

**T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YENİ BİR YOĞUNLASTIRICI GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMİ TASARIMI VE
STİRLİNG MOTOR VE JENERATÖR BİRİMLERİNİN UYGULAMASI**

Salem Alarabi ALI SHUFAT

**Danışman
II. Danışman
Jüri Üyesi
Jüri Üyesi
Jüri Üyesi
Jüri Üyesi**

**Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI
Prof.Dr.Erol KURT
Doç.Dr.Hüseyin DEMİREL
Dr.Öğr.Üyesi Seçil KARATAY
Dr. Öğr.Üyesi Javad RAHEBİ
Dr. Öğr.Üyesi. Elif AŞIKUZUN**

**DOKTORA TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

KASTAMONU – 2019

TEZ ONAYI

Salem Alarbi Ali SHUFAT tarafından hazırlanan "Yeni Bir Yoğunlaştırıcı Güneş Enerjisi Sistemi Tasarımı ve Stirling Motor ve Jeneratör Birimlerinin Uygulaması" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve oy birliği ile Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

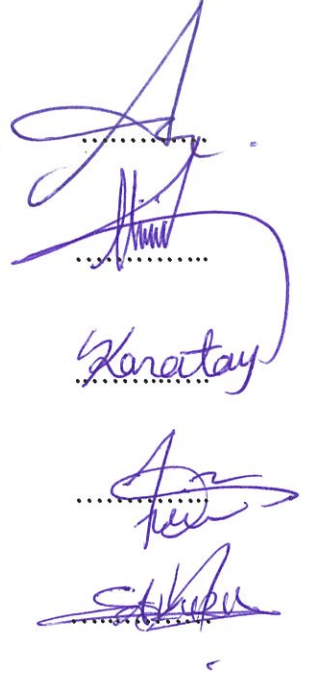
Danışman Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI
Kastamonu Üniversitesi

Jüri Üyesi Doç.Dr.Hüseyin DEMİREL
Karabük Üniversitesi

Jüri Üyesi Dr.Öğr.Üyesi Seçil KARATAY
Kastamonu Üniversitesi

Jüri Üyesi Dr.Öğr.Üyesi Javad RAHEBİ
Türk Hava Kurumu Üniversitesi

Jüri Üyesi Dr. Öğr.Üyesi Elif AŞIKUZUN
Kastamonu Üniversitesi



14/03/2019

Enstitü Müdürü Prof .Dr. Hasbi YAPRAK



TAAHHÜTNAME

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildirir ve taahhüt ederim.

Salem Alarabi Ali SHUFAT



ÖZET

Doktora Tezi

YENİ BİR YOĞUNLASTIRICI GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMİ TASARIMI VE STİRLİNG MOTOR VE JENERATÖR BİRİMLERİNİN UYGULAMASI

Salem Alarabi Ali SHUFAT

Kastamonu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI

II. Danışman: Prof. Dr. Erol KURT

Bu tez çalışmasında, Matlab-2012a benzetim programı kullanarak yeni bir beta tipi Stirling motor modeli geliştirilmiştir. Bu motora ilk kez üç fazlı sabit mıknatıslı yeni bir jeneratör eklenerek deneysel bir çalışma modeli gerçekleştirilmiştir. Modelde, Güneş enerjisinden elektriksel güç elde edebilmek için, sabit sıcaklıkta, ama farklı basınçlarda (1-5 bar) aralığında gazlar kullanılarak sistemin elektro-mekanik ve termo-mekanik özellikleri mühendislik performansı ve kullanılabilirlik verimleri iyileştirilmiştir. Çalışmada, Stirling motor ve jeneratör için; basınç-hcmim ilişkisi, rotorun dönme hızı-çalışma gaz ilişkisi, rotorun momenti - ürettiği elektriksel güç ilişkisi, basınç-hcmim ilişkisi deneyleri, ortamdaki çalışma gazların (helyum ve hava ortamları)'nın sıcaklıkları-rotorun dönüş hızı gibi çeşitli fiziksel deneyler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar teorik modellerle desteklenmiştir. Tasarlanan ve çalışan Stirling motor, 1 barlık basınç altında 1.5 kW gücü ve 600 K sıcaklık, uç sıcaklıkta üretebilmiştir. Bu çıkış gücü, belli basınç ve yüksek sıcaklık altında kontrollü olarak artırılarak 270 W maksimum elektriksel güç elde edilmiştir. Tez kapsamında yapılan deneysel ve benzetim çalışmalarında, Stirling motor için kapalı hacim ortamında çalışma gazı olarak helyum ve hava kullanılmıştır. Sonuç olarak, helyum çalışma gazında havaya göre üretilen gücün en az 5 kat daha iyi olduğu görülmüştür. Ayrıca büyük miktarda (DNI) absorbe etmek için GPS cihazı, iki kademeli motor, her bir koordinat için bir tane ve dişli kutu kullanılarak bir çift eksenli Güneş izleme tasarlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Stirling motoru, jeneratör, Güneş takip sistemi, benzetim.

2019,81 Sayfa

Bilim Kodu: 91

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

DESIGN OF A NEW CONCENTRATING SOLAR SYSTEM AND IMPLEMENTATION OF A STIRLING ENGINE AND GENERATOR UNITS

Salem Alarabi Ali SHUFAT

Kastamonu University
Institute of Science
Department of Materials Science and Engineering

Supervisor: Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI
Co-Supervisor: Prof. Dr. Erol KURT

In this thesis, a new beta type Stirling engine model has been developed by using Matlab-2012a simulation program. For the first time, this engine combined with a new permanent magnet generator with three-phase. In the model, in order to obtain electrical power from the solar energy, at a constant temperature, but at different pressures (1-5 bar), the electro-mechanical and thermo-mechanical properties of the system are improved by the engineering performance and the efficiency of use. In the study, for engine and generator; various physical experiments are done such as pressure-volume relation, rotational speed-working-gas relation of rotor, torque relation of rotor produced by engine, pressure-volume relation tests, temperature of working gases (helium and air media) and rotation speed of rotor. The results are supported by theoretical models. In the simulation, the designed engine is able to produce 1.5 kW power at 600 K temperature under 1 bar pressure. In the experiments, the power under a certain pressure and under high temperature is obtained as 270 W. In experimental and simulation helium and air are used as working gas in the closed volume. As a result, it is seen that helium working gas provides at least 5 times better electrical power than that produced by air. In addition, the GPS device to absorb a large amount (DNI), a two-stepper motors, one for each coordinate, and a dual-axis solar tracking using the gear box is designed.

Keywords: Stirling engine, generator, sun tracking system, simulation

2019,81 pages

Science Code: 9

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmam boyunca her türlü desteği ve imkânı sağlayarak değerli bilgilerinden yararlandığım danışmanım Doç. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI'na, tezimin içeriğindeki özel ölçümlerin düzenlemesi ve elektrik ve benzetim çalışmalarım da bana sürekli desteklerini ve emeğini esirgemeyen eş danışmanım Prof. Dr. Erol KURT hocama, değerli bilgilerinden yararlandığım jüri üyelerime, Laboratuvar imkanlarını bana sağlayan Prof. Dr. Can ÇINAR ve Dr. Öğr. Üyesi Halil GÖR hocalarıma en kalbi duygularıyla teşekkür ederim. Kastamonu Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine, Ayrıca Türkiye'de bulunduğum süre içinde eğitim ve araştırma faaliyetleri süresince maddi maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Libya Hükümeti'ne şükranlarımı bir borç bilirim. Tez çalışmam boyunca beni destekleyen, benim için hayati önem arz eden aileme ithaf ediyorum.

Salem Alarabi Ali SHUFAT
Kastamonu, Mart 2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
TABLolar DİZİNİ	x
GRAFİKLER DİZİNİ.....	xi
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Yoğunlaştırılmış Güneş Çanağı Sistemleri (CSD).....	4
1.2. Problemin Tanımı ve Açıklanması.....	6
1.3. Literatür Taraması	8
2. KURUMSAL BİLGİ.....	14
2.1. Stirling Motoru ve Yapısı.....	14
2.2. Sayısal Modelleme	17
2.2.1. Yerdeğiştirme Denklemleri	17
2.2.2. Hacimsel Yerdeğiştirme Denklemleri	18
2.2.3. Döngüsel Sıcaklık Denklemleri.....	19
2.2.4. Kütle Korunum Denklemleri.....	20
2.2.5. Basınç Denklemleri.....	21
2.2.6. Enerji Döngü Akışı.....	21
2.3. Güneş Takip Sistemi Tasarımı	22
2.4. Çift Eksenli Güneş Takip Sisteminin Tasarımı.....	24
2.5. Güneş Güney ve İrtifa Yörünge Açılıarı	26
2.5.1. İrtifa Açısı (Altiute).....	26
2.5.2. Güney Açısı (Azimut).....	26
2.6. Doğrudan Normal Işınım (DNI)	29
3. MALZEMELER VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ.....	31
3.1. Deneysel Yöntem ve Benzetim	31

3.2. β - Tipi Stirling Motor (SM) Modellenmesi.....	32
3.2.1. Hava Ortamında Deneysel Analiz.....	36
3.2.2. Helyum Ortamında Deneysel Analiz.....	41
3.2.3. SM için Hava ve Helyumun Karşılaştırılma Deneyi.....	43
3.3. Üç -Fazlı PM Tipi Jeneratörün Tasarlanması.....	47
3.3.1. PM Jeneratörün Yapısı ve Çalışma Prensipleri.....	50
3.4. Elektro-Mekanik Parçanın Tasarımı	56
4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER	58
4.1. Güneş İzleme Sistemi (DNI) İçin Bulgular	67
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil.1.1. Yoğunlaştırıcı güneş enerjisi sistem ile Stirling motorunun (SM) gösterimi.....	2
Şekil.2.1. (a) Stirling motorun dörtgen sürücü beta diyagramı, (b) Geometrik parametreler.....	15
Şekil.2.2. Parabolik çanak ve çift eksenli Güneş takip sistemi.....	25
Şekil.2.3. Güneş takip sistemi için güney açısı ve irtifa açıları.....	27
Şekil.3.1. Beta (β) tipi Stirling motorun (SM) kesit görünümü.....	35
Şekil.3.2. Deneysel çalışma için iş -akış şemasının benzetimi.....	36
Şekil.3.3. Eksenel/ radyal akı jeneratörün tasarımı.....	48
Şekil.3.4. Jeneratör nüve yapısı ve sargı bobinlerin tasarımı.....	51
Şekil.3.5. Jeneratörde elektrik üretmek için sargıların tasarımı.....	52
Şekil.3.6. Jeneratörün eşdeğer devresi.....	53
Şekil.3.7. Çift eksenli Güneş takip sistem tasarlanmış algoritması.....	57
Şekil.4.1. Çift eksenli hareketli Güneş takip benzetim iş-akış şeması.....	67
Şekil.4.2. Yükseklik (Step) motorlarının (a) irtifa ve (b) azimut açısı yönleri için zamana bağlı davranışları.....	70

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo.2.1. 15 Temmuz 2017 tarihinde Al-Kufra /LİBYA bölgesine ait saat (05:00- 20:00) arasında Güneşin izlenme açıları.....	28
Tablo.2.2. 15 Temmuz 2017 tarihinde Al-Kufra /LİBYA bölgesine ait saat (00:53- 23:53) arasında Doğrudan normal ışınım (DNI).....	30
Tablo.3.1. Stirling motorunda kullanılan bazı önemli sabitler.....	33
Tablo.3.2. Stirling motorunun mekanik özellikleri.....	34
Tablo.3.3. Helyum ve hava için (Elektro-Mekaniksel) özelliklerin karşılaştırılması.....	47
Tablo.3.4. Sabit mıknatıslı jeneratörün parametreleri.....	55

GRAFİKLER DİZİNİ

	Sayfa
Grafik.2.1. Al-Kufra /LİBYA bölgesine ait, yaz ve kış dönemi aynı coğrafi koordinatlardaki Güneş yörünge açılarının karşılaştırılması.....	29
Grafik.3.1 (a,b) Rotor hızında sırasıyla yaklaşık 6.2 V ve 12.1 V çıkış voltajları.....	38
Grafik.3.2. (a,b,c,d) 20 Ω yük değeri ve farklı basınç değerlerinde voltaj çıkışları.....	39
Grafik.3.3. (a) Motor hızı ve elektrik gücü (b) Motor hızı ve basınç bar (c) Basınç ve elektrik gücü karşılaştırılması.....	40
Grafik.3.4. (a, b) Farklı basınç için, 20 Ω 'luk elektrik yükünde üretilen gerilim dalgaları.....	41
Grafik.3.5. (a, b, c) $T_h = 400$ K sıcaklıkta Helyum çalışma gazı için SM özelliklerinin karşılaştırılması.....	43
Grafik.3.6. (a, b, c) SM için (a) basınç – üretilen elektrik gücü, (b) rotor hızı -üretilen elektrik gücü ve (c) belirli basınç altında, motor hızı -üretilen elektriksel güç karşılaştırılması.....	45
Grafik.3.7. Helyum ve hava için basınç başına SM çıkış gücü.....	46
Grafik.3.8. Geçişli dönme hızlarında deneysel ve teorik elektriksel güç değerlerinin karşılaştırılması.....	56
Grafik.4.1. (a,b) Krang açısına bağlı olarak hacim- basınç ilişkisi.....	59
Grafik.4.2. $T_h = 800$ K sıcaklık ve 700 rpm deki motor devrine ait (a) güç piston'un (b) yer değiştirici hareketlerinin karşılaştırılması...	61
Grafik.4.3. (a, b) T_h ;400 K ve 800 K sıcaklıklar için P-V şemalarının karşılaştırılması.....	62
Grafik.4.4. (a) T_h ; 600 K ve (b) T_h ; 800 K de P;(1,2,3,4,5 bar) basınçta motor hızı -motor gücü karşılaştırılması.....	62
Grafik.4.5. (a) T_h ;600 K. (b) T_h ; 800 K de (P; 1,2,3,4,5 bar) basınçta motor hızı- motor momentum karşılaştırılması.....	63
Grafik.4.6. SM çıkış gücü (a) motor devri (b) sıcaklığa karşı momentlerin karşılaştırılması.....	64
Grafik.4.7. (a, b) SM için rotorun dönme hızı ile AC çıkış voltajının performans karşılaştırılması.....	65
Grafik.4.8. (a, c) hava gazı (b, d) helyum gazı kullanılması durumunda motor gücü –dönüş hızı ve AC çıkış gerilimlerinin karşılaştırılması.....	66
Grafik.4.9. (a,b,c) Al-Koufra / Libya'da DNI, azimot açısı ve altitude açılarının bir günlük değişimleri.....	69
Grafik.4.10. Yüklenici mekanik momentin, dönme hızına ve motor çıkış Momentine etkisi.....	72
Grafik.4.11. Parabolik çanağa etkileyen DNI izleyici bir günlük davranışı.....	72

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

	Sayfa
Fotoğraf.3.1. Jeneratörsüz aksenal Stirling motorunun prototipi.....	35
Fotoğraf.3.2. (a) Jeneratörüne bağlı beta tipi Stirling motor için (b) sistemin volani bileşeni dönerken (c) motor kafasının laboratuvarda ısıtılması.....	49



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SM	Stirling Motoru
CSD	Yoğunlaştırılmış Güneş çanağı
AFPMG	Eksenel alan sabit mıknatıs jeneratör
CSP	Yoğunlaştırılmış Güneş gücü (watt)
PV	Fotovoltaik pil
RPM	Dakika başına devir sayısı
LDR	Işık odaklı reosta
ADC	Analogan dijital dönüştürücü
FPVS	Düz fotovoltaik sistem
FEA	Sonlu elemanlar analizi
ASHRAE	Amerikan ısıtma, soğutma ve iklimlendirme mühendisleri topluluğu
X_p	Güç pistonu'nun X yönündeki yer değiştirmesi (m)
Y_d	Güç pistonu'nun Y yönündeki yer değiştirmesi (m)
V_e	Genişleme alanı'nın hacmi (m^3)
V_c	Sıkıştırılma alanı'nın hacmi (m^3)
V_{dc}	Sıkıştırılmış boşluk hacmi (m^3)
V_{de}	Genişletilmiş boşluk hacmi (m^3)
V_{swp}	Süpürülmüş piston hacmi (m^3)
V_{swd}	Yer değiştirme tarama hacim (m^3)
A_p	Güç pistonu temas alanı (m^2)
A_d	Yer değiştirme piston temas alanı (m^2)
m_{ck}	Sıkıştırma ve daha soğuk alanlar arasında gaz akış kütle (kg)
T_c	Sıkıştırma gaz sıcaklıkları (K)
T_k	Soğuk alan gaz sıcaklıkları (K)
T_{cr}	Sıkıştırma ve rejeneratör boşlukları arasındaki gaz kütle akış sıcaklığı (K)
T_e	Genleşmede gaz sıcaklığı (K)
T_h	Isıtıcı alan gaz sıcaklığı (K)
T_{he}	Genleşme ve ısıtıcı alanları genleşme boşluğunda çalışan akışkanın kütlesi (kg)
m_e	Genişleme uzayında çalışan gaz kütlesi (kg)
m_r	Rejanötör uzayında çalışan kütle (kg)
m_h	Isıtıcı uzayında çalışan kütle (kg)
m_c	Soğutucu uzayında çalışan kütle (kg)
W_i	Döngüsel belirtilen iş (kaları)
T_h	Uygulanan sıcak sıcaklık (K)
T_c	Uyulanan soğuk sıcaklık (K)
PTDC	Piston üst ölü merkezi
PLC	Programlanabilir mantık denetleyici
DNI	Doğrudan normal ışınlama

R_L	Yük direnci (ohm)
P	Basınç (bar)
T	Sıcaklık (K)
V_{pp}	Tepe-tepe voltajı
V_{rms}	Kök ortalama kare gerilimi
W	Watt
ω_n	Dönüş hızı (rad/sn)



1. GİRİŞ

Temelde motor, bir enerji şeklini mekanik enerjiye dönüştürmek için tasarlanmış bir fonksiyonel makine topluğudur. Akım motorları olarak bilinen sistemlerde, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren herhangi bir döner elektrikli makine sınıfından biridir. Bu sistem pistonları itmek ve ayrıca bir çıkış mili oluşturmak için birçok yönden içten yanmalı motorların. İçten yanmalı motorlar genellikle nispeten verimleri düşük ve özellikle giderek artan karmaşık elektronik ve ana mekanik sistemlerden yoksun kalmaktadır. Motor, tüm çalışması boyunca silindir içindeki sıvısı'nın korunmasıyla aynı zamanda düşük karmaşıklığa sahip ve aynı zamanla ihtiyaç duyulan çok yönlülüğün ve yüksek verimli çalışma aralığı sağlamaktadır. Bilimsel anlamda motordaki çalışmalar, Stirling kardeşlerin 1816 yılında teknik olarak yaratılan gerçek motorunun ilerlemesiyle bilinir. Stirling motoru, yalıtılmış olarak bir miktar çalışma gazı'nın (genellikle hava, helyum veya hidrojen gibi gazlar) ısıtılma ve soğutulma işleminin tekrar edilmesi ile çalışır. Stirling motoru, kapalı bir haznenin dışardan ısıtılmasıyla oluşan enerjiyi mekanik enerjiye dönüştüren makinadır. Sıcak hava motoru olarak da bilinir. Isınan havanın genişleyip sıkışmasıyla motor hareket etmeye başlar. Stirling'in yaklaşımı daha çok rejeneratör olarak adlandırılan ısı transferine, yüksek verimlilik ve kapalı çevrim hava motoru büyük ölçüde ilerlemiştir. Bu rejeneratör, motorun hem soğuk hem de sıcak taraflarında bir ısı değiştirici olarak işlev görmektedir. Dolayısıyla, genişleme aralığı ve çalışma sırasında ve sıkıştırma ile birlikte geri döndüğünde çalışılar akışkanından gelen ısıyı emer. Bu teknik süreç, döngüleri arasında daha fazla enerji tasarrufu kaynakları ve yeteneği için eşsiz bir fırsat yaratır. Bununla birlikte, varolan buhar ve sıcak hava motorları ise diğer yandan, sağda değilken bu kayıp ısı için telafi edilebilir. Son derece önemli bir şekilde, rejeneratörün eklenmesi, Stirling motorunun daha yüksek bir verimlilik seviyesinde belirli bir süre içerisinde çalışmasına izin verir. Yüksek beygir gücündeki buharlı motorların, malzemelerin ve kazanların yapımındaki iyileşme ve çoğu taşıtta yaygın olarak benzersiz olan içten yanmalı motorların geliştirilmesinden ötürü üretimin daha ucuz olduğunun farkına varılmıştır.

Son olarak motorlar elektrik üretmenin bir aracı olarak geliştirilmiştir. Şekil.1.1, parabolik bir tabağın, bir Stirling motorunu entegre edilmiş haliyle Güneş yoğunlaştırıcısını göstermektedir.



Şekil.1.1. Yoğunlaştırıcı güneş enerjisi sistem ile Stirling motorunun (SM) gösterimi

Tam Güneş ışığı altında 25 KW lık güce sahip bir motor, kendi başına teknik olarak orta büyüklükteki bir eve güç sağlamak için yeterlidir. Stirling motoru geri dönüşümlü bir sistemdir. Mekanik enerji verildiğinde, bir ısı pompası veya soğutma sistemi olarak işlev görebilir. Özellikle (-40°) altında kullanışlı bir soğutucuda kullanıma uygun akışkan yoktur. Bu nedenle Stirling motoru sıcaklık gradyentini sağlamak için

mekanik enerjiyi verimli bir şekilde elektrik enerjisine dönüştüren oldukça iyi bir yaklaşım modelidir. Dahası, var olan ortama ait ısıyı daha yüksek kapasitesilere taşımak için geliştirilen sıcaklık derecesinden yararlanan bir sistemi kullanan ısı pompasıdır. Stirling motorları, uzay çalışmalarında uygulama sürecinde kullanılmak üzere uzun zamandır önerilmiştir. Üstelik bir uydunun uçuşunu bozmadan çalışabilmektedir. (Adam, 2012). Stirling motorları alfa, beta ve gamma modellerinde üretilirler. Bu modellerin her biri'nin fonksiyonel yapısı farklı olmakla birlikte temelde çalışma ilkeleri aynıdır. Her biri'nin piston yerdeğiştirici, sıcaklık veya soğuk oda tasarımlarında belirli geometrik yapıya sahiptirler. Bunun yanı sıra, piston uzunlukları gibi faktörler, yer değiştirici boyutu, tam bir makine oluşturulmasını sağlamak için çok önemli bir rol üstlenmektedir. Termodinamik olarak tahrik edilen sistemlere kıyasla temel fiziksel parametreler; basınç, hacim ve sıcaklıktır. Hem soğuk hem de sıcak odalar, hareketin sürekliliği'nin sürdürülebilirliğinde önemli bir rol oynamaktadır.

Eksenel akı kalıcı mıknatıslı alternatör sisteminin uygunluğu kompaktlığı, yüksek güç yoğunluğu, doğal soğutma ve daha ucuz yapı özelliklerini içerir. Bunun yanı sıra, üretilen çıkış fazı dalga formunun kalite seviyesi, çok düşük toplam harmonik bozulma ile yaklaşık (2.5%) ideal bir sinüzoidal dalga formuna sahiptir (Kurt vd., 2012; Gor ve Kurt, 2012; Kurt ve Gor, 2014; Kurt vd., 2014; Gor ve Kurt, 2012). Son zamanlardaki mıknatıs üretim teknolojisindeki gelişmeler, mekanik enerji'nin elektrik enerjisine dönüştürmesi ve iletimi için yeni alternatörlerin tasarımında ve uygulanmasında büyük gelişme sağlamıştır (Abuelyamen vd., 2017; Çınar ve Karabulut, 2005; Bouzelat vd., 2015; Johromi vd., 2012). Ayrıca, yüksek kaliteli nüve malzemelerin üretimi ile daha yüksek manyetik akı elde edilmekte ve makinenin enerji yoğunluğu büyük ölçüde artırmaktadır. (Thombare ve Verma, 2008). Gelişmiş ülkeler için daha istikrarlı olmasına rağmen, gelişmekte olan ülkeler için hızlı bir şekilde artmaktadır. Sanayi ve ticaret faaliyetlerindeki artış ve nüfus artışı bu eğilim üzerinde önemli rol oynamaktadır (Akizu vd., 2018; Aksoy vd., 2015; Bouzelata vd., 2015). Her ne kadar petrol, gaz ve kömür gibi geleneksel enerji kaynakları kamusal gereklilikleri yerine getirmek için kullanılsa da, artan karbon salınımı ve buna

bağlı olarak çevre sorunları, geleneksel kaynaklar için bir eşik oluşturmuştur (Kurt vd.,2016; Chalmers vd.,1999; Raasakka ve Solar,1997; Kowlski,1997). Diğer yandan, dünya rezervindeki azalma ve artan maliyet nedeniyle bu kaynakların dünyadaki erişilebilirliği de etkilenmektedir. Tüm bu yönler, mühendisleri ve akademisyenleri, enerji açığındaki mevcut ve gelecekteki talep için yenilenebilir enerji kaynaklarını keşfetmeye teşvik etmiştir. Yenilenebilir kaynaklar arasında Güneş, rüzgar, jeotermal, hidrojen, hidro, gelgit, ve enerji hasadı belirtilebilir. Yukarıdaki kaynaklar göz önüne alındığında, en umut verici olanı Güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, Güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile (hidrojen gazının helyuma dönüşmesi) açığa çıkan ışıma enerjisidir. Dünya atmosferinin dışında Güneş enerjisi'nin şiddeti, yaklaşık olarak 1370 W/m² değerindedir, ancak yeryüzüne ulaşan miktarı atmosferden dolayı 0-1100 W/m² değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerji'nin dünyaya gelen küçük bir bölümü dahi insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisi herhangi bir zararlı gaz salınımı'nın olmadığı, doğrudan Güneş ışığından üretilen temiz bir enerji kaynağıdır. Güneşin yaklaşık yüzde 90'ını oluşturan hidrojen gazının nüveleri füzyon ile helyum nüveleri oluşturmakta ve bu sırada çok büyük bir enerji açığa çıkmaktadır. Güneşte meydana gelen tepkimeler sonucunda oluşan bu enerjinin bir kısmı dünyaya ulaşan ışıma enerjisidir. Bu ışıma panellerle elektrik enerjisine çevrilerek fotovoltaik tamamlanmaktadır. Güneş'in enerji emisyonu'nun, dünya'nın 150 milyon km'den daha uzak yerinden oluşması nedeniyle Bu gücün neredeyse % 30'u ancak gezegen'in yüzeyine ulaşmaktadır (Kowalski,1997; William ve Michael ,2011; Badescu,1998).

1.1. Yoğunlaştırılmış Güneş Çanağı Sistemleri (CSD)

Güneş enerjisi gezegenimiz için çok önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Özellikle bu enerjiden yararlanmak için son on yıldır iki tür Güneş enerji sistemi geliştirilmiştir. Bunlar sırasıyla, fotovoltaik (PV) ve yoğunlaştırılmış Güneş enerjili çanak sistemleri (CSP)'dir. Her ikisi de daha geniş kurulum alanları gerektirmesine rağmen, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre pekçok üstünlükleri bulunmaktadır (Bouzelata vd.,2015).

Kendi kendine yetebilen yaşam alanı çözümlerinde fotovoltaik pillere göre daha verimli olan SM (Stirling motor) sistemleri genel olarak daha çok tercih edilmektedir. Bu sistemler ısı üretmeden, dışarıdan aldığı ısıyı, mekanik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Parabolik çanak geometrisi ışığı odak noktasında yoğunlaştırır, yani parabolün eksenine paralel olan tüm Güneş ışınları merkezi alıcıya yönlendirilir. Bu tip kolektörün, diğer tüm Güneş kolektör tipleri arasında en yüksek yoğunlaşma oranlarına ulaşmasını sağlar. Çanak yoğunlaştırıcı Güneşe doğru yönlendirilmelidir. Genellikle bu teknolojiye kayıplar, hizalama kusurları ve yansıma idealliği ile ilişkilidir. Yoğunlaştırılmış Güneş enerjisini elektriğe dönüştüren motor odak noktasına yerleştirilir. Stirling motorları boyutlarına göre çıkış gücü üretebilir. Bir SM'nin temelinde mekanik güç üretimi, ağırlık, maliyet etkileri, çıkış gücü ve boyutlar önemli bir rol oynar. Çıkış gücünü optimal olarak, içerideki doldurulmuş gaz çeşidi piston çapları ve periyodik akışlı rejeneratörleri (ısı değiştirici)'de büyük ölçüde etkileyebilir. Bu tip ısı değiştiricilerde akışkanlar birbirleriyle temas etmezler. Termik santrallerde görülen bu ısı değiştiricisi yanma, havası'nın ısıtılması gibi sistemlerde kullanılmaktadır. Gerçekte SE'ler, parabolik çanak gibi harici bir ısı kaynağı işlemi için tasarlanmıştır. SM sisteminin tasarımlarında hava, helyum, hidrojen, azot gibi birçok farklı çalışma gazı türü vardır. Bu gazlar, yüksek ve düşük sıcaklık seviyelerinde genleşme ve sıkıştırma ile kapalı bir termodinamik döngü üzerinde çalışırlar. Sıcaklıktaki farklılıklar makinenin iki ucunu etkileyerek, yüksek sıcaklık kısmı için; petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtlar veya Güneş enerjisi veya biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları sıklıkla kullanılır (Johromi vd.,2012; Li vd., 2014; Gheith vd.,2011; Url1; Kongtragool vd.,2003; Mishra vd., 2014; Cheng vd., 2011; Url2)

SM, yüksek verimlilik nedeniyle Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için iyi bir seçimdir. Etkililik açısından, SM sistemleri Güneş enerjisinden şebekeye dönüşüm etkinliği konusunda iyi bir karektere sahiptir (Teruyuki vd., 2014). Bunun yanı sıra; bu sistemlerin modellenmesi, optimizasyondaki iyileşme nedeniyle hala ilgi çekmektedir. (Howard ve Harley, 2014). Bu çalışmada, başlangıçta bir beta tipi Stirling motoru'nun analitik bir modellemesi yapılmıştır. Daha sonra, model denklemlerini takip eden yeni bir benzetim çalışması yapılarak, analitik çıkarımlar

programda koşturulmuştur. Esas olarak modelde basınç, güç ve motor hızı ana parametreler olarak belirlenmiştir.

1.2. Problemin Tanımı ve Açıklanması

Son zamanlarda yapılan bilmsel ve teknolojk çalışmalarda, Stirling motorların ve bileşenlerinin ait sürücü mekanizmaları geliştirilmiştir. Bileşenler arasında, krank mili, eşkenar dörtgen mil, kanat plakası, isveç-boyunduruğu, titreme-boyunduruğu ve çapraz boyunduru mekanizmalarının keşfedilmesi ilginçtir. (Kadri ve Abdallah,2016) Bir hibrit sistemin uygulanabilirliği ve Güneş çanağı / Stirling motor performansına dayalı bir jeneratör ve bir akümülatör kullanmıştır. Diğer çalışmada, Barreto ve Canhoto (Berreto ve Canhoto,2017), elektrik jeneratörlü parabolik çanak ile desteklenen Güneş enerjisi ile çalışan deneysel tip Stirling motor algoritmasını geliştirmiştir. Araştırmalarında, doğrudan aydınlatmalı sağlam bir ısasal alıcı kullanarak yaklaşık % 24 verimle çalışan motor geliştirilmiştir. (Wu vd.; 2014) çift etkili termoakustik özelliklere sahip üç silindir içeren bir hibrit Stirling ve elektrik jeneratörü geliştirilmiştir. 5 MPa helyum şarj basıncında % 17 termal-elektrik dönüşüm verimi ile yaklaşık 1.5 KW elektrik enerjisi elde edilmiştir. Bunun yanı sıra (Hongling vd., 2014) tarafından yapılan çalışmada, elektirik üretebilecek bir Stirling motoru geliştirilmiştir. Ancak bu deneylerde motorda çalışmasını engeleyen bir çok sorunla karşı karşıya kaldılar. Birincisi, iç boşlukları doldurmak için genişleyen köpük kullanılarak giderilen yüksek ölü hacim, diğer bir sorun, yağ kullanımında bile iyileşmemiş olan kompresör çıkış mili sürtünmesiz olması gerekiyordu ve piston kapağı üzerindeki bir sızıntı ile temsil edilen, aşırı yüksek sıcaklıklar nedeniyle sabitlemek fikrinin gereksizliği idi.

Ayrıca, motor sayısal analizinde, çalışma akışkanı'nın düşük basıncından dolayı başka bir hata kaynağı tespit edildi. Yaşanan zorluklara rağmen, ekip tarafından motorun performansını ve düzelme için veriler elde edilmiştir. Daha ileri üretim teknikleri konusunda daha fazla deney yapılması, ölü hacimlerin azalmasıyla motor üniteleri'nin tasarımında değişikliklere neden olabilir. Literatüre göre nüvelerine ve ard nüve

bileşenlerine bağlı olarak çeşitli makine tasarımları bulunmaktadır (Thombare vd.,2008). Lamine silikonlu bir çeliğin alternatördeki sert bir ard nüve ile değiştirilmesi durumunda makinenin maliyetini düşürdüğünü bulunmuştur. Bununla birlikte, bu nüve kaybına neden olan girdap akımlarıda araştırılmıştır. (Çınar ve Karabulut,2005; Hossminzade vd.,2015; Walker,1980; Solmaz ve Karabulut,2014; Lu vd.,2016). Son dönemdeki çalışmalar özellikle, nüve ve bakır kayıpları dahil olmak üzere alternatör kayıplarını en aza indiren verimlilik üzerine odaklanmaktadır (Kurt vd.,2014; Gor ve Kurt,2012). Temel görev, çalışma hızı rejimine, uygun elektromanyetik ve mekanik tasarıma ve bu konuda doğru kontrol şemasına bağlı olarak malzeme seçimidir (Kurt vd., 2012).

Bu çalışmanın amacı, Güneş izleme sistemi tarafından kontrol edilen hareketli yoğunlaştırılmış Güneş enerjisi (CSD) kullanarak, 200-500 (watt) elektrik üretecek verimli bir beta tipi Stirling motor tasarlamak ve üretmektir. Yoğunlaştırılmış Güneş enerjisi'nin potansiyel bir enerji kaynağı olduğu düşünülse de, zaman çizelgesi testinde yetersiz Güneş ışığına maruz kalması nedeniyle bir propan brülörü ile çalıştırılması uygun olmaktadır. Isıtıcı, soğutucu, rejeneratör, volan ve borulama sistemlerinin tasarımı, yapımı ve analizi yapılmıştır. Tüm montaj süresince sıcaklıkları izlemek için aletler motorun içine yerleştirilmiştir. Çalışma kapasitesini artırmak için birleşik motorda elektrik jeneratörü ile sayısız değerlendirme yapılmıştır. Öte yandan, benzer cihazlarda geliştirilen güç toplayıcılar tarafından yoğunlaştırılmış Güneş enerji miktarına bağlıdır, Güneş izleme sistemlerinde tasarım ve geliştirme gerekliliği, gündüz saatlerinde Güneş yolunu takip edebilmelidir. Yıllık bazda enerji yoğunluğu dikkat çekici bir parametredir. Güneş hareketinden dolayı gündüz hiçbir açıdan sabit değildir. Oysaki Güneş enerjisi takip sistemi kullanırsa ve mevcut enerjiyi standart sistemlere göre daha yüksek elde edilebilir. Bir Güneş enerji verimliliğini arttırmanın bir yolu, farklı verimli malzemeler kullanarak çanak sisteminin üretilmesidir. Diğer bir yol ise, Güneş ışığını verimli ve hızlı yanıt veren bir Güneş izleyici kullanarak takip etmektir. Kontrol edilebilir bir hareketli çanak kullanarak Güneş enerjisi üretimi verimli bir çözümdür. Dünya dönerken, kolektörlere ulaşan Güneş ışınmasını kontrol edilebilir döner çanakı belirlenerek Güneş enerjisi üretiminde etkili çözüm elde edilir.

Bu nedenle, her yoldaki Güneş enerjisi'nin izlenmesi sistemin kapasitesini artırır. Aslında, bir Güneş izleyici, tüm gün boyunca süper radyasyon elde etmeye yardımcı olan otomatik bir Güneş kartıdır (Appleyard,2009). Bu nedenle, yukarıda belirtilen hususların işaretlenmesi için yapılması gereken çalışmalar yapılması, çalışma akışkanının elverişli bir çalışma oluşturmak amacıyla incelenmesini içermektedir.

Bu tez çalışması üç temel hedef üzerine kurulmuştur; birincisi Stirling motorunu çalıştırmak için kullanılacak olan ısı kaynağı tespit edilmiş, ikincil olarak bu kaynak için uygun motor tipleri belirlenmiş ve son olarak bu sistemin ana bileşenleri belirlenerek, mekanik enerjiyi verimli elektrik enerjisine dönüştürmek için bir jeneratörlü elektrik üretimi incelenmiştir.

Elektrik jeneratörü ve Stirling motorundan oluşan bir hibrit sistem için eşkenar dörtgen sürücü mekanizması ve yenilikçi bir kombinasyon olarak bir eksensel akılı jeneratörü ile takviye edilen yeni bir sistem oluşturulmuştur. Hibrit sistem için ısıl modelleme ve benzetim gerçekleştirmiş ve sonuçlar *euroidish* sistemi için bildirilen deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çalışmada, Stirling motoru için iki silindri hava kompresörü kullanılarak, piston kapakları çalışır hale getirilmiştir. Volan ve bağlantı borusu da sisteme dışarıdan kurulmuştur. Sistemdeki iç sıcaklıklar sistem içerisine yerleştirilen ısıölçer yardımıyla ölçülmüştür.

Çalışmada öncelikle düşük devirde güç üretebilecek jeneratör sisteme eklenmiştir. Motor için gerekli olan moment ve devir sayısı test edilerek gerekli güç hesaplanmıştır. Ayrıca, bir propan brülörü, gerçek konsantre Güneş kaynağı yerine ısı kaynağı olarak kullanılarak veriler elde edilmiştir.

1.3. Literatür Taraması

Gelişen teknoloji ile birlikte Güneş enerjisinden en verimli şekilde yararlanmak için ortama ve koşullara göre Stirling motoru ve Güneş yoğunlaştırıcıları ile birlikte yenilikli özelliklere sahip olan makineler tasarlanıp imal edilmiştir.

Mpallavi vd.,2002'deki çalışmalarında, Arduino (açık kaynak kodlu bir mikrodenetleyici kart) durumunu kullanarak Güneş takip sistemi'nin iki eksenli otomatik kontrolünü çalışmasında açıklanmıştır. Çalışmamızda Güneş ışığını algılamak ve toplamak için donanım geliştirmede ışığa bağlı direnç (LDR) kullanılmıştır. Solar çanağı LDR tarafından algılanan Güneş enerjisine göre hareket ettirmek için iki sabit mıknatıslı DC motor kullanılmıştır. Sürekli mıknatıslı DC ayarlı motorlar çıkış olarak ayarlarken, LDR sensörlerini giriş olarak kullanan bir kontrolör tasarlanmış ve sinyallerin üretilmesi ışığın yoğunluğunu algılayabilen LDR ile gerçekleştirilmiştir.

Chia-Yen vd.,2009 daki çalışmalarında, Güneş izleme sistemleri ile ilgili başlıca algoritma ile SM Güneş izleme algoritmaları nın kontrol şekline göre genellikle kapalı döngü veya açık döngü kategorilerine ayrılabilceği gösterilmiştir. Çalışmada, kontrol prensiplerin hesaplanması, ilkelerin gözden geçirilmesi, göreceli avantajların ve dezavantajların sistematik olarak belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Geleneksel sabit konumlu analog sistemlerle karşılaştırıldığında, dijital olarak Güneş yolunu izleyen sistemlerin daha yüksek bir Güneş enerjisi yoğunluğu elde ederek, daha yüksek çıkış enerjisi ürettikleri ispatlanmıştır. Bu çalışma, ayrıca çeşitli yüksek performanslı Güneş-tabanlı kullanımlar için doğrulanmıştır.

Sadeghierad vd.,2009 daki çalışmalarında, temel ilkelerden hareketle yüksek hızlı eksenel moleküler akılı jeneratör için tasarım önermiş, yüksek hızda eksenel akı üretici'nin basit bir modeli sunulmuştur. Tüm güç kayıpları ayrıntılı olarak belirlenmiştir. Bu modelde kaçak akı, doğrusal olmayan mıknatıslar ve tüm güç kayıpları ilk kez FEM analizleriyle doğrulanmıştır.

Sikora 2009 daki çalışmasında, Stirling motor krank mekanizması için algoritmik dinamik bir modeli geliştirilmiştir. Modelde, karmaşık bir ısı ve güç ünitesi modeli'nin bir parçası, Stirling motoru ve üç faz eşzamanlı jeneratörden oluşan bir sistem kullanılmıştır.

Henrik Carlsen ve arkadaşları 2010 daki çalışmalarında, düşük karışık ısı ve enerji tesisleri için yeni bir Stirling motoru geliştirmişlerdir. Bu kararlı Stirling motorları için yarı-hermetik motorun yapısında, kaçak sorunları ve ciddi miktarda çubuk aşınmasının giderildiği elektrik gücü çıkışlı sistem incelenmiştir. Ayrıca, karterdeki yağlanmanın ortadan kaldırılması, amaca uygun olduğu gösterilen yeni krank mekanizması sağlanmıştır.

Shendage ve arkadaşları 2011 daki çalışmalarında, basınç düşüşlerini, ölü hacimleri, ısıl girişlik derinliği ve rejeneratör geometri dikkate alınmış rejeneratördeki uygun verler tespit etmişlerdir. Örneğin 30 bar basınç, 750 K sıcak hava sıcaklığı, 1440 rpm hız ve hidrojen gibi tek bir silindir, eşkenar dörtgen sürücülü beta Stirling motoru için elde edilmiştir.

Ahmed ve arkadaşları 2013 daki çalışmalarında, Libyada gelecek nesillerin enerji kullanımı ve enerji'nin gelecekteki beklentilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında, enerji üreten şirketler ve büyük enerji tüketicileri gibi devlet kurumlarındaki yöneticilerle enerji politikası görüşülmüştür. Libya'nın yenilenebilir enerji kaynağına sahip olduğu, ancak kapsamlı bir enerji stratejisine acilen ihtiyaç olduğu ve yenilenebilir enerji sektöründeki finansal ve eğitimsel yatırımları kapsayan titiz bir uygulama olduğu sonucuna varılmıştır.

Chen 2014 çalışmasında, iki silindirli hava kompresörlü bir konfigürasyonla yaklaşık (200-500) watt elektrik üretebilen bir alfa tipi Stirling motoru tasarlamıştır. Potansiyel ısı kaynağı olarak yoğunlaştırılmış Güneş enerjisi kullanılmıştır. Ancak çalışmada yeterli olmayan Güneş ışığından dolayı analiz durumları bir propan brülörü ile değiştirilmiştir.

Kurt ve arkadaşları 2015 deki çalışmalarında, yeni eksensel alanlı sabit mıknatıslı jeneratör (PM) üzerine elektromanyetik yöntemlerle tasarım ve benzetim yapmıştır. Bu jeneratöre çok sayıda stator ve rotor bulunmaktadır. Jeneratörün ortasında çift taraflı, radyal ve açılabilir olarak farklı konumlandırılmıştır. Burada, bobinlerin içinde bulunan ve daha yüksek bir sıcaklıkta sürekli çalışmadan ısı azaltılmasına yardımcı

olan daha yüksek bir manyetik akı yoğunluğu elde edilir. Önerilen model, 3 fazlı, 48 bobine sahip olup, böylece her fazın üretimi, 16 bobin çıkış gerilimi ile elde edilmiştir. Benzetimlerde, 1.5 KW'lık gücün 125 devir/dak da düşük dişli moment değeri ile elde edilebildiği gösterilmiştir. Bu jeneratörün, rüzgar enerjisi uygulamalarına alternatif bir çözüm olduğu iddia edilmiştir.

Blessy tarafından 2015 yapılan bir çalışmada, Stirling motorlarının Güneş enerjisinden elektrik üretimi için önemi hakkında bilgi vermiştir. Aynı zamanda, çoğunlukla ergimiş tuz depolama sistemi için Güneş enerjisini ısı depolama sistemi olarak kullanmıştır. Bu depolama sistemi daha az tuz gereksinimi, daha yüksek buhar kapasitesi, hava soğutması ile daha iyi uyumluluk, daha iyi performansı ve boru sistemlerinin basitleştirilmesini sağlamaktadır.

Sarker ve arkadaşları 2015 deki çalışmalarında, iki eksenli (azimut ve irtifa) otomatik kontrol Güneş takip sisteminin deneysel tasarım, imalat ve aynı zamanda Güneş ışınımının yönüne uygun olarak Güneş PV panelini izlemek üzere yeni bir yazılım modeli geliştirmişlerdir. İzleme sisteminin tanımı, bir kontrol yazılımı tarafından motoru hareket ettirmek ve destek montajlarla rulman düzenlemelerini ayarlamak için, yerleşik bir ADC kumanda devrelerine sahip sensör ve mikrodenetleyiciyi içermektedir. Güneş ışınlarını sensörün ortasında tutmak ve sistem panelini hareket ettirmek için iki dik motor kullanılmıştır. Yerel iklim koşullarında performansını belirlemek için deneysel bir çalışma yapılmış, bu çalışmada iki eksenli izleme sistemlerinin kullanılmasının düz bir fotovoltalite sistemin (FPVS) elektrik üretimi üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ölçülen değişkenler ile sabit eksen arasında bir karşılaştırma yapılmıştır.

Pavlovic ve arkadaşları 2016 tarafından yapılan çalışmada, ofset parabolik çanak Güneş yoğunlaştırıcı kollektörün geometrik ve optik modellemesi geliştirilmiştir. Ofset parabolik çanak, yoğunlaştırılmış toplayıcı'nın tamamen yeni bir fiziksel ve matematiksel optik modelidir. Bu çanak eliptik bir yapıya sahip olduğu için, odak alanı iyi bir toplam akıya sahip olması gerekiyor, bu yüzden Güneş enerjisi yoğunlaştırıcı verimliliğini artırmak için alıcının parabolik geometrisinin değiştirilmesi gereklidir.

Kurt ve arkadaşları 2016 tarafından yapılan çalışmada, üç fazlı eksenel akı jeneratörünün tasarımı ve benzetimi gerçekleştirilmiştir. Jeneratör iki tarafta iki rotor ve ortada bir stator içerir, bu jeneratör sürekli mıknatıs makine olup, içindeki rotorun ortasında 16 bobin ve statorun ortasında, 24 bobinin bulunduğu 16 mıknatıs bulunmaktadır. Jeneratörün doğrudan sinüzoidal çıktı ürettiği ve dalga şeklinde bir dönüşüm gerektirmediği anlaşılmıştır. 3D benzetimler sonlu elemanlar analizi (FEA) metodu ile manyetostatik ve manyeto dinamik araçlarla yapılmıştır. Makinenin, 1.5 mm'lik hava boşluğu için 1000 rpm de 3,4 kw ürettiği bulunmuştur. Bu jeneratör nominal değeri için 336 kW /m³ lük güç yoğunluğunu sahip olmakla beraber diğer birçok eksenel akı jeneratörü'nün oluşturduğu güç yoğunlukların dan daha yüksektir.

Yasin ve arkadaşları 2016 tarafından yapılan çalışmada, Amerikan günlük ısıtma, soğutma ve iklimlendirme mühendisleri derneğini (ASHRAE) enlem çeşitliliği için mevsimsel ve yıllık mükemmel eğim açısı başarıyla uygulanmıştır.

Bilinen sonuçlar ile yerel ölçülen resmi veriler ve NASA tarafından açıklanan veriler arasındaki karşılaştırmaya göre, SM her iki yarım kürede özellikle orta ve yüksek enlemlerde kullanılması önerilmiştir.

Kurt ve arkadaşları 2017 tarafından yapılan çalışmada, Stirling motorlarında kullanılan çalışma akışkanları'nın termodinamik özelliklerinin sıcaklığa bağlı olarak dalgalanmış, ve akışkanların motor performansı üzerindeki etkileriyle ilgili bir tartışma yapılmıştır.

Botean 2017 bir çalışmasında, bir kısmi yüke karşılık gelen çalışma modunda 38,16 cm³ toplam yüklere karşılık gelen, bir gama konfigürasyonlu Stirling motorunun deneysel güç çıkışını incelemiştir.

Kocarev ve arkadaşları 2017 tarafından yapılan bir çalışmada, Stirling motoru ile harici ön çalışma yapılmıştır. Stirling motorları'nın senkronize salınımlarını, salınım frekansları değişmeden edilmiştir. Çünkü eşzamanlı ve yüksek frekanslar, toplam çıkış enerjisini artırmak için temel faktörlerdir.

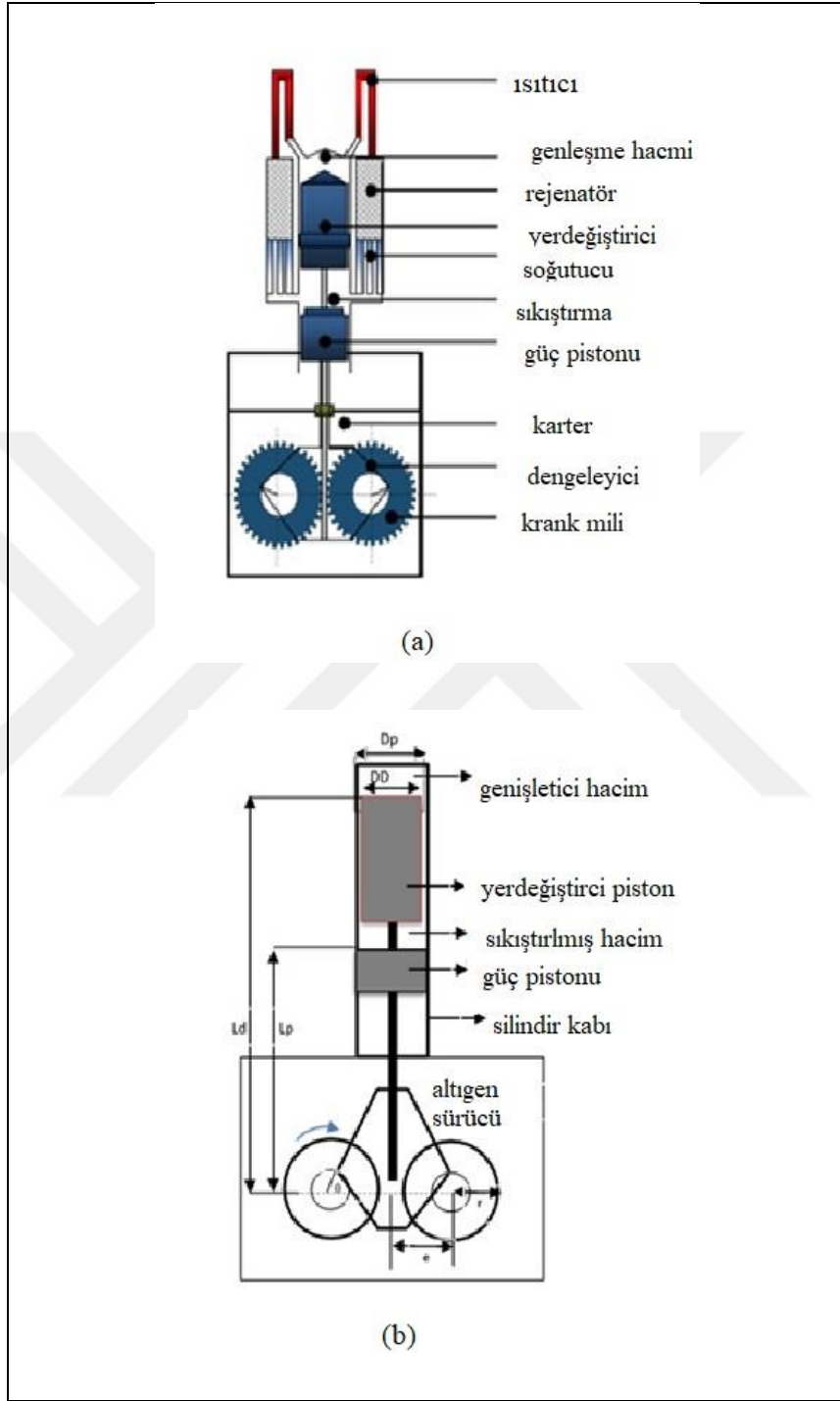
Akbar vd.,2017, tarafından yapılan çalışmada, tek eksenli izleyici ve sabit Güneş paneli ile bir karşılaştırma yapıldığında, çift eksenli Güneş izleyicisi'nin elektrik gücü çıkışı açısından çok güçlü olduğu sonucuna varmışlardır.



2. KURAMSAL BİLGİ

2.1. Stirling Motoru ve Yapısı

Stirling motoru, kapalı bir haznenin dışardan ısıtılmasıyla oluşan enerjiyi mekanik enerjiye dönüştüren makinadır. Isınan gazın genişleyip sıkışmasıyla motor hareket etmeye başlar. Stirling motoru, sıcak hava motoru olarak da bilinir. Dıştan yanmalı motorlu bir ısı makinesi tipidir. Isı değişimi süreci, ısının mekanik harekete dönüşümünün ideal verime yakın olmasına izin verir. 1816 yılında İskoç rahip Reverent Robert Stirling icat etmiştir. Stirling motoru, yalıtılmış olarak bir miktar çalışma hava, helyum veya hidrojen gibi gazlar ısıtılma ve soğutulma işleminin tekrar edilmesi ile çalışır. Motor, Schmidt teorisine dayanan ideal bir adyabatik model gibi çalışır. Bu teoriye göre, basitleştirilmiş bir motor modeli beş hacim göz önüne alınarak üretilebilir (Abbas vd.,2011). Bu çalışmada, Şekil 2.1a'da önerilen tasarımın çalışma alanı hacimlerini elde etmek için benzer bir yöntem izlenmiştir. Şekil 2.1a sabit bir işlem sıcaklığına sahip tek silindrii eşkenar dörtgen sürücü beta konfigürasyon SE'nin şematik diyagramını göstermektedir. Bu konfigürasyon için ana çalışma alanları soğuk uç alanı (yani sıkıştırma alanı), rejeneratör alanı ve sıcak uç alanıdır (yani genişleme alanı). Bu modelde, yer değiştirme pistonu'nun hareketi genişleme alanı'nın hacmini değiştirir. Tekrarlayıcı hacim, Şekil 2.1b'de görüldüğü gibi, yer değiştirici piston ve silindiri arasındaki bağlantıya da dayanmaktadır. Sıkıştırma hacmi, hem dengeleyici hem de güç pistonlarının hareketinden dolayı değişirken, alternatif yer değiştirme ve döngüsel enerji akışı; motorun hacimsel yer değiştirmesi, çalışma sıvı akısının ani kütle değişimi, döngü basıncı ve sıcaklık parametrelerine bağlı olarak değişir (Zainudin vd.,2014). Özellikle elektriksel formda enerjiye olan talep ev ve endüstriyel uygulamalar için ve diğer günlük yaşamlarımız için artmaktadır. Geleneksel enerji dönüşüm yöntemlerine ek olarak, günümüz dünyasında diğer alternatif ve yenilenebilir enerji kaynakları da ilgi çekmektedir (Johromi vd., 2012).



Şekil.2.1. (a) Stirling motorun dörtgen sürücü beta diyagramı,
(b) Geometrik parametreler

Günümüzde, biyokütle, rüzgar, jeotermal ve Güneş enerjisi, en umut verici yenilenebilir ve alternatif enerji kaynakları arasında sayılabilir (Li vd.,2014). Alternatif enerji kaynaklarına ek olarak, daha verimli enerji dönüşüm sistemlerine duyulan ihtiyaç kaçınılmazdır (Johromi vd.,2012; Li vd.,2014; Gheith vd., 2011, Url3). Stirling motoru en etkili enerji dönüşüm sistemlerinden. Tarihsel olarak, ilk defa İskoçya'da Robert Stirling tarafından patenti alınmıştır. Daha sonra motor, iki izotermal ve iki sabit hacimli işlemde yararlanarak kapalı bir rejeneratif termodinamik döngü sergileyen, harici bir yanma prosedürüne sahip olduğu için birçok amaç için kullanılmıştır. Daha önceki çalışmalarda, Stirling motorlarının yüksek ısı verimleriyle bilindikleri belirtilmiştir. Aslında, Stirling motoru, Carnot verimliliğine eşit teorik bir termal verime sahiptir (Teruyuki vd.,2014; Hower ve Harley, 2014). Stirling motorlarının diğer bazı avantajları şu şekilde ifade edilebilir: yakıt esnekliği, düşük ses seviyesi, uzun ömür, kolay bakım, iyi moment özellikleri, az yağlama gereksinimi ve üretim kolaylığı. Motorun sıcak bölmesi için her türlü ısıtma kaynağı kullanılabilir (Gheith vd.,2011). Elektriğe günlük yaşamda olan yüksek bağımlılığın bir sonucu olarak, enerjiyi doğrudan elektriğe dönüştüren mekanik sistemler mühendislik toplulukları arasında büyük ilgi görmüştür. Bu dönüşümü yapma'nın birçok yolu olsa da, günümüzün bilimsel topluluklarının sorunu sürdürülebilir, açık ve çevre dostu bir şekilde elektrik üretmektir. Konvansiyonel yakıtların yol açtığı küresel iklim değişikliğinin ve çevre kirliliğinin üstesinden gelmek için etkin doğrudan dönüşüm sistemleri ilgi çekmektedir. Tez kapsamında, eksenel akı sabit mıknatıslı alternatörler iki tip olarak sınıflandırılır: Demir- nüveli ve nüvesiz jeneratörler (Url1, Abbas vd.,2011; Kongtragool vd.,2003). Nüvesiz jeneratörler, hafif, yüksek verim, dişli çarksız ve kolay bakım gibi üstünlüklere sahiptir. Bununla birlikte, hava boşluğunun daha büyük etkili uzunluğundan dolayı, daha büyük mıknatıs hacmine ihtiyaç duyarlar, böylece aktif malzeme maliyeti demir-nüveli makinelerle kıyasla daha yüksek hale gelir (Abbas vd.,2011; Zainudin vd.,2012) Ayrıca, alternatörlerin içinde stator ve rotor arasındaki yüksek elektromanyetik eksenel kuvvetler korunur ve bu da operasyon sırasında ek bir mekanik strese neden olur (Zainudin vd.,2012) .Geri demir bileşeni için, açık devre üzerindeki kayıplar, elektrik yükündeki kayıplarla karşılaştırıldığında çok küçüktür.

Alternatör akısı, aynı hacme sahip geri ütülenmemiş versiyon dan daha yüksek hale gelir, bu nedenle, özlü ve geri demir içeren makinelerde yüksek enerji yoğunlukları elde edilir. Üretim noktasından itibaren ılımlı çelik, silikon çeliğinden daha ucuzdur, bu nedenle üretim için çok uygundur.

Dönüşüm sistemleri, mevcut işimizde olduğu gibi dişli veya doğrudan tahrikli tipte olabilir. Doğrudan tahrik mekanizması, dişli tahriklere kıyasla daha yüksek güvenilirliğe, daha az bakım, azaltılmış ses, daha düşük atalet momenti ve daha yüksek verime sahiptir. Ek olarak, şanzıman bu tür mekanik dönüşüm sistemlerinde aksama ve arızaların ana nedenlerinden biridir ve önerilen makine bu gibi aksaklıkları önler.

2.2. Sayısal Modelleme

Sayısal modelleme beş ana birimden oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla; yer değiştirme denklemleri, hacimsel denklemler, döngüsel sıcaklık denklemler, kütle korunum denklemleri, basınç denklemleri ve enerji akış denklemleri ile ilişkileridir.

2.2.1. Yerdeğiştirme Denklemleri

Sürücü mekanizması ile bağlantılı olan güç piston vuruşlarına ait $x(t)$ ve $y(t)$ yer değiştirici fonksiyonları olup aşağıda verilmiştir (Zainudin vd.,2012).

$$x(t) = \frac{x_0}{2} \left(1 + \cos \left(\theta - \frac{\pi}{2} \right) t \right) \quad (2.1)$$

$$y(t) = \frac{y_0}{2(1+\cos\theta)t} \quad (2.2)$$

ve hız denklemleri sırasıyla $\dot{x}(t)$ ve $\dot{y}(t)$

$$\dot{x}(t) = -\frac{x_0}{2} \left(1 + \sin \left(\theta - \frac{\pi}{2} \right) t \right); \quad (2.3)$$

$$\dot{y}(t) = -\frac{y_0}{2(1+\sin\theta)t}; \quad \text{verilmektedir.} \quad (2.4)$$

Denklem 2.3 ve 2.4 de verilen x_0, y_0, θ sırasıyla, $t=0$ anındaki başlangıç dğerlerine ait güç pistonun yer değiştirici vuruşları ve krank açısıdır.

2.2.2. Hacimsel Yer değiştirme Denklemleri

Silindirlerin yer değiştirmeleri (pistonlar) ve kesit alanları açısından, sırasıyla genleşme ve sıkıştırma boşluğu hacimleri, V_e ve V_c hesaplanabilir. Hacimlerin durumları göz önünde bulundurularak, genileme ve sıkıştırma alanı hacim ifadeleri aşağıdaki gibi verilir (Kraitong, 2012).

$$V_c(t) = V_{dc} + x(t)A_p(y_0 - y(t))A_d; \quad (2.5)$$

$$V_e(t) = V_{de} + y(t)A_d; \quad (2.6)$$

$$V_c(t) = V_{dc} + 0.5V_{swp} \left(1 + \cos\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right)\right) + 0.5V_{swd}(1 - \cos(\theta)); \quad (2.7)$$

$$V_e(t) = V_{de} + 0.5V_{swd}(1 + \cos(\theta)); \quad (2.8)$$

Burada sırasıyla, (2.5 - 2.8) arasındaki denklemlerde belirtilen $V_c, V_{dc}, V_e, V_{de}, V_{swp}$, ve V_{swd} , sıkıştırma hacmi, sıkıştırma ölü hacim, genleşme hacmi, genleşme ölü hacmi, süpürölmüş hacim (piston) ve yerdeğiştirme hacimleri verilmiştir. Ayrıca, A_p ve A_d , güç pistonu temas alanı ve yerdeğiştirme temas alanlarını göstermektedir.

$$\dot{V}_c(t) = -0.5V_{swp}\omega \sin\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) + 0.5V_{swd}\omega \sin(\theta); \quad (2.9)$$

$$\dot{V}_e(t) = -0.5V_{swd}\omega \sin \theta; \quad (2.10)$$

Eğer sıkıştırma ve genleşme hacimlerin birinci türevlerini alırsak, hız değişimlerine kolaylıkla sinusal olarak ulaşabiliriz. Burada, ω (rad/s) cinsinden motorun açılısal hızıdır.

2.2.3. Döngüsel Sıcaklık Denklemleri

Sıkıştırma, genleşme ve rejeneratör boşlukları içindeki gaz sıcaklığı, ideal gaz halinin denklemi aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$T_c(t) = PV_c / Rm_c \quad (2.11)$$

$$T_e(t) = PV_e / Rm_e \quad (2.12)$$

$$T_r = \frac{(T_h - T_k)}{\ln(T_h / T_k)} \quad (2.13)$$

Sıkıştırma hacmi ile soğutucu arasındaki gaz kütlesi'nin akış sıcaklığı;

$$\text{Eğer } T_{ck} = T_c \text{ ise } m_{ck} \leq 0 \quad (2.14)$$

$$\text{Eğer } T_{ck} = T_k \text{ ise } m_{ck} > 0 \quad (2.15)$$

Burada, m_{ck} nin, sıkıştırma ve soğuk bölge hacimleri arasındaki gaz kütle akış hızı (kg/s) ve sırasıyla, T_c , T_k , T_r sıkıştırma, soğutucu ve rejeneratör hacimlerinin gaz kütle akışı'nın sıcaklığı kelvin olarak gösterilmiştir.

Isıtıcı ve sıkıştırma boşlukları arasındaki gaz kütesinin akış sıcaklığı,

$$\text{Eğer } T_{eh} = T_h \text{ ise } m_{eh} \leq 0 \quad (2.16)$$

$$\text{Eğer } T_{eh} = T_e \text{ ise } m_{eh} > 0 \quad (2.17)$$

(2.14) ve (2.15) eşitliklerinden gösterildiği gibi, m_{eh} burada genleşme ve ısıtıcı boşluklar arasındaki gaz kütle akış hızını verir. Ayrıca sırasıyla, T_e , T_h ve T_{eh} genleşme, ısıtıcı hacimlerinin gaz sıcaklıkları ve genleşme ile ısıtıcı arasındaki gaz kütle akış sıcaklığıdır.

2.2.4. Kütle Korunum Denklemleri

Kontrol hacimleri için kütle'nin korunumu aşağıdaki gibi verilir;

$$m_e = PV_e / (RT_h) \quad (2.18)$$

Burada m_e , genişleme hacimindeki çalışan akışkanının kütesini gösterir. Sıkıştırma hacmi için m_c , çalışan akışkanın kütesini gösterir.

$$m_c = PV_c / (RT_c) \quad (2.19)$$

Ayrıca, rejenatör hacmi için m_r , çalışan akışkanın kütesini gösterir.

$$m_r = PV_{c,r} / (RT_r) \quad (2.20)$$

Isıtıcı ve soğutucu hacimler için çalışan akışkanların kütleleri sırasıyla m_h ve m_k ile aşağıda (2.21 ve 2.22) denklemleriyle gösterilmiştir.

$$m_h = PV_h / (RT_h) \quad (2.21)$$

$$m_k = PV_k / (RT_k) \quad (2.22)$$

Sistemin toplam akışkan kütesi korunum yasasından, M ; genişleme, sıkışma, rejenatör, ısıtıcı ve soğutucu bölgelerindeki kütlelerin toplamı olarak aşağıdaki gibi verilir;

$$M = m_e + m_c + m_r + m_h + m_k \quad (2.23)$$

Benzetimları basitleştirmek için, bölgelere ait azaltılmış kütle akış hızları aşağıdaki gibi verilir;

$$\dot{m}_e = m_e \dot{P} / P \quad (2.24)$$

$$\dot{m}_c = \frac{(P\dot{V}_c + V_c\dot{P}/\gamma)}{(RQ_k)} \quad (2.25)$$

$$\dot{m}_r = m_r\dot{P}/P \quad (2.26)$$

$$\dot{m}_h = m_h\dot{P}/P \quad (2.27)$$

$$\dot{m}_k = m_k\dot{P}/P \quad (2.28)$$

2.2.5. Basınç Denklemleri

Bildiğimiz gibi ideal gaz denklemi (2.29) ve (2.30) denklemleri silindir içindeki akışkanın basıncı aşağıdaki gibi gösterilmiştir.

$$PV = MRT \quad (2.29)$$

$$P(t) = \frac{MR}{\left(\frac{V_c}{T_k} + \frac{V_k}{T_k} + \frac{V_r}{T_r} + \frac{V_h}{T_h} + \frac{V_e}{T_h}\right)} \quad (2.30)$$

$$\text{Burada, } T_r = \frac{(T_h - T_k)}{\ln(T_h/T_k)} \quad (2.31)$$

Denklem (2.30) birinci türevi alınarak, kapalı hacim içindeki akışkan basınç hızı belirlenmiş olur.

$$\dot{P}(t) = \frac{\gamma(\dot{V}_c(t)/T_{c,k} + \dot{V}_e(t)/T_{h,e})}{\left[V_e/T_{c,k} + \gamma(V_k/T_k + V_r/T_r + V_h/T_h) + V_e/T_{h,e}\right]} \quad (2.32)$$

2.2.6. Enerji Döngü Akışı

Motorda belirtilen anlık iş çıkışı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir;

$$\frac{dW_i}{dt} = \frac{dW_c}{dt} + \frac{dW_e}{dt} = P_c \frac{dV_c}{dt} + P_e \frac{dV_e}{dt} \quad (2.33)$$

Böylece, döngüsel çalışma i. durum için toplam anlık güç, W_i aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$W_i = \int_0^\tau \left(\frac{dW_c}{dt} + \frac{dW_e}{dt} \right) dt = \int_0^\tau \left(P_c \frac{dV_c}{dt} + P_e \frac{dV_e}{dt} \right) dt \quad (2.34)$$

Son olarak, belirtilen güç $P_i = W_i$ ile verilir. (2.35)

2.3. Güneş Takip Sistemi Tasarımı

Bu çalışmada, çift eksenli bir Güneş takip sisteminin avantajları incenmiştir. Çünkü Güneş, dünya'nın günlük olarak dönmesi nedeniyle gökyüzündeki konumunu değiştirmekte ve mevsimlik olarak daha da karmaşıklaşmaktadır (Sarker vd.,2010). Çift eksenli bir Güneş izleme sistemi sayesinde, belirtildiği gibi Güneş enerjisinin verimliliğini artırabilmek için çalışma yapılmıştır. Çift eksenli Güneş takip sistemi özellikle hava bulutlu olsa bile, tek eksenli Güneş takip sistemine kıyasla daha iyi çalışır (Appleyard,2009; Ponniran vd.,2011; Oo vd.,2010). İzleyici araçları arasında, tek eksenli izleyicilerin dezavantajı vardır, çünkü Güneş'in konumu gökyüzünde mevsimsel olarak ve gün boyunca azimut açısında olduğu gibi yükseklik açısında bir değişiklikte birlikte değişir. Bununla birlikte, böyle bir sistem sadece günlük yönleri takip eder (Oo vd.,2010).

Günümüzde fotovoltaikler ve Güneş yoğunlaştırma sistemleri içeren Güneş enerjisi sistemleri, endüstriyel ve ev tipi uygulamalar açısından en uygun çözüm olarak kabul edilmiştir. Güneş yoğunlaştırma sistemlerinde, Güneş ışınımını toplamaya ve onu termal enerjiye yada elektrik enerjisine dönüştürmeye tabi olan bir Güneş kolektörü kullanılmıştır (Badescu,1998; Mohd vd.,2001; Bari,2000; Oo vd.,2010). Genel olarak, bu tür uygulamalarda geliştirilen güç temel olarak toplayıcıların yakaladığı Güneş enerjisi miktarına bağlıdır ve bu nedenle, Güneş takip sistemlerinde tasarım ve geliştirme gerekliliği bir yıl boyunca gün boyunca Güneş yolunu takip edebilmelidir. Güneş enerjisi, Güneş hareketi nedeniyle bir gün boyunca hiçbir yönde sabit değildir, oysa Güneş enerjisi üretim sistemi belirli Güneş izleme sistemini

kullanır ve mevcut enerjiyi standart stabil sistemlere kıyasla daha yüksek hale getirir. Bir Güneş enerji çanağının verimliliğini arttırmanın bir yolu, çanak sisteminin farklı etkili malzemeler kullanarak üretilmesidir. İkinci yol ise verimli ve hızlı yanıt veren bir Güneş izleyici kullanarak Güneşi takip etmektir. Bu bağlamda, örneğin farklı coğrafi enlemler veya olası kullanım süreleri için tasarlanan Güneş kolektörleri'nin eğim açısını ve yönünü optimize etmek için birkaç sistem önerilmiştir (Bari,2000; Oo ve N. K. Hlaing,2010). Tasarlanmış iki eksenli Güneş takip sistemi, düşük bakım gereksinimi, kolay kurulum ve işletme yönleri ile makul basit ve düşük maliyetli bir elektromekanik sistem olmalıdır. Kontrol edilebilir bir hareketli çanak kullanarak Güneş enerjisi üretimi verimli bir çözümdür. Dünya dönerken, kollektörlere ulaşan Güneş ışınımı gün boyunca hiçbir yönde sabit olamaz. Bu nedenle, Güneş enerjisi'nin her yöne doğru izlenmesi sistemin verimliliğini arttırır. Aslında, bir Güneş izleyici, tüm gün boyunca maksimum radyasyon elde etmenize yardımcı olan otomatik bir Güneş panelidir (Appleyard,2009). Çoğunlukla bir SM bazlı enerji üretim şemasına tabi olan konsantre bir çanağın verimliliği, çift eksenli bir takip sistemi kullanılarak artırılabilir. Bu bağlamda, çift eksenli izleme sistemi, hem azimut hem de irtifa yönlerinde izleme için en iyi seçimdir. Bu, bulutlu bir mevsimde bile geleneksel bir tek eksenli izleyiciye kıyasla daha iyi çalışır (Bari,2000). Ayrıca, takipçinin donanımı ve yazılımı, Güneş için mevsimsel bir değişiklik meydana geldiğinde herhangi bir yenileme gerektirmez. Açıkçası, tasarlanan sistem, yeri belirleyen bir GPS, bir mikrodenetleyici veya depolama yazılımı için programlanabilir bir mantık denetleyicisi (PLC) ve Sun yörüngesi için gerçek verileri içerir. Parabolik çanak içinde azimut açısında hareket eden iki kademeli motorlar vasıtasıyla yatay düzleme paralel olarak hareket eden mekanik anahtarlar ve ufka dikey rakım düzlemde de hayati öneme sahip olan bileşenler de vardır. SM iki boyutlu hareketler, konsantre sistemin günışığında yukarı / aşağı ve sola / sağa hareket etmesine izin verir. İki motor, dönme hızını ve mekanik momentu kontrol etmek için basit bir dişli kutusuna bağlanır. Bilgisayar teknolojisindeki ve sistemlerindeki hızlı gelişmeler, son yıllarda kontrol sahaları ile literatür, solar termal ve fotovoltaik sistemlerin verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için tasarlanmış birçok gelişmiş Güneş izleme sistemi içermektedir

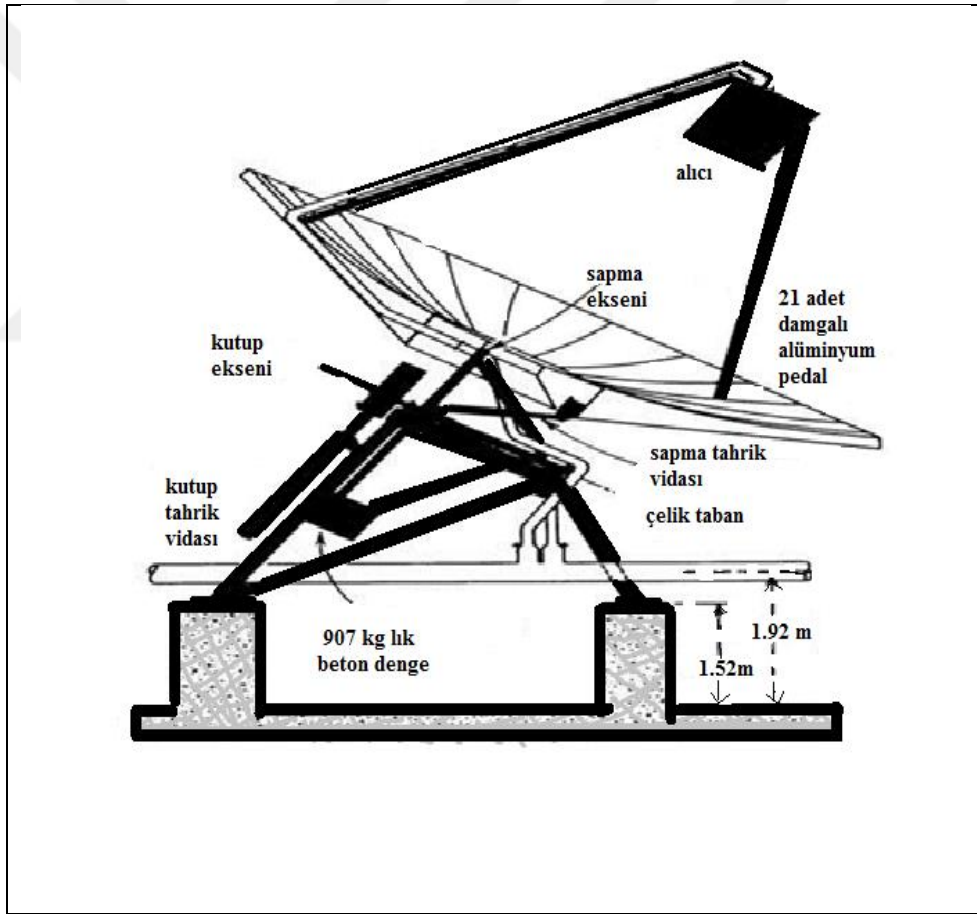
(Appleyard,2009; Ponniran vd.,2011; Oo vd.,2010; Chong vd.,2014; Rustom vd., 2006).

Genel olarak konuşursak, bu sistemler ihtiyaç duyulan çalışma moduna bağılı olarak açık döngü veya kapalı döngü sistemleri olarak ifade edilebilir. Bu yazıda tasarlanan sistem, büyük kapalı döngü ve açık döngü Güneş takip sistemlerinin her birinin çalışma prensipleri ve avantajlarının sistematik bir incelemesini sunar. Literatürde son 20 yılda sunulan kapalı döngü Güneş takip sistemleri geri besleme kontrol ilkelerine dayanmaktadır. Bu kapalı döngü izleme sistemleri, giriş sayısını bir kontrol cihazına transfer etmek için manipüle edilmiş Güneş tarafından indüklenen ilgili parametreleri tespit eden ve ardından çıkışlar veren sensörleri kullanır. Açık döngü kontrolör tipleri, girişlerini sistemin sadece programlanmış algoritmasını kullanarak ve girişinin istenen amaca ulaşp ulaşmadığını belirlemek için geri bildirim kullanmadan bir sisteme hesaplarken, sistemi temel alan algoritma'nın kapalı döngü tipinden daha ucuz ve daha basit olduğu durumlarda Güneş takip sistemleri, kontrol ettiği süreçlerin çıktısını gözlemler. Dolayısıyla, bir açık döngü sisteminin dezavantajı, hataları düzeltmek için yetersiz kalmaktır, böylece programlanmış bir algoritma altında çalışabilir ve genellikle sistemdeki bozuklukları telafi edemez. Güneş izleme sistemlerinin açık döngü kontrol algoritmaları, Güneş yörünge modelinin Güneş ışınlama geometrisini kullanır (Rustom vd.,2006).

2.4. Çift Eksenli Güneş Takip Sisteminin Tasarımı

Parabolik çanak tipi Güneş çanağı kullanarak Güneş ışınlarını toplamak, Güneş enerjisinden faydalanma'nın etkili yöntemlerinden birisidir. Güneş izleyicileri normalde düşük stabiliteye sahip karmaşık yapının en büyük hata olduğu optik izleme sistemlerinde daha yüksek bir izleme doğruluğuna sahip sistemlerdir. Artış döngüsünü artırmak için şimdiye kadar farklı Güneş takip teknikleri önerilmiştir Uzaktan kumandalı bir takip platformu sürekli olarak Güneşin konumunu takip eder. Aslında, bu işlem sırasında, Güneşin yörüngesi bilgisi gereklidir. Yörünge veri tanımı, dünyadaki küresel konumlandırma sisteminin (GPS) belirli bir yeri için azimut ve irtifa açılarını içerdiği bir kavramdır. Bu nedenle, Güneş kaynağını takip etmeyi ve

gökyüzündeki açık hareketini izlemeyi amaçlayan Güneş konumlandırma algoritması tanımlanmalıdır. Bu nedenle, bir Güneş yörüngesi için gerçek bir veri sağlanacak ve bir elektromekanik mekanizma da tasarlanmıştır (Chong vd.,2014; Sarker vd.,2010; Ural3). Tasarlanmış izleme sistemleri, bulutlu iklim koşullarında bile Güneş konumunu doğru açıda takip edilebilen sistemlerdir. Bu tez çalışması kapsamında, Güneş yörüngesi'nin astronomik bir algoritmadan bulunduğu ve mevcut konum için sabit veri olarak depolandığı bir açık döngü Güneş takip sistemine odaklanmıştır. Açık döngü sensörleri, algoritmaları kullanan açık bir döngüdür.



Şekil.2.2. Parabolik çanak ve çift eksenli Güneş takip sistemi

Böylece sensörler bulutlar veya mevsimsel değişikliklerden etkilenmez. Kodlayıcı sensörü, çanağın doğrudan algoritmadan hesaplanan Güneş yörüngesi etrafında

hesaplamaları Sitiriling motor için imkan sağlar. Şekil.2.2. de görüldüğü gibi çift eksenli Güneş takip sistemi kullanan parabolik çanağın şeması gösterilmiştir.

Güneş takip izleme sistemi yardımıyla, Güneş belirli bir hassasiyetle takip edilerek veri işlenir (Sarker vd.,2010; Sarker vd.,2010).

2.5. Güneş Güney ve İrtifa Yörünge Açıları

Güneş yörüngesi doğudan batıya doğru hareket ettiğinde, hareketi coğrafi bir konum GPS yardımıyla netleştirilebilir. Parabolik bir çanak için, izleme mekanizması ile takip etmek amacıyla Güneş yörüngesi verilerini kullanılır. Bunun için, belirli bir coğrafi bölgeden gelen yörünge açıkça incelenmeli, analiz edilmeli ve anlaşılmalıdır. Şekil. 2.3. irtifa ve azimut geometrisinin taslağını göstermektedir. Güney açısı (azimut) ve irtifa açıları (altitude) Şekil.2.3'deki gibi belirli bir zamanda belirli bir konumdan görüldüğü gibi gökyüzünde Güneş veya ay konumunu tanımlayan önemli iki parametredir (Sarker vd.,2010; Mohd vd.,2001).

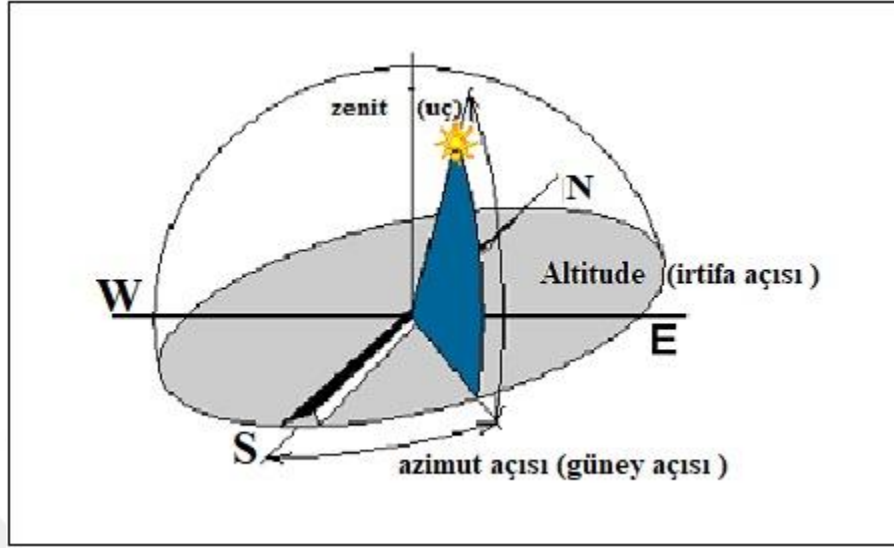
2.5.1. İrtifa Açısı (Altiute)

0° ile 90° arasında değişir ve yatay düzlem ile Güneş arasındaki açıyı temsil eder. Güneş, ufuktayken 0° derece yüksekliğe sahipken, 90° derece yükseklikte olduğunda doğrudan tepeye çıkar.

2.5.2. Güney Açısı (Azimut)

Güneşin görünebileceği ana yönü gösterir. 0° ile 360° derece arasında değişir. 0° derece kuzeyde, doğu yönünde 90° , güneyde 180° ve batı konumunda 270° olacaktır.

Bu tez kapsamında Tablo.2.1'de Al-Kufra /LİBYA bölgesine ait, İrtifa açısı (Altiute) koordinatları (24.20° D) ve güney açısı (azimut) koordinatları (23.28° K) olan 15 Temmuz 2017 tarihinde (yz 05:00 ile 20:00) yaz saatleri için gerekli açı değişiklikleri (dak/derece) cinsinden gösterilmiştir (Rustom vd.,2006; Sarker vevd.,2010).

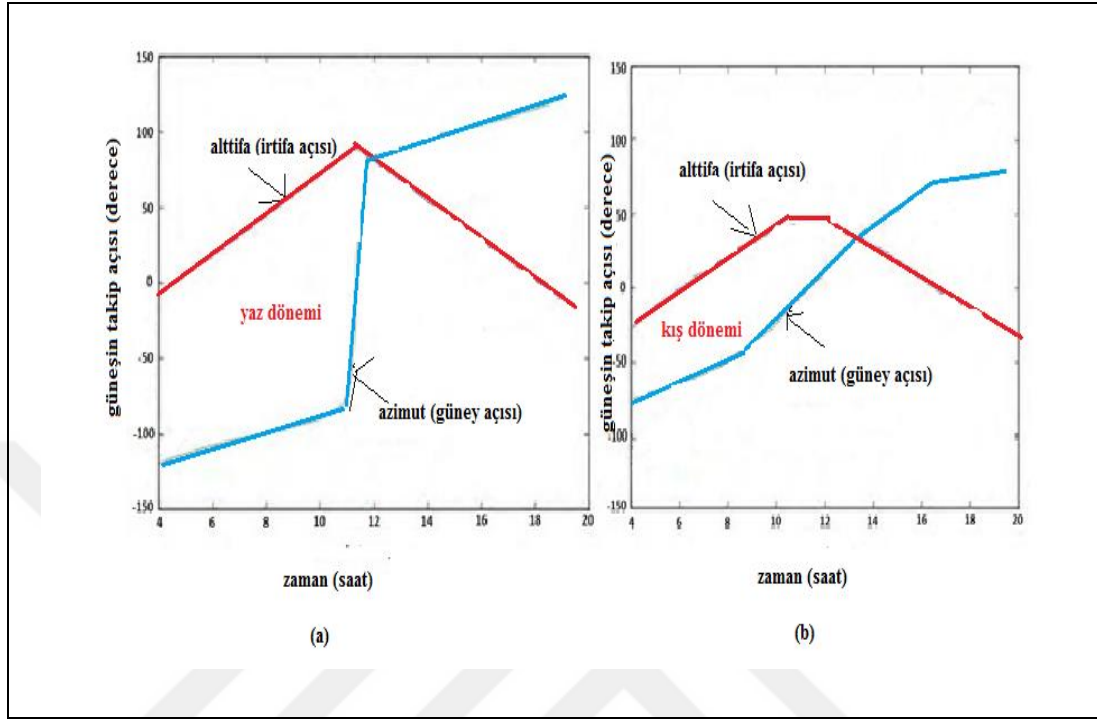


Şekil.2.3. Güneş takip sistemi için güney açısı ve irtifa açıları

Tablo .2.1.'deki tüm gerçek veriler, Al-Kufrah/Libya astronomik uygulamalar bölümü ve ABD deniz kuvvetleri komutanlığı gözlemevi /Washington, DC 20392-5420 den temin edilmiştir. Grafik 2.1.de Al-Kufra/Libya bölgesine ait, irtifa açısı (Altitude) koordinatları (24.20° D) ve güney açısı (Azimut) koordinatları (23.28° K) da yaz ve kış aylarına ait (yaz 01:00 ile 24:00) bir günlük gerekli açı değişiklikleri (dak/derece) cinsinden gösterilmiştir (Url3 ;Sidek vd.,2014; Rustom vd.,2006; Sarker vd.,2010). Grafik 2.1.'deki tüm gerçek veriler Al-Kufrah/Libya astronomik uygulamalar bölümü ve ABD deniz kuvvetleri komutanlığı gözlemevi/Washington, DC 20392-5420 den temin edilmiştir (Mohd vd.,2011).

Tablo.2.1. 15 Temmuz 2017 tarihinde Al-Kufra /LİBYA bölgesine ait saat (05:00 - 20:00) arasında Güneşin izlenme açıları

Yerel zaman(saat)	irtifa açısı(derece)	güney açısı (derece)
05:00	-10.1	61.1
05:30	-4.0	64.5
06:00	2.5	67.5
06:30	8.8	70.3
07:00	15.3	72.8
07:30	21.9	75.1
08:00	28.5	77.4
08:30	35.3	79.5
09:00	42.0	81.6
09:30	48.9	83.7
10:00	55.7	85.9
10:30	62.6	88.3
11:00	69.4	91.2
11:30	76.3	95.6
12:00	83.1	105.5
12:30	88.0	188.8
13:00	82.5	255.9
13:30	75.7	264.9
14:00	68.8	269.0
14:30	62.0	271.9
15:00	55.1	274.3
15:30	48.2	276.4
16:00	41.4	278.5
16:30	34.6	280.6
17:00	27.9	282.8
17:30	21.2	285.0
18:00	14.7	287.4
18:30	8.2	289.9
19:00	2.0	292.7
19:30	-4.6	295.7
20:00	-10.7	299.1



Grafik.2.1. Al-Kufra /LİBYA bölgesine ait, yaz ve kış dönemi aynı coğrafi koordinatlardaki Güneş yörünge açılarının karşılaştırılması

2.6. Doğrudan Normal Işınım (DNI)

Işınım, Güneş enerjisi'nin bir değeridir ve Güneş enerjisi'nin bir yüzeye düşme hızı olarak bilinir, Bu nedenle ışın ışınımı (W/m^2) olarak gösterilir. Yani, Güneş bir saat boyunca $1000 W/m^2$ sabit bir değer verirse, $1 kWh/m^2$ enerji iletim hızına sahip olduğunu söyleyebiliriz. Mevcut Güneş bölgesinden gelen düz ışınlara daima dik olan bir yüzeyin birim alanına etki eden ışınımın büyüklüğüdür. Genel olarak, bir yüzey tarafından alınan ışınımın büyüklüğü, gün ışığında gelen radyasyona dik tutularak maksimize edilebilir. Bu miktar, Güneş enerjisi yoğunlaştırılması için belirli özelliklere sahip kaynaklar olmalıdır.

Pirometre adı verilen Güneş ışınımı için cihazları ölçmek doğru ve pahalıdır. Bir pirometre esasen şeffaf bir çatı ile kaplı ve oldukça emici bir yüzle kaplanmış düz bir levhadır. Pirometreler, temas etmeden doğru şekilde sıcaklık ölçmeye yarayan cihazlar olup, optik mekanizması sayesinde sıcaklığı doğru biçimde ölçebilirler. Güneş çarptığı

belli yüzey ısınır. Yüzey sıcaklığı, termopil sensör cihazı kullanılarak ölçülür. Termopil, termal enerjii elektrik enerjisine dönüştüren elektronik bir cihazdır. Yüzey sıcaklığı ile yüzeyde etkiyen Güneş enerjisinin büyüklüğü ile orantılı bir çıkış voltajı verir (Sarker ve diğerleri,2010).

Bu çalışmada, Tablo .2.2'de gösterildiği gibi Al-Koufra/ Libya astronomik uygulamalar bölümü ve Amerikan Deniz Kuvvetler Komutanlığı gözlem evinin/Washington, DC 20392-5420 ölçtüğü gerçek veriler kullanılmıştır. Ölçümlerde Güneş takip sistemi için, Al-Koufra/LİBYA bölgesine ait, İrtifa açısı koordinatları (24.20° D) ve güney açısı koordinatları (23.28° K)

Tablo. 2.2. 15 Temmuz 2017 tarihinde Al-Koufra /LİBYA bölgesine ait saat (00:53 - 23:53) arasında Doğrudan normal ışıınım (DNI)

Yerel zaman(saat)	DNI(w/m ²)
00:53	000.0
01:53	000.0
02:53	000.0
03:53	000.0
04:53	385.91
05:53	580.9
06:53	700.93
07:53	774.34
08:53	817.44
09:53	837.57
10:53	840.93
11:53	823.99
12:53	785.09
13:53	714.09
14:53	603.09
15:53	424.05
16:53	100.62
17:53	70.02
18:53	10.06
19:53	000.0
20:53	000.0
21:53	000.0
22:53	000.0
23:53	000.0

3. MALZEMELER VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

3.1. Deneysel Yöntem ve Benzetim

Bu bölümde tez çalışması kapsamında, yeni bir sabit mıknatıslı 3 fazlı jeneratörler (PM tipi tasarlanmıştır). Bu yeni jeneratörün (elektro-mekanik) özellikleri ve modifiye ettiğimiz β - tipi Stirling motoru'nun (SM) (termo-mekanik) özellikleri hem deneysel benzetim testleri, hemde teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çalışma ve deneysel düzeneğimiz, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği ve Otomotiv Mühendisliği laboratuvarında yapılmıştır. Benzetim sonuçlarımız için, lisanslı MatLab bilgisayar programı kullanılmıştır. Çalışmada, Stirling motor (SM) ve jeneratör için; basınç-hacim ilişkisi, rotorun dönme hızı-çalışma sıvı ilişkisi, rotorun momentu-SE ürettiği elektriksel güç ilişkisi, basınç-hacim ilişkisi deneyleri, ortamdaki çalışma gazların (helyum ve hava ortamları) nın sıcaklıkları-rotorun dönüş hızı gibi çeşitli fiziksel deneyler yapılmıştır.

Deneysel çalışmalarda destek sistemleri kullanılmış olup, ara bağlantı kablolar, TMS /DT-8859 kızılötesi sıcaklık ölçer ve basınç ölçer, basınçlı hava kaynağı, çalışma gazı olarak helyum ve hava gazı, motorun devir (rpm) cinsinden devirölçer, dinamometre, kaplı gaz basınçlarını, 0.1 bar % doğrulukla dijital manometer ölçer, elektriksel yükleri ölçen ohm metre, değişken direnç olara, sistemin aşırı yüklenmesi önlemek için 3 fazlı reostalar kullanılmıştır. Deneysel çalışmada giriş-çıkış gerilim ve sinüsal AC girişli HP 546445D osilaskop cihazıyla ölçülmüştür. Deneysel ve benzetim çıkış güç verileri sonuçları'nın teorik matematiksel bağıntıları uyumu dikkate değerdir. Çalışma sonuçları Grafiklerde ve tablolarda ayrıntılı olarak verilmiştir. Ölçüm ve analiz sonuçları sonuçları, Tablo (3.1- 3.3), Grafik (3.1-3.7), Şekil (3.1-3.4) ve Fotoğraf (3.1-3.3)'de verilmiştir.

3.2. β - Tipi Stirling Motor (SM) Modellenmesi

Stirling motorları (SM), düşük kirletici emisyonu, düşük gürültü, yüksek ısı verim ve uzun ömür gibi avantajları nedeniyle tercih edilmektedir. Tablo 3.1’de SM, sabit bazlı parameter değerleri ve önemli teknik özellikleri verilmiştir. SE genel tipleri kinematik ve serbest pistonlu motorlardır. Serbest piston SE krank veya başka kinematik tahrik mekanizmaları içermez. SE motor tipleri hava geçirmez şekilde kapatılmıştır ve piston elektrik üretmek için genellikle doğrusal bir alternatör ile birleştirilmiştir. Sızdırmazlık problemlerinin üstesinden gelmek için serbest pistonlu motorlar geliştirilmiştir (Karabulut vd.,2013). Kinematik Stirling motorları, piston-silindir düzenlerine göre alfa, beta ve gama tipleri olarak sınıflandırılmıştır. Yer değiştirme silindire bir rejeneratör de yerleştirilir. Yerdeğiştirme silindiri, çalışma akışkanı sıcak ve soğuk alanlar arasında, çalışma akışkanı ile değiştirildiğinde soğutma ve ısıtma sağlamak için kullanılır (Aksoy ve Çınar, 2013; Karabulut vd.,2010). Piston ve yerdeğiştirme işlevi, kinematik motorlardaki tahrik mekanizması tarafından kontrol edilir. Tahrik mekanizması tarafından elde edilen döngü, mekanik kısıtlamalar nedeniyle ideal Stirling çevriminden farklıdır. Bu nedenle, döngüsel iş üretimi tahrik mekanizması’nın tasarımı için önemli bir kriterdir (Aksoy vd.,2015; Aksoy vd, 2016; Aksoy vd.,2017; Bumby ve Martin,2006; Akizu vd.,2018) Eşkenar dörtgen tahrikli beta Stirling motoru’nun şematik görünümü Şekil 3.1’de gösterilmektedir. Prototip Stirling motorumuz fotoğraf 3.1’de gösterilmektedir. Motorun, birbiri’nin üzerine yapı olarak yerleştirilmiş pistonu, yerdeğiştirici motor gövdesi ve bir eşkenar dörtgen mekanizması vardır. Yerdeğiştirici silindiri, ayrı bir rejeneratör kullanmak için iki farklı bölüm halinde üretildi. Üst dengeleme silindiri, ASTM 304 çelikten imal edilmiştir ve iç yüzeyi, ısı transfer alanı’nın artırılması için 3 mm derinliğinde ve 2 mm genişliğinde aksel yarıkla monte edilmiştir. Yerdeğiştirici alt silindiri 4140 tavllanmış çelikten yapılmıştır ve iç kısmı rejeneratör hacminden oluşmaktadır. Piston ve silindir, sırasıyla 7000 serisi alüminyum alaşımından ve 4140 tavllanmış çelikten yapılmıştır. Tasarımımızda piston silindirinin dış yüzeyi, su sirkülasyonu ile soğutulmuştur.

Tablo.3.1. *Stirling motorunda kullanılan bazı önemli sabitler*

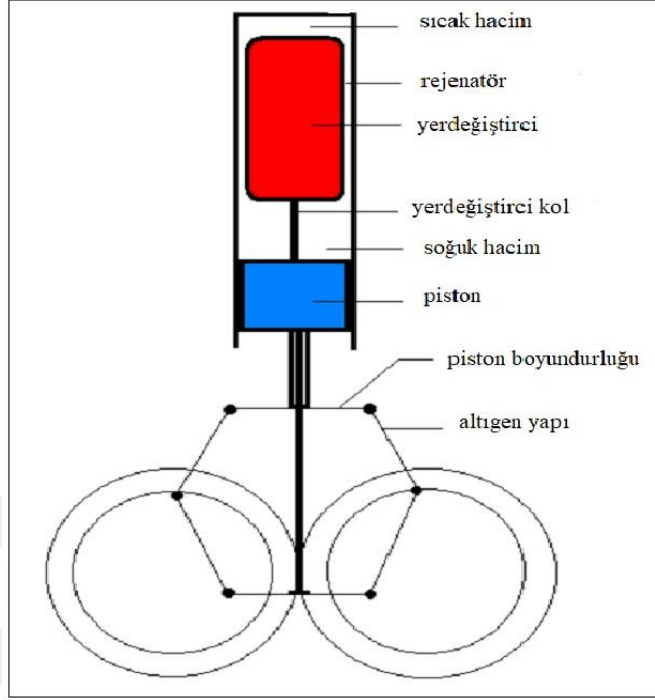
<i>Parametreler</i>	<i>Değeri</i>
Sabit basınçtaki özısı	$c_{ap}=5190 \text{ J/kg.K}$
Sabit hacimdeki özısı	$c_{av}=3110 \text{ J/kg.K}$
Ortamin sıcaklığı	$T_A=288 \text{ K}$
İşletim basıncı	$P_O=4.10^5 \text{ Pa}$
Ortamin basıncı	$P_A=101325$
Atmosferde ısı taşınım katsayısı	$Pa \ h_A=4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Rejeneratörler sayısı	$n=29$
Rejeneratörde matris gözenekliliği	$\text{poros} = 0.697$
Isı kapite matrisi	$C_{apm} = 500$
Şekil faktörü	$f_{shp} = 6.9$
Döngü başına zaman adım sayısı	$\text{num}=500$
Yer değiştiricinin ısıl iletkenliği	$k_D=15 \text{ W/mK}$
Matrisin termal iletkenliği	$k_r=15 \text{ W/mK}$
Isıtıcı tüpünün termal iletkenliği	$k_H=36 \text{ W/mK}$
Soğutucu tüpünün termal iletkenliği	$k_C=36 \text{ W/mK}$
Yerdeğiştiricinin mesafesi	$Z = 0.1637 \text{ m}$
Güç pistonun yer değiştimesi	$Z_p=0.051 \text{ m}$
Pistonun çapı	$D_D=0.1105 \text{ m}$
Yer değiştirici'nin çapı	$D_p=0.1105 \text{ m}$
Pistonun bağlantı kol uzunluğu	$l_D = 0.04 \text{ m}$
Yer değiştirici bağlantı kol uzunluğu	$l_p = 0.0120 \text{ m}$
Eğrilik	$e=0.0208$
Rejenatörün çapı	$D_r=0.0226 \text{ m}$
Yerdeğiştiricinin kalınlığı	$H_D=0.02129 \text{ m}$
Yerdeğiştirici kol kalınlığı çapı	$D_{rod_D}=0.02 \text{ m}$
Rulman çapı	$D_{sh}=0.05 \text{ m}$
Pistonun kütlesi	$m_p=0.1 \text{ kg}$
Piston yüzeyindeki sürtünme katsayısı	$\mu_f=0.3$
Yer değiştirme yüzeyindeki sürtünme katsayısı	$\mu_s=0.3$
Sızdırmazlık halkasının yüksekliği	$H=0.005 \text{ m}$
Sızdırmazlık halkasından kaynaklan ek basınç	$P_{spr}=510^3 \text{ Pa}$
Güneş ışınlaması	$q_s=5097 \text{ W/m}^2$
Soğutucu içindeki hazne duvarının sıcaklığı	
Döngünün başındaki boşluk	$T_C=288\text{K}$

Eşkenar dörtgen mekanizmada, iki helisel dişli kullanılmaktadır. Özellikle daha yüksek yük basınçlarında sürtünme kayıplarını azaltmak için, iki eksenel rulmanı olan, bir eksenel ve diğer radyal olan bir krank mili eşkenar dörtgen tahrik mekanizmasına entegre edilmiştir (Aksoy vd.,2015; Bumby ve Martin,2006). Jeneratör, motorun dönen bir volanına takılıdır. SE bazı önemli teknik özellikleri, Tablo 3.2'de verilmiştir.

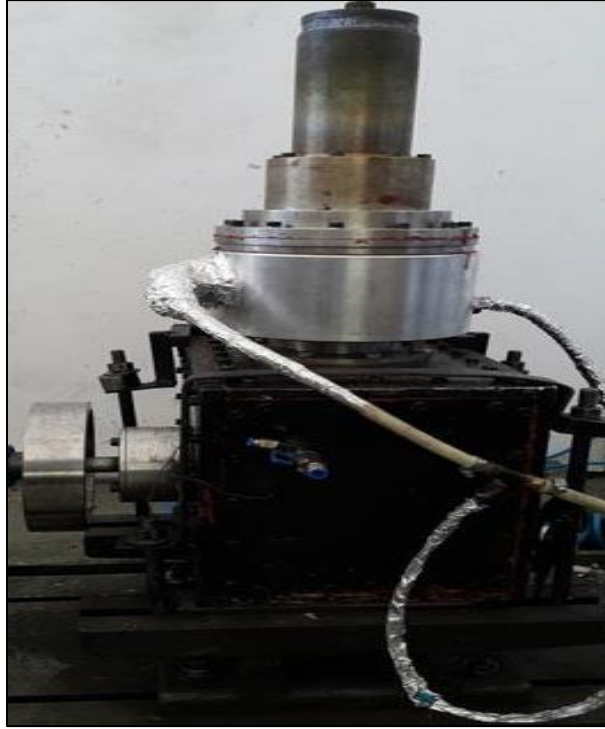
Tablo. 3.2. *Stirling motorunun mekanik özellikleri*

<i>Parametre</i>	<i>Değerler</i>
Motor tipi	Beta (β)
Tahrik mekanizması	eşkenar dörtgen
Çalışma sıvısı	heliyum
Soğutucu tipi	su soğutmalı
Yerdeğiştirici silindir çapı (mm)	87
Piston yerdeğiştirmesi (mm)	72.5
Sıkıştırma oranı	2.65
Üst yeğştirici silindiri uzunluğu (mm)	198
Yerdeğiştirici uzunluğu (mm)	240
Piston uzunluğu (mm)	110
Yerdeğiştirici kol uzunluğu (mm)	392
Piston lolu uzunluğu (mm)	122
Krank mili çapı (mm)	30
Dörtgen kenar uzunluğu (mm)	80

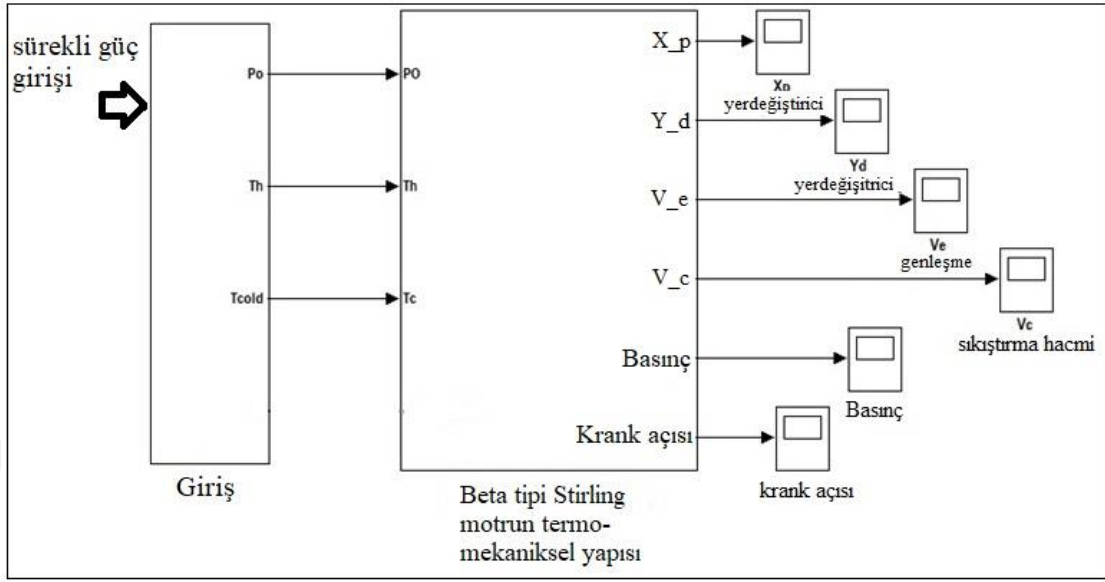
Stirling motorun performansını ölçmek için, T_h ve T_c gibi çeşitli uygulama sıcaklıklarına göre farklı çalışma koşullarında çalışılmıştır. Çalışma sisteminin modeli, Şekil 3.2'de iş-akış şemasında olduğu gibi uygulanan çeşitli basınçları ve motor hızlarını çeşitli girdi değerleri kullanarak, termo-mekanik kısım çözülmüştür. Sonuç olarak, yer değiştirmeler, hacimler ve basınç gibi birçok fiziksel parameter değerleri çıktı olarak elde edilmiştir.



Şekil.3.1. Beta (β) tipi Stirling motorun (SM) kesit görünümü



Fotoğraf.3.1. Jeneratörsüz aksel Stirling motorunun prototipi



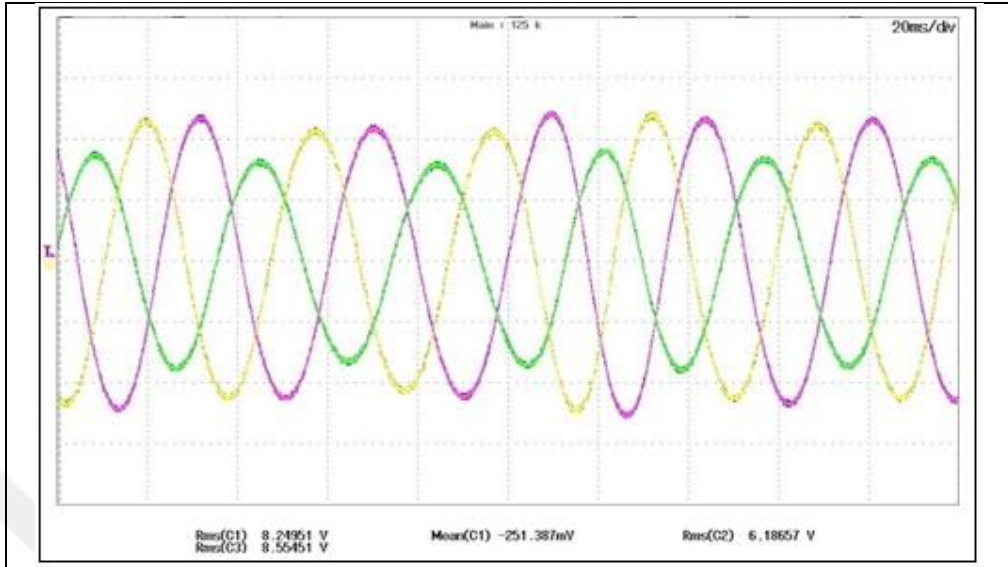
Şekil.3.2. Deneysel çalışma için iş -akış şemasının benzetimi

3.2.1. Hava Ortamında Deneysel Analiz

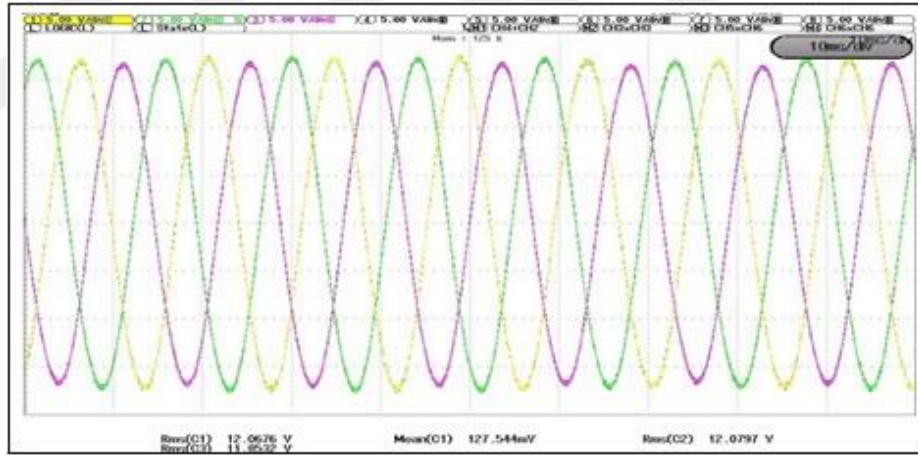
İlk deney, çalışma sıvısı olarak havanın kullanılmasıyla gerçekleştirildi. Sistem çeşitli basınç oranlarına ayarlanabilir. Şarj basıncı ve sıcak son sıcaklık değerleri (0.7, 1.0, 1.25, 1.75, 2.25, 2.5, 2.75, 3.0 bar) ve 600 K olarak ayarlanmıştır. Başlangıçta, elektrik yükü grafiği 3.1 üzerinden jeneratör çıkışı tarafından üretilen bazı dalga formlarıyla başlıyoruz. Bu ön üretilen voltaj formları'nın, Grafik 3.1.a'daki gibi elektriksel yükler kadar, Grafik 3.1.b'deki gibi aynı elektriksel yükler için elde edilebileceğini unutmayın. Bu elektrik üretimi için, her bir şekil için farklı Stirling motor devirleri kullanılır. Grafik 3.1.a, Stirling motorunun 207 (rpm) devir sayısı için faz başına (8.24, 6.18 ve 8.55 V) elektrik üretiminin faz başına kök ortalama kare (rms) gerilim olarak alınabileceğini kanıtlamaktadır. Gerilim değerleri, (20, 21 ve 22 Ω) gibi farklı elektrik yüklerinin kullanımına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu yükler dengelendiğinde, Stirling motorundan ideal bir üç faz voltajı üretilebilir. Grafik 3.1.b. motordan gelen bu dengelenmiş güç çıkışı'nın dalga şeklini göstermektedir. Kesin konuşursak, faz başına $V_{rms} = 12V$; 490 rpm için, 120° elektriksel faz kayması ile üç fazlı arasında ideal sinüzoidal çıkış olarak üretilir. Bu tür ideal sinüzoidal

çıktıların birçok makine tarafından üretilmemesi önemlidir. Bu nedenle motor doğrudan bir dönüştürücü sisteme bağlanabilir ve enerji bir bataryaya depolanabilir veya bu bağlamda bir mikro-ızgaraya gönderilebilir. Grafik .3.1 de güç pistonunun ve SE 'nin yerdeğiştiricisi'nin zamana bağlı olarak değişimi sırasıyla gösterilmektedir. Pistonların sistematik bir şekilde mükemmel bir sinüzoidal formda çalıştığını ve ayrıca pistonlar arasındaki faz kaymasının zamanla korunduğunu göstermektedir. Grafik 3.2(a,b)'de, çeşitli motor basınçlarında ($P=0.7-1.0$ bar) üretilen çıkış gerilimleri verilmiştir. Motor bölmesindeki basınç her zamanki gibi motor devrinde farklılıklar yaratır ve bunlar doğrudan yük üzerindeki çıkış dalga formlarına yansıtılır. Gerçekten, basınç ne kadar yüksek olursa, üretilen voltaj o kadar yüksek olur. Açıkça konuşulursa ($V_{pp}= 20$ ve 24 V) için sırasıyla motor basınçları (0.7 ve 1 bar) olarak elde edilmiştir. Grafik 3.2 (a,b) edilen ölçümler düşük basınçlı odaların testinden alınmıştır. Ayrıca, daha yüksek basınç oranlarındaki durum yeni Stirling motor makine tarafından test edilmiş ve ortaya çıkan dalga formları Grafik 3.2(c,d)'de gösterilmiştir. Buradaki basınç değerleri motor için ($P= 2.25$ bar ve $P= 3.0$ bar) değerlerine sahiptir. Daha yüksek basınç, daha yüksek dönme hızlarına katkıda bulunduğu için, elektrik yükü üzerinden üretilen gerilimi artırır. Örneğin, Grafik 3.2(c,d) görüldüğü gibi, ($V_{pp}= 34$ ve 38 V), sırasıyla 2.25 bar ve 3 bar için üretilmiştir.

Grafik 3.2(a,b,c,d) ($RL= 20 \Omega$) değeri için farklı basınç değerlerinde voltaj dalgalar farklı hava basınçları (a) $P= 0.7$ bar, $\omega= 169$ rpm, (b) $P= 1.75$ bar, $\omega: 425$ rpm, (c) $P= 2.25$ bar, $\omega= 531$ rpm ve (d) $P= 3.0$ bar, $\omega= 553$ rpm gösterilmiştir. Yeni motorun performansı hakkında genel bir sonuç elde etmek için, bulgular 3.3 (a-c) numaralı Grafikte gösterildiği gibi üç Grafikte toplanmıştır. Bunlar arasında, Grafik 3.3.a hava basıncına göre dönüştürülen elektrik gücünü motordan verir.

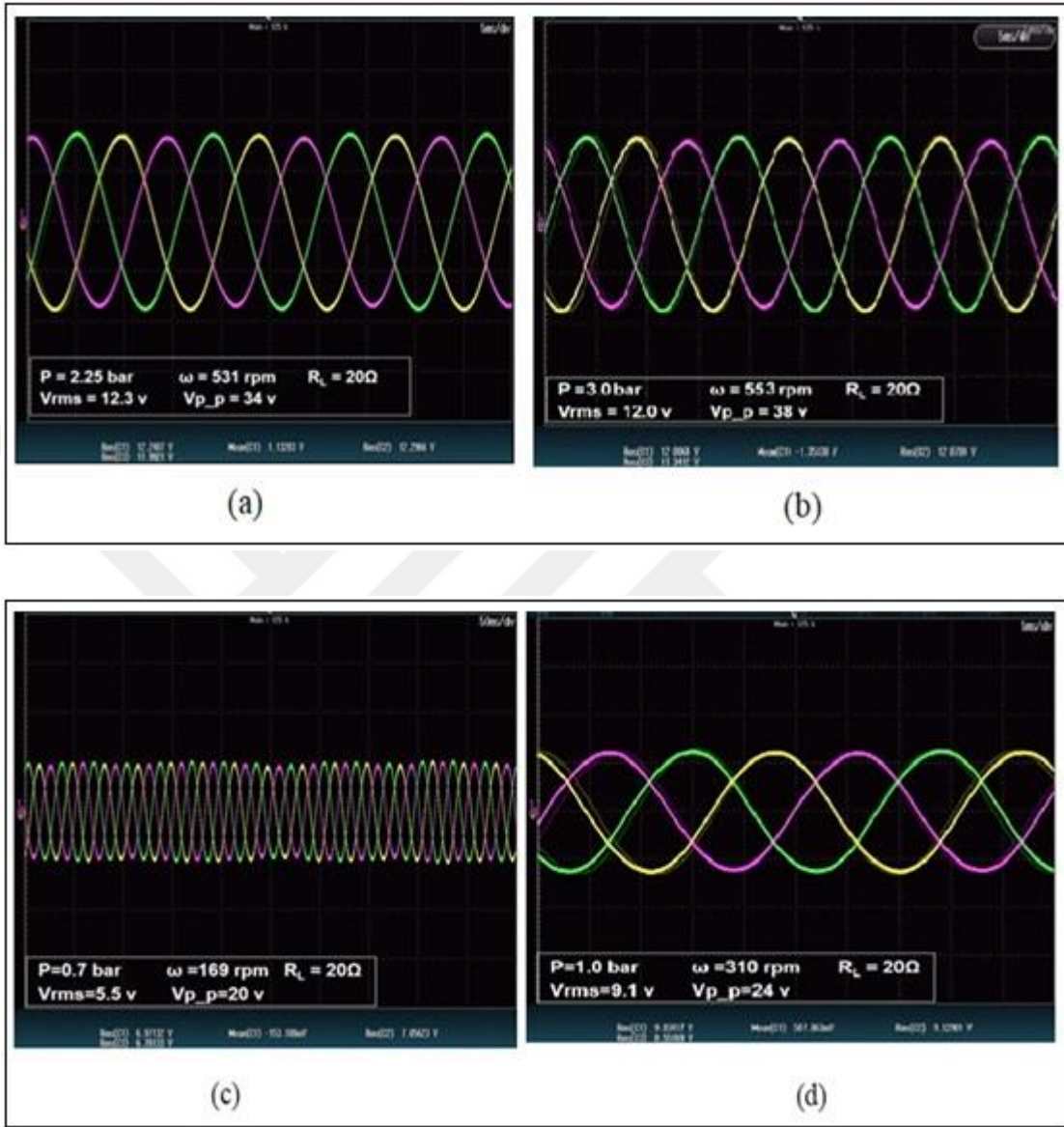


(a) (207 rpm; P=0.8 bar; T=600 K)

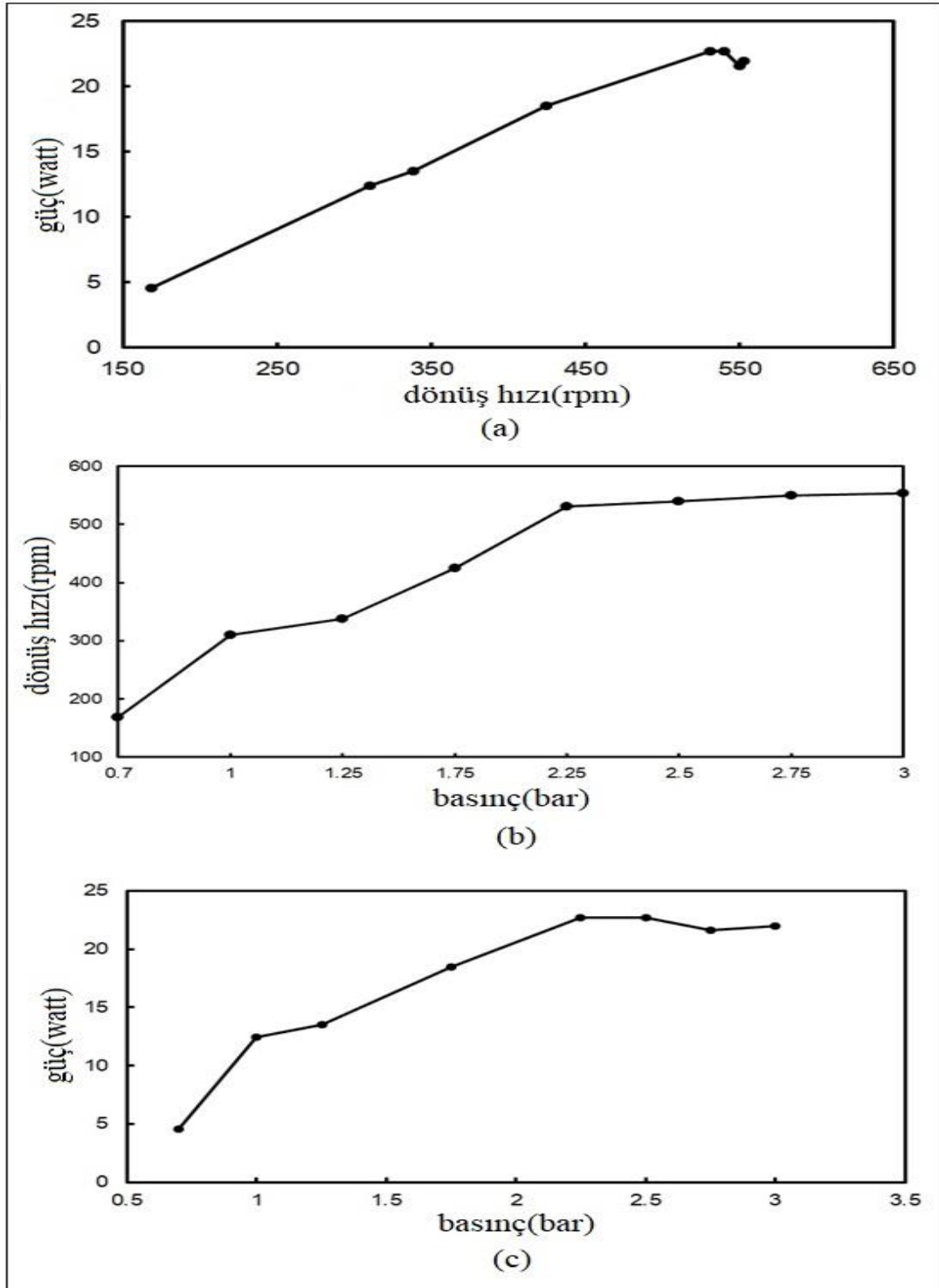


(b) (490 rpm; P=2.0 bar; T= 600 K)

Grafik.3.1 (a,b) Rotor hızında sırasıyla yaklaşık 6.2 V ve 12.1 V çıkış voltajlar



Grafik. 3.2. (a,b,c,d) 20Ω yük değeri ve farklı basınç değerlerinde voltaj çıkışları



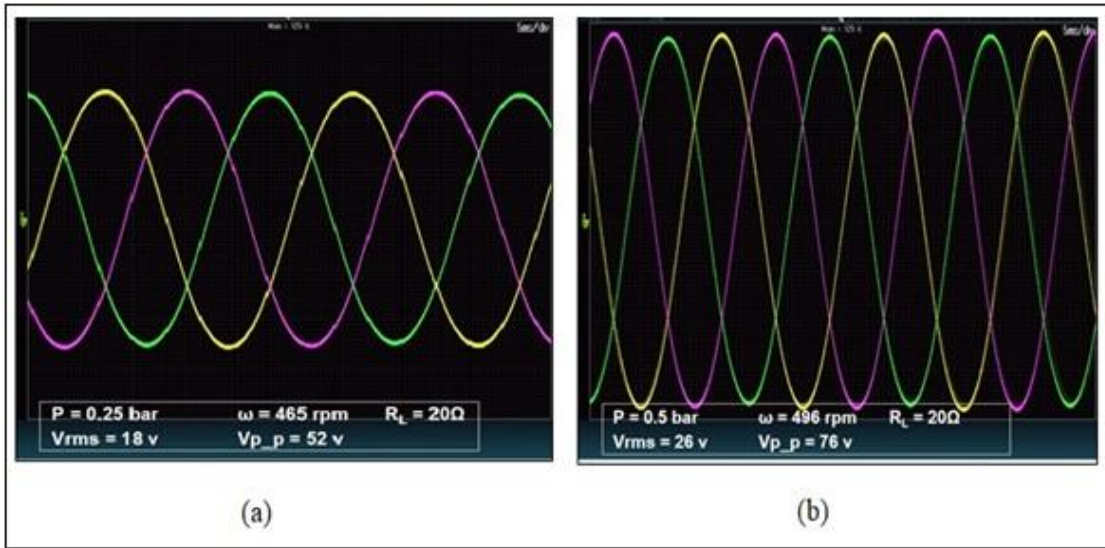
Grafik.3.3. Hava ortamında(a) Motor hızı ve elektrik gücü (b) Motor hızı ve basınç. (c) Basınç ve elektrik gücü karşılaştırılması

Böylece basınçtaki artış elektrik gücünde bir artışa neden olur. Rms güç değerleri (0.5 bar için 5W) dan başladığını ve (2.75 bar için 25 W) değerine ulaşmaktadır. Bir diğer önemli nokta, eğimin basınç tarafından önemli ölçüde azalmasıdır.

Grafik 3.3.b de motor devri ile üretilen elektrik devri gücü arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Temel olarak devir sayısı ile döner sistemde olduğu gibi doğrusaldır. Yaklaşık olarak, üretilen güç 170 rpm'de 5W iken, 598 rpm'de 25W değerine ulaşmaktadır. Belirli bir şarj basıncından sonra, çalışma akışkanına yetersiz ısı aktarımı nedeniyle motor hızı ve güç neredeyse sabit kalır. Motor hızı, Grafik 3.3.c'de basınca karşı çizilmiştir. Artan basınçla motor devrinde düşüş eğilimi olduğu açıktır. Rotor dönüş hızı 0.7 bar da 169 rpm'den başlar ve 3.0 barda 598 rpm değerine ulaşmıştır. Bu ölçümlere göre hızın belirli bir basınç altında sabit kaldığıda görülmektedir.

3.2.2. Helyum Ortamında Deneysel Analiz

Bu bölümde ikinci deney serisi, çalışma sıvısı olarak helyum kullanılarak yapılmıştır. Bu testlerden elde edilen elektrik yükleri üzerindeki, bazı temsili voltaj dalga formları Grafik 3.4 de gösterilmiştir.

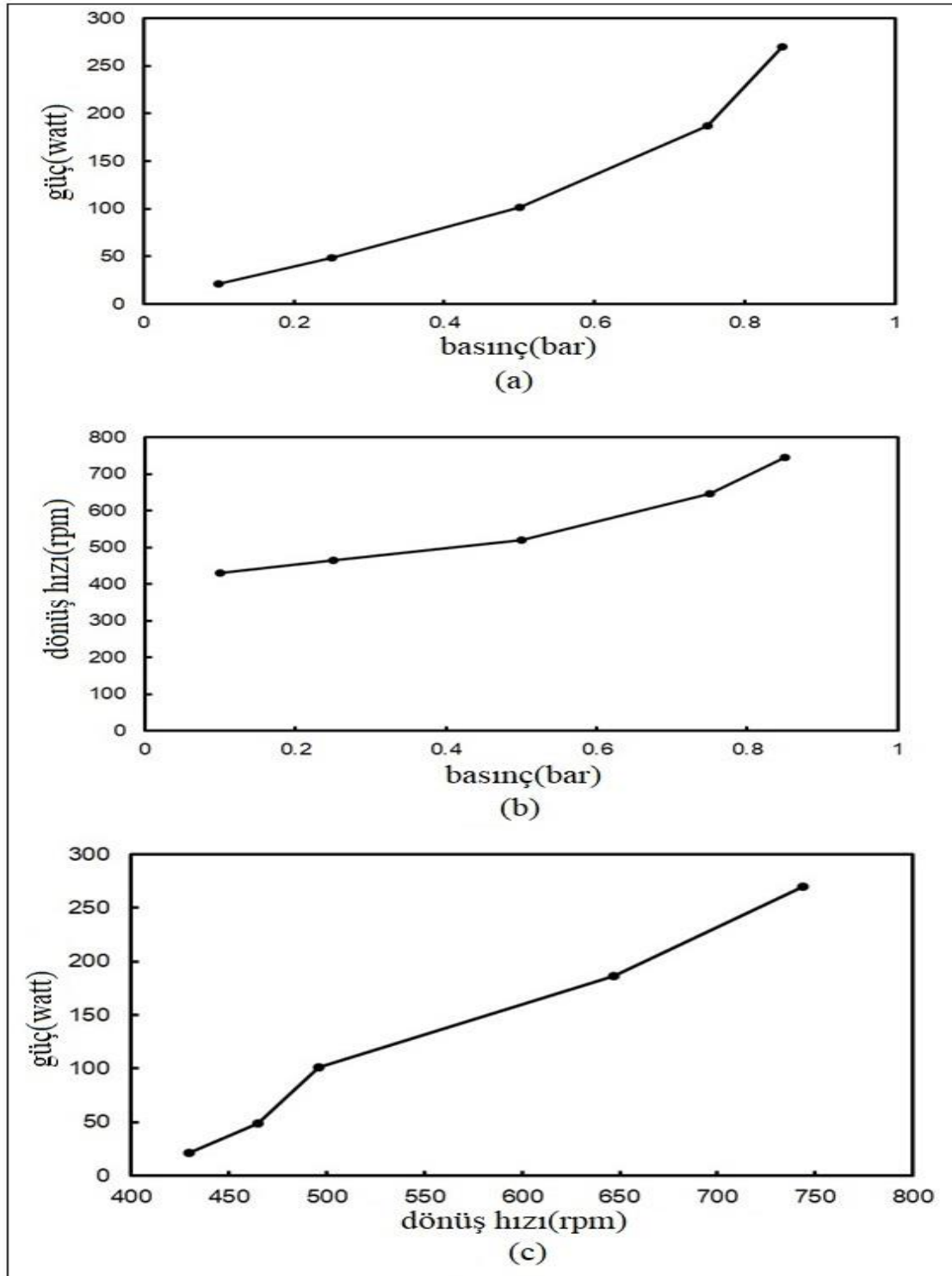


Grafik.3.4. (a,b) Farklı basınç için, 20 Ω'luk elektrik yükünde üretilen gerilim dalgaları

Hava ortamı altındaki karakteristik dalga formu helyum içinde geçerlidir, ancak helyum durumunda daha fazla güç elde edilmiştir. Bunun sebebi, helyum gazı moleküllerinin hafif kütleleri nedeniyle daha aktif olması ve havadan daha yüksek termal iletkenliğe sahip olmasıdır. Havanın ısı iletkenliği 0.026 W/mK iken, helyumun 0.1513 W/mK sahip olmasıdır. 400 K motor sıcaklığı altında Grafik 3.4.a için helyumun P= 0.25 bar basınç altında motor hızı $\omega = 465$ rpm iken, yine Grafik 3.4.b için helyumun P= 0.5 bar basınç altında motor hızı $\omega = 496$ rpm sahip olduğu görülmektedir. Grafik 3.4.a,b'de ideal bir sinüzoidal dalga formunun hava ortamında olduğu gibi helyum gazı tarafından üretilebileceği açıktır.

Grafikten görüldüğü gibi, üç fazlı bir dalga formu faz başına sırasıyla 465 rpm ve 496 rpm için 18 V ve 26 V rms voltaj üretilmiştir. Bu değerler hava ortamına göre daha yüksektir. Basınç oranı genel ölçümleri belirlemek için helyum dolu motor için Grafik 3.5.(a-c) çizilmiştir. Grafik 3.5.(a,b,c) için 400K derecede motorun çeşitli fiziksel özellikleri gösterilmiştir. Sırasıyla (a)'da motor gücüne karşın basınç grafiği gösterilirken, 0.25 barlık bir helyumdan 60W elektrik gücü sağlanabileceğini ve üretilen elektrik gücünün büyük ölçüde basınçla arttığı görülmüştür.

Çalışma performansı, hava ortamında yapılan deneysel sonuçlardan tamamen farklıdır. Grafik 3.5.a'da görüldüğü gibi basınç değeri artırıldığında, daha yüksek güç elde edilebileceğini göstermektedir. Benzer şekilde Grafik 3.5.b'de motor hızına karşılık basınç grafiğinde, motor hızı ile helyum basıncı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Gaz basıncının artışı durumunda motor devrindeki eğilim 465 (rpm) den 750 (rpm) yükselir. Grafik 3.5.c aynı sıcaklıkta motor hızına karşılık üretilen elektriksel güç gösterilmiştir. Burada, hava ortamında olduğu gibi aynı doğrusal eğilim devam ederken, helyum ortamında, 250W'lük daha yüksek güç değerlerine sahip olduğu Grafiklerin karşılaştırılmasından görülmektedir.

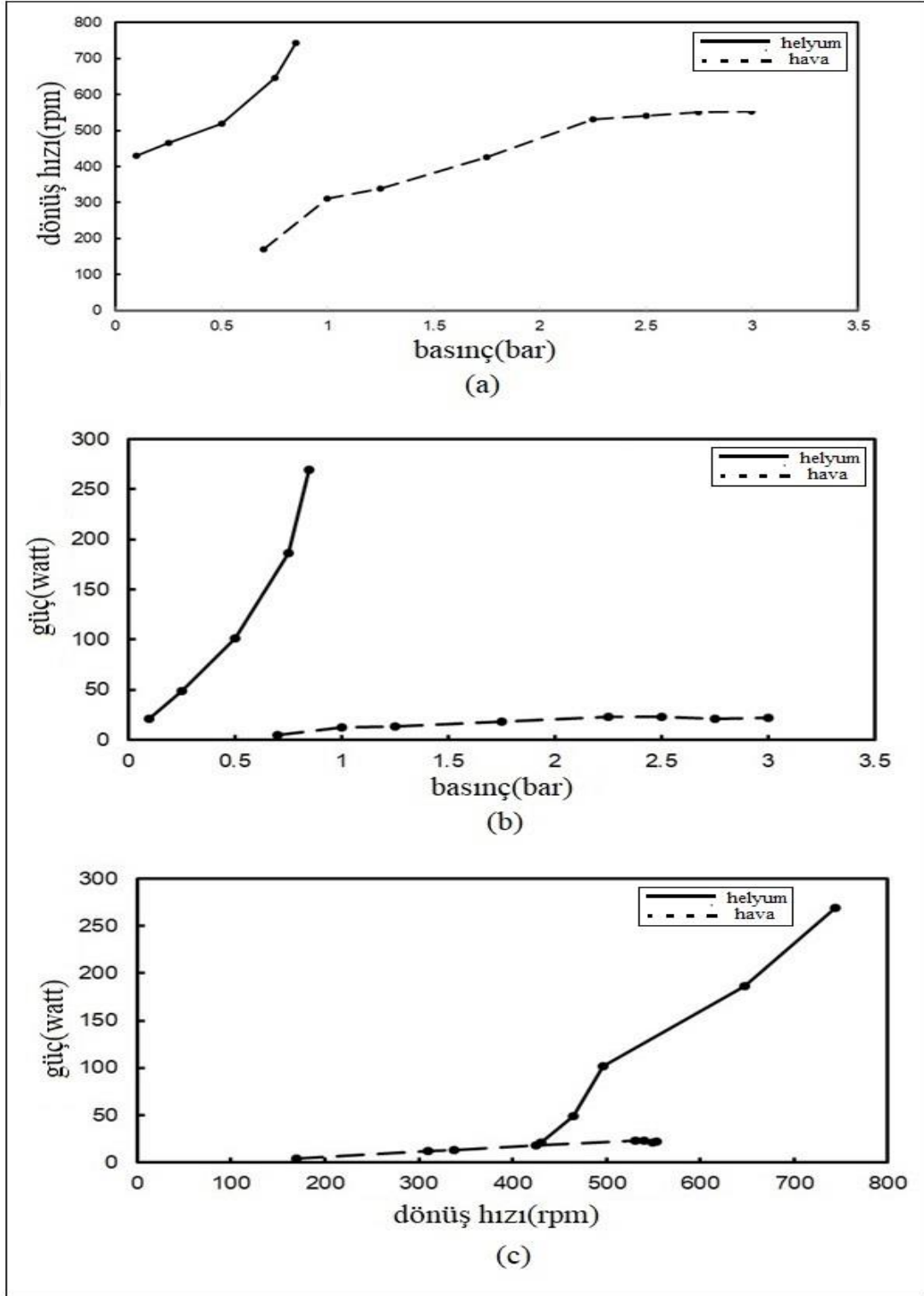


Grafik.3.5. (a, b, c) T, 400 K sıcaklıkta helyum çalışma gazı için SM özelliklerinin karşılaştırılması

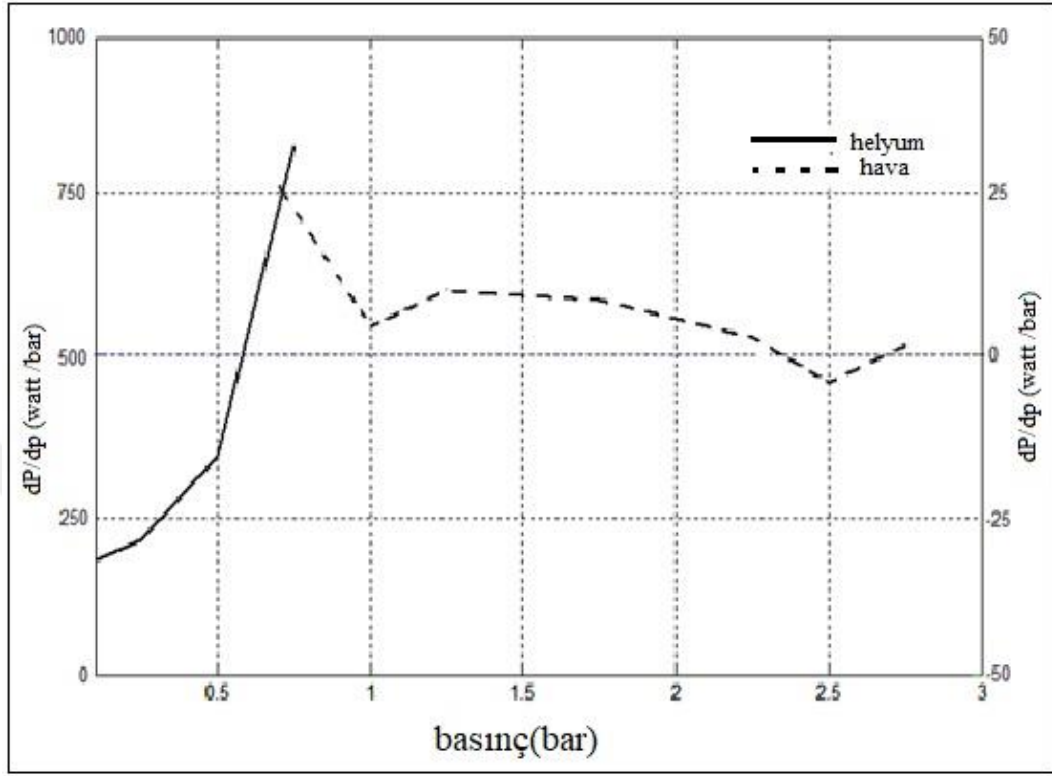
3.2.3. SM için Hava ve Helyumun Karşılaştırılma Deneyi

Grafik 3.6.(a-c) incelendiğinde hava ve helyum ortamları için motor hızı ve çıkış elektrik gücü ölçülen miktarlar üzerinde bir karşılaştırma yapılmıştır. Grafik 3.6.a'ya göre, elektriksel çıkış gücü arasında ciddi bir fark gösterilmiştir. Aslında hava ortamı altında basınç 0.7 bar değerinden düşük bir güç çıkışı bulunmazken, helyum için yüksek güç seviyeleri söz konusudur. Deneysel ve benzetim sonucu, helyum ortamındaki basınç 0.25 bar değeri, geliştirdiğimiz SE'da elektrik üretilebileceğini göstermektedir. Bir başka sonuç, hava ortamında elektriksel gücün sabit kalmasına rağmen helyum ortamında güçte ciddi bir artış olduğu görülmüştür. Diğer bir sonuç ise, Grafik 3.6.b'de gösterilmiştir. Motor hızı, aynı basınç oranlarında hava bulunan duruma göre çok yüksektir. Sonuç olarak, grafik sonuçları bize her iki durum için farklılık göstermektedir. Elektriksel güç çıkışı sapması helyumda 0.65 W/rpm ye ulaşırken, havadaki sadece 0.052 W/rpm değerinde kalmıştır. Buda bize helyum ortamında üretilen elektrikselgücün hava ortamına göre, nerdeyse 12.5 kat daha fazla olduğunu göstermektedir. Grafik 3.6.c hava ve helyum ortamı arasındaki SM rotorun dönüş hızına bağlı olarak, hava ve helyum ortamında elektriksel güç değerleri karşılaştırılmıştır. Grafik 3.6.c incelendiğinde, helyum gazı için artan bir eğimin olduğu, ancak hava için gücün rotor devir hızına bağlı olarak azaldığını göstermektedir. Sonuç olarak SE için helyum ortamında havaya göre, daha yüksek hız değerlerine ulaşılabilirliğini göstermektedir. Diğer önemli bir sonuç, elektrik üretimine başlatmak için helyum ortamlı SE'de basınç 0.25 bar değerinde olması yeterliyken, hava için en az 0.75 bar olması gerekiyor.

Bu da bize helyum ortamında tüm mühendislik parametrelerinin daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Ancak helyum gazının hava ile üretim açısından kıyaslandığında, önemli bir dezavantajı havanın daha yaygın oluşudur. Helyumun üretilmesi için ek ekipmanlara ihtiyaç duyulmasıdır.



Grafik.3.6. (a, b, c) SM için (a) basınç – üretilen elektrik gücü, (b) rotor hızı- üretilen elektrik gücü ve (c) belirli basınç altında, motor hızı-üretilen elektriksel güç karşılaştırılması



Grafik. 3.7. Helyum ve hava için basınç başına SE çıkış gücü

Grafik 3.7'de SE, güç artışının helyum kullanıldığında çok daha yüksek olduğunu, helyum ile doldurulmuş motorlarda, hava ile doldurulmuş ortama göre motorun çıkış gücü artışı daha yüksek olmaktadır. Deneysel sonuçlarımız, helyum ortamları için 200W/bar değerinden 750W/bar değişirken, hava dolu motor için yaklaşık 10W / bar civarında olmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmanın farklı gazlı ortamlar için, SE için performansının belirlenmesi için önemli bir çalışma olduğu aşikardır. Çalışmamıza ait deneysel sonuçlar, Tablo 3.1.de verilmektedir.

Tablo. 3.3. *Helyum ve Hava için (Elektro-Mekaniksel) özelliklerin karşılaştırılması*

Ortam	Güç (watt)	Basınç (bar)	Hız (rpm)	Yükleme (Ω)	Vrms (V)	Vpp (V)
Hava	0.7	285	20	5.5	20	4.53
	1.0	308	20	8.1	24	12.4
	1.25	325	20	9.5	26	13.5
	1.75	345	20	11.1	30	18.5
	2.25	350	20	12.4	34	22.7
	2.5	367	20	12.6	35	22.7
	2.75	365	20	12.7	37	21.6
	3.0	368	20	12.9	38	22.0
Helyum	0.1	430	20	14	48	21.6
	0.25	465	20	18	52	48.6
	0.50	530	20	26	76	101.4
	0.75	647	20	30	100	186.9
	0.85	744	20	34	120	269.6

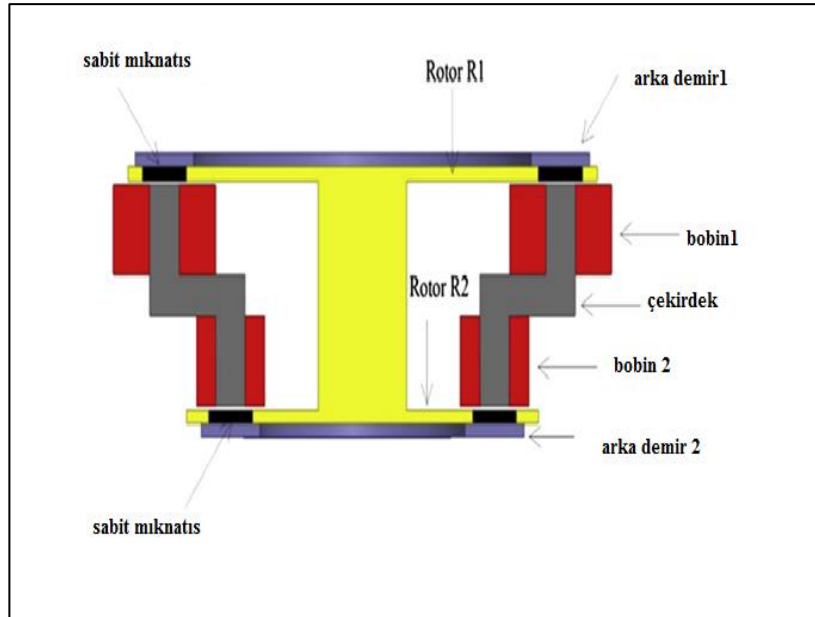
Tez kapsamında gerçekleştirdiğimiz deneysel sonuçlarda, matematiksel modellerin ve çeşitli yöntemlerin uygulandığı en küçük kareler polinom denklemleri uygulanmıştır. Bu nedenle, literatürdeki gibi yüksek güçler üretmek için sıcaklığın başka bir önemli parametre olduğu sonucuna varılmıştır. Yeni model çeşitli motor parametreleri için kullanılabilir ve bu sonuçlar istenen güç ölçeğine sahip yeni makineler üretmek için kullanılabilir.

3.3. Üç -Fazlı PM Tipi Jeneratörün Tasarlanması

Fotoğraf 3.2.(a-c), elektriksel ve mekanik çıkışların teşhisi için genel sistemi ve ölçüm ekipmanını gösterir. Deneysel çalışmalar, Fotoğraf 3.2.c'de gösterildiği gibi, yer değiştirme silindirinin sıcak tarafına ısı vermek için bir dış gaz brülörü (yani sıvılaştırılmış bir petrol gazı) ile yapılmıştır, Ancak gerçek uygulamada bir parabolik

ayna sistemi bağlanacaktır. Sıcak odanın ucuna, daha sonra bir Güneş yoğunlaştırıcı ısıtıcı birimi etkinleştirilecektir.

Bu çalışmada, beta tipi motorun ısıdan elektriğe enerji dönüşüm sürecini gözlemlemeyi ve araştırmayı hedeflediğimiz için, sadece gaz brülörünü kullanıyoruz. Sistemin elektriksel kısmı, Fotoğraf 3.2 'de görüldüğü gibi aksenal akı sabit mıknatıslı bir jeneratör PM tarafından sağlanmaktadır. Başlangıçta, bu jeneratörün, arzu edilmeyen dış açma momentunu en aza indirmek için özel bir nüve yapı kullandığı yeni patentli bir tasarım olduğu belirtilmelidir. Ayrıca, manyetik ve elektriksel kayıpları en aza indirmek için % 98 düzeyinde yüksek bir elektrik verimine sahiptir. Önceki bölümde, elektrik jeneratörünün yapısal özellikleri sunulmuştur. Fotoğraf 3.2.a, sistemin çıkış gücünü keşfetmek için PM jeneratörüne üç elektrik direnç yükü sunar. Üç fazlı bağlantılar, Fotoğraf 3.2'de üç renkle belirtilmiştir. Her faz, üç fazın çıkışlarını gözlemlemek için dirençli bir yük ile sonlandırılmıştır. Fotoğraf 3.2'deki jeneratör geometrisine göre, iki alüminyum rotor makinenin iki tarafından serbestçe döndürülebilir.



Şekil.3.3. Aksenal/ radyal akı jeneratörün tasarımı



(a)

(b)

(c)

Fotoğraf. 3.2. (a) Jeneratörüne bağlı beta tipi Stirling motor için
(b) sistemin volani bileşeni dönerken
(c) motor kafasının laboratuvarda ısıtılması

Mekanik bir denge sağlar ve mekanik gürültüyü azaltır. Stator, jeneratörün ortasına sabitlenirken rotorlar iki yatak nedeniyle döner. Mekanik sürtünmeleri azaltmak için, jeneratörümüzde 5 mm'lik hava boşluğu ayarlanmış olup, son hava boşluğu, dişli moment ve dalga biçimi ölçümleri gözlemlendikten sonra 1.5 mm'ye kadar azaltılabilmektedir. Test motoru PM jeneratörü ile birleştiğinde, bunun yanı sıra, deneysel SM tip bir Prony tipi dinamometre, bir TMS DT-8859 kızılötesi termometre, 0.01 bar hassasiyetine sahip bir dijital manometre ve çıkış yükünü kontrol etmek için kullanılan bir üç fazlı reosta içerir.

Deneysel SM sonuçları, Grafik 3.9 da gösterilmektedir. Farklı sıcak son sıcaklıklarda testler yapılmıştır. Çalışma boyunca hava ve helyum gazları için farklı şarj basınçları kullanılmıştır. Yer değiştirme silindirin soğuk ucu, su sirkülasyonu ile 30°C'de tutulmuştur.

3.3.1. PM Jeneratörün Yapısı ve Çalışma Prensibi

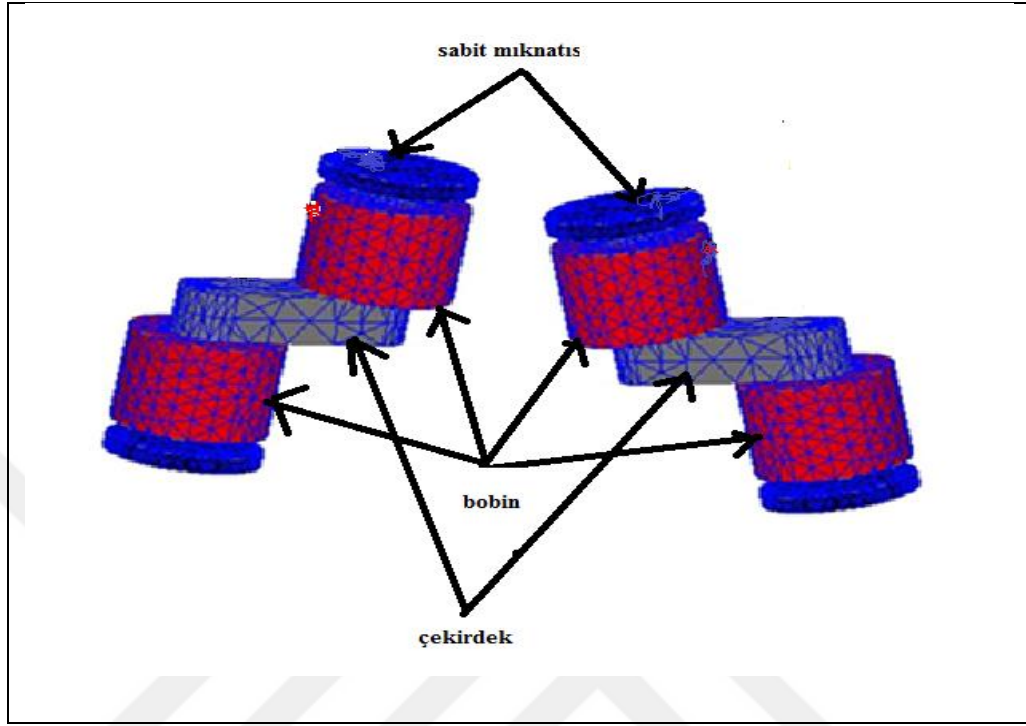
Genel olarak, tüm sabit mıknatıslı jeneratörler (PM) rotor, stator, tutucu ve kapak bölümlerinden oluşur.Sabit mıknatıslı jeneratörler sabit kutuplu mıknatıslardan oluşur. Eksenel akının önemi, kompakt olmaları, yüksek güç yoğunlukları ve doğal soğutma tekniklerinden oluşmasıdır (Thombare vd.,2008). Eksenel akı PM' ler daha düşük kontrol momentlarına, haime ve daha yüksek güç yoğunluğuna ve verimliliğe sahiptir, ayrıca radyal olanlara kıyasla kurulumda daha kolaydır (H. Hosseinzade, H. Sayyaadi, ve M. Babaelahi ,2015).

Bu tez kapsamı çalışma içerisinde, Şekil 3.3.de gösterilen üç fazlı tasarlanan eksenel/radyal akı PM jeneratörü kullanılmıştır.PM jeneratörünün birbirine bağlı üst ve alt kısımlarda iki rotoru vardır ve aynı shaft üzerinde iki tarafta döner.Stator, SE iki rotor arasında değiştirilir ve özellikle yüksek devirlerde sabit bir makine sağlayan üç üniteye sahiptir. Jeneratör belirli bir kaplama nüve çerçeveye sahiptir ve bu yapının daha düşük kontrol momentu değerleri verdiği makine ağırlığı ve girdap akımları üzerinde kesin özelliklere sahiptir.

Üç fazlı PM jeneratörü, herbiri bir çekirdeğe yerleştirilmiş iki sarımdan oluşan,16 mıknatıs ve 12 sarım ve göbek içerir. Jeneratör ise 5 mm hava boşluğu kullanılır.Stator içindeki birçok hava boşluğu , rotor ve stator arasındaki hava boşluğu nedeniyle, büyük rotor ve stator yüzeyi üzerinde etkili bir normal soğutma tekniği vardır.

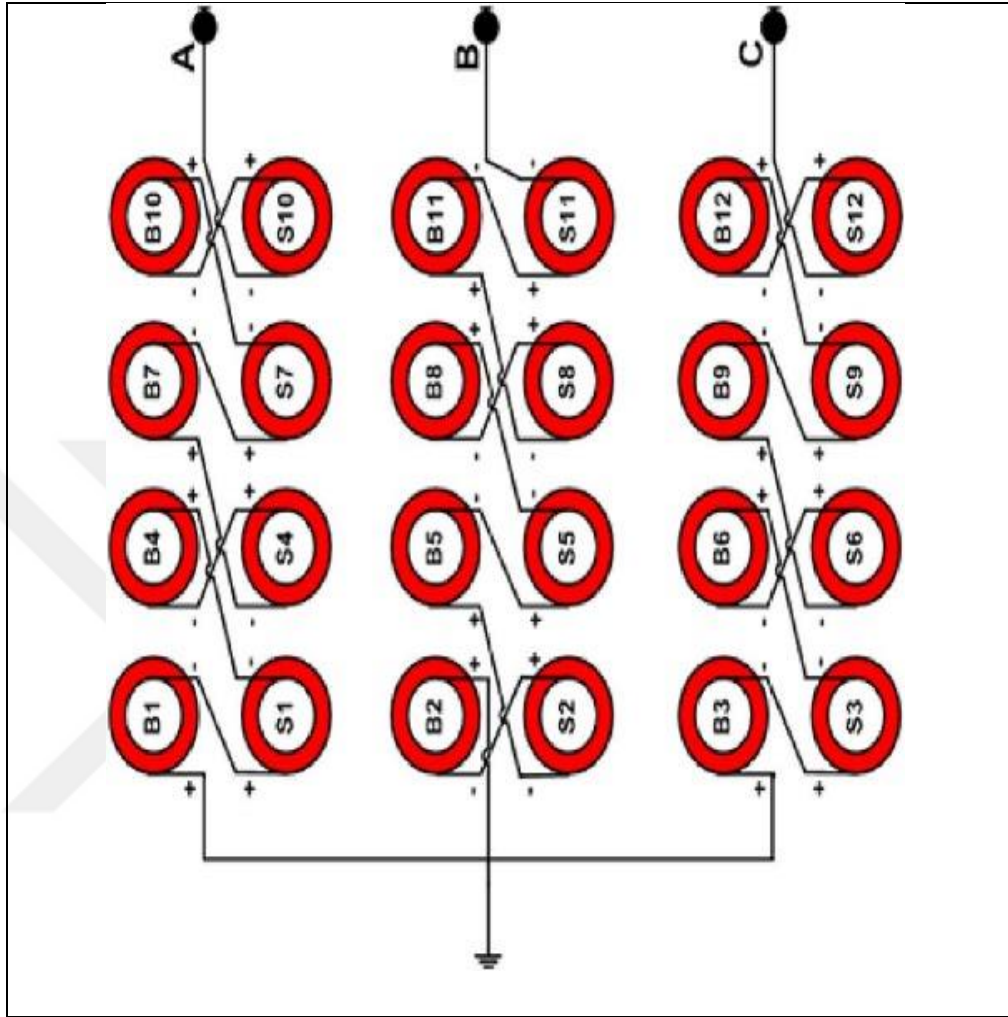
Her bir nüve, 0.5 mm kalınlıkta 40 kaplama katmandan oluşur, akı kaybını en aza indirmek için tüm katmanlar eksenel bir şekilde birleştirilir. Rulolar, dairesel bir biçimde tasarlanmış sargıları, bakır kayıplarını azaltmak için Şekil 3.4.'deki gibi yerleştirilir.

Mıknatıslar, üst ve alt göbek uçlarına, N-S-N-S şeklinde zıt kutuplarla simetrik olarak, mıknatıslar arasında, elektrik açısı deneyde 30° ayarlanarak, sarımlar SE için bir sarımdan diğerine faz kayması oluşmayacak şekilde yapılmıştır.Ek olarak, üst ve alt sargılar, Şekil .3.3 gibi aynı bağlantıya yerleştirilmiştir (Walker,1980).

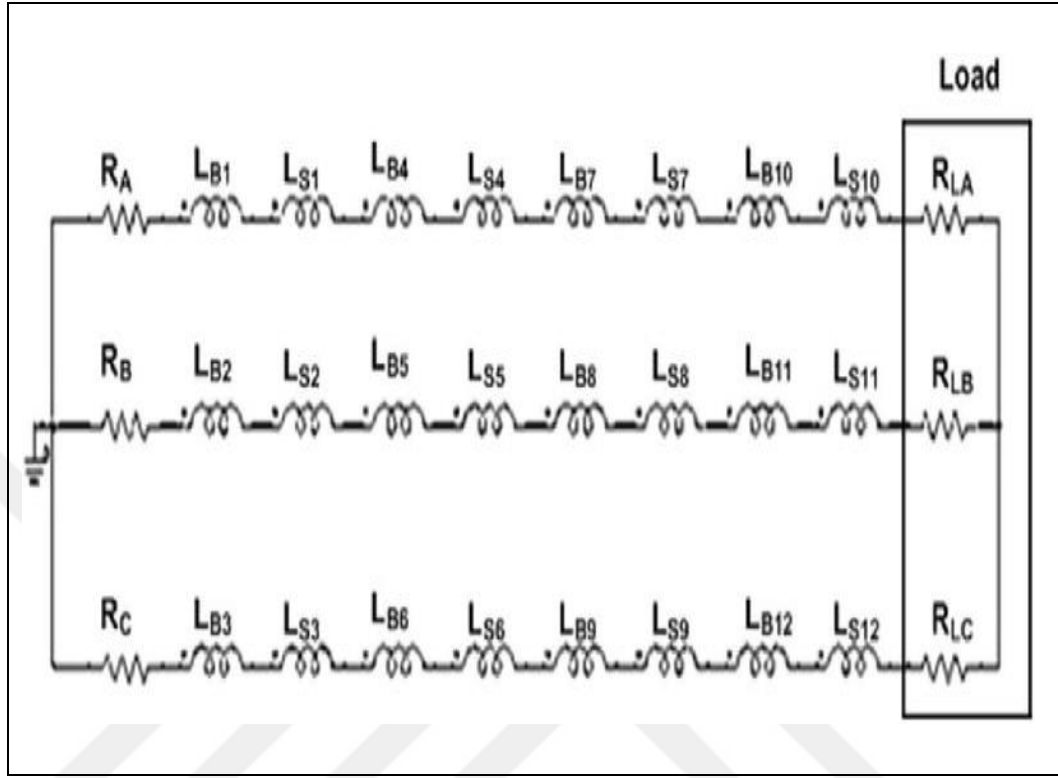


Şekil.3.4. Jeneratör nüve yapısı ve sargı bobinlerin tasarımı

PM üretici, radyal yönlendirilmiş akının kontrol momentunu azaltmak için kullanıldığı diğer eksenel modellerden farklı olarak hem eksenel, hemde radyal akıya sahiptir. Tez kapsamında, Şekil.3.5 ve Şekil. 3.6 de modellediğimiz eşdeğer devre gösterilmiştir. Şekil.3.5 ve Şekil. 3.6 dan görüldüğü gibi, üç fazlı yapı ile ilgili seri bağlantı sargıları üç farklı gruba ayrılmıştır. Her fazın net gerilim (volt) değeri, her sarımın bireysel ürettiği gerilimlerin toplamıdır. Bu durumda, bir fazın toplam endüktansı olarak yazılabilir (Solmaz ve Karabulut,2014; Lou vd.,2016).



Şekil.3.5. Jeneratörde elektrik üretmek için sargıların tasarımı



Şekil.3.6. Jeneratörün eşdeğer devresi.

$$L_{pA} = L_{B1} + L_{S1} + L_{B4} + L_{S4} + L_{B7} + L_{S7} + L_{B10} + L_{S10} \quad (3.1)$$

Yük ve sargılardaki gerilim azalması göz önüne alındığında,

$$V_{LpA} - V_{RA} - V_{LA} = 0 \quad (3.2)$$

$$\frac{di_A}{dt} = \frac{i_A}{L_{pA}} (R_A + R_{LA}) \quad (3.3)$$

Burada, I akımı her faz için sargılarda üretilen indüklenmiş akımdır, burada gerilim değeri bağlantı kablolarına bağlı olarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$V_{LpA}(t) = -8N \frac{d\phi(t)}{dt} \quad (3.4)$$

Burada 8 katsayı faktörü, sarım numaralarını tek fazda olduğunu ve N sarım sayısını göstermektedir. Böylece, üç fazdan üretilen toplam elektriksel anlık güç değeri

$$P_{out} = 3V(t)I(t) \quad (3.5)$$

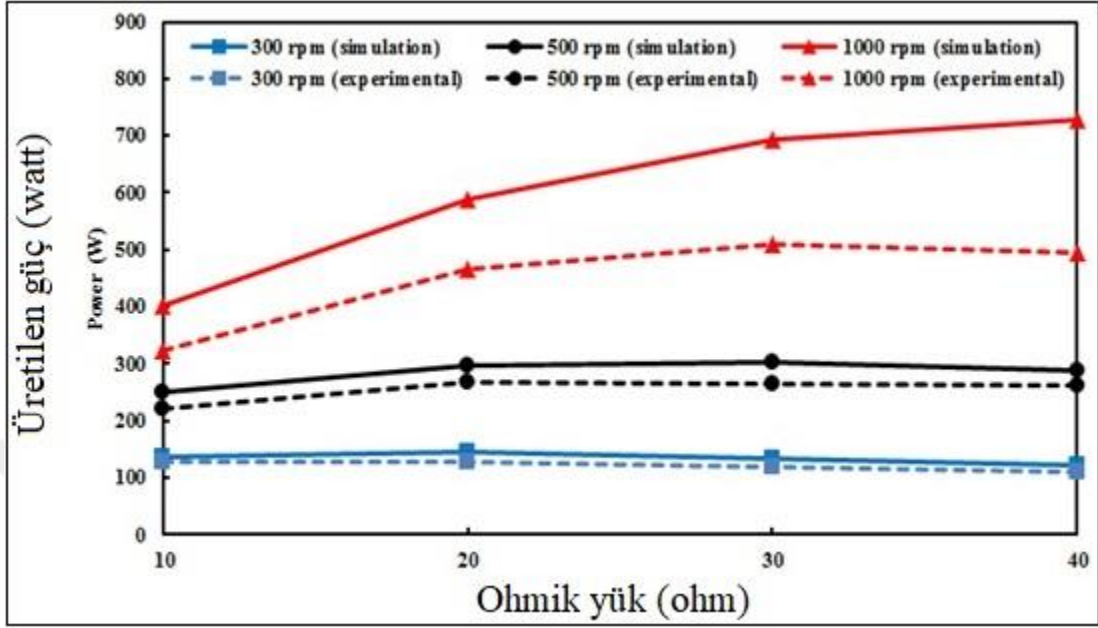
Denklem 3.5 ile verilmektedir. Gerilim $V(t)$ ve akım $I(t)$ için tek faz olarak kabul edilirse güç faktörü denklem 3.5 ile verilir. PM Jeneratörün genel teknik özellikleri Tablo 3.4. verilmiştir. SM makinenin performansını artırmak için stator ve rotorlar arasında, 5 mm'lik bir hava boşluğu ayarlanarak, mekanik sürtünmeler en aza indirilmiştir. Deney ve benzetimlerinin sonuçlarımız Grafik 4.3'te verilmiştir.

PM için, çeşitli dönme hızlarında (rpm), tasarlanan deneysel ve teorik elektriksel güç (watt) cinsinden değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Tasarlanmış jeneratörünün deneysel ve teorik güç özellikleri; Rotor hızı 500 rpm olduğunda, elektrik jeneratörünün P mak; maksimum elektrik gücü elektrik yükünde (20RL) elde edilmiştir. Stirling motoruyla yapılan deneyler SM, volan hızı için yaklaşık 500 rpm olduğu için, hız ve elektrik yükünün önemi önemlidir. Stirling motorunun hızı 1000 rpm'ye yaklaşıyorsa, elektrik gücü konseptinin makul bir sonucu olarak makineden daha fazla güç almak için daha büyük bir elektrik yükü kullanmak daha uygundur. PM jeneratörünün karakteristik güç çıkışını tanımlamak için, deneysel ve benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır.

Teorik olarak sonlu elemanlar analiz yönteminin, deneysel olarak hesaplanan SE için düşük dönüş hız değerlerinde uyumlu olurken, yüksek dönüş hızlarda özellikle 1000 rpm'den daha büyük v hızlarda, elektrik jeneratörünün güç çıkışı teoriden çok fazla sapma olduğu gösterilmiştir. Bununla birlikte dönüş hızı orta düzeyde, 500 rpm değerlerinde, 250 W elektrik gücü ortaya çıkarmıştır. Grafik.3.8.de PM için, çeşitli dönme hızlarında tasarlanan deneysel ve teorik elektriksel güç değerlerinin karşılaştırılması gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Sabit mıknatıslı jeneratörün parametreleri

Bileşenler	Özellikleri
Rotorun iç yarıçapı R_2 (mm)	75
Rotorun dış rotor R_2 (mm)	105
Rotorun iç yarıçapı R_1 (mm)	120
Rotorun dış rotor R_1 (mm)	150
Rotor dolgu malzemesi	Aleminyum
Stator diskin iç yarıçapı (mm)	70
Sırt demirinin kalınlığı (mm)	10
Sırt demirlerinin radyal genişliği (mm)	30
Stator diskin iç yarıçapı (mm)	70
Stator diskin dış yarıçapı (mm)	155
Stator dolun malzemesi	Aleminyum
Arka demirin 1 iç yarı çapı (mm)	120
Arka demir 1 dış yarıçapı (mm)	150
Arka demir 2 iç yarıçapı (mm)	75
Arka demir 2 dış yarıçapı (mm)	105
Bobin iç çapı (mm)	30
Bobin dış çapı (mm)	40
Faz sayısı	3
Sarma dönüş sayısı	200
Bobin numarası	24
Tel çapı (mm)	0.75
Mıknatıs tipi	NdFeB
Mıknatıs şekli	dairesel
Mıknatıs numarası	32
Mıknatıs çapı (mm)	30
Mıknatıs kalınlığı (mm)	5
Nüve / geri demir malzemesi	M19
Nüve tipi	eksenel / radyal
Nüve numarası	12
Hava aralığı (mm)	5
Nüve katsayıları (W/m^3)	164.2 / 1.3 / 1.72

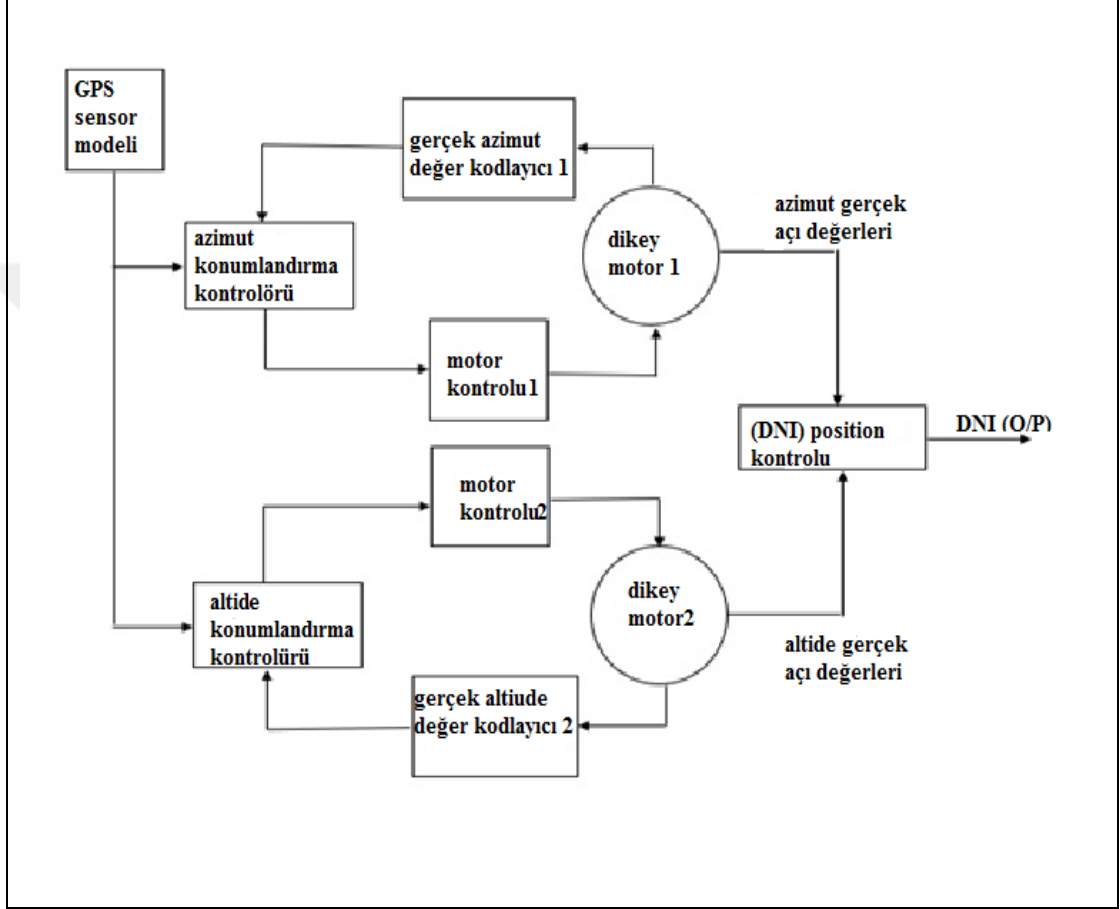


Grafik.3.8. Geçişli dönme hızlarında deneysel ve teorik elektriksel güç değerlerinin karşılaştırılması

3.4. Elektro-Mekanik Parçanın Tasarımı

Şekil.3.8'de tasarlanan açık döngü, Sun izci yazılımı tabanlı izleme algoritması gösterilmektedir (Sarker ve diğerleri,(2010); URL1) . Ana bileşenler, bir mikrodenetleyici, programlanabilir mantık denetleyicisi (PLC), iki mekanik limit anahtarı, sürücüler iki dik motor depolanan yazılım ve Güneş yörüngesi gerçek veriler belirlemek için GPS gösterilmiştir.

Dikey eksen etrafında dönen ilk motor, altitude açısı (irtifa açısı), ikinci motor ise doğu-batı izleme hareketi için azimut (güney açısı) için kullanılmıştır. Motorların her biri dönüş hızları, momentu ve açısal pozisyonlarını kontrol etmek sensörlü dişli kutularına bağlanmıştır.



Şekil.3.7. Çift eksenli Güneş takip sistem tasarlanmış algoritması

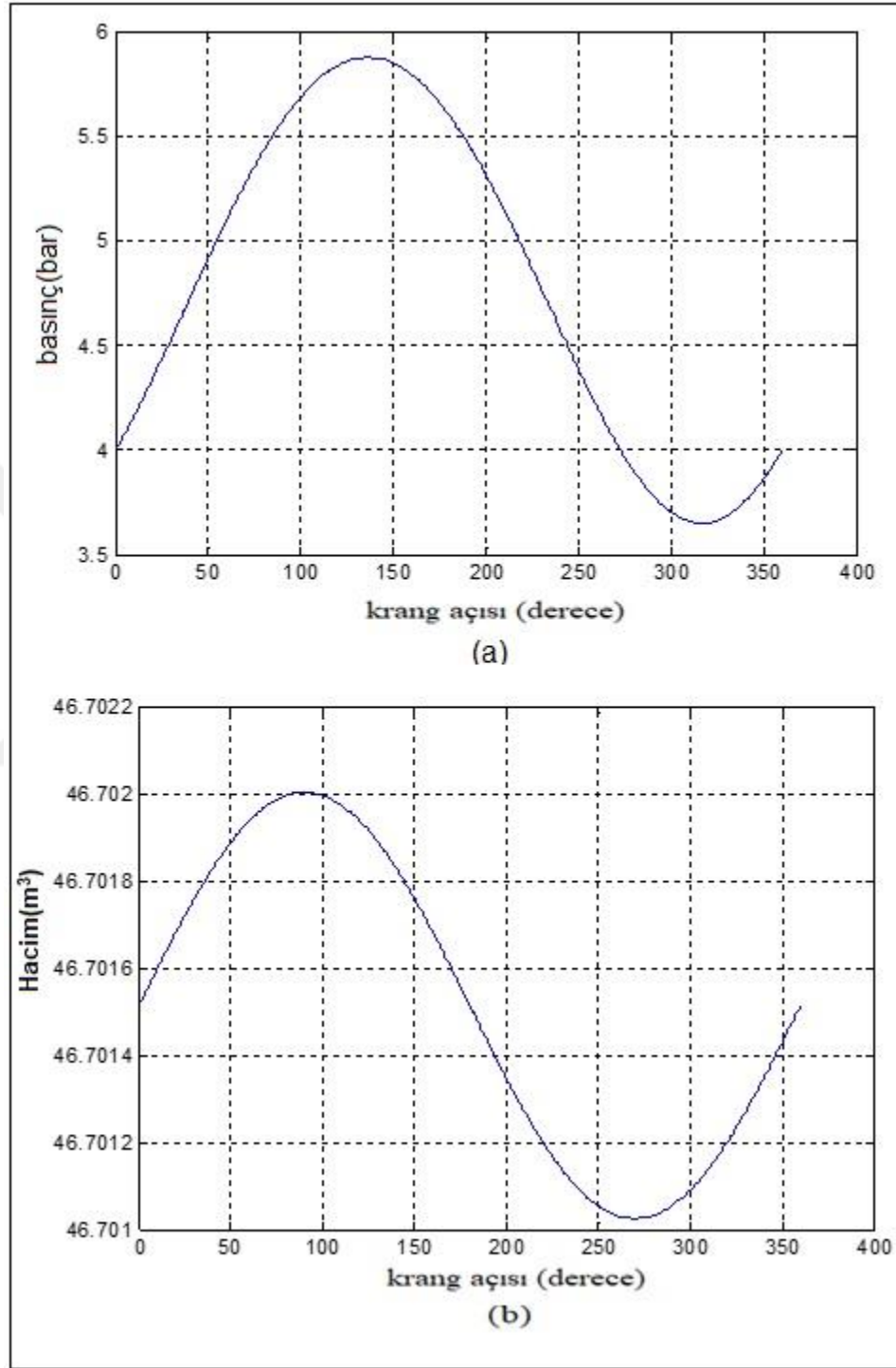
4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu bölümde, tez kapsamında yapılan benzetim programı için lisanslı MatLab - R2016 bilgisayar programı ile deneysel ortamda geliştirdiğimiz yeni SE sistemi için bütün veriler karşılaştırarak, sonuçlar verilmiştir. Simulasyon formülasyonu için ortalama hacim, güç veya basınç gerekliyse, belirli zaman aralığı için ortalama değerler dikkate alınır. Benzetim çalışmamızdaki, Stirling motoruna ait sabitler Tablo.4.1'de listelenmiştir. Bu değerler başlangıç değerleri olarak sisteme dahil edilmiştir.

Yer değiştirici, aşağı doğru hareket ederken, çalışma sıvısı sıkıştırma hacminden yer değiştiricinin üzerinden sıcak hacime doğru hareket eder. Bu işlem sırasında, piston üzerinde negatif bir çalışma vardır ve bu işlem piston, PTDC olarak da adlandırılan üst ölü merkezine ulaşana kadar devam eder. Daha yüksek sıkıştırma basıncı, çalışma akışkanını sıkıştırmak için daha fazla enerji gerektirir. Bu nedenle, PTDC'den önce oluşan maksimum basınç, SE'de döngüsel çalışmaların azaltılmasında ana faktör olan sıkıştırma işleminde çarpıcı bir artışa neden olur.

Grafik.4.1'de krank açısına bağlı olarak (SM)'nun hacim ve basınç yerdeğiştirmeleri gösterilmiştir. Grafik.4.2'de ısıtıcı sıcaklıklarına bağlı olarak çalışma sıvısının $T_h;400K$ ve $T_h;800K$ 'de P-V (basınç-hacim) ilişkisi gösterilmiştir. Grafik 4.3 (a,b) iki farklı son sıcaklık için P-V şemalarını göstermektedir. $T_h; 400K$ sıcaklığında taranan eğrisel alan Grafik 4.3 (a) daki gibi dar olsa da, Grafik 4.3 (b)' de görüldüğü gibi $T_h; 800 K$ sıcaklıkta genişletilmiştir.

Her iki Grafikte 4 bar basıncı, 700 rpm motor devri ve soğutulmuş su sistemi tarafından sabit tutulan 30K soğuk son sıcaklık altında elde edilmiş olmasına rağmen, üretilen işler sıcaklık farklarına göre her zamanki gibi farklılık gösterir.

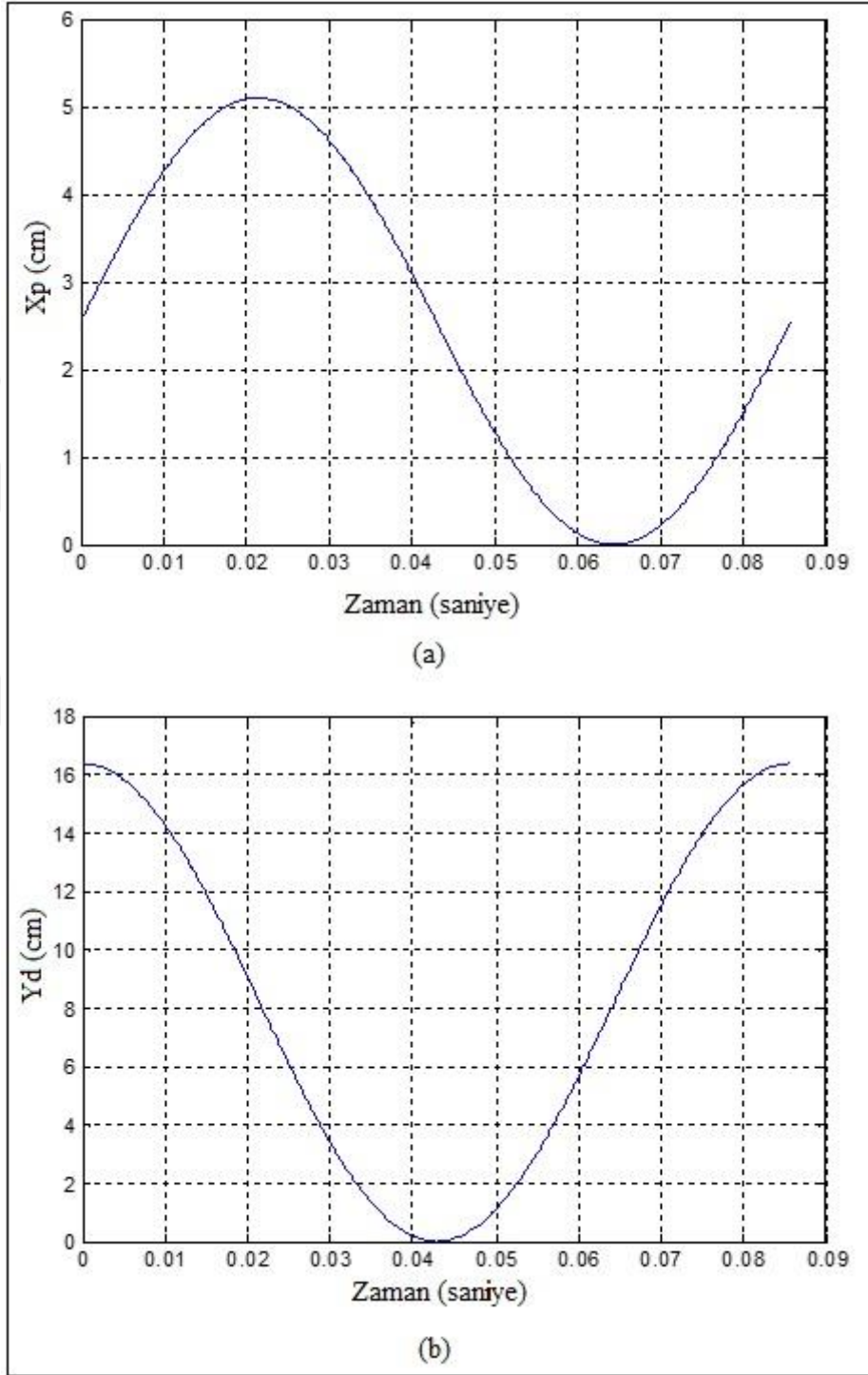


Grafik. 4.1. (a,b) Krank açısına bağlı olarak hacim- basınç ilişkisi

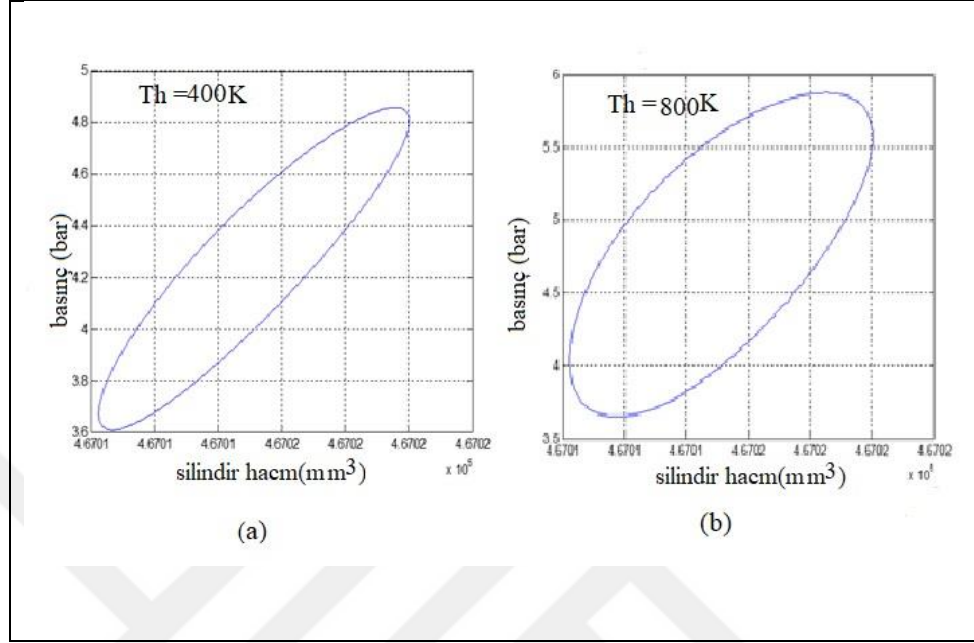
Uygulanan sıcaklık 400 K olduğunda, iş üretimi 26,8 Joule olarak elde edilmiştir. Aslında, iş üretimi sıcaklık 800 K ye yükseltildiğinde, 32.2 Joule yükselmektedir. Döngüsel iş üretimindeki artış 5.4 J iken, sıcak uç sıcaklığı 400 K ile 800K arasında değişmektedir. Grafik 4.4 (a,b), artan basıncın aynı zamanda enerji üretimini de etkilediğini kanıtlamaktadır değişimlerinin karşılaştırılması gösterilmiştir. Motor gücü ,motorun ortam sıcaklığı 600 K de 1.5 kW iken, Sıcak uç sıcaklığı 800 K sıcaklık derecesine yükseltildiğinde güç 6 kW ın üstüne çıkar. Dolayısıyla basınca bağlılık bu tür motorlar için önemli bir bulgudur. Grafik 4.5’de, 600 K ve 800 K sıcak son sıcaklıklarda mekanik moment değişimlerini belirlemek için, bulgular (a ve b) durumlarında gösterilmiştir. En yüksek moment (2,6 N.m), 5 bar ve 600 K sıcak son sıcaklık için 428.6 rpm de elde edilmiştir. Ek olarak, 3.7 N.m moment değeri, 613 rpm de 800 K sıcak uç sıcaklığı için de belirgindir. Momentlerin her zamanki gibi hızını arttırarak düzenli yaptığı alanlardan açıktır. Benzetimlerde helyum çalışma gazı kullanarak, geleneksel performans düşük motor devirlerinde ortaya çıkan ısıtma / soğutma aktiviteleri bilmemizdir. Ayrıca, artan basıncın daha yüksek moment değerlerine ulaştığı görülmektedir.

Değişken hız için güç ve moment ilişkisini netleştirmek için, Grafik 4.6.a gösterilmiştir. Moment değerleri ve hızlarının çarpılmasının, tüm motorlarda olduğu gibi karşılık gelen güç değerlerine yol açtığı açıktır. Sonuç olarak, Grafik 4.6.b, sıcak uç sıcaklığı arasındaki güç ve moment ilişkisini göstermektedir. Hem motor gücünün, hem de momentun sıcaklıkla birlikte arttığı kanıtlanmıştır. Deneysel sonuçlarımız, Grafik. 4.1.(a,b) de gösterildiği gibi, elektrik jeneratörü için rotorun dönüş hızı ile AC voltaj çıkışlı ve motorun elektriksel gücü arasındaki ilişki gösterilmiştir. Şekil .4.3 de gösterildiği gibi simülasyon sonuçlarına bağlı olarak bazı formülasyon bağıntıları türetilmiştir.

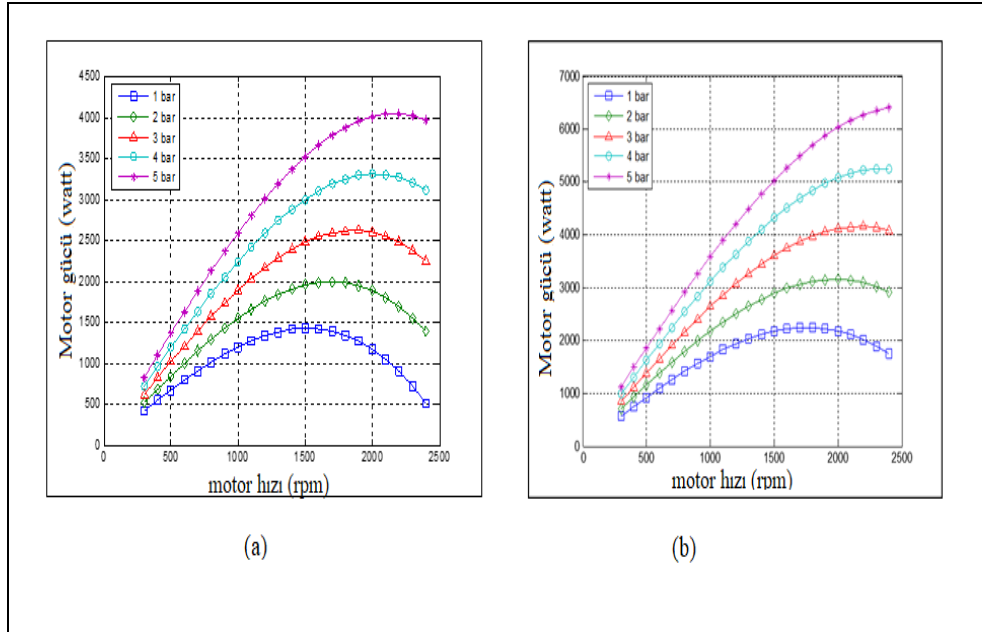
Çıkış AC voltajlarını ve elektrik gücünü hesaplamak için SM modelimize bağlı bir iş-akış benzetim bloğu kullanılmıştır. Grafik 4.8 (a, c) de sırasıyla gösterildiği gibi, motorun ortamında hava ve helyum çalışma gazları rotor hızına bağlı (rms) olarak üretilen elektriksel güç ve AC çıkış voltajı arasındaki ilişkiyi gösterilmiştir.



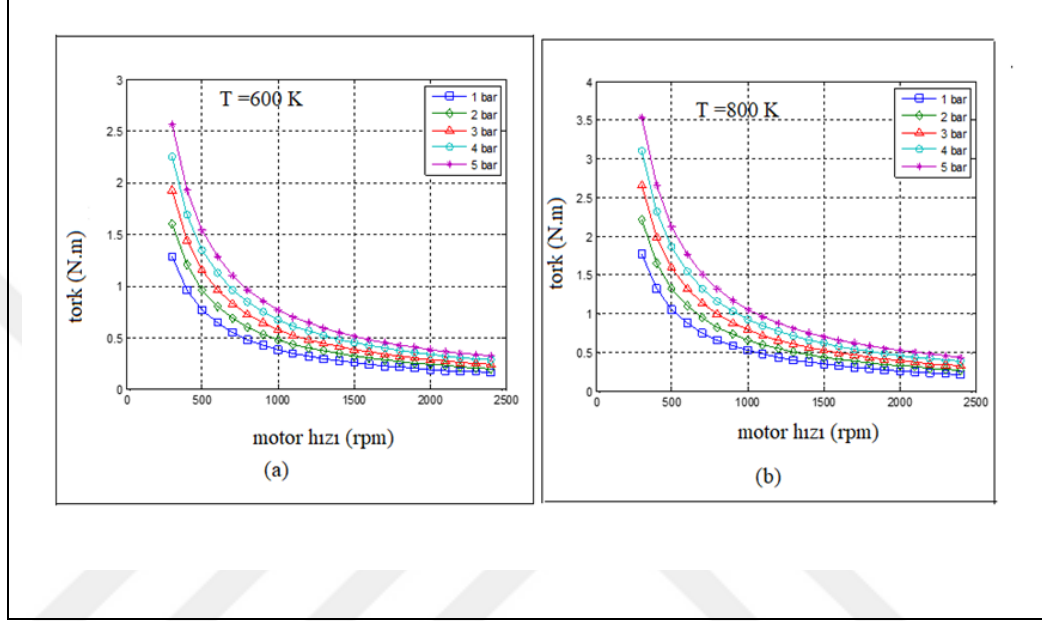
Grafik. 4.2. $T_h=800$ K sıcaklık ve 700 rpm deki motor devrine ait (a) güç pistonun (b) yerdeğiştirici hareketlerinin karşılaştırılması



Grafik.4.3. (a, b) $T_h = 400 K$ ve $800 K$ sıcaklıklar için P-V şemalarının karşılaştırılması

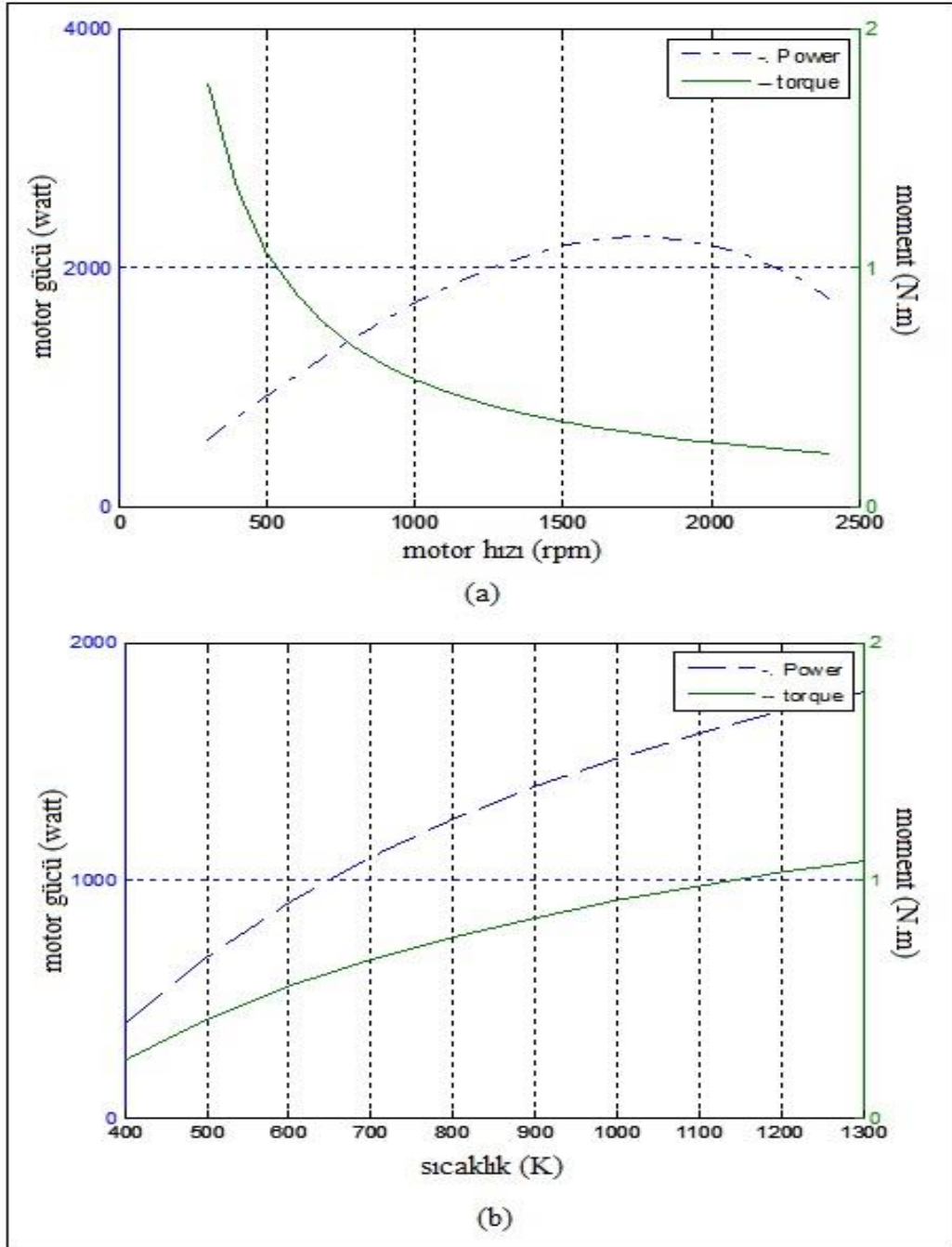


Grafik.4.4. (a) $T_h = 600 K$ ve (b) $T_h = 800 K$ de P;(1,2,3,4,5 bar) basınçta motor hızı -motor gücü karşılaştırılması

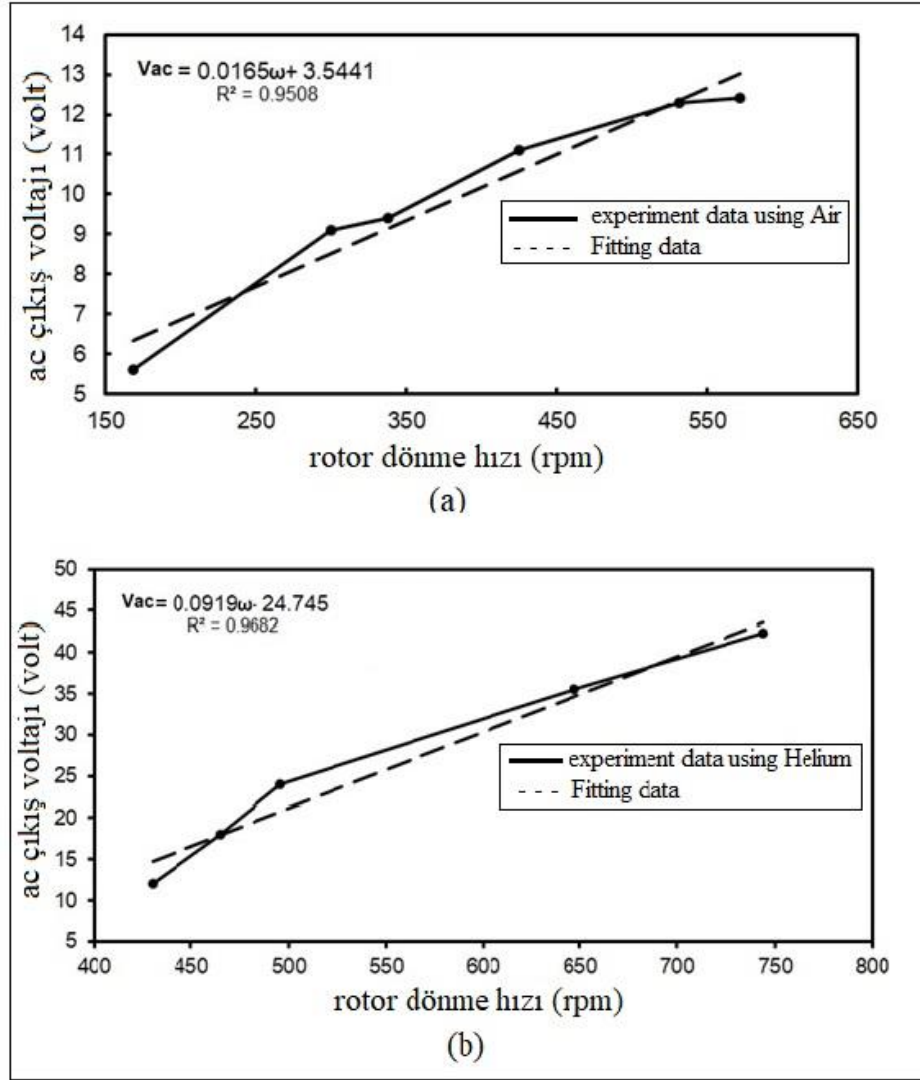


Grafik. 4.5. (a) $T_h = 600\text{ K}$. (b) T_h ; 800 K de ($P=1,2,3,4,5\text{ bar}$) basınçta motor hızı, motor momentum karşılaştırılması

Rotor dönüş devri ile üretilen elektrik gücünün her iki gaz için, aralarında ilişkinin doğrusal olduğu görülmektedir. SM'de, rotorun devir sayısı, 170 rpm ve çıkış AC voltajı 5.7 V için üretilen elektriksel güç 5 W iken, aynı motorda devir sayısı 570 rpm ve çıkış AC voltajı, 13.5 V için üretilen elektriksel güç 27 W değerine ulaşmaktadır.

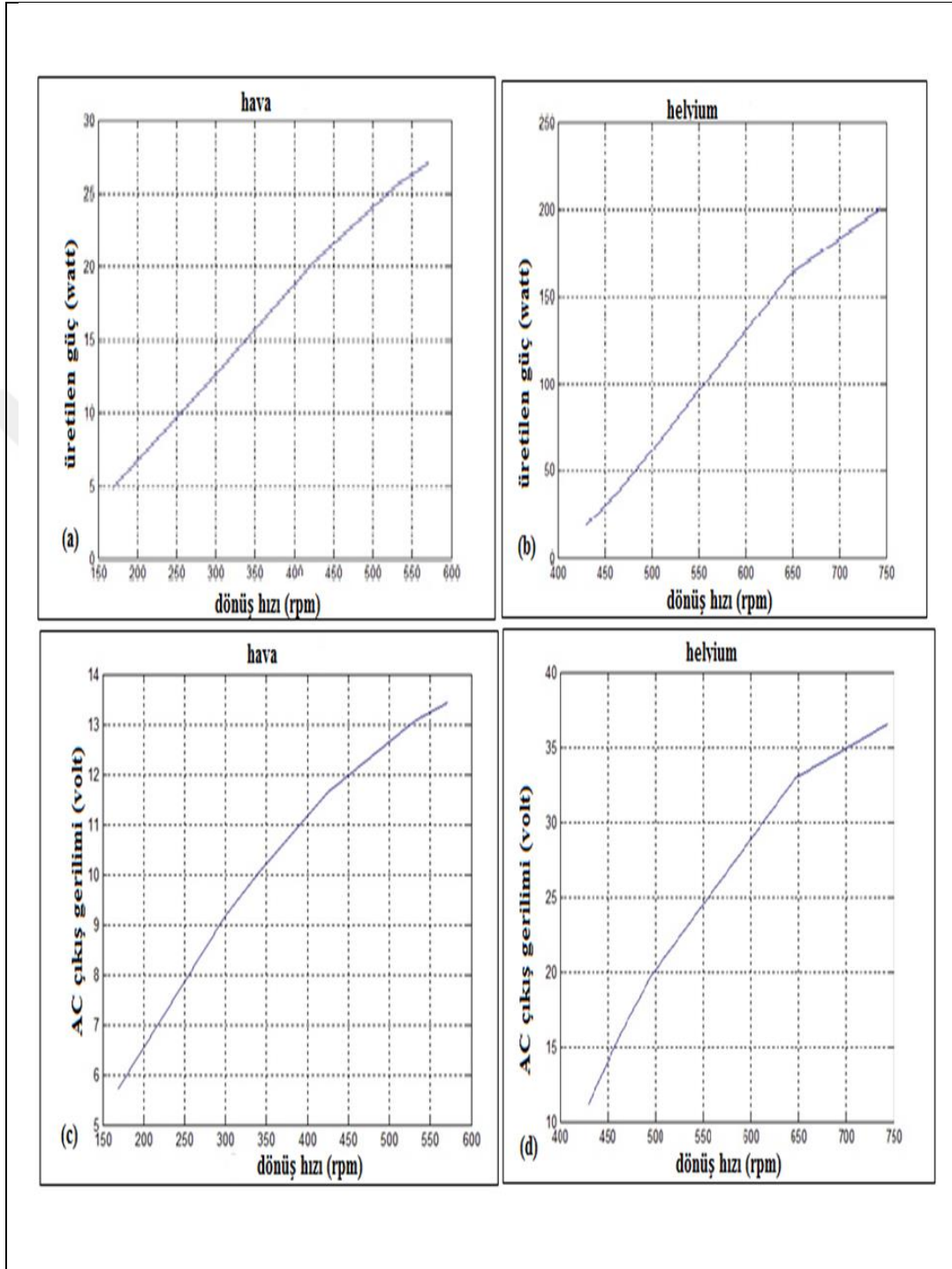


Grafik.4.6. SM çıkış gücü (a) motor devri
(b) sıcaklığa karşı momentlerin karşılaştırılması



Grafik .4.7. (a, b) SM için rotorun dönme hızı ile AC çıkış voltajının performans karşılaştırılması

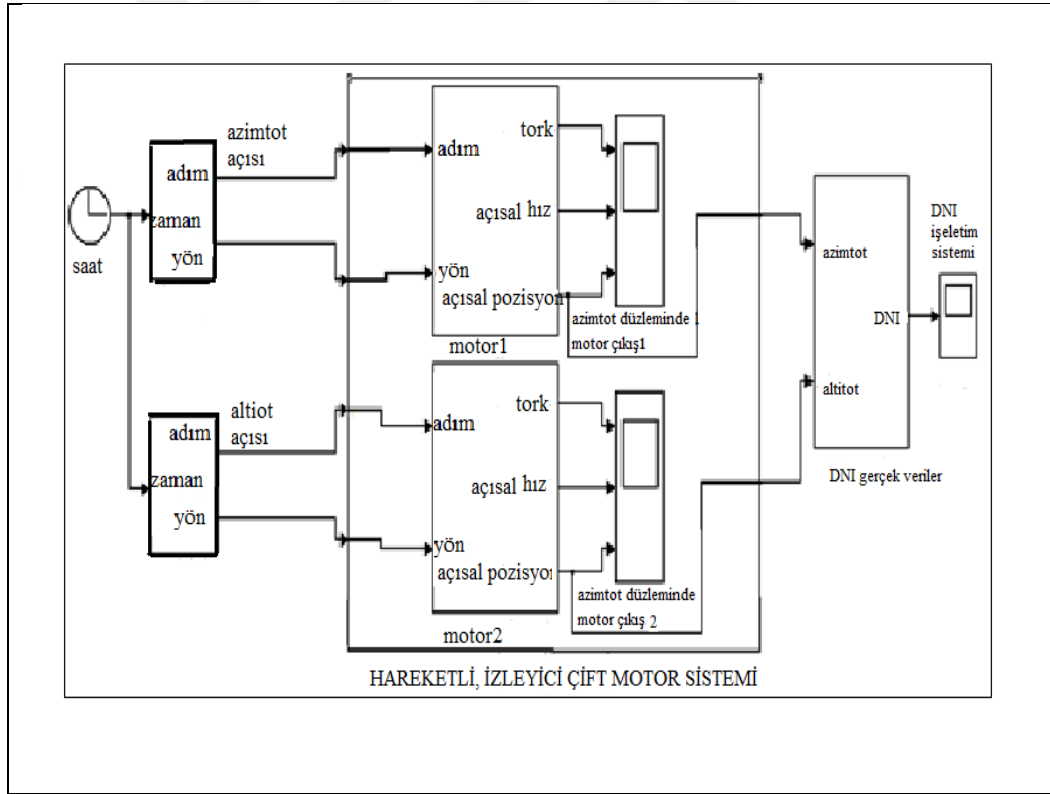
Yine Grafik 4.8 (b, d) de gösterildiği gibi SE’de her iki çalışma gaz ortamlarına bağlı olarak, üretilen elektrik güç ve çıkış AC voltajı, dönme rotor hızına göre incelenmiştir. Burada, hava ortamında olduğu gibi aynı doğrusal yol devam eder, elektrik gücü ve AC voltajı, hava ile karşılaştırıldığında helyum ortamında daha yüksek olduğu yani, 750 rpm’de sırasıyla 200W ve 37V’a ulaştığı görülmektedir. Bu sonuç, güç ve voltajın hava ile karşılaştırıldığında helyumun daha verimli olduğu yaklaşık üretilen elektriksel gücün 5 kat arttığını göstermektedir.



Grafik .4.8. (a, c) hava gazı (b, d) helyum gazı kullanılması durumunda motor gücü –dönüş hızı ve AC çıkış gerilimlerinin karşılaştırılması

4.1. Güneş İzleme Sistemi (DNI) İçin Bulgular

Şekil.4.1.'de gösterildiği gibi, kontrol izleme mekanizması, DNI'nın veri tablosu ve Güneş yörüngesini içeren çift eksenli Güneş izleyici modellenmiştir. Azimut ve yükseklik takip mekanizmaları, iki kademeli motor ve dişli kutusu dahil olmak üzere tasarlanmıştır. Güneş izleme sistemi elektro-mekanik tarafından kontrol edilmiştir. Şekil.4.1. giriş verisi olarak, azimut ve yükseklik açı verilerinin olduğu izleme sistemini temsil etmektedir. Çıkış verisi olarak (SM) etki eder. Adım motorun çıktı verisi olarak; moment, açısal hız ve adım açılarıdır. Açılarının çıkış değerleri yoğunlaştırılmış çanak sistemine etki ederek, DNI'yi çıkarmak için enterpolasyon yapar.

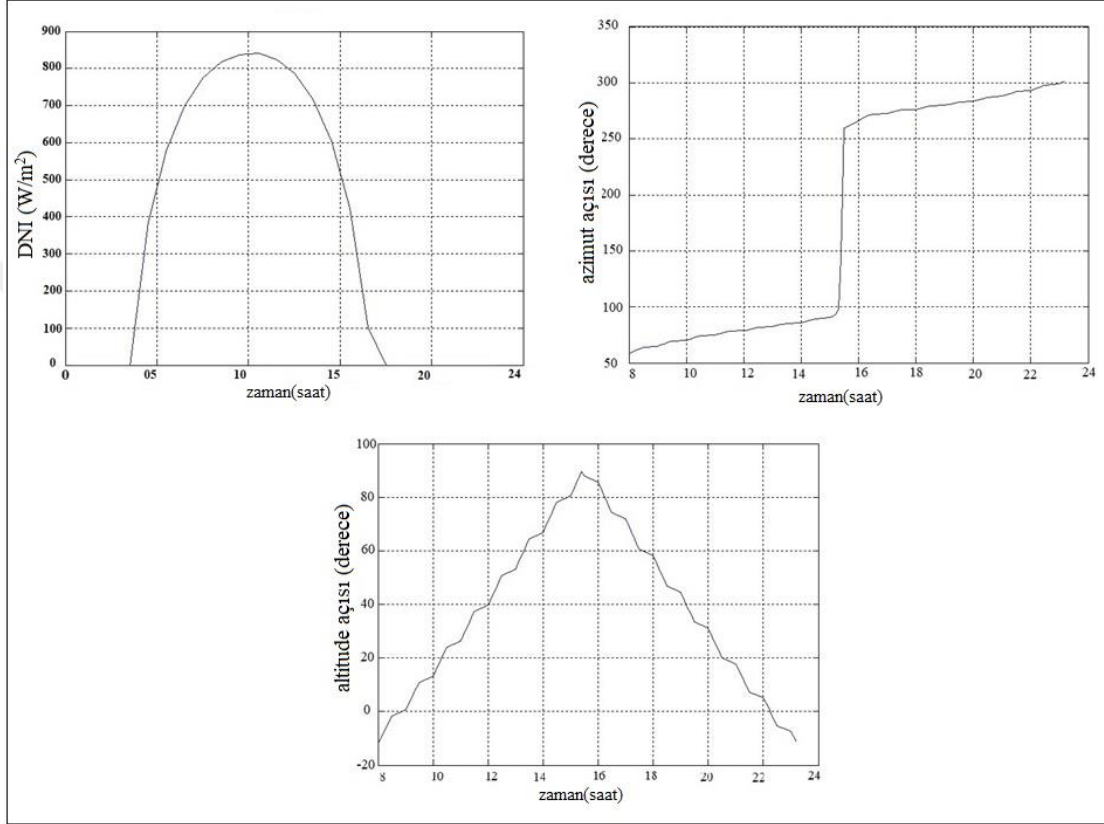


Şekil.4.1. Çift eksenli hareketli Güneş takip benzetim iş-akış şeması.

Güneş takip mekanizmasını tasarlamak için 15 Temmuz 2017 günü, Koufra / Libya da Güneş hareketini takip etmek için DNI sistemi kullanılmıştır. Güneşin yörünge verileri için Alkoufra/Libya astronomi uygulama bölümü ve ABD deniz kuvvetleri komutanlığı gözlemevinin ölçüm sonuçları kullanılmıştır. Güneşin güney ve irtifa açısı değerlerini kullandık. Bizim konumumuzda, güney açısı 15 Temmuz 2017 gün boyunca (61.1°-299.1°) arasında değişirken, irtifa açısı (-10.1°-10.7°) arasında değişmektedir. Bu aralıklar, Güneş takip mekanizmasının minimum sürüş mesafelerini tanımlamak ve maksimum açısal hızın gerekli olduğu Güneş hareketi için de kullanılmıştır. Libya-Koufra'da 15 temmuz 2017'de gün boyunca Grafik 4.9.(a-c) de görüldüğü gibi sırasıyla DNI (watt/m²), güney açısı (azimut) ve irtifa açısı (altitude) parametrelerini zamana bağlı olarak değişimleri gösterilmiştir. Bunlar tasarladığımız çanak-jeneratör sistemi için başlangıç verileri olarak kullanılmıştır.

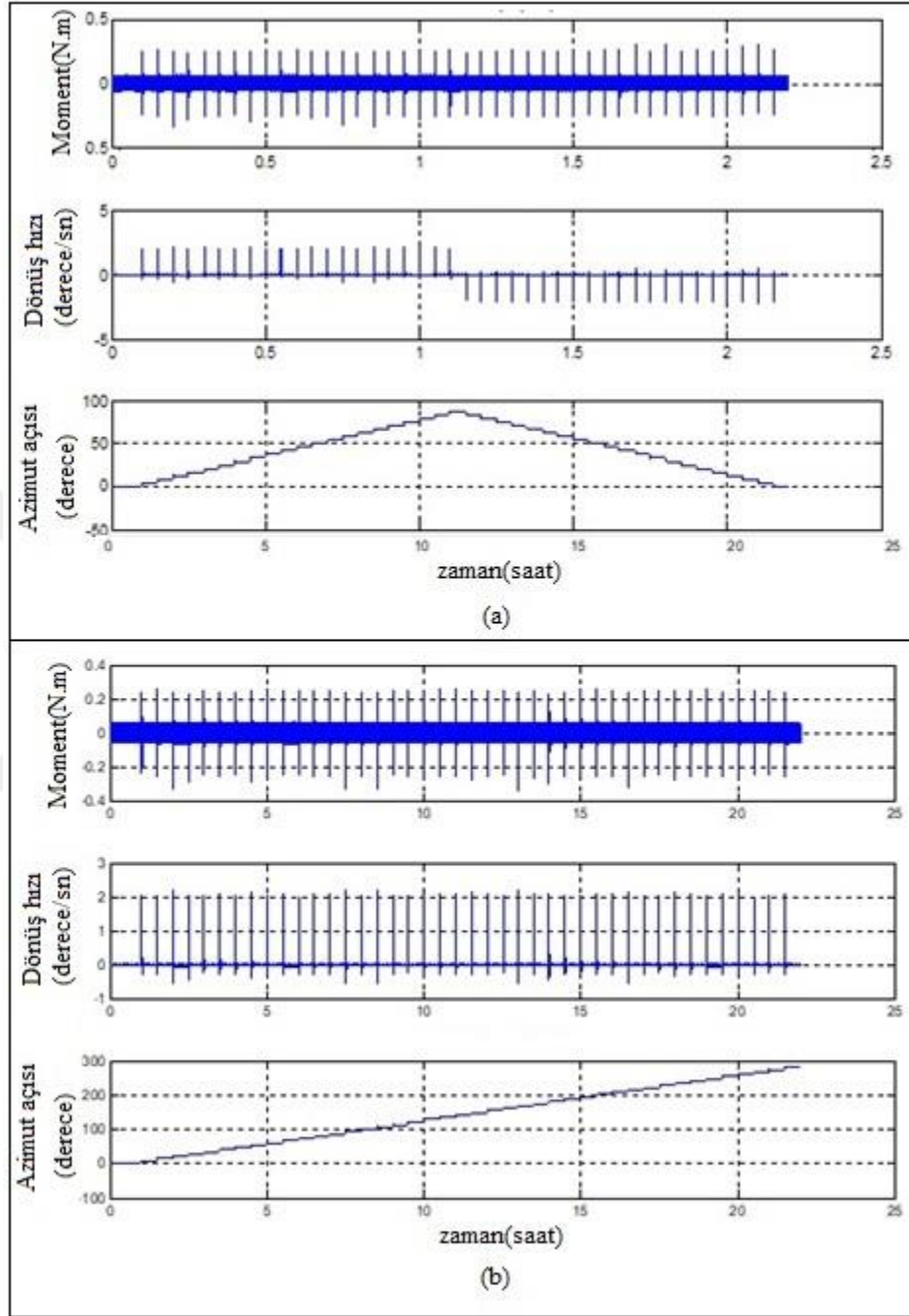
Grafik.4.9.da görüldüğü gibi, Güneş takip mekanizması (DNI)'nın gün doğumu sırasında başladığı, öğlen maksimum değere yükseldiği, ardından gün batımına kadar azaldığı görülmektedir. DNI'nın değeri, yaz mevsiminde en yüksek, kış mevsiminde ise düşük olduğu görülmektedir. Güneşin ufuk düzlemindeki hareketini temsil eden açıklık açısı, batıdan başlayıp maksimum değere kadar artmaktadır. Grafik.4.9'da görüldüğü üzere, öğlen vaktinde keskin bir artış olduğu daha sonra bu değer azaldığı görülmektedir. Bu değerlerin yaz ve kış mevsimlerindeki gündönümüne bağlı olduğunu söyleyebiliriz.

Grafik.4.9.b de görüldüğü gibi, dikey düzlemde Güneşin konumunu temsil eden irtifa açısı (altitude), ufkun altındaki gündeğümü açısında başlar, maksimum değere kadar yükselip (90°) daha sonra azalmaktadır. Güneyin doğusuna doğru olan Güneş azimut açıları doğada negatiftir. Çünkü doğuda -90°luk bir azimut açısı vardır. Güneye bağlı güneybatıdaki Güneş azimut açıları doğada olumludur, öte yandan batıda + 90°luk bir azimut açısı vardır. Grafik.4.9.c'de gösterildiği gibi günbatımına doğru güney açısı (azimtot) azalmaktadır.



Grafik.4.9. (a,b,c) Al-Koufra / Libya'da DNI, azimot açısı ve altitüde açılarının bir günlük değişimleri

Güneş yoğunlaştırıcı Güneş çanak sistemi; ufuk düzlemine paralel olarak azimot açısında ve aynı zamanda ufuk düzlemine dikey yükseklik açısında iki adım motoru döndürülerek Güneş enerjisinden yararlanır. Bu çift eksenli izleyici, parabolik çanak yukarı ve aşağı yönde (irtifa açısı) ve gün boyunca Güneş hareketini her iki yönde izlemek için soldan sağa (azimot açısı) zorlamak için tasarlanmıştır. Yükseklik (irtifat motoru, Güneşin yörünge giriş verilerinin değişmesine göre çalışmaktadır. Şekil.4.2 (a, b) yükseklik açısı, (step) motorunun hareket çıkış verilerini belirler.



Şekil.4.2. Yükseklik (Step) motorlarının (a) altitude ve (b) azimut açısı yönler için zamana bağlı davranışları

İstediğiniz pozisyona göre, sırasıyla Şekil .4.2(a, b)'de gösterilmiştir. Parabolik çanağı hareket ettirmek için gereken moment, açısal hız, gün boyunca Güneş hareketinin değişme hızına eşittir ve azimut (soldan sağa) adım açıları ve parabolik çanağı hareket ettiren irtifa (yukarı veya aşağı) eşittir. Moment ve açısal hız arasında matematiksel

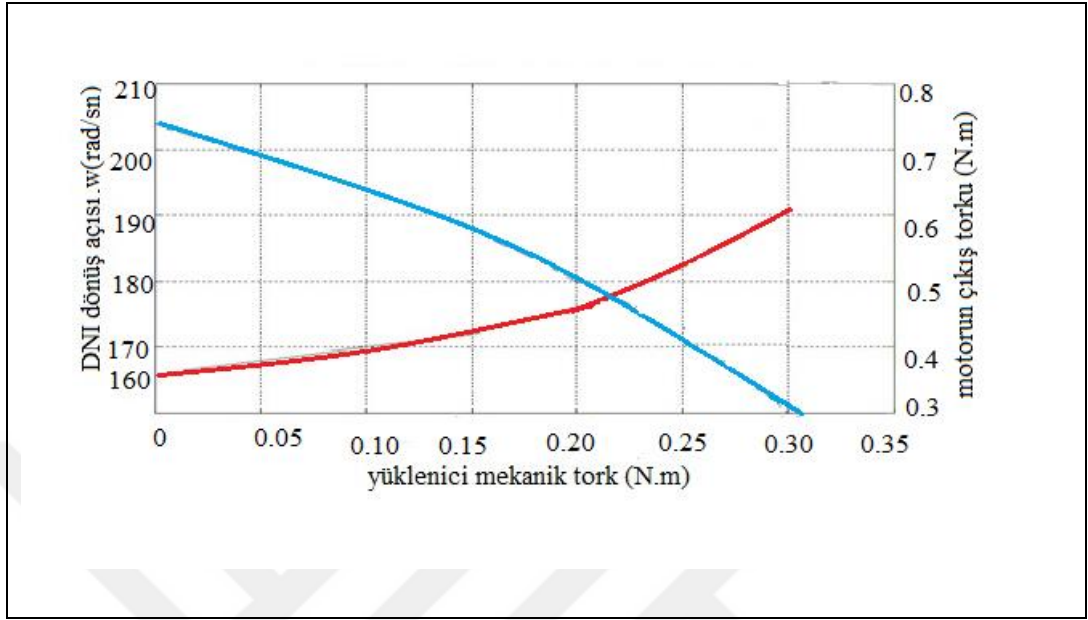
olarak ters bir sahiptir, yani adım motoru için giriş benzetimu momentu düşükken, çıkış dönme hızı yüksek, gerekli çıkış mekanik momentin düşükken, Grafik 4.11’de gösterildiği gibi bunun tersi geçerlidir.

Normalde, çıkış momentunun ve açısal hızın seçilmesi, gün içinde Güneşin değişme hızını göz önüne alarak parabolik çanağın boyutuna ve ağırlığına bağlıdır. Güneş izleyici eksenini, Güneş hareketini takip etmek için en az 0.25°/dak açısal bir dönüş hızı gerçekleştirmelidir. Eşitlik .4.1de gösterildiği gibi, bu açısal hız için, başarılı Güneş izleyici sistemin en küçük dönüş hızı 0.000694 rpm olması gerekir.

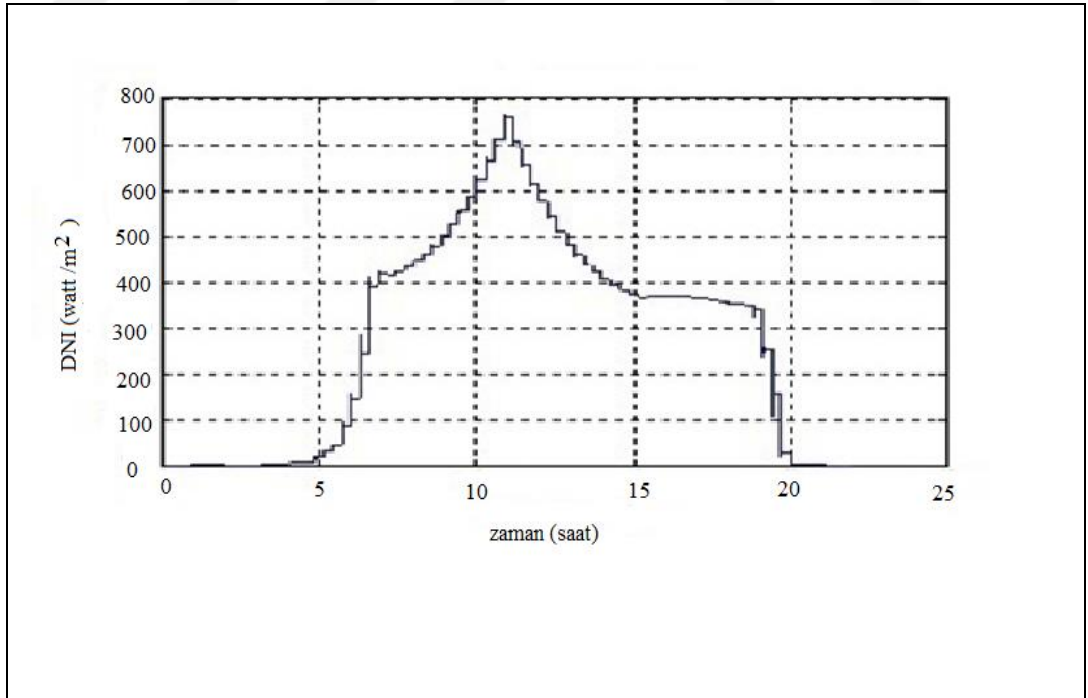
$$\text{sun speed(rpm)} = \frac{\text{sun speed}(\text{deg}/\text{min})}{360^\circ} = \frac{0.25^\circ/\text{min}}{360^\circ} = 0.000694 \quad (4.1)$$

Genel olarak, motor hızı 1750-2000 rpm aralığındadır. Bu da bize elektrik motorunun doğrudan kullanılmasının, mekanizması çalıştırmak için gereken gerekli moment ile bu kadar yavaş hareket hızına ulaşamayacağı anlamına gelir. Bu nedenle, daha yavaş Güneş takip hızına sahip uygun moment sağlarken, motor hızını azaltmak için mutlaka bir dişli kutusuna veya şanzıman cihazına ihtiyaç vardır.

Grafik .4.10 ve Grafik.4.11. doğrudan Güneş çanağının etki eden çıktı işletim DNI’sını temsil eder. Operasyonel Doğrudan normal ışınım (DNI), gerçek Güneş DNI nın (80 ~ 90 %) karşılık gelir.Böylece verimliliği yüksek olur. Sabah saat 05:00 de başlar ve öğlen maksimum değere ulaşır, sonra akşam saat 20:00 de tekrar düşer. Kademeli bir motor hareketi ile ve Güneş yörüngesinin değişmesine bağlı olarak adım adım değişir.



Grafik.4.10. Yüklenci mekanik momentin, dönme hızına ve motor Momentine etkisi



Grafik .4.11. Parabolik çanağa etkileyen DNI izleyici bir günlük davranışı

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, beta tipi değiştirilmiş stirling motorun (SM) parametrelerinin araştırılması ve bu sürekli mıknatıslı alternatörle uyumlu çalışması sağlanarak Güneş takip sistemi elde edilmiştir. Tasarlanan stirling motoru (SM) ile 1 bar basınçta ve 600 K'de 1.5 kW güç ve uç sıcaklık üretmiştir. Teorik olarak, yüksek sıcaklık ve basınç ayarlanarak 6 kW a kadar güç elde edilmiştir. Bütün değerlendirmeler teorik, deneysel ve benzetim çalışmalarına dayanmaktadır. Bir sistemin mühendislikte uygulanabilmesi için genellikle laboratuvarında test ortamından geçirilip ve matematiksel benzetim karşılaştırmalarının ayrıntılı yapılması gerekmektedir. İlk olarak, benzetim çalışmalarında lisanslı MATLAB-2012a bilgisayar programı kullanılmıştır. Sonuçlarımız hız, basınç, sıcaklık ve güç, rotorun dönüş hızı, adım motorları ve bunlar arasındaki temel bağıntılar ve ilişkiler Bölüm 3 ve Bölüm 4'de ayrıntılı olarak yorumlanmıştır. Ayrıca, bu alanda çalışan çeşitli bilim adamlarının literatür taraması detaylı olarak Bölüm 1 de detaylı olarak verilmiştir. Literatüre paralel olarak, hem elektro-mekanik, hem de termo-mekanik açısından tezimde yeni iş-akış modelleri tasarlanmıştır. Literatüre paralel olarak kapalı hacim içerisindeki çalışma gazı olan helyumun hava çıkışından en az 5 kat daha iyi elektrik gücü sağladığı deneysel ve benzetim çalışmalarıyla belirlenmiştir. Her ne kadar helyum dolu haznede motor devri ciddi bir şekilde artmasına rağmen, hızdaki değişim, kontrollü basınçla azaltılmıştır. 0.25 gibi alçak basınç rejimi için, helyum kullanarak en az 470 (rpm) motor devri ve 70 W elektrik gücü gözlemlenmiştir. Tez çalışma kapsamı içinde, Stirling motorun tüm fiziksel boyutları, kullanılan çalışma gazın özellikleri (helyum, hava) ve Güneş izleme sistemine bağlı doğrudan normal ışınım, DNI (Watt/m^2) olarak, üretilen elektrikselsel çıkış güç değeri (watt) ve üretilen mekanik moment (N.m) değerleri, Grafik 4.10 ve Grafik 4.11 de değerlendirilmiştir. SM, hava ve helyum olmak üzere iki gaz tipi için deneysel olarak çalıştırılmıştır. 400K uç sıcaklık dikkate alındığında, bu ön çalışmalar için iyi bir güç değeridir. Ayrıca, tüm testlerde 20 Ω olarak optimum elektrik yükünün kullanılarak ve dalga formu ideal bir AC elektrik çıkışı ele edilmiştir.

Elektrik sinyalinin harmonik bozulma olmadan üretebilmek jeneratörler için önemlidir. Hava açısından, motorun bakımı kolay olsada, güç ölçeği helyuma kıyasla oldukça düşüktür. Ayrıca, makinede bir hareket başlatabilmek için yaklaşık 600 K uç sıcaklık gerekmektedir. Açık döngü Güneş takip sistemi için elektromekanik bir sistem tasarlanmıştır. Libya'daki Al-Kufra şehrinin DNI değerleri için azimut ve irtifa verileri kullanılarak benzetimler yüksek verimde gerçekleştirilmiştir. Sistemin tümü, MATLAB-2012a bilgisayar benzetim ortamında çalıştırılmıştır. Önerilen sistem Güneşi belirli bir hassasiyet derecesinde izleyerek, günün sonunda başlangıç konumuna geri dönmesini sağlamıştır. Tasarlanan açık döngü Güneş takip mekanizması için yeni bir iş-akış algoritması, çıkış gücü için geliştirilmiştir. Güneş yoğunlaştırıcı Güneş çanak sistemi; ufuk düzlemine paralel olarak azimut açısında ve aynı zamanda ufuk düzlemine dikey yükseklik açısında iki adımlı (1. ve 2. motoru döndürülerek) Güneş enerjisinden yararlanacak, Şekil 4.1 çift eksenli hareketli Güneş takip sisteminin benzetim iş-akış şeması geliştirilmiştir. Moment ve açısal hız arasında matematiksel olarak ters bir ilişki olduğu denklem 4.1'de verilmiştir. Yani adım motoru (1.ve 2.) için giriş benzetimi momenti düşükken, çıkış dönme hızı yüksek, gerekli çıkış mekanik yüksekken momenti, Grafik 4.11 de gösterildiği gibi bunun tersi geçerlidir.

Genleşme silindirin giriş ısı, ısı kaynağı sıcaklığı ile artırıldığında, dönme hızı ve çıkış gücü yükseldiği Grafik 4.7'de ispatlanmıştır. Ayrıca sırasıyla, T_e , T_h ve T_{eh} genleşme, ısıtıcı hacimlerinin gaz sıcaklıkları ve genleşme ile ısıtıcı arasındaki gaz kütlesi akış sıcaklığı arasındaki ilişki Bölüm 2 de verilmiştir. Bununla birlikte, T_h sıcaklığı, ısıtma kafasının malzemelerinin ısıl genleşmesi ile kesinlikle sınırlandırılmalıdır.

Tez kapsamı içinde geliştirdiğimiz, açık- döngü algoritmanın en önemli özelliği, modelimizin donanım ve yazılım sistemi, mevsimlerin durumlarından bağımsız olarak tasarlanmıştır. Önerilen algoritma, güvenilir, esnek ve düşük maliyetli parabolik çanağın hareketi için motor, hız azaltma dişlileri, yatak ve mekanik moment ve açısal hız dahil sürüş mekanizması ve Güneş takip cihazından (DNI) oluşmuştur.

Ancak, gelecek alışmlarda, çanağın sürüş mekanizması, boyutları ve toplam ağırlığı dikkate alınmalıdır. Güneş enerjisinden en üstün verimi ede etmek için ve yüksek elektrik gücü çıkışını yaklamak için çeşitli benzetim ve matematiksel modeller geliştirilmelidir. Ayrıca (SM) kapalı haznesinde yeni çalışma için farklı gazlar kullanılabilir. Örneğin azot gibi gazlar kulanılarak, motorun elektriksel ve mekanik olarak test edilmesi sağlanabilir.

Ayrıca, hibrit bir sistem ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak ev tipi veya sanayi tipi Güneş panelleri ve Güneşin gün doğumundan- gün batımına kadar özellikle (yz 05.00 ile 20.00) saatlar arası izlenerek verimli çanak ve Güneş yoğunlaştırıcılar ve yeni modeller geliştirilebilir. Özellikle motorlar, önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olan Güneş enerjisini yoğunlaştırıp, ışık ışınlarını odaklayan ve ısı kaynaklarını mekanik enerjiye dönüştürme işlevini verimli yapabilecek şekilde tasarlanabilir.

KAYNAKLAR

- A. Teruyuki and F. Kazuhito et al. (2014). The performance of stirling engine of the free piston type enhanced with sic., *MM science journal*, 537–41.
- Abbas, Mohamed, Bousaad, Boumeddane, Noureddine Said, and Ahmed Chikouche. (2011). Dish stirling technology, 100 Mw solar power plant using hydrogen for algeria., *International Journal of hydrogen energy* 36(7), 4305–14.
- Abuelyamen, A., R. Ben-Mansour, H. Abualhamayel, and Esmail M.A. Mokheimer. (2017) .Parametric Study on Beta-Type Stirling Engine., *Energy Conversion and Management* 145, 53–63.
- Akizu, Ortzi et al. (2018). contributions of bottom-up energy transitions in germany: a case study analysis., *Energies* 11(4).
- Aksoy, F. et al. (2016). A Thermodynamic approach to compare the performance of rhombic-drive and crank-drive mechanisms for a beta-type stirling engine., *Applied Thermal Engineering* 93, 359–67.
- Aksoy, Fatih et al. (2015). thermal performance of a stirling engine powered by a solar simulator., *applied thermal engineering* 86,161–67.
- Aksoy, Fatih, and Can Cinar (2013).thermodynamic analysis of a beta-type stirling engine with rhombic drive mechanism., *Energy conversion and management* 75, 319–24.
- Aksoy, Fatih, Hamit Solmaz, Can Çinar, and Halit Karabulut (2017). 1.2 kw beta type stirling engine with rhombic drive mechanism., *international journal of energy research* 41(9),1310–21.
- Badescu, Viorel (1998). different strategies for maximum solar radiation collection on mars surfACe. ,*Acta Astronautica* 43(7–8),409–21.
- Bari, Saiful.(2000) optimum slope angle and orientation of solar collectors for different periods of possible utilization. ,*energy conversion and management* 41(8), 855–60.
- Barreto, Germilly, and Paulo Canhoto(2017).modelling of a stirling engine with parabolic dish for thermal to electric conversion of solar energy., *energy conversion and management* 132, 119–35.
- Bouzelata, Yahia, Erol Kurt, Necmi Altin, and RACHid Chenni (2015). design and simulation of a solar supplied multifunctional ACtive power filter and a comparative study on the current-detection algorithms., *renewable and sustainable energy reviews* 43,14–26.
- Bouzelata, Yahia, Erol Kurt, RACHid Chenni, and Necmi Altin (2015). design and simulation of a unified power quality conditioner fed by solar energy., *international journal of hydrogen energy* 40(44), 15267–77.

- Bumby, J.R., and R. Martin (2005). axial-flux permanent-magnet air-cored generator for small-scale wind turbines. *JEE - Electric Power Applications* 152(5),1065.
- Chalmers, B.J., and E. Spooner (1999). an axial-flux permanent-magnet generator for a gearless wind energy system., *ieeE transACtions on energy conversion* 14(2), 251–57.
- Cheng, Chin Hsiang, and Ying Ju Yu (2011). dynamic simulation of a beta-type stirling engine with cam-drive mechanism via the combination of the thermodynamic and dynamic models. *Renewable Energy* 36(2), 714–25.
- Chong, Kok-keong, and Chee-woon Wong(2010). general formula for on-axis., *solar collectors and panels, theory and applications*,264–92.
- Çinar, Can, and Halit Karabulut(2005). manufACturing and testing of a gamma type stirling engine., *renewable energy* 30(1), 57–66.
- Gheith, Ramla, Fethi Aloui, and Sassi Ben Nasrallah (2011). study of beta type stirling engine - validity of the perfect gas assumption.
- H. Gor, E. Kurt (2013). in *comparison of cogging torques in two different axial flux permanent magnet generators.*, ewres, the european workshop & conference on renewable energy systems.
- Hosseinzade, Hadi, Hoseyn Sayyaadi, and Mojtaba Babaelahi (2015). a new closed-form analytical thermal model for simulating stirling engines based on polytropic-finite speed thermodynamics.” *energy conversion and management* 90, 395–408.
- Howard, Dustin, and Ronald G. Harley(2010). modeling of dish-stirling solar thermal power generation., *ieeE pes general meeting, pes 2010*.
- Jahromi, Mehdi Zareian et al. (2012). simulation of a stirling engine solar power generation system using simulink., *international review on modelling and simulations* 5(1), 256–62.
- JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) (2019). European Commission., http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html ,
- Kadri, Y., and H. Hadj Abdallah (2016). Performance evaluation of a stand-alone solar dish stirling system for power generation suitable for off-grid rural electrification., *energy conversion and management* 129,140–56.
- Kongtragool, Banchara, and Somchai Wongwises (2003). a review of solar-powered stirling engines and low temperature differential stirling engines.” *renewable and sustainable energy reviews* 7(2), 131–54.
- Kraitong, Kwanchai (2012). design optimisation of production. <http://nrl.northumbria.AC.uk/8100/>.
- Kurt, Erol, Serdal Arslan, and Mehmet Demirtas (2012). cogging torque exploration of radially and angularly directed fluxes in a new pm generator with the multiple stators., *ever'12* .

- Kurt, Erol, and Halil Gör (2015).electromagnetic design of a new axial flux generator., *proceedings of the 2014 6th international conference on electronics, computers and artificial intelligence*, 39–42.
- Kurt, Erol, Halil Gör, and Mehmet Demirtaş (2014). theoretical and experimental analyses of a single phase permanent magnet generator (pmg) with multiple cores having axial and radial directed fluxes., *energy conversion and management* 77, 163–72.
- Kurt, Erol, Halil Gör, and Umut Döner (2016). electromagnetic design of a new axial and radial flux generator with the rotor bACk-irons., *international journal of hydrogen energy* 41(17), 7019–26.
- Li, Y., S. S. Choi, and C. Yang(2014). dish-stirling solar power plants, modeling, analysis, and control of receiver temperature., *ieeE transACtions on sustainable energy* 5(2), 398–407.
- Luo, Zhongyang et al. (2016). multi-objective optimization for gpu3 stirling engine by combining multi-objective algorithms., *renewable energy* 94: 114–25.
- Mamlook, Rustom, Salem Nijmeh, and Salah M. Abdallah (2006). a programmable logic controller to control two axis sun trACking system.,*information technology journal* 5(6),1083–87.
- Mcconaghy, Robert(1986). Design of a stirling engine for model aircraft., *iecec*,490–93.
- Mishra, Diwakar, and Sharad Chaudhary (2014). thermodynamic modeling and performance analysis of stirling engine cycle., *International Journal of Innovative Research in Engineering & Scien* ISSN 3(8),2319–5665.
- Oo, Lwin Lwin, and Nang Kaythi Hlaing (2010). microcontroller-based two-axis solar trACking system., in *2010 second international conference on computer research and development*, ieeE, 436–40.
- Ponniran, Asmarashid, Ammar Hashim, and Ariffuddin Joret. 2011. “a design of low power single axis solar trACking system regardless of motor speed.” *international journal of integrated engineering* 3(3): 5–9.
- Raasakka, Benny O(1996). solar skylight Apparatus.
- Sarker, M. R.I., Md Riaz Pervez, and R. A. Beg (2010). design, fabrication and experimental study of a novel two-axis sun trACker.” *international journal of mechanical and mechanics engineering* 10(1), 13–18.
- Solmaz, Hamit, and Halit Karabulut (2014). performance comparison of a novel configuration of beta-type stirling engines with rhombic drive engine., *energy conversion and management* 78: 627–33.
- Stirling Engine (2003) .Sun or moon altitude/azimuth table (2016) [.https://aa.usno.navy.mil/data/docs/altaz.php](https://aa.usno.navy.mil/data/docs/altaz.php) dynamic and thermodynamic analysis of gamma type free- piston stirling engine.

Thombare, D. G., and S. K. Verma (2008). technological development in the stirling cycle engines., *renewable and sustainable energy reviews* 12(1), 1–38.

Url1, <http://www.explainthatstuff.com/how-Stirling-engines-work.html>.

Url2, https://www.saylor.org/site/wpcontent/uploads/2011/04/Thermodynamic_cycle

Url3, http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#HR. ; <http://aa.usno.navy.mil/data/docs/AltAz.php>

Wikipedia, (2014). Thermodynamic Cycle. (2), 2–7.

Wu, Zhanghua et al. (2014). development of a 3 kw double-Acting thermoAcoustic stirling electric generator., *Applied Energy* 136, 866–72.

Yakup, Mohd Azmi bin Hj Mohd, and A.Q Malik (2001). optimum tilt angle and orientation for solar collector in brunei darussalam., *renewable Energy* 24(2), 223–34.

Zainudin, Mohd Farid et al. (2015). thermodynamic cycle evaluation of rhombic drive beta-configuration stirling engine. *Energy procedia* 68, 419–28.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı isim : Salem Alarabi A. SHUFAT
Doğum Yeri ve Yılı : 23.01. 1968 Tripoli-Libya
Medeni Hali : Evli
Yabancı dil :Arapça, İngilizce ve Türkçe
E-posta : Salemshffat5@gmail.com



EĞİTİM DURUMU

Lise : Ali Ennajaar Orta Öğretim Okulu ,Trablus / Libya.

Lisans : Bright Star Teknoloji Üniversitesi, Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği,
Elbreaga \ Libya.

Yüksek Lisans: Belgrad Üniversitesi, Elektrik ve Bilgisayar mühendisliği bölümü.

YAYINLAR VE KONFERANS

S. A. A. Shufat, E. Kurt, K. M. El hadad, A. Hancerlioğulları (2018). A numerical model for a Stirling engine., *Journal of Energy Systems*, 2(1), 1-12.

S. A. A. Shufat, E. Kurt, K. M. El hadad, A. Hancerlioğulları (2017). A stirling engine modeling study for solar energy of parabolic dish systems, *Fifth European Conference on Renewable Energy Systems*. Sarajevo, Bosnia and Herzegovina. ISBN: 978-605-86911-5-5.

- S. A. A. Shufat**, E. Kurt, C. Çınar , F. Aksoy, A. Hancerlioğulları(2017). Implementation of a stirling engine and generator combination for direct electricity generation, *Fifth European Conference on Renewable Energy Systems*. Sarajevo, Bosnia and Herzegovina. ISBN: 978-605-86911-5-5.
- S. A. A. Shufat**, E. Kurt, A. Hancerlioğulları (2018). Modeling and design of azimuth-altitude dual axis solar tracker for maximum solar energy generation, *Sixth European Conference on Renewable Energy Systems*. Istanbul, Turkey. ISBN: 978-605-86911-5-5
- S. A. A. Shufat**, E. Kurt, C. Çınar , F. Aksoy, A. Hancerlioğulları, H. Solmaz (2019). Exploration of a stirling engine and generator combination for air and helium media, *Applied Thermal Engineering*, 150, 738–749 , <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.01.053>, ISSN: 1359-4311
- S. A. A. Shufat**, E. Kurt, A. Hancerlioğulları (2019). Modeling and design of azimuth-altitude dual axis solar tracker for maximum solar energy generation, *Int. Journal of Renewable Energy Development (IJRED)*, 8(1), 7-13. <https://doi.org/10.14710/ijred.8.1.7-13>
- A. Hancerlioğulları, A. Kurnaz, Y. G. Ali MADEE, L. A. Abdalsmd, **S. A. A. Shufat**, K. M. El hadad, H. Almezogi, M. M. A. Mansur (2017). Estimates of the Fast and Thermal Flux in Blanket of Critical Reactors by Using Multi Group Methods, *Open Journal of Applied Sciences*, 7, 68-81 <http://www.scirp.org/journal/ojapps>, ISSN Online: 2165-3925, ISSN Print, 2165-3917.