

**İÇTEN YANMALI ÖZGÜN BİR DÖNGÜSEL MOTOR
TASARIMI**

ÖMER OĞUZ TEMEL

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MERSİN
EKİM – 2013**

**İÇTEN YANMALI ÖZGÜN BİR DÖNGÜSEL MOTOR
TASARIMI**

ÖMER OĞUZ TEMEL

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Hüseyin MUTLU**

**MERSİN
EKİM – 2013**

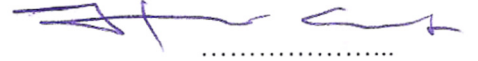
Ömer Oğuz TEMEL tarafından Yrd. Doç. Dr. Hüseyin MUTLU danışmanlığında hazırlanan “İçten Yanmalı Özgün Bir Döngüsel Motor Tasarımı” başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

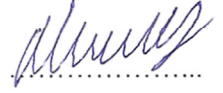
Doç. Dr. Ali KESKİN



Doç. Dr. Hüseyin CANBOLAT



Yrd. Doç. Dr. Hüseyin MUTLU



Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 15/11/2013 tarih ve 2013.22/699 sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Doç. Dr. Mehmet KÜÇÜKASLAN
Enstitü Müdürü



Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

İÇTEN YANMALI ÖZGÜN BİR DÖNGÜSEL MOTOR TASARIMI

Ömer Oğuz TEMEL

ÖZ

İçten yanmalı motorlar klasik tip olarak gidip gelen kütleyle sahip pistonlu ya da döner pistonlu şekilde imal edilirler. Pistonlu motorlarda karmaşık tasarımı, yüksek basınç ve kuvvete maruz kalan çok sayıda parçadan oluşması, silindir içerisinde oluşan basıncı krank miline aktaran mekanizmada ölü konumların oluşması, moment kolunun sabit olmayışı, sürtünme kayıplarının artmasına neden olan yüksek cidar kuvvetlerinin oluşması, pistonun hareket yönünün değişmesi ve yüksek atalet kuvvetleri nedeni ile devrin sınırlanması, sıkıştırma, yanma, genleşme ve egzoz süreçlerinin aynı hacimde gerçekleşmesi gibi nedenlerden dolayı yüksek güç ve düşük yakıt tüketimine sahip motor karakteristiklerine ulaşamamaktadır. Döner pistonlu motorlardan Wankel motoru ise yüksek tork, yüksek devir ve güç gibi avantajları olmasına rağmen sızdırmazlık sorunları ve kısa ömür nedeniyle yaygın kullanım alanı bulamamıştır. Bu tez çalışması kapsamında sözü edilen sorunları gidermeye yönelik emme ve sıkıştırma ile genleşme ve egzoz süreçlerinin farklı hacimlerde gerçekleştiği, sadece basit dönme hareketi yapan, sabit moment koluna sahip, dengeli ve titreşimsiz, düşük atalet kuvvetlerine sahip yeni bir döngüsel motor yapısı ortaya konmuştur. Özgün motor pistonlu motor ve wankel motorunun avantajlı yönlerini üzerinde toplayan bir yapıya sahiptir. Çalışma kapsamında motor parçaları bilgisayar ortamında modellenmiş ve çalışma şekli açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İçten Yanmalı Motor, Döngüsel Motor, Eksen Kaçıklığı, Motor Tasarımı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hüseyin MUTLU, Mersin Üniversitesi, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

DESIGN OF A NOVEL ROTARY INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Ömer Oğuz TEMEL

ABSTRACT

There are two types of internal combustion engines typically which are reciprocating engines and rotary engines. Reciprocating piston engines with a mass, a design of complex, high pressure, high strength and consists of parts of a large number of exposed to temperatures, the pressure inside the cylinder to the crankshaft of the transfer mechanism of the formation of dead locations, the lack of a fixed moment arm, causing increased friction forces of a high wall formation, changes in direction of movement of the piston because of the high turnover and high inertia forces, limiting the movement of the parts due to the complex because of the vibrations of making full unrestrainable balancing, compression, combustion, expansion and exhaust processes have the same volume and a lack of combustion in the combustion time, volumetric and thermal As a negative effect on efficiency reasons, the desired characteristics of high-power engine with low fuel consumption achieved. The Wankel rotary piston engine type is in the high-torque, high speed and power, the use of fewer parts, such as the advantages of low fuel consumption and low weight, although not widely used because of sealing problems, and low life. In this study to eliminate the aforementioned problems, the suction and compression of air fuel mixture, expansion and exhaust processes takes place in different spaces, according to exist is longer than the duration of combustion, therefore, better thermal efficiency and combustion with a volumetric may have better low weight, little piece, just a simple rotational movement can be done, with a fixed torque arm, high torque, high speed and high power, low fuel consumption, vibration-free operation, low inertia with the forces and to minimize leakage problems, a new rotary-piston engine with high performance values, such as structure have been revealed. This structure is advantageous aspects of both types of engine that gathers in the nature of unique and inventive.

Key Words: internal combustion engine, rotary engine, eccentricity, engine design

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Hüseyin MUTLU, Department of Mechanical Engineering, University of Mersin

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezi Yrd. Doç. Dr. Hüseyin MUTLU yürütücülüğünde başvurusu yapılan “İçten Yanmalı Özgün Bir Döngüsel Motorun Tasarım ve İmalatı Projesi” başlıklı San-Tez Projesinin ön çalışmalarını kapsamaktadır. Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenen (BAP-FBE MM(ÖOT) 2011-5 YL) tez çalışmamda değerli bilgi ve görüşlerini paylaşan danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Hüseyin MUTLU’ya, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi hocalarıma ve personeline, çalışmalarımıza maddi manevi destek veren Mad. Müh. Vedat SERPİN’e, Mak. Müh Yılmaz SERPİN’e ve öğrenim hayatım boyunca hiçbir konuda desteklerini esirgemeyen değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
EKLER DİZİNİ	viii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	3
2.1. BUHAR GÜCÜNDEN FAYDALANAN DÖNGÜSEL MOTORLAR	3
2.2. İÇTEN YANMALI DÖNGÜSEL MOTORLAR	6
2.3. WANKEL MOTORU	10
2.3.1. Wankel Motorunun Yapısı	10
2.3.2. Wankel Motorunun Çalışma Zamanları	13
2.3.3. Wankel Motorunun Avantajları	14
2.3.4. Wankel Motorunun Dezavantajları	14
3. MATERYAL ve YÖNTEM	16
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	18
4.1. ÖZGÜN DÖNGÜSEL MOTORUN GENEL YAPISI	18
4.2. ÖZGÜN DÖNGÜSEL MOTORUN ÇALIŞMASI	27
4.3. ÖZGÜN DÖNGÜSEL MOTORUN TERMODİNAMİK HESAPLARI	31
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	38
KAYNAKLAR	41
EKLER	43
EK-1 Yanmamış İzooktan-hava Karışımları İçin Sıcaklığın Fonksiyonları Cinsinden İzentropik Sıkıştırma Fonksiyonları	43
EK-2 Yanmamış Karışım Bileşenleri	44

EK-3 Yanmamış İzooktan-hava Karışımlarının Sıcaklık Fonksiyonu Cinsinden Duyulur Entalpi ve İç Enerjisi	45
EK-4 Yanmış Gaz Karışımı İçin İç Enerjiye Karşılık Entropi Çizelgesi.....	46
ÖZGEÇMİŞ	47

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Motor zamanlarının açılış cinsinden değerleri	31
Çizelge 4.2. Motor zamanlarında hacim değerleri	32
Çizelge 4.3. Özgün motorun termodinamik verileri	34

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Hopkins tarafından yapılan buharlı döngüsel motor tasarımı.....	3
Şekil 2.2. Walley tarafından yapılan buharlı döngüsel motor tasarımı.....	4
Şekil 2.3. C. PENCE tarafından yapılan buharlı döngüsel motor tasarımı.....	5
Şekil 2.4. Well tarafından yapılan döngüsel motor tasarımı.....	6
Şekil 2.5. Bernstein tarafından yapılan içten yanmalı döngüsel motor tasarımı.....	7
Şekil 2.6. Bodker tarafından yapılan içten yanmalı döngüsel motor tasarımı.....	8
Şekil 2.7. Turbo döngüsel pars motorunun yapısı.....	9
Şekil 2.8. Wankel motorunun gövde geometrisi.....	10
Şekil 2.9. Wankel motor gövdesi genel görünüşü.....	11
Şekil 2.10. Wankel motoru eksantrik mili.....	11
Şekil 2.11. Wankel motor rotoru.....	12
Şekil 2.12 Wankel motoru rotorunun demonte hali.....	12
Şekil 2.13 Wankel motoru çalışma zamanları.....	13
Şekil 3.1. Örnek alınan pistonlu motorun şematik görünüşü.....	17
Şekil 4.1. Özgün döngüsel motorun şematik görünüşü.....	18
Şekil 4.2. Ara rotorun yapısı.....	19
Şekil 4.3. Ara rotorun geometrisinin ortaya çıkarılması.....	19
Şekil 4.4. Emme-Sıkıştırma ve İş-Egzoz rotorunun yapısı.....	20
Şekil 4.5. Rotor setinin genişletilmiş görüntüsü.....	21
Şekil 4.6. Rotor setinin daraltılmış görüntüsü.....	22
Şekil 4.7. Rotor ve gövde köşelerinin yuvarlatılmış görüntüsü.....	22
Şekil 4.8. Gövdenin kesit görünüşü.....	23
Şekil 4.9. Rotorun mil içinden su geçirilerek soğutulması.....	24
Şekil 4.10. Su ceketinin yapısı.....	25
Şekil 4.11. Ön kapağın yapısı.....	26
Şekil 4.12. Arka kapağın yapısı.....	26
Şekil 4.13. Motorun arka görünümü.....	27
Şekil 4.14. Özgün döngüsel motorun genel yapısı.....	27
Şekil 4.15. Emme başlangıcı hacmi.....	28
Şekil 4.16. Emme sonu hacmi.....	28
Şekil 4.17. Sıkıştırma sonu hacmi.....	29
Şekil 4.18. Sıkıştırma sonrası hacim artışı.....	29
Şekil 4.19. Ateşleme anı.....	30
Şekil 4.20. En küçük hacim ve yanma odası yapısı.....	30
Şekil 4.21. Genleşme sonu hacmi.....	31
Şekil 4.22. Özgün motorun basınç-açı grafiği.....	35
Şekil 4.23. Özgün motorun basınç-hacim grafiği.....	36
Şekil 4.24. Kuvvetin etkidiği dik alan ve sabit moment kolu uzunluğu.....	37
Şekil 4.25. Pistonlu motor ve özgün motorun tork-açı grafiği.....	37
Şekil 5.1. Özgün motor yapısının ön prototipi.....	40

EKLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Ek-1. Yanmamış İzooktan-hava Karışımları İçin Sıcaklığın Fonksiyonları Cinsinden İzentropik Sıkıştırma Fonksiyonları	43
Ek-2. Yanmamış Karışım Bileşenleri	44
Ek-3. Yanmamış İzooktan-hava Karışımlarının Sıcaklık Fonksiyonu Cinsinden Duyulur Entalpi ve İç Enerjisi	45
Ek-4. Yanmış Gaz Karışımı İçin İç Enerjiye Karşılık Entropi Çizelgesi, İzooktan, Yakıt Fazlalık Katsayısı 1.0	46

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

v	Özgül hacim
Ψ	İzentropik sıkıştırma fonksiyonu (Eşitlik 4.1)
Φ	İzentropik sıkıştırma fonksiyonu (Eşitlik 4.3)
u	İç enerji
$\Delta u_{f,u}^{\circ}$	Oluşumun iç enerjisi
χ_b	Yanmış kütle oranı
$\eta_{f,i}$	Yakıt dönüşüm verimi
Q_{LHV}	Alt ısı değer
m_f	Verilen yakıt kütlesi
γ	Özgül ısıların oranı
n	Mol sayısı
P	Basınç
r_c	Sıkıştırma oranı
s	Entropi
T	Sıcaklık
V	Hacim
W	İş aktarımı
Θ	Rotor açısı

1. GİRİŞ

Bir enerji türünü mekanik enerjiye çevirerek faydalanmamızı sağlayan makinelere genel olarak motor denmektedir. Mekanik enerjiye çevrilen enerji türü Isı (termik), elektrik, hidrolik ve nükleer olabilmektedir.

Günümüzde ülkelerin ve bilim insanlarının öncelikli konularından birisi enerjiyi en ucuza mal etme, enerjinin daha verimli kullanımınıdır. Bunun yanında alternatif yakıt kaynakları olarak güneş pilleri, hidrojen enerjisi, rüzgâr enerjisi gibi doğal, çevreyi kirletmeyen ve ucuz kaynaklar araştırılıyor olsa da fosil yakıt kullanan sistemler üzerinde iyileştirme çalışmaları yapılarak, en az maliyetle maksimum fayda sağlamak, çevre dostu sistemler elde etme çabası sürmektedir.

İlk motor çalışmaları barut ve ateşli silahların bulunması zamanına kadar gitmektedir. Namluyu bir silindir ve içindeki mermiyi bir piston olarak düşünerek namludan çıkan merminin yerçekimi ve atmosfer basıncıyla geri dönerken iş yapabileceği fikri ortaya çıkmıştır. 1673 yılında Christiaan HUYGENS düşey konumlu ağır dökümlü bir piston kullanarak barutla çalışan bir motor yapmıştır [1-2].

Güç elde etmek için yapılan çalışmalarda buhar da kullanılmış olup Thomas Savery, Thomas Newcomen, James Watt tarafından çalışmalar yapıp, geliştirilmiş ve verimi arttırılmıştır.

Buhar makinesinin gelişimi ve dıştan yanmalı motorların kullanımı, Jean Joseph Étienne Lenoir tarafından yapılan ilk içten yanmalı, iki zamanlı motora kadar sürmüştür. Lenoir'in motoru yaklaşık 2.2kW güç üretmekle beraber buhar makinasına göre kolay kurulum ve kullanım sağlamasından dolayı kısa sürede aranan bir makine olmuştur [3].

Beklentileri karşılamak amacıyla süren çalışmalara ilk defa Nicolaus August Otto tarafından pistonun krank miline doğrudan bağlanması sonucu darbelerin azaltılabilmesi ve hava yakıt karışımının tabakalar halinde silindir içerisine alınması ve ateşlemeden önce sıkıştırılması esasına dayanan ilk otto motoruyla devam edildi. İlk dört strok çevrimli motor 1876 yılında yapılmış olup dakikada 180 devir yaparak 2.2 kW güç vermekteydi [3].

1892 yılında Rudolf DIESEL tarafından “İçten Yanmalı Kuvvet Makinelerinin Çalışma Şekli ve İmalatı” konulu patent alınarak ilk diesel çevrimiyle çalışan sabit basınçta yanmalı motor imal edildi [2].

Günümüzde yaygın olarak kullanılan Otto ve Diesel çevrimine göre çalışan pistonlu motorların geliştirme çalışmaları devam etse de krank-biyel mekanizmasının doğasından kaynaklanan ve giderilemeyen sorunlar nedeniyle alternatif motor teknolojisi arayışları sürmektedir.

Pistonlu motorlara alternatif olarak geliştirilen ve en yaygın kullanım alanına sahip motor 1954 yılında Felix WANKEL tarafından geliştirilen ve 1957 yılında Neckarsulm de NSU firması tarafından imal edilmiş “Wankel Moturu”dur. Bu motor endüstriyel alanda en fazla kullanılan tasarımdır. Wankel motoru günümüze kadar özellikle Mazda firması tarafından geliştirilmiş ve halen RX-8 modellerinde kullanılmaktadır [3-4].

Bu tez çalışması kapsamında pistonlu motorların ve wankel motorunun faydalı yanlarını üzerinde toplayan, özgün bir döngüsel motor yapısı ortaya konmaktadır. Bu yeni motor yapısına ait daha önce herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışma kapsamında ilk defa bir düşünceden somut hale getirilen özgün motor yapısı 2011 yılı 1. Dönem San-Tez projesi olarak sunulmuştur.

Genel yapı olarak emme-sıkıştırma ve iş-egzoz zamanlarının farklı hacimlerde gerçekleştiği, krank biyel mekanizmasının aksine basit dönme hareketi yapan, sabit moment koluna sahip, düşük atalet kuvvetleri olan, parça sayısı az bir motor tasarlanmıştır. Motoru oluşturan bileşenler bilgisayar ortamında modellenerek çalışma şekli açıklanmıştır.

Özgün motor yapısı öncelikle taşıtlar olmak üzere tahrik gerektiren makinalarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Basit dönme hareketi ve düşük atalet kuvvetleri özellikleriyle yüksek devir gerektiren yerlerde kullanımı daha uygun olacağı öngörülmektedir.

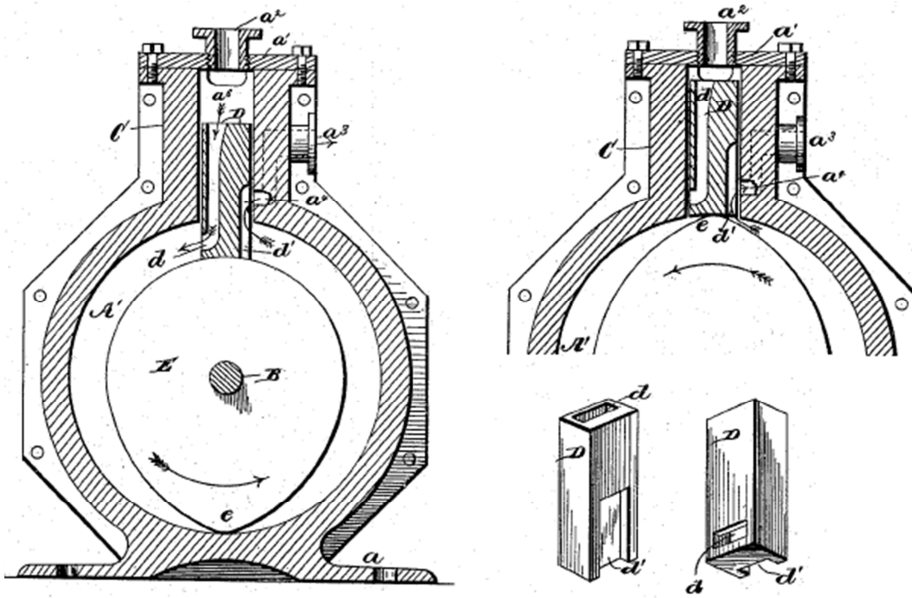
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

Günümüzde içten yanmalı pistonlu motorların yaygın kullanımına karşın farklı motor şekillerinin ve özellikle de döngüsel motorların geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

Geçmişten günümüze yapılan çalışmalara bakıldığında çok sayıda döngüsel motor geliştirildiğini görmek mümkündür. Bunlar öncelikle buhar gücünden faydalanmak üzere yapılan tasarımlarken içten yanmalı motorların bulunmasından sonra da çalışmalar devam etmiş farklı motor tipleri yapılmıştır.

2.1 BUHAR GÜCÜNDEN FAYDALANAN DÖNGÜSEL MOTORLAR

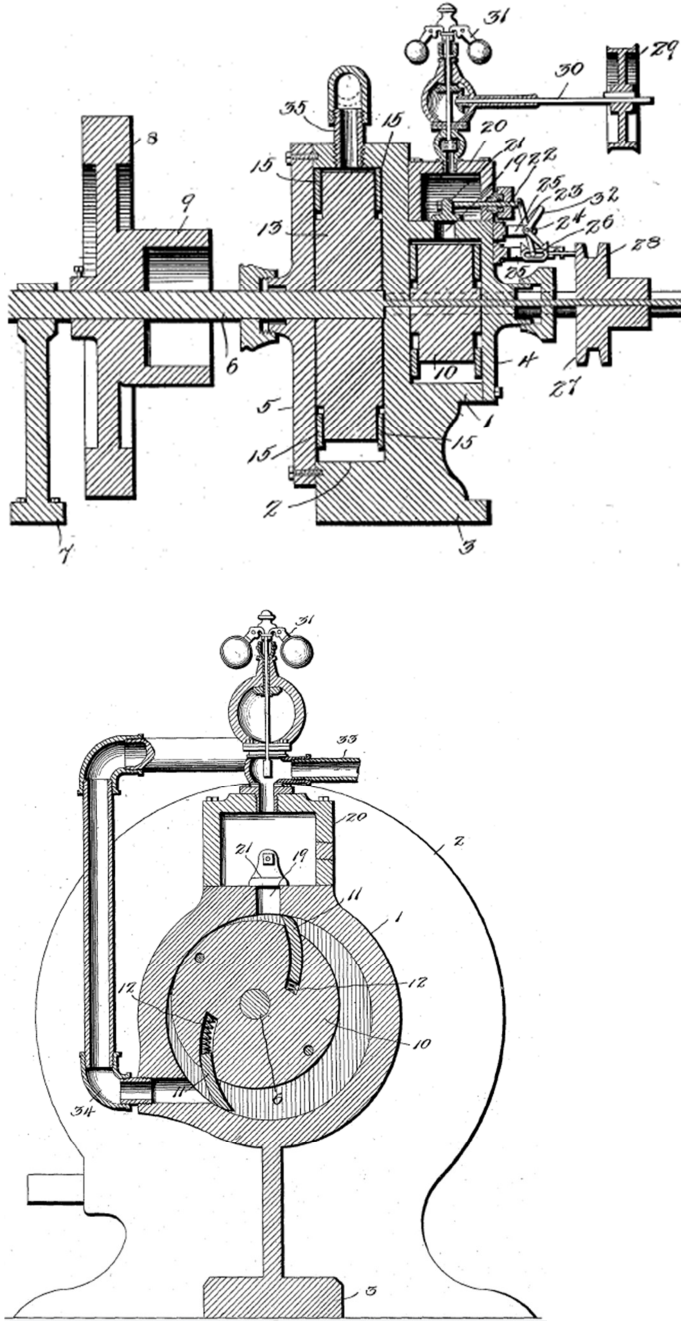
Buhardan güç üreten çok sayıda döngüsel motor yapılmış olmasına rağmen bu bölümde birkaç tane patent örneği sunulacaktır.



Şekil 2.1. Hopkins tarafından yapılan buharlı döngüsel motor tasarımı [5]

Şekil 2.1’de Hopkins tarafından yapılan buharlı döngüsel motor tasarımında “C” ile gösterilen gövde içinde “E” ile gösterilen rotor, içerideki hacmi iki bölgeye ayırmakta ve saatin tersi yönünde dönmektedir. “D” parçası rotor ile kam ilişkisi içerisinde hareket ederek buharın giriş ve çıkışına izin vermektedir. Rotorun “e” ucu en alt konumdayken “a²”den gelen buhar “a⁶” kanalından geçerek “d” bölmesine

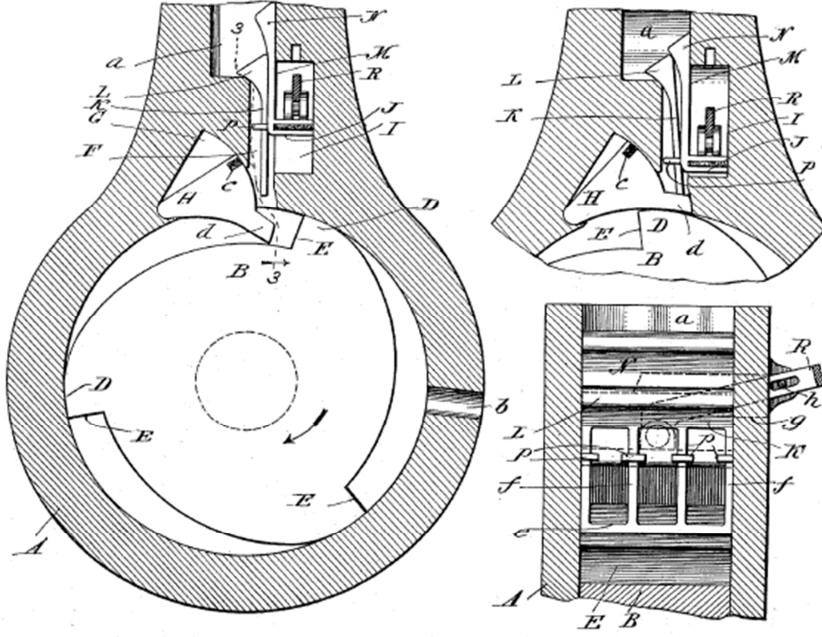
dolmakta ve rotorun hareketiyle beraber “d” bölgesine sürüklenerek “a⁴” kanalına gitmekte ve “a³”ten çıkmaktadır [5].



Şekil 2.2. Walley tarafından yapılan buharlı döngüsel motor tasarımı [6]

Şekil 2.2’de Walley tarafından yapılan buharlı döngüsel motor tasarımı “1” ve “2” numaralı alçak ve yüksek basınç silindirlere içerisine eksantrik olarak yerleştirilmiş “10” ve “13” numaralı rotorların hareketiyle çalışmaktadır. Rotorlar birbirlerinin ölü noktalarında güç üretecek şekilde düzenlenmiştir. Rotorlar üzerinde

bulunan “11” ve “15” numaralı paletler altlarında bulunan yaylar sayesinde sürekli olarak gövdeye baskı yapmaktadırlar. ”33” numaralı kanaldan gelen buhar “21” numaralı supabın açılmasıyla “19” numaralı bölümden geçerek yüksek basınç silindirine girmekte ve “11” numaralı paletin ayırdığı hacimde saat yönünde hareket ederek “34” numaralı kanaldan alçak basınç silindirine gönderilmektedir [6].

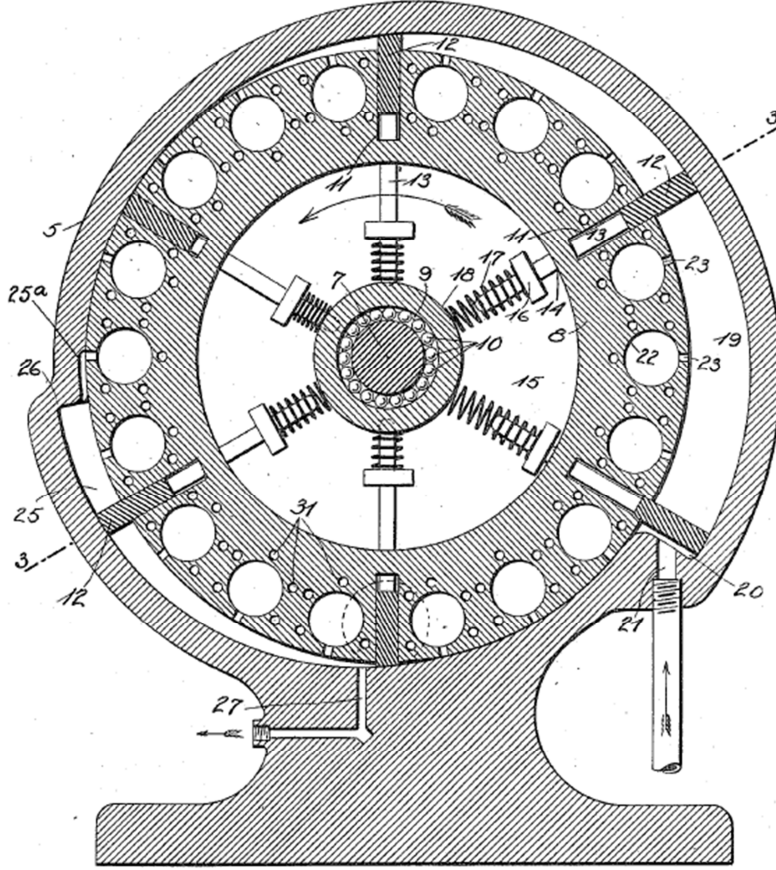


Şekil 2.3. Pence tarafından yapılan buharlı döngüsel motor tasarımı [7]

Pence tarafından yapılan buharlı döngüsel motor tasarımı ise şekil 2.3’de görülmekte olup motorun yapısı temelde gövde içine merkezinden sabitlenmiş olan “B” rotoru ve rotor üzerinde bulunan “D” omuzu ve “E” yüzeyine göre hareket etmekte olan “H” supabından meydana gelmektedir. “a” kanalından gelen buhar rotorun hareketine bağlı olarak “F” ve “I” odasında sıkışmakta ve patlama sonunda yine motorun hareketiyle “b” supabından dışarı atılmaktadır [7].

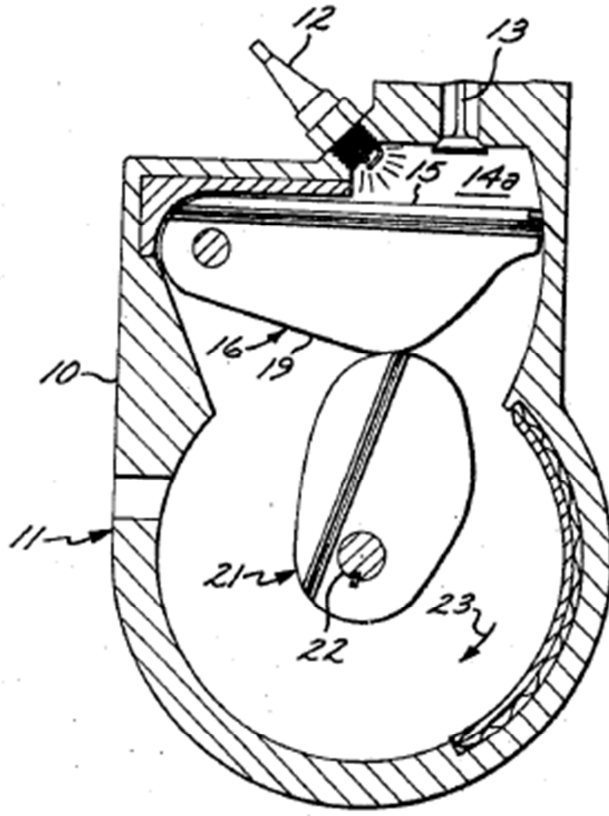
2.2 İÇTEN YANMALI DÖNGÜSEL MOTORLAR

İçten yanmalı motorların gelişimi döngüsel motor çalışmalarını da etkilemiş olup günümüzde de sürmekte olan birçok içten yanmalı döngüsel motor tasarımı yapılmıştır.



Şekil 2.4. Well tarafından yapılan döngüsel motor tasarımı [8]

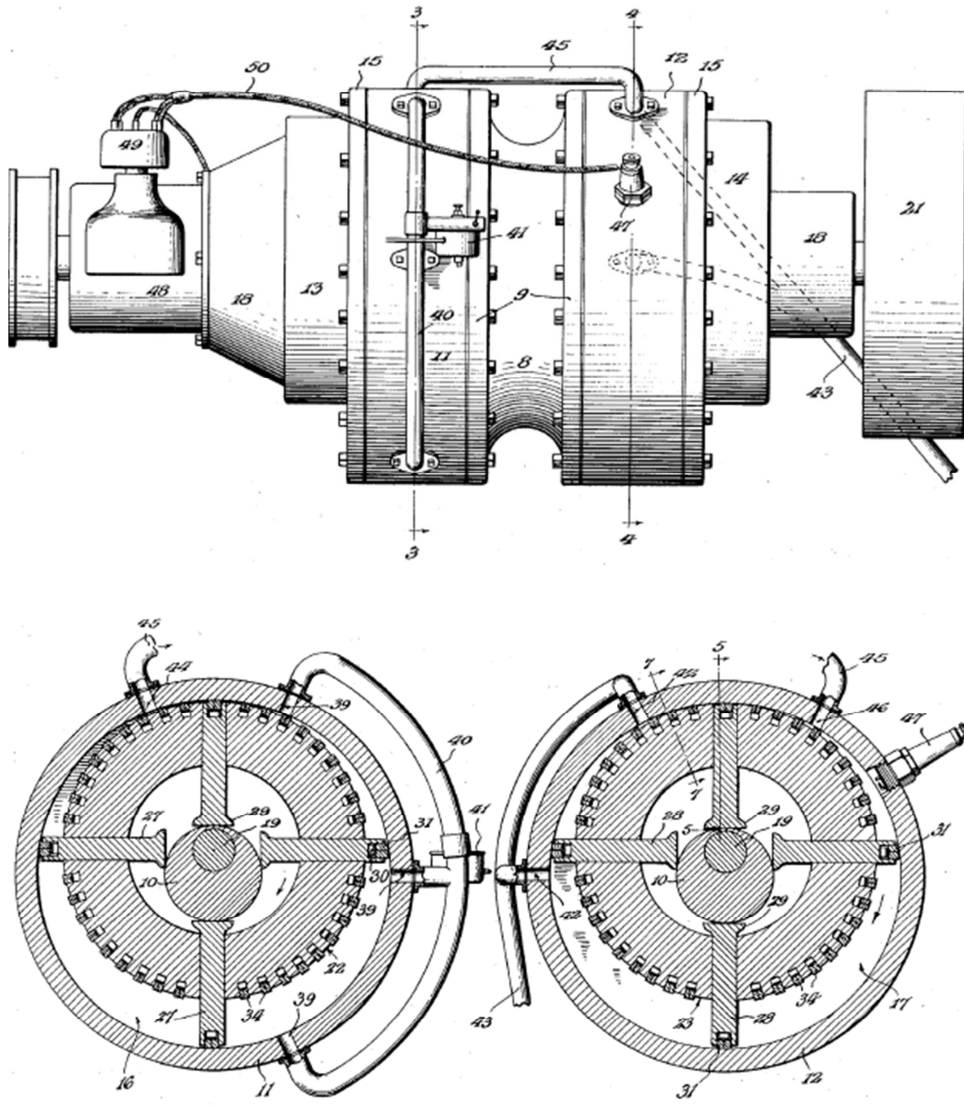
Well tarafından tasarlanan Şekil 2.4'te görülen içten yanmalı döngüsel motor tasarımında "21" numaralı giriş portundan içeri hava yakıt karışımı alınmaktadır. "8" numaralı rotor saatin tersi yönünde dönmektedir ve rotor üzerindeki "17" numaralı yay ve "13" numaralı iticilerle "12" numaralı paletler dışarı doğru itilmektedir. Rotorun hareketiyle beraber hava yakıt karışımı "23" numaralı kanallardan geçerek "22" numaralı haznelere dolmakta ve sıkışmaktadır. "25a" noktasında kapakta bulunan bir bujiyle ateşlenen karışım "25" numaralı bölgeye doğru genişlemekte ve "27" numaralı egzoz portunda sürüklenerek dışarı atılmaktadır [8].



Şekil 2.5. Bernsteins tarafından yapılan içten yanmalı döngüsel motor tasarımı [9]

Bernsteins tarafından tasarlanan Şekil 2.5'te görülen içten yanmalı döngüsel motor tasarımında "13" numaralı emme portundan gelen hava yakıt karışımı "12" numaralı bujiyle ateşlenmekte ve birbiriyle kam ilişkisine sahip "21" numaralı pistonun "16" numaralı piston tarafından saat yönünde itilmesiyle genişleme olmakta ve egzoz portu açılıncaya kadar genişleyen gazlar "11" numaralı kanaldan atılmaktadır [9].

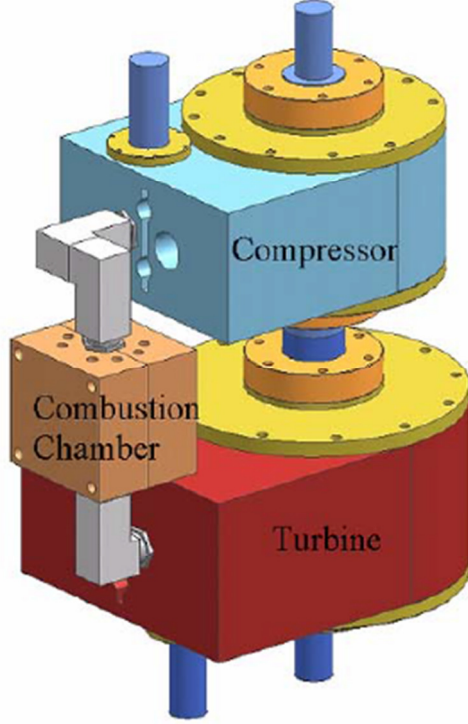
Şekil 2.6'da Bodker tarafından tasarlanan içten yanmalı döngüsel motor tasarımı iki ana bölümden oluşmakta olup sıkıştırma ve genişleme odaları bir kanal vasıtasıyla birbirine bağlanmaktadır.



Şekil 2.6. Bodker tarafından yapılan içten yanmalı döngüsel motor tasarımı [10]

“41” numaralı karbüratörde karıştırılan hava yakıt karışımı “40” numaralı kanal vasıtasıyla üç adet “39” numaralı giriş portlarına gönderilmektedir. Rotorun saat yönünde dönmesiyle, eksantrik yapı ve “27” numaralı paletlerin süpürmesi sonucu hava yakıt karışımı “44” numaralı aktarma portuna gitmektedir. “45” numaralı aktarma kanalıyla 46 numaralı giriş portuna gelen karışım “47” numaralı buji tarafından ateşlenmektedir. Genleşen gazlar iki adet “42” numaralı egzoz portuna doğru itilmekte ve “43” numaralı kanaldan dışarı atılmaktadır [10].

Ülkemizde pistonlu motorlara alternatif olarak yapılan döngüsel motor çalışmalarından ön plana çıkan Prof. Dr. Sinan AKMANDOR tarafından yürütülen ve termodinamik çevrimiyle birlikte patenti alınan Turbo Döngüsel Pars Motoru Projesidir [11].



Şekil 2.7. Turbo döngüsel pars motorunun yapısı [13]

Şekil 2.7’de görülen turbo döngüsel pars motoru kompresör, yanma odası ve türbinden meydana gelen 3 ana bölüme sahiptir. Kompresöre alınan hava, yanma odasına gönderilmeden önce basıncı istenen değere kadar yükseltilmektedir. Yanma odasına gönderilen havaya yakıt karıştırılarak bujiyle ateşlenmekte ve meydana gelen gazlar türbine aktarılmaktadır. Türbinde yakıt enjekte edilerek sabit basınçta yanma sağlanmaktadır.

Ercan, döngüsel motorun termodinamik ve yapısal tasarımı ve analizi konulu çalışmasında yeni motor tasarımının termodinamik ve yapısal analizleri yapılarak güç, tork, yakıt tüketimi değerleri hesaplanmıştır [12].

Aran, yaptığı çalışmada döngüsel motorun aerotermodinamik analizini ve tasarımını yapmış, termodinamik ve yapısal değerleri hesaplamıştır. Ayrıca sürtünme ve kaçak hesapları yapılarak kayıplar gösterilmiştir [13].

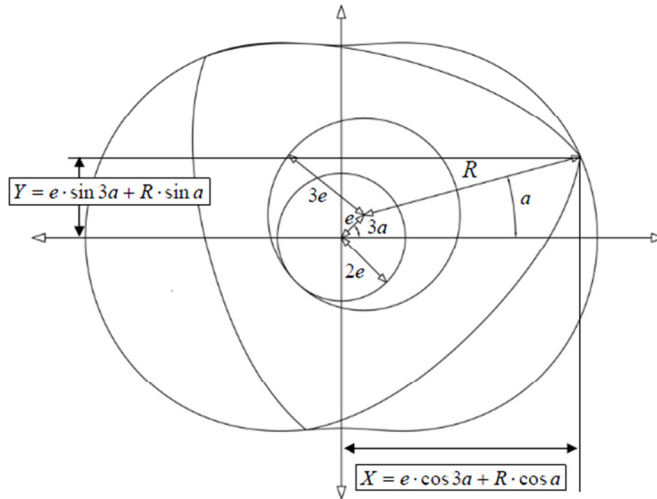
Okur ve arkadaşları tarafından yapılan buji konumunun performansa etkileri konulu çalışmada farklı buji konumları ve farklı ateşleme zamanlarına göre döngüsel motorun performans değerleri incelenmiştir [14].

Arabacı, turbo döngüsel motorun performansının artırılması konulu çalışmasında motor palet kalınlığı, yanma odası boyutu ve şekli üzerine deneysel çalışma yapmış olup motor gücünde %40' varan artışlar elde edilmiştir [15].

2.3 WANKEL MOTORU

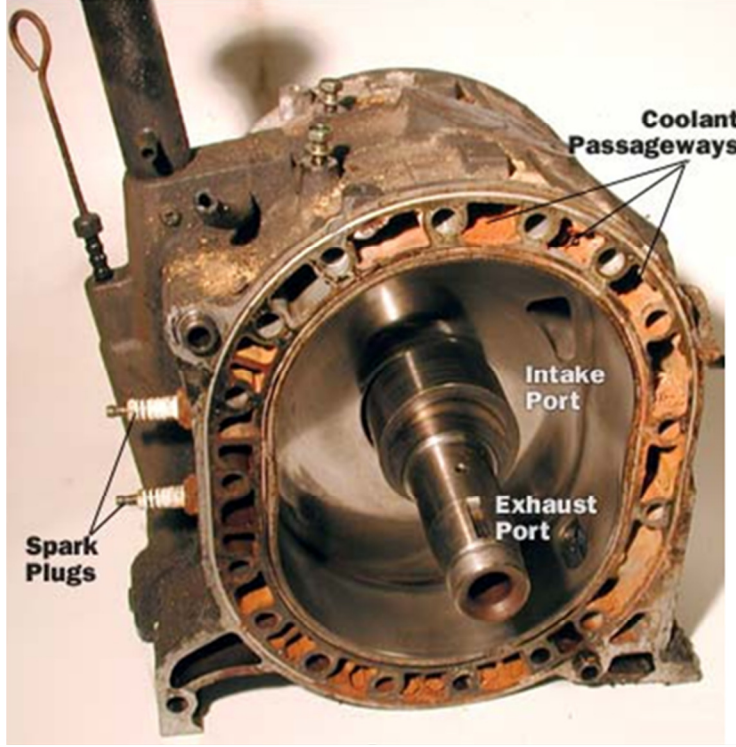
2.3.1 Wankel Motorunun Yapısı

Wankel motoru temelde gövde, gövdeye üç noktadan sürekli temas halinde bulunan bir rotor ve rotorun eksantrik olarak dönmesini sağlayan milden oluşmaktadır. Gövde, oranları 2/3 olan iç içe iki çemberden dıştaki çemberin içteki çember üzerinde kaymadan yuvarlanması sonucu dıştaki çembere bağlı bir doğru parçasının bitim noktasının çizdiği eğridir. Wankel motorunun gövde geometrisi Şekil 2.8'de görülmektedir.



Şekil 2.8. Wankel motorunun gövde geometrisi [16]

Şekil 2.9’da görülen gövde üzerinde kanallar mevcut olup su ceketini oluşturularak motorun soğuması sağlanmaktadır. Bujiler ve egzoz portu da gövde üzerinde bulunmaktadır. Gövde içinde iki rotor bulunduğundan dolayı ortada ayırıcı bir bölme vardır. Emme portu bu bölme üzerinde bulunmaktadır.



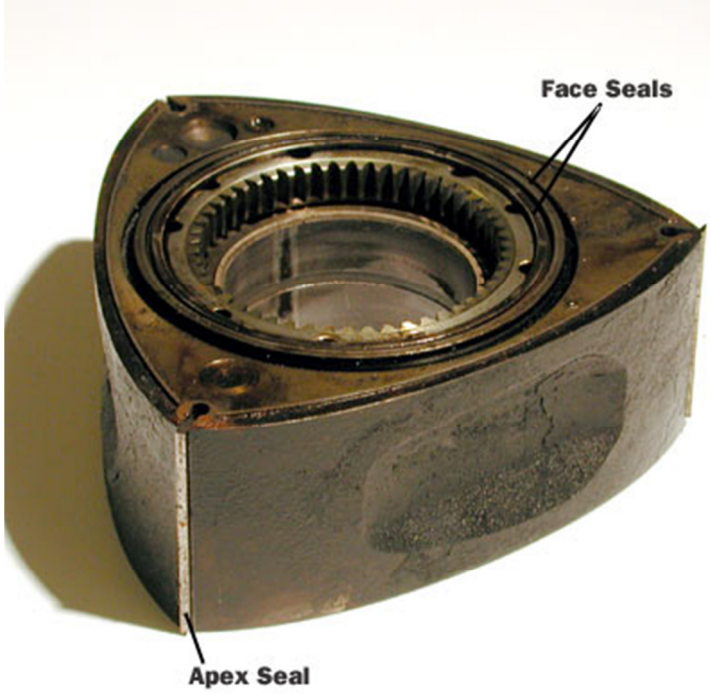
Şekil 2.9. Wankel motor gövdesi genel görünüşü [19]

Rotorun etrafında döndüğü eksantrik mil şekil 2.10’da görülmekte olup üzerinde bulunan deliklerden yağ verilerek rotorun soğuması sağlanmaktadır. Dengelenme sağlanması amacıyla iki rotor yerleştirilmek üzere birbirine ters iki eksantriklik vardır. Rotordan elde edilen güç eksantrik mili vasıtasıyla vites kutusuna aktarılır.



Şekil 2.10. Wankel motoru eksantrik mili [19]

Şekil 2.11’de görülmekte olan rotor ise dönme hareketini eksantrik olarak kendi etrafında ve bağlı olduğu mil etrafında yapar. Çemberlerin yarıçapları oranından dolayı rotorun bir tam turuna karşılık eksantrik mili üç tur dönmektedir.



Şekil 2.11. Wankel motor rotoru [19]

Rotor üzerinde dönme hareketini sağlayan dişliler bulunur. Köşe noktalarında ve yan yüzeyinde gövdeyi bölmelere ayıran ve sızdırmazlık sağlayan elemanlar bulunmaktadır. Rotor üzerinde yanma odasını meydana getiren ve sıkıştırma odasının ayarlanmasında kullanılan oyuklar bulunmaktadır.



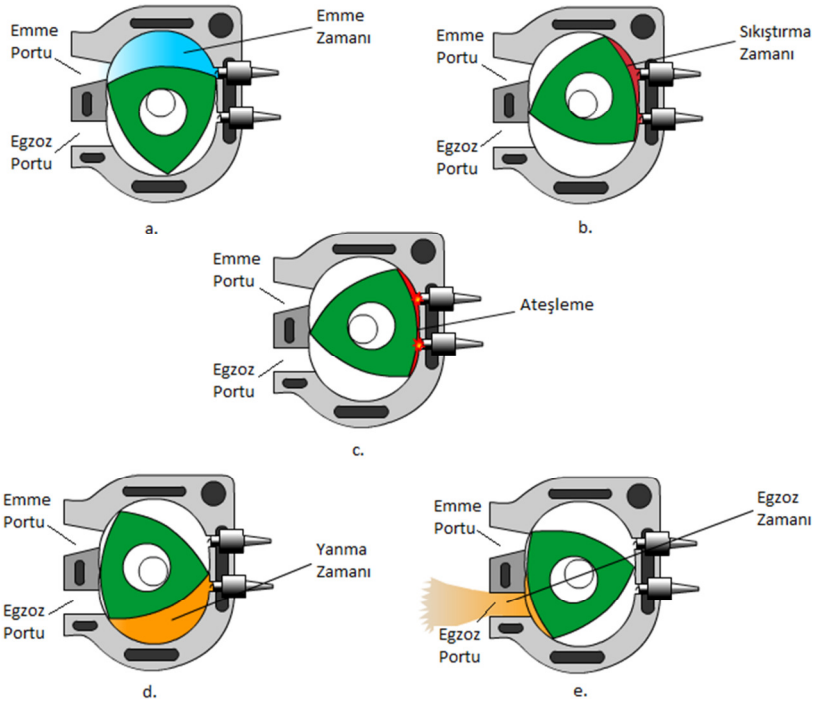
Şekil 2.12 Wankel motoru rotorunun demonte hali [20]

Sızdırmazlık elemanları Şekil 2.12’de görülmekte olup her köşede bir adet ve rotorun yan yüzeylerinde de üç parça halinde toplam altı adet bulunmaktadır. Bunlar altında bulunan yaprak yaylar vasıtasıyla gövdeye ve kapaklara baskı yaparak sızdırmazlık sağlamaktadır.

Wankel motorlarda pistonlu motorlardan farklı olarak krank-biyel mekanizması ve supap mekanizmaları yoktur. Yakıt ve gaz değişimleri rotorun hareketine bağlı olarak giriş-çıkış portlarının açılıp kapanmasıyla gerçekleşir. Bu yönü wankel motorunun yüksek devirlerde çalışmasını sağlar. Yüksek güç gereksinimlerini karşılayabilmesi ve dengeleme kolaylığı da yapının avantajlarıdır.

2.3.2 Wankel Motorunun Çalışma Zamanları

Wankel motorunda pistonlu motorların dört zamanda yaptığı çevrimi, rotorun bir tur dönmesiyle gerçekleşmektedir. Rotorun her yüzünde ayrı bir zaman gerçekleştiğinden dolayı krank-biyel mekanizmasının iki tam turuna karşılık wankel motoru bir turda üç farklı dört zamanlı çevrimi tamamlamış olur.



Şekil 2.13 Wankel motoru çalışma zamanları [19]

Şekil 2.13'te rotorun saat yönünde hareketi sonucunda emme portundan hava yakıt karışımı alınmaktadır. Rotorun hareketine bağlı olarak rotor uçları, rotor ve gövde arasında kalan hacim genişlemekte ve diğer ucu emme portunu kapatıncaya kadar sürmektedir. Emme portunun kapanmasının ardından rotorun hareketiyle küçülen hacimde hava yakıt karışımı sıkıştırılmakta ve ateşlemeye hazırlanmaktadır. Sıkıştırılan hava bujiyle ateşlendikten sonra egzoz portu açılıncaya kadar genişleyen hacimde yanmakta ve iş zamanı gerçekleşmektedir. Egzoz portunun açılmasından sonra atık gazlar süpürülerek çevrim tamamlanmaktadır. Wankel motoru her devirde iş çevrimlerinin tamamlanması nedeniyle iki zamanlı gibi görünse de emme-sıkıştırma-iş-egzoz zamanlarının gerçekleşmesi eşit açılara karşılık gelmekte ve dört zamanlı motor olmaktadır [16-19].

2.3.3 Wankel Motorunun Avantajları

Wankel motorlarda ateşleme sonrası genişleme süresi pistonlu motorlara göre daha uzundur. Bu durum yanan karışımdan elde edilen gücün daha fazla olmasını sağlar.

Pistonlu motorlarda bulunan supap sistemi olmayıp rotor hareketine bağlı gaz akışı ve krank biyel mekanizması olmaması yani daha basit yapıya sahip olması nedeniyle daha az güç kayıplarına sahiptir.

Krank biyel mekanizmasının olmaması hem daha hafif bir motor olmasını hem de yüksek hızlarda pistonlu motorları sınırlayan atalet kuvvetlerinin daha az olmasını beraberinde getirir. Ayrıca güç/ağırlık oranı da pistonlu motorlara göre daha yüksektir.

Dairesel hareket yapıyor olması pistonlu motorlara göre dengeleme kolaylığı sağlayarak daha az titreşimli bir motor olmasını sağlar.

2.3.4. Wankel Motorunun Dezavantajları

Wankel motorlar pistonlu motorlara göre daha yüksek hidrokarbon salınımına sahiptir.

Wankel motorları yakıt ve yağ tüketimi bakımından pistonlu motorlardan geri konumdadır fakat pistonlu motorlar üzerinde yapılan çalışmaların çokluğu ve uygulama alanının genişliği bunu sağlamaktadır. Sürtünme kayıplarının azaltılması, daha verimli yanma, titreşim ve dengeleme kolaylığı ile bu olumsuzluklar giderilebilmektedir.

Wankel motorların en büyük dezavantajı ise sızdırmazlık elemanlarının sürekli baskı sonucu çabuk aşınması ve motor ömrünün kısa olmasıdır. Malzeme bilimindeki gelişmelerin sonucu aşınma sorunları aşılabilse de pistonlu motorlardaki gibi standart biçim ve sayıda olmadıklarından dolayı üretim maliyeti olarak yine dezavantajlı durumdadırlar.

Wankel motorunun diğer bir dezavantajı ise soğutma zorluğudur. Pistonlu motorlarda bir silindir içerisinde tüm çevrim adımları tamamlanırken homojen bir ısınma ve soğutma yaşanmaktadır. Wankel motorunda ise gövdenin bir yanı daha fazla ısındığından motorun farklı bölgeleri farklı soğutma yoğunluğuna ihtiyaç duymaktadır [21-23].

3. MATERYAL ve YÖNTEM

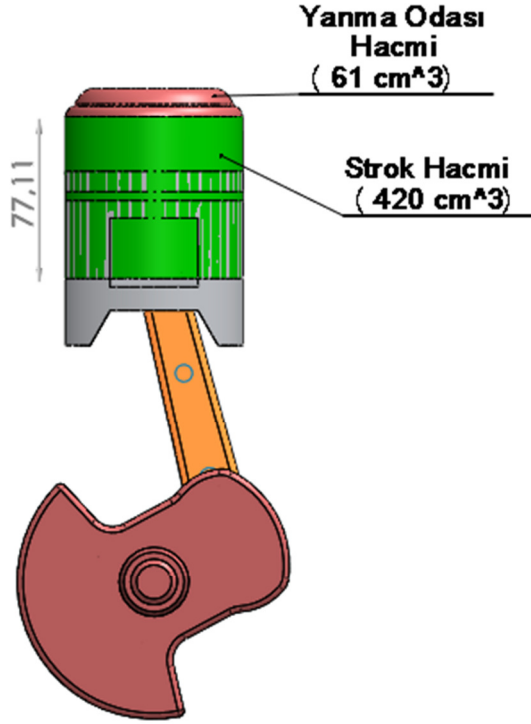
Bu çalışma kapsamında içten yanmalı özgün bir döngüsel motor yapısının bilgisayar ortamında modellenmesi ortaya konulmaktadır. Bu özgün motor yapısı günümüzde yaygın olarak kullanılan pistonlu motorlar ve döngüsel motorlar arasında en yaygın kullanım alanına sahip Wankel motorunun iyi yanlarını üzerinde toplayan bir yapıya sahiptir. Bu yüksek lisans tezi, ortaya konan döngüsel motora ait ilk çalışma olma özelliği taşımakta, düşünsel bir ürün olan motorun yazılı olarak ortaya konduğu ilk çalışma olmaktadır.

Tez kapsamında özgün döngüsel motorun genel yapısı önce iki boyutlu biçimde çizilmiş daha sonra motor bileşenleri teker teker üç boyutlu olarak modellenmiştir. Oluşturulan modelin parçaları ve çalışma şekilleri açıklanmıştır. Motora ait temel değerler teorik olarak hesaplanmıştır.

Motorun üç boyutlu modelleme işlemi Solidworks yazılımında yapılmıştır. Solidworks, kullanım alanı yaygın olan üç boyutlu modelleme yazılımlarından birisi olduğundan tercih edilmiştir. Üç boyutlu modelleme, montaj ve teknik resim oluşturabilme, çeşitli analizleri yapabilme özelliklerine sahip yazılımda motorun gövdesi, rotorları, dişlileri, segmanları ayrı ayrı modellenerek montaj işlemi yine Solidworks yazılımında yapılmıştır. Yapılan montajın hareketi, hareket analizi bölümünde uygulanmıştır. Modelleme sırasında herhangi bir malzeme ataması yapılmamıştır.

Oluşturulan modele ait çeşitli tablo ve grafik çalışmaları yine en yaygın kullanım alanına sahip Microsoft Office Excel elektronik tablolar programında yapılmıştır.

Oluşturulan özgün motor yapısının boyutlandırılmasında Mersin Üniversitesi atölyesinde bulunan bir pistonlu motor örnek olarak alınmıştır. Örnek motor 420 cm^3 strok hacmi ve 60 cm^3 yanma odası hacmine sahip, sıkıştırma oranı 8 olan bir pistonlu motordur. Şekil 3.1’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Örnek alının pistonlu motorun şematik görünüşü

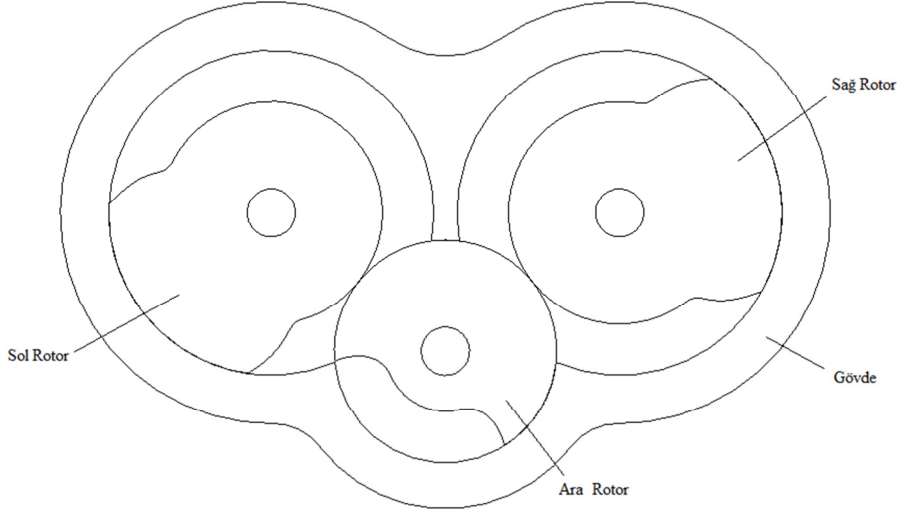
Yapılan çalışmalar Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) tarafından “BAP-FBE MM(ÖOT) 2011-5 YL” protokol numarası, “İçten Yanmalı Özgün Bir Döngüsel Motorun Tasarımı” adıyla desteklenmiştir. Sağlanan maddi destek, tasarım aşamasında kullanılan masaüstü bilgisayarın alımında ve özgün döngüsel motorun bir ön prototipi imalarında kullanılmıştır.

BAP tarafından alınan destekle imal edilen ön prototipte motor gövdesi alüminyum, rotorlar poliasetal malzemedен yapılmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. ÖZGÜN DÖNGÜSEL MOTORUN GENEL YAPISI

Özgün döngüsel motorun temel yapısı, gövde ve 3 adet rotordan oluşmaktadır. Şekil 4.1’de görülmekte olan şematik resimde gövde içine yerleştirilmiş rotorlar basit dönme hareketi yapmaktadır.

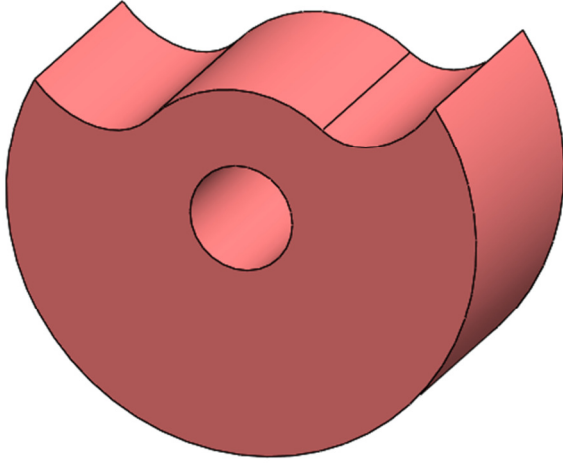


Şekil 4.1. Özgün döngüsel motorun şematik görünüşü

Özgün motor yapısı sağ ve sol olarak adlandıracağımız iki ana bölümden meydana gelmektedir. Bu bölümler yapı ve çalışma şekli olarak birbirine simetrik olmalarına karşın görevleri bakımından sol tarafta emme ve sıkıştırma işlemi, sağ tarafta ise iş ve egzoz işlemi gerçekleştirilmektedir.

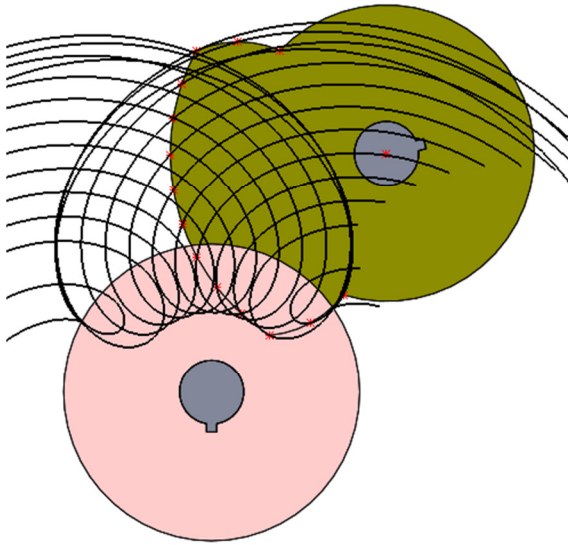
Her üç rotor da motorun arkasında bulunan eş dişliler vasıtasıyla eşit devirde dönmektedirler. Rotorların hareketi sırasında gövde ve kapaklarla arada kalan hacimde emme, sıkıştırma, iş ve egzoz zamanları gerçekleştirilmektedir.

Ara rotorun yapısı Şekil 4.2’de gösterilmekte olup şekli emme-sıkıştırma (sol rotor) ve iş-egzoz (sağ rotor) rotorunun dönme hareketine destek verecek şekilde düzenlenmiştir.



Şekil 4.2. Ara rotorun yapısı

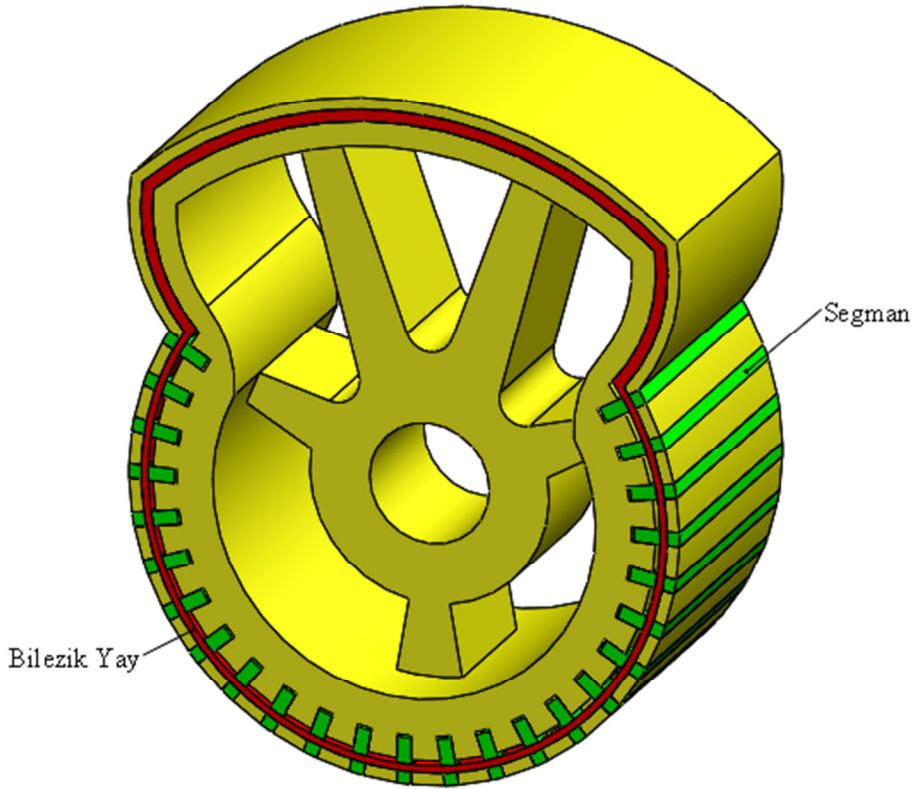
Ara rotorun geometrik şeklinin düzenlenmesinde tam daire halindeki ara rotor sabit tutulmuştur. Diğer rotora ise ara rotor üzerinde dönme ve ilerleme hareketi yaptırılmıştır. Dönme ve ilerleme hareketi yapan rotor üzerinde bulunan çok sayıda noktanın hareket esnasında izledikleri yol çizdirilerek kılavuz çizgileri elde edilmiştir. Elde edilen bu kılavuz çizgilerine göre tam daire halindeki ara rotor kesilerek dönme hareketi sırasında birbirine uyumlu parçalar elde edilmiştir (Şekil 4.3). Kılavuz çizgileri için kullanılan noktaların sayısı elde edilecek ara rotor geometrisinin doğruluğunu etkilemekte ve ne kadar çok noktadan referans alınırsa o kadar düzgün bir geometri elde etmek mümkün olacaktır.



Şekil 4.3. Ara rotorun geometrisinin ortaya çıkarılması

Emme-sıkıştırma ve iş-egzoz rotorları yapısal olarak birbirinin aynısıdır. Görünümü Şekil 4.4'te verilen rotorların üzerinde, ara rotorla arasında sızdırmazlık sağlaması amacıyla segmanlar mevcuttur. Bu segmanlar bilezik yay vasıtasıyla sürekli dışa doğru itilecek ve ara rotorla temas durumunda yay kuvveti yenilerek merkeze doğru hareket edebilecektir. Segmanların yapısı ve malzeme seçimi sayesinde sürekli ve sabit bir baskı uygulanabilecektir. Ayrıca yüksek devirlerde segmanlar yay tarafından tutularak ara rotora uygulanan kuvvetin artması engellenecek ve aşınma ömrü daha uzun olacaktır.

Bilezik yay aynı zamanda wankel motorunda olduğu gibi kapak ve rotorlar arasında da sızdırmazlık görevi görecektir.



Şekil 4.4. Emme-Sıkıştırma ve İş-Egzoz rotorunun yapısı

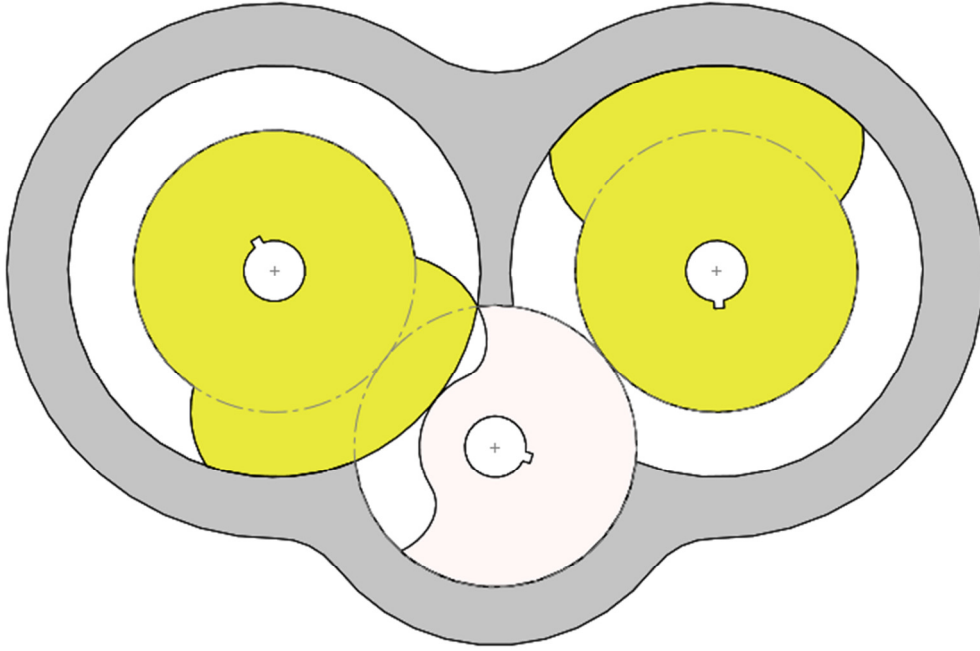
Rotorlar, ortasından geçen mil etrafında basit dönme hareketi yapmakta olduğundan oluşacak dengeleme sorunlarının çözümü olarak içi boşaltılmış durumdadır. Kütle merkezi tam dönme eksenine getirilerek dengeli bir dönüş

elde edilebilecektir. Rotor içerisindeki bu boşluk, kapaklara sürtünen yüzey alanını azaltacak olup sürtünme sonucu ortaya çıkan ısının azaltılması sağlanacaktır. Bununla beraber kapaklardan bu boşluğa gönderilecek olan yağ ile motorun yağlanması ve bir miktar soğutulması da gerçekleştirilecektir.

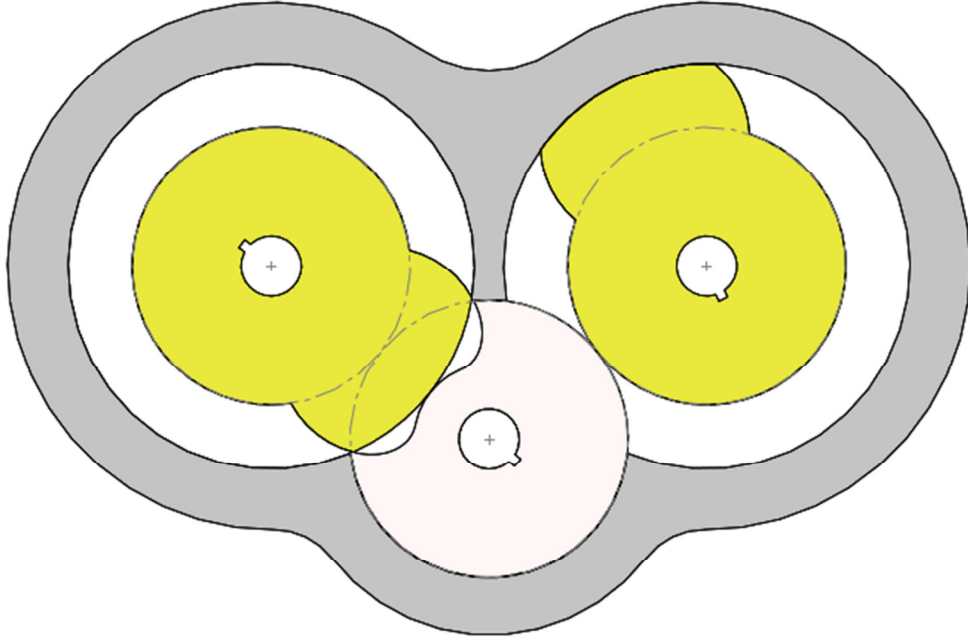
Sağ ve sol rotorun ara rotorla beraber çalıştığı setler üzerinde genişletme ve daraltma çalışmaları yapılmıştır. Şekil 4.5'te setler, gövdeyi ayıran bölümden emme supabı sonuna kadar genişletilmiştir. Bu durumda sıkıştırma oranı 5.5 bulunmuştur.

Şekil 4.6'da ise setler, gövdeyi ayıran bölümden ara rotor yuvasına kadar daraltılmıştır. Bunun sonucunda sıkıştırma oranı 6.6 bulunmuştur.

Yapılan en son düzenlemelerle Şekil 4.7'de görülen rotor yapısı elde edilmiştir. Bu biçimdeki rotorlarla sıkıştırma oranı 8 olarak ayarlanmıştır.

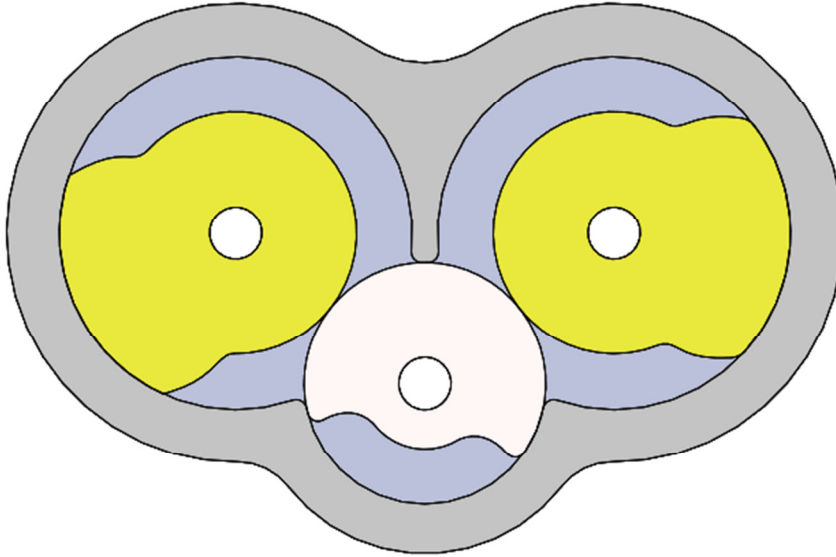


Şekil 4.5. Rotor setinin genişletilmiş görüntüsü



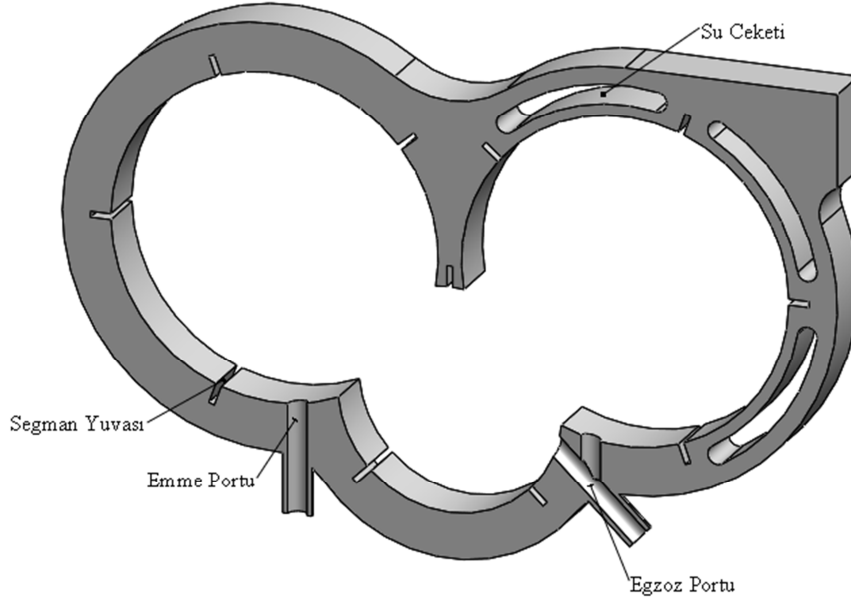
Şekil 4.6. Rotor setinin daraltılmış görüntüsü

Rotorların ve gövdenin sivri olan uç noktaları bulunmaktadır. Bu bölümler hem aşınma zamanını kısaltacak hem de ısı birikimi yaratacaktır. Bu nedenle Şekil 4.7’de görüldüğü gibi sivri ve köşeli olan bölgelerin yuvarlatılması düşünülmektedir.



Şekil 4.7. Rotor ve gövde köşelerinin yuvarlatılmış görüntüsü

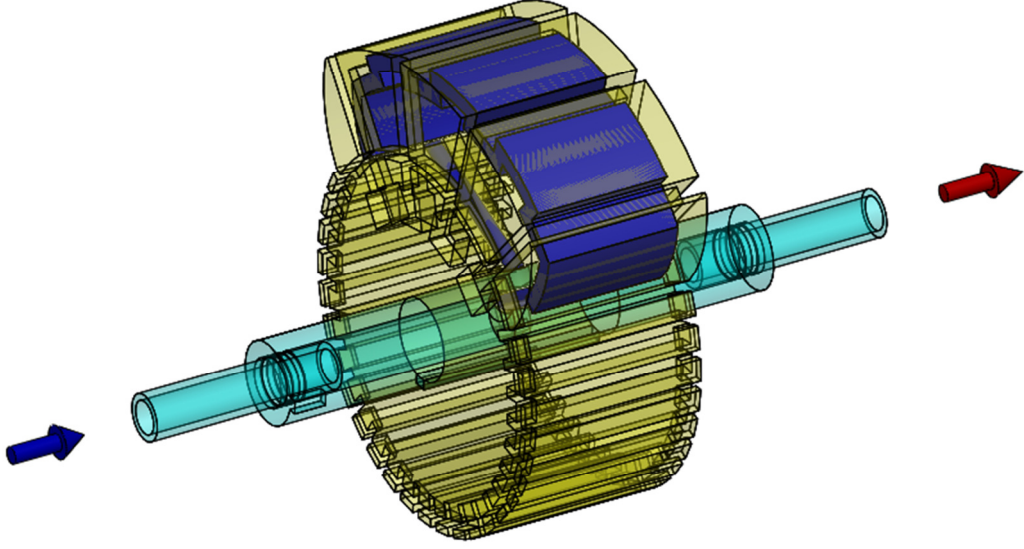
Şekil 4.8’de görülen gövde, motorun tüm elemanlarını üzerinde bulundurmaktadır. Gövde içerisinde dönme hareketi yapan emme-sıkıştırma rotoru, iş-egzoz rotoru ve ara rotora ait yuvalar bulunmaktadır.



Şekil 4.8. Gövdenin kesit görünüşü

Ayrıca gövde üzerinde rotorlar ile gövde arasında sızdırmazlığı sağlayacak olan segmanlar için yuvalar bulunmaktadır. Sızdırmazlık elemanları altına konulacak yaprak yaylar sayesinde rotorlara sürekli ve sabit bir baskı yapacaktır.

Motorun soğutulması konusunda öncelikle suyun rotorlar içinden geçen millerin ortasından girdiği, rotorların içinden dolaşarak milin diğer ucundan çıktığı bir tasarım düşünülmüş olup Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

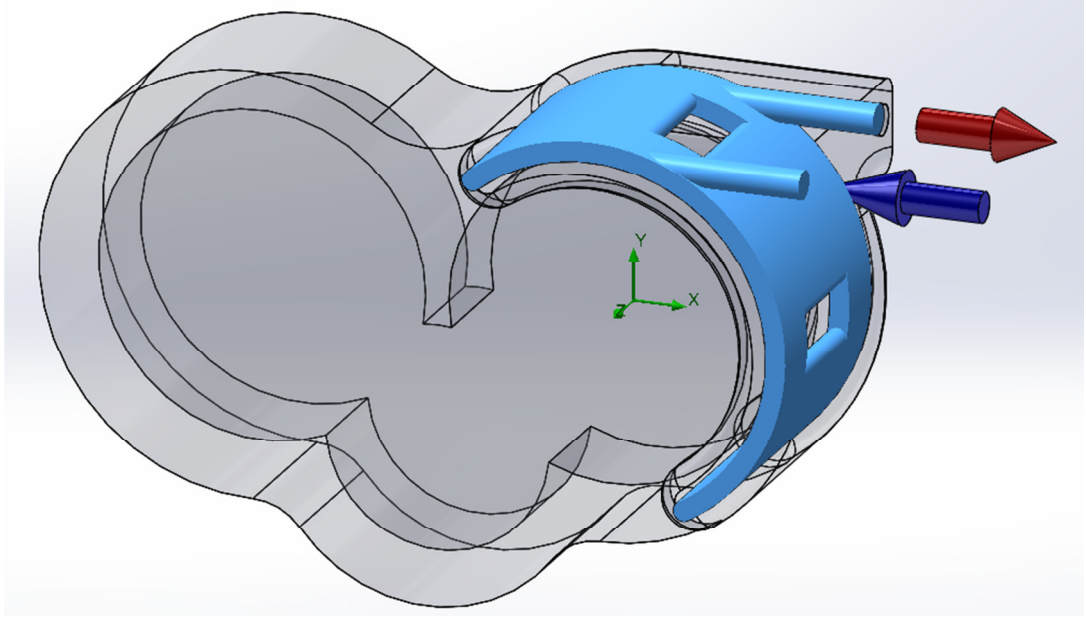


Şekil 4.9. Rotorun mil içinden su geçirilerek soğutulması

Bu tasarımdan hem imalatının çok zor olacağı hem de rotorun birkaç parça halinde yapılması gerektiği için vazgeçilmiştir.

Motorun soğutulmasında, en yaygın kullanılan yöntemlerden birisi olan su ceketini ile soğutma gerçekleştirilecektir. Bu amaçla gövde üzerinde su kanalları açılmıştır. Motoru soğutmak için kullanılacak su ceketini gövdenin sadece sağ yanında bulunmaktadır (Şekil 4.10). Bunun nedeni iş ve egzoz zamanının emme ve sıkıştırma zamanından ayrı rotor üzerinde gerçekleşmesidir. Emme ve sıkıştırma işlemi yapan sol rotor, iş-egzoz rotoruna göre daha az ısıya maruz kalmaktadır. İş-egzoz rotoru ise bir yanında ateşleme sonrası genişleyen gazlar diğer yanında egzoz portuna doğru sürüklenen atık gazlar nedeniyle her turda aşırı ısınacaktır.

Gövde etrafındaki su ceketinin yapısı Şekil 4.10'da görülmektedir. Su ön kapaktan girmekte gövdede bulunan kanallardan geçerek arka kapaktan çıkmaktadır.



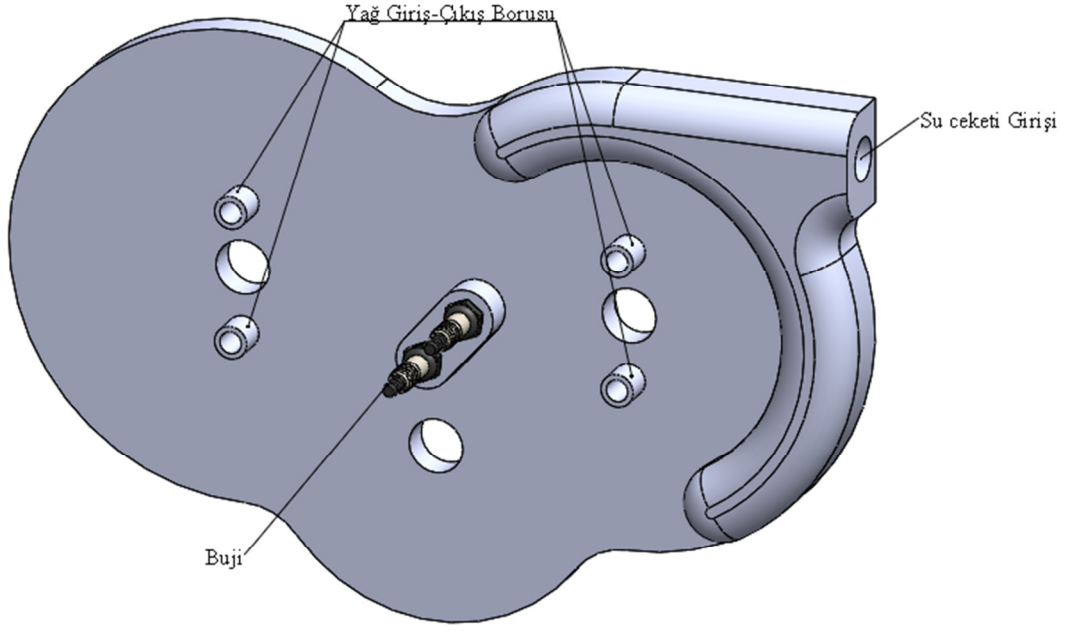
Şekil 4.10. Su ceketinin yapısı

Şekil 4.11’de ön kapak ve Şekil 4.12’de arka kapak görülmektedir. Yeni motor tasarımının buji ile ateşlenmesi düşünülmektedir. Bu nedenle ön kapak üzerinde çift buji yeri bulunmaktadır. Buji yerleri rotorların dönmesine bağlı olarak ortaya çıkan boşluğa denk gelmekte ve sıkıştırılan gazların, rotorların hareketini takip eden elektronik bir sistemle ayarlanarak ateşlenmesi düşünülmektedir.

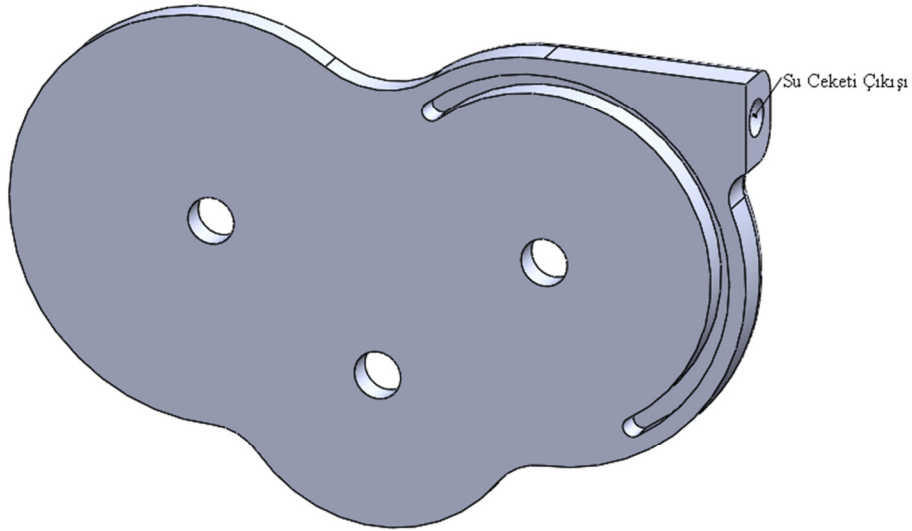
Ön kapak üzerinde yağlama için emme-sıkıştırma ve iş-egzoz rotorlarının ortasındaki boşluklara denk gelen yağlama boruları bulunmaktadır. Borulardan gönderilecek olan yağ hem sürtünmeyi azaltmak hem de soğutmaya yardımcı olacaktır.

Ön ve arka kapaklarda su ceketine ait giriş ve çıkış kanalları bulunmaktadır. Ön kapaktan girecek olan soğutma suyu gövde içerisinden geçerek arka kapaktan çıkacaktır.

Her iki kapakta da üç rotora ait millerin yataklanacağı delikler mevcuttur.

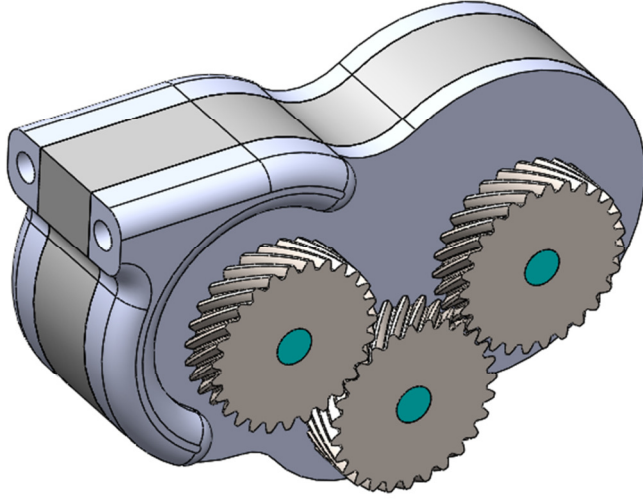


Şekil 4.11. Ön kapağın yapısı



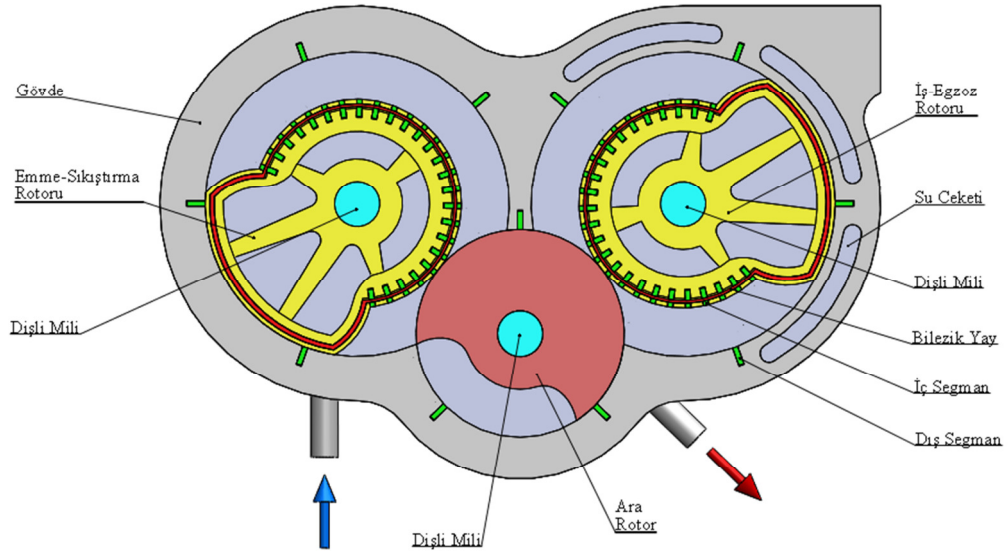
Şekil 4.12. Arka kapağın yapısı

Motorun Şekil 4.13'teki arka görünümünde güç aktarma dişlileri görülmektedir. Dişliler eş boyutlu olduğundan tüm rotorlar eş zamanlı dönmekte ve iş-egzoz rotorunun bağlı olduğu milden güç alınması planlanmaktadır.



Şekil 4.13. Motorun arka görünümü

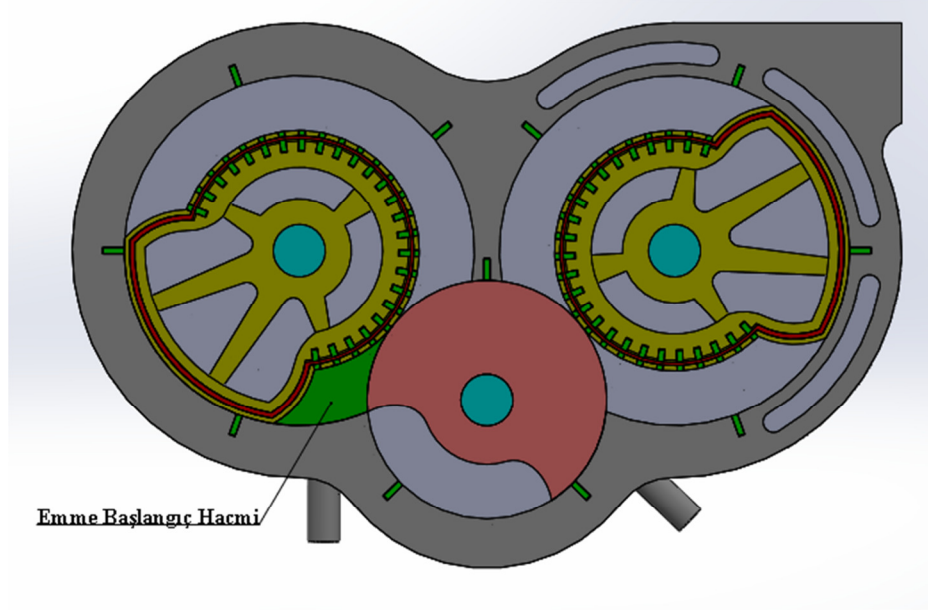
Motorun genel yapısı ve bileşenleri Şekil 4.14'te görülmektedir.



Şekil 4.14. Özgün döngüsel motorun genel yapısı

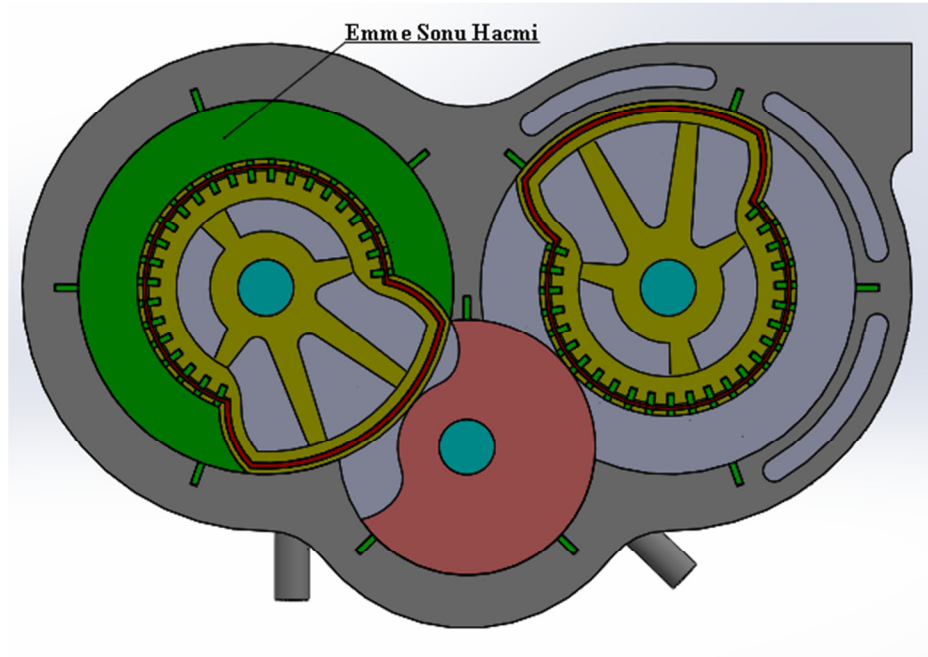
4.2 ÖZGÜN DÖNGÜSEL MOTORUN ÇALIŞMASI

Özgün döngüsel motorun emme- sıkıştırma rotoru ve iş-egzoz rotoru saat yönünde dönerken ara rotor ise saatin ters yönünde dönmektedir. Dönme zamanlaması motorun arkasında bulunan eş boyutlu dişliler vasıtasıyla olmaktadır.



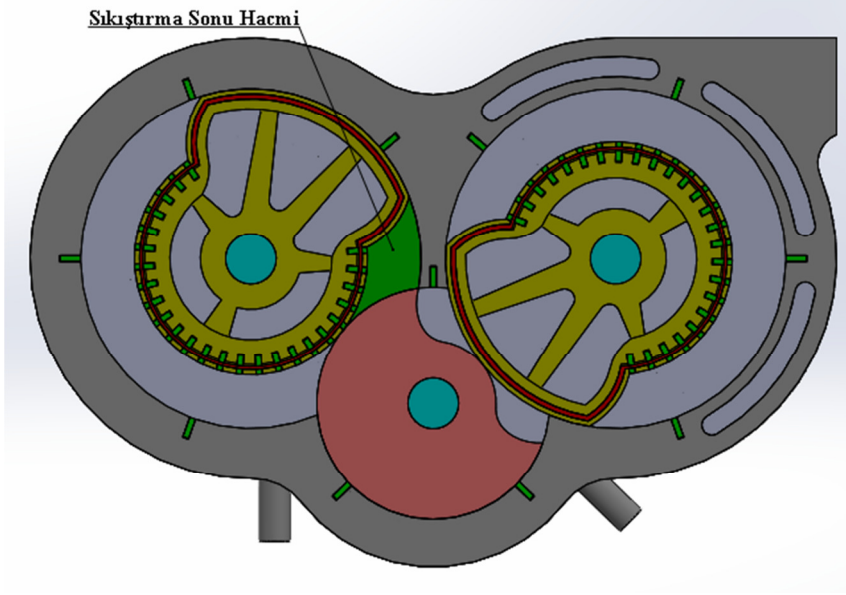
Şekil 4.15. Emme başlangıç hacmi

Motorun emme başlangıç Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Emme rotorsunun saat yönünde dönmesi sonucu hava yakıt karışımı içeri alınmakta ve kapaklar ile rotorlar arasında kalan bölümde biriktirilmektedir. Bu işlem yaklaşık 270° devam etmekte ve emme portu kapanıncaya kadar sürmektedir. Bu işlem rotor konumları Şekil 4.16'da gösterilen emme sonuna kadar sürer.



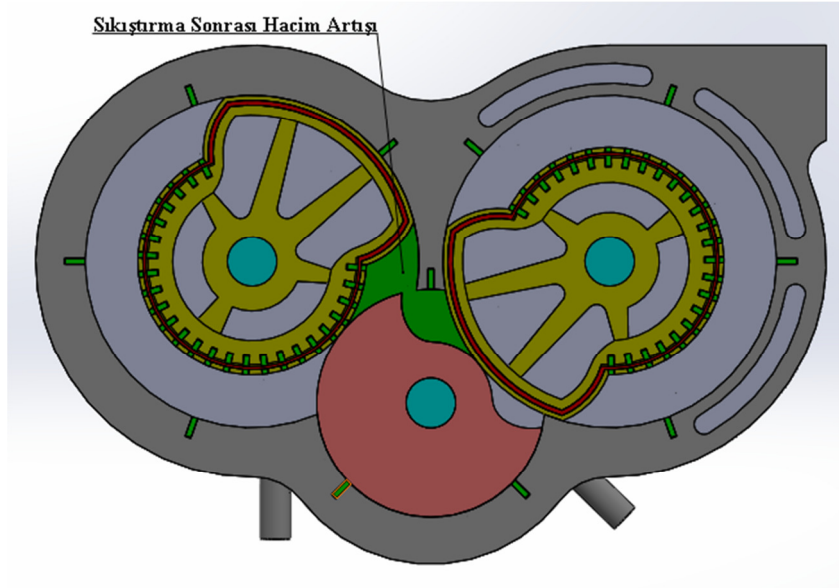
Şekil 4.16. Emme sonu hacmi

Emme-sıkıştırma rotoru Şekil 4.16'daki konumundan sonra ikinci turuna başladığında sıkıştırma işlemi gerçekleştirmektedir. Sıkıştırma sonunda hava yakıt karışımı motorun sol tarafında toplanmakta ve Şekil 4.17'deki konuma ulaşılmaktadır.



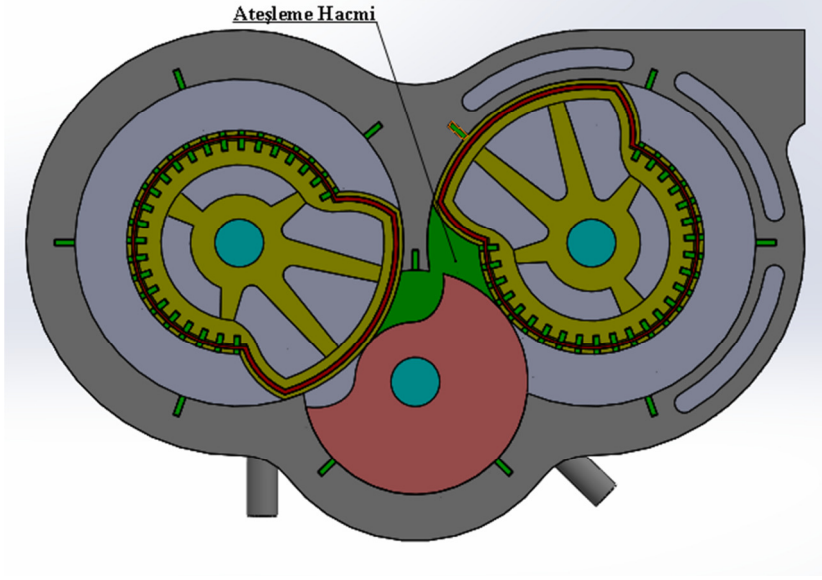
Şekil 4.17. Sıkıştırma sonu hacmi

Devam eden süreçte hava yakıt karışımının motorun sağ tarafına aktarılması sırasında bir miktar hacim artışı gerçekleşmektedir (Şekil 4.18).



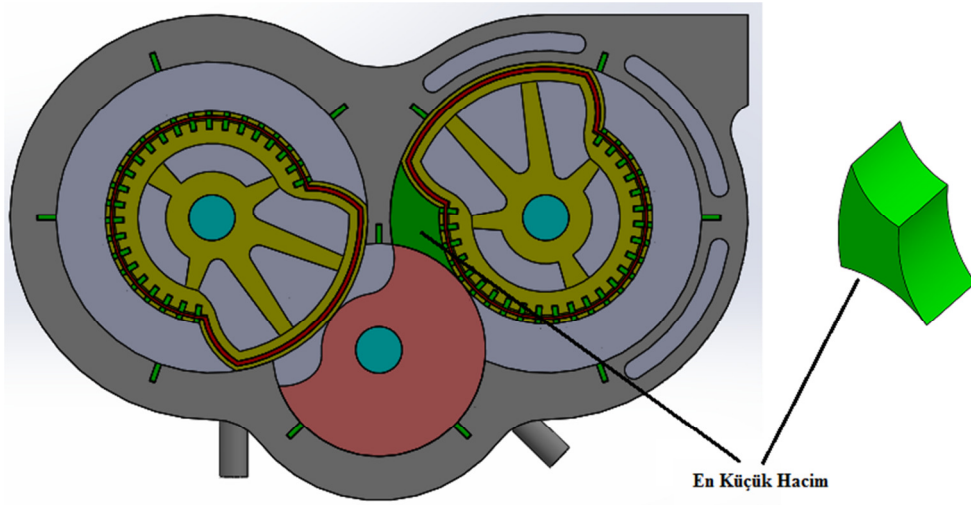
Şekil 4.18. Sıkıştırma sonrası hacim artışı

Ara rotor vasıtasıyla motorun sağ tarafına doğru sürüklenen hava yakıt karışımı hacminin tekrar azaldığı Şekil 4.19'da gösterilen noktada çift bujiyle ateşlenmektedir. Bu nedenle sıkıştırma zamanı yaklaşık 350° rotor dönmesine karşılık gelmektedir.



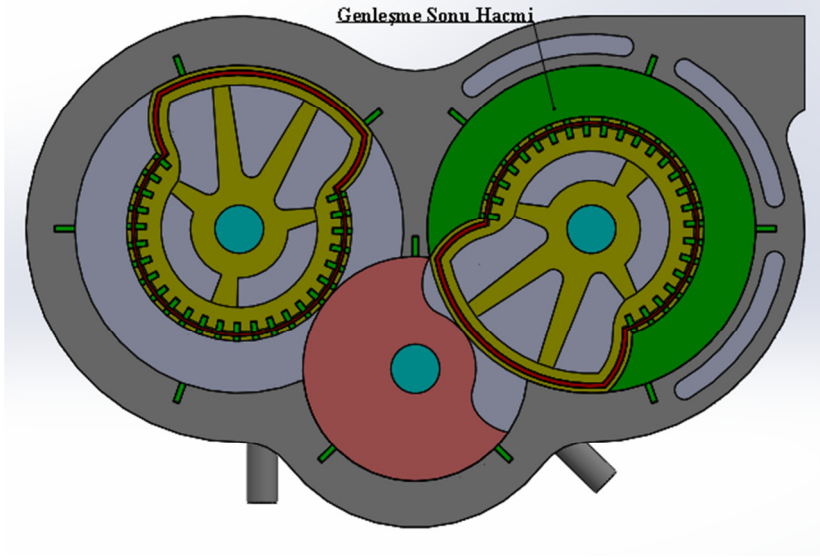
Şekil 4.19. Ateşleme anı

Ateşleme sonrasında hacmin en küçük olduğu an ve yanma odasının yapısı Şekil 4.20'de gösterilmektedir. Bu noktada odanın hacmi 60 cm^3 ve yüzey alanı 121.33 cm^2 olmaktadır.



Şekil 4.20. En küçük hacim ve yanma odası yapısı

Ateşlenen hava yakıt karışımı iş-egzoz rotorunun Şekil 4.21’de gösterilen konumuna kadar yaklaşık 240° genişler. Egzoz portunun açılması sonucu rotorun ikinci turunda atık gazlar dışarı atılarak süreç tamamlanır.



Şekil 4.21. Genleşme sonu hacmi

4.3 ÖZGÜN DÖNGÜSEL MOTORUN TERMODİNAMİK HESAPLARI

Özgün döngüsel motorun termodinamik hesaplarında termodinamiğin birinci kanununa göre işlem yapılacaktır. Öncelikle oluşturulan modelde her 10° ’lik dönme sonunda oluşan hacimler kaydedilmiştir. Motor içerisinde oluşan hacimlerin teorik olarak hesaplanamaması ve karmaşık bir yanma odasına sahip olması nedeniyle bu yöntem tercih edilmiştir. Hacimlere ait kritik değerler belirlenerek Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Motor zamanlarının açı cinsinden değerleri

$\Theta_{(0-1)}$ Emme	270°
$\Theta_{(1-2)}$ Sıkıştırma	350°
$\Theta_{(2-3)}$ Patlama	0°
$\Theta_{(3-4)}$ Genleşme	240°
$\Theta_{(4-5)}$ Egzoz	290°
Toplam	270°

Çizelge 4.2. Motor zamanlarında hacim değerleri

V_0 (Ölü Hacim)	55 cm^3
V_1 (Emme Sonu Hacmi)	480 cm^3
V_2 (Sıkıştırma Sonu Hacmi)	60 cm^3
V_3 (Patlama Hacmi)	60 cm^3
V_4 (Genleşme Sonu Hacmi)	480 cm^3

Çizelge 4.2'deki değerlerde görüldüğü gibi motorun sıkıştırma oranı 8 olarak belirlenmiştir. Emme sonu hacmi ve sıkıştırma oranı eşdeğer bir pistonlu motor örneğine göre düzenlenmiştir.

$$T_1=300 \text{ K} \quad P_1=0.1013 \text{ Mpa} \quad v_1 = \frac{292 * 300}{101300} = 0.8647 \text{ m}^3 / \text{kg} \text{ hava } r_c=8$$

$$\Psi(T) = \int_{T_0}^T c_v(T) \frac{dT}{T} \quad (4.1)$$

$$\Psi_2(T_2) = \Psi_1(T_1) - n_u R \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right) \quad (4.2)$$

$$\Psi_1(T_1) = 0 \quad T_1 = 300 \text{ K} \quad (\text{EK-1})$$

$$n_u R = 292 \text{ j / kgK} \text{ hava} \quad (\text{EK-2})$$

$$\Psi_2(T_2) = 607.1969 \text{ J / kgK} \text{ hava}; \quad \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right) = \ln\left(\frac{1}{8}\right)$$

$$T_2=583 \text{ K} \quad (\text{EK-1})$$

$$\frac{v_1}{v_2} = 8 \quad v_2 = 0.10809 \text{ m}^3 / \text{kg} \text{ hava}$$

$$\Phi(T) = \int_{T_0}^T c_p(T) \frac{dT}{T} \quad (4.3)$$

$$\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{n_u R} \quad (4.4)$$

$$\frac{\Phi_2 - \Phi_1}{n_u R} = \frac{790 - 0}{292} = 2.705 \quad (\text{EK-1})$$

$$\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = 2.705 \quad P_1 = 1 \text{ atm}$$

$$P_2 = 14.96 \text{ atm} = 1.5155 \text{ MPa}$$

$$-W_{1-2} = u_s(T_2) - u_s(T_1) \quad (4.5)$$

$$u_s(T_2) = 260 \text{ kJ/kg hava}, \quad u_s(T_1) = 0 \text{ kJ/kg hava} \quad (\text{EK-3})$$

$$-W_{1-2} = 260 - 0 = 260 \text{ kJ/kg hava}$$

$$u_b = u_u = u_{s,u} + \Delta u_{f,u}^\circ \quad (4.6)$$

$$\Delta u_{f,u}^\circ = -118.2 - 2956 \chi_b \quad (4.7)$$

$$\Delta u_{f,u}^\circ = -118.2 \text{ kJ/kg hava}$$

Yanma odasında yanmış gaz yoktur. $\chi_b = 0$

$$u_b = 260 - 118.2 = 141.8 \text{ kJ/kg hava}$$

$$v_3 = v_2 = 0.10809 \text{ m}^3 / \text{kg hava}$$

$$v_3 = (v_b), \quad v_2 = (v_u),$$

u_b, v_b değerlerini EK-4'te yerine koyarsak;

$$T_b = T_3 = 2892.3, \quad P_b = P_3 = 8.66 \text{ MPa}, \quad s_3 = 9.343 \text{ kJ/kgK hava}$$

$s_4 = s_3$, $v_4 = v_1$ eşitliklerinden, EK-4'te,

$s_4 = 9.343 \text{ kJ/kgK}$ hava, $v_4 = 0.8647 \text{ m}^3/\text{kg}$ hava değerleri yerine konursa;

$T_4 = 1960\text{K}$, $P_4 = 0.725\text{Mpa}$, $u_4 = -1428.57\text{kJ} / \text{kgK}$ hava elde edilir.

Yapılan iş;

$-W_{3-4} = -(u_4 - u_3) = -(-1428.57 - 141.8) = 1570.37\text{kJ} / \text{kgK}$ hava olur.

$s_5 = s_4 = 9.343\text{kJ} / \text{kgK}$ hava ve $P_5 = P_1 = 0.1013\text{MPa}$

$T_5 = 1300\text{K}$, $v_5 = 4\text{m}^3 / \text{kg}$ hava olur.

Yakıt dönüşüm verimi;

$$\eta_{f,i} = \frac{W_e + W_c}{m_f * Q_{LHV}} \quad (4.8)$$

$$\eta_{f,i} = \frac{1570.37 + 260}{m_f * Q_{LHV}}; \quad m_f = n_c * (F / A) = 0.9625 * 0,661, \quad Q_{LHV} = 44300$$

$\eta_{f,i} = 0.4649$ olur.

Bu değerleri Çizelge 4.3'te toplu olarak görebiliriz.

Çizelge 4.3. Özgün motorun termodinamik verileri

	1	2	3	4
Sıcaklık (K)	300	583	2893	1960
Basınç (MPa)	0.1013	1515	8.66	0.725
Özgül Hacim (m ³ /kg hava)	0.8647	0.10809	0.10809	0.8647
Entropi (kJ/kgK hava)	7.432	7.432	9.343	9.343

Bulunan bu değerleri ideal gaz denkleminde uygulayarak izentropik üssü elde ederiz. İzentropik üs kullanılarak her 10°'lik motor konumuna bağlı basınç ve sıcaklık değerleri bulunur.

$$T_2 = T_1 * (V_2 / V_1)^{\gamma-1}; \quad (4.9)$$

$$T_1 = 300K,$$

$$T_2 = 583.3K,$$

$$V_2 / V_1 = 8$$

$$\gamma_1 = 1.32 \text{ olur.}$$

$$P_2 = P_1 * (T_2 / T_1)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}; \quad (4.10)$$

$$P_1 = 0.1013MPa,$$

$$T_2 = 583K$$

$$T_1 = 300K$$

$$\gamma_2 = 1.3255 \text{ olur.}$$

$T_3 = 2892.5K$, $P_1 = 8.666MPa$ değerleri doğrudan alınır.

$$T_3 = T_4 * (v_2 / v_1)^{\gamma-1}; \quad T_4 = 1960K$$

$$\gamma_3 = 1.187 \text{ olur.}$$

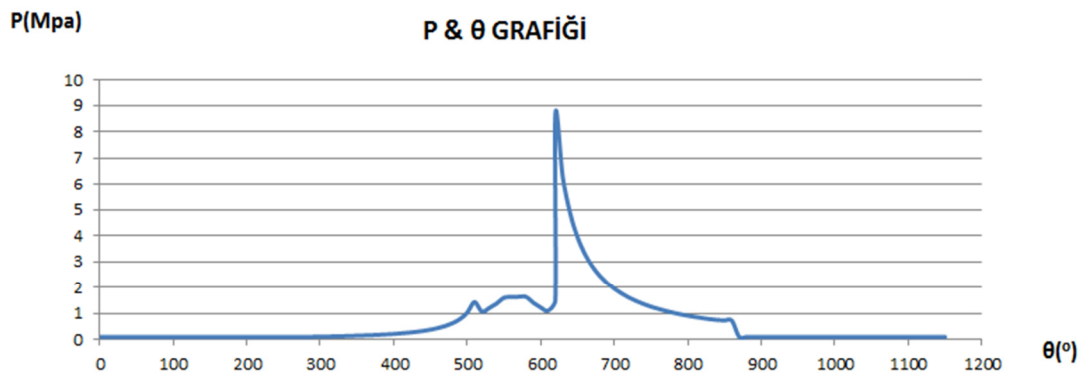
$$P_3 = P_4 * (T_4 / T_3)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}};$$

$$P_3 = 8.666MPa,$$

$$P_4 = 0.725MPa$$

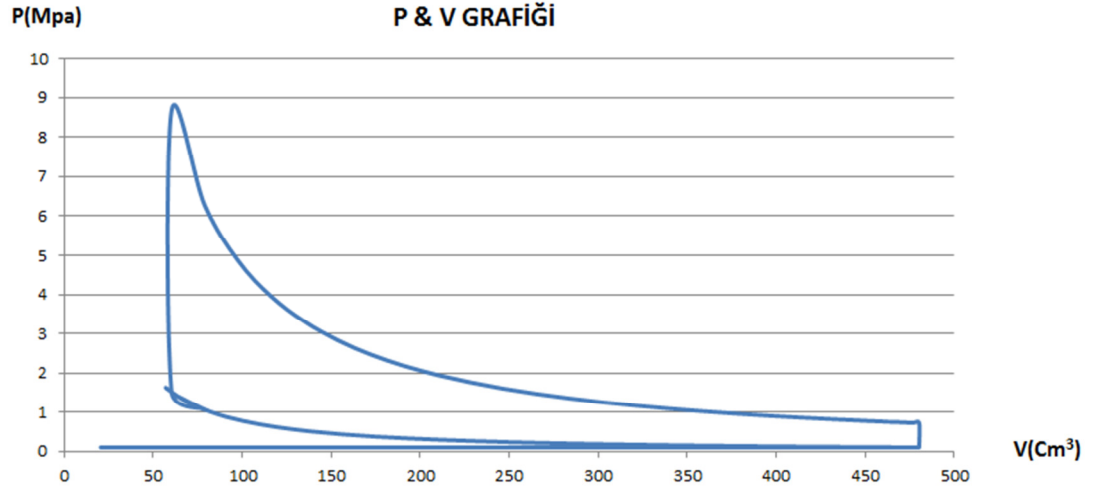
$$\gamma_4 = 1.1855 \text{ olur.}$$

Bulunan bu değerlerin 10°'lik motor konumunda karşılıkları Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te gösterilmiştir [24].



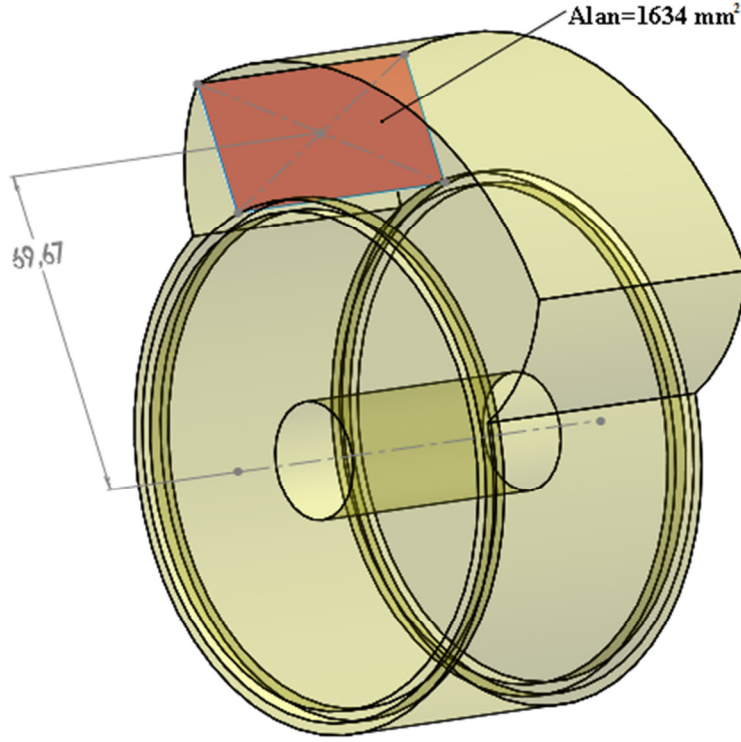
Şekil 4.22. Özgün motorun basınç-açı grafiği

Motor yapısına bağlı olarak 500° - 600° arasında hacimde dolayısıyla da basınçta bir dalgalanma görülmektedir. Bu hacim dalgalanmasının patlama öncesinde gerçekleşiyor olması nedeniyle, karışımın ateşleme öncesi daha homojen olmasını sağlayacağı öngörülmektedir. Ayrıca karışım içinde atık gazların bulunmayışıyla birlikte daha verimli bir yanma elde edilecektir.

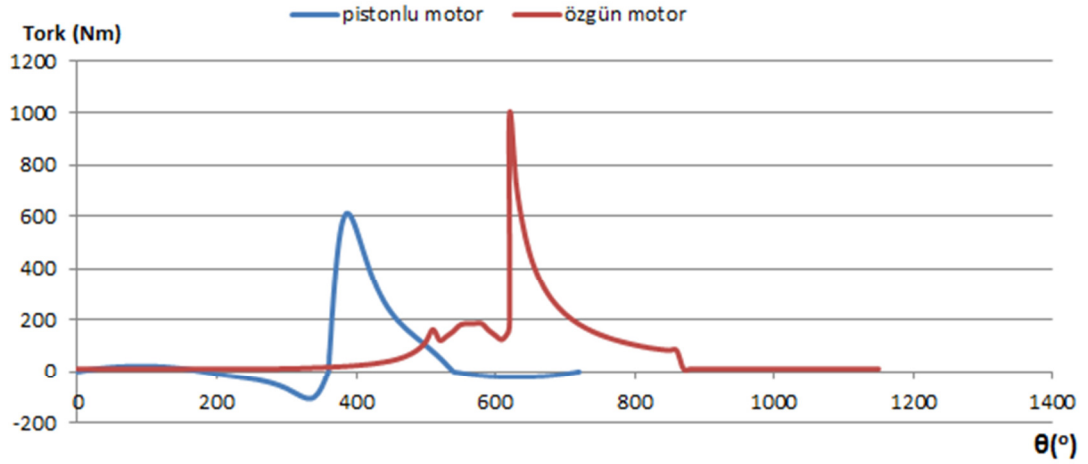


Şekil 4.23. Özgün motorun basınç-hacim grafiği

Şekil 4.23'de bulduğumuz değerleri ve Şekil 4.24'te gösterilen basınca dik alanı kullanarak, 10° 'lik motor konumlarındaki kuvvetleri ve sabit moment kolu uzunluğunu da kullanarak tork grafiği elde ederiz (Şekil 4.25).



Şekil 3.24. Kuvvetin etki ettiği dik alan ve sabit moment kolu uzunluğu



Şekil 4.25. Pistonlu motor ve özgün motorun tork-açı grafiği

Şekil 4.25'te pistonlu motor ve özgün motor yapısının açığa bağlı tork grafiği gösterilmektedir. Pistonlu motor, krank biyel mekanizmasından kaynaklanan negatif bölgeye sahipken, özgün motorda bu durum yoktur. Ayrıca genişleme süreci pistonlu motorlarda 180° sürüyorken özgün motorda yaklaşık 240° sürmektedir. Bu farkları özgün motorun pistonlu motorlara göre üstünlükleridir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Günümüzde fosil yakıt kullanan içten yanmalı motorlara alternatif olarak birçok çalışma yapılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ve bunların uygulamaları üzerine yapılan çalışmaların yanı sıra mevcut içten yanmalı motorların da kısa süre içerisinde kullanımdan kalkması mümkün değildir. Bu nedenle mevcut sistemler üzerinde de yakıt tüketimi azaltma, yanma verimi artırma ve mekanik iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, yapısı mevcut motorlardan tamamen farklı bir içten yanmalı döngüsel motor yapısı ortaya konmuştur. Bu çalışmanın, düşüncede olan bir sistemin somut olarak ilk defa ortaya konması özelliği dolayısıyla birçok eksiği olduğu kuşkusuzdur. İlerleyen çalışmalarda uygun malzeme seçimiyle beraber sistemin mekanik ve termal analizleri yapılacaktır. Bulunan sonuçlara bağlı olarak çeşitli yapısal iyileştirmelerle analizler tekrarlanacak ve mevcut motorlarla karşılaştırılacaktır.

Bu çalışma kapsamında ortaya çıkan özgün döngüsel motor yapısının pistonlu motorlardan ve döngüsel motor olan wankel motorundan farkları şu şekilde sıralanabilir;

Özgün döngüsel motorda, pistonlu motorlarda olan kam mekanizması bulunmamaktadır. Emme ve egzoz işlemleri rotorların hareketiyle gerçekleştiğinden pistonlu motorlarda devri sınırlayan bir etken olan yay kuvvetleri yoktur.

Pistonlu motorlar düşünüldüğünde kam mekanizması, yaylar, supaplar karmaşık bir yapı oluştururken özgün motor daha az sayıda hareketli parçaya sahiptir. Bu durum basit yapının yanında imalatta da maliyeti düşürecektir.

Özgün motor yapısında pistonlu motorlardaki değişken moment kolu uzunluğu ve wankel motorundaki eksantrik hareket bulunmamaktadır. Basit dönme hareketi yapması, yanma sonucu ortaya çıkan basıncın doğrudan torka dönüştürülmesini sağlamaktadır.

Pistonlu motorlarda üst ölü nokta ve alt ölü noktada hareket yönünün değişmesi, büyük atalet kuvvetleri ve yüksek devirlere çıkmayı engellemekteyken

değişken hareketlerin olmaması sonucu özgün motorda böyle bir devir sınırlaması yoktur.

Pistonlu motorlarda sızdırmazlık elemanları ve piston krank biyel mekanizmasının gereği silindir cidarlarına yanal baskılar uygulamaktadır. Özgün motorda ise rotor dönerken kapaklara sürtünme sırasında ekstra bir kuvvet oluşturmamaktadır.

Rotorların içi boşaltılarak hem soğutma hem de dengeleme sorunları aşılabilecektir. Rotorun kütle merkezinin dönme merkeziyle çakışık olması titreşimsiz bir çalışma sağlayacaktır. Ayrıca motor birkaç modül sıralı olarak yapılırsa yanmanın tek tarafta gerçekleşmesinden kaynaklanan dengesizlik de giderilebilecektir.

Pistonlu motorların emme zamanında dışarı atılamayan egzoz gazları bulunmasına karşın özgün motorda böyle bir durum yoktur. Emme ve egzoz işlemlerinin farklı bölgelerde yapılıyor olması temiz hava-yakıt karışımı ateşlemeyi sağlamaktadır. Ayrıca egzoz gazlarının tamamı dışarı atılabilmektedir.

Özgün motorun sıkıştırma zamanında ateşlemeden önce bir miktar hacim dalgalanması yaşanmaktadır. Bu hacim değişikliğinin ateşleme öncesi homojen bir karışım sağlayarak daha verimli bir yanma sağlayacağı öngörülmektedir.

Özgün döngüsel motor çalışması farklı motor arayışlarının olduğu günümüzde eşi olmayan ve geliştirilmeye uygun bir modeldir. Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenen çalışmanın bilgisayar ortamında yapılan modeline ait ön prototip Memak Plastik Gıda Makine San. Tic. Ltd. Şti tarafından yapılmıştır (Şekil 5.1). Gövdenin Alüminyum, rotorların poliasetal malzemeden yapıldığı prototipte segmanlar, iç boşluklar ve giriş-çıkış portları ihmal edilerek rotorların birbiriyle uyumu görülmüş, hareketli parçaların temas noktalarında yapılacak değişiklikler ve imalat aşamasında nasıl bir yol izleneceği konusunda fikir elde edilmiştir.

Özgün motor yapısı Nisan 2013'te Bursa'da düzenlenen "2. Ar-Ge Proje Pazarı" etkinliğinde birincilik ödülü alarak otomotiv sektöründe dikkat çekmiş, çalışmaların sürmesi ve modelin geliştirilmesi için ilk desteğini almıştır.



Şekil 5.1. Özgün motor yapısının ön prototipi

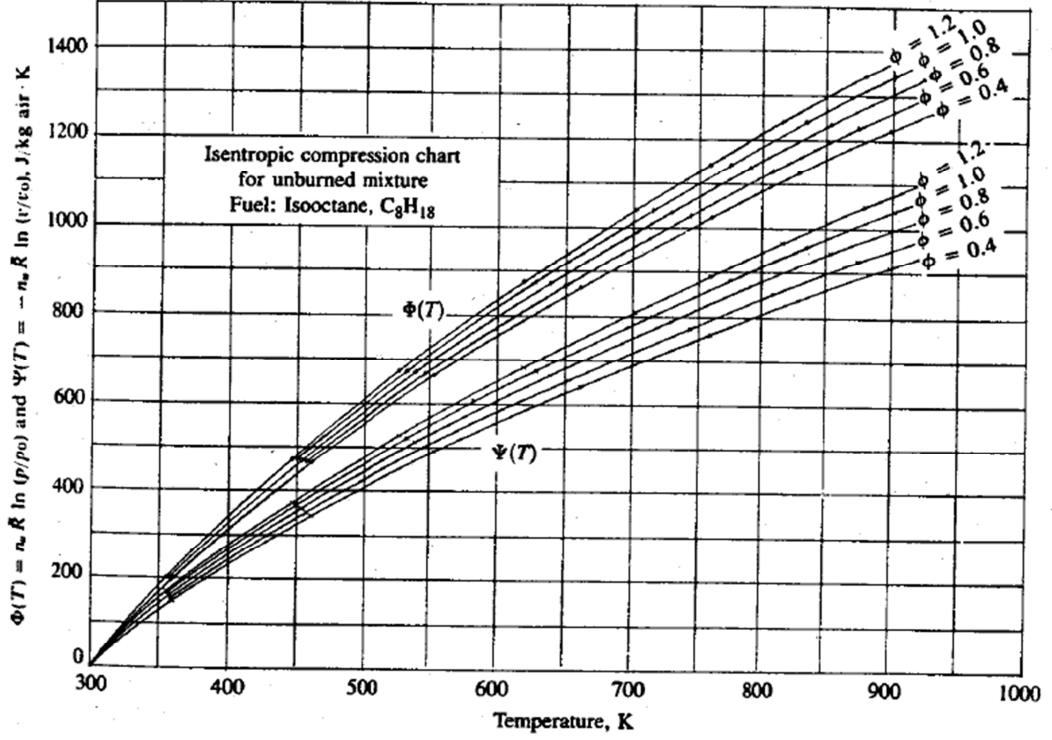
KAYNAKLAR

- [1] Deniz, O., “İçten Yanmalı Motorlar Ders Notları”, İstanbul , 245 s., (2008).
- [2] Yardım, M. H., “Motor Teknolojisi”, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 393s., (2008).
- [3] Kuşhan, B., “Otto ve Dizel Motorları” , Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 273s., (1999). [Grohe, H., “Otto- und Dieselmotoren 8th Ed.”]
- [4] Mazda Online, “History of Rotary”,
<http://www.mazda.com/mazdaspirit/rotary/story/index.html> (23.05.2013)
- [5] Hopkins, G., “Rotary Steam Engine”, USPTO 265.082, Virginia, 3s., (1882).
- [6] Walley, J.J., “Rotary Steam Engine”, USPTO 746.420, Minnesota, 6s., (1903).
- [7] Pence, C., “Rotary Steam Engine”, USPTO 995.173, Indiana, 3s., (1911).
- [8] Well, H. C., “Rotary Internal Combustion Engine”, USPTO 1.229.001, New York, 6s., (1917).
- [9] Bernstein, R. J., “Rotary Piston Engine”, USPTO 3.707.073, California, 6 s., (1972).
- [10] Bodker, A. J., “Rotary Internal Combustion Engine”, USPTO 1.661.593, Louisiana, 7 s.,(1928).
- [11] Akmandor, İ. S., Ersöz, N., “Rotary Vane Engine and Thermodynamic Cycle”, USPTO 2006/0124101.A1, New York, 16 s., (2006).
- [12] Ercan, T., “Thermodynamic and Structural Design and Analysis of a Novel Turbo Rotary Engine”, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 227s., (2005).
- [13] Aran, G., “Aerothermodynamic Analysis And Design Of A Rolling Piston Engine”, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 124s., (2007).
- [14] Okur, M., İçingür, Y., Akmandor, İ. S., “Turbo Döngüsel bir Motorda farklı Buji Konumlarının performansa Etkisi”, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, 4 s., (2009).
- [15] Arabacı, E., “Turbo Döngüsel Bir Motorun Performansının Artırılması”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 101 s., (2009).

- [16] Malkaz, F., “İki Zamanlı Wankel Tipi Döner Pistonlu Motorun Analizi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 105s., (2011).
- [17] Saraçoğlu, F., “İki Zamanlı Wankel Motoru Çevrim Analizinin Geliştirilmesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 69s., (2012).
- [18] Hacisevki, H., “Wankel Rotary Engines”, Doğu Akdeniz Üniversitesi.
- [19] Howstuffworks Online, “How Rotary Engines Work”, <http://auto.howstuffworks.com/rotary-engine.htm> (23.05.2013)
- [20] Ridelust Online, “Happy Birthday Felix Wankel: How Does the Rotary Engine Work, Anyway?”, <http://www.ridelust.com/happy-birthday-felix-how-does-the-wankel-rotary-engine-work/> (23.05.2013)
- [21] Stanislav, P., Kegl, B., “Rotary Engine Design”, Automotive and Transportation Technology Congress and Exposition, (2001).
- [22] Paul, G. A., ”The Effect of Selected Coolants on Metal Temperatures in a Rotary Engine” Automobile Engineering Meeting, (1974).
- [23] Rogers, T. W., Lemke, W., Lefevre, J., Ohzawa, T., “Lubricant Studies in Rotary-Combustion Engines”, Society of Automobile Engineers, (1972).
- [24] Heywood, J. B., “Internal Combustion Engine Fundamentals”, McGraw-Hills, 930s., (1988).

EKLER

EK-1



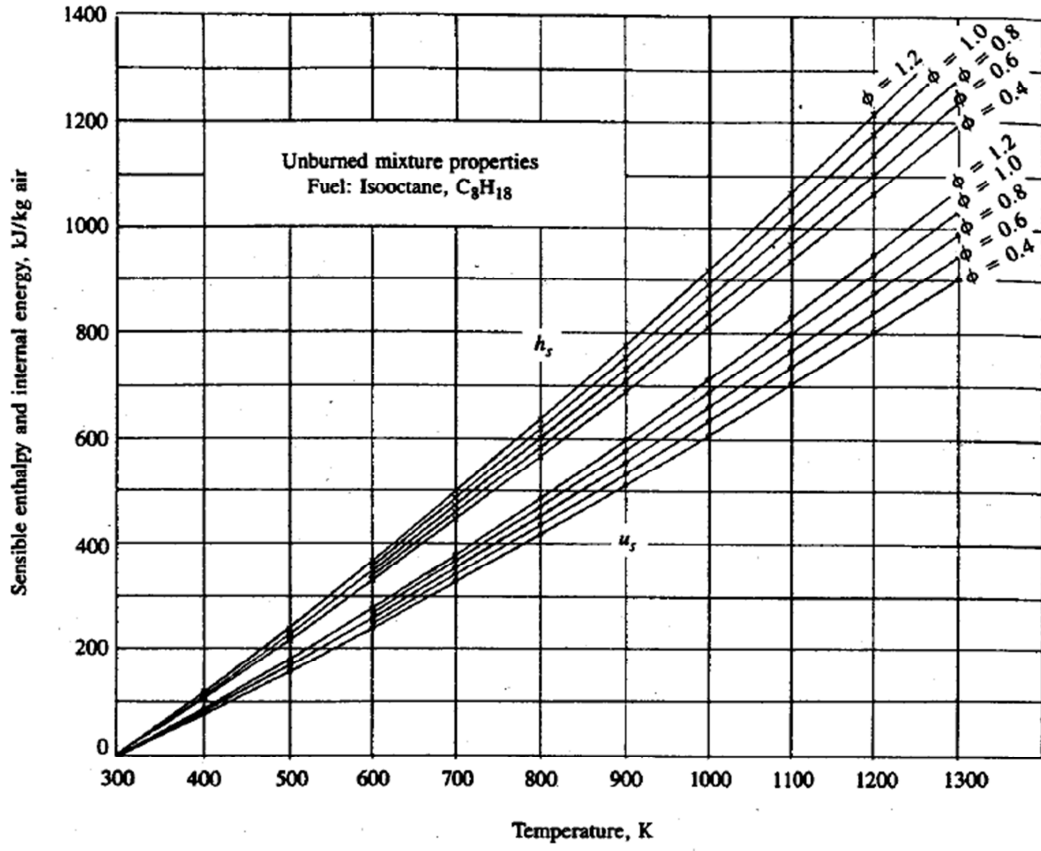
Şekil A.1. Yanmamış İzooktan-hava Karışımları İçin Sıcaklığın Fonksiyonları Cinsinden İzentropik Sıkıştırma Fonksiyonları

EK-2

Equivalence ratio ϕ	(F/A)	Kilograms of mixture per kilogram of air	Moles of mixture per mole of O ₂	Kilomole of mixture per kilogram of air	$n_u \bar{R}_u \uparrow$ J/kg air · K
0.4	0.0264	1.0264	4.805 + 0.112x _b	0.0348 + 0.00081x _b	289
0.6	0.0396	1.0396	4.821 + 0.168x _b	0.0349 + 0.00122x _b	290
0.8	0.0528	1.0528	4.837 + 0.224x _b	0.0350 + 0.00162x _b	291
1.0	0.0661	1.0661	4.853 + 0.280x _b	0.0351 + 0.00203x _b	292
1.2	0.0792	1.0792	4.869 + 0.536x _b	0.0352 + 0.00388x _b	292

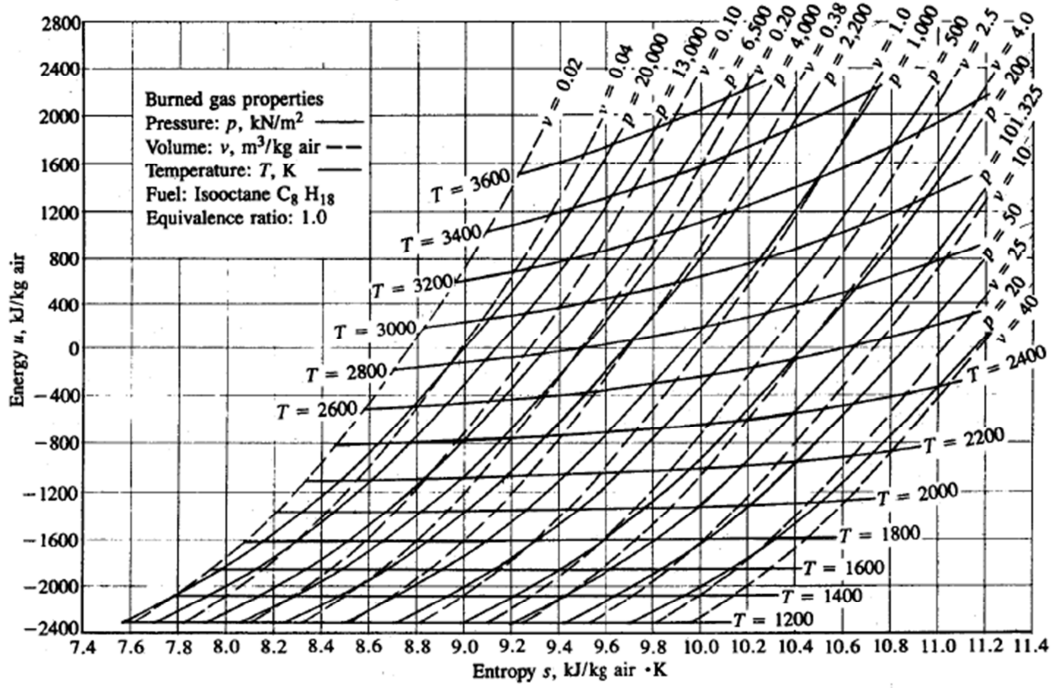
Çizelge A.1. Yanmamış Karışım Bileşenleri

EK-3



Şekil A.2. Yanmamış İzooktan-hava Karışımlarının Sıcaklık Fonksiyonu Cinsinden Duyulur Entalpi ve İç Enerjisi

EK-4



Şekil A.3. Yanmış Gaz Karışımı İçin İç Enerjiye Karşılık Entropi Çizelgesi, İzooktan, Yakıt Fazlalık Katsayısı 1.0

ÖZGEÇMİŞ VE ESERLER LİSTESİ

Adı Soyadı: Ömer Oğuz TEMEL

Doğum Tarihi: 29/06/1985

Öğrenim Durumu: Yüksek Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lise	Fen Bilimleri	Adana Ticaret Odası Anadolu Lisesi	1996-2003
Lisans	Makine Mühendisliği	Süleyman Demirel Üniversitesi	2004-2009
Yüksek Lisans	Makine Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2010-2013

Görevler:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Makine Mühendisi	Dalgıç End. Tes. San. ve Tic. Ltd. Şti.	04/2010-07/2010
Araştırma Görevlisi	Mersin Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü	02/2011-06/2013
Makine Mühendisi	Adana Büyükşehir Belediyesi	06/2013-

ESERLER

1. MUTLU H., TEMEL Ö.O. “Fonksiyon Üreten Krank-Biyel Mekanizmasının Beş Parametrelili Kapalı Çözümü”, 16. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu, Erzurum, 2013