



T.C.

ESKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI

BİTİRME ÖDEVİ

**DÖNER PİSTONLU MOTORLARIN GELİŞİMİ ve WANKEL MOTORUNUN
İNCELENMESİ**

DANIşMAN

Yrd. Doç. Dr. Ramazan UĞURLUBİLEK

HAZIRLAYAN

Necati KARA

151820061088

ESKİşEHİR

2010

KABUL ve ONAY

Necati KARA tarafından hazırlanan ‘**Döner Pistonlu Motorların Gelişimi ve Wankel Motorunun incelenmesi**’ konulu bitirme ödevi sınav komisyonunca incelenip kabul edilmiştir.

..... / /2010

Sınav Komisyonu

Onay

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Ramazan UĞURLUBİLEK

.....

Üye :

.....

Üye :

.....

TEŞEKKÜRLER

Bitirme ödevi süresince hoşgörü ve anlayış çerçevesinde engin bilgilerini, yardımlarını paylaşmasını seven ve bu çalışmanın oluşmasında çok önemli bir yere sahip olduğuna inandığım, çalışma disiplinini her zaman kendime örnek alacağım önerileri ile çalışmamı yönlendiren danışman hocam Sn. Yrd. Dr. Ramazan UĞURLUBİLEK' e

Araştırma aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve sonuna kadar destekleyen Arş. Grv. Dr. Serdar ARAR' a

Projenin uygulanma alanlarının araştırması aşamasında, arşiv bilgilerini ve deneyimlerini paylaşmaktan çekinmeyen Eskişehir Mazda Bayisine en içten teşekkürlerimi sunarım.

Necati KARA

MAYIS -2010

ÖZET

Döngüsel motorların tarihi gelişimi ile bu gelişim çerçevesinde ortaya çıkan farklı tasarımlar ve karşılaşılan zorluklar, şu an üzerinde çalışılan döngüsel motorun geliştirilmesi için oldukça fayda sağlamaktadır. Geliştirme çalışmaları süren döngüsel motor hakkında çok sayıda yazılı ve görsel kaynak olduğu gibi bu konu hakkındaki bilimsel çalışmalar hızla devam etmektedir.

Döner motorların gelişiminin en büyük örneği ve geleceğin motoru olarak düşünülen Wankel motorunun çalışma şartları ele alınmıştır. Pistonlu motorlara göre avantajları ve hala giderilmesi beklenen dezavantajları tespit edilmiş ve örnek bir çalışma olarak günümüz teknolojisi ile üretilen Mazda RX-8 modeli teknik özellikleri incelenmiştir.

Hidrojenin geleceğe damgasını vuracak bir alternatif yakıt sistemi olduğu bilinmektedir. Hidrojenin en yararlı olarak kullanılmasını sağlayacak motorlarda geleceğin motorları olarak görülen Wankel motoru ile nasıl bir yanma gerçekleştireceği incelenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
1. GİRİŞ	1
2. TARİHSEL ARAŞTIRMA	2
2.1. Döngüsel Motorlar	2
2.1.1. Buharla Çalışan Döngüsel Motorlar	2
2.1.2. İçten Yanmalı Çevrimlere Göre Çalışan Döngüsel Motorlar	6
3.PRATİK BİR DÖNER MOTORDAN BEKLENENLER.....	13
4. BİR MUCİT VE MÜHENDİSİN TARİHİ	14
4.1. İlk Wankel Motoru	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
4.2. İdeal Motorun Araştırılması	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
4.3. Çift Rotorludan Çok Rotorluya Geçiş	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
4.4. Düşük Emisyonlu Döner Motorların Gelişimi	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

4.5. Phoenix Projesi	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
4.6. Altı Girişli Sistem	19
4.7. Turbo ve Dinamik Kompresör	20
4.8. Çift Pervaneli Turbo	20
4.9. Çift Yakıt Enjektörü	20
4.10. Tip 20B REW Döner Motoru	21
4.11. Ardışık Çift Turbo	21
4.12. Dünyanın Tek Rotary Motor Fabrikası	21
 5. WANKEL MOTORLARININ ÇALIŞMA PRENSİBİ	 22
5.1. Motor Çalışma Zamanları	24
5.1.1. Emme Zamanı	24
5.1.2. Sıkıştırma Zamanı	25
5.1.3. Ateşleme (İş) Zamanı	25
5.1.4. Egzoz Zamanı	26
5.2. Wankel Motorların Avantaj ve Dezavantajları	26
5.3. Wankel Motorun Karakteristikleri	29
5.4. Wankel Motorların Bakımları	30
6. MAZDA RX-8 MOTOR MODELİNİN İNCELENMESİ	31
6.1. Yapısı	31
6.2. Çalışma Operasyonları	32

6.2.1. Emme Stroku	33
6.2.2. Sıkıştırma Stroku	33
6.2.3. Yanma Stroku	34
6.2.4. Egzoz Stroku	34
6.3. Rotary Motor ile Pistonlu Motor Arasındaki Farklar	34
6.3.1. İç Denge	34
6.3.2. Gaz Alışverişi	35
6.3.3. Tork Karakteri	35
6.3.4. Yağlama	35
6.3.5. Kayma Hızı	36
6.3.6. Boyut	36
6.3.7. Yağlama sistemi	37
6.3.7.1. Eksantrik Şaftı ile İlgili Kısımların Yağlanması	37
6.3.7.2. Kaygan Yüzeylerin Yağlanması	37
6.3.8. Yağlama Şekli	38
6.3.9. Yağ Ölçümü	38
7. HİDROJEN–WANKEL MOTOR İLİŞKİSİ	39
7.1. Hidrojenli Miata Motorun Dezavantajları	40
8. SONUÇ	41

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1. Dunn'un buharlı döngüsel motor tasarımı	2
Şekil 2. Cornelison'un buharlı döngüsel motor tasarımı	3
Şekil 3. Henkel'in buharlı döngüsel motor tasarımı	4
Şekil 4. Hummel'in buharlı döngüsel motor tasarımı	5
Şekil 5. Granberg'in buharlı döngüsel motor tasarımı	5
Şekil 6. Petty'nin pistonlu içten yanmalı döngüsel motor tasarımı	6
Şekil 7. Hogguer in içten yanmalı döngüsel motor tasarımı	7
Şekil 8. John Knee'nin eliptik rotorlu motor tasarımı	8
Şekil 9 Eells'in iki parçalı rotora sahip döngüsel motor tasarımı	9
Şekil 10. Rotary Vee motorunun genel görünümü	10
Şekil 11. Crutchfield'in döngüsel motor tasarımı	11
Şekil 12. Person'un döngüsel motor tasarımı	12
Şekil 13. Aksoy'un eliptik motor tasarımı	13
Şekil 14. NSU- DKM ilk rotary motor tipi	16
Şekil 15. Mazda tarafından ileri teknoloji ile geliştirilmiş wankel motoru	21
Şekil 16. Bir Wankel motorunun parçaları	22
Şekil 17. Rotor yandan ve önden görünüşü	22
Şekil 18. Wankel motor parçaları	23

Şekil 19. Emme zamanı	24
Şekil 20. Sıkıştırma zamanı	25
Şekil 21. Ateşleme (iş) zamanı	25
Şekil 22. Egzoz zamanı	26
Şekil 23. Wankel ile pistonlu motor evrelerinin karşılaştırılması	29
Şekil 24. Wankel motorunda turbo sistemi	30
Şekil 25. Wankel motor sökülmüş halde parçaları	31
Şekil 26. Mazda RX-8 modelinin motor montaj elemanları	32
Şekil 27. Rotor hareketinin numaralandırılması	33
Şekil 28. Rotary motoru ve Pistonlu motoru oluşturan parçalar	37
Şekil 29. Pistonlu motor ve Rotary motor	38
Şekil 30. Hidrojen gazının wankel motora uygulanması	39

1.GİRİŞ

Dünya motor sanayisine yepyeni bir çalışma prensibi ve imalat tekniği getiren 4 zamanlı döner pistonlu motora "Rotary Combustion Engine" denilmekte olup, (RC engine) Rotary motor ismi ile tanınmaktadır.

1950 senesi sonları ile 1960 senesi başı arasında motor sanayisinde içten yanmalı motorlar arasında büyük önem kazanan döner pistonlu motorların geliştirilmesinde NSU motoren werke A.G. ve Wankel-NSU Curtiss-Wright Corporation şirketleri büyük rol oynamıştır.

İçten yanmalı döner pistonlu motorlar yeni bir çalışma sistemine sahip olduğundan birçok sanayi teşekkülleri tarafından pratik olmayacağı, çeşitli arızalar meydana getireceği, ekonomik olmayacağı kanısı ile karşılanmıştır. Fakat aynı seneler içinde Japonya'da ve Almanya'da yapılan geliştirmeler sonucunda problemler ortadan kaldırılmış ve bugünkü modern yapısı ve çalışma prensibi ile otomotiv sanayinde yerini bulmuştur.

Amerika’da ise motorlu vasıtaların hava kirlenmesini önlemek maksadı ile az kurşunlu veya kurşunsuz yakıt kullanılması ve ufak vasıta tipine olan ilginin artması sonucu döner pistonlu motorlar imalini hızlandırmıştır.

Hava kirlenmesinde (Wankel) döner pistonlu motorların egzoz emisyonu sonucu nitrojen oksit miktarının az olması sebebi ile bu motorlar geliştirilmiş, aynı zamanda çeşitli kompresyon çeşitlerinde imal edilerek alçak ve yüksek oktanlı benzinle kullanılacak tipleri otomotiv sanayisinde kullanılmaya başlanmıştır. Aynı zamanda döner pistonlu motorlar bugüne kadar kullanmakta olduğumuz ve tanıdığımız pistonlu motorlara nazaran çalışma prensibine ve imalat tekniği bakımından çok farklılık yaratmaktadır.

Motor ve araç teknolojisi açısından alternatif olarak seçilen yakıtın içten yanmalı motorlarda kullanımı, depolanması, doğal dengenin korunması ve fosil yakıt türleri ile yarışabilir karakteristiğe sahip olması gerekir. Hidrojenin birçok yönüyle ekolojik açıdan avantajlı olduğunu rahatlıkla söyleyebiliriz. İkincil bir enerji kaynağı durumunda olan hidrojenin değişik ve yenilenebilir birincil enerji kaynakları ile elde edilebilir olması, bu yakıt türünü geleceğin en önemli enerji taşıyıcısı durumuna ulaşacağı bilinmelidir.

Hidrojenin en yararlı olarak kullanılmasını sağlayacak motorlarda geleceğin motorları olarak görülen Wankel motorları olabileceği düşünülmektedir. Wankel motoru ele alındığında, hidrojen ve Wankel’in birbirine çok uygun olduğu görülmektedir.

2. TARİHSEL ARAŞTIRMA

2.1. Döngüsel Motorlar

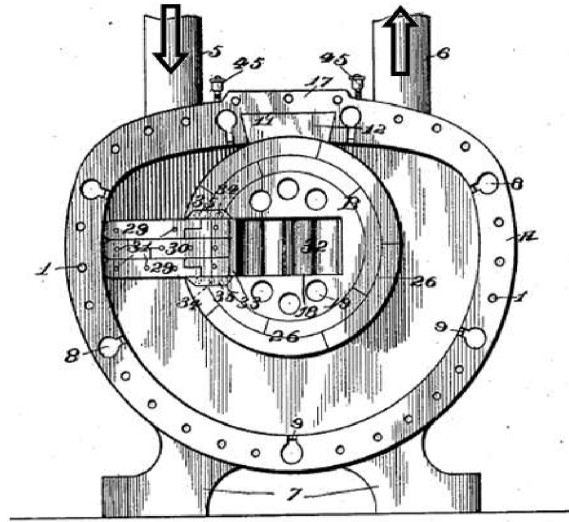
Buhardan güç elde edilmesinin öğrenilmesinden bugüne kadar hayata geçirilmeye çalışılmış yüzlerce döngüsel motor tasarımı vardır. Bu tasarımların bir kısmı belirli endüstriyel alanlarda başarı sağlayarak günümüze kadar gelmiş ve bir kısmı ise birtakım değişiklikler yapılarak farklı alanlarda kullanılmıştır. O günün şartlarına göre kullanım alanı bulamamış olan tasarımlar ise günümüzde halen geliştirilmeyi bekleyen tasarımlar arasındadır.

Sözü geçen motorlar genellikle buharla çalışan motorlardır ve tasarımlar hep buhar çevriminin çalışma prensibine göre düzenlenmiştir. Daha sonraları içten yanmalı motorların geliştirilmesiyle döngüsel motorlar konusunda da ilerlemeler elde edilmiştir.

2.1.1. Buharla çalışan döngüsel motorlar

Geçmişten günümüze kadar buharla çalışan birçok döngüsel motor tasarımı ile karşılaşilmektedir. Bu tasarımlar içerisinde tarih boyunca ön plana çıkmış, patentli ve endüstride farklı kullanım alanları bulmuş olan tasarımlara bu bölümde yer verilmektedir.

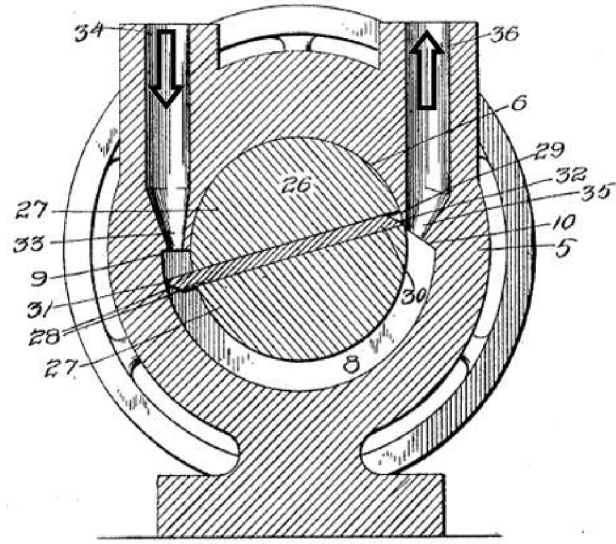
1902 yılında Hugh Thomas Dunn'un tasarladığı buharlı döngüsel motorda, rotora yerleştirilmiş bir palet tasarımı bulunmaktadır. Palet, arkasına yerleştirilen yaprak yaylar yardımıyla, gövde iç yüzeyine sürekli temas etmektedir. Yapısından dolayı motorda büyük bir genişleme evresi oluşmaktadır (şekil 1).



Şekil 1. Dunn'un buharlı döngüsel motor tasarımı [1]

Şekil 1'de palet "29" ve "30" numaralı parçalarından oluşmaktadır. "31" ile gösterilen kanallar paletin yağlama kanallarıdır. "32" ile gösterilen yaprak yaylar, paleti gövde iç yüzeyine doğru itmektedir. "5" ile gösterilen kanaldan giren buhar, "26" numaralı rotorun hareketi ile "6" ile gösterilen çıkış kanalına doğru sürüklenmektedir [1].

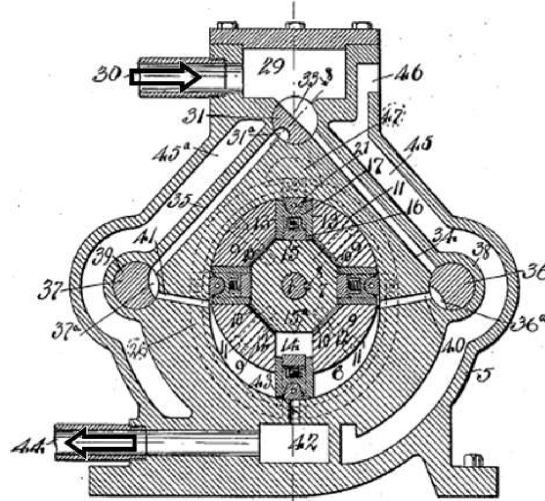
Clarence M. Cornelison'un 1905 yılında tasarladığı buharlı döngüsel motorda uçları açılı olarak kesilmiş bir palet bulunmaktadır. Silindirik rotor ve palet geometrisine uygun stator (gövde) bulunmaktadır. Basit yapısıyla üretimi oldukça kolaydır (şekil 2).



Şekil 2. Cornelison'un buharlı döngüsel motor tasarımı [2]

Şekil 2’de görüldüğü gibi “30” numaralı palet “26” ile gösterilen rotora yataklandırılmıştır. “34” ve “36” numaralı giriş ve çıkış kanallarının gövdeye açılan uçları daraltılmıştır. Giriş kanalından giren buhar “8” numaralı hacme dolarak çıkış kanalına doğru sürüklenmektedir. Tasarım, birbirine 90° açı ile yerleştirilmiş iki palet kullanılarak da düzenlenebilmektedir [2].

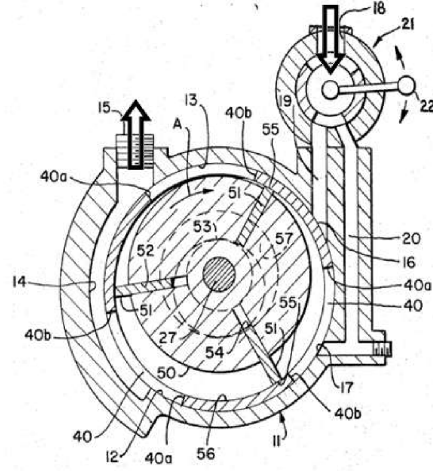
Adolf W. Henkel’in 1907’de tasarladığı motor, eksenden kaçık olarak yerleştirilmiş bir rotor ve iki adet paletten oluşturulmuştur. Paletler, kapak üzerinde bulunan kanal sayesinde herhangi bir yaylı sisteme ihtiyaç duymadan çalışabilmektedir (şekil 3).



Şekil 4. Hummel'in buharlı döngüsel motor tasarımı [4]

Şekil 4'te "30" ile gösterilen kanaldan giren buhar "36" ve "37" numaralı valflerin konumuna göre "34" ya da "35" numaralı kanallardan gövdeye ulaşmaktadır. Buhar, rotorun hareketi sayesinde "44" ile gösterilen çıkış kanalından dışarıya atılmaktadır. Paletler "26" ile gösterilen ray üzerinde hareket etmektedir. Motorun üstünde bulunan "31" numaralı yönlendirici valfi, motorun dönüş yönünü belirlemektedir ve bir kol vasıtasıyla elle kontrol edilmektedir. Valfe bağlı bir kol yardımıyla sağa veya sola dönüş sağlanabilmektedir. Diğer iki yönlendirici valf ise içeriye alınan buharın giriş zamanlamasını ayarlamaktadır [4].

Albert J. Granberg'in 1974 yılında patentini aldığı buharlı döngüsel motor tasarımında, eksenden kaçık bir rotor üzerine konumlandırılmış üç adet palet bulunmaktadır. Paletler rotorun üzerine yataklandırılmıştır (şekil 5).



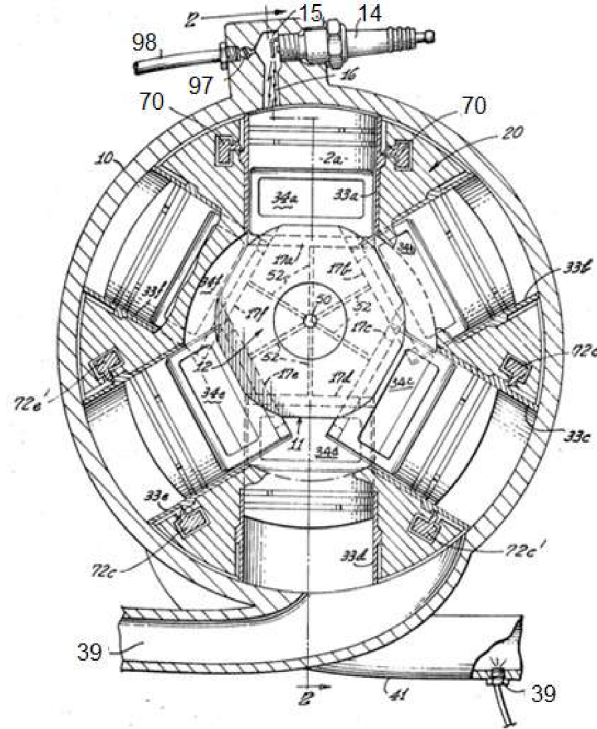
Şekil 5. Granberg'in buharlı döngüsel motor tasarımı [5]

Şekil 5'de "18" numaralı kanaldan motor içerisine giren buhar, rotor üzerinde bulunan "51" ile gösterilen paletler arasında kalan hacme dolmaktadır. Rotor, buhar basıncı nedeniyle dönmeye başlamakta ve buhar "15" numaralı çıkış kanalından dışarıya atılmaktadır. Giriş kanalının üzerinde bulunan "21" numaralı valf, "22" ile gösterilen kol vasıtasıyla yönlendirilerek motor içerisine gönderilecek buharın miktarını ayarlamaktadır [5].

2.1.2. İçten Yanmalı Çevrimlere Göre Çalışan Döngüsel Motorlar

Buharlı döngüsel motor tasarımlarının yanı sıra içten yanmalı döngüsel motor tasarımlarıyla ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Bu konu ile ilgili çalışmalar günümüzde de devam etmektedir.

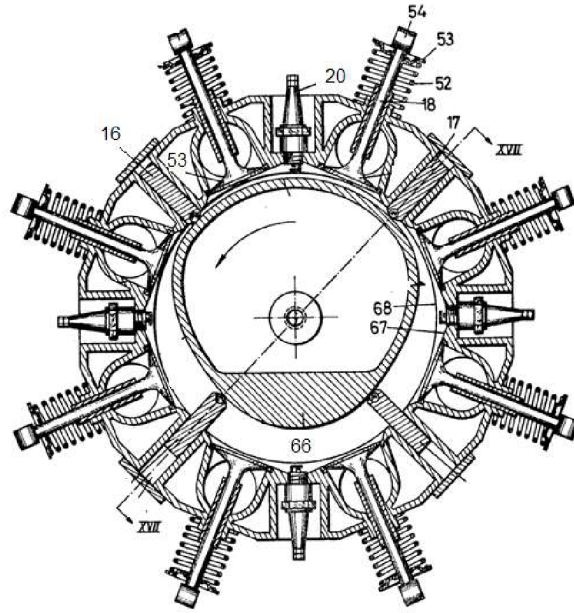
1971 yılında Petty'nin tasarladığı içten yanmalı döngüsel motorda, gövde merkezinden kaçık bir mil üzerine yerleştirilmiş pistonlar bulunmaktadır. Bu pistonların silindir içerisindeki hareketi, gövde ekseninden kaçık olan bir mil ile sağlanmaktadır (şekil 6).



Şekil 6. Petty'nin pistonlu içten yanmalı döngüsel motor tasarımı [6]

Şekil 6'da gösterildiği gibi yakıt veya yakıt-hava karışımı "98" ile gösterilen kısımdan geçerek, "97" numaralı enjektöre gelmektedir. Enjektörden "15" numaralı yanma odasına püskürtülen karışım, piston üst konumdayken "14" ile gösterilen buji ile ateşlenmektedir. Sırası gelen piston üst konuma geldiğinde ateşleme tekrarlanmaktadır. Yanmanın etkisiyle piston aşağıya doğru hareket ederken rotor dönmektedir. "39" numaralı kanaldan yanmış egzoz gazı dışarıya atılmaktadır. "70" ile gösterilen ağırlıklar, motor hızına bağlı olarak atalet kuvvetlerinin etkisiyle konumlanarak, yanmanın olduğu pistonun üzerindeki hacmi değiştirmektedir. Motor hızı arttıkça, ağırlıklar pistondan uzaklaşmakta ve bu sayede pistonun üzerindeki yanma hacmi artmaktadır [6].

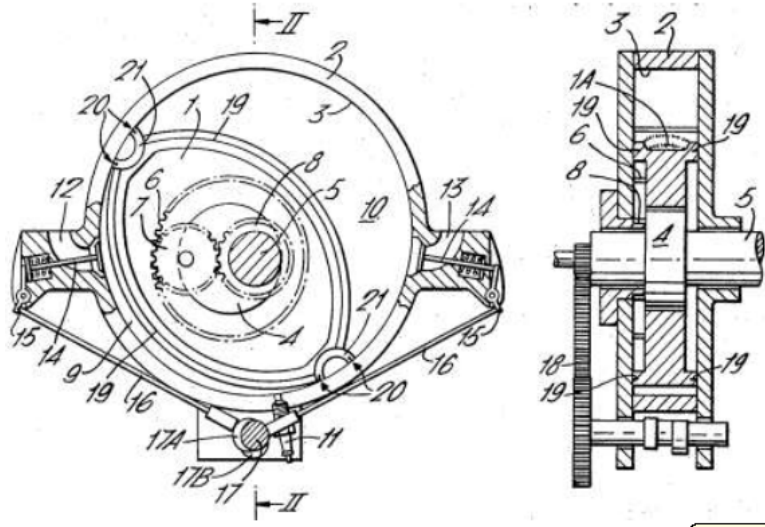
1971'de Hogguer'in tasarlamış olduğu içten yanmalı döngüsel motor gövdeye konumlandırılmış palet grubu, valf hareket mekanizmaları ve asimetric rotordan oluşmaktadır. Her iki palet arasına emme ve egzoz valfi ile buji yerleştirilmiştir (şekil 7).



Şekil 7. Hogguer in içten yanmalı döngüsel motor tasarımı [7]

Şekil 7’de gösterildiği gibi ortada ana mil üzerindeki “66” ile gösterilen asimetric döner piston ve 90° açılı ile yerleştirilmiş “16” numaralı paletler sayesinde yüksek ve düşük basınçlı bölgeler oluşturulmaktadır. “53” ile gösterilen parçalar emme/egzoz valfleridir. Emme valfinden içeriye alınan karışım, “20” ile gösterilen buji sayesinde tutuşturularak yanma işlemi sonrasında egzoz gazları, egzoz valfinden dışarıya atılmaktadır [7].

Knee’nin 1974’te yaptığı tasarımda ana mil üzerinden bir dişli sistemle hareket alan mil ve merkezden kaçık olarak yerleştirilmiş eliptik rotor parçaları bulunmaktadır. Emme ve egzoz valflerini yönetmek için bir kam mekanizmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Mil ile eliptik rotor arasındaki dişli mekanizması ile mil, rotordan iki kat daha hızlı hareket etmektedir. Valflerin bağlı olduğu kam mili ile ana mil arasında dört kat hız farkı oluşturacak şekilde redüksiyon dişlileri mevcuttur. Eliptik rotor geometrisinden dolayı rotorun her devrinde iki kez ateşleme meydana gelmektedir. Buji ile ateşlemeli olarak tasarlanan motor, sıkıştırma ateşlemeli motor olarak da düzenlenebilmektedir (şekil 8) [8].



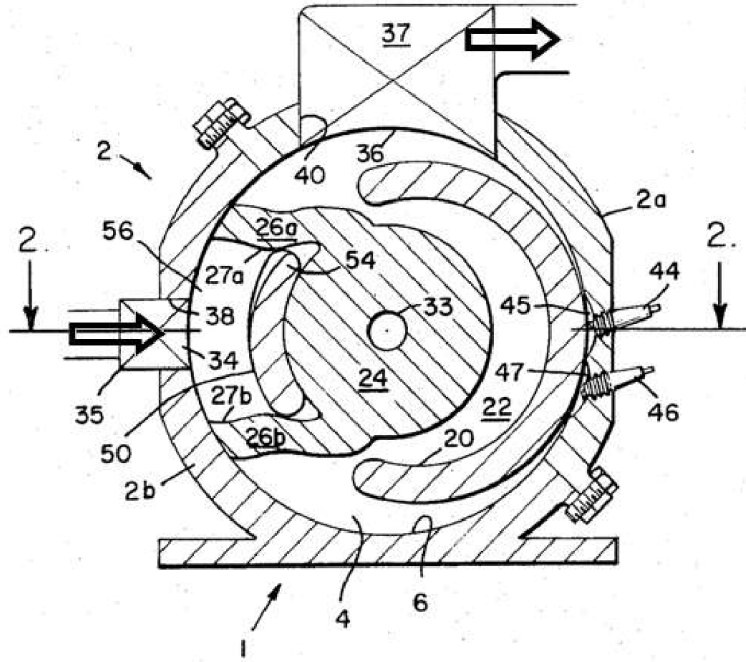
Şekil 8. John Knee'nin eliptik rotorlu motor tasarımı [8]

Şekil 8'de "20" ile gösterilen hilal şeklindeki parçalar gövde iç yüzeyini süpürerek hareket etmektedir. "19" numaralı eliptik rotorun geometrik eksikliği "20" ile gösterilen hilal şeklindeki parçalar ortadan kaldırmaktadır. Motorun ilk hareketinden sonra "17" numaralı kam mekanizmasıyla bağlantılı olan "16" ile gösterilen kol ile "15" numaralı manivelaya hareket iletilerek "14" numaralı valf açılmaktadır. "12" kanalından gelen yakıt-hava karışımı, iç hacme alınmaktadır. Rotorun dönüş hareketiyle içeriye alınan karışım sıkıştırılmakta ve "11" ile gösterilen buji ile ateşlenmektedir. Yanmış egzoz gazları "14" numaralı valf yardımıyla "13" ile gösterilen kanaldan dışarıya atılmaktadır. Rotorun içyapısında bir dişli mekanizması bulunmaktadır. Rotorun hareketi, "6", "7" ve "8" ile gösterilen dişliler yardımıyla "5" numaralı ana mile iletilmektedir [8].

Knee'nin tasarımında dişli ve yay mekanizması ile çalışan düzenekler kullanılmaktadır. Bu mekanizmalar nedeniyle tasarım daha fazla karmaşık hale gelmekte ve rotorun eliptik geometrisi ve bu eliptik tasarımın üzerinde bulunan küçük parçalar üretim maliyetlerini de arttırmaktadır.

Thomas Eells'in 1974'te patentini aldığı döngüsel içten yanmalı motor tasarımı, değişik geometrili bir rotor yapısına sahiptir. Tasarımda palet ve yay gibi parçalar bulunmamaktadır.

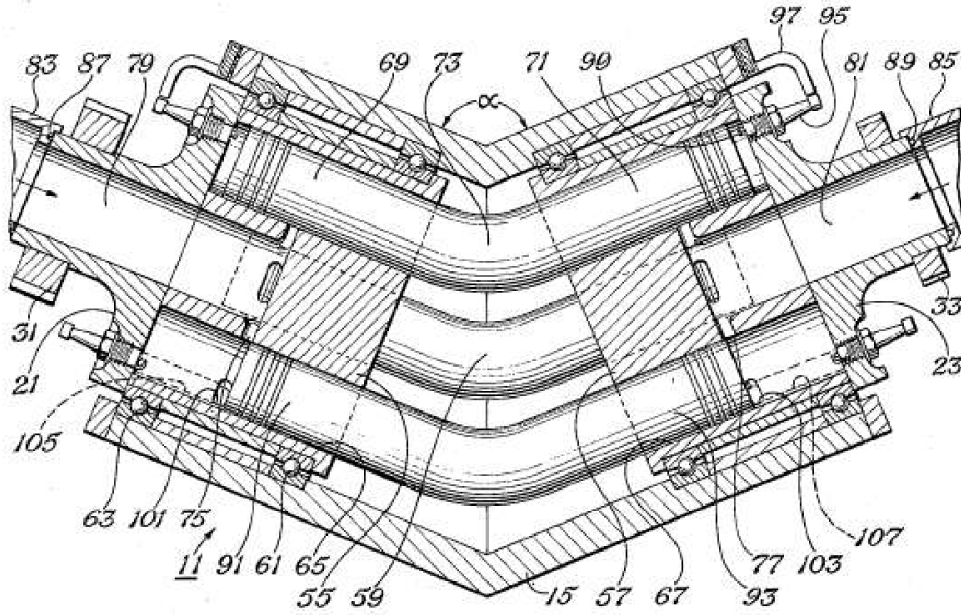
Ancak üretimi zor olan parçalar mevcuttur. Ateşleme iki buji ile yapılmaktadır. Motorun yük ve motor hızı koşullarına bağlı olarak, bujiler birbirlerine göre avanslı olarak çalışabilmektedir (şekil 9).



Şekil 9 Eells'in iki parçalı rotora sahip döngüsel motor tasarımı [9]

Şekil 9'da gösterilen "35" numaralı giriş kanalından geçen yakıt-hava karışımı "56" numaralı hacmi doldurmaktadır. Ana mil üzerine direkt olarak bağlantılı olan "24" numaralı rotoru dönerken, "20" ile gösterilen ana mil ekseninden kaçık olarak yerleştirilmiş rotora da hareket vermektedir. "56" numaralı hacim, iki rotor arasındaki eksenel kaçıklıktan dolayı "44" ve "46" ile gösterilen bujiler ile karşılaştığında küçülmüş olur. Sıkıştırılan yakıt-hava karışımı bujiler ile ateşlenir. Yanmış gazlar "37" numaralı kanaldan dışarıya atılmaktadır [9].

1970 yılında çalışmaları başlayan ve halen NASA tarafından çalışmaları devam eden "Rotary Vee" motoruna ait birçok kayıtlı patent bulunmaktadır. "V" olarak şekillendirilmiş bir piston yapısı vardır. Motor iki zamanlı veya dört zamanlı olarak kullanılacak şekilde tasarlanmıştır (şekil 10).

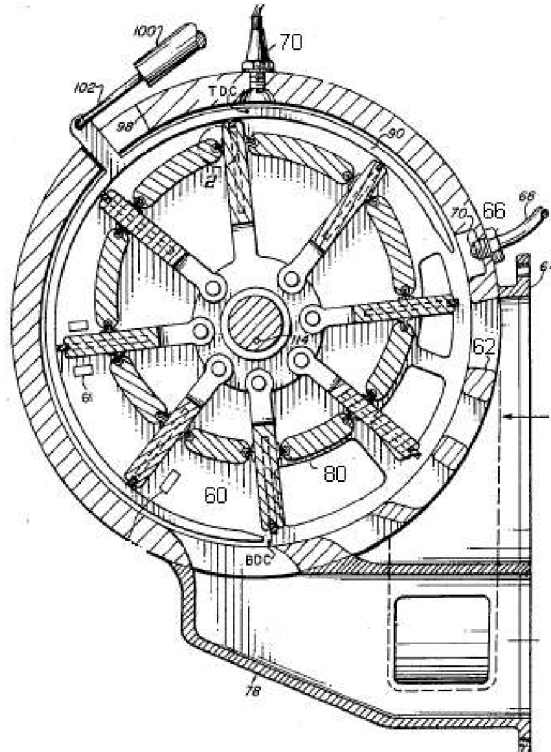


Şekil 10. Rotary Vee motorunun genel görünümü [10]

Şekil 10’da “ α ” ile gösterilen açı tasarım gereği, 90° ’den büyük 180° ’den küçük olmak zorundadır. Bu açının değişimi pistonların çalışma kurs uzunluklarını doğrudan etkilemektedir. “79” ve “81” ile gösterilen kanallardan yakıt hava karışımı sırası gelen pistonlara iletilmektedir. “91” ve “93” ile gösterilen parçalar sol ve sağ pistonlar olup birbirlerine bağlıdırlar. Piston “ α ” açısını oluşturduğu yerden uzaklaşırken yakıt hava karışımı silindir içerisine alınmaya başlamaktadır. Piston alt ölü noktaya geldiğinde emme işlemi sona ererek sıkıştırma işlemi başlamış olur. Bu esnada emme portu kapanmış durumdadır. Sıkıştırma işleminin ardından “95” numaralı bujiler yardımıyla ateşleme gerçekleştirilmektedir. Egzoz işlemi “75” ve “77” ile gösterilen egzoz portları ile yapılmaktadır. İşlemler, sırası gelen her piston ikilisi için aynı şekilde devam etmektedir [10.11.12].

Edward A.Will ve arkadaşları 1995 yılında, 12 silindirli bir Rotary Vee motoru için kinematik analiz, tasarım parametreleri, kritik basınçlar ve tork gibi yapısal formüller elde etmişlerdir. Yapılan çalışmada, tasarımın verimliliğini arttıracak ve yakıt ekonomisi sağlayacak eşik değerlerin elde edilmesiyle, motor tasarımı üzerinde yapılacak çeşitli düzenlemelere de yer verilmiştir [28].

Crutchfield'in 1980 yılındaki döngüsel motor tasarımı, bir merkez etrafına sıralanmış çok sayıda palet ve bu paletlere yataklık eden eksenden kaçık bir bilezikten oluşmaktadır. Tasarımın en büyük özelliği, enjeksiyon ve yanma zamanlamasının uygun hale getirilerek, aynı motor üzerinde farklı hacimde yanma odalarının oluşturulabilmesidir (şekil 11).



Şekil 11. Crutchfield'in döngüsel motor tasarımı [14]

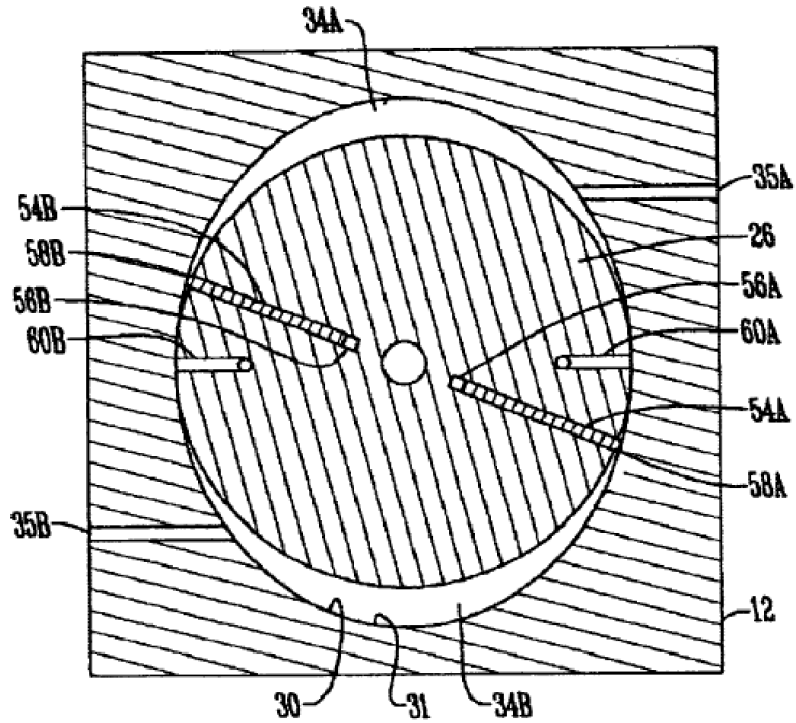
Şekil 11'de paletlere yataklık eden bilezikteki paletlerin yuvaları arasındaki mesafeler birbirlerinden farklıdır. Bu durum iki palet arasında kalan hacmin büyüklüğünü etkilemektedir. "62" ile gösterilen kısım hava girişi ve "66" numaralı kısım ise yakıt enjektörüdür. Yakıt ve havanın giriş zamanlaması değiştirilerek istenilen iki palet aralığında "70" ile gösterilen buji yardımıyla ateşleme yapılmaktadır. Yanmış egzoz gazları yaklaşık 180° genişleme zamanından sonra "80" numaralı kanaldan dışarıya atılmaktadır [14].

Person'un 2005 yılında patentini aldığı döngüsel motor tasarımı çok basit bir yapıya sahiptir. Tasarlanan motorda iki adet rotor bulunmaktadır (şekil 12). Rotorlar oval bir gövde

içerisinde hareket etmektedir. Birinci rotorun bulunduğu gövde emme ve sıkıştırma, diğeri ise ateşleme ve genleşme zamanlarını gerçekleştirmektedir.

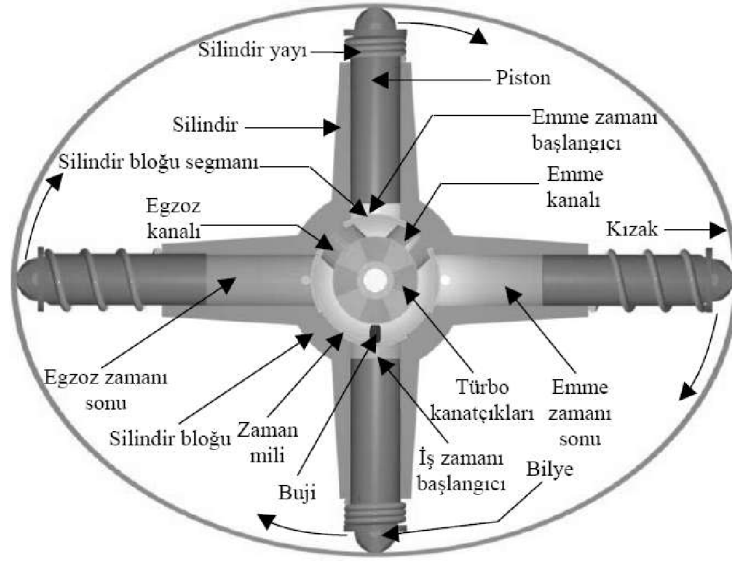
Şekil 12.
Person'un
döngüsel motor
tasarımı [15]

Şekil
12'de Person
motorunun bir
kademesi
görölmektedir.
Her iki rotor da
benzer



geometriye sahiptir. İki rotor arasında 90° açı farkı bulunmaktadır. “35a” ve “35b” ile gösterilen kanalarından geçen hava “34a” ve “34b” numaralı hacimlere dolmakta ve rotorun hareketiyle birlikte içeriye dolan hava sıkıştırılmaktadır. “60a” ve “60b” ile gösterilen kanallar, iki gövde arasında bulunan kapak üzerindeki deliklerle karşılaştığı anda diğeri gövde ile sıkıştırılan hava birleştirilmektedir. Daha sonra basınçlanmış hava yakılarak egzoz kanalından dışarıya atılmaktadır. Her bir rotorda aynı anda iki işlem gerçekleşmektedir [15].

Eliptik motor Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi laboratuvarlarında Aksoy, N. tarafından geliştirilmiştir. Silindirlerin içinde bulunan pistonların eliptik biçimdeki kızığın iç kısmındaki hareketleri ile yanma odası oluşturması ve burada sıkıştırılan yakıt-hava karışımının yakılması ile ortaya çıkan basınç sayesinde pistonların silindirlerin içinden çıkarken silindir bloğunu döndürmeleri esasına dayanmaktadır (şekil 13).



Şekil 13. Aksoy'un eliptik motor tasarımı [16]

Şekil 13'de görüldüğü gibi oluşan basınç, dönüş süreci içinde kayıttın eksenine değişken açılarda etki ettiğinden, pistonlara bağlı olan bilyeler döner. Böylece silindir bloğu da kendi eksenini etrafında döner. [16]

3. PRATİK BİR DÖNER MOTORDAN BEKLENENLER

Günümüze kadar çok çeşitli döner motor geliştirilmiştir. Bir döner motor içten yanmalı motorların niteliklerini barındırmasına rağmen tam anlamıyla ne bir içten yanmalı motor olarak ne de bir pratik motor olarak kendini kanıtlayamamıştır. Bir döner motoru elverişli bir içten yanmalı motor haline getirmek için aşağıdaki ölçütleri göz önünde bulundurmak gerekir. [17]

- ✓ Her hareketli parçanın dönmesi gerekir. Bir mekanizmanın yeterli piston ataletine ulaşması mekanik sesi ve titreşimi artıracaktır aynı zamanda yüksek hız ve devirde çalışmayı sağlayacaktır. Bundan dolayı giriş ve çıkış valfları gerektiren mekanizmalarda yalpalamalı rotor döner hareketi istenilmeyen bir durumdur.

- ✓ Çalışma odasının gaz sızdırmaz contası üç boyutlu emniyetli olmalıdır. Döner motorun gaz sızdırmazlık mekanizması üç boyutlu birbirinden ayrı bağlanarak oluşturulmalıdır. Ne yazık ki savunulan çoğu fikirler arasında bu önemli husus dikkate alınmamaktadır.
- ✓ Gaz giriş ve çıkış yerlerinin uygun bir yerde bulunması gerekir. Mekanizma bütünüyle ele alındığında giriş ve çıkış portlarının zamanında açılıp kapanması yüksek hız ve yüksek devir elde edilmesini sağlar. Döner motor üzerinde savunulan birçok fikirler arasında bu önemli husus dikkate alınmamaktadır.
- ✓ Mekanizmanın her bir elemanı yüksek basınç ve yüksek hıza karşı dayanıklı olmalı ve bu özellikleri sağlayabilecek malzemelerden seçilmelidir. Ayrıca bu mekanizma elemanlarının yüksek basınç, yüksek kayma hızı ve yüksek ısı yüküne maruz kalmaları nedeniyle uygun tolerans boyutlarında ve şeklinde seçilmelidir.
- ✓ Yeterli soğutma ve yağlanma sağlanmalıdır.

4. BİR MUCİT VE MÜHENDİSİN TARİHİ

Dr. Felix Wankel 13 Ağustos 1902- 1988 tarihleri arasında yaşamış efsanevi bir mühendistir. Geleneksel yapıya inanmayan Felix, birkaç modern çağ mühendisine yaptığı motorla en iyi cevabı vermiştir. Umut verici şey şu ki bu hikaye gerçekten sona ermedi ve bugün bile tüm dünyada yüzlerce insan hala bu motoru daha gelişmiş bir yapıya kavuşturmak için çok yoğun bir çalışma sergiliyorlar.



Wankel motora olan büyük ilgiden dolayı yüksek bütçeli yarış takımları yüksek performanslı yarış motorlarında kullanmak üzere zor aşınan materyaller geliştirmektedir.

Wankel 12 yaşındayken 1. Dünya Savaşı sırasında babasını kaybetti. Babasından kalan parayı 1920'lerdeki büyük ekonomik kriz nedeniyle kaybetti. Bu olay hevesli Wankel'in bir teknik lisede okumasına ve bir mühendislik işinde çıraklık yapmasına engel olamamıştır. Kişisel olarak Wankel okulun sıkıcı olduğunu düşünüyordu.

Felix wankel

Wankel 1921'den 1924'e kadar Heildelberg'de üniversite kütüphanesinde çalıştı. Genellikle bilim yayınlarıyla ilgili bağlantılar kurdu. Bu sırada bir böbrek rahatsızlığı geçirdi ve baskı odasından depoya transfer oldu ve burada çok paraya ihtiyaç duymadan birçok kitaba ulaşmanın yolunu buldu. Bunu alışılmışın dışında düzene koyduğu kitaplarla, kitap yığınının istikrarını maksimize etti. Aklını kullanarak etrafında gördüklerini daha iyi bir yolla yapmayı bilmiştir. Bu pozisyon ona limitsiz araştırma yapmak için gerekli olan materyali sağladı.

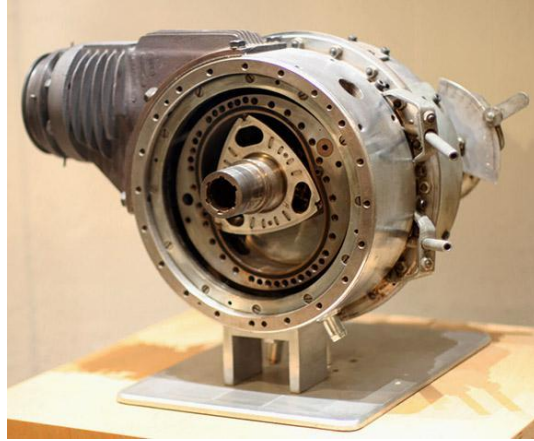
Munich üniversitesinde mühendislik bilimine katkılarından dolayı 1969 yılında fahri doktora ünvanı almıştır. 1924 yılında üniversite kütüphanesinde çalışırken aynı zamanda rotary motorları üzerinde çalışmaya başladı. Bu çalışma onun yaşamının en üretken bölümünde başladı ki o bu zaman zarfında çeşitli insanlar tarafından başka işlerde çalıştırılabilirdi. Ancak o kendini bizim akıllarımızda bir dahi olarak kazıtacak olan araştırma ve çalışmalarına adadı. Karşılaştığı olumsuzluklar sebebiyle araştırmasını yarıda kesmeyip tam tersine büyük bir hevesle devam etmiştir ve bu, titiz çalışmaların sonunda başarıya ulaşmıştır.

İkinci Dünya savaşı yılları Hitlerin kendi savaşı için çaba sarf ettiği sıralarda Wankel rotary disk tip valfi uçaklarda ve torpido motorlarında kullanılmak üzere geliştirildi. Rotary motor projesi savaş sebebinden dolayı o zamanlar rafa kaldırıldı. Sonra Wankel BMW, Daimler-Benz, Junker Aircraft ve NSU'nun da bulunduğu birçok firmayla birlikte çalıştı. Bu zaman da başkaları için profesyonel olarak değişik kompresörler ve pompalar üzerinde çalışıyordu. Ama en önemlisi DKM (Drehkolben motor - Rotary piston motor) un ilk çizimleri oluşmaya başlamıştı. 1957 başlarında bu DKM motoru ilk defa çalıştı. Aylarca süren çalışmaların ardından iki saatlik bir testi başarıyla tamamladı. Sonunda 20 beygirin biraz üzerinde bir güç alınabiliyordu.

Wankel geri kalan hayatını sessiz bir şekilde yaşarken hala araştırması için kendi kurduğu Swabla'daki atölyesinde çalışıyordu. 70'lere gelindiğinde kendi rotary motorlu NSU Ro 80 marka abrasıyla oldukça hoşnut bir şekilde doymuştu. Felix Wankel 9 Eylül 1988 yılında Batı Almanya, Lindau da yaşamını yitirdi. [18]

4.1. İlk Wankel Motoru

NSU, Rotary motorunun çalışmalarını bitirdikten sonra wankel tipi kompresörler üzerinde çalışmaya başladı. Bu kompresörle NSU motoru 50 cc kategorisinde yeni bir dünya rekoru kırdı. Son hızı 192,5 km/h dı. 1957'de Wankel ve NSU DKM tipi rotary motorunun bir prototipini bitirdiler ki bu motor koza şeklindeki yatakta 3 köşeli rotoru birleştirdi. DKM, döner motorun bir hayal olmadığını kanıtladı. Tasarım karışık ve zordu çünkü trokoid yatağının kendisi dönüyordu. Bu nedenle pratik bir motor olarak görülemiyordu.



Şekil 14. NSU- DKM ilk rotary motor tipi

(Almanya'da Deutsches müzesinde korunmaktadır) [18]

1958'de daha pratik olan yatağı iyileştirilerek bitirildi fakat bu motorda trokoidi de içine alan bir yağ soğutucu rotor ile daha komplike yapıdaydı. Bu motor günümüz wankel döner

motorlarının ilk örneğidir. Genç Felix Wankel'in rüyası NSU sayesinde 49 yıl sonra gerçek bir döner motora dönüşmüştü.

4.2. İdeal Motorun Araştırılması

Kasım 1959'da, NSU resmi olarak Wankel döner motorunu gerçekleştirdiğini açıkladı. Tüm dünyadan yaklaşık 100 firma işbirliği için birbiriyle yarıştı, bunlardan 34'ü Japon firmalarıydı. Mazda başkanı Mr. Tsunaji Matsuda, döner motordaki büyük potansiyeli fark etti ve kendisi NSU ile direkt görüşmelerle, Wankel döner motor üzerine yoğunlaştı. Bu yoğunlaşmalar Temmuz 1961'de resmi kontrada atılan imzalarla sonuçlandı. Japon hükümeti onayı verdi ve İlk teknik çalışma grubu derhal NSU 'ya gönderildi. Bu sırada Mazda yerli geliştirme komitesi organizasyonu içindeydi. Teknik çalışma grubu 400 cc tek rotor döner motorun prototipini ve teknik çizimlerini elde etti ama ne yazık ki rotor yatağı üzerinde oluşan takırdamayı ve dalgalanmayı açıklayan izler işlerin kötüye gittiğinin ve geliştirme çalışmalarının en büyük sorunu olmuştu. Bu aynı zamanda NSU'nun da karşılaştığı bir problemdi. Mazda, NSU'nun ürettiği döner motoru test ederken, kendi prototip döner motorunu yapmıştı (Kasım 1961). Bu motor bağımsız olarak tamamen yerliydi. Bütün motorlarda vuruntu sonucu izler vardı. Bu motorların pratiğe geçilmesi için öncelikle vuruntu izi problemini kesin olarak çözmek gerekiyordu.

Nisan 1963'te, Mazda yeni organize ettiği döner motor araştırma bölümünü kurdu. Mr Kenichi Yamamoto şefliğindeki bölüm, 47 tane mühendis araştırma-geliştirme, dizayn, test etme ve materyal araştırması adı altında ki bu dört bölümde çalışmaya başladı. Enine boyuna sıkı bir araştırma ve geliştirme sağlandı. Amaçları döner motorun sorunsuz, pratik kullanımıydı. Yani bu ürünü sorunsuz olarak seri üretmek ve pazarlamaktı. En önemli problem vuruntunun oluşturduğu iz problemiydi ve çözülmek zorundaydı. İzler, trokoidin yatağında, 3 köşeli rotorun tepe noktalarının (segmanların bulunduğu yer) vuruntusu esnasında oluşuyordu. Segmanların aşındırıcı vibrasyonu sonucu trokoid yatağının üzerinde izler meydana geliyordu. Araştırma bölümü bu izleri şeytanın tırnak izleri olarak adlandırdı. Bu olguyu yok etmek için bulunan çapraz oyuk segmanı kullanıldı ve bu buluş, 300 saat yüksek hızda sürekli çalışan prototip

motorun bulunmasına yardımcı oldu. Bu teknik döner motorların seri üretimine geçilmesine çok yardımcı olamadı fakat segmanların geliştirilmesi ve hangi maddelerden üretilebilecekleri hakkında çok güzel fikirler verdi. Başlangıçtaki bu ilk sorunun çözümünden bir süre sonra, bu motorun ticari seri üretimine geçilmesini engelleyen bir ikinci problem ortaya çıktı. Bu da motorun yağ yakması ve beyaz kalın duman atmasıydı. Problemin sebebi yetersiz contalanmadan kaynaklanmaktaydı. Nippon Piston Ring şirketi ve Nippon Oil Seal şirketi ile Mazda'nın ortak çalışmaları sonucu sorunu gideren özel bir yağ geliştirildi. [17]

4.3. Çift Rotorludan Çok Rotorluya Geçiş

1960 ların ilk yıllarında, döner motorun buluşunun başlangıç evresinde, Mazda 3 tip döner motor tasarladı. Bunlar 2 rotorlu, 3 rotorlu ve 4 rotorluydu. NSU tarafından bitirilen ve prototip olan tek rotorlu versiyon yüksek hızlarda sarsıntısız çalışabilirken, düşük hızda dengesizlik eğilimi gösterebiliyor ve vibrasyonlarla tork kayıplarına neden olabiliyordu. Bu, tek rotorlu motorların, yüksek tork iniş-çıkışları belli başlı karakteristik özelliğinin oluşması için yeterliydi.

Mazda daha sonra 6 silindirli 4 zamanlı motorla aynı tork eğrisini veren 2 rotorlu motorun geliştirilmesine gitti. Bu döner motor devri sarsıntısızlaştırmanın önemini arttırdı. İlk iki rotorlu test motoru olan L8A tipi 399 cc hacimli motor Mazda'nın orijinal dizaynıydı ve prototip bir spor araba olan L404A (Cosmo Sport 'un ilk prototipi) ya monte edildi. Bu araba sadece döner motor için üretilmişti ve test sürüşleri hemen ardından başladı. Aralık 1964'te diğer 2 rotorlu test motoru olan 3820 (491cc hacimli) tasarlandı ve bunlar kısa bir sürede seri bir üretim olan L10A'ya dönüştüler.

Döner motorun yüksek potansiyeli sayesinde Mazda yüksek ithal ve özel, lüks makine ekipmanları yatırımını yaptı. Bu sayede 3 ve 4 rotorlu versiyonlarının içinde bulunduğu çok rotorlu döner motorların 3lü üreticisi konumuna geldi. Bu prototipler, ortadan motorlu prototip spor otomobile kuruldu ve Mazda R16a'nın test sürüşleri başladı. Bu test turları yüksek hızda Miyoshi Kanıtlama Merkezinde 1965 yılında tamamlandı. Bu testlerin yapıldığı yer o zamanın Asya'daki en muhteşem test yeri idi. 30 Mayıs 1967' de Mazda, dünyanın ilk 2 rotorlu döner motorlu aracı olan Cosmo Sport 'u satmaya başladı. Bu araç 491 cc hacminde ve 110 beygir gücündeki 10A tipi bir motora sahipti. Bu motor pyrografit ile yapılmış yeni contalarla, yüksek dayanıklılığı olan carbon metali gövdesiyle ve alüminyum sinterleme yöntemiyle oluşturulmuştu. Bu sayede motor 1000 saat sürelik testten geçti ve ardından 100.000 km test sürüşü sonucu yatakta sadece ince ufak çizikler oluşmuştu. Cosmo Sport 6 yıl içinde yapılan test sürüşlerinde 3 milyon km' yi geride bırakmıştı. Modern çizgileri, süper sürüş performansı ile dünyada yeni bir çığır açmıştı. [18]

4.4. Düşük Emisyonlu Döner Motorların Gelişimi

Çift rotorlu motor olan tip 10A'nın 1967 de seri üretime geçmesiyle Mazda uygulamalarını Cosmo Sport ile sınırlandırmadı Bu motoru diğer sedan ve coupe modellerinde de uygulamaya geçerek daha geniş hacimde üretime girdi. Böylelikle daha çok müşteri çekebilecekti. Mazda ayrıca döner motorlu araçlarını dünya pazarına da sürmeyi planlıyordu. 1970'te en katı otomobil emisyon standardı olan Amerika'ya ithal etmeye başladı. Muadili bir motorla kıyaslandığında döner motoru daha düşük NOx fakat daha fazla HC (Hidrokarbon) verme eğilimindeydi. Otomobil emisyon standartlarını sağlayabilmek için Mazda ideal bir katalitik sistemin gelişmesine yardımcı olmuştur ve araçlarında bu termal reaktörü kullanmaya başladı. Termal reaktör Hidrokarbonu yakıp HC emisyonlarını azaltan bir cihazdı. Bu termal reaktör Amerika'ya ithal edilen araçlarda da kullanıldı.

4.5. Phoenix Projesi

1970'lerde Dünya uluslar arası politik ilişkilerde fırtınalı bir döneme girmişti. Birçok gelişen ulus her nasılsa kendi petrol rezervlerini kullanarak önemli ve güçlü bir kişiliğe

bürünüyorlardı. Petrol krizleri bu politik dalaşmaların sonucudur. Çoğu orta-doğu petrol üreticisi ülkeler zaman içinde kendi ihraç petrollerini kısıtlayarak dünya petrol fiyatlarının artmasına sebep olmuşlardır. Otomobil üreticileri bu olaylara dayanarak yakıt tasarrufu sağlayan araçların seri üretimine geçtiler. Bu rotary motorun kesin kurtulmasını sağlayacak bir yoldu.

Mazda döner motorlarının yakıt tüketimini düşürmek için yaptığı çalışmalara phoenix projesi adını verdi. Bu proje araştırmalarının ilk senesinde yüzde 20 ve ikinci senede yüzde 40 yakıt ekonomisi sağlamayı başardı. Phoenix projesinin başarısı 1978 spor Savana RX-7 ye de yansıdı. Daha sonra motor gelişmelerinin temelleri olan reaksiyon tip egzost manifoldu, yüksek enerjili ateşleme sistemi, iki kademeli katalitik konvertör başarıyla geliştirildi.

4.6. Altı Girişli Sistem

Düşük emisyon sitemsi ve yakıt ekonomisi gelişimi gibi 2 anahtar projenin tamamlanmasından sonra Mazda 6 girişli sistemi ve 2 kademeli monolitik katalitik konvertör sistemlerini 12A tipi motorlarında denedi (573 cc). 6 girişli sistem 1 rotor odası için 3 tane emiş ağzına sahipti. Bu sistem sayesinde yakıt tasarrufu sağlanacağı gibi performans artışı da mümkünleştirdi.

4.7. Turbo ve Dinamik Kompresör

1982'de satışa sunulan Cosmo RE Turbo, Dünya'nın ilk turbo şarjlı döner motoruydu. Döner motorun egzost sistemi de doğal olarak turboşarjın türbini çalıştırması için daha güçlü bir enerjiye sahipti. Bir süre sonra da Cosmo RE Turbo Dünya'nın ilk elektronik yakıt enjeksiyon sistemi ile donatılmış döner motoruna sahip seri üretim otomobili olmuştu.

Cosmo RE Turbo Japonya'da o zamanların en hızlı arabası olmuştu. Bu döner motorun bir sonucuydu. Daha sonra "Güçlü Turbo" döner motor tasarlandı ve gelecekteki diğer gelişmelere kapı açtı. Dinamik kompresör sistemi 1983 yılında döner motora 13B tipi model olarak adapte edildi ve bu sistem hava hacminin dinamiğini yükseltmiş ve turbo ile mekanik kompresörden daha etkili olmuştu. Her rotor için odacıkta çift yakıt enjeksiyonu bulunan bu

motor, 13B döner motorun geliştirilmesine yardımcı oldu. Dinamik kompresör 1985 yılında yüksek tork biçimiyle daha da geliştirildi.

4.8. Çift Pervaneli Turbo

Turbo döner motorun sürüş performansını geliştirmek için 2. jenerasyon Savana RX-7 13B tipi motora bir adet çift pervaneli turboyla adapte edildi. Bu sistem turbo gecikmesini minimize eden bir sistemdi ve egzost emişini 2'ye bölüyordu. Böylece gereken rahatlama sağlanıyordu. 1989 da çift pervaneli turbo çift bağımsız pervaneli turboya dönüştü. Bu daha az komplikeydi ve basit bir konfigürasyona sahipti. Bu yeni turboşarj motor için gelişmekte inanılmaz bir tork artışı ve buna bağlı olarak sürüş performansına ulaşmıştı.

4.9. Çift Yakıt Enjektörü

1983'ten bu yana Mazda döner motorları için elektronik kontrollü yakıt sistemine, her rotor odasına 2 enjektör koyup daha da geliştirdi. Genelde bilinen teoriye göre geniş nozulların daha yüksek performans sağlayacağıydı çünkü daha fazla yakıt çekebiliyordu fakat düşük hızlardaki stabil yanma için küçük nozullar daha uygundur. Çift enjektör bu tarz sorunları kontrol etmek veya ortadan kaldırmak için üretildi ve 2 rotorlu 13B REW ve 3 rotorlu 20b REW motorlara hava-karıştırıcı enjektörler, çift enjektörlerin gelişimi olarak tasarlandı.

4.10. Tip 20B REW Döner Motoru

1990 yılında, Eunos Cosmo 3 rotorlu ve 20B REW kodlu motoruyla çeyrek asırlık bir döner motor gelişiminden sonra satışa çıktı. 2 rotorlu döner motor 6 silindirli bir motora denk gelirken, 3 rotorlu döner motor 8 silindirli bir motora denk geliyordu ve gelişmelerle bu v12 motora denk gelebilecek hale geliyordu. Fakat bu gelişmelerin önündeki en büyük sorunlardan biri üretim ve finansman kaynağı sorunuuydu.

4.11. Ardışık Çift Turbo

Ardışık çift turbo uygulaması ilk 1990 yılında tip 20B-REW ve tip 13B-REW rotary motorlarında zincirleme iki turbo şarj konseptine dayanarak kullanılmıştır. Düşük hızlarda sadece ilk turbo çalışıyor fakat yüksek hız aralığında ikinci turbo devreye giriyor. İkisini birlikte

kullanmak yeterli turbo besleme kapasitesi sağlamakta ve kazançlı yüksek randıman alınmaktadır. İki turbo beslemeyi aynı anda kullanmak ayrıca egzoz direncinin azalmasına da sebep olur. Buda daha yüksek performansa katkıda bulunur. Rotary motorun turbo uygulamasında esas motorların turbo uygulamasına oranla aniden açılan egzoz deliği sonucunda oluşan güçlü egzoz itme gücü ve düz kısa manifold yapısını kapsayan birkaç iyi yanı vardır. Bu özellikleri tamamen kullanmak için eşsizce şekillenmiş dinamik basınç manifoldu egzoz gazının turbo beslemesine minimum mesafeden etki etmesini sağlar. [18]

4.12. Dünyanın Tek Rotary Motor Fabrikası

Mazda iki rotorlu rotary motorlarını geliştirmek için nasıl 32 senedir çalışabiliyor sorusunun cevabı firmanın üretimdeki yüksek kaliteli uzmanlığında ve imalat mühendisliğinde yatıyor. Rotary motorların seri üretimi için Mazda 34.000 m2 lik ayda 15.000 adet üretim yapabilecek kapasitede bir fabrika kurdu.

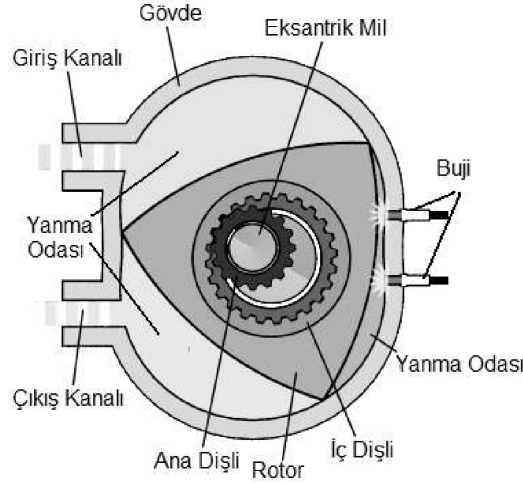


Şekil 15. Mazda tarafından ileri teknoloji ile geliştirilmiş wankel motoru [21]

5. WANKEL MOTORLARININ ÇALIŞMA PRENSİBİ

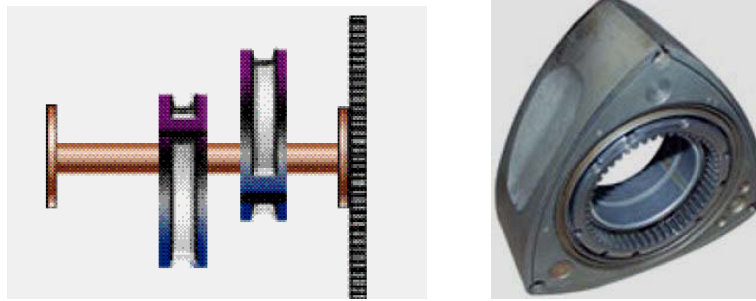
Döner pistonlu (Wankel) motorunun kullanışlı oluşunun en önemli sebebi mekanik imalatın kolaylığıdır. Motorun hareketli olarak iki kısmı vardır.

1. Döner piston (Rotor)
2. Krank mili (eksantrik)



Şekil 16. Bir Wankel motorunun parçaları [21]

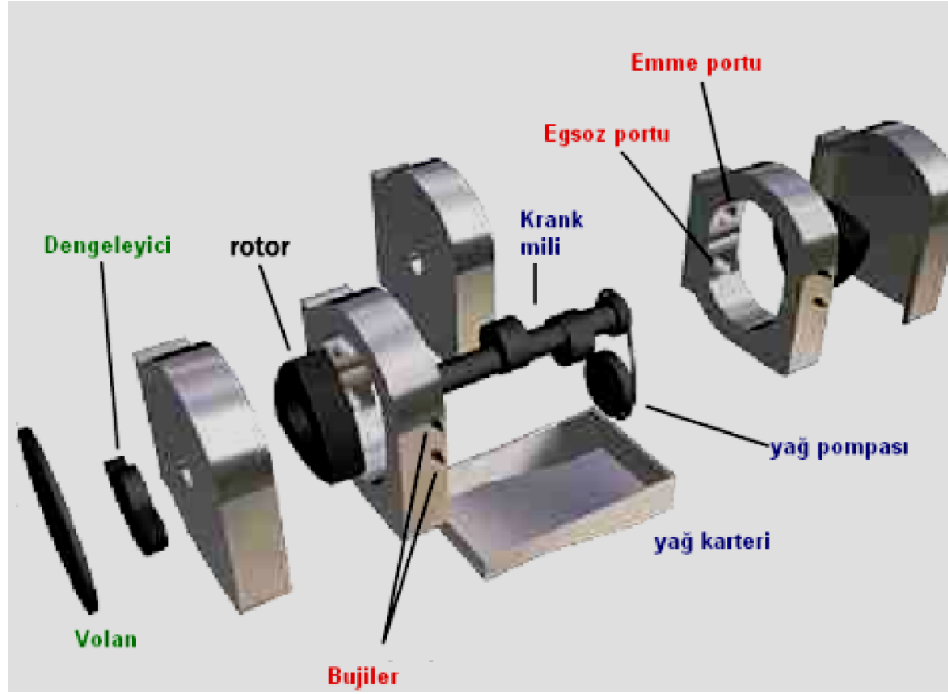
Döner piston; krank mili üzerinde döner. Krank mili, bir nokta yani merkeze göre dairesel hareketle dönmesine karşılık; üzerinde hareket eden döner piston silindir içerisinde eliptik bir hareket ile döner. Bu motorlarda supap mekanizması ve supap mekanizmasına hareket veren eksantrik (kam) mili yoktur. Emme ve egzoz supapları olmamasına rağmen motorun emme zamanında temiz hava ve yakıt karışımı hava giriş geçitlerinden (portları) girer ve yanma sonundaki zehirli gazlar, egzoz portundan atmosfere çıkar. Döner pistonlar üzerinde elde edilen güç, krank mili vasıtası ile vites kutusuna geçer. Döner pistonun içindeki dişliler, krank mili üzerindeki dişlilerle birlikte döner. Resim 17’de rotor görülmektedir.



Şekil 17. Rotor yandan ve önden görünüşü [19]

Pistonla gövde arasındaki izafi hareket redüksiyon oranı $2/3$ olan bir çift iç ve dış dişli ile temin edilmektedir. Şekil 17’de gösterilmiş bulunan bu dişlilerden küçük ve dış dişli olanı gövde üzerinde ve sabit; iç dişli ise pistonla beraber dönmekte ve gövde üzerindeki sabit dişli üzerinde

yuvarlanmaktadır. Buna göre eksantrik mili aynı zamanda pistonu yatak vazifesi görmektedir. Eksantrik mili, bir devir döndüğü zaman piston, eksantrik miline nazaran 120° dönmektedir. Buna göre pistonun gövdeye nazaran bir devir dönüp yanma odasında cereyan eden olayların periyodunu tamamlaması için eksantrik milinin 3 defa dönmesi gerekir. Yani bir iş elde edebilmek için eksantrik mili dişlisi, dıştaki dişli etrafında $3 \times 120^\circ = 360^\circ$ dönmelidir. Şekil 18'de Wankel motorunun komple parçaları görülmektedir.



Şekil 18. Wankel motor parçaları [19]

Pistonun her devrinde yanma odalarındaki iş çevrimlerinin tamamlanmış olması nedeniyle, bu motora zaman bakımından bir isim vermek gerekirse iki zamanlı demek gerekir. Ancak yanma odalarındaki olayların her birisi yani emme, sıkıştırma, ateşleme ve egzoz eşit açılar işgal etmektedir. Buna göre klasik pistonlu motorlara benzer olarak, bu motora dört zamanlı demek gerekirdi. Zaten ne olursa olsun bu motorda pistonu ve eksantrik miline ait olmak üzere iki devir sayısı tarif etmek mümkündür. İş; eksantrik milinden alındığına göre ve dışarıya sadece bu milin uçları çıktığına göre eksantrik mili devir sayısının mukayese için kullanılması daha uygun olacaktır. [19]

5.1. Motor Çalışma Zamanları

Döner pistonlu motorlarda da dört zamanlı pistonlu motorların çalışma prensibi uygulanmaktadır. Pistonlu motorlarda bulunan alt ölü nokta ile üst ölü nokta arasında pistonun kat ettiği yola strok denilmektedir. Ancak bu motorlarda piston olmadığı için bu motorlara 4 zamanlı (stroklı) motor yerine, 4 fazlı motor da denilmektedir.

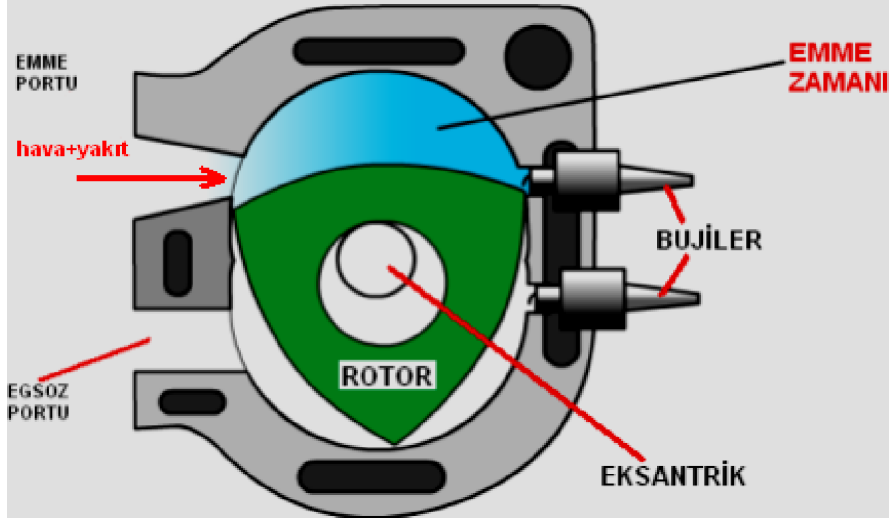
Wankel motorlarında zamanlar:

- 1.zaman: Emme,
- 2.zaman: Kompresyon (sıkıştırma),
- 3.zaman: Ateşleme (iş),
- 4.zaman: Egzoz olarak isimlendirilmektedir.

Bu motorlarda döner piston, motor bloğu içinde yaptığı bir dönme hareketi ile dört zamanı tamamlar. Fakat döner piston üzerinde 120°'lik açı farkı ile üç ateşleme yüzeyi vardır. Yani döner piston, bir devrini tamamladığında emme, sıkıştırma, ateşleme zamanlarını yapar. Böylece bu çalışma prensibi ile az hacimde, çok güç elde edebilmektedir.

5.1.1. Emme Zamanı

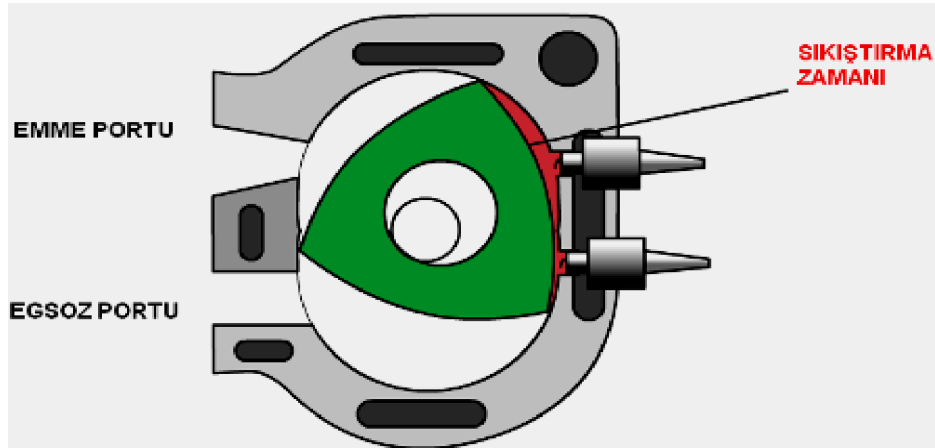
İçten yanmalı motorlarda olduğu gibi emme zamanında hava yakıt karışımı silindir içerisine emme portundan alınır. Şekil 19'da emme zamanı görülmektedir.



Şekil 19. Emme zamanı [19]

5.1.2. Sıkıştırma Zamanı

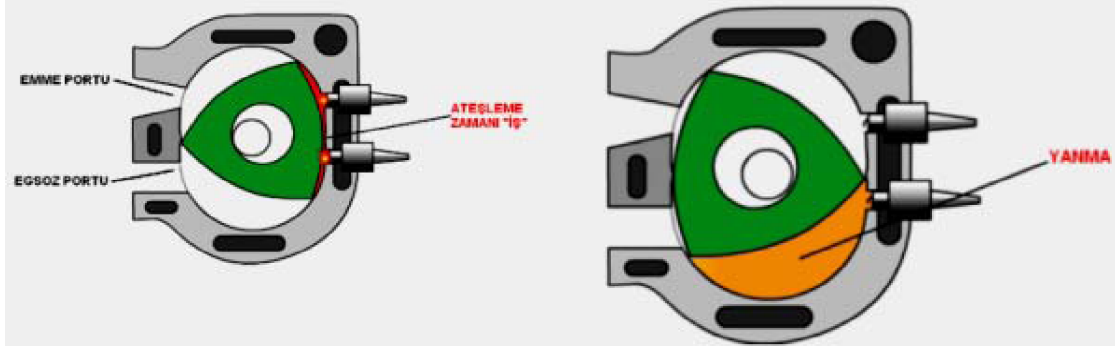
Bu zamanda içeri alınan yakıt-hava karışımı, rotorun iki ucu tarafından silindir yüzeyine sıkıştırılarak basıncı yükseltilir. Rotor döndükçe silindir içerisindeki karışımı sıkıştırır ve dolguyu ateşlemeye hazır hâle getirir. Şekil 20’de hava-yakıt karışımının sıkıştırma zamanı görülmektedir.



Şekil 20. Sıkıştırma zamanı [19]

5.1.3. Ateşleme (İş) Zamanı

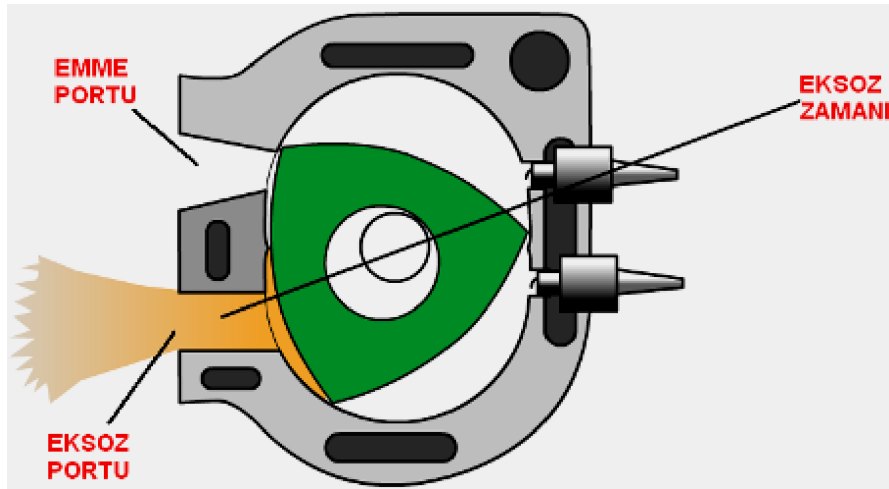
Sıkıştırılan hava-yakıt karışımı, bujiler tarafından ateşlenerek yanma olayı gerçekleşir. Yanmayla birlikte oluşan genleşme ve basınç dalgası ile rotor dönmeye başlar ve bu sayede istenilen güç sağlanmış olur. Şekil 21’de ateşleme zamanı ve motor içerisindeki yanma olayı görülmektedir.



Şekil 21. Ateşleme (iş) zamanı [19]

5.1.4. Egzoz Zamanı

Egzoz zamanında hava-yakıt karışımının yanması sonucu meydana gelen yanmış gazlar, egzoz portu üzerinden, egzoz manifoldu ve borular aracılığıyla atmosfere gönderilir. Bu esnada rotorun bir ucu egzoz gazların dışarı gönderirken, diğer ucu emme portunu kapatmaktadır. Şekil 22’de egzoz zamanında motorun iç kısmı görülmektedir.



Şekil 22. Egzoz zamanı [19]

5.2. Wankel Motorların Avantaj ve Dezavantajları

Wankel motorun bazı avantajları olmasına rağmen halen giderilmeyi bekleyen birçok dezavantajı bulunmaktadır. Bu dezavantajları şu şekilde sıralayabiliriz:

- ✓ Bu zorlukların içerisinde en önemlisi yanma (ateşleme) odasının sızdırmazlık durumudur. Çünkü normal pistonlu motorlarda yuvarlak piston üzerinde yine yuvarlak segmanlar ile kompresyonun kartere kaçması önlenirken ateşleme odasının sızdırmazlığı ise silindir kapağının, silindir gövdesine özel conta ve cıvatalarla sıkılmasıyla sağlanır. Fakat döner pistonlu motorlarda ise döner pistonun her 120°'deki pistonun ucunda ve döner pistonun yan yüzeylerinde kompresyonun sızması en önemli problemidir. Bunun yanında döner pistonun (rotor) yağlanması esnasında yağın ateşleme hücresine kaçmaması için özel yağ keçelerinin veya yağ segmanların bulunması lazımdır. Döner pistonlu motorun sızdırmazlık sağlayan segman, keçelerinin toplamı normal pistonlu motorlarınkinden daha azdır. Fakat bu motorların yapısı ve verimliliğini sağlayan keçelerin, segmanların imalatı daha zor ve pahalıdır.
- ✓ Wankel motorun önemli sorunlarından birisi olan gürültülü çalışma rotorun hızla açılan egzoz portu önünden kayarak geçmesiyle oluşmaktadır. Ancak bazı wankel motorlarında kullanılan egzoz sistemi ile ses dalgalarının dağıtılmasıyla egzozun ses tonu geliştirilmiştir.
- ✓ Döner pistonlu motorlarda önemli problemlerden biriside sıkıştırılmış yakıt-hava karışımının ateşleme hücresinde iki kademedede ardı ardına yanma yaparak ısı ve basınç dalgasının bujiler üzerinden egzoz portlarına doğru akması esnasında malzeme üzerinde istenmeyen fazla ısının kalmasıdır. Her ne kadar emme portları yönünden ateşleme

odasına temiz ve soğuk bir hava akımı girdiği zaman soğutmaya yardımcı oluyorsa da, yine de silindir ve döner piston üzerinde kalan istenmeyen sıcaklık malzemelerin aşırı derecede genişlemesine sebep olacağından bu malzemelerin sızdırmazlık sağlamasında büyük güçlükler meydana getirmektedir.

- ✓ İtçen yanmalı motorların 100 yılı aşkın süredir kullanılıyor olmasından dolayı, sürekli geliştirilerek bugün bu motorlar üzerine yaygın bir tecrübenin bulunması alternatif motorların rekabet gücünü azaltan ve büyük bir dezavantaj oluşturan en mühim etkindir.
- ✓ Yüksek yüzey hacim oranlı yanma odası yüzünden daha düşük termodinamik verim.
- ✓ Yakıt tüketiminin pistonlu motora göre daha fazla olması. Bu sorun Mazda RX-7 de daha yüksek CO (Karbon monoksit) emisyonları ile giderildi. [17.18.19.20]

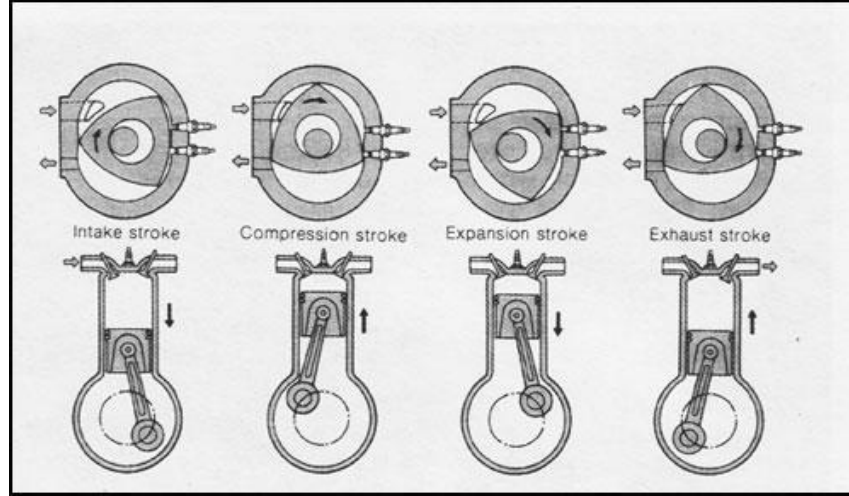
Wankel motorunun avantajları ise şu şekilde sıralanabilir:

- ✓ Döner pistonlu motorlarda kompresyon (sıkıştırma oranı); diğer pistonlu motorlara nazaran daha yüksek olup ateşleme sonunda yüksek basınçlı alevin kat ettiği yol da daha uzundur. Bunun için her ateşlemede daha fazla yanma gücü elde edilir. Bu motorlarda ateşleme odası iki kısımlı olup, ikinci kısım yanma hücresi daha küçüktür. Böylece ateşleme hücresinin birinci kısmında başlayan yanma, ikinci kısımda daha dar bir ateşleme hücresine girince yanma basıncı daha yüksek bir değere çıkar ve bu anda alev dalgası türbülans şeklinde döner pistonun yüzeyine basınç yaparak dönme hareketini sağlar.

- ✓ Döner pistonlu motorlar, çeşitli oktan sayılı benzinlere ve farklı özellikteki yakıtlara göre değişik kompresyonlara uygun imal edilebildiklerinden her türlü yakıtla kullanılabilir.
- ✓ Bu motorların bazı eksikleri giderildiğinde yüksek hızlar ve torkların elde edilmesi daha kolay olacaktır. Çünkü içten yanmalı motorlara nazaran ağırlıklar dolayısıyla meydana gelen atalet kuvvetleri daha azdır.
- ✓ Ağırlığı muadili pistonlu motorlara göre oldukça az ve hacimce küçüktür Pistonlu motorlara göre daha sarsıntısız çalışır.
- ✓ Güç esnasında krank 180° yerine 270° döndüğü için daha fazla güç üretir.
- ✓ Daha az hareket eden parça bulunduğu için daha az güç kaybı.
- ✓ Subap mekanizması olmadığı için düz tork eğrisi vardır.
- ✓ Yanma odası sıcaklığı daha düşüktür daha az oksit ve nitrojen atığı verir. [17,18,19,20]

5.3. Wankel Motorun Karakteristikleri

Wankel motorlar hız, tork, performans gibi karakteristikler yönünden, içten yanmalı motorlarla karşılaştırıldığında birçok üstünlüğe sahiptir. Çünkü bu motorların ağırlıkları daha az ve direkt olarak dairesel hareket üretilmektedir. Bu sebeple motor milinden az yakıtla daha çok güç alınabilmektedir. Ancak rotor kısmındaki yağ ve kompresyon segmanlarının yetersizliği sebebiyle oluşan kaçakların engellenememesi büyük dezavantajlar oluşturmaktadır.



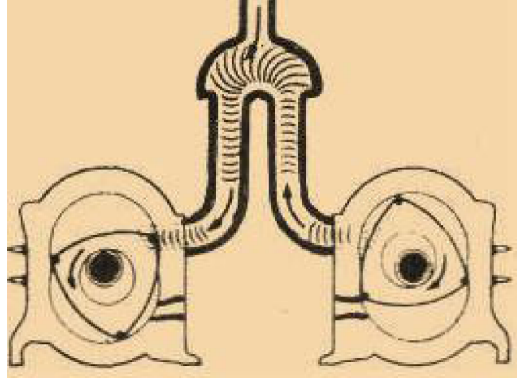
Şekil 23. Wankel ile pistonlu motor evrelerinin karşılaştırılması [19]

Motorlarda rotor başına üç adet emme girişi bulunmaktadır. Dinamik etkili emme sistemi ile bir rotorun basınç dalgalarını diğerinin doldurulmasında kullanmakta ve her rotor için çift yakıt enjektörü bulunmaktadır. Yeni döküm teknikleri ile rotorların ağırlığı % 14 oranında hafifletilirken, daha ince üç parçalı apex contalar ile sızdırmazlık ve sürtünme azaltılmaktadır. Ayrıca rotor muhafazalarının delikli krom yüzeyi de sızdırmazlığa katkıda bulunmaktadır.

Wankel motorda egzoz portundaki çok odalı kısım motorun ses yoğunluğunu kontrol amacıyla tasarlanmıştır. Wankel motorun önemli sorunlarından birisi olan gürültülü çalışma rotorun hızla açılan egzoz portu önünden kayarak geçmesiyle oluşmaktadır. Ancak ses dalgalarının dağıtılmasıyla egzozun ses tonu geliştirilmiştir.

Wankel motorlarında dinamik etkili emme sistemi ile motora eklenen turbo kompresörle güç artışı sağlanabilmektedir. İki salyangoza sahip turbo ve intercooler ile normal motora oranla

daha fazla tork elde edilmektedir. Egzozda primer ve sekonder (daha geniş) olmak üzere iki adet port bulunmaktadır. Emme vakumu, geniş olan sekonder portu düşük devirde kapalı tutarak egzoz portundan gelen sıcak hava ile dışarıdan gelen havayı ısıtmaktadır. Şekil 24'te wankel motorunda turbo sistemi görülmektedir.

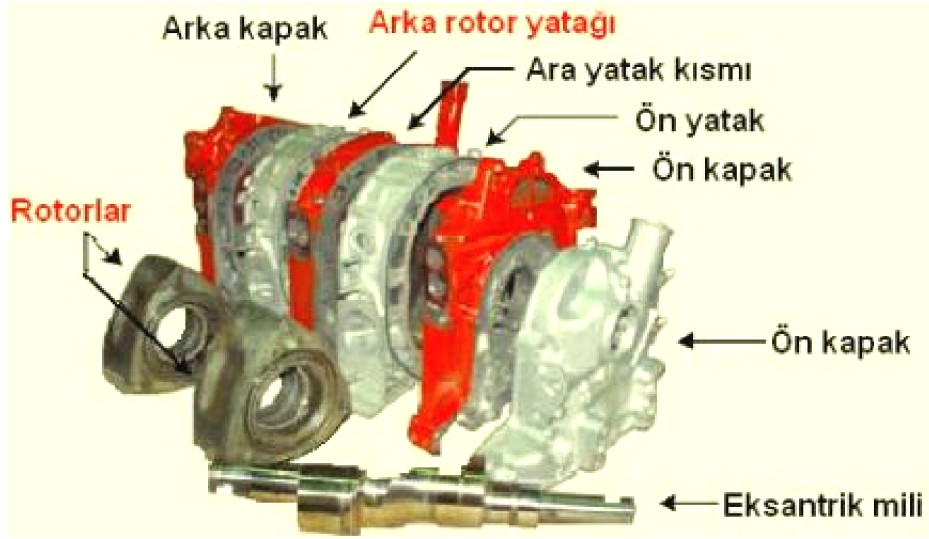


Şekil 24. Wankel motorunda turbo sistemi [21]

5.4.Wankel Motorların Bakımları

Bu motorlar, geçmiş yıllarda sadece iki araç modelinde kullanıldıktan sonra engellenemeyen dezavantajları yüzünden üretimden kaldırılmıştır. Bu zorlukların en önemlisi, ateşleme odasını sızdırmazlık durumudur. Çünkü normal pistonlu motorlarda yuvarlak piston üzerinde yine yuvarlak segmanlar ile kompresyonun kartere kaçması önlenirken ateşleme odasının sızdırmazlığı ise silindir kapağı ile silindir gövdesi arasına özel conta ve cıvata sıkılarak sağlanır. Fakat döner pistonlu motorlarda ise döner pistonun her 120° 'deki pistonun ucunda ve döner pistonun yan yüzeylerinde kompresyonu tutacak sızdırmazlık en önemli problemidir.

Döner pistonun (rotor) yağlanması esnasında yağın ateşleme hücreğine kaçmaması için özel yağ keçelerinin veya yağ segmanların bulunması lazımdır. Bu motorlarda ateşleme sistemi, yakıt sistemi ve aktarma organları pistonlu içten yanmalı motorlarla aynı özelliklere sahiptir. Resim 25'te bir Wankel motorun sökülmüş halde parçaları görülmektedir.

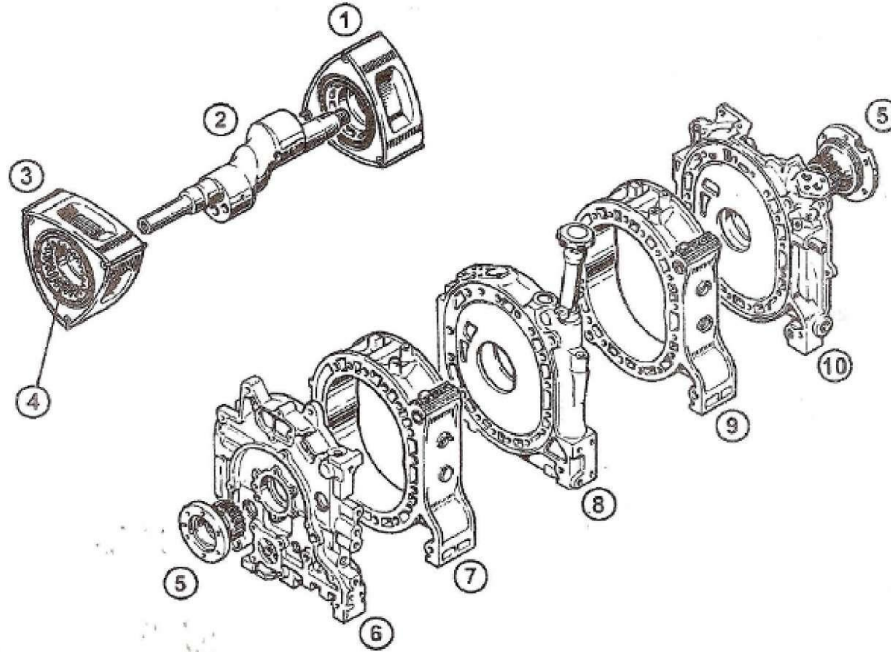


Şekil 25. Wankel motor sökülüş halde parçaları [19]

6. MAZDA RX-8 MOTOR MODELİNİN İNCELENMESİ

6.1 YAPISI

Rotary motorun ana parçaları rotorlar, eksantrik şaftı, rotor kovanları ile ön, arka ve orta kovanlardır. Rotor, bir yanında orta kovan, diğer yanında ise ön veya arka kovan tarafından çevrelenmiş bir oda olan rotor kovani içine döner. Eksantrik şaftı, rotorların dönme (rotasyon) kuvvetini şanzımana iletir. Rotorun rotor kovani içindeki hareketi iç dişli ve sabit dişli tarafından belirlenir. İç dişli ve sabit dişli, rotorun her bir dönüşünün eksantrik şaftını üç kere döndürmesini sağlayacak şekilde fazlara sahiptir.



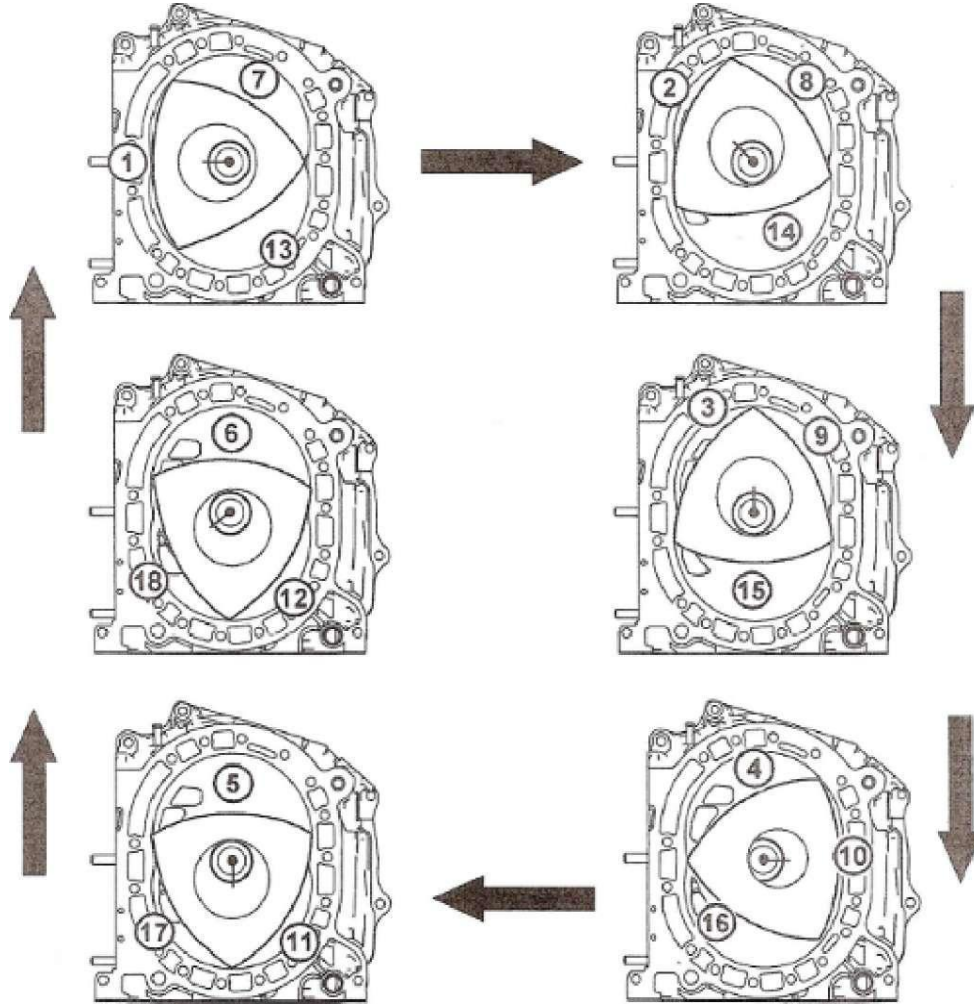
Şekil 26. Mazda RX-8 modelinin motor montaj elemanları [22]

- | | |
|--------------------|----------------------|
| 1) Arka rotor | 6) Ön kovan |
| 2) Eksantrik şaftı | 7) Ön rotor kovani |
| 3) Ön rotor | 8) Orta kovan |
| 4) İç dişli | 9) Arka rotor kovani |
| 5) Sabit dişli | 10) Arka kovan |

6.2 Çalışma Operasyonları

Dört silindire sahip pistonlu bir motor ile aynı şekilde, rotary motorda da hava ve yakıt karışımı yanma işlemine tabi tutulur ve ısı enerjisi motor gücü olarak açığa çıkar. Bununla birlikte, pistonlu motorlarda kullanılan dikey piston hareketi ve karışık sübap mekanizmasının yerine rotary motorda rotorun dönme hareketi ile bir tarafta emme girişinin açılması, diğer tarafta ise egzoz çıkışının kapanması sağlanır.

Her rotorda üç oda bulunduğundan rotorun her biri dönüşünde üç tam döngü (emme, sıkıştırma, yanma, egzoz) tamamlanır. Bu şekilde rotorun her dönüşünde çıkış şaftına üç kez güç aktarılmış olur.



Şekil 27. Rotor hareketinin numaralandırılması [22]

6.2.1 Emme stroku

1 konumunda operasyon odasını hacmi minimumdadir. Bu durum, pistonlu motorlarda emmenin başladığı üst ölü noktaya tekabül eder. Emme stroku başlar ve rotor 2 konumundan 4 konumuna doğru döndükçe emme girişinin hacmi artarak hava ve yakıt karışımını içine alır. 5

konumunda emme odası maksimum hacmine ulaşmıştır. Rotorun bu konumu, pistonlu motorlardaki emme alt ölü noktaya denktir.

6.2.2 Sıkıştırma stroku

5 konumundan sonra, emme girişi rotor tarafından kapatılır ve emme stroku sona erer. Rotor döndükçe, operasyon odasının hacmi 6 konumundan 9 konumuna doğru gittikçe küçülerek hava ve yakıt karışımının sıkıştırıldığı sıkıştırma stroku başlar. 10 konumunda sıkıştırma neredeyse tamamlanmak üzere olduğunda hava ve yakıt karışımı bir kıvılcım ile tutuşturulur. Operasyon odasının hacminin minimumda olduğu 10 konumu, sıkıştırma strokunun üst ölü noktasıdır.

6.2.3 Yanma stroku

10 konumunda tutuşturulan hava ve yakıt karışımı yanar, artan basınç sebebiyle hacim 11 konumundan 13 konumuna doğru artar. Bu zaman zarfında, karışımın yanma enerjisi rotorun yüzeyine ulaşır ve eksantrik şaftı vasıtasıyla dönme enerjisine çevrilerek motor gücü olarak açığa çıkar. Yanma strokunun alt ölü noktasına yaklaşıldığı 15 konumunda, operasyon odasının kapasitesi maksimumdadır.

6.2.4 Egzoz stroku

Yanmanın tamamlanmasından sonra operasyon odasının hacmi 15 konumundan 18 konumuna doğru azalmaya başlar ve gazlar egzoz çıkışından dışarıya verilir. Egzoz stroku sona erdiğinde rotor, bu döngünün tekrar başlayacağı 1 konumuna geri dönmüştür. Diğer iki operasyon odasında da bu döngü aynı şekilde tekrar edilir.

6.3 Rotary Motor ile Pistonlu Motor Arasındaki Farklar

6.3.1 İç Denge

- Pistonlu motorlarda pistonlar aşağı yukarı karşılıklı olarak hareket eder. Bu hareketin mükemmel bir biçimde dengelenmesi mümkün olmadığından titreşim hissedilir. Rotary motorda ise hareket dairesel olduğundan karşılıklı bir hareket söz konusu değildir. Dolayısıyla denge mükemmele yakın bir şekilde sağlanır ve titreşim hissedilmez.
- Pistonlu motorlarda, gaz alışverişi için bir sübap mekanizmasına ihtiyaç vardır. Bu sebeple, motor devri arttığında şiddetlenen bir gürültü söz konusudur. Rotary motor, buna benzer bir mekanizma bulunmadığından daha sessizdir.

6.3.2 Gaz Alışverişi

- Pistonlu motorlar gaz alışverişi için sübap kullanır. Ancak bu sübaplar hava girişi ve egzoz çıkışı esnasında sürtünmeye neden olur. Bunun sonucu olarak, pistonlu motorlarda, araç hızı yükseldikçe motor gücünde ani bir düşüş gözlenir. Bu problemi ortadan kaldırmak için sübap zamanlamaları değiştirildiğinde ise düşük hızlarda yanma dengesizliği ve tork yetersizliği görülür.
- Aşağı yukarı hareket eden sübapların ataleti motor devri yükselmesiyle birlikte artar. Belli bir noktadan sonra sübap yayları bu durumu kaldıramaz ve sübap gecikmesi denen sorun gözlenir. Sübaplar kam milinin hareketini takip edemez, gaz alışverişinin zamanlaması bozulur ve motorun verimi ve gücü sınırlanır.
- Rotary motorda sübaplar bulunmadığından bu dezavantajların hiçbiri söz konusu değildir. Yüksek hızlara çıkıldığında motor gücü azalmaz. Tork da geniş bir motor devri aralığında sabittir.

6.3.3 Tork Karakteri

- Rotary motorun dört devrinden her biri, şaftın bir 270° 'nin üzerinde bir dönüş yapmasıyla tamamlanır. Bu, 4 silindire sahip pistonlu bir motorunkinden (180°) daha uzundur. Böylece emme ve egzoz aşamaları için daha uzun bir süre sağlanır, motorun verimi artar.

6.3.4 Yağlama

- Rotary motorda, emme, sıkıştırma, yanma ve egzoz stroklarının her biri, daima rotor kovanının aynı kısmında gerçekleşir. Bunun sonucu olarak, sıkıştırma ve yanma stroklarının meydana geldiği bağlantı noktaları ve kaygan yüzeyler sürekli olarak yüksek sıcaklığa ve yüksek basınçlı gazlara maruz kalır. Bu kısımlardaki motor yağının viskozitesini ve yağlama özelliğini kısmen veya tamamen kaybedebileceği anlamına gelir. Böyle bir durumda bu yüzeylerdeki yağ tabakasını takviye etmek imkânsız hale gelir. Bu özellik, yüksek hız ve yüksek motor devri ile birlikte düşünüldüğünde rotary motorun yağlanması kritik bir konu olduğu ortaya çıkar. Rotor kovanlarındaki kaygan yüzeylerin yağlanmasını sağlamak için ayrı bir yağlama sistemi ve yağ pompa kullanılır.

6.3.5 Kayma Hızı

- Tepe noktada, bir bağlantı noktasının maksimum kayma hızı, pistonlu bir motorda bulunan piston halkasından yaklaşık %16 daha fazladır. Bununla birlikte, pistonlu motorlarda alt ve üst ölü noktalarda hareketin yönü değişir ve kayma hızı anlık olarak sıfıra düşer. Bu durum, yağ tabakasını zayıflatır ve silindirin bu noktalarında önemli aşınmalara yol açabilir. Rotary motorda bağlantı noktası sürekli aynı yönde hareket ettiğinden maksimum ve minimum hız değerleri arasındaki fark görece daha azdır. Böylece yağ tabakasını korunarak aşınmaların azaltılması sağlanır.

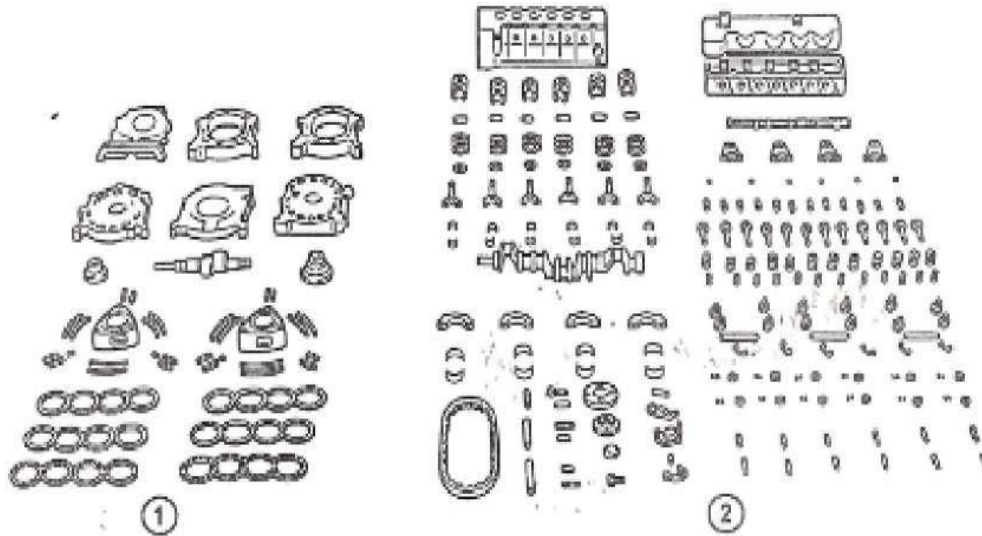
6.3.6 Boyut

- Rotary motorun en önemli avantajları kompakt boyutları ve basitliğidir.

- Kompakt boyutlar tasarımcılara motoru daha alçakta ve daha geride konumlamalarını sağlar. Bu sürüş karakterine olumlu etkisi olan bir özelliktir.

Rotary motorun bir başka özelliği, pistonlu bir motora göre çok daha az sayıda parçadan oluşmasıdır. Çok daha basit bir yapıda olan rotary motorun bakımı da gayet kolaydır.

Pistonlu bir motorda, pistonlara etki eden yanma basıncı, döner bir yapıda olan krank miline bağlantı çubukları vasıtasıyla iletilir. Motor gücüyle direkt bağlantılı olan kısımlar sadece pistonların üst bölümleridir. Diğer kısımlar, karşılıklı hareketi rotasyon hareketine çevirmekte kullanılır ve motor gücüne direkt olarak etki etmez. Rotary motorda ise, dönen bir rotorun çevreleyen her parça operasyon odasının bir parçası olduğundan güç üretmek için ihtiyaç duyulan hacim çok daha küçüktür.



Şekil 28. 1) Rotary motoru oluşturan parçalar

2) Pistonlu motoru oluşturan parçalar [22]

6.3.7 Yağlama Sistemi

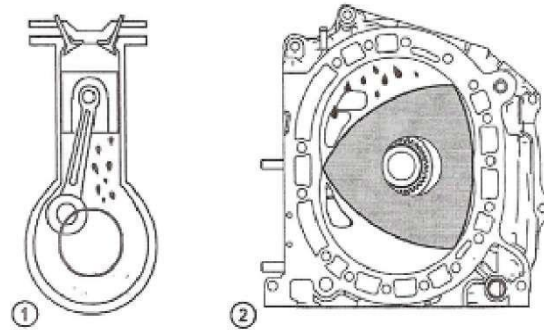
Rotary motorun iç kısımlarının yağlanması iki ana kategoride incelenebilir.

6.3.7.1 Eksantrik Şaftı ile İlgili Kısımların Yağlanması

Bu kategori temel olarak pistonlu motorlarla aynıdır. Basınçlı yağ kanallar vasıtasıyla eksantrik şaftına iletilir, böylece rotorun soğuması sağlanır. Yağın fazlası ön, orta ve arka kovanlardaki geçişlerden yağ karterine geri döner.

6.3.7.2 Kaygan Yüzeylerin Yağlanması

Bu yüzeylerin yağlanması gerekliliği rotary motora özgüdür. Pistonlu motorların aksine rotary motorda, yağı alt kısımdan yanma odasına taşıyacak karşılıklı bir hareket olmadığından bu yüzeyler için ayrı bir yağlama sistemi gereklidir. Bu sebeple, rotary motorda kaygan yüzeyleri yağlamak için yağ direkt olarak rotor kovanına enjekte edilir.



Şekil 29. 1) Pistonlu motor 2) Rotary motor [22]

6.3.8 Yağlama Şekli

- Rotary motor gerekli olan bu yağı direkt olarak rotor kovanlarının içine iletebilmek için, bir yağ pompası ve yağ memeleri ile donatılmıştır. Bu yağ pompası, eksantrik şaftına bağlı çalışan motor yağı pompasından bağımsız olarak çalışır.

- Yağ, yağ memeleri vasıtasıyla rotor kovanlarının içine enjekte edilir. Burada yağ, hava ve yakıt karışımı ile karışır ve yağ/yakıt oranı 1/200 veya daha az olan bir karışım haline gelir. Bu oran, yeterli yağlamayı sağlayacak kadar çok olmakla birlikte aynı zamanda, yivlerin arasında yağ birikmesine neden olmayacak kadar da azdır.

NOT: Rotary motorların yağ tüketmesinin nedeni budur. Yağ, hava ve yakıt karışımı ile karıştığından, tutuşturma esnasında yağın bir kısmı kaçınılmaz bir şekilde yanar. Bununla birlikte, kaygan yüzeylerin yağlanması için kullanılan yağın ölçümü pistonlu motorlardakinden çok daha net bir şekilde yapıldığından ölçümün güvenilirliği yüksektir.

6.3.9 Yağ Ölçümü

- Rotor kovanının içine enjekte edilen yağın miktarı motorun yükünden ve motor devir hızından bağımsızdır. Motor yükü arttıkça yanma basıncı da artar. Yanma basıncı ne kadar yüksekse rotor kovanında kaygan yüzeylerin yağlanması için gereken yağ miktarı da o kadar fazladır.

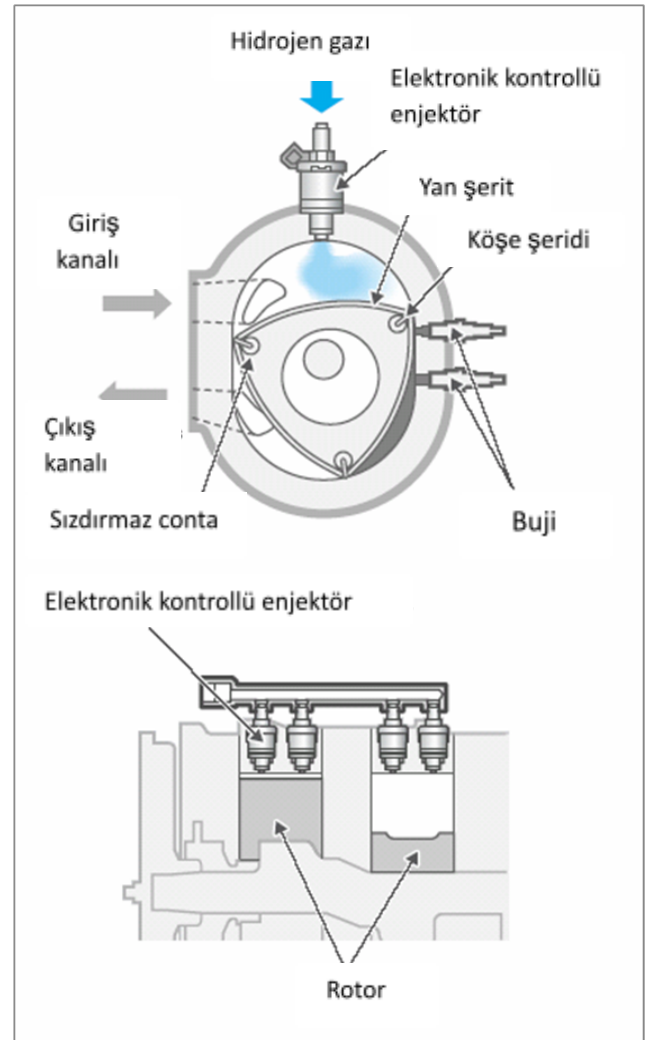
NOT: Bu, rotary motor ile pistonlu motorlar arasındaki temel farklardan biridir. Rotary motorda, rotor kovanının içinde gerekli olan yağlamanın sağlanabilmesi amacıyla ince bir yağ tabakası kullanılır. Bu yağ tabakası olmadan yeterli yanma elde edilemez ve performans düşer. Yetersiz yağlamanın yüksek hızlarda güç kaybına sebebiyet vermesinin veya boğulmuş motorların yeterli yanma yapamamasının nedeni budur zira gerekli olan yağ tabakası ortadan kaybolmuştur.

- Ağır yükler ve yüksek hızlar motor sıcaklığını artırır. Sıcaklık arttıkça sürtünmeyi azaltmak için kaygan yüzeylere daha fazla yağ tedarik edilir. [22]

7. HİDROJEN–WANKEL MOTOR İLİŞKİSİ

Hidrojen geleceğe damgasını vuracak bir alternatif yakıt sistemidir. Hidrojenin en yararlı olarak kullanılmasını sağlayacak motorlarda geleceğin motorları olarak görülen Wankel motorları olabileceği düşünülmektedir. Bunun için Mazda firması “Miata” motor kapağı altında, şirketin RX-7 spor arabaları üretmiştir. Bu araçlarda iki rotorlu bir döner motor vardır. Mazda’nın diğer modellerinden tek farkı bu aracın hidrojenle çalışmasıdır.

Wankel motoru ele alındığında, hidrojen ve Wankel’in birbirine çok uygun olduğu görülmektedir. Wankel rotorlarının döndüğü odacık içerisinde hareketli bir yanma hacmi meydana gelmekte ve diğer motorlara oranla daha fazla olan yüzey alanı ortaya çıkan ısıyı dağıtmaktadır.



Şekil 30. Hidrojen gazının wankel motora uygulanması [23]

Hiç bir bölgesinin daha fazla sıcak olmaması veya sıcak noktalar oluşmaması nedeniyle motor hidrojen kullanımına uygundur. Wankel’in emme, kompresyon, genişleme ve egzoz bölgelerinin birbirinden farklı olması sonucu, hidrojenin hızlı hareket eden alevi hiç bir problem yaratmamaktadır ve gerçekten de Wankel motor hidrojen kullanımına çok yatkındır. [22]

Mazda 1994 yılında hidrojen yakıtlı döner motor destekli tasarımını duyurdu. Hidrojen dünyaca sorun olan karbondioksit’i üretmeyen bir yakıt olarak kullanılacaktır. Mazda bu projelerini geleceğin döner motorları için sürdürmekte halen deneysel araçlar üretmektedir.

7.1 Hidrojenli Miata Motorun Dezavantajları

- ✓ Bu arabanın performansı her gün kullandığımız bir benzinli motora çok yakın bir performans gösterir. Fakat bu arabanın yakıt deposu diğer arabalardan biraz daha farklı olacağından ilave bir ağırlık olacaktır.
- ✓ Yakıt deposu 225 kg civarındadır. Aracın bu nedenle normal bir Wankel motordan performansı biraz daha düşük olacaktır.
- ✓ Hidrojen gazının depoya beslenmesi, bugünkü benzinli taşıtlardaki deponun dolum sürecinden oldukça yavaştır. Örneğin 90 km'lik bir yol için gerekli hidrojen, bu günkü metotlarla 10 dakikada doldurulabilmektedir. [23]

8. SONUÇ

Geleneksel motorlara göre pek çok avantajı taşıyan alternatif tasarımlar ortaya koyup bunların bir kısmı üretilmiş ve üzerlerinde performans testleri uygulamışlardır. Her geçen gün bu alternatif motorların daha da verimli olabilecek biçimde gelişmiş tasarımlarına ilişkin patentler alınmaktadır.

Yeni motor tasarımlarında sıkıştırılan yakıt-hava karışımının ateşlenmesiyle elde edilen basıncın doğrudan dairesel harekete dönüştürülmesi düşüncesi hakimdir. Böylece yüksek ısı ve basınç altında çalışan doğrusal hareketli motor elemanlarının arıza, titreşim, gürültü, sürtünme kaybı, hassas imalat olumsuzluklarının ortadan kaldırması hedeflenmektedir. Bu sebeple biyel, krank mili, kam mili, supaplar ve diğer doğrusal hareketli parçalar tamamen kullanım dışı bırakılmaya çalışılırken tasarımların özellikle Rotary tipine doğru kaymakta olduğu görülmektedir.

İçten yanmalı döner pistonlu motorlar yeni bir çalışma sistemine sahip olduğundan birçok sanayi teşekkülleri tarafından pratik olmayacağı, çeşitli arızalar meydana getireceği, ekonomik olmayacağı kanısı ile karşılanmıştır. Fakat zamanla gerek Japonya’da gerek Almanya’da yapılan gelişmeler sonucunda korkulu problemler ortadan kaldırılmış ve bugünkü modern yapısı ve çalışma prensibi ile otomotiv sanayinde yerini bulmuştur.

Amerika’da motorlu vasıtaların hava kirlenmesini önlemek maksadı ile az kurşunlu veya kurşunsuz yakıt kullanılması ve ufak vasıta tipine olan ilginin artması sonucu döner pistonlu motorlar imalini hızlandırmıştır. Bu gibi avantajlarından dolayı yakın bir gelecekte motor üreticisi firmaların bu motorlara daha fazla ilgi gösterecekleri ön görülmektedir.

Yapılan araştırmalara göre, giderek kaynakları tükenmekte olan petrol kökenli yakıtlara alternatif olarak, hidrojenin içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılabilirliği yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır. Hidrojenin en yararlı olarak kullanılmasını sağlayacak motorlarda geleceğin motorları olarak görülen Wankel motorları olabileceği düşünülmektedir. Wankel motoru ele alındığında, hidrojen ve Wankel'in birbirine çok uygun olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Dunn, H. T., “Rotary Engine”, USPTO 711952, New York, 1-7 (1902).
2. Cornelison, C. M., “Rotary Engine”, USPTO 802843, Pennsylvania, 1-5 (1905).

3. Henkel, A. W., "Rotary Engine", USPTO 870290, Wisconsin, 1-4 (1907).
4. Hummel, F. P., "Rotary Engine", USPTO 1023782, Ohio, 1-6 (1912).
5. Granberg, A. J., "Rotary Steam Engine", USPTO 3806286, California, 1-7 (1973).
6. Petty, D. V., "Rotary Internal Combustion Engines", USPTO 3581718, California, 1-6 (1971).
7. Hogguer, F. J., "Rotary Piston Internal Combustion Engine", USPTO 3634740, Netherlands, 1-8 (1971).
8. Knee, G. J., "Rotary Internal Combustion Engine", USSPTO 3800760, Northamptonshire, 1-7 (1974).
9. Eells, T. M., "Rotary Internal Combustion Engine", USPTO 3782341, Los Angeles, 1-8 (1974).
10. Turner, W. F., " Vee Engine", USPTO 3830208, Texas, 1-15 (1974).
11. Gulko, A. G., "Four Stroke Rotary V Internal Combustion Engine", USPTO 3902466, Silver Spring, 1-7 (1974).
12. Sullivan, R. W., " Rotary Vee Engine", USPTO 4867107, Oklahoma, 1-33 (1989).
13. Willis, E. A., "Engineering Study of the Rotary-Vee Engine Concept", Nasa Technical Memorandum 101995, Michigan, 1-36 (1989).
14. Crutchfield, M. R., "Rotary Internal Combustion Engine" USPTO 4241713, Phoenix, 1-12 (1980).
15. Person, H. R., "Rotary Internal Combustion Engine", USPTO 6959685, Denton, 1-10 (2005).

16. Aksoy, N., İingür, Y., “Alternatif İçten Yanmalı Motorlar”, 3. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu Bildiri Kitabı, Gazi Üniversitesi 571-586 (2003).
17. YAMAMOTO , K., “ Mazda Rotary Engine”, Tokyo, Japan (1981)
18. Gazi Ünv. Otomotiv Bilim ve Teknoloji Topluluęu,
<http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/wankel/Wankel%20Motor.htm>
19. MEGEP, “Alternatif Motorlar ve Yakıtlar”, Ankara (2006).
20. MEGEP, “Otomotiv Motor Mekanięi 1”, Ankara (2005).
21. Bilkent Teknoloji 101 Öğrenci Kolu E-Dergisi
<http://ieee.bilkent.edu.tr/teknoloji101/>
22. Mazda RX-8 Rotary Motor Teknik Özellikleri (2009).
23. Gazi Ünv. Otomotiv Bilim ve Teknoloji Topluluęu, “Alternatif Yakıt Sistemleri ”
http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/yakitlar_yaglar/Hidrojen.htm

