

# TURBO DÖNGÜSEL BİR MOTORDA DÖNER VALF VE ELEKTROMANYETİK VALF UYGULAMALARININ TÜRBİN GÜCÜNE ETKİSİ

**Melih OKUR, Fatih ŞAHİN**

Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06500, Teknikokullar, ANKARA  
[mokur@gazi.edu.tr](mailto:mokur@gazi.edu.tr), [fasahin@gazi.edu.tr](mailto:fasahin@gazi.edu.tr)

(Geliş/Received: 22.11.2011; Kabul/Accepted: 06.11.2012)

## ÖZET

Bu çalışmada yeni bir tasarım konsepti olan Pars motorun gücünün artırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla mevcut döner valf sistemi yerine elektromanyetik valf sistemi tasarlanmıştır. Öncelikle türbinin mevcut döner valf sistemiyle güç testleri yapılmıştır. Türbin deneyleri döner valfin dört farklı açma/kapama açıları için gerçekleştirilmiştir. Daha sonra döner valf sistemi yerine elektromanyetik valf sistemi motora bağlanarak deneyler tekrarlanmıştır. Döner valf ile yapılan deneylerde ikinci konumda en yüksek güç elde edilmiştir. Elektromanyetik valf ile yapılan deneylerde döner valf sistemine göre türbin gücünde %60'a varan bir artış elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Turbo döngüsel motor, Döner valf, Elektromanyetik valf

## THE EFFECTS OF ROTARY VALVE AND ELECTROMAGNETIC VALVE APPLICATIONS ON TURBINE POWER ON A TURBO ROTARY ENGINE

### ABSTRACT

In this study, it is aimed to improve the power of Pars engine which is a novel design concept. For this purpose an electromagnetic valve system was designed instead of existing rotary valve system. First, turbine power tests were carried out with the existing rotary valve system. The tests were performed for four different opening and closing angles of rotary valve. Then, the electromagnetic valve system was connected to the engine instead of rotary valve system and tests were repeated. The highest power was obtained from the experiments which were done with second position of rotary valve system. In the experiments which were done by using the electromagnetic valve system, an increase of power was obtained up to 60% than the rotary valve system.

**Key Words:** Turbo rotary engine, Rotary valve, Electromagnetic valve

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Turbo döngüsel motorlar, 100 yılı aşkın bir süredir birçok farklı tasarım ile geliştirilmektedir. Yeni bir tasarım olan Pars motorun, az sayıda parçaya ve düşük atalet kuvvetlerine sahip olması, aerodinamik rotor yapısı ve tasarımının basit olması gibi birçok avantajı vardır. Pars motor piston tipi motorlara göre daha yüksek hızlara çıkabilmektedir. Bu avantajları nedeniyle gelecekte insansız hava araçlarında kullanılabilecek bir yapıdadır.

İçten yanmalı motorlarda dolgunun yanma odasına alınması genellikle supap sistemleri ile yapılmaktadır.

Supap sisteminin bazı dezavantajlarından dolayı pistonlu motorlarda da döner valf uygulamaları zaman zaman denenmiştir. İçten yanmalı motorlarda ilk döner valf çalışmaları 1909 yılında Frayer ve Howard tarafından yapılmıştır [1]. Daha sonra 1920'li yıllarda Bournonville tarafından Belçika'da bazı motorlara döner valf uygulanmıştır [2]. 1940'lı yılların başında Aspin tarafından dikey döner valf uygulamaları yapılmış olup, 1990'lı yıllara kadar bu çalışmalar devam etmiştir [3]. Coates tarafından yapılan bir çalışmada yarı küresel yanma odalı bir motorda döner valf ve valf sızdırmazlık elemanları tasarlanmıştır. Bu çalışmada emme portunda seramik karbon sızdırmazlık elemanı kullanılarak kaçakların

azaltılması amaçlanmıştır [4]. Muroki ve arkadaşları tarafından aynı port alanına sahip radyal bir döner valfte açılma ve kapanma zamanlarını değiştirerek statik akış katsayısının nümerik çözümleri yapılmıştır [5].

Consoloni ve Valentinitich tarafından yapılan bir çalışmada içten yanmalı bir motorun yanma odasının içerisine döner valf uygulanmış olup, elastik sızdırmazlık contası ile kaçaklar engellenmiştir [6]. Ueda ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada yüksek genişleme oranına sahip, sıkıştırma oranı değiştirilebilen bir benzin motorunda, emme işlemi için döner valf kullanılmıştır. Döner valf zamanlamasının değiştirilmesi ile tam yük karakteristiklerinde olduğu gibi motor yük kontrolleri sağlanmış ve yakıt tüketimlerinde azalmalar elde edilmiştir [7]. Zhang ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada Miller çevrimi ile çalışan bir benzin motorunda emme zamanının daha uzun süreli yapılabilmesi için döner valf uygulaması yapılmıştır. Emme zamanında döner valfin kullanılması ile sıkıştırma oranının düşürülmesi ve vuruş bölgesinin daha da uzaması sağlanmış ve genişleme zamanının artması ile verimin artması sağlanmıştır [8]. Mc Nally tarafından yapılan bir çalışmada ise silindirik bir döner valfin port içerisine yerleştirilmesiyle iş zamanında oluşan yanma basıncının silindir içerisinde tutulması sağlanmıştır [9].

Yapılan çalışmalar incelendiğinde döner valfler üzerine yapılan çalışmaların genellikle sızdırmazlık elemanları üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Yanma odasındaki basınç kaçakları ve döner valf yataklarının maruz kaldığı basınçlardan dolayı oluşan yatak aşınmaları bu uygulamaları ticari anlamda başarısız kılmıştır. Bu nedenle pistonlu motorların neredeyse tamamında supap mekanizmaları kullanılmaktadır.

Turbo döngüsel motorlarda bir kompresör tarafından sıkıştırılan hava-yakıt karışımı yanma odasına gönderilmektedir. Bu yapıdan dolayı turbo döngüsel motorlarda yaylı supap sistemleri yerine döner valf sistemleri kullanılmaktadır. Döner valf sistemlerinde supap mekanizmasının bulunmaması atalet kuvvetleri gibi dezavantajları ortadan kaldırmaktadır. Bu durum döner valf mekanizmasını yüksek hızlı motorlarda daha avantajlı hale getirmektedir. Bu nedenle Turbo döngüsel Pars motorunda belirtilen avantajlar göz önünde bulundurularak döner valf sistemi kullanılmıştır.

Akmandor ve Erzöz tarafından farklı bir termodinamik çevrim geliştirilmiş ve bu çevrime göre çalışan Pars motor tasarlanmıştır. Termodinamik çevrim ve motorun patentleri 2007 ve 2008 yıllarında alınmıştır [10,11]. Turbo döngüsel Pars motorun geliştirme çalışmalarının başında yanma odasının şeklinin belirlenmesi, farklı palet tasarımları ve

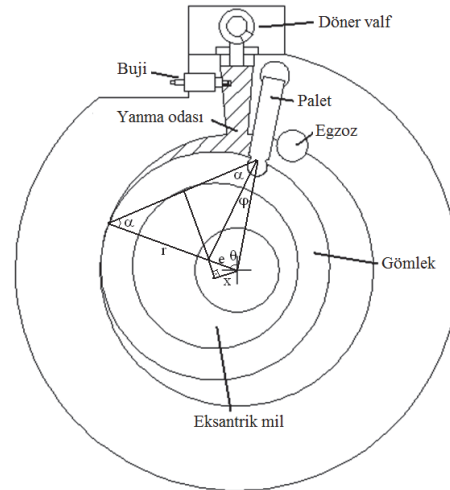
malzemesinin değiştirilmesi gibi konular ön plana çıkmaktadır [12-16].

### 1.1. Pars Motorun Yapısı (Structure of The Pars Engine)

Pars motor az sayıda ve basit yapıda parçalardan oluşmaktadır. Ayrıca motorun boyutlarının küçük oluşu, pistonlu motorlara oranla düşük atalet kuvvetlerine ve aerodinamik rotor yapısına sahip olması önemli avantajlarındandır. Pars motor, kompresör, yanma odası ve türbin olmak üzere üç ana kısımdan oluşmaktadır. Şekil 1'de Pars motor türbininin parçaları görülmektedir.

Pars motorun rotor açısının ( $\theta$ ) değişimine göre anlık motor momentinin hesaplamalarında temel geometrik kurallar kullanılmıştır. Döndürme momenti ( $H$ ), Eşitlik 1 yardımıyla hesaplanabilmektedir. Burada,  $h$  rotor derinliği,  $r$  rotor yarıçapı,  $\varepsilon$  eksantriklik oranı ve  $\theta$  rotor açısıdır [17].

$$H = h \cdot r^2 \cdot p \cdot \varepsilon \cdot (1 + \varepsilon \cdot \sin^2 \theta - \cos \theta \cdot \sqrt{1 - \varepsilon^2 \cdot \sin^2 \theta}) \quad (1)$$



Şekil 1. Pars motor türbininin parçaları (Parts of the Pars engine turbine)

Rotor açısına bağlı olarak oluşan kuvvet kolu ise aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanabilir.

$$\sin \varphi = \frac{e \cdot \sin \theta}{r} \quad (2)$$

$$\varphi = \sin^{-1} \left( \frac{e \cdot \sin \theta}{r} \right) \quad (3)$$

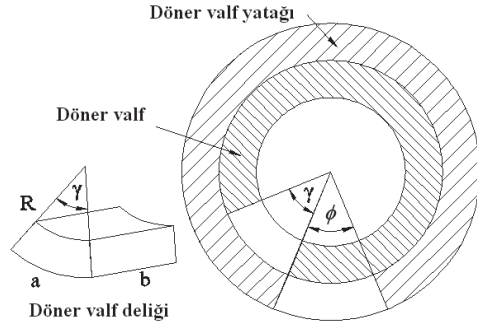
$$\alpha = \frac{180 - (\varphi + \theta)}{2} \quad (4)$$

$$x = \cos \alpha \cdot e \quad (5)$$

### 1.2. Döner valf (Rotary Valve)

Döner valf R yarıçaplı bir silindir olarak modellenmiştir. Döner valfin üzerindeki delik izdüşümü alındığında a.b boyutlarında bir dikdörtgene karşılık gelmektedir. b deliğin eksene paralel

doğrultudaki,  $a$  ise deliğin çevresel yöndeki boyutlarıdır.  $b$  doğrudan bir tasarım değişkeni olarak kabul edilirken,  $a=R \cdot \gamma$  olduğundan  $a$  yerine  $R$  ve  $\gamma$  tasarım değişkeni olarak kabul edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Döner valf (Rotary valve)

Burada  $\gamma$ , döner valf deliğinin, ' $\phi$ ' ise döner valf yatak deliğinin merkez açısıdır. Döner valften yanma odasına gaz geçiş hızı:

$$V = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \left( \frac{P_1}{\rho_1} - \frac{P_{ort}}{\rho_{ort}} \right)} \quad (6)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Burada;  $P_1$  ve  $\rho_1$ , kompresör çıkış basınç ve yoğunluğunu temsil ederken,  $P_2$  ve  $\rho_2$ , atmosferik basınç ve yoğunluğu,  $P_{ort}$  ve  $\rho_{ort}$ , ise sırasıyla  $P_1$  ve  $P_2$  ve  $\rho_1$  ve  $\rho_2$  değerlerinin ortalamasını temsil etmektedir.

Bir turda döner valfin üzerindeki deliğin yanma odası girişine denk gelme süresi, yani döner valften yanma odasına gaz akışına izin verilen toplam süre:

$$t = \frac{30 \cdot (\phi + \gamma)}{\pi \cdot \omega} \quad (7)$$

eşitliği ile hesaplanabilir.

Bir turda döner valften yanma odasına geçecek olan madde miktarı:

$$m_{av} = \frac{\rho \cdot V \cdot b \cdot r \cdot 30 \cdot \gamma \cdot \phi}{\pi \cdot \omega} \quad (8)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır.

### 1.3. Elektromanyetik Valf ve Kontrol Ünitesi (Electromagnetic Valve and Control Unit)

İçten yanmalı motorlarda kam mili mekanizmasının yerine elektromanyetik supap mekanizmalarının kullanılmasına yönelik farklı türde çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda genel hedefler, supap mekanizmasının motordan çektiği gücün ortadan kaldırılması, elektromanyetik supap mekanizmasının supapları daha hızlı açıp kapatmasıyla hacimsel verimin artırılması ve değişken motor hızlarına uygun farklı supap zamanlamalarının elde edilmesi şeklinde sıralanabilir

[18,19]. Ayrıca elektromanyetik valfli sistemlerle ilgili tepki süresinin kısaltılması, supap sıçramasının önlenmesi, enerji sarfiyatının azaltılması gibi konular üzerine çalışmalar yapılmıştır [20-23]. Farklı supap zamanlamalarının elde edilmesi mekanik sistemlerde bir işletici yardımıyla kam mili konumuna müdahale edilerek de yapılmaktadır.

Elektromanyetik supap mekanizmalarında ise emme ve egzoz supaplarına hareket veren solenoidler bulunmaktadır. Bu mekanizmalarda kullanılan açma kapama bobinlerinin tepki süresinin yeteri kadar kısa olmaması ve supap sıçraması gibi sorunlar bu sistemlerin içten yanmalı motorlarda kullanımını olumsuz yönde etkilemektedir.

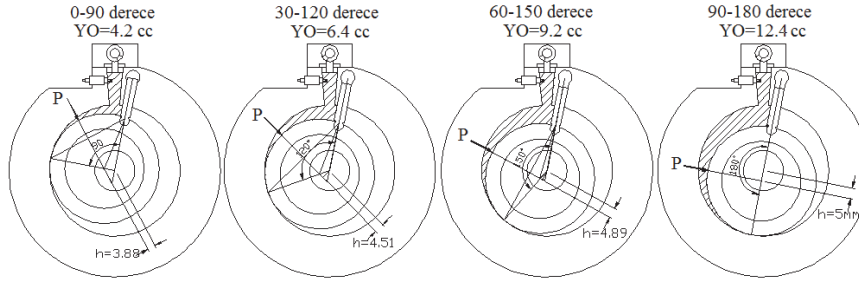
Bu çalışmada, Pars motorun türbin kısmının geliştirilmesi amacıyla dolgunun türbine alınış şekillerine yönelik iki farklı mekanizma üzerine deneysel çalışmalar yapılmıştır. İlk olarak döner valf mekanizması kullanılarak farklı açma/kapama açılarında en yüksek gücü veren konum deneysel olarak belirlenmiştir. İkinci aşamada ise döner valfin olumsuz yönlerini (basınç kaçaqları, yataklara gelen yükler ve zincir dişli sisteminin çektiği güç) ortadan kaldırmak amacıyla elektromanyetik valfli bir sistem tasarlanmıştır. Çalışmanın birinci aşamasında yapılan deneyler aynı şartlar (açma/kapama açıları ve basınçlar) altında elektromanyetik valfli sistemle tekrarlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Çalışmada kullanılan türbinin ölçüleri Tablo 1'de verilmiştir. Türbin deneylerinden önce döner valf açık kalma açısının belirlenmesi gerekmektedir. Türbinin ihtiyacı olan hava-yakıt karışımının yanma odasına alınması için 90° döner valf açıklığı Eşitlik 8 yardımıyla belirlenmiştir. En yüksek türbin gücü, ateşleme anındaki kuvvet kolu ve karışım basıncı ile doğru orantılıdır. Ancak Şekil 3 incelendiğinde rotor açısı artarken kuvvet kolu ve karışım basıncının ters orantılı olarak değiştiği görülmektedir. Rotor açısı 180°'de iken kuvvet kolu en yüksek değerde olmasına rağmen, yanma odasının hacmi arttığı için karışım basıncı azalmaktadır. En yüksek türbin gücünün belirlenmesi için bu iki parametrenin optimum noktasının belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla döner valfin açılma başlangıç açıları 0°, 30°, 60°, 90° olarak belirlenmiş ve türbin deneyleri yapılmıştır. Şekil 3'te rotor-döner valf konumları görülmektedir.

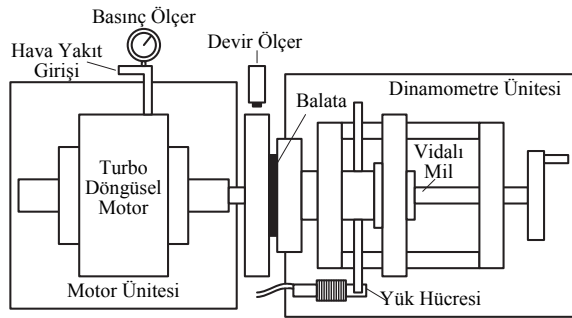
Tablo 1. Türbinin ölçüleri (Dimensions of turbin)

Hazne çapı	61,8 mm
Rotor çapı	51,8 mm
Rotor derinliği	24 mm
Eksantriklik	5 mm
Döner valf sonrası sabit yanma odası hacmi	2,3 cm <sup>3</sup>
Toplam türbin hacmi	21,4 cm <sup>3</sup>



Şekil 3. Rotor-döner valf konumları (Rotor-rotary valve positions)

Daha homojen bir karışım elde edebilmek amacıyla motorda sıvı bir yakıt olan benzin yerine propan ( $C_3H_8$ ) gazı tercih edilmiştir. Propan gazının stokiyometrik oranı 15,67/1'dir. Bu karışım oranı döner valf girişinde hassas vanalar yardımıyla ayarlanmıştır. Deneylerde türbine alınan hava-yakıt karışımının debisi 12 l/min olacak şekilde sabit tutulmuştur. Hava ve yakıtın debisinin ölçümü için bilgisayar tabanlı motor kontrol ve veri toplama sistemi kullanılmıştır. Ölçümler küçük güçteki motorların test edilebilmesi için tasarımı ve imali yapılan balatalı tip (prony freni) dinamometre ile yapılmıştır. Şekil 4'te deney düzeneğinin şematik yapısı görülmektedir.



Şekil 4. Deney düzeneğinin şematik görünümü (Schematic view of experimental setup)

Deneylerde hava ve yakıt debileri Alicat Scientific marka MCR500SLPM ve MC50SLPM model akış kontrol cihazları yardımıyla ölçülmüştür. Akış kontrol cihazlarının teknik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Akış kontrol cihazlarının teknik özellikleri (Technical specifications of mass flow controllers)

	MCR500SLPM	MC50SLPM
Doğruluk	Okunan değer $\pm$ %0,8'i, tam skalanın $\pm$ %0,2'si	
Tekrarlanabilirlik	$\pm$ %0,2	
Tepki süresi	100 ms	
Maksimum basınç	10 bar	
Besleme voltajı	24-30 V DC	
Isınma süresi	< 1 s	
Maksimum debi	500 l/min	50 l/min

Dinamometre fren kuvvetinin ölçümü için Esit PWI-P yük hücresi indikatörü ve Esit BB-20kg-C3 yük hücresi kullanılmıştır. Yük hücresi ve indikatörün teknik özellikleri Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3. Yük hücresinin teknik özellikleri (Technical specifications of load-cell)

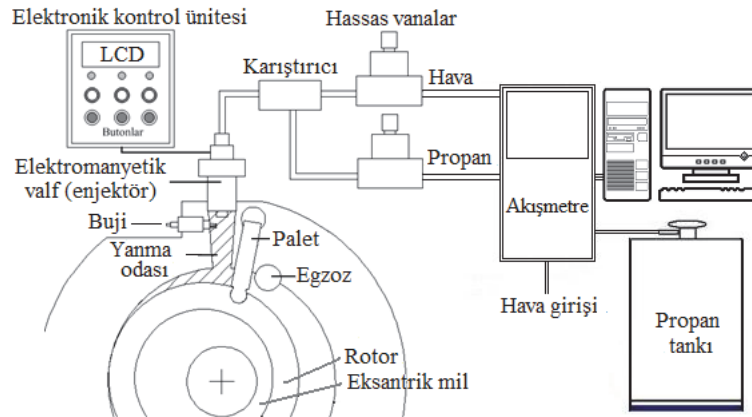
Maksimum kapasite	20 kg
Hassasiyet sınıfı (OIML R 60'a göre)	C3
Toplam hata	$\leq \pm 0,02$
Çıkış	2 mV/V
Giriş direnci	$385 \pm 20 \Omega$
Çıkış direnci	$350 \pm 3 \Omega$
Maksimum çalışma gerilimi	15 V

Tablo 4. Yük hücresi indikatörünün teknik özellikleri (Technical specifications of load-cell indicator)

Maksimum bölüntü sayısı (doğruluk sınıfı)	6000d (III)
Giriş duyarlılığı	$0,5 \mu V$ /dijit
Doğrusallık	%0,005
A/D çeviricisi	24 bit sigma-delta
Dijital filtre	Ayarlanabilir sayısal ortalama
Okuma sıklığı	12-100 Hz
Analog giriş aralığı	$\pm 10 mV/V$
Besleyebileceği yük hücresi sayısı	8 adet ( $350 \Omega$ )
Yük hücresi besleme voltajı	10V DC
Besleme gerilimi	12-24V AC / 12-36V DC

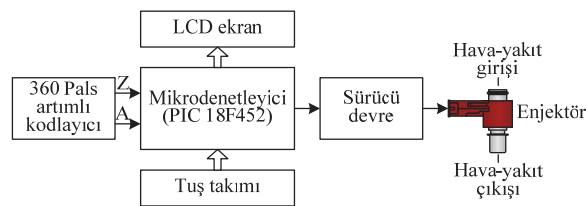
Döner valfin olumsuz yönlerini (döner valf yataklarına gelen yük, zincir dişli sisteminin çektiği güç ve valf yataklarındaki basınç kaçakları) ortadan kaldırmak amacıyla elektromanyetik valf sistemi tasarlanmıştır. Ayrıca elektromanyetik valfli sistemde açılma kapanma işlemi daha hızlı gerçekleştiği için hacimsel verim de artacaktır. Tasarlanan bu sistemle döner valf ile yapılan deneyler tekrarlanmıştır. Şekil 5'te elektromanyetik valfli Pars motor türbininin şematik yapısı görülmektedir.

Hassas vanalarla hazırlanan hava-yakıt karışımı yanma odasına mikrodenetleyici tarafından kontrol edilen elektromanyetik valf yardımı ile alınmaktadır. Çalışmada kullanılan hava enjektörü doğrudan enjeksiyonlu benzin motoruna sahip Aprilia motosiklet motorlarının yakıt sistemlerinde bulunan AP3AGA000614 model hava enjektördür.



Şekil 5. Elektromanyetik valfli Pars motorun şematik görünümü (Schematic view of Pars engine with electromagnetic valve)

Hava enjektörünün kontrolü için mikrodenetleyicili bir kontrol devresi geliştirilmiştir. Kontrol devresinde Microchip firması tarafından üretilen PIC18F452 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Geliştirilen devre Pars motoru miline bağlı bulunan artımlı kodlayıcıdan açı bilgisini almakta ve ayarlanan açılma kapanma dereceleri arasında enjektörü açık tutmaktadır. Şekil 6'da geliştirilen kontrol ünitesinin blok diyagramı görülmektedir.



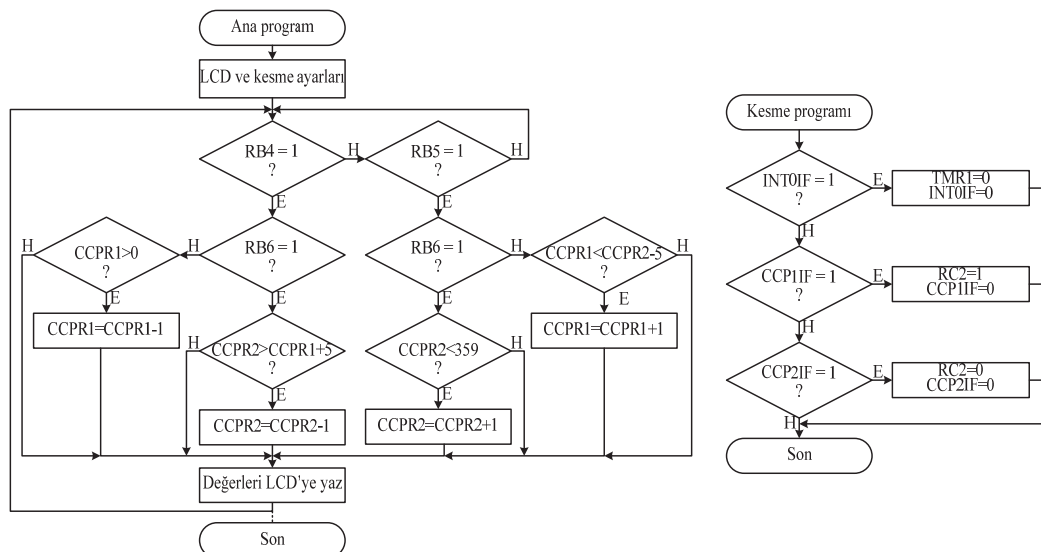
Şekil 6. Elektronik kontrol ünitesinin blok diyagramı (Block diagram of electronic control unit)

Artımlı kodlayıcının Z (sıfır) çıkışı her turda bir pals üretmektedir ve motora 0°'de pals üretecek şekilde bağlanmıştır. Z çıkışı 18F452 mikrodenetleyicisinin RB0/INT0 harici kesme girişine, A çıkışı ise RC0/T13CK1 girişine bağlanmıştır. Enjektörün

kontrolü için sürücü devresine RC2 çıkışından bağlantı yapılmıştır. Açma ve kapama açıları CCPR1 ve CCPR2 kaydedicilerinde tutulmaktadır. TIMER1 sayıcısı açı bilgisini tutmakta ve enkoderin A çıkışından alınan her palste değeri 1 artmaktadır. Z çıkışından alınan pals ile TIMER1'in değeri sıfırlanmaktadır. TIMER1'in değeri CCPR1 ile eşitlendiğinde RC2 çıkışından 1 bilgisi gönderilerek enjektörün açılması, TIMER1'in değeri CCPR2 ile eşitlendiğinde ise RC2 çıkışı 0'a çekilerek enjektörün kapanması sağlanmaktadır. Şekil 7'de mikrodenetleyici yazılımının akış şeması görülmektedir.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

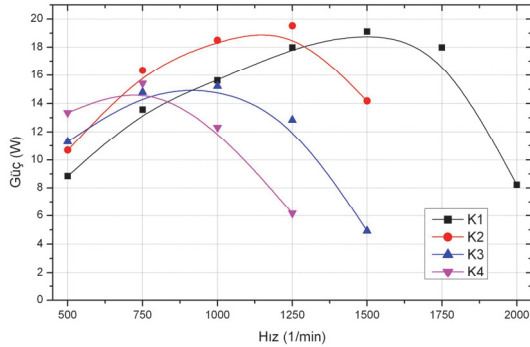
Şekil 8'deki grafikler incelendiğinde döner valfli türbin uygulamasında en yüksek türbin gücünün 1. konumda (K1) 1750 1/min'de, 2. konumda ise (K2) 1250 1/min'de yaklaşık 20 W olarak elde edildiği görülmektedir. Ancak K2 konumunda K1 kadar yüksek hızlara çıkılamamıştır. Bunun sebebi K2 konumunda yataklarda meydana gelen basınç



Şekil 7. Mikro denetleyici yazılımının akış şeması (Flow chart of microcontroller software)



kaçaklarının daha fazla olmasıdır. K3 ve K4 konumlarında ise kuvvet kolu (x) daha büyük olmasına rağmen basıncın (p) düşük ve yanma odası şeklinin kötü olmasından dolayı K1 ve K2'ye göre daha düşük güçler elde edilmiştir.



**Şekil 8.** Döner valfin dört farklı konumu için hız-güç eğrileri (Speed-power curves for four different positions of rotary valve)

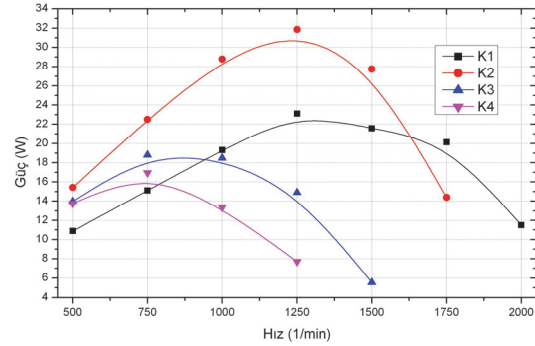
Döner valfin belirlenen konumları için türbin moment hesaplamaları incelendiğinde  $\theta$  açısının değişimi ile türbin içerisindeki p basıncı ve x kuvvet kolunun değiştiği görülmektedir (Şekil 3). Yanma odası hacminin artmasının türbin performansına olumsuz etkileri vardır. Bu etkiler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Yanma odasının hacmi artarken içeriye alınan dolgu miktarı sabit kalmaktadır.
- Döner valfin açılması K2, K3 ve K4 konumlarında türbinin  $0^\circ$ 'den ayrılmasından sonra gerçekleştiği için yanma odasında vakum oluşmakta ve p basıncı düşmektedir.
- Yanma odasının hilal şeklinde olması (yüzey/hacim oranının artmasından dolayı) yanma kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir.
- Palet yüzeyinin daha büyük bir kısmının yanma sonucu oluşan basınca maruz kalmasına bağlı olarak palet sürtünme kuvvetleri artmaktadır.

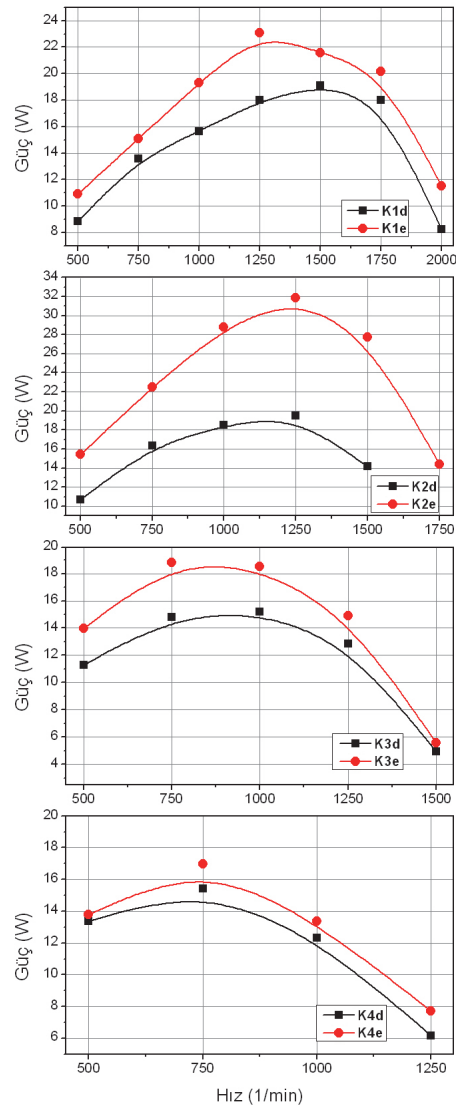
Döner valfli deneylerdeki bütün şartlar sabit tutularak (debiler ve açma/kapama açıları) elektromanyetik valfli sistemle türbin deneyleri tekrar edilmiş olup, sonuçlar Şekil 9'da görülmektedir. Bu grafikler incelendiğinde elektromanyetik valfli sistemde de döner valfli sistemin deney sonuçlarına benzer eğrilerin elde edildiği görülmektedir. K1 konumunda 2000 1/min hıza ulaşılmış, K2 konumunda ise en yüksek güç elde edilmiştir. Bu konumda elde edilen en yüksek güç 1750 1/min'de yaklaşık 32 W'tır.

Türbin deneyleri her dört konum için (K1, K2, K3, K4) hem döner valf hem de elektromanyetik valf sonuçları ayrı ayrı incelendiğinde elektromanyetik valfli sistemin döner valfli sisteme göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir (Şekil 10). Pistonlu motorlarda yapılan elektromanyetik valf çalışmalarında da kam mekanizmasının ortadan

kaldırılmasına bağlı olarak güç artışı sağladığı belirtilmektedir [19].



**Şekil 9.** Elektromanyetik valfin dört farklı zamanlaması için hız-güç eğrileri (Speed-power curves for four different timings of electromagnetic valve)



**Şekil 10.** Farklı konumlar için döner valf ve elektromanyetik valfli sistemin hız-güç eğrileri (Speed-power curves for different positions of rotary valve and electromagnetic valve system)

K1 konumunda döner valfli çalışmada en yüksek güç 1750 1/min'de 19,1 W olarak elde edilirken

enjektörlü çalışmada ise en yüksek güç 1250 1/min'de 23,1 W olarak elde edilmiştir. K2 konumunda döner valfli çalışmada en yüksek güç 1250 1/min'de 19,5 W olarak elde edilirken enjektörlü çalışmada ise en yüksek güç 1250 1/min'de 31,9 W olarak elde edilmiştir. Ayrıca bu konumda döner valfli çalışmada en fazla 1500 1/min motor hızına ulaşılırken elektromanyetik valfli çalışmada 1750 1/min hıza ulaşılmıştır. K3 konumunda döner valfli çalışmada en yüksek güç 1000 1/min'de 15,2 W olarak elde edilirken enjektörlü çalışmada ise en yüksek güç 750 1/min'de 18,8 W olarak elde edilmiştir. K4 konumunda döner valfli çalışmada en yüksek güç 750 1/min'de 15,4 W olarak elde edilirken enjektörlü çalışmada ise en yüksek güç 750 1/min'de 17 W olarak elde edilmiştir. K1, K2, K3 ve K4 konumlarında elektromanyetik valfli sistemle döner valfli sisteme göre ortalama sırasıyla %21,7, %59,3, %20,2 ve %11,6 oranında güç artışı elde edilmiştir.

#### 4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ (CONCLUSION)

Bu çalışmada turbo döngüsel Pars motoru için elektromanyetik valf sistemi geliştirilmiştir. Motor döner valf ve geliştirilen elektromanyetik valfli sistemi ile güç testlerine tabi tutulmuş ve döner valfli sisteme göre yaklaşık %10 ile %60 arasında güç artışı sağlanmıştır. Bu artışın sebepleri, döner valf zincir dişli sisteminin çekmiş olduğu gücün ortadan kaldırılmış olması, elektromanyetik valfli sistemde basınç kaçaklarının bulunmaması ve bu sistemin hacimsel verimi arttırmasıdır. Grafiklerden anlaşılacağı gibi motor için en uygun zamanlama K2 konumunda elde edilmiştir.

Pars motorun türbin performansının artırılması için geliştirilen bu sistem sadece döner valfin görevi olan basınçlı hava-yakıt karışımının yanma odasına alınmasındaki zamanlamayı iyileştirmek amacıyla yapılmıştır. Pistonlu motorlarda farklı çalışma koşullarına göre silindirlere daha fazla karışım alabilmek için değişken supap zamanlaması kullanılmaktadır. Benzer olarak bu çalışmaya konu olan turbo döngüsel motorda farklı çalışma şartlarında değişken açma/kapama açılarının ve açık kalma sürelerinin uygulanması motor performansını arttıracağı düşünülmektedir. Geliştirilen elektromanyetik valfli sistem ile bütün çalışma koşullarında motordan en yüksek performans alınmasını sağlayacak açma/kapama açıları belirlenerek kontrolün yapılması sağlanabilir.

#### SEMBOLLER (SYMBOLS)

H	Türbin Döndürme Momenti (Nm)
h	Rotor derinliği (mm)
r	Rotor yarıçapı (mm)
$\epsilon$	Eksantriklik oranı
$\theta$	Rotor açısı (rad)
e	Eksantriklik (mm)

$\phi$	Eksenler arası açı (rad)
$\alpha$	Temas noktaları açısı (rad)
x	Rotor açısına göre kuvvet kolu (mm)
R	Döner valf yarıçapı (mm)
b	Döner valf yarığının eksene paralel doğrultudaki boyutu (mm)
a	Döner valf yarığının çevresel yöndeki boyutu (mm)
$\gamma$	Döner valf delik açısı (rad)
$\phi$	Döner valf yatağı delik açısı (rad)
V	Döner valften yanma odasına madde geçiş hızı (m/s)
$P_1$	Kompresör çıkış basıncı (Pa)
$\rho_1$	Kompresör çıkış yoğunluğu (Kg/m <sup>3</sup> )
$P_{ort}$	Kompresör ve atmosferik basıncın ortalaması (Pa)
$\rho_{ort}$	Kompresör ve atmosferik hava yoğunluğunun ortalaması (Kg/m <sup>3</sup> )
t	Bir turda döner valf üzerindeki deliğin yanma odası girişine denk gelme süresi (s)
$\omega$	Açısal hız (rad/s)
$m_{dv}$	Bir turda döner valften yanma odasına geçen madde miktarı (kg)

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Frayer, L.A., ve Howard, C.O., "Rotary valve", Patent number: 908,656 Publication date: 05.01.1909, United States Patent, 1909.
2. Newton, K. ve Steeds, W., **The Motor Vehicle**, Butterworth Heinemann, Oxford, 2001.
3. Aspin, F., "Vertical rotary valve" Patent number: 463,412 Publication date: March 1937, United States Patent, 1937.
4. Coates, G., J., "Rotary valve and valve seal assembly for engine with hemispherical combustion chambers", **Sealing Technology**, Cilt 2004, No 10, 13, 2004.
5. Muroki T., Moriyoshi Y. ve Suzuki M., "Air Flow Analysis for the Radial Flow Type Rotary Valve: Measurement of Static Flow Coefficient and Its Numerical Calculation", **JSAE Review**, Cilt 16, No 1, 109, 1995.
6. Consoloni, V. ve Valentinitich, K., "Rotary Valve Internal Combustion Engine with Seal and Valve Register", **Sealing Technology**, Cilt 2007, No 12, 14, 2007.
7. Ueda N., Ichimaru K., Sakai H., Kanesaka H. ve Winterbone D.E., "A High Expansion Ratio Gasoline Engine with Intake Control Rotary Valve Installation: Part 3: Performance for Automotive Application", **JSAE Review**, Cilt 16, No 1, 77-80, 1995.
8. Zhang F., Okamoto K., Shimogata S., Shoji F., Kanesaka H. ve Sakai H., "Study on Miller Cycle Gas Engine for Generation - A Verification of Miller Cycle Effect", **JSAE Review**, Cilt 16, No 3, 313, 1995.
9. McNally, G., "Seal for a Rotary Valve for an Internal Combustion Engine", **Sealing Technology**, Cilt 2009, No 7, 15, 2009.

10. Akmandor, İ. S. ve Erzöz, N., “Turbo-Rotary Compound Propulsion Engine”, Turkish Patent Institute, TR 2006 03859 B, 21.02.2007.
11. Akmandor, İ. S. ve Erzöz, N., “Turbo-Rotary Propulsion Engine Thermodynamic Cycle”, Turkish Patent Institute, No. TR 2005 02164 B, 21.03.2008.
12. Okur, M., Akmandor, İ. S., Arabacı, E., “Turbo Döngüsel Bir Motorun Yanma Odasının Geliştirilmesi”, **10. Uluslar arası Yanma Sempozyumu**, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 371-377, 9-10 Ekim 2008.
13. Okur, M., İçingür, Y., Akmandor, İ. S., “Turbo Döngüsel Bir Motorda Farklı Buji Konumlarının Performansa Etkisi”, **5. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu (İATS'09)**, Karabük, Paper ID:1466, 13-15 Mayıs 2009.
14. Eray, E., **Turbo Döngüsel Bir Motorun Türbin Palet Mekanizmasının Kompozit ve Seramik Malzemelerle Geliştirilmesi**, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
15. Arabacı, E., **Turbo Döngüsel Bir Motorun Performansının Geliştirilmesi**, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
16. Okur, M., Akmandor, İ. S., “Experimental Investigation of Hinged and Spring Loaded Rolling Piston Compressors Pertaining to a Turbo Rotary Engine”, **Applied Thermal Engineering**, Cilt 31, No 6-7, 1031-1038, 2011.
17. Yalçın, K., **Hacimsal ve Santrifüj Pompalar**, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 1998.
18. Parlikar, T.A., Chang, W.S., Qiu, Y.H., Seeman, M.D., Perreault, D.J., Kassakian, J.G. ve Keim, T.A., “Design and Experimental Implementation of an Electromagnetic Engine Valve Drive”, **IEEE/ASME Transactions on Mechatronics**, Cilt 10, No 5, 482-494, 2005.
19. Özdalyan, B. ve Doğan, O., “Effect of a Semi Electro-Mechanical Engine Valve on Performance and Emissions in a Single Cylinder Spark Ignited Engine”, **Journal of Zhejiang University-Science A (Applied Physics & Engineering)**, Cilt 11, No 2, 106-114, 2010.
20. Sağıroğlu, S. ve Salman, M. S., “Buji ile Ateşlemeli Bir Motorda Elektromanyetik Kumandalı Supap Mekanizması Tasarımı, İmalatı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması”, **Teknoloji**, Cilt 10, No 2, 113-122, 2007.
21. Kim, J. ve Lieu, D.K., “A New Electromagnetic Engine Valve Actuator with Less Energy Consumption for Variable Valve Timing”, **Journal of Mechanical Science and Technology**, Cilt 21, No 4, 602-606, 2007.
22. Koca, A., Bayındır, R., Güneş, H., Kunt, M.A. ve Sakar, S., “Basınçlı Hava Motorlarında Supap Mekanizması İçin Elektromanyetik Eyleyici Tasarımı ve Uygulaması”, **Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Cilt 26, No 1, 73-79, 2011.
23. Liu, L. ve Chang, S., “Improvement of Valve Seating Performance of Engine’s Electromagnetic Valvetrain”, **Mechatronics**, Cilt 21, No 7, 1234-1238, 2011.