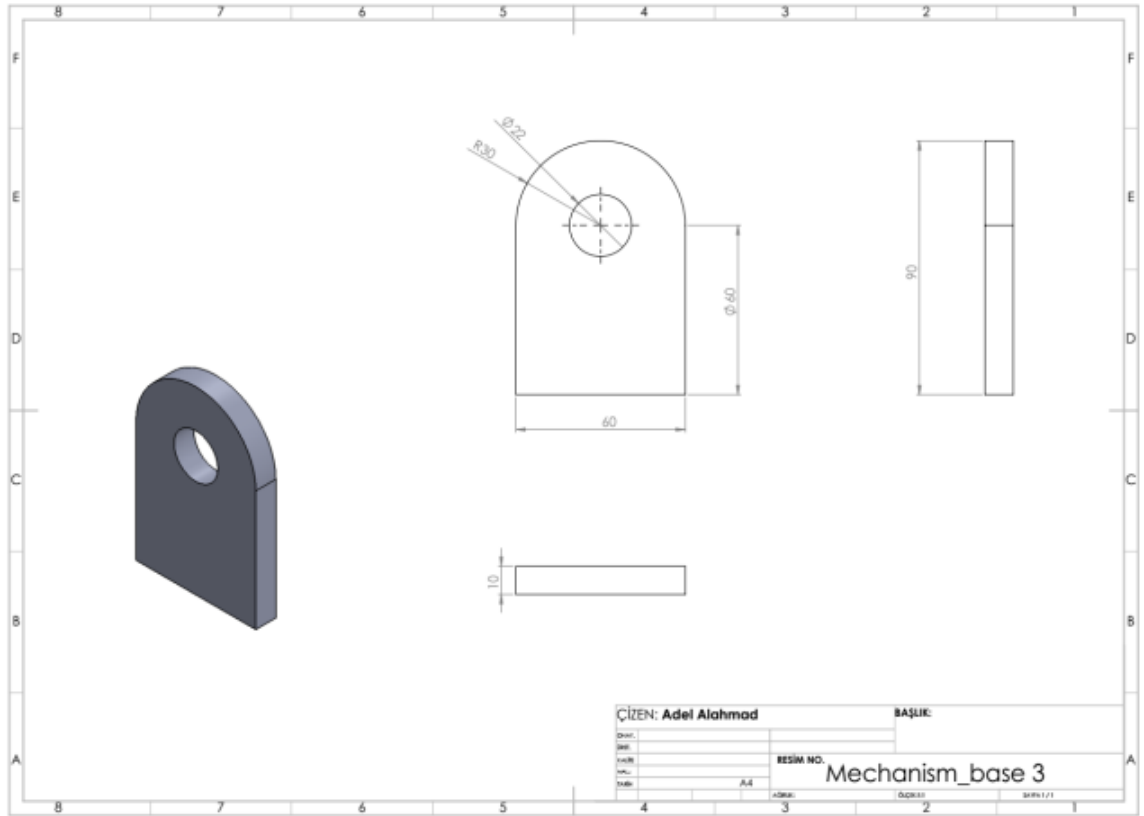


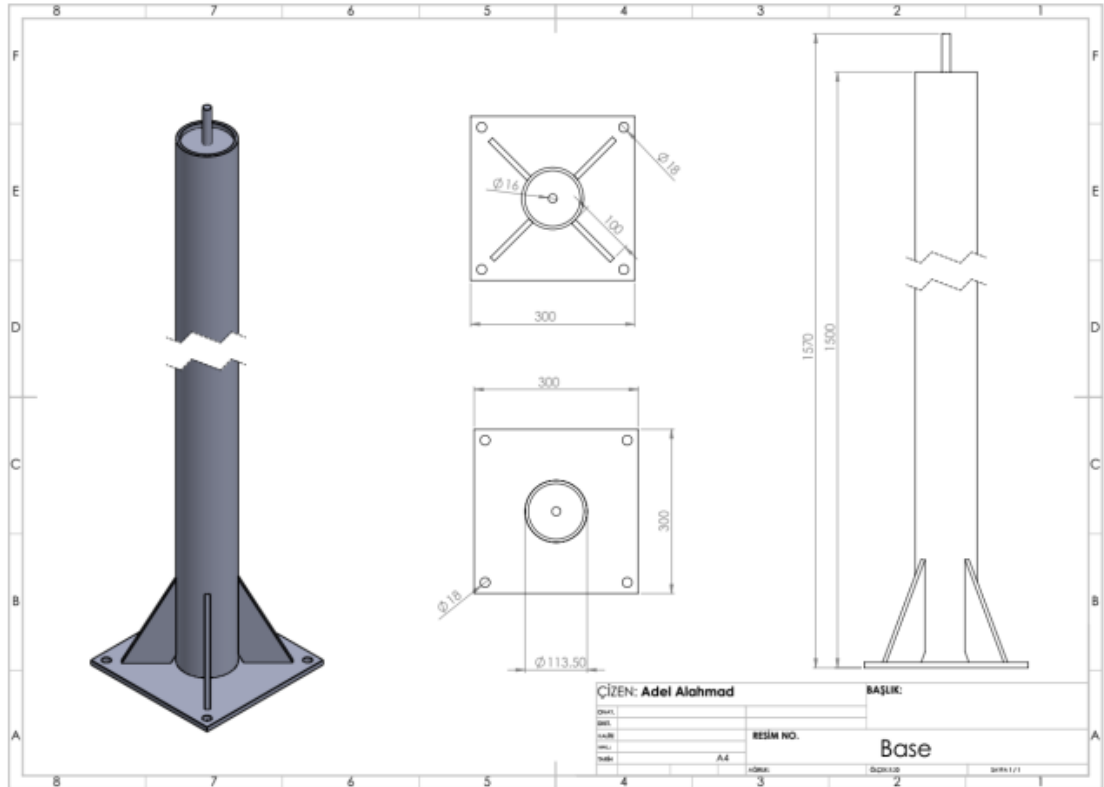
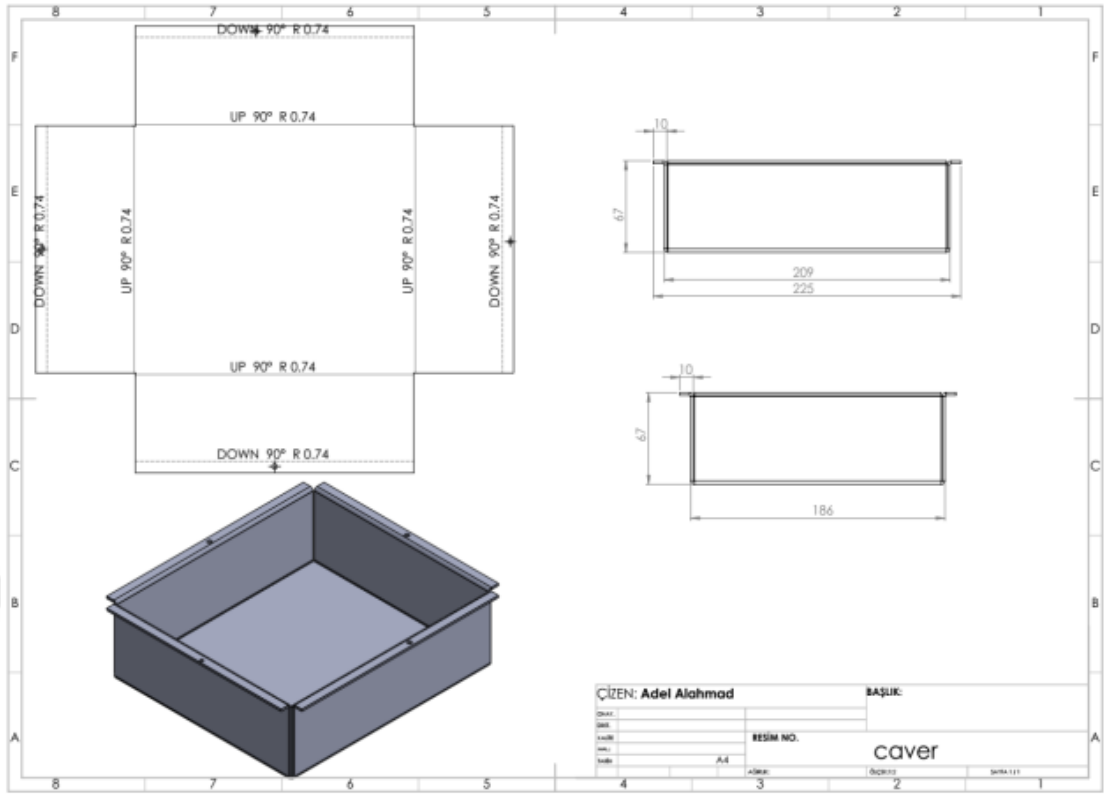


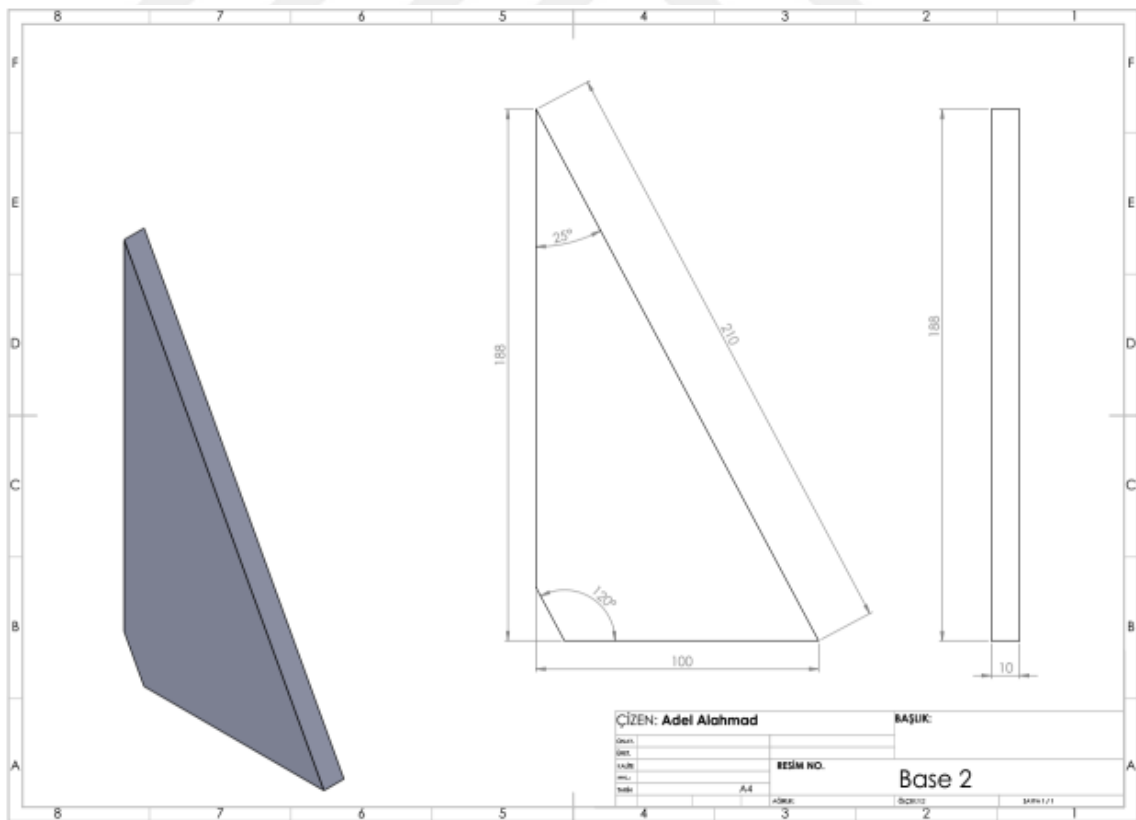
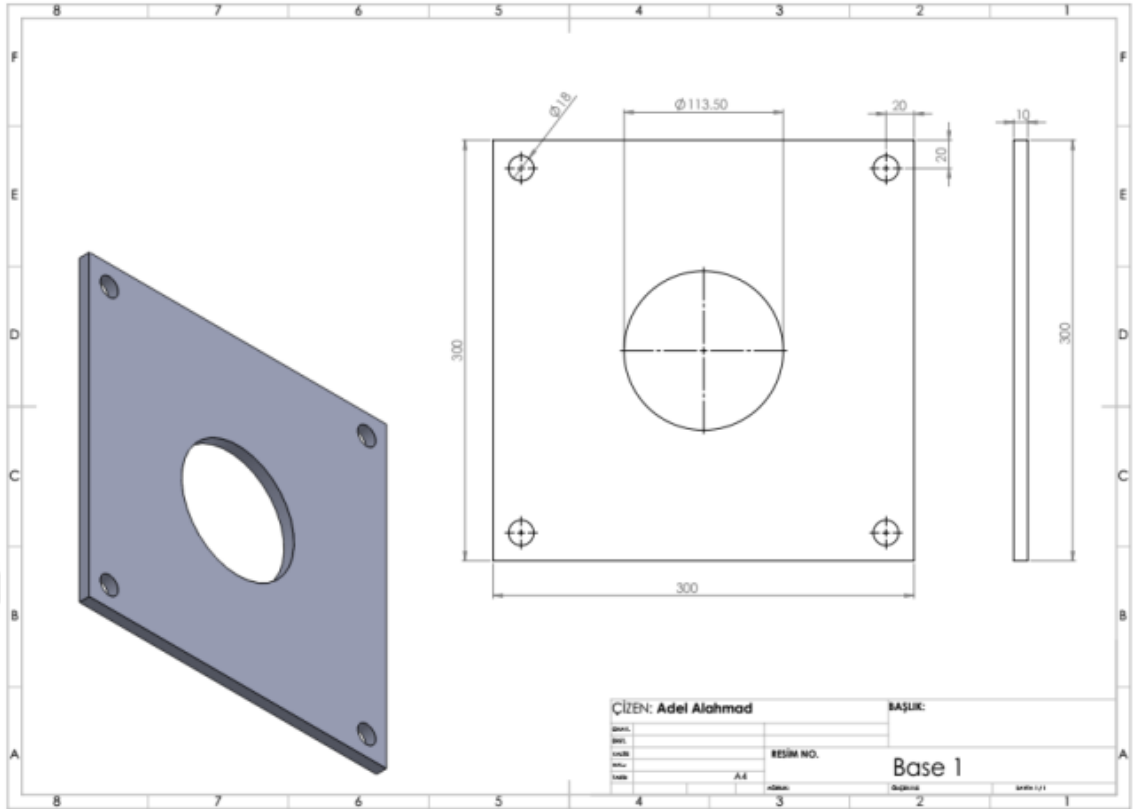


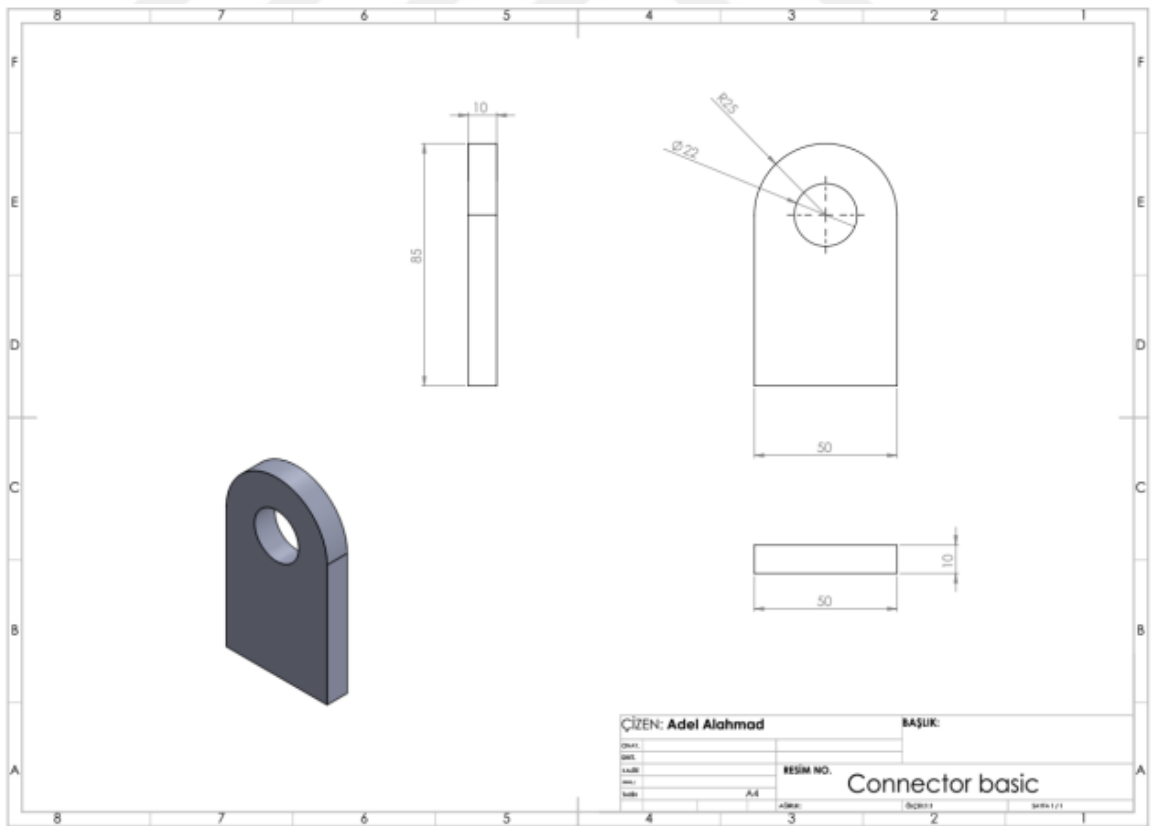
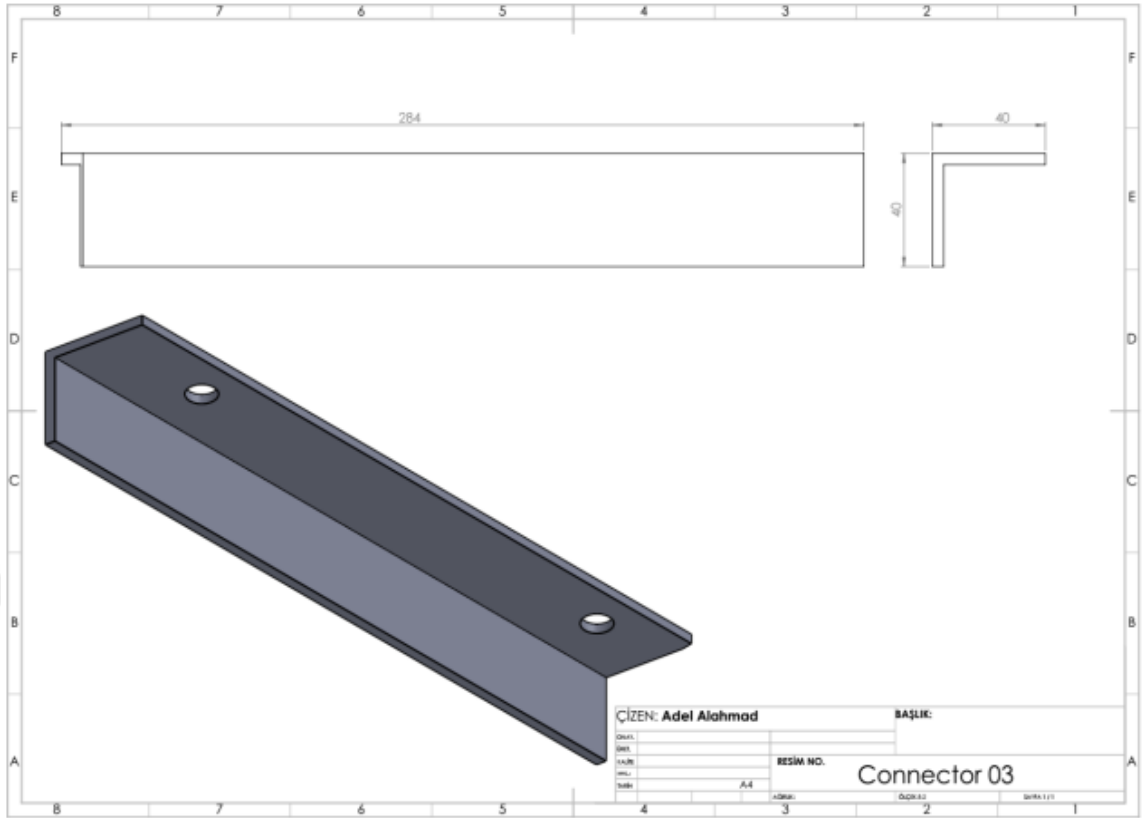


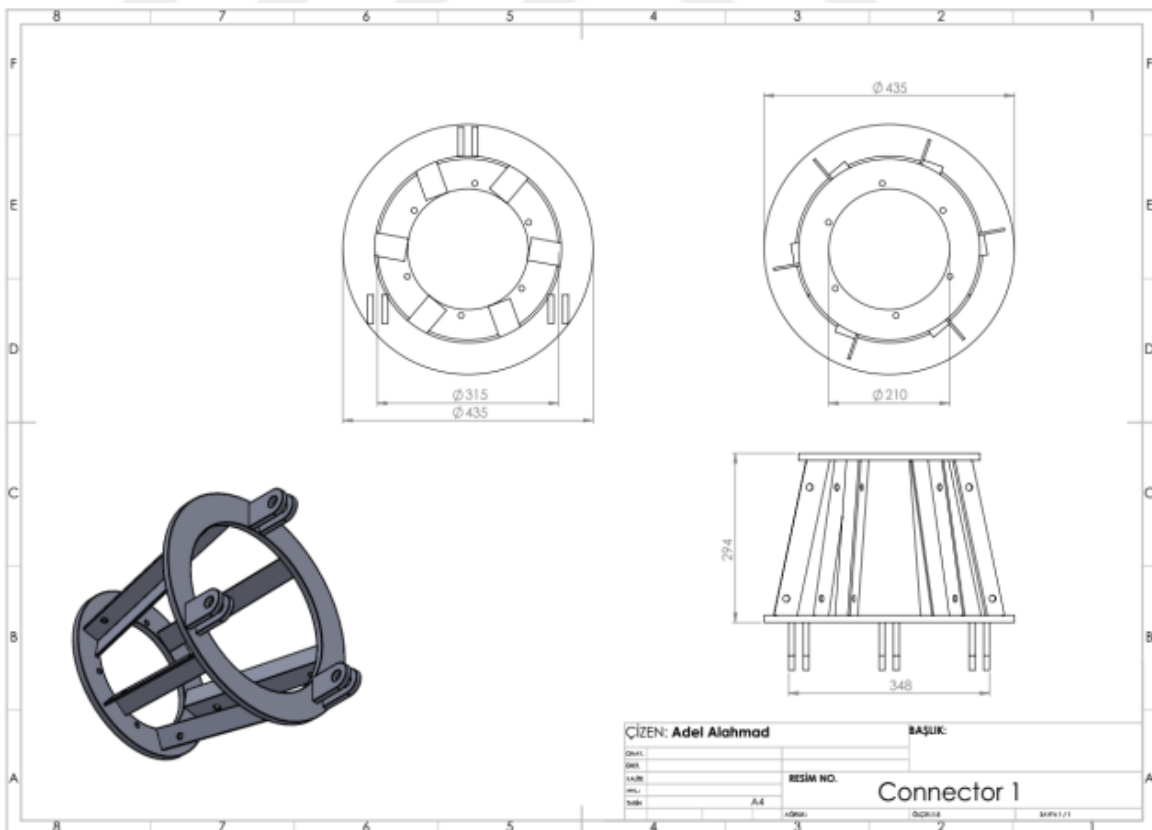
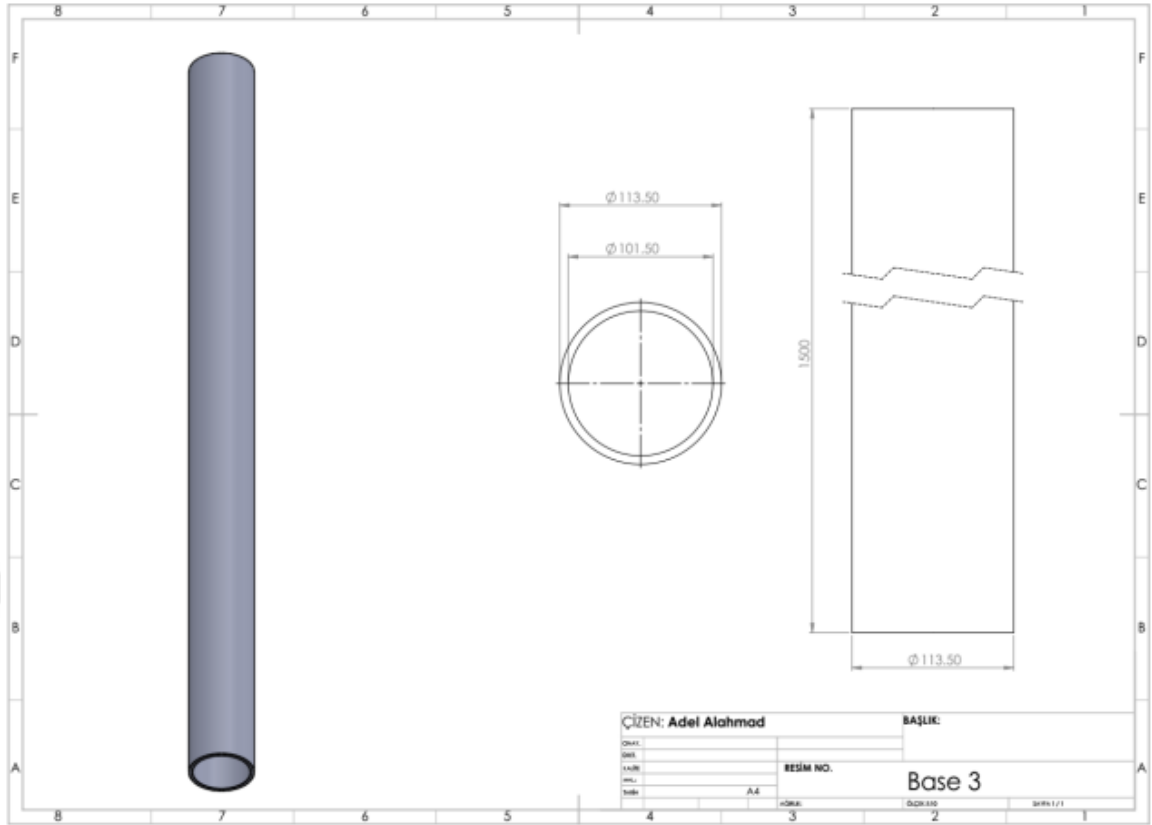












Ek A2 - YAZILIMIN UYGULANMASI

Program

// Solar tracking system

// Danışman: Prof. Dr. Ö.Faruk FARSAKOĞLU

// Öğrenci Adel ALAHMAD

// Turkey Kilis

// 7 aralık üniversitesi

// Fakülte FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

// Bölüm ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

// Program ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

// Öğrenci No 0917081019

```
const int ldrLt = A0;
```

```
const int ldrRt = A1;
```

```
const int ldrLd = A2;
```

```
const int ldrRd = A3;
```

```
const int tol = 15;
```

```
const int NS1 = 2;
```

```
const int NS2 = 4;
```

```
const int EW3 = 7;
```

```
const int EW4 = 8;
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
Serial.begin(9600);
```

```
pinMode(NS1, OUTPUT);
```

```
pinMode(NS2, OUTPUT);
```

```
pinMode(EW3, OUTPUT);
```

```
pinMode(EW4, OUTPUT);
```

```
}
```

```
void loop()
```

```
{
```

```
int ld = analogRead(ldrLd);
```

```
int lt = analogRead(ldrLt);
```

```
int rd = analogRead(ldrRd);
```

```
int rt = analogRead(ldrRt);
```

```
int avt = (lt + rt) / 2;
```

```
int avd = (ld + rd) / 2;
```

```
int avl = (lt + ld) / 2;
```

```
int avr = (rt + rd) / 2;
```

```

int dvert = avt - avd;
int dhoriz = avl - avr;
if (-tol > dvert || dvert > tol)
{
if (avt > avd)
{
digitalWrite(NS1, LOW);
digitalWrite(NS2, HIGH);
}
Else
{
digitalWrite(NS2, LOW);
digitalWrite(NS1, HIGH);
}
}
Else //eşitler
{
digitalWrite(NS1, LOW);
digitalWrite(NS2, LOW);
}
if (-tol > dhoriz || dhoriz > tol) {
if (avl > avr) {
digitalWrite(EW3, LOW);
digitalWrite(EW4, HIGH);
}
else {
digitalWrite(EW4, LOW);
digitalWrite(EW3, HIGH);
}
}
else {
digitalWrite(EW3, LOW);
digitalWrite(EW4, LOW);
}
delay(1000);

```


Ek A3 - MATLAB ANALIZI

```
%MATLAB ANALYSIS
Th=input('Hot end heat exchanger temperature in K between (700-300): ');
Tk=input('Cold end heat exchanger temperature in K between (500-50): ');
R=2.0679*1000;
r=1.666666672;
Cp=5.1926*1000;
Cv=3.1156*1000;
Power=zeros(1,90);
efficiency=zeros(1,90);
clearance=zeros(1,90);
m=0.1;
k=10;
AL=pi/180*90;

Vhe=18;
Vce=18;
Vr=12;
%Set initial conditions

Tr=(Th-Tk)/log(Th/Tk);
angle=360;
n=(angle/m)+1;
cyc=angle/360;
p=zeros(k,n);
Ve=zeros(k,n);
Vc=zeros(k,n);
V=zeros(k,n);
Te=zeros(k,n);
Tc=zeros(k,n);
p(1,1)=1.667;
```

```

W1=zeros(k,n);
% Volume arrays
Vem=15;
Vp=15;
Vcm=Vem;
Vd=Vem+Vp;
Ved= 1;
Vcd= 1;
Ve(1,1)=(Vd/2*(1-cos(m*pi/180))); %Start with displacer at topmost position
Vc(1,1)=(Vd/2*(1+cos(m*pi/180))+Vp/2*(1-cos((m*pi/180)-(AL))));
Vpiston=zeros(k,n);
Vcompression=zeros(k,n);
v=zeros(k,n);
v(1,1)=Vc(1,1)+Ve(1,1)+Vr+Vhe+Vce;
v(2,1)=v(1,1);
% Mass arrays
Dmc=zeros(k,n);
gAck=zeros(k,n);
gAkr=zeros(k,n);
gArh=zeros(k,n);
gAhe=zeros(k,n);
Dmce=zeros(k,n);
Dmr=zeros(k,n);
Dmhe=zeros(k,n);
mce=zeros(k,n);
mhe=zeros(k,n);
mr=zeros(k,n);
me=zeros(k,n);
mc=zeros(k,n);
meact=zeros(k,n);
% Work and Heat arrays
DQk=zeros(k,n);

```

```

Qk=zeros(k,n);
DQr=zeros(k,n);
Qr=zeros(k,n);
DQh=zeros(k,n);
Qh=zeros(k,n);
DW=zeros(k,n);
% Other arrays
f=zeros(k,n);
fd=zeros(k,n);
dexp=zeros(k,n);
dcomp=zeros(k,n);
num=zeros(k,n);
den=zeros(k,n);
Dp=zeros(k,n);
Tck=Tc(1,1);
The=Th;
term=r*((Vce/Tck)+(Vr/Tr)+(Vhe/The));
M=(p(1,1)*(Ve(1,1)+Ved)/R/Th)+(p(1,1)*(Vc(1,1)+Vcd)/R/Tk)+(p(1,1)*Vr/R/Tr)+(p(1,1)*Vhe/R/Th)+(p(1,1)*Vce/R/Tk);
mr(1,1)=(p(1,1)*Vr/R/Tr);
mhe(1,1)=(p(1,1)*Vhe/R/Th);
mce(1,1)=(p(1,1)*Vce/R/Tk);
mc(1,1)=(p(1,1)*(Vc(1,1)+Vcd)/R/Tk);
Te(1,1)=Th;
Tc(1,1)=Tk;
for j=1:k
    Ve(j,1)=(Vd/2*(1-cos(m*pi/180))); % Start with displacer at topmost position
    Vc(j,1)=(Vd/2*(1+cos(m*pi/180))+Vp/2*(1-cos((m*pi/180)-(AL))));
    Vpiston(j,1)=Vp/2*(1-cos((m*pi/180)-(AL)));
    Vcompression(j,1)=Vd/2*(1+cos(m*pi/180));
    v(j,1)=Vc(j,1)+Ve(j,1)+Vce+Vhe+Vr+Ved+Vcd;
    mr(j,1)=(p(j,1)*Vr/R/Tr);

```

```

mhe(j,1)=(p(j,1)*Vhe/R/Th);
mce(j,1)=(p(j,1)*Vce/R/Tk);
mc(j,1)=(p(j,1)*(Vc(j,1)+Vcd)/R/Tc(j,1));
me(j,1)=M-(mr(j,1)+mc(j,1)+mhe(j,1)+mce(j,1));
    Te(j,1)=p(j,1)*(Ve(j,1)+Ved)/R/me(j,1);
    Tck=Tc(j,1);
    The=Th;
for i=2:n
fd(j,i)=i*m;
f(j,i)=i*m*pi/180;
    Ve(j,i)=(Vem/2*(1-cos(f(j,i))));
dexp(j,i-1)=Ve(j,i)-Ve(j,i-1);
    Vc(j,i)=(Vd/2*(1+cos(f(j,i)))+Vp/2*(1-cos(f(j,i)-AL)));
dcomp(j,i-1)=Vc(j,i)-Vc(j,i-1);
    Vcompression(j,i)=Vd/2*(1+cos(f(j,i)));
    Vpiston(j,i)=Vp/2*(1-cos(f(j,i)-AL));
v(j,i)=Vc(j,i)+Ve(j,i)+Vce+Vhe+Vr+Vcd+Ved;
num(j,i)=-r*p(j,i-1)*(((dcomp(j,i-1))/Tck)+(((dexp(j,i-1))/The)));
term=r*((Vce/Tck)+(Vr/Tr)+(Vhe/The));
den(j,i)=((Vc(j,i)+Vcd)/Tck)+term+((Ve(j,i)+Ved)/The);
    Dp(j,i)=num(j,i)/den(j,i);
p(j,i)=p(j,i-1)+Dp(j,i);
    Dmc(j,i)=(((p(j,i)*dcomp(j,i-1)))+(Vc(j,i)+Vcd)*Dp(j,i)/r)/(R*Tck);
mc(j,i)=mc(j,i-1)+Dmc(j,i);
mr(j,i)=(p(j,i)*Vr/R/Tr);
mhe(j,i)=(p(j,i)*Vhe/R/Th);
mce(j,i)=(p(j,i)*Vce/R/Tk);
me(j,i)=M-(mc(j,i)+mr(j,i)+mhe(j,i)+mce(j,i));
meact(j,i)=p(j,i)*Ve(j,i)/R/Te(j,i);
    Tc(j,i)=p(j,i)*(Vc(j,i)+Vcd)/R/mc(j,i);
    Te(j,i)=p(j,i)*(Ve(j,i)+Ved)/R/me(j,i);
    Dmce(j,i)=mce(j,i)*Dp(j,i)/p(j,i);

```

```

    Dmr(j,i)=mr(j,i)*Dp(j,i)/p(j,i);
    Dmhe(j,i)=mhe(j,i)*Dp(j,i)/p(j,i);
gAck(j,i)=-Dmc(j,i);
gAkr(j,i)=gAck(j,i)-Dmce(j,i);
gArh(j,i)=gAkr(j,i)-Dmr(j,i);
gAhe(j,i)=gArh(j,i)-Dmhe(j,i);
if gAck(j,i)>0
    Tck=Tc(j,i);
    Tkr=Tk;
else
    Tck=Tk;
    Tkr=Tk;
end
if gAhe(j,i)>0
    The=Th;
    Trh=Th;
else
    The=Te(j,i);
    Trh=Th;
end
end
    DW(j,i)=(p(j,i)+p(j,i-1))/2*(dcomp(j,i-1)+dexp(j,i-1));
    W1(j,i)=W1(j,i-1)+DW(j,i);
    DQk(j,i)=((Vce)*Dp(j,i)*Cv/R)-Cp*((Tck*gAck(j,i))-(Tkr*gAkr(j,i)));
    Qk(j,i)=Qk(j,i-1)+DQk(j,i);
    DQr(j,i)=(Vr*Dp(j,i)*Cv/R)-Cp*((Tkr*gAkr(j,i))-(Trh*gArh(j,i)));
    Qr(j,i)=Qr(j,i-1)+DQr(j,i);
end
p(j+1,1)=p(j,n);
    Tc(j+1,1)=Tc(j,n);
end
s=sqrt((((W1(k,n)*41.7/cyc))*10000)/12);
Qh(k,n)=W1(k,n)-Qk(k,n);

```

```
temp=(W1(k,n)+Qh(k,n)+Qk(k,n))/2;
```

```
W=W1(k,n)*41.7/cyc;
```

```
T=Th-Tk;
```

```
disp('Power in W = ');
```

```
disp(W);
```

```
disp('speed ');
```

```
disp(s);
```



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı Adil ALAHMAD

Doğum Yeri Suriye, Hama

Doğum Tarihi 20.04.1990

E posta adel.alahmad90@gmail.com

Lisans Lazkiye Üniversitesi, Elektrik Elektronik ve Makina Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

Arapça Anadil

Yabancı Dil Türkçe KİLİS 7 ARALIK ÜNİVERSİTESİ TÖMER Bitirme Notu 80

İngilizce Orta seviye

Yayınlarm (Makaleler)

1.	Konferans	2018 5th International Conference on Electrical and Electronic Engineering (ICEEE)
	Dergi	IEEE
	Makale adı	Design and application of solar dish-gamma type Stirling system
	Tarih	21.06.2018
	DOI	10.1109/ICEEE2.2018.8391339
2.	Dergi	Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi
	Makale adı	Design and Testing of Solar Dish-Stirling System with Solar Tracking System
	Tarih	01.04.2018
	DOI	https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2018.04.01.001
3.	Dergi	Journal of Electrical & Electronic Systems
	Makale adı	Comprehensive Design of Stirling Engine Based Solar Dish Power Plant with Solar Tracking System
	Tarih	09.01.2018
	DOI	10.4172/2332-0796.1000248