

BİR ELEKTROMEKANİK SUPAP (EMS) SİSTEMİNİN DEĞİŞİK ÇALIŞMA ARALIKLARINDAKİ DİNAMİK PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI VE İÇTEN YANMALI BİR MOTORUN DESTEKLENME LİMİTLERİNİN BELİRLENMESİ

Nida BİRGÜL¹, Perihan SEKMEN²

¹ K.K.EDOK K.İği, 06610, ANKARA, TÜRKİYE.

²Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, 78100, KARABÜK, TÜRKİYE.
nbirgul@yahoo.com, psekmen@karabuk.edu.tr

(Geliş/Received: 28.12.2012; Kabul/Accepted: 18.07.2013)

ÖZET

Elektromekanik supap (EMS) sistemleri çok sayıda araştırmacı, motor ve otomotiv parça üreticileri tarafından geliştirilmektedir. Bu sistemler motorun tüm çalışma koşulları için supap zamanlamasında sağladığı esneklik sayesinde, potansiyel olarak motor performansını iyileştirme kabiliyetine sahiptir. EMS sistemleri, konvansiyonel kam mili sistemlerinin aksine supap zamanlamasını krank mili pozisyonundan tamamen bağımsız olarak gerçekleştirir. Bu sayede elektromekanik supap teknolojisi emme ve egsoz supaplarının açılma ve kapanma olaylarının denetimine imkân sağlayarak yakıt tüketimi ve emisyonların en aza indirilmesinde büyük bir potansiyele sahiptir.

Bu çalışmanın amacı, 12V'luk besleme gerilimine sahip bir EMS sisteminin değişik supap çalışma aralığındaki dinamik performansını araştırmak ve böylece içten yanmalı bir motoru destekleme limitlerini belirlemektir.

Anahtar Kelimeler: Elektromekanik supap, VVT, EMS, Mekatronik, İçten Yanmalı Motor.

INVESTIGATION OF THE DYNAMIC PERFORMANCE OF AN ELECTRO MECHANICAL VALVE (EMV) SYSTEM AT DIFFERENT LIFTING OPERATIONS AND DETERMINATION OF THE SUPPORT LIMITS OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

ABSTRACT

Electro Mechanical Valve (EMV) actuators are currently being developed by many researchers and engine and automotive component manufacturers. These actuators can potentially improve engine performance via flexibility in valves timings at all engine operating conditions. Unlike conventional camshaft driven systems, EMV system affords valve timings that are fully independent of crankshaft position. Thus the electromechanical valve train technology allows controlled opening and closing events for intake and exhausts valves and offers a big potential to minimize the fuel consumption and the emissions.

The purpose of this study is to investigate dynamic performance of an EMV system, which has 12-volt supply voltage, at different lifting valve operations and thus to determine the support limits of an internal combustion engine.

Keywords: Electromechanical Valve, VVT, EMV, Mechatronic, Internal Combustion Engine.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Küresel ısınma ve fosil kökenli yakıtların sınırlı ömrü, otomotiv endüstrisinin dikkatini daha verimli teknolojilerin üretilmesi yönünde yoğunlaştırmıştır [1]. Bu nedenle son yıllarda yapılan çalışmalarda emisyonların azaltılması, yakıt ekonomisi sağlanması, yüksek güç ve tork elde edilmesi ve verim artışı temel hedef olmuştur.

Diğer taraftan, içten yanmalı motorlar üzerine yapılan çalışmalar genel olarak ele alındığında; pistonlu motorlar yerine, insansız hava araçlarında kullanımı düşünülen turbo dönüşlü motorlar üzerine elektromanyetik valf uygulanması[2], klasik supap sistemlerinin iyileştirilmesi[3], egsoz kaynaklı kirleticilerin azaltılması ve alternatif yakıt türlerinin geliştirilmesi, alternatif yakıt türlerinin motor performansına ve emisyonlara etkisinin incelenmesi[4-6], motor ayarlama karakteristiklerinin incelenmesi[7,8] gibi konuların yer aldığı görülmektedir.

İçten yanmalı motorların iyileştirilmesi üzere yapılan çalışmaların birçoğu silindirlere dolgu giriş çıkışını sağlayan supap sistemlerinin geliştirilmesi yönünde yapılmıştır. Başlangıçta her bir silindir için kullanılan emme ve egsoz sayıları artırılmak suretiyle çoklu supap sistemlerine geçilmiş ve bu sayede silindir içine alınan dolgu verimi artırılarak rahat nefes alabilen motorlar üretilmiştir. Daha sonra değişken supap zamanlamasının ortaya çıkışı ile birlikte içten yanmalı motorlarda üretilen tork, geniş bir devir aralığına yayılmıştır. Günümüzde değişken supap zamanlamasına ilave olarak, değişken supap açıklığı/aralığı teknolojisi ile silindir içine alınan dolgu miktarı kontrol edilebilir hale gelmiştir. Supap ile supap oturma yüzeyi arasındaki mesafe değişimi ayarlanabilmekte, bu nedenle gaz keleşi ihtiyacı ortadan kalkmaktadır. Sonuç olarak, gaz keleşinin olmadığı bir manifold sistemi ile kısılsız emme işlemi gerçekleştirilmektedir. Tüm bu iyileştirmeler sonrasında, iyi bir yakıt ekonomisinin yanında daha yüksek güç ve verim artışı sağlanmıştır[1,9-12].

Son yıllarda supap sistemleri üzerine yapılan çalışmaların temelinde yukarıda sayılan temel özelliklerin geliştirilerek daha yüksek verim elde edilmesinin yanı sıra daha esnek supap zamanlaması ve süresinin ayarlanmasına müsaade eden, çok silindirli motorlarda bazı silindir ya da silindirlerin geçici olarak devre dışı bırakılmasına imkân tanıyan, otto ve dizel çevrimlerinin yanı sıra diğer termodinamik çevrimlerin oluşumuna da imkân tanıyabilecek sistemlerin geliştirilme çalışmalarının yer aldığı görülmektedir. Bu kapsamda yapılan çalışmalar incelendiğinde elektromekanik, elektrohidrolik, elektro pnömatik ve elektrik motoru tahrikli kam mili sistemlerinin supapları çalıştırmak

üzere tasarlanıp üzerlerinde çalışıldığı görülmektedir [1].

Elektrohidrolik supap sistemleri üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, temel olarak supap sap kısmının hidrolik bir silindire bağlantılı olduğu, bu silindir hidrolik bir akışkan ile doldurulup boşaltılması ile çalıştırılır. Buradaki akışkanın yön kontrol valfleri vasıtasıyla denetimi yapılmak suretiyle supabın açılıp kapatılması, açık veya kapalı kalma periyotları gerçekleştirilir. Burada akışkan hareketini sağlayan basınç farkı, motora ait yağlama sisteminden sağlanabildiği gibi, elektrik motoru ile tahrik edilen sistemler de vardır. Burada sistemin hassasiyeti ve cevabı, kullanılan hidrolik yağının özelliklerinden ve sıcaklığından etkilenmekte, sıcak ve soğuk çalışma koşullarında supap performansı değişiklik gösterebilmektedir[13-16].

Elektro pnömatik supap sistemleri, çalışma özellikleri ve donanım yönleriyle elektrohidrolik sistemlerle benzerlik gösterir[17,18]. Aradaki fark, akışkan olarak hava kullanılmasıdır. Bu sistemler özellikle büyük güç gereksinimi olan supap sistemlerin çalıştırılması için uygundur. Bu tip sistemlerin düşük çalışma aralıklarında çalıştırılma güçlüğünün olduğu belirtilmekle birlikte normal supap çalışma aralıklarında oldukça verimli çalıştıkları ifade edilmektedir[17]. Pnömatik supap sisteminde değişken supap açıklığı ve supap oturma yüzeyine temas problemleri mevcuttur[18].

Elektrik motoru ile tahrik edilen kam mekanizmalı supap sistemi üzerine de çalışmalar yapılmıştır. Temelde sistem değişken supap zamanlaması, değişken supap açıklığı mekanizmalarına sahip olmasının yanı sıra düşük güç tüketimine sahip olduğu da ifade edilmektedir[19,20].

Elektromekanik supap (EMS) sistemleri üzerine yapılan çalışmalar genellikle mekanizma tasarımı [21-25], tasarıma etkileyen faktörler [26,27], gürültü seviyesinin azaltılması [28], modelleme ve simülasyon [1,9,29-32], denetim ve optimizasyon [33-35] ile motor uygulamaları [36-38] şeklinde sınıflandırılabilir.

Elektromekanik supap (EMS) sistemleri, temel olarak her bir supap için iki adet elektromekanik supap ile supabın bağlı olduğu bir nüve ile bu sistemin denetimini ve işletmesini sağlayan elektronik kontrol ünitesinden oluşur. Bu sistemler üzerinde değişken supap zamanlaması, değişken supap açıklığı ve bazı silindirlerin devre dışı bırakılması olayları uygulanabilmektedir[1,11]. Tüm bu uygulamaların sonucunda, konvansiyonel motorlara göre yakıt tüketiminde %11 azalma, elde edilen torkta %5 artış gerçekleştiği vurgulanmaktadır[1,36]. Supap oturma yüzeyine çarpma problemleri ve gürültü problemlerinin aşıldığı[21,28,31], düşük enerji

tüketimleri ile dikkati çektikleri ifade edilmektedir[27].

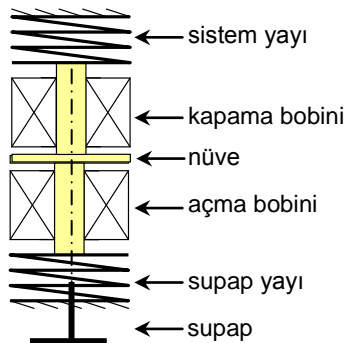
Yapılan çalışmaların supabı açma ya da kapama yönündeki tepki sürelerinin 4ms den az olmasına karşılık genellikle 42V ile 200V arasında değişen çalışma gerilimlerine sahip oldukları görülmektedir[21,26,30]. Günümüz taşıt elektrik sistemleri 12-24V çalışma gerilimlerine sahip olduğundan[39], uygulamaların yapılabilmesi maksadıyla, bir kısım araştırmacılar tarafından taşıt elektrik sistemlerinin 42V' a yükseltilmesi önerilirken, bir kısım araştırmacılar tarafından ise mevcut sistemlere uygun gerilimle çalışabilecek EMS sistemlerinin geliştirilmesinin uygun olacağı vurgulanmaktadır [26,37,38].

Bu çalışmanın amacı 12 voltluk besleme gerilimine sahip bir EMS sisteminin, değişik çalışma aralıklarındaki dinamik performansını araştırmak ve böylece içten yanmalı motorları destekleme limitlerini belirlemektir.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Elektromekanik Supap Sistemi - EMS (Electromechanical Valve System - EMV)

EMS sistemleri, supapları kam milinden bağımsız olarak çalıştıracak biçimde tasarlanır. Sistem, temel olarak bir elektronik kontrol ünitesi, iki adet bobin, iki adet yay, bir nüve ve bir supaptan meydana gelir. Şekil 1' de sistemi oluşturan elemanlar şematik olarak gösterilmiştir. Sistemin denetimi için gerekli sinyaller elektronik kontrol ünitesi tarafından sağlanmaktadır. Elektronik kontrol ünitesi tarafından gönderilen denetim sinyaline göre bobinlerden biri ilettime, diğeri kesime sokularak supap açılıp kapanır. Meydana gelen elektromanyetik kuvvet nüveyi iki bobin arasında yer alan mesafede hareket ettirir. Nüve ucunda yer alan supap ise nüve hareketini takip ederek açma ve kapama görevini yerine getirir. Mekanizmada yer alan sistem yayı supabı açma yönünde kuvvet uygularken, supap yayı ise supabı kapama yönünde kuvvet uygular. Sisteme herhangi bir sinyal uygulanmadığında, nüve yay kuvvetleri etkisi altında orta konumda, supap yarı açık konumda tutulur.



Şekil 1. EMS sistemi (The EMV system)

2.2. Hareketli Kütle-Yay İlişkisi, Manyetik Kuvvet (Relationship Between The Moving Mass-Spring, Magnetic Force)

EMS sistemi motorun ihtiyaç duyduğu her hızda çalışabilecek kapasiteye sahip olmalı, bu nedenle tasarım başlangıcında supap açılıp kapanma süreleri dikkate alınmalı ve motorun çalışma frekansına uyumlu tasarımlar yapılmalıdır.

Elektromekanik supap sistemlerinde hareketli kısımlar; supap, nüve ve yaylardan oluşan sistemdir ve bu sistem basit kütle yay sistemi olarak adlandırılır. Supap hareket süresi açık konumdan kapalı konuma geçiş ya da kapalı konumdan açık konuma geçiş süresi olarak adlandırılır ve yaklaşık olarak kütle-yay sisteminin doğal frekansı ile ilişkili olup eşitlik (1) ile hesaplanabilir [1,22,23].

$$\tau_t = \pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (1)$$

Burada τ_t ; açık konumdan kapalı konuma geçiş ya da kapalı konumdan açık konuma geçiş süresini (s), m; hareketli toplam kütle (kg), k: yay sabitini (N/m) ifade etmektedir.

Hareketli kütle hesabında (2) numaralı eşitlik kullanılır[15,19]. Burada supap, nüve ve yayların kütleleri dikkate alınırken kullanılan sistem yayı ile supap yayı aynı özellikte kabul edilebilir.

$$\text{Hareketli kütle} = \text{supap} + \text{nüve} + [1/3 (\text{supap yayı} + \text{sistem yayı})] \quad (2)$$

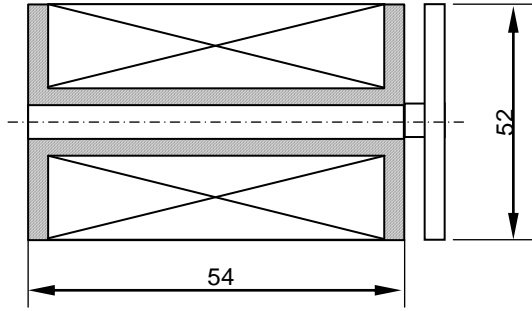
Bu çalışmada kullanılan hareketli kütle elemanlarının özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Bu özellikler dikkate alınarak hareketli kütle 215g olarak hesaplanmıştır.

Elektromanyetik supap mekanizmasında kullanılan disk tipi mıknatıs devresinin genel yapısı, disk şeklindeki hareketli nüve ve manyetik alanın oluşmasını sağlayan bobin devresinden oluşur. Uygulamada kullanılan bobin, 3mm et kalınlığına sahip teflon malzemeden yapılmış olan makara üzerine sarılmıştır. Disk ise elektromanyetik kuvvet hatlarını en iyi biçimde kesecek özelliğe sahip ferromanyetik malzemeden yapılmıştır. Şekil 2'de

Tablo 1. Hareketli kütle elemanlarının özellikleri (Properties of the moving mass elements).

| Kullanılan Eleman | Özellik |
|---------------------|---------|
| Nüve | 200g |
| Supap kütlesi | 60g |
| Supap yayı kütlesi | 20g |
| Sistem yayı kütlesi | 20g |
| Yay sabiti | 10N/mm |

tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen selenoid kesiti, Çizelge 2’de ise bobin özellikleri verilmiştir.



Şekil 2. Selenoid kesiti (Cross-section of solenoid)

Tablo 2. Selenoid özellikleri (Features of solenoid)

| | |
|--------------------------|---------|
| İletken çapı | 1 mm |
| Sarım sayısı (çit sarım) | 168x2 |
| Endüktans | 0,352mH |
| Direnç | 1,2ohm |

Hareketli nüve ile sabit kutup arasında meydana gelen elektromanyetik kuvvet 3 ve 4 numaralı eşitlikler yardımıyla hesaplanabilir[26].

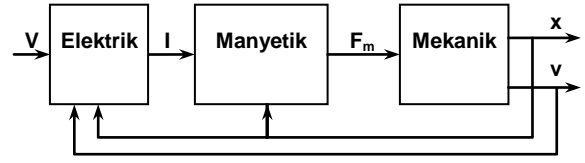
Eşitliklerde yer alan F_m elektromanyetik kuvveti (N), μ hava aralığı geçirgenliğini ($4\pi 10^{-7}$), A etkin kesit alanını (m^2), N sarım sayısını, I bobinden geçen akımı (A), z hava aralığı sayısını, x_h ise toplam hareket mesafesini (m), B_h mıknatıs akısı yoğunluğunu (Wb/m^2) ifade etmektedir.

2.3. EMS Sisteminin Dinamiği (The Dynamics of EMV system)

$$F_m = \frac{\mu A (NI)^2}{2z(x_h - x)^2} \quad (3)$$

$$F_m = \frac{z B_h^2 A}{2\mu} \quad (4)$$

EMS sistemi, elektrik, manyetik ve mekanik olmak üzere üç ana alt sistemin bileşiminden oluşur. Hareket bu üç bileşenin birlikte etkileşimi neticesinde meydana gelir. Burada, elektrik alt sistemi bobinden geçen akım dinamiklerini belirlerken, mekanik alt sistemi ise hareketli nüve dinamiğinden sorumludur. Elektrik ve mekanik bölümlerin etkileşimi manyetik bölümü oluşturur. Hareket, bobin akımının oluşturduğu ve direkt olarak nüve üzerine etkileyen manyetik kuvvet tarafından gerçekleştirilir. EMS sisteminin blok diyagramı Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. EMS sistemi blok diyagramı (The EMS system block diagram).

Şekilde yer alan büyüklüklerden V : selenoidlere uygulanan gerilimi (V), I : bobinlerden geçen akımı (A), F_m : elektromanyetik kuvveti (N), x ve v ise sırasıyla supabın konumunu (m) ve hızını (m/s) temsil eder.

Elektromıknatis bağıntı, Kirchhoff yasası ile kurulabilir ve 5 numaralı eşitlik ile verilir.

Burada e : giriş gerilimini (V), r : bobin direncini (ohm), N : sarım sayısını, ϕ : ise mıknatıs akısını (Wb/m^2) ifade eder.

EMS sisteminde yayların hareketli kütle üzerine

$$e(t) = r i(t) + \frac{d(N\phi)}{dt} \quad (5)$$

uyguladığı yay kuvveti 6 numaralı eşitlik ile verilir.

$$F_{yay} = 2k\left(\frac{x_h}{2} - x\right) \quad (6)$$

Burada k : yay sabitini (N/m) ifade eder. Elektro mıknatıs kuvvet, yaylar tarafından uygulanan kuvveti yenebilecek büyüklükte olmalıdır. Ayrıca, silindir içi basınç kuvvetleri de söz konusudur.

Mekanik sistemin dinamiğinde 7 numaralı bağıntı kullanılır.

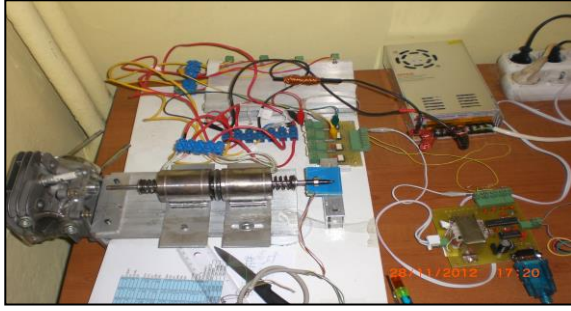
$$F_m = m \frac{d^2x(t)}{dt} + b \frac{dx(t)}{dt} \pm F_{yay} + F_b + F_s \quad (7)$$

Burada F_{yay} yay kuvvetini (N), F_m elektro mıknatıs kuvvetini (N), F_b sürtünme kuvvetini (N), F_s silindir içi basınç kuvvetini (N) ifade eder.

2.4. Deneysel Kurulum (Experimental Setup)

Deneysel kurulumun bir fotoğrafı Şekil 4’te verilmiştir. 12V çalışma gerilimine sahip bir EMS sistemi, Çizelge 3’te teknik özellikleri verilen tek silindirik bir motorun silindir kapağına bağlanmıştır. Sistemin denetimini yapmak üzere güç elektroniği devresi montajı yapılmıştır. EMS sisteminin bilgisayar yardımıyla denetimini sağlamak üzere Darbe Genişlik Modülatörü (DGM) üretilmiştir. DGM ile sisteme kolay veri girişi sağlayabilmek için bir bilgisayar ara yüz programı oluşturulmuştur. Bu sayede arzu edilen DGM sinyali verileri kolayca bilgisayara aktarılabilen, ara yüz modülü ve DGM

üzerinden EMS sistemine istenilen denetim sinyalleri gönderilebilmektedir.



Şekil 4. Deney düzeneği (Experimental setup)

Tablo 3. Silindir kapağı kullanılan motorun teknik özellikleri (Engine technical specifications used in cylinder head).

| Markası | Briggs and Stratton-Vanguard |
|-----------------|------------------------------|
| Silindir sayısı | 1 |
| Piston kursu | 50 mm |
| Silindir çapı | 68 mm |
| Kurs hacmi | 182 cm ³ |
| Maksimum Hız | 3600 1/min |

Bu sayede gerçek zamanlama testleri ve değişik kontrol parametreleri uygulanmak suretiyle test işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. Burada kullanılan DGM ve güç elektroniği devreleri ile bobinlere gönderilen denetim sinyalleri ayarlanmaktadır. Sistemin ihtiyacı olan enerji, 220V AC gerilimi 12V, 30A'e dönüştürebilen bir güç kaynağı tarafından sağlanmaktadır.

Bilindiği gibi hall sensörler manyetik alandan etkilenecek çıkış geriliminde değişiklik elde edilebilen algılayıcılardır. Burada bobin akımlarını ölçmek için iki adet, supap hareketini algılayabilmek için de bir adet hall sensör kullanılmış, bu sayede sistem parametreleri ölçülmüştür.

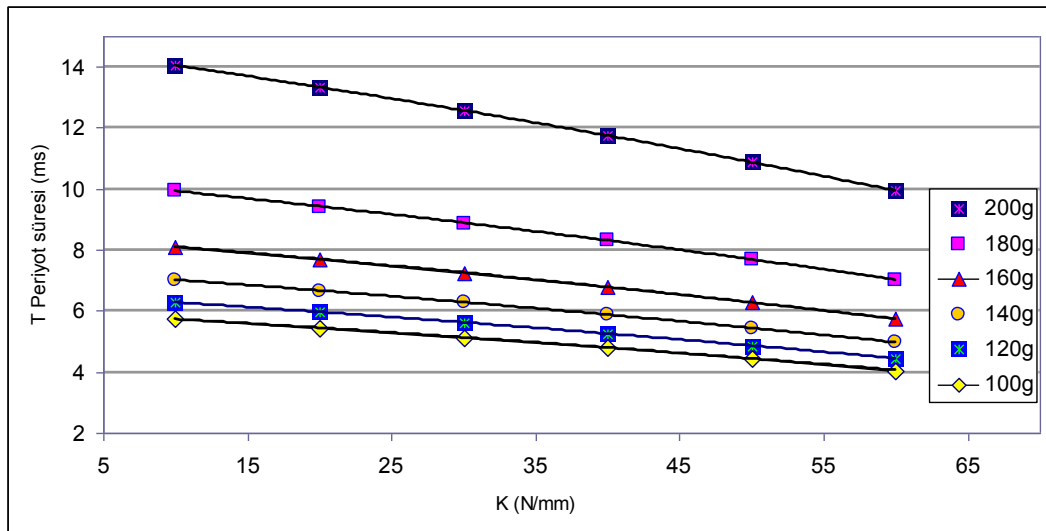
Sensörlerden elde edilen akım, pozisyon ve kontrol bilgilerini toplamak ve kayıt yapabilmek maksadıyla, ART USB5935 veri toplama modülü kullanılmıştır. Bu modül 100 kS/s hızında bilgi işleme kapasitesine sahip, dijital ve analog giriş çıkış ünitelerinden oluşmaktadır. Toplanan bilgilerin analizi ve değerlendirilmesinde, ART USB5935 veri toplama modülü ile birlikte elde edilen gelişmiş ölçme ve kontrol programı kullanılmıştır.

Deneyel kurulum ile;

- Mekanik özelliklerin belirlenmesi,
- Dinamik ölçme işlemini gerçekleştirerek akım ve gerilim karakteristiklerinin belirlenmesi,
- Modelin değerlendirilmesi,
- Kontrol algoritmasının oluşturulması hedeflenmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Değişik miktarlardaki hareketli kütle-yay sisteminin açma kapama süresi üzerindeki etkisi Şekil 5'te verilmiştir. Hareketli kütle azaldığında, çalışma hızı artmaktadır. Motorun yüksek hızlarda çalışabilmesi için düşük açma kapama sürelerine ihtiyaç vardır.



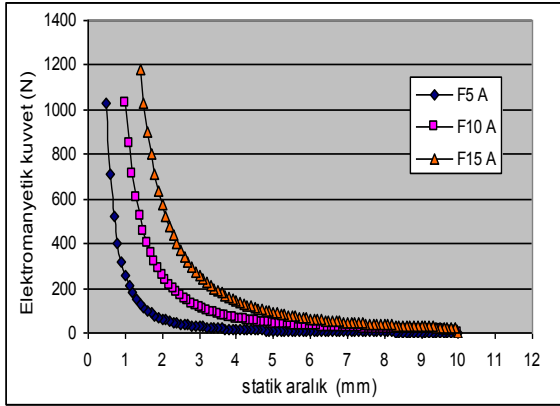
Şekil 5. Hareketli kütle-yay sisteminin açma kapama süresi üzerindeki etkisi (Effect on the opening and closing time of the moving mass-spring system).

Sistemin dinamik çalışma parametrelerini ortaya çıkarabilmek için bobin akımının, denetim sinyallerinin ve supap hareketinin ölçülmesine ihtiyaç vardır. Bu amaçla hall sensörlerden faydalanılmıştır.

Yüksek yay katsayısının seçimi, açma kapama süresini kısaltır, fakat ihtiyaç duyulan elektromanyetik kuvvetin de artırılmasını gerektirir. Bu durum, kullanılacak olan elektromagnit boyutlarının büyümesine, sistemin hantallaşmasına ve

maliyetlerin artmasına sebep olur. Bu nedenle hareketli kütle mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır.

EMS sisteminin statik özelliklerini belirleyebilmek için; selenoidin tasarımında kullanılan statik hava aralığı değişimine bağlı üretilen elektromanyetik kuvvet değerleri Şekil 6'da grafik olarak verilmiştir. Buna göre, 10A değerinde elde edilen elektromanyetik kuvvet değerlerinin bizim tasarımında kullanacağımız supap yay kuvvetini yenebilecek kapasitede olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6. Statik hava aralığı değişimine bağlı üretilen kuvvet değişimi (Static force changes produced based on the changing air gap)

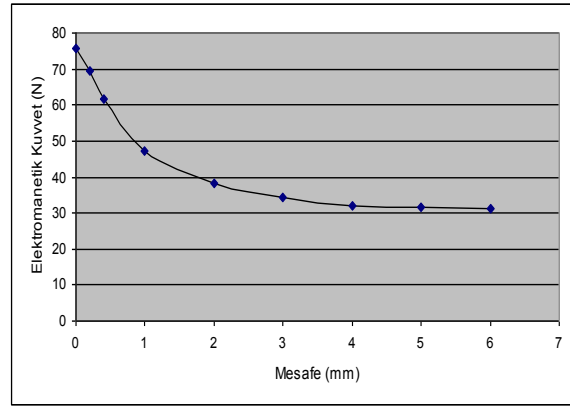
İmalatı tamamlanan selenoid için 10A akım değerinde elde edilen kuvvet-mesafe grafiği Şekil 7'de, üretilen kuvvetin diğer çalışmalarla karşılaştırması Çizelge 4'te verilmiştir.

Tablo 4. EMS bobinin karşılaştırması (EMV coil comparison).

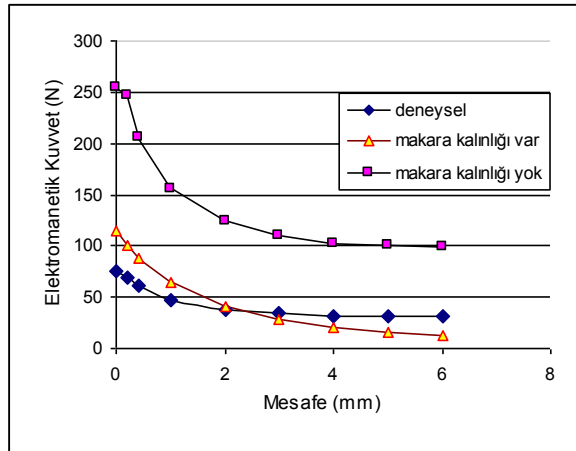
| Çalışma | Gerilim (V) | Akım (A) | Kuvvet (N) |
|---------|-------------|----------|------------|
| EMS | 12 | 10 | 76 |
| [37] | 42 | 7,5 | 69,6 |
| [29] | 42 | 15 | 600 |
| [27] | 180 | 5 | 1300 |

Burada elde edilen kuvvet değeri, diğer çalışmalar ile karşılaştırıldığında oldukça küçük olmakla birlikte (kullanılan gerilim ve akım değerlerine dikkat ediniz), 10N/mm'lik yay kuvvetini yenebilecek kapasiteye sahiptir. Grafikte yer alan mesafe, hareketli kütle yer değiştirme mesafesidir. Bobinin üzerine sarılı olduğu makara kalınlığı burada oldukça etkilidir. Buradaki sıfır olarak gösterilen mesafe, gerçekte makara et kalınlığı ve diğer yapısal nedenlerden dolayı 9,5mm mesafeyi temsil etmektedir. Makara kalınlığı azaltıldığı takdirde elde edilen kuvvet değerleri de artacaktır. Bu durum mknatis devresinin boyutlarının küçülmesine de büyük ölçüde katkıda

bulunacaktır. Burada yer alan deneysel değerler ile makara kalınlıkları nedeniyle ulaşılabilecek hesaplama değerleri ve makarasız bobinden elde edilebilecek değerlerin bir karşılaştırması Şekil 8' de verilmiştir. Burada teorik olarak 9,5mm ve sonrasındaki hesaplanan değerler ile deneysel değerlerin birbiri ile son derece uyumlu olduğu, fakat makara kalınlığı olmadan hesaplanan değerlerle karşılaştırıldığında, bobinin yüksek bir geliştirilebilir potansiyeline sahip olduğu, iyileştirme sonrasında ortalama 3,28 kat daha fazla kuvvet elde edilebileceği değerlendirilmektedir.



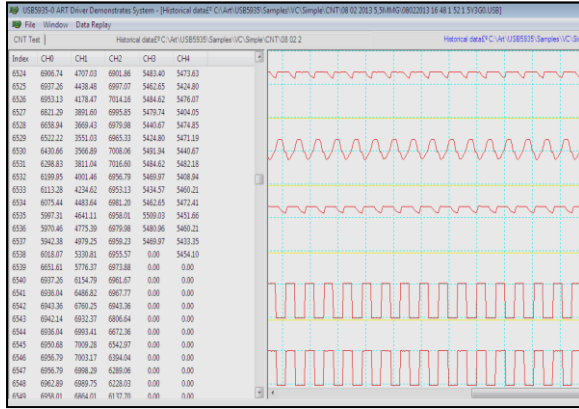
Şekil 7. Ölçülen kuvvet- mesafe değişimi; I=10A (The measured force-distance variation; I=10A).



Şekil 8. EMS bobini geliştirilme potansiyeli (Development potential of EMS coil)

EMS sisteminin dinamik özelliklerini belirleyebilmek amacıyla 2-7mm supap çalışma aralığında ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümleri gerçekleştirebilmek için, bir taraftan bilgisayar yardımıyla gerekli denetim sinyalleri darbe genişlik modülasyonu (DGM) ünitesine gönderilmiş, diğer taraftan veri toplama sistemi ile sensörlerden elde edilen veriler kaydedilmiştir. Bu verilere ait bir ekran görüntüsü Şekil 9'da verilmiştir. Buna göre elde edilen sinyaller üstten alta doğru sayılacak olursa, sırasıyla açma bobini akımı, kapama bobini akımı, supap konumu,

bobin açma DGM sinyali ve bobin kapama DGM sinyalidir.



Şekil 9. Veri toplama sistemi ekran görüntüsü (Screenshot of the data collection system)

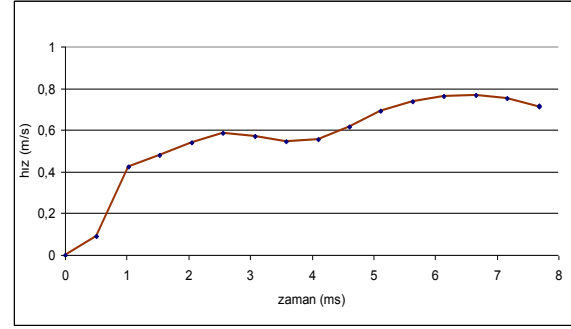
Sisteminin dinamik performansının analizinde, supabın kapalı konumdan açık konuma geçişi sırasında elde edilen supap hareketi ile supap hızının zamana göre değişim grafikleri Şekil 10'da verilmiştir.

Buna göre 215g hareketli kütleyle sahip sistem, 5.5mm çalışma aralığını 8ms sürede kat etmiştir. Supabın açma hareketi sırasında ulaştığı en yüksek hız 0,76m/s, açma hareketi sonrasında ulaştığı hız da 0,71m/s olarak belirlenmiştir.

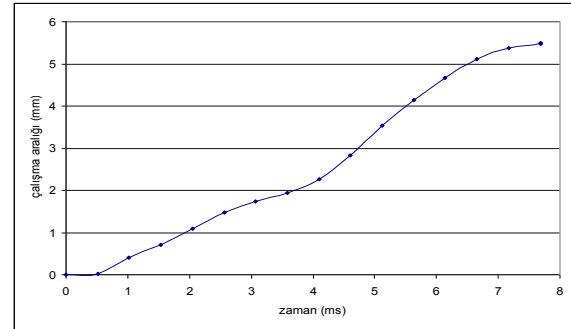
Dinamik çalışma sınırlarının belirlenebilmesi amacıyla 2; 3,5; 4,5; 5,5 ve 7mm supap çalışma aralıklarında ulaşılabilecek açma kapama süreleri test edilmiştir. Elde edilen test verilerine göre erişilebilecek çalışma hızları grafiği Şekil 11'de verilmiştir. Buna göre, 215 gram hareketli kütle için en küçük ve en büyük değerler sırasıyla 5ms ve 9,5ms olarak ölçülmüştür.

Deneysel verilerden elde edilen değerler ile bobinin geliştirilmesi sonrasında elde edilebilecek kuvvet artışı neticesinde, sistemin dinamik davranışında meydana gelebilecek iyileşme durumu ayrıca incelenmiştir. Bahse konu inceleme sonrasında açma kapama süresinin tahminine ilişkin grafik, Şekil 12'de verilmiştir.

Bir değerlendirme yapabilmek için bazı çalışmalarda elde edilen büyüklükler ile bu çalışmada elde edilen büyüklükler çizelge 5'te verilmiştir. Çizelgede EMS ile ifade edilen çalışma burada anlatılan çalışmaya ait özellikleri içermektedir.

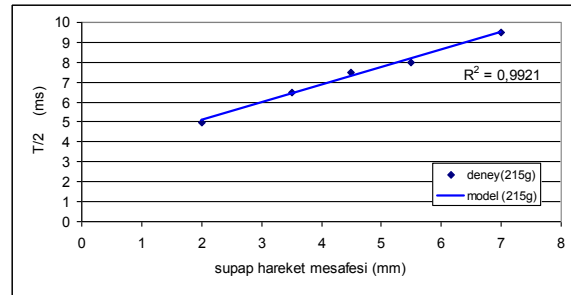


(a)

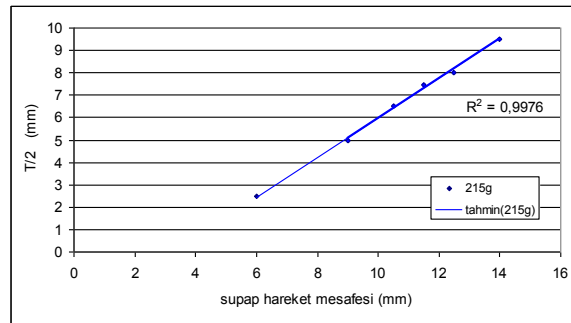


(b)

Şekil 10. Supabın açılması sırasında (a) Hız değişimi, (b) Konum grafiği (During opening of the valve (a) Speed change, (b) Graph of location).



Şekil 11. EMS sisteminin farklı çalışma aralıklarındaki dinamik performansı (Dynamic performance of EMV system at at various valve lift operation) (K=10N/mm)



Şekil 12. Bobinin iyileştirilmesi sonrasında açma kapama süresi tahmini (Estimated time of opening and closing after the improvement of the coil)

Çizelge 5. Diğer kaynaklarda verilen bazı büyüklükler (Some of the quantities given in other references)

| Çalışma (Tasarım) | EMS | [27] | [29] | [31] | [38] |
|-----------------------|------|------|------|------|------|
| Maksimum Hız (m/s) | 0,76 | 3 | 4 | 3 | - |
| Durma Hızı (m/s) | 0,71 | 0,35 | 1,6 | 0,5 | - |
| Açma süresi (ms) | 8 | 3,42 | 3,33 | 4 | 9,5 |
| Hareket mesafesi (mm) | 5,5 | 8 | 8 | 8 | 4,5 |
| Gerilim (V) | 12 | 180 | 42 | 100 | 33 |
| Akım (A) | 10 | 5 | 15 | - | 10 |

Bir motorda 275 KMA'lık supap açık kalma süresi için gerekli olan EMS açma ya da kapama süresinin motor hızına göre değişimi hesaplanmıştır. Buna göre, üzerinde çalışılan bu sistemin bir motora uygulanması durumunda 2, 3.5, 4.5, 5.5 ve 7mm lik supap çalışma aralıkları için Çizelge 6' da belirtilen hızlarda içten yanmalı, dört zamanlı bir motoru destekleyebileceği değerlendirilmiştir.

Çizelge 6. EMS sisteminin bir motoru destekleme limitleri (The support limits of EMS system for an engine)

| Çalışma aralığı (mm) | 2 | 3.5 | 4.5 | 5.5 | 7 |
|----------------------|------|------|------|------|------|
| Motor Hızı (1/min) | 4575 | 3525 | 3050 | 2850 | 2400 |

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, mevcut tasarımların yüksek besleme gerilimlerine ihtiyaç duymasından dolayı günümüz taşıt elektrik sistemlerine uygun bir EMS sisteminin tasarım ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Bu sistemin 12V çalışma gerilimi altında ve maksimum 10A akım ile içten yanmalı bir motoru destekleme limitleri belirlenmiştir. Tasarlanan sistem, 2mm ile 7mm supap çalışma aralığı arasında, 2400-4575 1/min çalışma hızlarında motoru destekleyebilmektedir.

Yapılan testler neticesinde, üretimi yapılan bobinin oldukça yüksek bir geliştirme potansiyeline sahip olduğu, hareketli kütle üzerine yapılacak iyileştirme çalışmaları ile geliştirmenin daha etkin hale getirilebileceği tespit edilmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda mevcut otomotiv sistemlerine uyumlu, içten yanmalı motorları her türlü çalışma koşullarında destekleyebilen, güç tüketimi düşük EMS sistemlerinin geliştirilmesi üzerine çalışmalar sürdürülebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Gaeta, di A., Glielmo, L., Giglio, V., Police, G., "Modeling of an Electromechanical Engine Valve Actuator Based on a Hybrid Analytical-FEM Approach", **IEEE/ASME Transactions on Mechatronics**, 13(6), 625-637, 2008.
2. Okur, M., Şahin, F., "Turbo Döngüsel Bir Motorda Döner Valf ve Elektromanyetik Valf Uygulamalarının Türbin Gücüne Etkisi", **Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 28(1), 51-58, 2013.
3. Karabulut H., Sarıdemir S., "Comparison of Cam Profiles Obtained via Classical Spline Method for Different Lifted – Valve Periods and Lifts", **Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 24 (3), 509-515, 2009.
4. Koç M., Sekmen Y., Topgül T., Yücesu HS., The effects of ethanol-unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in a spark ignition engine, **Renewable Energy**, 34(10), 2101-2106, 2009.
5. Sekmen Y., "Karpuz Çekirdeği ve Keten Tohumu Yağı Metil Esterinin Dizel Motorda Yakıt Olarak Kullanılması", **Teknoloji Dergisi**, 10 (4), 295-302, 2007.
6. Çelikten, İ., Gürü, M., "Petrodizel ve Kanola Biyodizeli Performans ve Emisyon Kriterlerinin Mangan esaslı Katkı Maddeleriyle Geliştirilmesi", **Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 26(3), 643-648, 2011.
7. Aktaş A., Sekmen Y., "Biyodizel ile Çalışan Bir Dizel Motorda Yakıt Püskürtme Avansının Performans Ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi", **Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 23 (1), 199-206, 2008.
8. Sekmen Y., Sekmen P., Salman M.S., "Buji Ateşlemeli Bir Motorda Sıkıştırma Oranının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi", **Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 22 (4), 745-751, 2007.
9. Nagaya, K., Kobayashi, H., Koike, K., "Valve Timing And Valve Lift Control Mechanism For Engines", **Mechatronics**, 16, 121-129, 2006.
10. Çınar, C., Sekmen, Y., Akbaş, A., Erduranlı, P., "Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Emme Supabı Kalkma Miktarının Performansa Etkileri Üzerine Bir Araştırma", **Pamukkale University Journal of Engineering Sciences**, 10(2), 179-184, 2004.

11. Atzler, F., "On the Future of the Piston Engine with Internal Combustion An Overview", **Marie Curie Fellowship Conference**, Profactor GmbH, Steyr, Austria, 2001.
12. Shiao, Y., Dat, L.V., "Efficiency Improvement For An Unthrottled SI Engine At Part Load", **International Journal Of Automotive Technology**, 13(6), 885-893, 2012.
13. Wong, P.K. , Tam, L.M. and K.LI. "Modeling And Simulation Of A Dual-Mode Electrtrohydraulic Fully Variable Valve Train For Four-Stroke Engines", **International Journal of Automotive Technology**, 9(5), 509-521, 2008.
14. Henzen, A. , Guella, P., Sun. Z., "Iterative Learning Control Of a Fully flexible valve actuation system For Non-Throttled Engine Load Control", **Control Engineering Practice**, 19(12), 1490-1505, 2011.
15. Gray, J., Krstić, M., Chaturvedi, N. , "Parameter Identification for Electrohydraulic Valvetrain Systems", **Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control**, 133(064502-1), 2011.
16. Pournazri, M., Khajepour, A., Fazeli, A., "An Efficient Lift Control Technique in Electrohydraulic Camless Valvetrain Using Variable Speed Hydraulic Pump", **Society of Automotive Engineers (SAE)** 2011-01-0940, 2011.
17. Trajkovic, S., Milosavljevic, A., Tunestål, P. Johansson, B., "FPGA Controlled Pneumatic Variable Valve Actuation" **Society of Automotive Engineers (SAE)**, 2006-01-0041, 2006.
18. Trajkovic, S., Tunestål, P., Johansson, B., "Introductory Study of Variable Valve Actuation for Pneumatic Hybridization", **Society of Automotive Engineers (SAE)**, 2007-01-0288, 2007.
19. Parlikar, T.A., Chang, W.S., Qiu, Y.H., vd., "Design And Experimental Implementation Of An Electromagnetic Engine Valve Drive", **IEEE/ASME Transactions On Mechatronics**, 10(5), 482-494, 2005.
20. Yihui Qiu et al. "A Custom-designed Limited-angle Actuator for an Electromechanical Engine Valve Drive. Part I: Conceptual Design." **Proceedings of the 5th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD)**, Brighton, UK, 2010.
21. Shiao, Y., Pan, W., "Design Of A 3-Stage Voltage Controller For EMV Actuation In SI Engines", **2011 11th International Conference On Control, Automation And Systems**, Gyeonggi-do, Korea, 2011.
22. Park, S., Kim, D., Jaisuk, B., "A Study on the Design of Electromagnetic Valve Actuator for VVT Engine", **KSME International Journal**, 17(3), 357-369, 2003.
23. Jieng-Jang Liu, Yee-Pien Yang, Jia-Hong Xu, "Electromechanical Valve Actuator with Hybrid MMF for Camless Engine" **Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control**, Seoul, Korea, 10688-10703, 2008.
24. Kim, J., Lieu, D.K , "Designs for a New, Quick-Response, Latching Electromagnetic Valve", **IEEE**, 1773-1779, 2005.
25. Wong, P.K., Mok, K.W., "Design and Modeling of a Novel Electromechanical Fully Variable Valve System", **Society of Automotive Engineers (SAE)** 2008-01-1733, 2008.
26. Kamaş, Z., Yüksel, İ., " An Investigation Of Effect Of Applied Electrical Voltage On System Dynamic Behaviour And Energy Consuption Of An Electromechanical Valve Actuator", **G.U. Journal Of Science**, 17(3), 161-177, 2004.
27. Kim, J., Lieu, D. K., "A New Electromagnetic Engine Valve Actuator with Less Energy Consumption for Variable Valve Timing", **Journal of Mechanical Science and Technology**, 21, 602-606, 2007.
28. Peterson, K.S. , Stefanopoulou, A.G. , "Extremum Seeking Control for Soft Landing of An Electromechanical Valve Actuator", **Automatica**, 40, 1063-1069, 2004.
29. Eyabi, P., "Nonlinear Estimation: An Experimental Approach", **IEEE ISIE 2006 Montreal**, Quebec, Canada, 102-108, 2006.
30. Wang, Y., Megli, T., Haghgoie, M., Peterson, K.S. , Stefanopoulou, A.G. , "Modeling And Control of Electromechanical Valve Actuator", **Society of Automotive Engineers (SAE)** 2002-01-1106, 2002.
31. Lua, C. A., Toledo, B. C., Benedetto, M.D., Gennaro, S. D., "Output Feedback Regulation of Electromagnetic Valves for Camless Engines", **Proceedings of the European Control Conference**, Kos, Greece, 1-26, 2007.
32. Miller, J., "Simulation of a novel electromechanical engine valve drive to quantify performance gains in fuel consumption", Master of Science Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2011.
33. Nam, K., "Development of a camless engine valve actuator system for robust engine valve timing control", **Int. J. Vehicle Systems Modelling and Testing**, 7(4), 372-389, 2012.
34. Mercorelli, P., "An Adaptive Two-Stage Observer in the Control of a New Electromagnetic Valve Actuator for Camless Internal Combustion Engines", **New Trends and Developments in Automotive System Engineering**, Prof. Marcello Chiaberge, InTech, Rijeka Croatia, 2011.

35. Dat, L.V., Shiao, Y., "Optimization Intake Valve Timing In Camless Engine With Electromagnetic Valvetrain", **Journal of Engineering Technology and Education The 2012 International Conference on Green Technology And Sustainable Development**, Hochiminh City, Vietnam, 368-373, 2012.
36. Özdalyan, B., 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)** 11(2), 106-114, 2010.
37. Sağıroğlu, S., Salman, M.S., "Buji İle Ateşlemeli Bir Motorda Elektromanyetik Kumandalı Supap Mekanizması Tasarımı, İmalatı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması", **Teknoloji**, 10(2), 113-122, 2007.
38. Doğan, O., "İçten Yanmalı Bir Motorda Elektro-Mekanik Supap Uygulaması", Bilim Uzmanlığı Tezi, Zonguldak Kara Elmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
39. Perrault, D.J., Afridi K., Khan, I.A., "Automotive Applications of Power Electronics", **Power Electronics Handbook**, Rashid, M.H., Elsevier Inc., Oxford, U.K., 643-667, 2007.