

# BUJİ İLE ATEŞLEMELİ MOTORLARDA (B.A.M.) MARŞ MOTORU GÜCÜNÜN MOTOR HACMİNİN FONKSİYONU OLARAK TANIMLANMASI

**Kemal ERŞAN ve Kamuran ÖNSOY**

Makine Eğitimi Bölümü, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi 06510, Beşevler, ANKARA  
[kersan@gazi.edu.tr](mailto:kersan@gazi.edu.tr)

(Geliş/Received: 17.08.2009 ; Kabul/Accepted: 23.02.2010)

## ÖZET

Bu çalışmada marş motoru gücü motor hacminin fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Çalışmada ilk olarak marş motoru çeşitleri incelenmiş, marş motorunun kullanıldığı taşıtlar belirlenerek katalog değerleri tespit edilmiştir. Bu değerler literatürdeki ampirik ve teorik ifadeler ile elde edilen marş motoru güçleri ve deneysel olarak elde edilen sürtünme güçleri ile karşılaştırılmıştır. Literatürde marş motoru gücü hesabı  $T = V_h \cdot C_b \cdot g$ ,  $T = C_1 e^{-C_2 n}$  tork ifadeleri  $P_{mm} = T \cdot \omega$  ifadesinde kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu ifadelerde motor hacmine göre marş motoru gücünün hesaplanmasında devre ihtiyacı vardır. Bu çalışmada yukarıdaki ifadeden farklı olarak güç ifadesindeki devir ve diğer sabitler yeni belirlenen sabitler içinde düşünülmüş ve marş motoru güç ifadesi sadece motor hacminin fonksiyonu olarak  $P_{mm} = \alpha \cdot e^{\beta(V_h)}$  ifadesi ile tanımlanmıştır. Sonuçta literatürdeki ampirik ifade ve bu çalışmada elde edilen ifade ile hesaplanan marş motoru güçleri katalog değerleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda literatürdeki ampirik ifade sonuçları katalog değerleriyle %40-70, bu çalışmada elde edilen ifade sonuçları ise %3,77 lik bir hata vermiştir. Bu ifade birleşik tip marş motoru alternatör sistemli ilk hareket motoru güçlerinin ve hibrid taşıtların ilk hareket sistemlerinin güçlerinin tanımlanmasında kullanılabilir, daha güvenilir ve doğru sonuçlara ulaşılabilir.

**Anahtar kelimeler:** Marş motoru gücü, birleşik marş motoru-alternatör sistemi, buji ile ateşlemeli motor (B.A.M.), hibrid.

## DEFINITION OF POWER OF STARTING MOTORS FOR SPARK IGNITION ENGINES (S.I.E.) AS A FUNCTION OF ENGINE VOLUME

### ABSTRACT

In this study, the power of the starting motors is defined as a function of engine volume. The study was started, by firstly examining the types of starting motors and determining of catalog values by describing the vehicles in which the starting motors are used. These values are compared with starting motor powers and friction powers which are implied by empirical and theoretical equations. In literature, calculation of the starting motor power is done by substituting the torque value found from the equations  $T = V_h \cdot C_b \cdot g$ ,  $T = C_1 e^{-C_2 n}$  into  $P_{mm} = T \cdot \omega$ . In these equations the revolution value is necessary to calculate the starting motor power with respect to engine volume. Different from the equations above, in this study, the revolution and constants in power term were assumed in new constants and starting motor power is calculated as a function of only the engine volume and described as  $P_{mm} = \alpha \cdot e^{\beta(V_h)}$ . As a result, the ampic equation in literature and the starting motor power, calculated from the equation found in this study, are compared with catalog values of starting motor powers. Comparison results show that ampic equation results in literature give error about 40-70% and the values, obtained in this study give error 3.77% with respect to catalog values. This equation can be used in determination of power of the starting motor of integrated starter-alternator systems and power of starting system of hybrid vehicles, thus, more reliable and correct results can be reached.

**Keywords:** Starting motor power, integrated starter-alternator systems (ISA), spark ignition engine (S.I.E.), hybrid.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İçten yanmalı motorlara marş motorlarıyla ilk hareketin verilmesi elektrik enerjisinin depolanmaya başlamasıyla başlamıştır. Günümüz taşıtlarının ilk harekete geçirilmesinde elektrik motorları kullanılmakta ve bunlar yapılarına göre çeşitlilik arz etmektedir. Marş motorlarının endüktör, endüvi, elektrik iletim şekli gibi ana elemanları kullanıldıkları motorun ilk hareket özelliklerine göre farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar taşıt motorlarının gelişmesine paralel olarak, elektrik iletim şekli, endüvi, endüktör, fırçaların dizilişi ve hareketin volana iletilmesinde redüksiyon sistemleri ile, endüktörde elektro mıknatıs yerine daimi mıknatısın kullanılması olarak sıralanmıştır. En son gelişmeler olarak, birleşik tip marş motoru alternatör sistemleri ve hibrid taşıtlarda kullanılan elektrik motoru jeneratör sistemleridir [1-13].

Marş motorları bataryadan aldığı elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren doğru akım motorları olup endüvi ve endüktör (ikaz) sargıları gücün artırılması için birbirine seri bağlanmışlardır veya devirleri artırılarak daimi mıknatıslı motorlar haline getirilmişlerdir. Torku düşük olan daimi mıknatıslı elektrik motorlarında ise redüksiyon sistemleri ile torku artırma gerçekleştirilmiştir. Marş motorunun kullanılmaya başlandığı ilk yıllarda imal edilen içten yanmalı motorların boyutları çok büyük oldukları için, bu motorları ilk harekete geçirmek için büyük güçte marş motorlarına ihtiyaç duyulmuştur. Günümüzde kullanılan içten yanmalı motorların boyutları küçültülmüş ve güçlerinden fazla bir şey kaybetmemiştir. Motorların boyutları küçüldüğü için marş motor güçleri ve boyutları da küçülmüştür. Bunun yanında elektrikli taşıt sistemlerine geçiş ve ilk hareketin motorlara verilmiş şekillerinin değişmesi, taşıtların ilk hareket motorlarının tasarımında, içten yanmalı motorun ilk hareket güç ve torkunun bilinmesini gerektirmektedir. Günümüz taşıtlarında birleşik tip ilk hareket motoru - alternatör sistemleri (ISA), veya hibrid taşıtlarda motor - jeneratör sistemleri kullanılmaktadır. Her iki sistemde de motorun ilk hareket tork ve gücünün tanımlanması gerekmektedir. Bu tür taşıtlar emisyon azaltımı ve yakıt tasarrufu için şehir içinde durup kalkmalar esnasında stop etmekte ve ilk hareketleri yüksek devirlerde olmaktadır. Bu sistemlerin kullanılmasında günümüz elektrik motoru teknikleri kullanılmakta ve bu elektrik motorlarında yüksek devirlerde torkun düşmesi problem olmaktadır. Bu sistemler kullanılırken taşıt motorunun ilk harekete geçmesi için gerekli güç bilindiğinde redüksiyon işlemi ile ISA sisteminde kayış kasa, hibrid sistemde ise dişli sistemi ile bu torka ulaşma sağlanabilmektedir. Bu sebeple taşıt motorunu harekete geçirmek için yeterli güç bilinirse günümüz elektrik motorları ile taşıt motorlarını istenen devirde çevirmek mümkün

olacaktır. Taşıt motorunun yüksek devirde ilk harekete geçmesi için

$$P=T.\omega \quad (1)$$

ifadesinde, T bilindiği takdirde devrin artırılması ile taşıt motorunun harekete geçmesi için gerekli tork (T) ve ilgili motor için gerekli ilk hareket gücünün tanımlanması mümkündür. Aynı ifadede gücün bilinmesi halinde, belirli bir devir için torkun tanımlanması da mümkün olmaktadır. Bu makalede küçük motorlar için motor hacmine bağımlı, marş motoru gücü ve torku, motor hacimleri dikkate alınarak kataloglardan temin edilen, deneysel olarak bulunan ve teorik olarak hesaplanan değerler incelenerek, motor hacminin fonksiyonu olan marş motoru gücü ifadesinin tanımlanması araştırılmıştır. Bu konuda yapılan araştırmalarda, elektrik makinelerinin birleşik ilk hareket motoru - alternatör sistemlerine uygulanabilirliği, amerikan Delco Remy firması adına Cai [14] tarafından yapılan araştırmada özetlenmiştir. Bu araştırmada ISA sistemlerinin uygulanmasının motorun çalıştırma devrini klasik sistemdeki 80-100 devir dakika yerine 400 devir dakikaya 0.08 ile 0.35 saniyede gerçekleşmesi gerektiği belirtilmiştir. Tasarımcıların elektrik motorlarının yüksek hızlarında, içten yanmalı motorun ilk çalıştırma torkuna ulaşmasının tasarımcıları zorladığı, bu sebeple tasarımın içten yanmalı motorun minimum çalıştırma torkuna göre yapılması gerektiği belirtilmektedir. Toyota firması tarafından hibrid taşıtlar konusunda yapılan çalışmalar ve 1997 tarihinden günümüze Toyota hibrid taşıtlarındaki gelişme Muta ve arkadaşları [15] tarafından incelenmiştir. Bu araştırmada daimi mıknatıslı AC senkron motor ile mevcut elektrik motorlarından 1.5 kat daha yüksek çıkış gücü elde edildiği belirtilmekte ve hibrid taşıtlara uygulanmaktadır. Toyota [16] 2009 Yaris modellerine ISA sistemini uygulamaktadır, bu uygulama taşıtların dur – kalk durumlarında önemli oranda yakıt tasarrufu sağlamakta zararlı emisyonları önlemektedir. Bunun yanında ISA sistemlerinde elektrik ve elektronik kontrol sistemlerinin geliştirilmesi için çalışmalar sürdürülmektedir [17].

ISA sistemlerinin tasarımlarında içten yanmalı motorun çalıştırılması için gerekli olan minimum torka ulaşmada, marş motorlarının tasarım ifadeleri kullanılabilir veya teorik olarak çözülebilir. Taşıt motorunu harekete geçirmek için gerekli marş motoru gücü içten yanmalı motorların sürtünme gücüne, kompresyon oranına, ilk hareket devrine bağlıdır ve bu değişkenler motor hacmi ile doğrudan ilişkilidir [18]. Bir motoru çalıştırmak için gereken minimum döndürme hızı motorun yapısına ve çalışma koşullarına bağlı olarak değişir. Marş motorlarının içten yanmalı motorları en az iki çevrim oluşturacak süre kadar ve yeterli devirde çevirmesi gerekmektedir

[11]. Binark [19] verdiği ifadede marş motoru momenti, motor kurs hacminin  $V_h$  deneyler sonucu bulunan  $C_b$  (kg.m/lit) katsayısıyla çarpılmasıyla hesaplanabileceğini belirtmiştir. Bu ifade

$$T = V_h \cdot C_b \cdot g \quad (2)$$

eşitliği ile verilmektedir. Kullanılan bu ifade ile, marş motorlarının döndürme momenti ampirik olarak motor hacminin fonksiyonu olarak bulunmaktadır. Bu ifadede torkun belirlenmesinde  $C_b$  katsayısı 3-5 kg.m/lt arasında değişmektedir ve ifadedeki  $C_b$  katsayısının değeri tam olarak verilmediği için çok değişik sonuçların çıkmasına sebep olmaktadır. Bu ifade ile büyük hacimli buji ile ateşlemeli motorlarda motor hacmi belirtilerek tork hesaplanmaktadır. Literatürde küçük hacimli motorlar için böyle bir ifade bulunamamıştır.

Bu eşitlikten elde edilen tork 1 ifadesinde kullanılarak bilinen bir devir için güç hesaplanmaktadır. Diğer araştırmacılar [20-22], benzer şekilde marş motoru torkunun hesaplanabileceğini

$$T = C_1 e^{-C_2 n} \quad (3)$$

T: Tork  
n: motor devri  
C1;C2: sabitler

ifadesiyle tanımlanmaktadır. Yukarıda verilen her iki ifadede de marş motoru gücünün hesaplanabilmesi için motor devrine ihtiyaç duyulmaktadır ve ikinci ifadede motor hacmi belirtilmemiştir. Marş motoru gücü teorik olarak ise

$$P_{mm} = P_s + P_{mms} + P_{\text{çevirme}} \quad (4)$$

$$P_s = P_{\text{komp}} + P_{\text{Alt}} + P_{\text{su pomp}} + P_{\text{diğer}} \quad (5)$$

ifadesi ile tanımlanmaktadır.

İçten yanmalı motorların ihtiyacı olan marş motoru gücü hesaplanmasında, yukarıdaki ifadeler veya motor tasarımı dikkate alınarak marş motoru gücü hesabı yapıldığında ve çıkan sonuçlar küçük motorların katalog değerleri ile karşılaştırıldığında elde edilen değerler katalog değerlerinden çok farklı çıkmaktadır. Bu sebeple küçük yapılan günümüz buji ile ateşlemeli motorlarının (B.A.M.), marş motoru gücünü motor hacminin fonksiyonu olarak tanımlayabilen ve pratik olarak daha doğru sonuçlar verebilen bir ifadeye ihtiyaç vardır. Bu çalışmada teorik, ampirik, deneysel sonuçlar ve katalog değerleri incelenerek marş motoru gücü motor hacminin fonksiyonu olarak tanımlanmıştır.

## 2. TEORİ (THEORY)

İçten yanmalı motorlarda sıkıştırma anında piston

Ü.Ö.N.'ya 25 derece kala, silindir içinde bulunan gaz pistonun sıkıştırmasına karşı maksimum direnci göstermektedir. Teorik olarak İ.Y.M.'ların sürtünme gücü yataklardan, kompresyondan, motordan hareketi alan su pompası ve alternatör gibi yardımcı sistemler ile, bazı araçlarda kullanılan klima ve hidrolik direksiyonun sürtünme gücüne bağlıdır. Gerçek marş motoru gücü 4 nolu ifadeden bulunabilmektedir. Bir içten yanmalı motorun yeterli devirde döndürülmesi için marş motorunun yeterli güce sahip olması gerekir. Bu güç yarı teorik olarak belirlenebilir. Aynı zamanda içten yanmalı motorun döndürülmesi için gerekli güç hesabı da teorik olarak yapılabilir. Ayrıca B.A.M.'un döndürme momenti ampirik olarak 2 ve 3 eşitlikleri ile tanımlanmaktadır.

### 2.1. Marş Motoru Gücünün Yarı Teorik Olarak Bulunması (Semi-Empirical Definition of Starting Motors Power)

Marş motoru gücünün yarı teorik olarak bulunması için gerekli hesaplamalar literatürde verilmiştir[23] ve aşağıda belirtilen ifadeler yardımı ile deneysel sonuçlardan yararlanılarak marş motoru gücü bulunabilmektedir. Marş motoru durgun haldeyken çektiği akım

$$I = E/R \quad (6)$$

hareket halinde iken çektiği akım

$$I = (E - e)/R \quad (7)$$

ve bu iki formülden türetilen

$$I \cdot E = (I \cdot e) + (I^2 \cdot R) \quad (8)$$

ifadesinde deneysel olarak ölçülerek tanımlanan I, E, değerlerinden R omik direnci bulunup, eşitlikte kullanılarak I.e faydalı gücü sürtünme ve Foucault (girdap) akımı kayıpları dahil olarak bulunabilmektedir. Elde edilen güç 1 eşitliğinde kullanılarak tork hesaplanabilmektedir.

### 2.2. Ampirik Korelasyon ile B.A.M.'ların İhtiyacı Olan Tahmini Marş Motoru Gücünün Hesabı (Prediction of Required Starting Motor Power for Spark Ignition Engines by Empirical Correlation)

Marş motoru gücü ampirik olarak daha önceki yıllarda bazı ifadeler tanımlanarak bulunmuştur [19,22]. Ampirik olarak tanımlanan devre bağlı tork ifadesi 3 eşitliği ile verilmiştir. Bu ifadede motor hacmi dikkate alınmamıştır. Motor hacmini dikkate alan diğer ifade 2 eşitliği ile verilmiştir. Bu ifade ile marş motor gücünü hesaplamada B.A.M.'un hacminin ve marş anındaki motor devrinin bilinmesi gerekmektedir. Bu iki değer bilindiği takdirde marş motoru gücü 1 eşitliğiyle W olarak hesaplanır. Bu eşitlikte gerekli moment motor hacminin fonksiyonu

olarak 1 ampirik ifadesinden Nm olarak hesaplanır. Burada  $C_b$ ;

Benzinli motorlar için  $C_b=3-5$  kg.m/litre

Dizel motorları için

3 litre strok hacmine kadar  $C_b=9-10$  kg.m/litre

3-10 lit. strok hacmine kadar  $C_b=7-8$  kg.m/litre

10 litreden büyük motorlar için  $C_b=5$  kg.m/litre

İki zamanlı motorlarda  $C_b=10-14$  kg.m/litre

olarak alınmaktadır. Benzinli motorlarda motor hacim sınırlaması verilmediğinden küçük hacimli motorlar için hangi  $C_b$  katsayısı kullanılacağı belirtilmemiştir. Bu hesaplama pratik olarak büyük stork hacimli motorlar için kullanılmaktadır [19]. Ayrıca 3 ifadesinden motor devri bilindiğinde gerekli tork hesabı yapılabilir, bu ifadede motor hacmi tanımlanmadığı için motor hacminin fonksiyonu olarak bir tanımlama yapılamamaktadır.

### 2.3. B.A.M.'larda Motor Tasarımına Bağlı Marş Motoru Gücünün Teorik Olarak Bulunması (Theoretical Calculation of S.I.E Starting Motors Power According to Engine Design Criteria)

Teorik olarak sıkıştırmadan dolayı meydana gelen motordaki kayıp güç motor hacmine, sıkıştırma oranına, ortam basıncına, ortam sıcaklığına, silindir sayısına bağlıdır. Burada sıkıştırma sonucu pistonun üst yüzeyine etki eden gaz kuvveti (F), piston hızı ( $c_{aw}$ ) ve açısal hızdan ( $\omega$ ) dolayı krank milinde meydana gelen moment şöyle hesaplanmaktadır [23].

$$T=F.(c_{aw}/\omega).g \quad (9)$$

Eşitliğinden tork bulunur. Bu eşitlikte piston hızı açısal hız oranı

$$c_{aw}/\omega = H/2 [\sin\alpha_1+0,25(1/\lambda).\sin2\alpha_1] \quad (10)$$

eşitliği ile, pistonun biyel kolu uzunluğu / kurs boyu ise

$$\lambda=L/H \quad (11)$$

eşitliği ile tanımlanır.

Eşitlikteki F gaz kuvveti ise motor hacmi, pistonun alt ölü noktadan (A.Ö.N.) üst ölü noktaya (Ü.Ö.N.) hareketi esnasında önünde kalan hacim

$$V=(\pi.D^2/4).h_{pd}+V_2 \quad (12)$$

eşitliğiyle tanımlanır. Bu eşitlikte  $h_{pd}$  piston üst ölü noktadan 25 derece uzaklıkta iken piston ile Ü.Ö.N

arasında kalan mesafe,  $V_2$  yanma odası hacmidir. Bu hacimde kompresyon basıncı ise

$$p=[p_1.(V_2+V_h)^{n_1}]/V^{n_1} \quad (13)$$

Eşitliği ile bulunur ve

$$F=(\pi.D^2/4).(p-1) \quad (14)$$

ifadesi ile krank milinde meydana gelen kuvvet bulunur. Güç ise 1 eşitliğinden hesaplanır.

### 3. MATERYAL VE METOD (MATERIAL & METHOD)

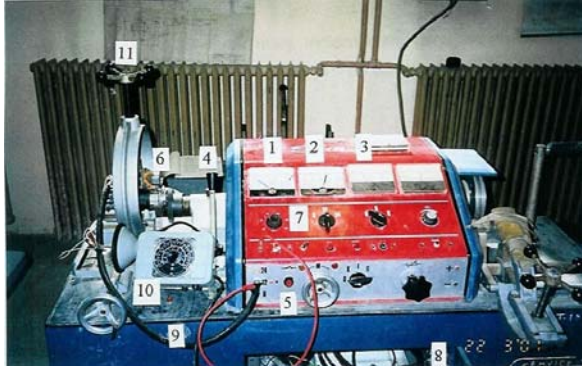
Bu çalışmada marş motoru gücünün farklı motor hacimleri için bulunmasında; katalog değerleri, ampirik hesaplama ve teorik hesaplama sonuçları, deneysel olarak bulunan B.A.M. ların sürtünme güçleri ayrı ayrı değerlendirilmiş ve ortak bir sonuca varılmıştır. Değişik firmalara ait motor kataloglarındaki marş motorları bilgileri piyasa araştırması yapılarak derlenmiştir. Bu toplanan veriler [24-32] Tablo 1'e eklenmiştir.

Marş motoru momenti ampirik olarak 1 eşitliğinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Eşitlikte kullanılan  $C_b$  katsayıları sırası ile 3, 4, 5, alınarak B.A.M. için tork hesaplanmıştır. Tahmini marş motoru gücü ise değişik B.A.M. hacmi için, ortalama marş devri 150 dk<sup>-1</sup> alınarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar da Tablo 1'e eklenmiştir. Teorik hesaplamada marş motoru gücü motor hacmi, sıkıştırma oranı, biyel kolu uzunluğu, ortam basıncı ve ortam sıcaklığı değerleri kullanılarak 9-14 teorik eşitliklerinden hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 1'e eklenmiştir.

**Tablo 1.** Motor hacmine göre katalog, teorik ve ampirik değerler (The catalog, theoretical and empirical values depend on engine volume)

Motor Hacmi (cc)	Ampirik olarak hesaplanan marş motoru güçleri (kW)			Katalog değerler marş motor gücü (kW)	Teorik marş motor gücü (kW)
	$C_b=3$	$C_b=4$	$C_b=5$		
650	0,302	0,403	0,507	0,35	0,36
800	0,378	0,496	0,624	0,5	0,48
1000	0,473	0,620	0,780	0,6	0,51
1200	0,565	0,744	0,936	0,8	0,64
1300	0,61	0,806	1,014	0,8	0,73
1400	0,662	0,868	1,092	0,9	0,89
1500	0,701	0,930	1,170	1	1,07
1600	0,743	0,992	1,248	1,4	1,2
1700	0,799	1,054	1,326	1,4	1,36
1800	0,846	1,116	1,404	1,6	1,43
1900	0,893	1,178	1,482	1,8	1,48
2000	0,940	1,240	1,560	2	1,5
2200	1,034	1,364	1,716	2,2	1,58
2400	1,128	1,488	1,872	2,3	1,64
2500	1,175	1,550	1,950	2,5	1,75

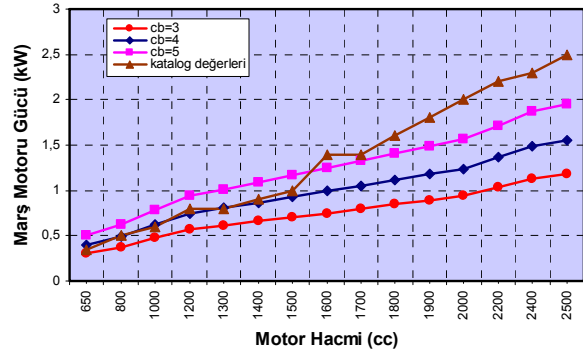
Marş motorlarının içten yanmalı motorları (İ.Y.M.) belirli devirde çevirebilmesi için sürtünme güçlerini yenmeleri gerekmektedir. Bu araştırmada sürtünme gücü ölçümü, 0-16 kgm arasında ölçüm yapabilen 1 kgm hassasiyetinde, burulma yöntemine göre çalışan mekanik bir torkmetre ile yapılmıştır. Sürtünmesi ölçülecek motor ikinci bir motor tarafından marş devrinde çevrilerek bağlanan torkmetreden, tork ölçülmüştür. Motor devri LT Lutron DT-2234A marka 5-1000 dak<sup>-1</sup> devir arasında ölçüm yapabilen ve 0.1dak<sup>-1</sup> devir hassasiyetinde dijital bir takometre ile ölçülmüştür. Test işlemleri sıcaklık normal atmosfere ortamı olan 10°C sıcaklıkta ve 99 kPa basınçta yapılmıştır. Marş motorlarının katalog değerleri ve içten yanmalı motorların marş motorlarının gerçek güçlerinin karşılaştırılması için, marş motoru gerçek güç ölçümü Sun GST 115 marka Şekil 1'deki test cihazı ile yapılmıştır. Cihaz 0-75 ve 0-150 Nm arasında ölçüm yapabilmekte ve 1 Nm hassasiyetindedir. Ölçüm işlemi cihazda uzayabilir ölçü şeritleri (Strain Gauges) vasıtasıyla yapılmaktadır. Akım ölçümü 0-1000 Amper ölçüm yapabilen 10 Amper hassasiyetinde ampermetre ile ve gerilim ölçümü 0-48 Volt arasında ölçüm yapabilen 1 Volt hassasiyetindeki voltmetre ile yapılmıştır. Test işleminde değişik yüklemeye durumlarına göre yüklemeye yapılmış, marş motorlarının devir sayısı, torku, çektiği akım ve gerilim düşme miktarı ölçülmüştür. Ölçüm değerleri kullanılarak yarı teorik olarak marş motorlarının çıkış gücü hesaplanmıştır.



**Şekil 1.** Sun GST 115 Marş motoru test cihazı (Starting motor test equipment)  
1-Torkmetre 2-Voltmetre 3-Ampermetre 4-Yüklemeye kolu 5- Marş butonu 6- Marş motoru 7- Marş motoru seçici düğmesi 8- Batarya 9- Marş kablosu 10- Devir göstergesi 11- Marş motoru sabitleme mengersi

#### 4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ (DISCUSSION OF RESULTS)

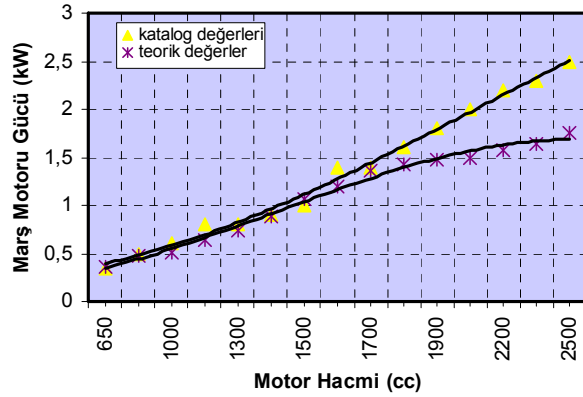
Marş motorlarının teorik ve ampirik hesaplamalar ile kataloglardan elde edilen değerleri Tablo-1'de verilmiştir. Bu tablo kullanılarak, Şekil 2'de 1 ve 2 ifadesi ile hesaplanan marş motoru gücü ile katalog değerleri karşılaştırılmıştır. Ampirik ifadede  $C_b=4$  sabit sayısı ile bulunan değerler marş motoru katalog değerlerinin 650-1300 cc hacimli motorları ile uyum sağlamaktadır. 1300 cc hacimden sonra %40-70 hata vermektedir. Kullanılan diğer sabit sayılar hiçbir



**Şekil 2.** Katalog değerleriyle ampirik ifade sonuçlarının karşılaştırılması (Comparison of catalog and empirical values)

motor hacminde katalog değerleri ile uyum sağlamamıştır.

B.A.M.'ın kurs hacmi, piston çapı, biyel kolu uzunluğu, sıkıştırma sonu basınç bilgileri dikkate alınarak hesaplanan marş motoru gücünün teorik olarak hesaplanmasında elde edilen veriler, marş motoru katalog değerleriyle Şekil 3'te karşılaştırılmıştır.

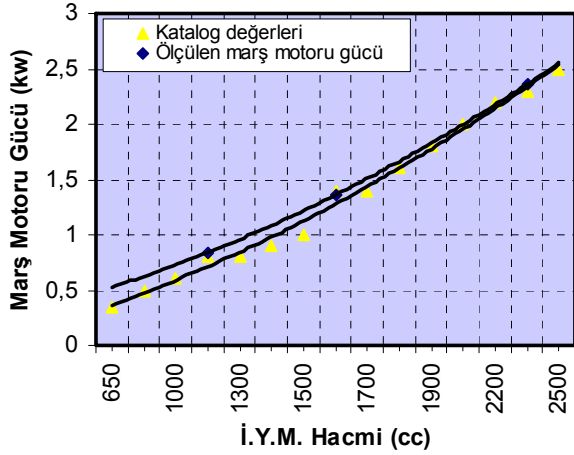


**Şekil 3.** Katalog değerleriyle teorik değerlerin karşılaştırılması (Comparison of catalog and theoretical values)

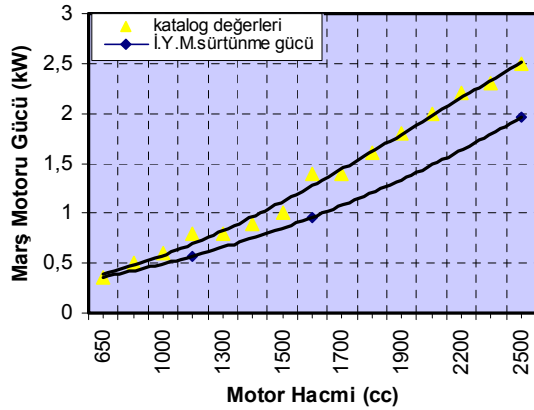
Şekilde görüldüğü gibi 650-1500 cc hacimleri arasında yapılan teorik hesaplama verileri katalog değerleriyle %90 uyum sağlamaktadır. 1500 cc hacimden sonra hesaplanan değerler ile hacim büyüdükçe motor hacmine bağımlı katalog değerleriyle olan fark artmaktadır.

Deneysel olarak yapılan marş motoru güç testleri sonucunda elde edilen veriler ile katalog değerlerinin verileri Şekil 4'te gösterilmiştir. Bu karşılaştırmada marş motoru gerçek güç ölçümü sonuçları ile katalog değerleri arasında %3-5 sapma gözükmemektedir.

Marş motorları belirli bir marş hızında motorları çevirebilmeleri için sürtünme güçlerini yenmeleri gerekmektedir, bu sebeple katalog değerlerinin marş motoru sürtünme güçleri ile değerlendirilmesi Şekil-5'te gösterilmiştir. Marş motoru katalog değerleri



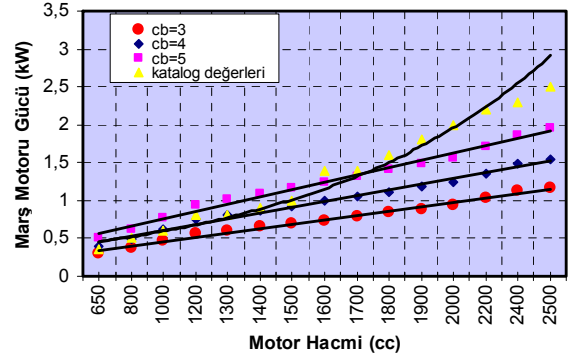
Şekil 4. Katalog değerleri ile ölçülen marş motoru gücünün karşılaştırılması (Comparison of catalog values and measured starting motor's values)



Şekil 5. Katalog değeri ile motor sürtünme gücünün karşılaştırılması (Comparison of catalog values and engine's frictional powers)

sürtünme gücü değerleri arasındaki fark motor hacmi arttıkça artış göstermektedir. Sürtünme gücü marş motorunun katalogunda verilen gücünün %71-86 sına karşılık gelmektedir. Bu gücün dışında kalan marş motoru gücü motor kütsel atalet kuvvetlerinin oluşturduğu gücü yenerek motoru marş devrinde çevirebilmektedir.

Son olarak ampirik hesaplama, teorik hesaplama ve deneysel olarak bulunan marş motorları güç grafikleri genel olarak incelenmiştir. İnceleme sonucunda teorik sonuçların 1500 cc hacimden büyük motorlarda katalog değerlerinden aşırı sapma gösterdiği görülmüştür. Katalog değerleri ile ampirik ifade sonuçlarının karşılaştırılmasında ise, ampirik ifadelerle yapılan hesaplama sonuçlarının lineer, katalog değerlerinin ise üstel olarak arttığı görülmüş ve sonuçlar katalog değerleri ile uyum sağlamamıştır. Şekil 6'da verilen grafikte daha doğru sonuçları tahmin etmek için katalog değerlerini veren değerlere eğri uydurma yöntemi uygulanmış ve marş motoru gücü, motor hacminin üstel bir fonksiyonu şeklinde  $P_{mm} = \alpha \cdot e^{\beta(V_h)}$  ifadesi elde edilmiştir.



Şekil 6. Marş motoru katalog değerinin ampirik ifade sonuçlarıyla karşılaştırılması ve yeni ampirik ifadenin tanımı (Comparison of catalog values of starting motor and empirical values and defining a new empirical statement)

Literatürde ampirik olarak marş motoru gücü hesabı motor hacmine bağlı  $C_b$  sabiti kullanılarak, önce marş motoru döndürme momenti daha sonra marş devri kullanılarak marş motoru gücü hesaplanmaktadır. Bu ifade ile yapılan hesaplama katalog değerleri ile uyum sağlamamaktadır. Sunulan çalışmada tanımlanan motor hacmine bağlı güç ifadesi  $P_{mm} = \alpha \cdot e^{\beta(V_h)}$  nin korelasyon katsayısı  $R^2=0,96$ 'dır. Elde edilen ifadeden sadece motor hacmine bağımlı marş motoru gücü hesabı yapılmaktadır ve katalog değerleri ile  $\pm\%3,77$  hata vermektedir. Bu ifadede  $\alpha$  sabiti, 0,4011 ve  $\beta$  sabiti, 0,132'dir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION)

Bu çalışmada B.A.M. hacmine bağlı marş motoru gücü, motor hacminin fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlamada B.A.M.'ların katalog değerleri, deneysel elde edilen sürtünme gücü değerleri, teorik hesaplama ve ampirik hesaplama sonuçları dikkate alınmıştır.

Literatürde ampirik olarak marş motoru gücü  $T=V_h \cdot C_b \cdot g$  ifadesi yardımı ile motor hacmine bağımlı olarak verilmiştir. Motor hacmine göre bu ifade ile yapılan hesaplamalar katalog değerleri ile %40-70 arasında hata vermiştir. Teorik hesaplamada ise; 650-1500 cc hacimleri arasında %90 uyum sağlamaktadır. Fakat 1500cc hacminden sonra katalog değerleri ile teorik hesaplama arasında hata büyüme ve %40-60 a ulaşmaktadır. Marş motoru test cihazıyla yapılan deneyde çıkan veriler katalog değerleri ile %97 uyum sağlamıştır.

İlk ifade  $T=V_h \cdot C_b \cdot g$  de motor gücünün bulunması için marş devrinin bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada elde edilen ampirik ifade literatürdekinden farklı olarak,  $P_{mm} = \alpha \cdot e^{\beta(V_h)}$  şeklinde tanımlanmıştır ve katalog değerleriyle  $\pm\%3,77$  sapma göstermiştir. Bu ifade ile marş devrine ve motor hacmine bağımlı sabitlere gerek olmadan sadece B.A.M. hacmi ile marş motoru gücü hesaplanmaktadır. Bu çalışmada elde edilen ifade B.A.M.ların marş motoru gücünün tanımlanmasında daha pratik olarak kullanılabilir.

Hibrid taşıtların ve ISA sistemi kullanılması düşünülen motorların marş motoru – alternatör sistemlerinin minimum güç ve torkunun tanımlanmasında kullanılabilir.

Bu çalışmada elde edilen ampirik ifade üretimde kolayca kullanılabilir, ifade sadece buji ile ateşlemeli motorlar için geçerlidir ve  $\alpha$  ve  $\beta$  sabitleri 650-2500 cc hacimli motorlar için elde edilmiştir. Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlar için buna benzer bir çalışma yapılabilir.

### Semboller (Symbols)

C, $\alpha$ , $\beta$	Sabitler
$\alpha_1$	Krank açısı
$c_{aw}$	Piston hızı (m/s)
D	Silindir çapı (m)
E	Gerilim (V)
e	Zıt EMK (V)
F	Gaz kuvveti (N)
g	Yer çekimi ivmesi ( $m/s^2$ )
H	Kurs boyu (m)
I	Akım (A)
L	Biyel kolu uzunluğu (m)
n	Devir ( $dak^{-1}$ )
$n_1$	Politropik hal değişim üssü
p	Basınç (Pa)
$P_{Alt}$	Alternatörü çevirmek için harcanan güç (kW)
$P_{çevirme}$	İçten yanmalı motorun marş devrine ulaşması için harcanan güç (kW).
$P_{diğer}$	Klima, hidrolik sistemler vs. (kW)
$P_{komp}$	Kompresyona harcanan güç (kW).
$P_{mm}$	Marş motoru gücü (kW).
$P_{mms}$	Marş motorunun kendi iç sürtünmesine sarf edilen güç (kW).
$P_s$	İçten yanmalı motorun yatak sürtünmelerine harcanan güç (kW).
$P_{su\ pomp}$	Su pompasını çevirmek için harcanan güç (kW)
R	Direnç ( $\Omega$ )
T	Tork (Nm)
V	Hacim (cc)
$\omega$	Açısal hız ( $s^{-1}$ )

### Kısaltmalar (List of abbreviations)

(B.A.M.)	Buji ile Ateşlemeli Motor
(ISA)	Integrated Starter-Alternator Systems
(S.I.E.)	Spark Ignition Engine
(İ.Y.M)	İçten Yanmalı Motorlar

### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. **Bosch-Automotive Electric and Electronic Systems Handbook**, 2002.

2. Denton, T., **Automobile Electrical and Electronic Systems**, Elsevier Butterworth He., 2004
3. Hillier, V.A.W., **Fundamentals Of Automotive Electronics**, Hutchinson Ltd., Craydon College, London, 1987.
4. Santini, A., 1988, **Automotive Elektriciry and Electronics**, College Of Dupage, Delmar Publishers inc., London.
5. 1999, **Toyotasa Eğitim Kitabı**, Toyota-Sabancı Otomotiv A.Ş., TR 0002 E 20292, İstanbul.
6. William, H.C., 1986, **Automotive Electronics and Electrical Equipment**, 10<sup>th</sup> Edition, MCGRAW-Hill Book Company, New York.
7. R.D. King, J.N. Park, "Integration and system test of the Ford/General Electric AC electric drive system", **SAE Paper no: 850199**, 1985
8. F.J. Vallese, J.H. Lang, "Variable-Reluctance motors for electric vehicle propulsion", **SAE Paper no: 850201**, 1985
9. Demirel, N., **Oto Elektrik Teknolojisi, Y.T.Ö.O. Etüt ve Programlama Dairesi Yayınları**, No:56, Ankara , 1971.
10. Yolaçan, F., **Marş ve Şarj Sistemi**, T. E.F. Yayınları, Ankara, 1987.
11. Yalmyıl, S., Yiğit A., **Bataryalar ve İlk Hareket Sistemleri**, Mezuniyet Tezi, T.E.F. Makine Eğitimi Otomotiv Anabilim Dalı, Ankara, 2000.
12. Önsoy, K., **Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Marş Motoru Gücünün Motor Hacminin Fonksiyonu Olarak Tanımlanması**, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2001.
13. Viorel, I.A., Szabol, L., Löwenstein, L., Stet, C., "Integrated starter-alternator for automotive applications", **Acta Electrotechnica**, Volume 45, No:3 255-260, 2004.
14. Cai, W., "Comparison and Rewiev of Electric Machines for Integrated Starter Alternator Applications", **IEEE** 386-393 2004.
15. Muta, K., Yamazaki, M. Tokieda, J., "Development of New Generation Hybrid System THS II – Drastic Improvement of Power Performance and Fuel Economy", **SAE** 2004-01-0064.
16. Özel Görüşme Toyota Yetkili Servis 2009
17. Keping, Y., Rahman, M.F., "A matrix -Z- source converter for automotive integrated starter alternator system", **Applied Power Electronics Conference and Exposition .APEC Twenty-Third Annual IEEE**. V, 24-28 ,273-279,2008
18. Marek, S.L., Henein, N.A., "Transient engine and piston friction during starting", **SAE Paper no: 922197**, 1992
19. Binark, H., 1960, **Motor Konstürüksiyonu**, İ.T.Ü. Yayınları, İstanbul.
20. Sultan, M.C., Tang, D.-L. and Chang M.-F., "A dynamic engine starting model for computer-aided control systems design". **American**

- Society of Mechanical Engineers**, volume 13, pages 203–222, 1989.
21. Bae, K.S., Park J.Y., You, C., “Dynamic modelling and simulation of diesel engine starting process.” Technical Report 1999-08-0382, **SAE**, Inc., Warrendale, U.S.A., 1999.
  22. Pattersson, D.J., Poublon M. and Boerma, M., “Instantaneous crank speed variations as related to engine starting”. **SAE** Paper no: 850482, 1985.
  23. Sezgen, H., **Internal Combustion Engine Design**, O.D.T.Ü. Yayınları, Ankara 1971.
  24. 1996, Hyundai Motor Kataloğu.
  25. 2000, Seat Ibiza Motor Kataloğu.
  26. **Marş Sistemi Eğitim Kitabı**, Kara Yolları Genel Müdürlüğü, Ankara 1999.
  27. 1978, Fiat-Tofaş Otomobil Kataloğu.
  28. 1996, Ford Motor Kataloğu.
  29. 1998, Opel Motor Kataloğu.
  30. 1995, Suzuki Motor Kataloğu.
  31. 1995, Renault Motor Kataloğu.
  32. 1999, Fiat Motor Kataloğu.