

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GAZ ENJEKTÖR SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ VE
TASARLANAN BİR ENJEKTÖRÜN
KARAKTERİSTİĞİNİN BELİRLENMESİ

Selçuk TEMURBOĞA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
MAKİNE EĞİTİMİ PROGRAMI

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Metin GÜMÜŞ

İSTANBUL 2009

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GAZ ENJEKTÖR SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ VE
TASARLANAN BİR ENJEKTÖRÜN
KARAKTERİSTİĞİNİN BELİRLENMESİ

Selçuk TEMURBOĞA
(141101720050060)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
MAKİNE EĞİTİMİ PROGRAMI

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Metin GÜMÜŞ

İSTANBUL 2009

ÖNSÖZ

Günümüzde daha düşük emisyonlu ve daha yüksek motor performanslı motor taleplerinin artması, motorların elektronik kontrollerine yönelik araştırmaları hızlandırarak devam ettirmektedir. Emisyon kısıtlamaları arttıkça bu denetimler daha da önem kazanmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalar öncelikle yakıt sisteminin kontrolü üzerindedir. Yakıt enjeksiyonlu motorlarda kullanılan enjektörler yakıt kontrol sistemlerinin en önemli elemanlarıdır.

Enjektörler bilindiği gibi doğrusal mekanik hareket sağlayan bir selenoid valf, daha genel olarak ta bir elektromekanik ayardır. Elektromekanik aygıtın statik ve dinamik karakteristikleri enjektörün çalışma karakteristiklerini temsil etmektedir.

Bu çalışma çerçevesinde elektronik gaz yakıt kontrol sistemlerinde kullanılan bir elektromekanik enjektör sisteminin incelenmesi ve karakteristiklerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Metin GÜMÜŞ'e teşekkür ederim.

Bu çalışmanın deneysel bölümünün gerçekleştirilmesinde her türlü desteği veren VOLTRAN-ÜÇYILDIZ yönetimine ve arge bölümüne teşekkür ederim.

Benim bu günlere gelmemde en büyük katkısı olan aileme ve çalışmalarım boyunca desteklerini esirgemeyen sevgili nişanlıma teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA NO</u>
ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER.....	viii
TABLolar	xi
BÖLÜM I. GİRİŞ ve AMAÇ.....	1
I.1. GİRİŞ	1
I.2. AMAÇ	2
BÖLÜM II. LİTERATÜR TARAMASI.....	4
II.1 GENEL BİLGİLER.....	4
II.1.1. Hava Yakıt Karışımı Oluşturma Koşulları	4
II.1.1.1. Soğukta İlk Çalışma Zenginleştirilmesi	4
II.1.1.1.1. Soğukta Başlatma Enjektörü Kullanımı	5
II.1.1.1.2. Yakıt Enjektörlerinin Soğukta Çalışma Kontrolü	5
II.1.1.2. Soğukta Çalışma Rölanti Devir Kontrolü	5
II.1.1.3. İvmelenme ve Tam Yük Zenginleştirilmesi	6
II.1.2. Yakıt Enjeksiyon Sistemleri	6
II.1.2.1. Benzin Enjeksiyon Sistemi	7
II.1.2.1.1. Emme Manifolduna Tek Noktadan Püskürtme	9
II.1.2.1.2. Emme Supabının Önüne Püskürtme	10
II.1.2.1.3. Silindir İçine Emme Strokunda Püskürtme	11
II.1.2.1.4. Silindir İçine Sıkıştırma Zamanı Sonunda	
Püskürtme.....	12
II.1.2.2. LPG Enjeksiyon Sistemleri	13
II.1.2.2.1. Mekanik Olarak Kontrol Edilen Karbüratörlü	
Sistemler	13

II.1.2.2.2. Elektronik Olarak Kontrol Edilen Karbüratörlü Sistemler	13
II.1.2.2.3. Sıralı LPG Enjeksiyon Sistemleri	14
II.1.2.3. CNG Enjeksiyon Sistemleri	15
II.1.2.4. Hidrojen Enjeksiyon Sistemleri	19
II.1.3. Enjektörler	20
II.1.3.1. Benzin Enjektörleri	20
II.1.3.2. LPG Enjektörleri	25
II.1.3.2.1. Tekli LPG Enjektörü	28
II.1.3.2.2. Grup LPG Enjektörleri	28
II.1.3.3. CNG Enjektörleri	29
II.1.3.4. Hidrojen Enjektörleri	29
II.1.4. Enjektör Kontrolü	30
II.1.4.1. Mikroişlemci Esaslı Kontrol Birimi	30
II.2. GAZ ENJEKTÖRLERİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR. .	31
BÖLÜM III. MATERYAL VE METOT.....	38
III.1. DENEY TESİSATININ TANITILMASI.....	38
III.1.1. Deney Enjektörü	38
III.1.2. Deney Aparatı	43
III.1.3. Yük Hücresi	44
III.1.4. Amplifikatör	45
III.1.5. Elektronik Kontrol Ünitesi	46
III.1.6. Dijital Osilaskop	49
III.1.7. Güç Kaynağı	49
III.1.8. Arayüz Programı	50
III.1.9. Akım Ölçer ve İşlemsel Yükseltgeç	51
III.1.10. Sinyal Jeneratörü	52
III.2. DENEY PROSEDÜRÜ	53
III.2.1. Manyetik Çekim Kuvvetinin Değişimine Göre Enjektör Karakteristiğinin İncelenmesi	54
III.2.2. Akım Değişimine Göre Enjektör Karakteristiğinin İncelenmesi ..	57
BÖLÜM IV. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....	58

IV.1. MANYETİK ÇEKİM KUVVETİNİN DEĞİŞİMİNİN	
PARAMETRELERE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ	58
IV.1.1. Darbe Genişliği Değişiminin Etkisinin İncelenmesi	60
IV.1.2. Modülasyonsuz Darbe Genişliği Değişiminin Etkisinin	
İncelenmesi	62
IV.1.3. Modülasyonlu Darbe Kullanım Oranı Değişiminin Etkisinin	
İncelenmesi	66
IV.1.4. Modülasyonlu Darbe Frekansı Değişiminin Etkisinin	
İncelenmesi	70
IV.1.5. Besleme Gerilimi Değişiminin Etkisinin İncelenmesi	73
IV.1.6. Nüve Açılma Mesafesi Değişiminin Etkisinin İncelenmesi	74
IV.1.7. Sıcaklık Değişiminin Etkisinin İncelenmesi	78
IV.2. AKIM DEĞİŞİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	78
BÖLÜM V. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	81
V.1. SONUÇ	81
V.2. ÖNERİLER	82
KAYNAKLAR	84
EKLER	87
ÖZGEÇMİŞ	90

ÖZET

GAZ ENJEKTÖR SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ VE TASARLANAN BİR ENJEKTÖRÜN KARAKTERİSTİĞİNİN BELİRLENMESİ

Benzinli motorlardaki enjeksiyon sistemlerinde silindir içerisine gönderilen yakıt miktarı motorun emdiği hava miktarına bağlı olarak kontrol ünitesi tarafından belirlenir. Gaz dönüşümü yapılan araçlarda ise silindirlere gönderilen benzin miktarına eşdeğer gaz yakıtı, kontrol ünitesi tarafından sisteme ilave edilen gaz enjektörleri kumanda edilerek belirlenmektedir. Motora gönderilen gaz yakıtının miktarının hassas bir şekilde tespit edilmesi yakıt ekonomisi ve emisyonlar açısından önemlidir. Gaz enjektörünün motor çalışma şartlarına bağlı olarak değişen debi ihtiyaçlarına hassas bir şekilde cevap verebilmesi istenmektedir. Buna bağlı olarak, yakıt miktarının hassas bir şekilde ayarlanabilmesi gaz enjektörlerinin çalışma karakteristiklerinin (darbe genişliği, modülasyonsuz darbe genişliği, modülasyonlu darbe kullanım oranı, modülasyonlu darbe frekansı, besleme gerilimi, nüve açılma mesafesi, sıcaklık) bilinmesini gerektirir. Gaz enjektörlerinin özelliklerinin bilinebilmesi için enjektörün akış, manyetik ve dinamik analizlerinin yapılması gerekmektedir. Enjektör nüvesinin dinamik davranışı, manyetik çekim, yay ve akış kuvvetleri tarafından kontrol edilmektedir. Dolayısıyla bu kuvvetlerin etkisi incelenmelidir.

Bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan ve darbe genişlik modülasyonu ile kontrol edilen bir gaz enjektörünün çalışma karakteristiği, manyetik çekim kuvveti ve akım değişiminin incelenmesiyle belirlenmiştir. Deneysel çalışmada enjektör karakteristiğini darbe genişliği, modülasyonsuz darbe genişliği, modülasyonlu darbe kullanım oranı, modülasyonlu darbe frekansı, besleme gerilimi, sıcaklık ve nüve açılma mesafesinin etkilediği belirlenmiştir. Bu parametrelerin etkileri deneysel olarak tespit edilmiştir.

Aralık, 2009

Selçuk TEMURBOĞA

ABSTRACT

INVESTIGATION OF GAS INJECTOR SYSTEMS AND DETERMINATION OF CHARACTERISTICS OF A DESIGNED INJECTOR

In gasoline injection engines, the amount of fuel sent into the cylinder is determined by the engine control unit, depending on the amount of absorbed air. In LPG fueled engines, the amount of gas fuel equal to gasoline fuel sent into the cylinder is determined by the control unit used in the LPG conversion system with controlling the gas injectors attached to the system. Accuracy of the amount of gas fuel sent into the engine is important for fuel economy and emissions. With respect to engine operating condition, the accurate response of the gas injector is required. For this reason, it is needed to know the gas injector working characteristics (pulse width, without modulation pulse width, duty cycle of modulation, frequency of modulation pulse, supply voltage, plunger opening distance, temperature) for adjusting amount of fuel. In order to understand the properties of gas injectors, the injector's flow, magnetic and dynamic analyses should be done. The dynamic behavior of the injector plunger is controlled by magnetic, spring and flow forces. Therefore the effects of these forces must be analyzed.

In this study, the operating characteristics of a gas injector controlled by pulse width modulation were determined by investigating change of magnetic attraction and current flow. The experimental study has shown that the characteristics of the injector are affected by pulse width, without modulation pulse width, duty cycle of modulation, frequency of modulation pulse, supply voltage, temperature and plunger opening distance. The effects of these factors have been determined experimentally.

KISALTMALAR

ABA	: Açılmanın Başladığı An
AKDS	: Açılma Konum Değişme Süresi
ATA	: Açılmanın Tamamlandığı An
AVKZ	: Alçak Voltajda Kalma Zamanı
A_z	: Açma Zamanı
CNG	: Compressed Natural Gas (Sıkıştırılmış Doğal Gaz)
DGM	: Darbe Genişlik Modülasyon
D_z	: Doyma Zamanı
EAS	: Enjektör Açılma Süresi
EKS	: Enjektör Kapanma Süresi
EKÜ	: Elektronik Kontrol Ünitesi
EMS	: Enjektör Manyetiklenme Süresi
EURO II	: Avrupa Emisyon Normu
EURO III	: Avrupa Emisyon Normu
EURO IV	: Avrupa Emisyon Normu
KBA	: Kapanmanın Başladığı An
KKDS	: Kapanma Konum Değişme Süresi
KTA	: Kapanmanın Tamamlandığı An
LPG	: Liquefied Petroleum Gas (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı)
MDKO	: Modülasyonlu Darbe Kullanım Oranı
MDS	: Manyetiklenme Devam Süresi
MDP	: Modülasyonlu Darbe Periyodu
NAS	: Net Akış Süresi
RAM	: Random Access Memory (Rastgele Erişim Belleği)
ROM	: Read Only Memory (Salt Okunur Bellek)
SGI	: Sequential Gas Injection (Sıralı Gaz Enjeksiyonu)
TAS	: Toplam Akış Süresi
TBA	: Tetiklemenin Başladığı An
TSA	: Tetiklemenin Sonlandığı An

ŞEKİLLER

	<u>SAYFA NO</u>
Şekil II.1 Birleşik ateşleme ve yakıt püskürtme sistemi (Motronik).....	8
Şekil II.2 Emme manifolduna tek noktadan püskürtme	10
Şekil II.3 Emme supabının önüne püskürtme.....	11
Şekil II.4 Silindir içine emme strokunda püskürtme	12
Şekil II.5 Sıralı LPG enjeksiyon sistemi (Üçüncü nesil).....	15
Şekil II.6 Birinci nesil CNG sistemi	16
Şekil II.7 İkinci nesil CNG sistemi.....	17
Şekil II.8 Üçüncü nesil CNG sistemi	18
Şekil II.9 Dördüncü nesil CNG sistemi	19
Şekil II.10 Selenoid enjektör	20
Şekil II.11 Enjektör çeşitleri.....	21
Şekil II.12 Üstten beslemeli elektromanyetik enjektör	22
Şekil II.13 Yandan beslemeli elektromanyetik enjektör	22
Şekil II.14 Weber enjektör.....	23
Şekil II.15 Lucas D serisi enjektör	23
Şekil II.16 Hava takviyeli enjektör.....	24
Şekil II.17 Eksenden beslemeli Hana LPG enjektörü	26
Şekil II.18 Yandan beslemeli Telefleks LPG enjektörü.....	26
Şekil II.19 Eksenden beslemeli Telefleks LPG ve CNG enjektörü.....	27
Şekil II.20 Tekli LPG enjektörü	28
Şekil II.21 Grup LPG enjektörleri	29
Şekil III.1 Deney enjektörü	39
Şekil III.2 Deney enjektörünün 3 boyutlu görünümü.....	40
Şekil III.3 Enjektörün açık ve kapalı durumlarının sabit hızda kısmi ve tam yükte çalışma şartları için sabit hızda karşılaştırılması.....	41
Şekil III.4 DGM’li darbe	43
Şekil III.5 Deney aparatının genel görünümü	44
Şekil III.6 XFTC 320 Yük hücresi	45
Şekil III.7 XAM-BV Amplifikatörün teknik resmi.....	46

Şekil III.8 Elektronik kontrol ünitesi.....	47
Şekil III.9 Gaz enjeksiyon sisteminin donanımsal ve yazılımsal fonksiyonları.....	48
Şekil III.10 Arayüz programı	51
Şekil III.11 LA-55-P Akım ölçeri	52
Şekil III.12 İşlemsel yükseltgeç	52
Şekil III.13 Sinyal jeneratörü	53
Şekil III.14 Manyetik çekim kuvveti ve akım ölçümü deney şeması	54
Şekil III.15 Manyetik çekim kuvveti deney düzeneği.....	55
Şekil III.16 Akım değişimi deney düzeneği	57
Şekil IV.1 Enjektörün örnek gerilim ve yük hücresinin örnek sinyal değişimi.....	59
Şekil IV.2 20 ms darbe genişliğinde enjektör gerilimi ve yük hücresi sinyal değişimi	61
Şekil IV.3 Darbe genişliği değişiminin enjektör çalışma karakteristiğine etkisi	61
Şekil IV.4 3 ms modülasyonsuz darbe genişliğinde enjektör gerilimi ve yük hücresi sinyal değişimi	63
Şekil IV.5 Modülasyonsuz darbe genişliğinin enjektör çalışma karakteristiğine etkisi	64
Şekil IV.6 Enjektörün açılmadığı modülasyonsuz darbe genişliği	65
Şekil IV.7 %80 modülasyonlu darbe kullanım oranındaki enjektör gerilimi ve yük hücresi sinyal değişimi	66
Şekil IV.8 Modülasyonlu darbe kullanım oranını değişiminin enjektör çalışma karakteristiğine etkisi	67
Şekil IV.9 Enjektörün açılmadığı modülasyonlu darbe kullanım oranları	69
Şekil IV.10 30 kHz modülasyonlu darbe frekans değerinde enjektör gerilimi ve yük hücresi sinyal değişimi	70
Şekil IV.11 Modülasyonlu darbe frekans değişiminin enjektör çalışma karakteristiğine etkisi	71
Şekil IV.12 Enjektörün açılmadığı modülasyonlu darbe frekansları	72
Şekil IV.13 14 volt besleme geriliminde enjektör gerilimi ve yük hücresi sinyal değişimi.....	73
Şekil IV.14 Besleme gerilimi değişiminin enjektör çalışma karakteristiğine etkisi....	74
Şekil IV.15 0.8 mm nüve açılma mesafesinde enjektör gerilimi ve yük hücresi sinyal değişimi	75
Şekil IV.16 Nüve açılma mesafesinin enjektör çalışma karakteristiğine etkisi.....	76

Şekil IV.17 Enjektörün açılmadığı nüve açılma mesafeleri	77
Şekil IV.18 Akım değişim sinyali.....	78
Şekil IV.19 200 kPa Akım değişim sinyali.....	79
Şekil IV.20 Açma ve doyma zamanlarına göre basınç değişim sinyali.....	80

TABLÖLAR

	<u>SAYFA NO</u>
Tablo II.1 Eksenden beslemeli Hana enjektörünün teknik özellikleri	26
Tablo II.2 Yandan beslemeli Telefleks LPG enjektörünün teknik özellikleri	27
Tablo II.3 Eksenden beslemeli Telefleks LPG ve CNG enjektörünün teknik özellikleri.....	27
Tablo III.1 Deney enjektörünün teknik özellikleri	39
Tablo III.2 XFTC 320 Yük hücresinin teknik özellikleri	45
Tablo III.3 XAM-BV Amplifikatörün teknik özellikleri.....	45
Tablo III.4 Dijital osilaskobun teknik özellikleri (LeCroy marka LT374 model)	49
Tablo III.5 Güç kaynağının teknik özellikleri (Sunyo HY 3020 E)	50
Tablo III.6 Manyetik çekim kuvveti değişimine göre yapılan deneylerin parametre değerleri.....	56

BÖLÜM I

GİRİŞ VE AMAÇ

I.1. GİRİŞ

Ekonomik ve teknolojik gelişmişliğin en önemli göstergelerinden biri olan enerji tüketimi tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de artarak devam etmektedir. Ülkemizde ticari enerji ihtiyacının büyük kısmı petrolden karşılanmaktadır. Petrolün önemli bir kısmı ise motorlu taşıtlarda yakıt olarak kullanılmaktadır. Dünya petrol rezervleri aşırı kullanım sonucu hızla tükenmektedir. Buna paralel olarak hava kirliliğinin en önemli sebeplerinden biri olan motorlu taşıt egzoz emisyonlarının artması, araştırmacıları alternatif yakıt arayışına itmiştir. Motorlu taşıtlarda kullanılabilen alternatif yakıtlar; alkoller (metanol, etanol), doğal gaz (CNG), sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), hidrojen ve bitkisel yağlardır. Önceleri sabit tesis motorlarında kullanılan sıvılaştırılmış petrol gazı ve doğal gaz, günümüzde motorlu taşıtlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Gaz yakıtlar da, karışımın oluşturulmasının, silindirlere dağılımının, ateşlemenin, kontrollü yanmanın kolay sağlanması ve emisyon değerlerinin düşük olması sebebi ile motorlu taşıtlar için ideal yakıt olarak bilinmektedirler. Diğer alternatif yakıtlar ise maliyetlerinin yüksek olması, depolama güçlükleri ve temininin zor olması nedeniyle tercih edilmemektedir[1].

Otomotiv endüstrisinde günümüzdeki eğilim, daha konforlu ve ekonomik taşıtlar tasarlama yönündedir. Otomobillerde en önemli sorun yakıt tüketimini düşürmek ve sonuçta verimi arttırmaktır. Yakıt tüketiminin azaltılması aynı zamanda çevreye atılan kirleticilerin azaltılması demektir. Daha yüksek verim sağlamanın önemli bir koşulu motora giren hava miktarına göre en uygun yakıt miktarının ayarlanmasıdır. Aracın motor gücünün artırılması yakıt tüketiminin azaltılması ve egzoz emisyonlarının kontrolü hava-yakıt oranının tam olarak sağlanmasına bağlıdır.

Yakıt sistemlerinden istenen, tam yanmanın olabilmesi için gerekli olan hava yakıt karışımını doğru olarak kontrol edilebilmesidir. Motor gücü, yakıt tüketimi, düşük emisyon değerleri gibi parametreleri dikkate alan, performans artışı sağlayan sistem, yakıt püskürtme sistemidir. Sistemin fonksiyonu; motorun çalışmasını etkileyen değişkenlerin gözlemlenmesi, bu bilgilerin ölçülebilmesi, ölçülen bilgilere bağlı olarak ideal yakıtın püskürtülmesi ve hava akımının içine giren yakıtın atomize olmasının sağlanmasıdır. Sistemin çalışması elektronik kontrol ağırlıklıdır.

Elektronik gaz yakıt püskürtme sistemlerinde kullanılan en önemli elemanlardan birisi gaz enjektörleridir. Elektronik yakıt püskürtme sistemlerinde kullanılan gaz enjektörleri elektromekanik aygıt olup mıknatıs devresi olarak selenoid kullanılmaktadır. Sistemde bulunan algılayıcılardan gelen sinyaller ve giren hava miktarı aracın kendi orijinal elektronik kontrol ünitesinde değerlendirilir. LPG yakıt sisteminin elektronik kontrol ünitesi (EKÜ) bu sinyalleri aracın kendi EKÜ'sünden alıp, gaz enjektörlerine göndererek gerekli miktardaki yakıtın püskürtülmesini sağlar. Sistemde kullanılan gaz enjektörleri, elektriksel çalışmasında kullanılan selenoidin karakteristik yapısından dolayı açma-kapama biçiminde çalışırlar. Bu nedenle genellikle kesintili olarak püskürtme yaparlar. Püskürtme süresi ve basıncı, püskürtülecek yakıt miktarını belirlemektedir. Enjektörün açılma ve kapanma zamanı ayarlanarak emilen hava miktarına göre istenilen hava-yakıt karışımı sağlanmaktadır[2].

Bu çalışmada, gaz yakıt dönüşüm sistemleri, bu sistemlerde kullanılan gaz enjektörleri incelenmiş ve tasarlanan bir enjektörün çalışma karakteristiği belirlenmiştir.

I.2. AMAÇ

Sıralı gaz enjeksiyon sistemlerinde kontrol ünitesi tarafından hava yakıt karışımının ideal şekilde sağlanabilmesi için, sistem üzerinde bulunan mekanik ve elektromekanik elemanların çalışma karakteristiklerinin motor çalışma koşullarına göre değişiminin bilinmesi gerekmektedir.

Sıralı gaz enjeksiyon sistemlerinin en önemli elemanlardan birisi, elektromekanik bir eleman olan enjektörlerdir. Bu çalışmada hava yakıt karışımının ideal bir şekilde sağlanması amacıyla enjektör çalışma karakteristiğinde önemli olan parametrelerin ve bu parametrelerin etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla LPG sıralı gaz enjeksiyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılan ve darbe genişlik modülasyonu ile kontrol edilen örnek bir enjektörün, çalışma karakteristiğinin belirli parametrelere göre (darbe genişliği, modülasyonsuz darbe genişliği, modülasyonlu darbe kullanım oranı, modülasyonlu darbe frekansı, besleme gerilimi, nüve açılma mesafesi, sıcaklık ve fark basınç) incelenmesi amaçlanmıştır. Enjektörün çalışma karakteristiği belirlenerek, gaz yakıt sistemlerinden beklenenlerin sağlanabilmesi için konuyla ilgili önerilerde bulunulmuştur.

BÖLÜM II

LİTERATÜR TARAMASI

II.1. GENEL BİLGİLER

Yakıt enjeksiyon sisteminde enjektörler, ideal hava yakıt karışımının hazırlanmasında önemli bir paya sahiptir. Enjeksiyon sisteminin, elektronik kontrol ünitesinin komutlarına bağlı olarak hava yakıt karışımının hassas olarak ayarlanmasında, enjektör karakteristiğinin bilinmesi önemlidir. Çalışmanın bu bölümünde elektro-mekanik enjektörlerin kullanıldığı yakıt enjeksiyon sistemleri incelenmiştir. Dizel motorların yeni nesil yakıt enjeksiyon sistemlerinde (Common Rail) kullanılan elektro-mekanik ve hidrolik kumandalı yüksek basınç enjektörleri kapsam dışında tutulmuştur [3].

II.1.1. Hava-Yakıt Karışımı Oluşturma Koşulları

Motorun çalışma koşullarına bağlı olarak motorda oluşturulması gereken hava yakıt oranı önemli farklılıklar göstermektedir. Motorun çalışma koşullarına bağlı olarak uygun karışımın oluşturulabilmesi için farklı sistemler geliştirilmiştir. Bu bölümde motorun farklı çalışma koşullarında uygulanan karışım oluşturma metotları incelenmiştir.

II.1.1.1. Soğukta İlk Çalışma Zenginleştirilmesi

Soğukta motorun ilk devreye sokulması sırasında, ilave yakıt sağlanarak karışımın zenginleştirilmesi gerekmektedir. Yakıt kontrol sistemlerinde soğukta ilk çalışmada yakıt kaybını en aza indirmek için iki yöntem mevcuttur. İlave yakıt ayrı bir soğukta başlama enjektörü ile veya yakıt enjektörlerinin normale göre ya daha uzun süre açık bırakılması ile yada sürekli açılıp kapanması ile sağlanmaktadır [2].

II.1.1.1.1. Soğukta Başlatma Enjektörü Kullanımı

Enjektörler ilk çıkışından günümüze kadar çeşitli değişimler göstermiştir. İlk uygulamalarda çok noktalı sistemlerde soğukta ilk çalışma için ayrı bir enjektör kullanılmıştır. Bu sistemde enjektör bir selenoid valf olup ilave miktardaki yakıt giriş manifoldunun merkezi kısmına kısa bir süre için sprey şeklinde püskürtmektedir. Böylece soğukta başlatmaya yardımcı olmaktadır. Çalışması yakıt enjektörlerine benzemektedir. Selenoid bobine elektrik akımı verilmediğinde yay kuvveti selenoid çekirdeğini valfin yakıt giriş ağzını kapatarak yakıt girişini engellemektedir. Selenoid devreye girdiğinde ise mıknatıs kuvveti, selenoidi yay karşı çekerek yakıt girişinin açılmasını sağlamakta ve sonuçta da yakıt püskürtülmektedir. Aşırı yakıt zenginleşmesi ve yakıt kaybını önlemek için soğukta ilk başlatma yönteminin açık kalma periyodu, ısıya duyarlı zaman anahtarı ile kontrol edilir. Bu eleman motor gövdesine monte edilmiştir. Anahtarda bir metal yaprak yay mevcut olup zaman içinde kısa bir çalışma aralığından sonra elektrik kontaklarını açmaktadır. Bunun sonucu olarak ta soğukta başlatma enjektörüne giden elektrik akımı kesilmektedir. Bunların açık kalma süreleri -20°C 'de 8 saniye civarındadır [2].

II.1.1.1.2. Yakıt Enjektörlerinin Soğuk Çalışma Kontrolü

Günümüzde kullanılan araçlarda, yakıt enjektörleri yoluyla soğukta başlamanın kontrolü için soğukta başlama enjektörü ortadan kaldırılmıştır. Soğukta başlatma enjektörü yerine yakıt enjektörleri soğukta başlama için gerekli tertibatla donatılmıştır. Bunun için ise daha karmaşık kontrol ünitesi gerekmektedir.

Bu sistemde kontrol ünitesi, motorun soğuk olduğunu algılandığında yakıt her 180° de (bir başka ifade ile dört silindirli bir motorda her krank mili dönüşünde) püskürtülmektedir.

Başlangıçta püskürtülen ekstra yakıt miktarı ya belirlenen bir sıcaklığa erişildiğinde ya da önceden tespit edilen krank mili dönüş sayısına ulaşıldığında azaltılmaktadır [2].

II.1.1.2. Soğukta Çalışma Rölanti Devir Kontrolü

Bu kontrol soğukta çalışma devir ayar vidası ile yapılmaktadır. Bu ayar vidası motora giden karışım miktarını değiştirmek suretiyle motorun soğuk havada istenilen rölanti devrinde çalışmasını temin eder. Böylece de motor normal rölanti

devrine göre daha yüksek rölanti devri sağlamaktadır. Bu aygıt aynı zamanda rölanti devrini belli bir aralıkta sabit tutmak için ilave hava akışını da düzenlemektedir. Bu işlem ya elektrik ısıtılmalı bimetal yay şerit selenoid veya motor tipi actuator ile sağlanmaktadır.

Rölanti anında motora fazladan yük bindiğinde (örneğin klima açıldığında) motor devri kısa bir an belirlenen rölanti seviyesinin altına düşmektedir ve bunun sonucu rölanti kontrol aygıtı emiş havası miktarını arttırmaktadır. Böylece rölanti devri de artmaktadır. Benzer şekilde eğer rölanti devri belirlenmiş rölanti seviyesinin üst sınırını aşarsa bu cihaz motor devrini düşürme yönünde işlem yapmaktadır.

Rölanti devir kontrolünün ana amacı çok düşük motor devirlerinin neden olduğu motor teklemesi ve motor titreşimlerini önlemektir. Yüksek devirlerde rölanti devri rölanti ayar vidası ile ayarlanmaktadır [2].

II.1.1.3. İvmelenme ve Tam Yük Zenginleştirilmesi

Aracın hızlanması ve tam yükte çalışması durumunda zengin karışım durumu istenmektedir. Kontrol sistemi bu durumu uygun algılayıcılarla tespit etmektedir. Kontrol ünitesi yakıt enjektörlerinin açık kalma sürelerini uzatmakta ve zengin karışım sağlamaktadır. İvmelenme veya tam yük talepleri ortadan kalkınca ise enjektörlerin açık kalma süresi düşürülmektedir [2].

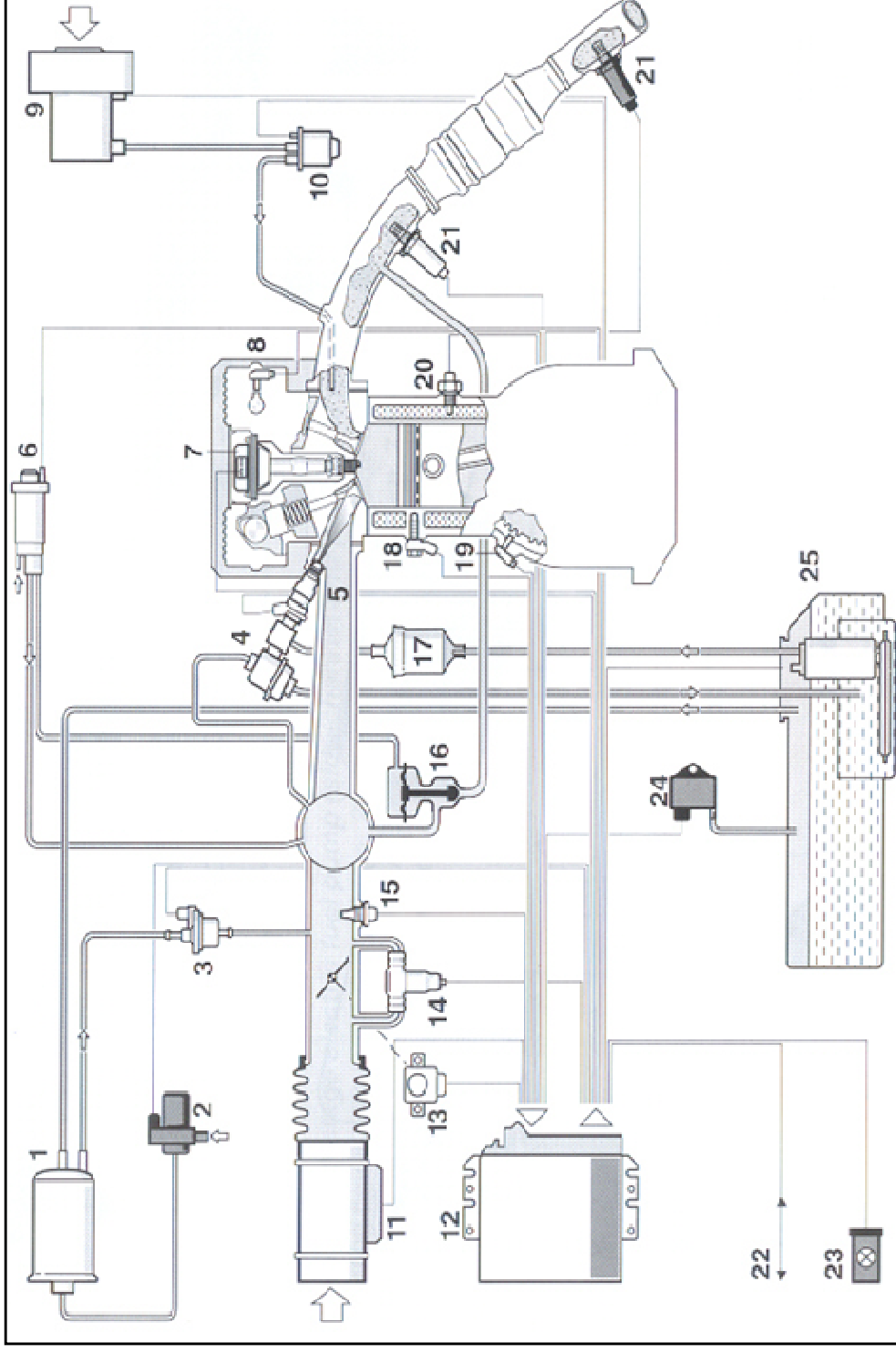
II.1.2. Yakıt Enjeksiyon Sistemleri

Düşük emisyon talepleri, motorun bütün devir ve yüklerinde mükemmel hava yakıt karışımını zorunlu hale getirmiştir. Motorlarda enjeksiyonun başlama anı (zamanlama) günümüzde hala önemli bir faktördür. Sistem, alınan havanın kütlesine uygun miktarda yakıt enjekte etmelidir. Bu nedenle çok noktalı enjeksiyon sistemlerinde her bir silindir için selenoid ile çalışan enjektör kullanılmaktadır. Benzin EKÜ'sünde belirlenen enjeksiyon anında, enjektör silindirin emme supabının ön kısmındaki alana gerekli miktarda yakıt enjekte eder. Böylece emme manifoldunda gerekli lambda değerlerinden farklı karışım oranlarının oluşması büyük ölçüde önlenmiş olur. Motorun emme manifoldu sadece yanma için hava ilettiğinden, emme manifoldunun şekli motorun dinamik gaz akışı gereksinimlerine göre geliştirilebilir.

II.1.2.1. Benzin Enjeksiyon Sistemleri

Bütün gelişmiş uygulamalara rağmen karbüratör bir takım dezavantajlara sahip olması, enjeksiyon sistemlerinin kullanımını zorunlu kılmıştır. Direkt yakıt enjeksiyonu, yakıtın yanma odasına "direkt püskürtülmesidir". Enjektör yanma odasındadır. Boğazdan enjeksiyon sistemlerinde, enjektörler hava alma boşluğundadır. Çok noktalı sistemlerde ise her silindirin kendi enjektörü vardır ve bunlar emme portunda bulunur. Yakıt enjektörü yakıtı püskürten elektromekanik bir araçtır. Enjektör yakıtın ölçüldüğü bir alettir. Enjektör bobinine elektrik akımı verildiğinde armatürü yukarı doğru kaldıran manyetik bir alan oluşturulur. Bu hareket valfi yuvasından çıkarır ve basınç altındaki yakıt enjektör memesinden akar. Valfin şekli yakıtın "huni" şeklinde püskürtülmesini sağlar. Enjektöre enerji gelmesi durunca yay valfi geri itip yakıt gelişini durdurur [3].

Şekil II.1’de günümüzde yaygın olarak kullanılan motronik ateşleme sistemi görülmektedir[2,3]. Motronik; tam elektronik ateşleme sisteminin sayısal olarak çalışan bir mikroişlemci içeren elektronik kumanda ünitesinin ve L-Jetronik yakıt püskürtme sisteminin birleştirilmesi ile oluşturulan birleşik bir elektronik ateşleme ve yakıt püskürtme sistemidir. Sistemlerin birlikte kumandası, maksimum verimlilik, düşük maliyet ve güvenilirliği artırır. Bu nedenle sistem, daha iyi bir yakıt ekonomisi, belirli bir güç artışı, temiz egzoz gazı, sürüş rahatlığı ve konfor sağlar. Motronik sistem genelde elektronik ateşleme sistemi ile yakıt püskürtme ve elektronik kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Püskürtme sistemi ise, yakıt besleme ve emme sistemleri ile değişik düzenleme ve kumanda devrelerini içermektedir. Sistemde, motorla ilgili tüm bilgiler önceden bilgisayara aktarılarak gerekli programlama yapılır. Mikroişlemci sensörlerden aldığı bilgileri (sinyalleri) belleğinde kayıtlı bilgilerle karşılaştırır, gerekli değerlendirme ve hesaplamaları yaparak üretilen sinyalleri kontrol kısmına gönderir. Bu ünite aldığı sinyallere göre, normal çalışma koşullarından sapma varsa, ilgili yerleri kumanda ederek gerekli düzeltmeleri yapar. Mikrobilgisayar giriş sinyallerini işleyerek ateşleme tanıma alanından, koşullara en uygun ateşleme zamanını hesaplar. Sonra bu değer, çıkış sinyali olarak kumanda cihazının son kademesine gönderilerek endüksiyon bobininin primer devresinin tetiklenmesinde kullanılır.



1. Karbon kanister,
2. Çekvalf,
3. Kanister havalandırma supabı,
4. Yakıt basınç regülatörü,
5. Enjektör,
6. Basınç aktuatörü,
7. Ateşleme bobini,
8. Faz sensörü,
9. İkinci hava pompası,
10. İkinci hava supabı,
11. Hava basınç algılayıcısı,
12. Ecu,
13. Gaz kelebeği sensörü,
14. Rölanti aktuatör,
15. Hava sıcaklık sensörü,
16. EGR valfi,
17. Yakıt filtresi,
18. Vuruntu sensörü,
19. Motor hız sensörü,
20. Motor sıcaklık sensörü,
21. Lambda oksijen sensörü,
22. Arıza teşhis ucu,
23. Arıza teşhis lambası,
24. Fark basınç sensörü,
25. Yakıt pompası

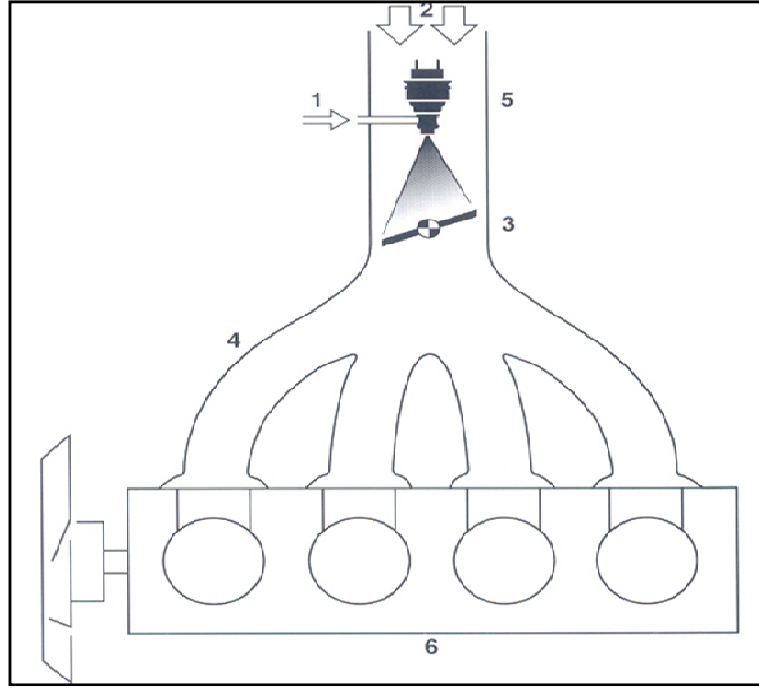
Şekil II.1.1. Birleşik ateşleme ve yakıt püskürtme sistemi (Motronik)

Enjeksiyon sistemlerinin en önemli parametrelerinden biri püskürtme sistemleridir. Benzin püskürtmede asıl amaç karışım oranını istenilen değerde tutmaktır. Benzin püskürtmenin asıl amacına ulaşabilmesi için püskürtmenin iyi bir yere yapılması, hava fazlalık katsayısının iyi bir şekilde ölçülmesi ve kontrol edilmesi gerekir. Bu amacı sağlamak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Püskürtme sistemlerini püskürtmenin yapıldığı yerlere veya motor giriş-çıkış büyüklüklerin kontrol edilmesine göre sınıflandırmak mümkündür. Püskürtme sistemleri, püskürtmenin yapıldığı yere ve zamana göre dört grupta toplanır. Bunlar;

1. Emme manifolduna tek noktadan püskürtme
2. Emme supabının önüne püskürtme
3. Silindir içine emme strokunda püskürtme
4. Silindir içine sıkıştırma zamanı sonunda püskürtme

II.1.2.1.1. Emme Manifolduna Tek Noktadan Püskürtme

Son yıllarda sürekli püskürtme sistemi tek bir merkezden yapılmaya başlanmıştır. Bu ise her silindire yapılan püskürtmeden daha basit olup, ayrıca karbüratörlü sistemden daha iyi kontrol edilebilir karışım oluşturma olanağı vermektedir. Bu durumda püskürtme basıncı 0,1 MPa'a kadar düşürülebilir. Enjektörün oluşturduğu püskürtme demeti konisi gaz keleşi ile emme borusu iç çeperi arasındaki boşluğa raslatılarak kısmi yüklerde ki, düşük basınç ile, daha iyi parçalanma ve buharlaşma elde edilmektedir [3]. Şekil II.2.'de emme manifolduna tek noktadan püskürtme gösterilmiştir [4].



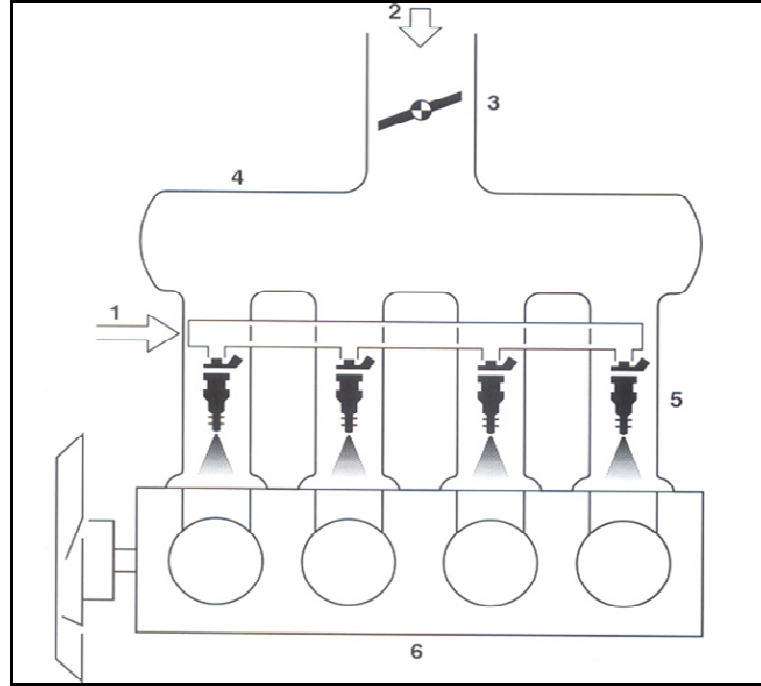
1 .Yakıt, 2. Hava, 3. Gaz kelebeği, 4. Emme manifoldu, 5. Enjektör, 6. Motor

Şekil II.2. Emme manifolduna tek noktadan püskürtme

II.1.2.1.2. Emme Supabının Önüne Püskürtme

Bu püskürtme sisteminde püskürtme işlemi emme supabına oldukça yakın bir yere sürekli veya zamanlanmış olarak yapılır. Şekil II.3’de görülmektedir [4]. Sürekli püskürtmede, emme sırasında da püskürtme devam eder. Yakıt püskürmesi supabın kapalı olduğu sürede de devam ettiğinden yakıt supab önünde birikir. Emme supabı açıldığında biriken yakıt hava ile birlikte silindire emilir. Zamanlanmış püskürtmede ise püskürtme sadece emme supabı açıkken yapılmaktadır. Eğer emme ve egzoz supablarının birlikte açık olduğu süre (supap bindirmesi) fazla değil ise, bu iki şekil arasında performans açısından ortaya büyük bir fark çıkmamaktadır. Ancak supap bindirmesi fazla ise dolgu kaçağını önlemek için püskürtme zamanlanmış olarak ve en erken egzoz supabı kapandıktan sonra yapılmalıdır. Emme supabının önünde yapılan püskürtmede karışma ve buharlaşma için yeterli zaman olduğundan ve ayrıca supapların oluşturduğu türbülans hareketi ile iyi bir parçalanma sağlandığından, püskürtme demetinin kalitesi önemli değildir. Bu nedenle püskürtme basıncı 0,2–0,3 MPa civarında tutulabilir. Dolayısıyla pompa ve enjektörler daha kaba toleranslı olarak ucuza imal edilebilirler. Ayrıca, püskürtme zamanını belirlemek ve kontrol etmek gerekmediği için, sürekli püskürtme daha basit ve ucuz bir sistemle gerçekleştirilebilir.

Benzinin her silindirin emme kanalına devamlı püskürtülmesi halinde, gönderilen benzinin hemen hemen $3/4$ kadarı emme supabı kapalı iken püskürtüldüğünden, bütün emme kanalı içinde buharlaşma olmaktadır. Bu durumda volümetrik verim azalır. Emme supabın önüne, emme zamanında yapılan püskürtmede ise benzin silindire yakın yerde buharlaşacağı için volümetrik verim de artar[3].

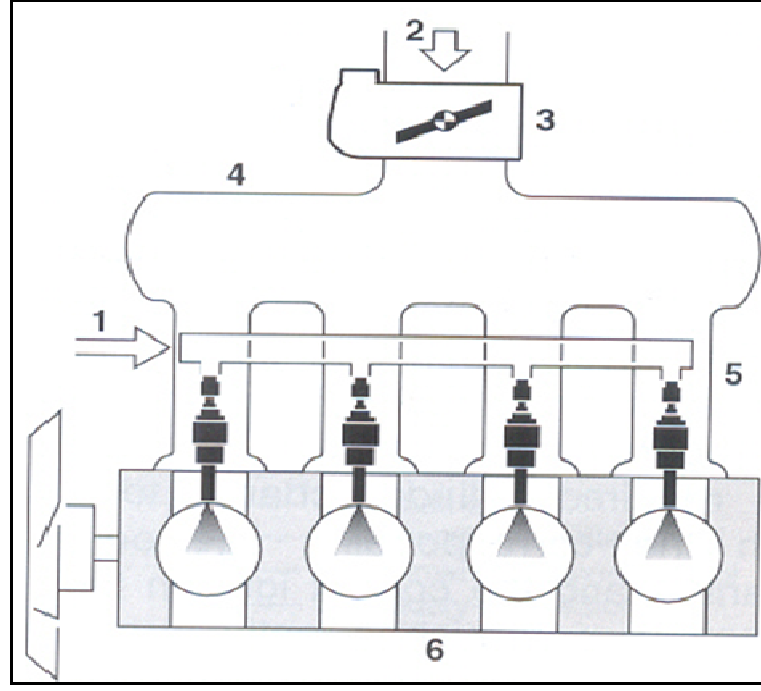


1 . Yakıt, 2. Hava, 3. Gaz keleş, 4. Emme manifoldu, 5. Enjektörler, 6. Motor

Şekil II.3. Emme supabının önüne püskürtme

II.1.2.1.3. Silindir İçine Emme Strokunda Püskürtme

Burada püskürtme emme stroku sırasında doğrudan silindir içine yapılmaktadır. Şekil II.4.'de görülmektedir [4]. Bu şekilde karışım olayı için uzun bir zaman kalmaktadır. Ayrıca emmenin sağladığı türbülans da karışımın iyi olmasına yardımcı olur. Benzin silindir içinde buharlaşacağından yakıt hava karışımının sıcaklığı düşer ve olay emme zamanında meydana geldiğinden içeriye daha fazla hava girmesi sağlanmış olur. Dolayısı ile volümetrik verim artar. Bu yöntemle ayrıca kademeli dolgu elde etmekte mümkündür. Burada püskürtmenin başlangıç zamanı ve demet açısı karışımın oluşturulması açısından önemlidir. Ancak bu sistemde püskürtme memesi yüksek basınç ve sıcaklığın etkisinde kalmaktadır. Püskürtme basınçları $0,3 - 0,5$ MPa civarında olmalıdır[3].



1 .Yakıt, 2. Hava, 3. Gaz kelebeği, 4. Emme manifoldu, 5. Enjektörler, 6. Motor

Şekil II.4. Silindir içine emme strokunda püskürtme

II.1.2.1.4. Silindir İçine Sıkıştırma Zamanı Sonunda Püskürtme

Bu sistemde dizel motorda olduğu gibi, püskürtme sıkıştırmanın sonuna doğru silindir içine yapılır. Homojen bir karışım oluşması ve buharlaşmanın tamamlanması için yeterli zaman olmadığından, yanma heterojen demet yanması şeklinde gelişmektedir. Ancak yanma yakıt demeti ile birlikte geliştiğinden ve silindir içinde başka yerde yanabilecek karışım bulunmadığından vuruntu odakları oluşmamaktadır. Bu sistemde sıkıştırma oranı 12–14 kadar olabilmektedir. Ayrıca çeşitli yakıtların kullanılma olanağı bulunmaktadır. Bu motorda benzinin yanında dizel yakıtı, gaz yağı vb. yakıtlarda kullanılabilir. Sistemin sakıncası ise püskürtmenin 2–5 MPa gibi yüksek basınçlarda yapılması gereğidir. Bu ise, benzin gibi düşük viskoziteli yakıtlar için püskürtme sisteminin oldukça pahalı olmasına neden olmaktadır[3].

II.1.2.2. LPG Enjeksiyon Sistemleri

LPG yakıtının kullanımı günümüzde çoğunlukla benzinli motorlu taşıtların LPG'ye dönüştürülmesi ile gerçekleştirilmektedir. Taşıtlara LPG sistemlerinin montajı sadece bazı özel parçaların sisteme ilave edilmesiyle gerçekleştirilmektedir. Aracın mevcut yakıt ve ateşleme sistemi aynen muhafaza edilir. Şoför mahalline yerleştirilen bir yakıt seçici anahtar vasıtasıyla motorun istenildiği zaman benzin yakıtı, istenildiği zaman LPG ile çalıştırılması mümkün olmaktadır [5].

Otto çevrimine göre çalışan benzinli motorların aynı zamanda LPG ile çalışmasını sağlayacak dönüşüm sistemleri birinci, ikinci ve üçüncü nesil dönüşüm sistemleri olmak üzere üç grupta sınıflandırılmıştır.

II.1.2.2.1. Mekanik Olarak Kontrol Edilen Karbüratörlü Sistemler (Birinci Nesil)

Birinci nesil olarak adlandırılan LPG dönüşüm sistemlerinin en basiti olan bu sistemde açık devreli LPG donanımı kullanılmaktadır. Yakıt deposundan sıvı fazda alınan yakıt, bir regülatör ve buharlaştırıcı yardımıyla emme manifoldunda yer alan bir gaz karıştırıcıya (gaz karbüratörü) gönderilerek hava ile karıştırıldıktan sonra silindirlere yollanmaktadır. Bu basit sistem karbüratörlü benzin motorlarının dönüşümünde uygulanmaktadır. Birinci nesil dönüşüm sistemlerinin en büyük dezavantajı motor yükü arttıkça giderek zenginleşen karışım oranı sağlamasıdır.

II.1.2.2.2. Elektronik Olarak Kontrol Edilen Karbüratörlü Sistemler (İkinci Nesil)

İkinci nesil olarak adlandırılan kapalı devreli dönüşüm sistemlerinde ise egzoz gazları içerisindeki oksijen miktarı ölçülerek, elektronik kumanda ünitesi yardımı ile yakıt miktarı regülatörde uygun şekilde düzeltilmektedir. Böylece hava fazlalık katsayısı tam stokiyometrik değerde tutulabilmekte ve egzoz sistemine eklenen katalitik dönüştürücü yardımıyla EURO 93, hatta EURO 96 emisyon sınırları sağlanabilmektedir. Orijinalinde yakıt püskürtme sistemi bulunan taşıtlara uygulanan bu dönüşüm sisteminde ek olarak bir lamda (λ) vericisi, çeşitli motor parametreleri (devir sayısı, gaz keleşi konumu, motor sıcaklığı vb.) için verici sinyallerini değerlendiren bir elektronik kontrol ünitesi ve gaz debisini değıştiren debi ayar valfi bulunmaktadır. Debi ayar valfi $\lambda=1$ şartını sağlayacak şekilde elektronik kontrol ünitesinden aldığı sinyaller ile çalışan elektrikli bir adım motoru ile kumanda edilmektedir.

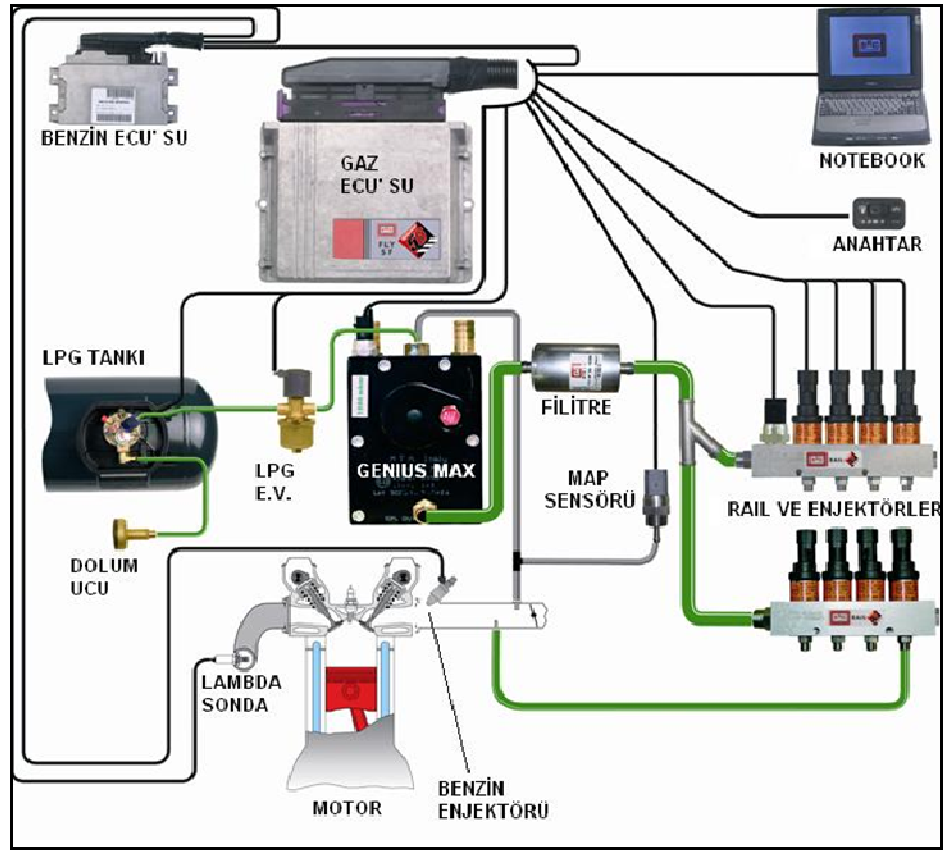
II.1.2.2.3. Sıralı LPG Enjeksiyon Sistemleri (Üçüncü Nesil)

Günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlanan bu sistemler, üçüncü nesil LPG sistemlerdir. Plastik manifoldlu araçların artmasıyla üçüncü nesil sistemler de çoğalmaktadır.

3. nesil LPG dönüşüm sistemleri, sıralı LPG enjeksiyon kontrollü sistemlerdir. Sistem kontrol sinyallerinin çoğunu doğrudan doğruya EKÜ'den almaktadır. Bu ise, üreticinin ayarlarını sisteme uygulama olanağı sağlamaktadır. Sonuç olarak daha az LPG kaybı, daha düşük emisyonlar ve daha çabuk ivmelenme periyodu elde edilmektedir. Özetle, 1. ve 2. nesil sistemler teknolojisi biraz daha eski, 3. nesil sistemler ise teknolojisi daha yeni taşıtlar için tercih edilen sistemlerdir. Bu LPG dönüşüm sisteminin şematik görünümü Şekil II.5'de görülmektedir.

1996 yılından önce üretilen enjeksiyonlu araçlarda, enjektörlerin hepsi birden açılarak yakıt püskürtmesi yapmakta idi. Bu durum araçta yakıt sarfiyatını arttırmakta idi. Günümüzde enjektörler ihtiyaç oranında EKÜ'den aldığı sinyaller doğrultusunda tek tek ve sırayla açılarak yanma odasını doldurur ve tam yanmayı sağlar. Bu sisteme sıralı gaz enjeksiyon (Sequential Gas Injection, SGI) sistemi denilmiştir.

SGI sistemi araca monte edildikten sonra aracın orijinal benzindeki verileri bilgisayar vasıtasıyla kalibre edilerek gaz enjeksiyon bilgileri elektronik kontrol ünitesine yüklenir. Bu veriler gazın çalışma prensipleri dikkate alınarak sonradan monte edilen gaz enjektörleri üzerinden direkt olarak yanma hücreğine gönderilir. SGI sistemde gaz EKÜ'sü aracın kendi EKÜ'sünden bilgi alarak kendini kalibre eder. LPG EKÜ'süne bağlanan bilgisayar ve ilgili yazılımı aracılığıyla çalışma verileri ayarlanarak kaydedilebilmektedir.



Şekil II.5. Sıralı LPG enjeksiyon sistemi (Üçüncü nesil)

Sıvı fazda LPG püskürterek çalışan sistemler, üçüncü nesil sistemler içerisinde değerlendirilmektedir. Bu sistemler çalışma prensipleri bakımından çok noktadan benzin püskürtme sistemine benzemektedirler. Halen pek yaygın olmamakla birlikte üçüncü nesil sıvı LPG püskürtmeli sistemler de kullanılmaktadır. Benzin püskürtme sistemine benzer olarak, bu sistemlerde sıvı LPG emme supabı üzerine püskürtüldüğü için yakıtın büyük bir miktarı silindire sıvı halde girmektedir. Birinci ve ikinci nesil dönüşüm sistemi uygulanmış araçlarda LPG' nin gaz fazında silindire alınması dolayısıyla volumetrik verimdeki kayıplar neticesinde güçteki %2-5 oranındaki azalma üçüncü nesil dönüşüm sistemlerinde görülmemektedir.

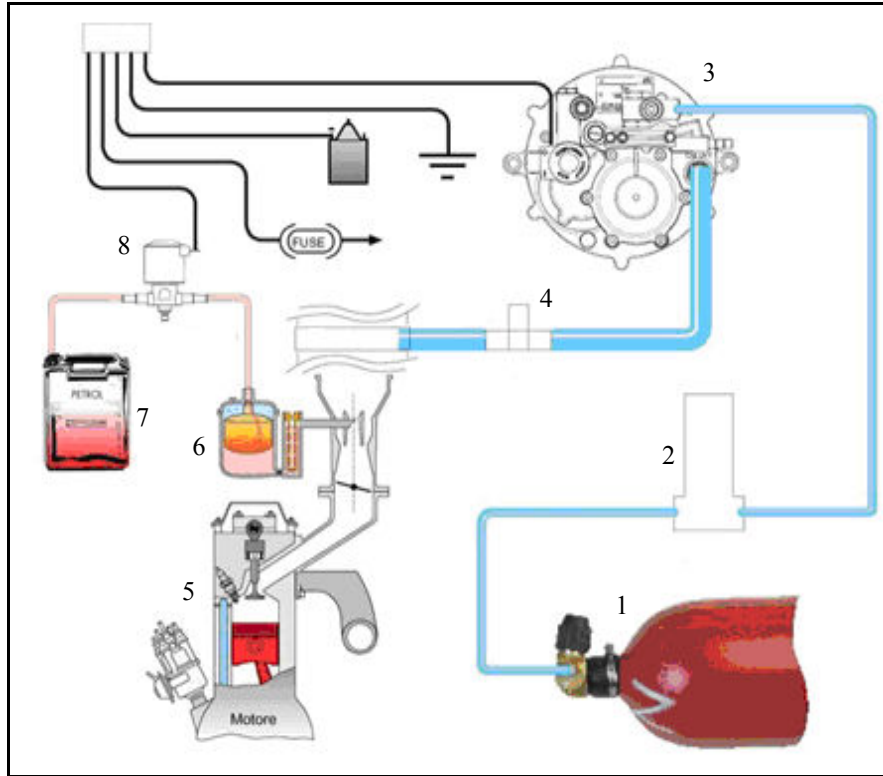
II.1.2.3. CNG Enjeksiyon Sistemleri

Mekanik (karbüratörlü) ve elektronik (yakıt enjeksiyonlu) olmak üzere iki temel yakıt sistemi bulunmaktadır. Mekanik sistemler tıpkı benzinli motorun karbüratörü gibi çalışır. Karıştırıcı genellikle stokiyometrik motorlarda kullanılır ve

motora gire hava ile dengeli miktarda yakıt sağlar. Motor girişine yakın bir yere yerleştirilir ve fazla değişken yük ihtiyacı yoktur. Elektronik sistemlerde, giriş havasına karışacak yakıt miktarını ölçmek üzere enjektörler veya akış kontrol valfleri kullanılır. Tek nokta enjeksiyon, gerçekte elektronik olarak kontrol edilen bir karıştırıcıdır. Avantajı, motorun ihtiyacına göre daha doğru miktarda yakıt göndermesidir. Enjektör, karıştırıcıda olduğu gibi motor girişine yakın bir yere yerleştirilir, ancak hızlı değişen koşullara cevabı çok iyi değildir.

Çok nokta enjeksiyonda her silindir için bir enjektör bulunur ve enjektörler silindirin emme portu yakınına yerleştirilir. Sistem, yakıtın her silindire gerektiği kadar gönderilmesine, sıralı (sequential) ve sadece bazı silindirlerin çalıştığı, diğerlerinin atlandığı atlamalı ateşleme (skip-firing) gibi ileri teknolojilerin kullanılmasına olanak sağlar. Doğalgaz yakıt sistemleri, gelişmişlik düzeyinde dördüncü nesile ulaşmıştır [5].

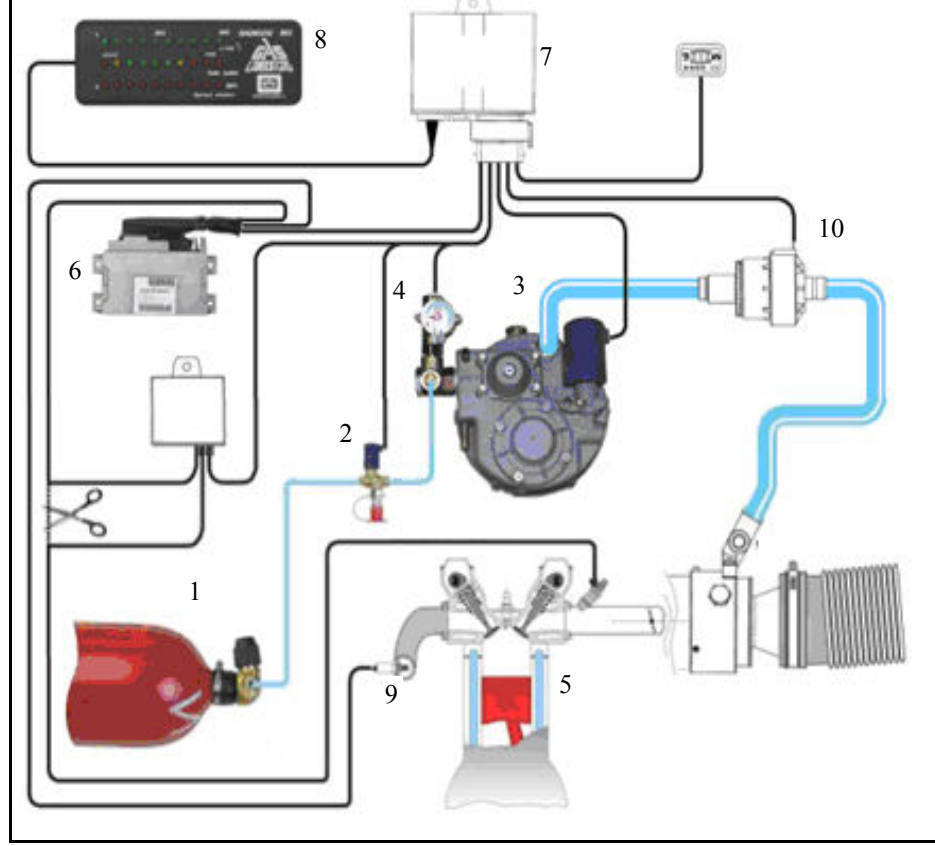
Birinci nesil sistemlerde doğalgaz bir ventüri aracılığı ile emme havasına karıştırılmak suretiyle motor silindirlerine gönderilmektedir. Katalitik konvertörü olmayan ve karbüratörlü sistemlerde kullanılan sistemlerdir [6,7,8]. Şekil II.6'da birinci nesil bir doğalgaz sistemi görülmektedir [8].



1. CNG tankı, 2. Filtre, 3. CNG Regülatör, 4. Ayar vanası,
5. Motor, 6. Karbüratör, 7. Benzin Tankı, 8. Benzin selenid valfi

Şekil II.6. Birinci nesil CNG sistemi[8]

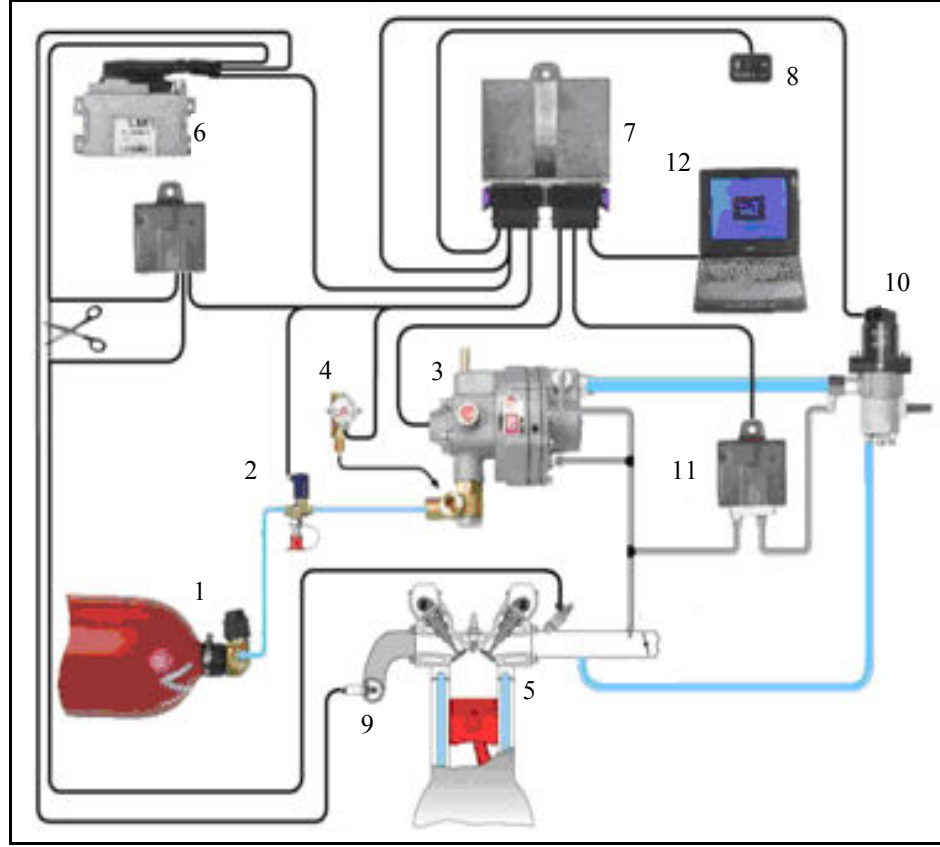
İkinci nesil sistemler kapalı devre karbüratörlü taşıtlarda, tek nokta enjeksiyonlu taşıtlarda, nozul tipi enjeksiyonlu taşıtlarda kullanılabilen sistemlerdir. Kapalı devre lambda kontrolü bulunan ve karışım ayarı otomatik olarak yapılabilen bir sistemdir. Sistem EURO 1 ve EURO 2'yi karşılayabilmektedir[6,7,8]. Şekil II.7'de ikinci nesil bir doğalgaz sistemi görülmektedir [8].



1. CNG tankı, 2. CNG elektrovalfı ve dolum ucu, 3. CNG Regülatör, 4. Manometre, 5. Motor, 6. Benzin Ekü'sü, 7. LPG Ekü'sü, 8. Seviye göstergesi, 9. Oksijen sensörü, 10. Filtre,

Şekil II.7. İkinci nesil CNG sistemi[8]

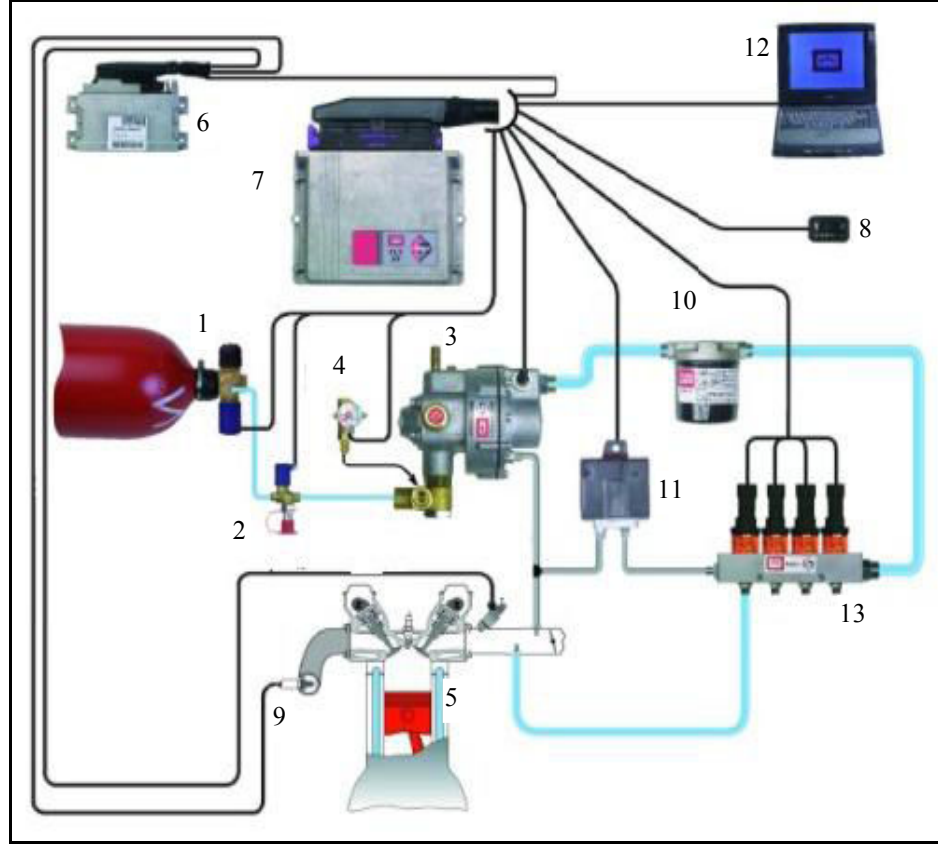
Üçüncü nesil sistemler kapalı devre çok nokta enjeksiyonlu araçlarda kullanılan sistemlerdir. Sistemde mikser bulunmamakta, doğalgaz doğrudan emme manifolduna püskürtülmektedir. Sistem EURO 2 ve EURO 3'ü karşılamaktadır [6,7,8]. Şekil II.8'de üçüncü nesil bir doğalgaz sistemi görülmektedir [8].



1. CNG tankı, 2. CNG elektrovalfi ve dolum ucu, 3. CNG Regülatör , 4. Manometre, 5. Motor, 6. Benzin Ekü'sü, 7. LPG Ekü'sü, 8. Seviye göstergesi ve yakıt seçici anahtarı, 9. Oksijen sensörü, 10. Filtre, 11. Map sensörü, 12. Notebook

Şekil II.8. Üçüncü nesil CNG sistemi[8]

Dördüncü nesil sistemler, EURO 3 ve EURO 4'ü karşılayabilmekte olup, kapalı devre fakir yanmalı motorlarda kullanılmaktadır. Çok noktadan enjeksiyonu içeren sistem, modern motorlara, çok farklı çalışma şartlarına cevap verebilecek ve uyum sağlayabilecek teknolojiye sahiptir[6,7,8]. Şekil II.9'da dördüncü nesil bir doğalgaz sistemi görülmektedir [9].



1. CNG tankı, 2. CNG elektrovalfi ve dolum ucu, 3. CNG regülatör , 4. Manometre, 5. Motor, 6. Benzin Ekü'sü, 7. LPG Ekü'sü, 8. Seviye göstergesi ve yakıt seçici anahtarı, 9. Oksijen sensörü, 10. Filtre, 11. Map sensörü, 12. Notebook, 13. CNG enjektörleri

Şekil II.9. Dördüncü nesil CNG sistemi[9]

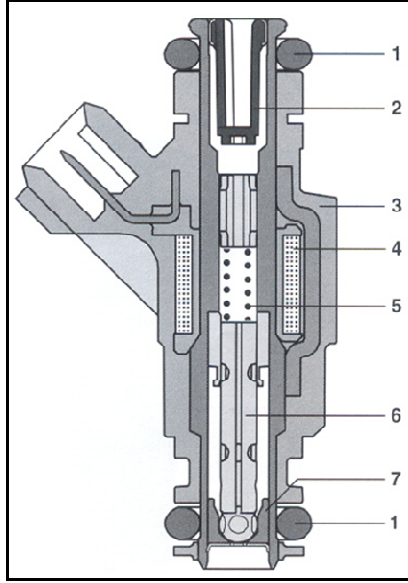
II.1.2.4. Hidrojen Enjeksiyon Sistemleri

Günümüzdeki araçlarda yaygın olarak kullanılan, hidrojen enjeksiyon sistemleri bulunmamaktadır. Ancak otomotiv endüstrisinde araştırma maksatlı olarak kullanılan prototipler bulunmaktadır. Bu araçların yakın gelecekte, seri üretimlerine geçilip kullanımlarının yaygınlaşacağı düşünülmektedir. Mevcut motorlu taşıtları hidrojen yakıtı kullanımına dönüştüren ticari ürünler olarak bulunmamaktadır. Bu da hidrojenin günümüz koşullarında temini kolay ve ucuz bir yakıt olmamasından kaynaklanmaktadır. Ancak hidrojenin temini ve içten yanmalı motorlarda kullanımına yönelik araştırmalar bilim adamları tarafından yoğun şekilde sürdürülmektedir.

II.1.3. Enjektörler

II.1.3.1. Benzin Enjektörleri

Enjektörler yakıtı her silindirin emme supabının arkasına püskürtürler. Enjektörün görevi püskürtülen yakıtı ölçmek ve atomize etmektir.

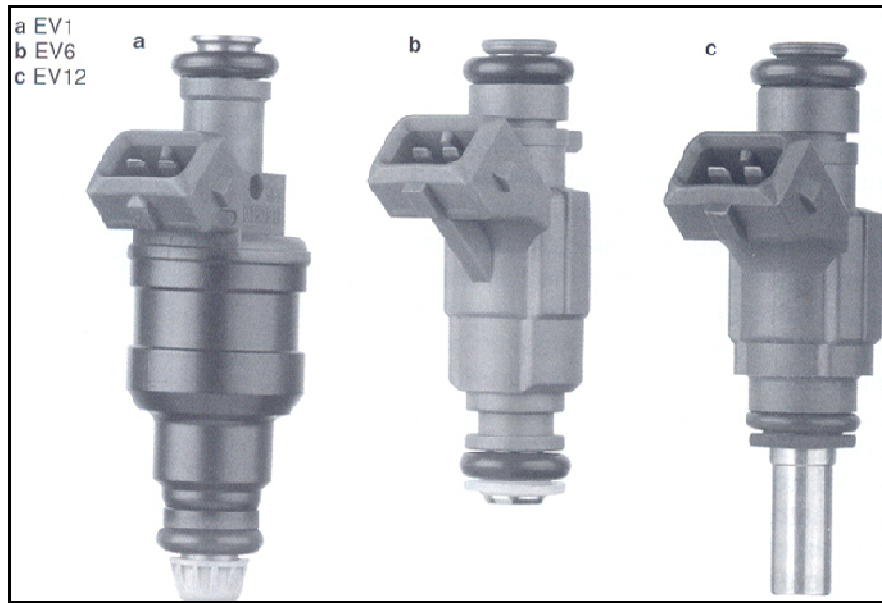


1. O-ringler,
2. Filtre,
3. Enjektör gövdesi,
4. Bobin sargıları
5. Yay,
6. Valf iğnesi,
7. Valf oturma yuvası

Şekil II.10. Selenoid enjektör

Enjektörler solenoid tarafından çalıştırılan iğneli bir supaba sahiptir. Akım olmadığı zaman iğne, helis bir yay tarafından kapalı tutulur. Solenoid sargısı enjektör gövdesinin orta kısmında yer almaktadır. Kontrol ünitesinden gelen elektrik akımları enjektör sargısından geçerek manyetik bir akım meydana getirmektedir. Elektrik akımı bobin sargılarından geçince iğne 0,1 mm kadar kalkar ve yakıt püskürtülür. İğnenin ucu yakıtın iyice atomize olmasını sağlamak için özel bir şekilde yapılmıştır. Supabın açık durumda geri çekilme mesafesi 0,15 mm'dir ve tepki zamanı 1 milisaniye civarındadır. Püskürtülen yakıtın miktarı enjektörün açık kalma süresine bağlıdır. Enjektörün tam olarak açık kalma süresi veya püskürtme aralığı motor devri ve yükü, motor sıcaklığı, emilen havanın sıcaklığı ve atmosferik basınç gibi faktörlere dayanmaktadır. Bu süre 1,5-10 milisaniye arasında değişmektedir [4]. Çok farklı yapı ve özellikte benzin enjektörü bulunmaktadır. Aşağıda bazı enjektör türleri ile ilgili örnekler verilmiştir.

Mevcut yakıt enjeksiyon sistemlerinde farklı enjektörler kullanılmaktadır. Şekil II.11’de Bosch marka çeşitli enjektörler görülmektedir. EV1 enjektör 1970’lerden beri kullanımdadır. Sürekli geliştirildiğinden bu enjektör modern benzin yakıt sistemlerindeki temel gereksinimleri karşılamaya devam etmektedir. EV6 enjektörü EV1 üzerine kurulmuştur. Yakıt geri dönüşümü olmayan sistemlerde, sıcak başlama yöntemiyle daha iyi performans sağlar. Yakıt dönüşümü olan sistemlerle kıyaslandığında, yakıt dönüşümü olmayan sistemlerdeki enjektör daha sıcak olduğu göz önünde bulundurulursa bunun önemi daha iyi anlaşılır. Hava karıştırmalı enjektörde, EV6’nın karışım formasyonunu daha da geliştirmek için ‘hava karıştırma’ özelliği eklenmiştir. EV12 enjektörü EV6’nın geliştirilmiş şeklidir. Yapısında sorunlar olan emme manifoldlarında ideal konum sağlamak amacıyla enjeksiyon noktası 20 mm ileri kaydırılabilmektedir [4].

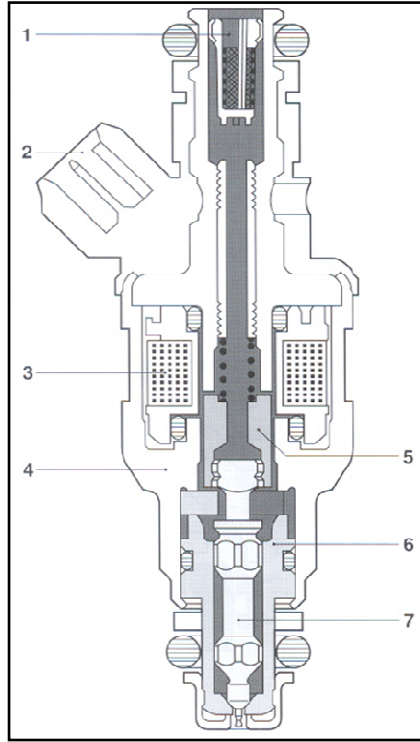


Şekil II.11. Enjektör çeşitleri

Elektromanyetik enjektör, valf iğnesine monte edilmiş selenoid bir armatürden oluşur ve valf içerisinde düzgün hareket eder. Enjektör hareketsizken bobin yayı valf iğnesini yuvaya doğru ittirip yakıt akışını keser. Sistem selenoide ilk akımı gönderdiğinde, armatür 60-100 μ m yükselerek valf iğnesini yukarı kaldırır. Böylece yakıt enjektör çıkışından akmaya başlar.

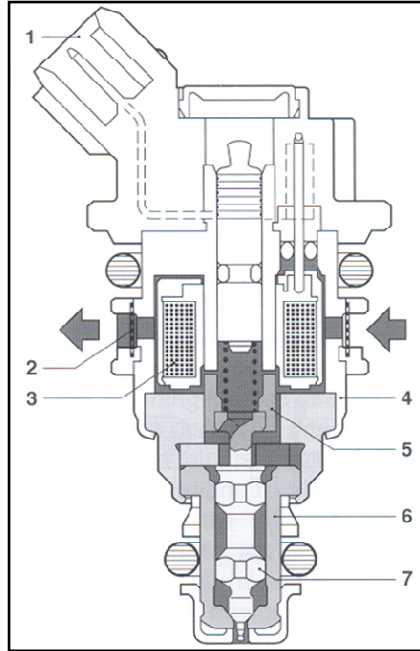
Enjektörün 3-125 Hz frekansında tepki süresi, enjektör türü, motorun hızı ve yükleme koşullarına bağlı olarak 1,5-1,8 ms’dir. Enjektörün yakıt beslemesi

üstten ve yandan yapılabilir. Şekil II.12’de üstten beslemeli ve şekil II.13’de yandan beslemeli enjektörlerin kesit resimleri verilmiştir [10].



- 1 .Filtre,
2. Soket girişi,
3. Bobin sargıları,
4. Enjektör gövdesi,
- 5.Bobin,
6. Valf gövdesi,
7. Valf iğnesi

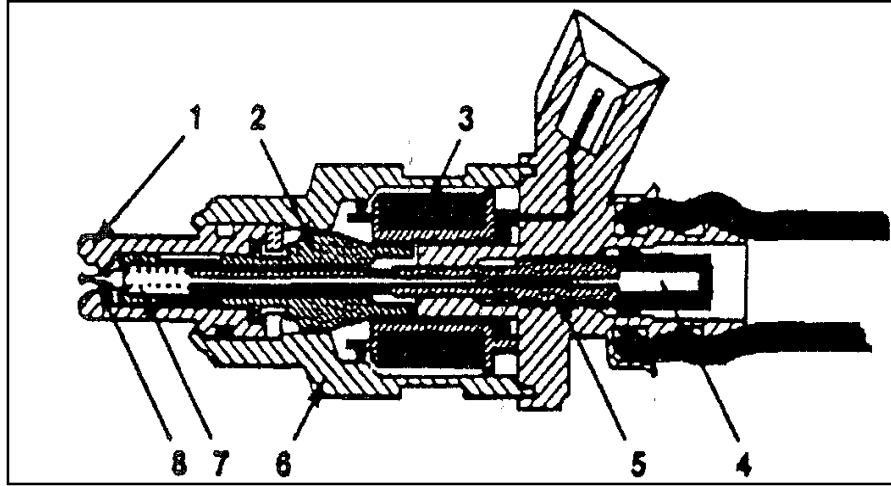
Şekil II.12. Üstten beslemeli elektromanyetik enjektör



- 1 . Soket girişi,
2. Filtre,
3. Bobin sargıları,
4. Enjektör gövdesi,
- 5.Bobin,
6. Valf gövdesi,
7. Valf iğnesi

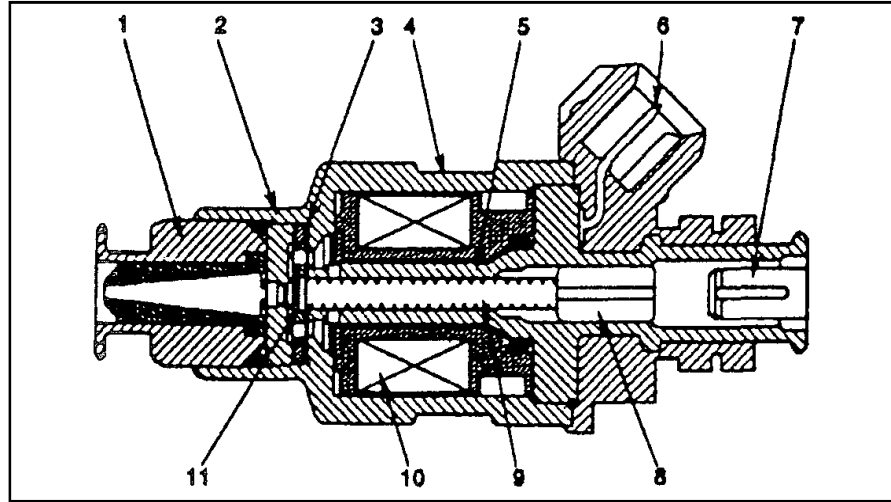
Şekil II.13. Yandan beslemeli elektromanyetik enjektör

Şekil II.14'te Weber enjektör görülmektedir. Bu tip enjektörlerde içi dolu bir hareketli eleman yerine içi boş boru şeklinde bir hareketli eleman kullanılmaktadır. Bu da mümkün olduğu ölçüde daha kararlı bir yapı göstermekte ve gövde hareketli elemene daha iyi kılavuzluk yapmaktadır. Ancak bu tip enjektörler daha ağırdırlar ve daha fazla sürtünmeye neden olmaktadır[2].



1. Lüle, 2. Metal çekirdek, 3. Bobin, 4. Filtre,
5. Yay sıkışması için kılavuz, 6. Gövde, 7. Yay, 8. İğne,

Şekil II.14. Weber enjektör

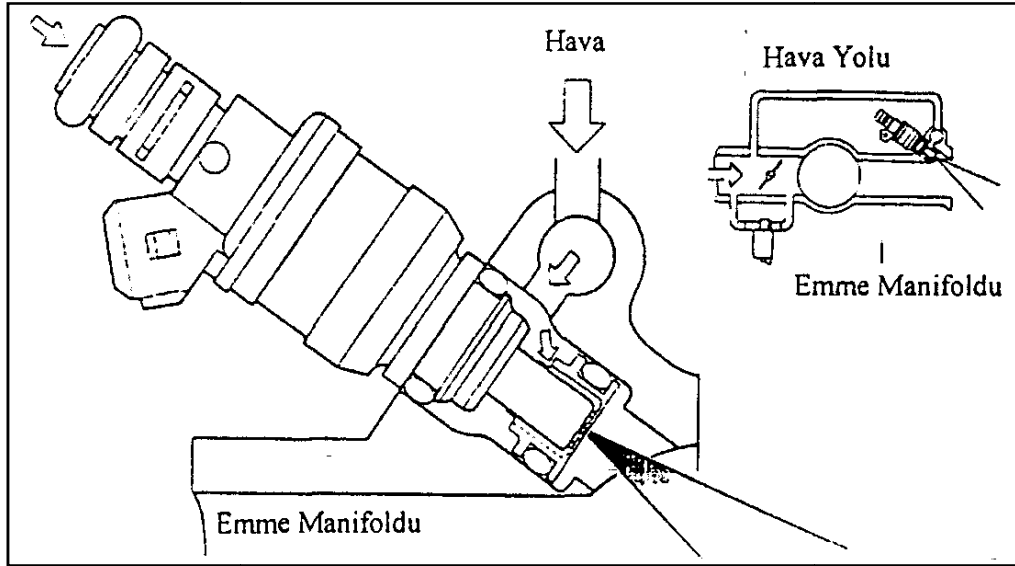


1. Lüle tutucu, 2. Valf koruması, 3. Ara sacı, 4. Gövde, 5. Göbek, 6. Elektrik bağlantısı,
7. Filtre, 8. Kalibrasyon sürgüsü, 9. Yay, 10. Bobin, 11. Hareketli eleman,

Şekil II.15. Lucas D serisi enjektör

Şekil II.15'te Lucas D serisi bir enjektör görülmektedir. Bu tipte silindirik bir hareketli eleman yerine disk kullanılmıştır. İğne yerine disk kullanımı ile hareketli elemanın kütlesi en aza indirilmiştir. Diskin kütlesi bazı iğnelerin sekizde biri mertebesinde olabilmektedir. Bu da cevap hızının daha yüksek olmasına neden olacaktır.

Tüm bu sistemlerin bir sakıncası; gönderilen yakıt miktarının çok az ve hava akış hızı düşük olduğu durumlarda, özellikle rölanti ve düşük yükte atomizasyonun çok zayıf olmasıdır. Bu sakınca ise “Hava Takviyeli Püskürtme” olarak adlandırılan sistem yardımı ile giderilebilmektedir. Bu olumsuz şartla altında manifolddaki basınç çok düşüktür ve bu nedenle bir kanaldan havanın çekilmesi için uygundur. Bu sistemde bir enjektörün ucuna yüksek hızda hava akımı verilecek olursa yakıtın atomizasyonu, püskürtülen yakıtın dağılımı, hem de damlacık boyutu önemli derecede iyileşecektir. Şekil II.16'da bu sistemin bir şeması verilmiştir. Bu sistem, önceleri başlıca düşüncesi düşük yakıt sarfiyatı olan askeri uygulamalar için geliştirilmiştir. Her ne kadar çok yaygın olarak kullanılmamışlarsa da emisyon sınırlamaları ve yakıt sarfiyatı dikkate alındığında cazip olacağı gözükmemektedir[2].



Şekil II.16. Hava takviyeli enjektör

II.1.3.2. LPG Enjektörleri

Elektromekanik enjektörler mekaniklerin aksine sürekli açılıp kapanarak çalışır. LPG enjektörü açıldığında LPG, gaz basıncı ile nozuldan geçerek emme manifoldundan geçen havanın üzerine püskürtülür. Böylece gaz halindeki yakıt yanma odasına doğru harekete geçer. Enjektörün püskürttüğü gaz miktarı LPG gaz basıncı, nozul iç çapı ve darbe genişliği (enjektörün açık kalma süresi) ile doğru orantılıdır. Ne kadar gaz püskürtüleceği sadece gaz basıncıyla değil aynı zamanda enjektörün açık kalma süresiyle de ilgilidir, bu süreye enjektör darbe genişliği denir. LPG enjektörünün açılıp kapanma süresi milisaniye cinsinden ölçülür. LPG enjektörlerin kapasitesi sürekli açık kaldıkları zamanla belirlenir. Buna %100 darbe genişliği oranı denir. Eğer bir enjektör %100 darbe genişliği oranına sahipse hiç kapanmıyor, sürekli açık kalıyor demektir. Yüksek performans kullanımında enjektörlerin darbe genişliği oranı değerinin tam gaz durumunda %70 ile %90 arasında olması istenir, başka bir deyişle kapasitelerinin %70 ile %90'nı arasında çalışmaları istenir. Böylece enjektörün aşırı ısınıp çalışma karakteristiğinin bozulmasına engel olunmuş olur. Enjektörler içlerinden geçen gaz tarafından soğutulur. Sürekli açık kalan enjektör (%100 duty cycle) aşırı ısınabilir, bunun sonucunda enjektörün çalışma karakteristiği bozulur ve ömrü kısalmır.

Enjektörler elektromanyetik çekim kuvveti oluşturan bobinlerin dirençlerine göre sınıflandırılır. Bu direnç ohm cinsinden belirtilir. Yüksek dirençli enjektörler 12-16 ohm da çalışırken, düşük dirençli enjektörler genellikle 2-5 ohm da çalışır.

Enjektör kontrol sistemleri (Injector drivers) genellikle çalışma şekillerine göre 2 tip de olur. Saturated ve Peak&Hold. Saturated tipde kontrol sağlayan sistemler genellikle çoğu arabanın orjinal sistemidir, çünkü üretim maliyeti düşüktür ve sistem olarak basittir. Bu tip sistem az elektrik tüketir, az ısınır böylece servis ömürleri daha uzundur, fakat tepki süreleri düşüktür. Peak & hold tipde çalışan sistemler, yüksek kapasiteli ve düşük dirençli enjektörlerden oluşur ani ve yüksek akımla enjektörün çok çabuk açılması sağlanır ve voltaj azaltılarak enjektörün açık kalması sağlanır. Peak&Hold kontrollü sistemler yüksek ve düşük dirençli enjektörlerle çalışabilir fakat enjektör yüksek akış kapasiteli olmalıdır (High flow). Düşük dirençli enjektörler saturated tipteki kontrol sistemleriyle kullanılmamalıdır, aksi takdirde enjektör sarımları yüksek akımdan dolayı aşırı ısınmaktadır. LPG enjektörleri belirli özelliklere göre gruplandırılabilirler. Enjektörlerin LPG ile beslenmelerine göre, üstten ve

yandan olmak üzere ikiye ayrılabilir. Şekil II.17 ve 19 da üstten beslemeli enjektör örnekleri gösterilmiştir. Tablo II.1 ve 3 de bu enjektörlerin teknik özellikleri gösterilmiştir. Şekil II.18 de ise yandan beslemeli bir enjektör örneği gösterilmiştir. Tablo II. 2 de bu enjektörün teknik özellikleri gösterilmiştir.



Şekil II.17. Eksenden beslemeli Hana LPG enjektörü[11]

Tablo II.1 Eksenden beslemeli Hana LPG enjektörünün teknik özellikleri

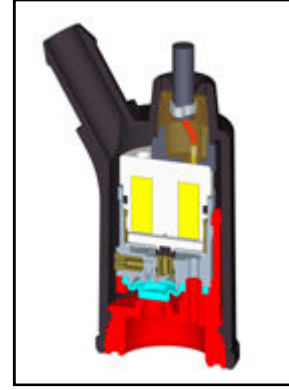
Teknik Özellikleri	Değerler
Tipi	Saturated
Çalışma Sıcaklığı	-40 / + 120° C
Çalışma Voltajı	5-16 volt
Bobin Direnci	15 ohm
Akım	0,8 A



Şekil II.18. Yandan beslemeli Teleflex LPG enjektörü[12]

Tablo II.2 Yandan beslemeli Telefleks LPG enjektörünün teknik özellikleri

Teknik Özellikleri	Değerler
Tipi	Saturated
Çalışma Sıcaklığı	0 / + 125° C
Bobin Direnci	22,0 ohm
Enjektörün Açma Zamanı	2,5 ms
Enjektörün Kapanma Zamanı	1,5 ms
Dayanıklılık	300 milyon çevrim
LPG Akış Oranı	2,4 g/s
Tavsiye Edilen Giriş Basıncı	80-85 kpa

**Şekil II.19.** Eksenden beslemeli Telefleks LPG ve CNG enjektörü[12]**Tablo II.3** Eksenden beslemeli Telefleks LPG ve CNG enjektörünün teknik özellikleri

Teknik Özellikleri	Değerler
Tipi	Saturated
Çalışma Sıcaklığı	-20 / + 125° C
Bobin Direnci	19,0 ohm
Enjektörün Açma Zamanı	2,0 ms
Enjektörün Kapanma Zamanı	1,5 ms
Max. Akış Oranı LPG	3,0 g/s
Max. Akış Oranı CNG	1,95 g/s
Dayanıklılık	500 milyon çevrim
Minimum Enjeksiyon Süresi	3 ms
Tavsiye Edilen Giriş Basıncı	80-200 kpa

LPG enjektörleri grup kullanımlarına göre sınıflandırılabilir. LPG gaz enjektörleri şekillerine göre 2'ye ayrılırlar;

1. Tekli LPG enjektörü
2. Grup LPG enjektörü

II.1.3.2.1. Tekli LPG Enjektörü

Bu enjektörler bütün motor çeşitlerinde kullanılabilir. Çoğunlukla 4 silindirli araçlar için tercih edilmektedir. Özellikle LPG sistem montajı zor olan araçlar için büyük avantaj sağlar. Tekli LPG enjektörlerinin kullanımı enjektörlerin emme manifolduna en yakın şekilde montaj yapılmasını sağlamaktadır. Bu avantaj LPG dönüşümü yapılmış araçlarda, çalışma koşullarının değişimine olan tepki gecikmelerini azaltmaktadır. Ayrıca sistemin ideal hava yakıt karışımı oluşturma kabiliyeti artmaktadır. Şekil II.20'de tekli LPG enjektörü görülmektedir.



Şekil II.20. Tekli Lpg Enjektörü[13]

II.1.3.2.2. Grup LPG Enjektörleri

Bu enjektör tipi ise kendi içinde 2'li 3'lü ve 4'lü olarak ayrılmaktadır. Grup LPG enjektörleri ise LPG sistem montajında, görünüm açısından daha iyi olması ve montaj kolaylığı olması nedeniyle tercih edilmektedir. Bu enjektörlerin kullanımı enjektörlerin emme manifolduna olan uzaklıklarını arttırmaktadır. Bu durum bazı araçlarda tepki gecikmesine sebebiyet vermektedir. Şekil II.21'de çeşitli grup LPG enjektörleri görülmektedir.



Şekil II.21. Grup LPG Enjektörleri [14]

II.1.3.3. CNG Enjektörleri

LPG enjektörleri CNG enjektörleri olarak da kullanılmaktadır. Enjektörlerin CNG ile kullanımında nozul çapları büyütülmektedir. Motora gönderilen gaz yakıtın ısı değeri korunabilmesi için enjektör nozullarının büyütülme oranları, LPG ve CNG'nin yoğunluk ve ısı değeri oranlarına göre ayarlanmaktadır.

II.1.3.4. Hidrojen Enjektörleri

Hidrojen yakıtı kullanımının yaygınlaşmış olmamasından dolayı, hidrojenin içten yanmalı motorlarda kullanımını sağlayan enjektörler çok yaygın değildir. Hidrojenin fiziksel özelliklerinin diğer gazlara göre çok farklı olması ve özellikle yoğunluğunun çok düşük olması, hidrojen enjektörlerinin farklı tasarımlarda olmasını gerektirmektedir. Araştırma maksatlı yapılan çalışmalarda bu enjektörlerle karşılaşilmektedir.

II.1.4. Enjektör Kontrolü

Gaz enjeksiyon sistemlerinde enjektör kontrolü EKÜ'ler tarafından gerçekleştirilmektedir. Genel olarak EKÜ yakıt püskürtmesini elektronik olarak denetlemek üzere tasarlanmış olup, algılayıcılardan gelen giriş sinyallerini işleyerek motor için gerekli miktardaki yakıtı sağlayacak şekilde enjektörlerin açılma ve kapanma zamanını tam doğrulukta hesaplamaktadır.

LPG sıralı sistem ile çalışan araçlarda yani enjeksiyonlu motorlarda krank miline bağlı pistonların konumuna bağlı olarak yakıt alımı sağlanmakta ve zamanlama elektronik olarak yapılmaktadır. Kontrol ünitesinin sinyalleri araç kalibrasyon değerleri, fark basınç dengelemesi, rpm dengelemesi, gaz sıcaklık dengelemesi, regülatör sıcaklık dengelemesi ve ölü zaman dengelemesi ile çarpılır, ve isteğe göre ayarlanabilen bir bekleme süresi, peak time, dead time ve filtreleme miktarı ile bu sinyal biçimlendirip LPG enjektörüne verilir. Aynı zamanda aracın kendi kontrol ünitesine, benzin enjektörleri sistemden çıkmamış gibi gösteren LPG EKÜ'südür.

EKÜ'nün giriş ve çıkış devreleri özel bağlantı yuvaları yardımıyla algılayıcıları ve enjektörleri birbirine bağlamaktadır. Çoğunlukla ters kutuplama ve kısa devreye karşı koruma devreleri kullanılmaktadır. Sinyal işleme işlemi ya hata sinyali bileşimine veya programlı mikroişlemci tekniğine dayanmaktadır [2].

Sinyal işleme:

1. Çoğullayıcı esaslı kontrol birimi
2. Elektronik bellek esaslı kontrol birimi
3. Mikroişlemci esaslı kontrol birimi

ile yapılmaktadır. Günümüzde Mikroişlemci esaslı kontrol birimi kullanılmaktadır.

II.1.4.1. Mikroişlemci Esaslı Kontrol Birimi

Bu tür kontrol birimi bellekte saklanmış ön programlı komutlar ve elektronik karakteristik haritası için kontrol darbeleri üretmektedir. Bu sistem bellek giriş-çıkış aygıtları, gerilim kaynağı, kuvarz sarkaç (saat) ve pek çok sayıda elektronik devreden meydana gelmektedir. Yüksek ısı iletimine sahip özel malzemeler üzerine yerleştirmektedir.

Strok başına püskürtülecek yakıt miktarı çoğullayıcıda kullanılan sisteme benzer olarak yakıt-hava oranına ve motor hızına göre hesaplanmaktadır.

Bu hesaplama yapıldıktan sonra yakıt püskürtme süresi için gerekli sinyal üretilmektedir. Uygun motor işlemi sağlamak üzere enjektör darbe süresi düzeltme faktörleri hesaba katılarak değiştirilebilmektedir.

Tipik bir kontrol sistemi çeşitli değişik motor çalışma koşulları içeren 5-6 algılayıcıya sahiptir. Algılayıcı sinyalleri kontrol biriminin giriş kademesine verilmektedir. Burada bu sinyaller gerekli dalga biçimine dönüştürülürken mikroişlemcide kullanılacak duruma getirilmektedir.

Mikroişlemcinin çalışması için tüm komutlar motor hızı ve yük durumuna göre veya püskürtme darbe süreleri ile ROM'da saklanır ve püskürtme darbe süresinin ayarını sağlayan düzeltme verileri sağlanır. Algılayıcıdan gelen çalışma verileri ve ara hesaplama sonuçları RAM'de saklanır ve gerektiğinde güncelleştirilir.

Mikroişlemci sonuçları yakıt pompası ve yakıt enjektörlerini kontrol eden çıkış sinyal darbelerine dönüştürülmektedir. Düzeltilmemiş püskürtme darbe süresi; ROM'da yer alan numaralarla tanımlanmakta, burada bir adresleme yapılmakta, bu temel darbe süresine göre sıcaklık, rölanti, yavaşlama sensörlerinden gelen bilgilere göre ayarlanmaktadır. Mikroişlemci bu bilgileri bir ayarlama değeri bulmak için kullanmaktadır. Bu değerleri kullanarak püskürtme darbe süresi uygun biçimde düzeltilmektedir[2].

II.2. GAZ ENJEKTÖRLERİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu bölümde enjektörleri konu alan çalışmalar incelenmiş ve bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar özetlenmiştir. Enjektörler elektromanyetik valfler olarak da değerlendirilmektedir. Bu nedenle, literatür analizinde elektromanyetik valfler dahil edilmiştir. Ancak analizde gaz enjektörleri üzerinde odaklanılmıştır.

Kamış yapmış olduğu çalışmada, benzinli motorlarda kullanılan enjektör sistemlerini incelemiş ve halihazırda kullanılan enjektörlere alternatif olabilecek değişik bir enjektör yapısı araştırmıştır. Bu araştırma sonucu disk elemanlı düz yüzü bir mıknatıs devresi kullanılarak 3 bar basınç altında 185 – 200 ml/dak debi sağlayan bir enjektör tasarlanmış ve modeli kurularak prototipi imal edilmiştir. Sistemin statik ve dinamik karakteristiklerini veren matematiksel bağıntılar çıkarılmıştır. Bu bağıntıların bilgisayar çözümlerinden sistemin statik ve dinamik

karakteristikleri araştırılmıştır. Bu sonuçlara göre, valfin 3 bar basınç altında yaklaşık 1-1,5 ms anahtarlama hızında çalışabileceği belirlenmiştir [2].

Topçu ve Yüksel, piyasada bulunan elektropnömatik valflere alternatif bir elektropnömatik hızlı anahtarlama valfi tasarımı üzerinde çalışmış, sistemin statik ve dinamik karakteristiklerini incelemişlerdir. Bunun için hazırlanan Matlab ve Simulink programları yardımıyla teorik sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarla karşılaştırıldığında da tutarlılık gözlenmiştir. Tasarlanan valf doğrudan kumandalı, iki yollu iki konumlu (2/2) bir valf olup mıknatıs devresi düz yüzölçümlü disk tipi mıknatıs yapısındadır. Valfin imalatı ve montajı oldukça basittir ve düşük toleranslı bir işleme de gerek yoktur. Ayrıca valfin cevap hızı da yaklaşık 4 ms'dir [14].

Ganesh ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, tek silindirli buji ateşlemeli bir motor, zaman kontrollü manifold yakıt enjeksiyon tekniği kullanılarak, hidrojen ile çalıştırılmak üzere dönüştürülmüştür. Selenoid ile çalışan bir gaz enjektörü belirlenen zamanda emme manifolduna hidrojen enjekte etmek amacıyla kullanılmıştır. Enjeksiyon zamanlama ve süresini kontrol etmek için bu amaçla geliştirilen elektronik bir devre kullanılmıştır. Ateşleme zamanlaması en iyi güç için, minimum düzeye ayarlanmıştır. Motor tam yük konumunda çalıştırılmıştır, sonuçların karşılaştırılabilmesi amacıyla aynı motor benzin ile de çalıştırılmıştır. Hidrojen ve benzinin performans ve emisyon değerleri karşılaştırılmış elde edilen sonuçlardan, motorun hidrojen ile çalıştırıldığında maksimum güç çıkışında yaklaşık %20'lik bir azalma olduğu görülmüştür. Hidrojenin termal fren verimliliği benzine göre yaklaşık %2 fazladır. Hidrojen kullanımında CO, CO₂ ve HC emisyonları yok denecek kadar azdır. Ancak tam yükte hidrojen kullanımının NO_x emisyonları benzine göre 4 kat fazladır. Hidrojenin en iyi ateşleme zamanlaması benzine göre daha geçtir. Hidrojen enjeksiyon basınç etkisi de incelenmiş ancak belirgin bir değişiklik gözlenmemiştir. Ayrıca çalışma hızı da ele alınmıştır [15].

Şengirgin ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, yeni tür elektrohidrolik disk valflerin karakteristikleri ve gerçek zaman denetleme olanakları incelenmiştir. Darbe Genişlik Modülasyon (DGM, PWM) tekniğinden yararlanmışlardır. Valflerin çalışmasında kullanılan DGM sinyalinin alt ve üst sınırlarının belirlenmesinde kullanılan ölçütler ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Bu ölçütlerin en önemlilerinde birisinin anahtarlama elemanının çalışma frekansı olduğu ortaya konmuştur [16].

Saravanan ve Nagarajan'ın yaptığı deneysel çalışmada, hidrojen emme manifolduna, dizel motor silindiri içerisine enjekte edilmiştir. Enjeksiyon zamanlaması, enjeksiyon süresi ve enjekte edilen hidrojenin kalitesi gibi hidrojen enjeksiyon parametreleri performans ve emisyon değerleri bakımından en iyi düzeye getirilmiştir. NO_x emisyonunun azaltılması için EGR tekniği uygulanmıştır. %20 EGR ile termal fren verimliliği, %75 yüklemde dizele göre %16 artmakta, ancak tam yüklemde alınan oksijen miktarının azalmasına neden olan egzoz gazının kullanımı nedeniyle %8 azalmıştır. Çift yakıtlı motora kıyasla diğer emisyonlar 1,4 kat artarken, NO_x emisyonu 5 kat azalmıştır [17].

Şengirgin ve Yüksel, pilot kademesi hızlı anahtarlama valfi olan iki kademeli elektrohidrolik valfin tasarımını ve karakteristiklerini teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Hareketli elemanı disk biçiminde tasarlanan valfin pilot kademesi, cevap hızı yüksek çift bobinli bir selenoidtir. Açma-kapama şeklinde çalışan bu selenoidler ile giriş işareti ile çıkış işareti arasında oransal denetim sağlamak için DGM tekniğinden yararlanılmıştır. Valflerin çalıştırılmasında kullanılan DGM sinyalinin belirlenmesinde kullanılan ölçütler ayrıntılı bir şekilde tartışılmıştır. Bu ölçütlerin en önemlilerinden birisinin anahtarlama elemanının çalışma frekansı olduğu ortaya konulmaktadır. Diskli selenoid valf aç-kapa çalışan bir selenoid valftir. Aç-kapa çalışan bir selenoid valfin bobin uçlarına uygulanan doğru akım belli bir değeri almadığı sürece, valf akışa müsaade etmez. Bu akım değeri aşıldıktan sonra valf tamamen açılır ve akışkan geçişine müsaade edilir. Aç-kapa çalışan bir selenoid valf için akışkan miktarının ara değeri yoktur, giriş işareti ile orantılı bir akışkan debisi elde edilemez. Böyle bir selenoid valften, DGM tekniği uygulanarak, çıkış işaretinin zaman ortalamasının giriş işareti ile orantılı olmasının sağlanabildiği gösterilmiştir [18].

Vannucci ve arkadaşları, hızlı açılabilen bir elektromanyetik gaz valfi üretmişlerdir. Özel olarak üretilen bu valf, bir tarafında 20-40 atm, diğer tarafında 10^{-5} atm basınçta çalışabilmektedir. Bu valfin çalışma prensibi gaz akışını kontrol eden alüminyum diskin elektromanyetik kuvvet tarafından konumunun değiştirilmesi prensibine dayanmaktadır. Deneyler diskteki elektromanyetik kuvvetin 200 μs sürdüğü ve valfin 30 ms'den daha kısa sürede kapandığını göstermiştir [19].

Saravanan ve Nagarajan'nın yaptığı çalışmada, hidrojen emme manifolduna hidrojen gaz enjektörü kullanılarak enjekte edilmiş, hidrojenin yanmasında

ateşleme sağlayan dizel geleneksel yöntemle devreye sokulmuştur. Bütün yük koşullarına hidrojenin akım oranı $5,5 \text{ l/dak}^{-1}$ olarak sabitlenmiştir. Enjeksiyon zamanlaması üst en iyi çalışma koşulunu yakalamak üzere ayarlanmıştır. Deneyler elektrik jeneratörüne bağlı tek silindirli 4 zamanlı su soğutmalı, direkt enjeksiyonlu dizel motor üzerinde gerçekleştirilmiştir. %75 yükte 30° krank mili enjeksiyon açısında, maksimum termal fren verimliliği dizel için %21,59 iken hidrojen için %25,66 olmuştur. NO_x emisyonları hidrojen için $21,7 \text{ g(kWh)}^{-1}$, dizel için $17,9 \text{ g(kWh)}^{-1}$ dir. Tüm yük aralığında dizelle çift yakıt modunda hidrojen dizelden daha iyi performans göstermiş ve daha düşük emisyon değerleri sunmuştur [20].

Topçu ve Yüksel, piyasada bulunan valflere alternatif olarak geliştirilen elektropnömatik hızlı anahtarlama valfinin kullanıldığı pnömatik sistemin konum denetimini deneysel olarak araştırmışlardır. Tasarlanan valf; 460 l/dak nominal debili, doğrudan kumandalı, aç-kapa iki yollu iki konumlu (2/2) bir valf olup mıknatıs devresi düz yüzlü disk tipi mıknatıs yapısındadır. Deneysel çalışmalar, kurulan elektropnömatik sistem üzerinde yürütülmüştür. Sistem, pnömatik güç birimine bağlı şartlandırıcı ünitesine, 400 mm strok ve 40 mm piston çapında çift etkili bir pnömatik silindire sahiptir. Ayrıca geri besleme elemanı olarak 400 mm stroka sahip magneto restriktif temazsız konum algılayıcısı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlardan geliştirilen valflerin konum denetimi üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir [21].

Shen ve arkadaşları, yeni bir hızlı elektromanyetik gaz valfi geliştirmişlerdir. Deneyler ve analizler valfin çalışmasının mükemmel olduğunu göstermiştir. Her 50 adet testte maksimum hata oranı %2'nin altında olmuştur. Valfin çalışma parametreleri ayarlanabilir. Örneğin gaz dolumu sürekli $5 \times 10^{-4} \text{ Pa m}^3$ 'ten $0,5 \text{ Pa m}^3$ 'e ayarlanabilir, valfin açılma süresi de 20 μs ile 800 μs arasındadır. Testler ayrıca valfin ömrünün uzun olduğunu göstermiştir. Valfin dinamik süreci ayrıntılı olarak tanımlanmıştır ve teorik hesaplamalar deney sonuçları ile uyumluluk göstermiştir [22].

Topçu ve Yüksel, aç-kapa denetim ve DGM tekniği ile bilgisayar denetimli bir elektropnömatik sistemin konum denetimi deneysel olarak araştırmışlardır. Sistem pnömatik güç birimine bağlı şartlandırıcı ünitesine, 400 mm stroka ve 40 mm piston çapına sahip çift etkili bir pnömatik silindire, iki adet 3/2 aç-kapa selenoid valfe ve iki adet basınç algılayıcısına sahiptir. Ayrıca geri besleme elemanı olarak 400 mm stroka sahip magneto restriktif temassız konum algılayıcısı

kullanılmıştır. Deneysel verilerin toplanmasında ve sistemin bilgisayarlı denetiminde DSP tipi veri toplama ve denetim kartı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlardan DGM tekniğinin konum denetimi üzerindeki etkisi belirlenmiştir [23].

Kabat ve Heffel, saf hidrojenin elektrik ile çalışan darbe modüllü yakıt enjektörleri üzerinde dayanıklılık etkilerini incelemişlerdir. 8 çeşit yakıt enjektörünün kuru ve yağsız saf hidrojenle çalışma dayanıklılığını değerlendirmek üzere araştırma yapılmıştır. Enjektörler tasarım, katı yağ kullanımı ve yüzey sertliği bakımından birbirinden farklıdır. Bilgisayar bağlı bir yakıt enjektörü test standı 7 gün 24 saat veri alabilecek şekilde enjektörün çalışmasını sağlamak maksadıyla kurulmuştur. Çalışmada bazılarında katı yağlar kullanılmak suretiyle, modifiye edilen 4 enjektör değerlendirilmiştir. Her enjektör türü için teste, dayanıklılık verileri başarısız oluncaya veya 800 saatten fazla saf hidrojenle çalışıncaya kadar devam edilmiştir. Enjektör dayanıklılık deneyleri orta hız, yüksek hız ve maksimum hız koşullarında motorun çalışmasını temsil edilecek şekilde darbe genişliği ve frekansları kullanılarak yapılmıştır. Bu deneylerden alınan sonuçlara bakıldığında 80 saatten az sürede başarısız olan ile 800 saati aşkın testi başarı ile tamamlayan enjektörler olduğu görülmüştür [24].

Hu ve Wu'nun yaptığı çalışmada, otomotiv yakıt rayı sisteminin bilgisayar simülasyon modelini sunmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünde bir enjektörün matematiksel modellemesi yapılmıştır. Problemin karmaşıklığını azaltmak amacıyla enjektör üstte bir filtre ortada bobin yayı ve enjektör iğnesi attı da dört adet delikten oluşacak şekilde tasarlanmıştır. Bu birimlerden geçen sıvı tek boyutlu Bernoulli denklemiyle tanımlanır. Sıvı enjektöre üstteki filtreden girip alttaki deliklerden çıkarken meydana gelen kinetik enerji kaybı, K_f ve K_o faktörleri ile ifade edilir. K_f değeri sabit kabul edilir ve deneyle tespit edilir. Ancak K_o değeri sıvının kinetik enerjisinin iğne ile valf yatağı arasındaki geçit, kesit ile bağlı olarak değişmesi nedeniyle değişkendir. Bu çalışmada K_o ikinci dereceden diferansiyel denklem ile açıklanan iğne hareketi ile orantılıdır. İğneye etki eden kuvvetler enjektörün açılmasını ve kapanmasını kontrol eden manyetik ve bobin yayı kuvvetidir. İğnenin açılıp kapanmasının enjektörün içerisinde neden olduğu basınç dalgalanmaları dalga denklemiyle açıklanır. O halde enjektörün dinamik tepkileri aynı anda dokuz denklemin çözülmesi ile elde edilir. Enjektörün içerisinde elde edilen basınç dalgalanmaları değişik darbe genişliği ve hızlarında ölçülen değerler ile karşılaştırılıp, her koşulda uygun uyum sağladığı görülmüştür [25].

Dyntar ve Guzzella, CNG enjektörlerinin sekme davranışını durduran kontrol sisteminin tasarım ve deney modellemesi incelenmişlerdir. Öncelikle sistemin ısı ve besleme gerilimi varyasyonu dahil detaylı bir modeli çıkartılmıştır. Optik konum sensörü kullanılarak model ikinci bir aşama ile deneysel açıdan doğrulanmıştır. Bu modele bağlı olarak sistemin sekme enerjisini en aza indiren ileri besleme kontrolü geliştirilmiş ve test edilmiştir. Seri uygulamalarda konumlama sensörünü kullanmak pahalı olacağından sekmeyi asemptomatik olarak durdurmak için konum bilgisi yerine bobin akım ölçümü kullanan yinelemeli bir kontrol algoritması çıkartmışlardır [26].

Chen ve arkadaşları, doğalgaz motorları için tasarlanan sıvı gazlı yakıt enjektörü test etmiş ve incelenmişlerdir. Enjektör sabit sıvı yakıtlı amplifikatör kullanımına dayanmaktadır. Enjektörün sabit durumu ve dinamik özellikleri laboratuarda test etmiş ve birkaç ticari selenoid gaz enjektörü ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak sıvı yakıtlı gaz enjektörünün doğalgaz motorlarının gerektirdiği yüksek gaz akışını, daha hızlı açma kapama tepkisi ve daha yüksek enjeksiyon istikrarı ile sağlayabilmektedir. Ayrıca sıvı yakıtlı amplifikatörde bulunan jet akışının dinamik açma kapama etkisini ve sabit durum özelliğini matematiksel modeliyle incelemiş, öngörülen sonuçların deney sonuçlarına uygunluğunu kanıtlamışlardır [27].

Sim ve arkadaşları, yakıt tüketimi ve hava yakıt karışımı kontrolünün yanı sıra motor gücünü arttırmak amacıyla LPG enjeksiyon sistemini geliştirmek için ciddi araştırmalar yapmışlardır. Benzine göre ciddi avantajlar sağladığından LPG, buji ateşlemeli motorlarda gaz yakıt olarak yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Ancak LPG motoru, buhar fazlı LPG benzin damlacıklarından daha fazla hava çıkardığından tork kaybı meydana gelmektedir. Sıvı fazlı LPG enjeksiyon sistemlerinde enjektörün enjeksiyon oranı yakıt ısısı enjeksiyon basıncı ve çalışma voltajından etkilenmektedir. Enjeksiyon koşulları değiştiğinde egzoz emisyonunu düşürmek için hava yakıt karışım oranı doğru bir şekilde kontrol edilmelidir. Bu çalışmada yakıt enjeksiyon oranını düzeltme faktörleri yakıt ısısı, enjeksiyon basıncı ve enjektör çalışma voltajına bağlı olarak geliştirmişlerdir. Sıvı fazlı LPG enjeksiyon kontrol sistemleri için enjekte edilen yakıtın miktarını kontrol edecek bir dengeleme yöntemi önerilmişlerdir. Deney sonuçları sıvı fazlı LPG enjeksiyon sistemlerinin tüm motor hızlarında ve yükleme koşullarında iyi çalıştığını ve hava

yakıt karışım oranının önerilen düzeltme algoritması kullanılarak doğru bir şekilde kontrol edilebileceğini göstermişlerdir [28].

Podlesny ve arkadaşları, buji ateşlemeli motorların yakıt besleme sistemlerinde kullanılan enjektörlerin elektriksel ve mekaniksel açma kapama zamanlarının kaydedilmesi için bir test standı geliştirmişlerdir. Bu cihaz iğne konumunu gerçek zamanda kaydeden kızılötesi radyasyon sensörü ve 100 MHz örneklemlili osilaskop sayesinde açma ve kapama zamanının doğru olarak tespit edilebilmesini mümkün kılmaktadır. Testin amacı enjektör hasarının hızlı saptanmasında standın uygunluğunu ve açma gecikmesi değeri üzerinde dış tasarım koşullarının etkisini kontrol etmektir. Buji ateşlemeli motorlardaki enjektörlerin kontrol yöntemleri de bu çalışmada tartışılmıştır [29].

Yapılan literatür analizlerinden görüldüğü üzere gaz enjektörlerinin çalışma karakteristiğini konu alan çalışmalar yeterli değildir. Enjektörlerin çalışma karakteristiklerini etkileyen parametreleri belirleyen ve bu parametrelerin etkilerini inceleyen çalışmalar sınırlıdır. Özellikle darbe genişlik modülasyonu tekniği ile kontrol edilen gaz enjektörlerinin çalışma karakteristiğini konu alan çalışmalarda karşılaşılmamıştır.

Bu nedenle bu çalışmada, darbe genişlik modülasyonu ile kontrol edilen ve sıralı gaz enjeksiyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılan enjektör dizaynının belirli parametrelere (darbe genişliği, modülasyonsuz darbe genişliği, modülasyonlu darbe kullanım oranı, modülasyonlu darbe frekansı, besleme, sıcaklık gerilimi, nüve açılma mesafesi) göre çalışma karakteristiği iki aşamalı deneysel çalışmayla incelenmiştir.

BÖLÜM III.

MATERYAL VE METOT

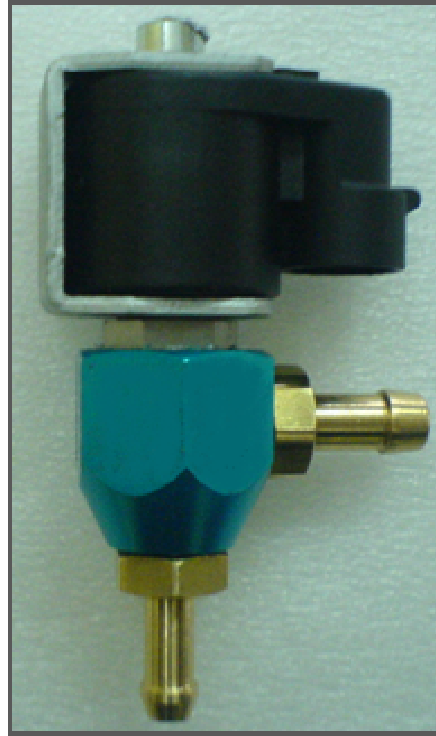
III.1. DENEY TESİSATININ TANITILMASI

Bu çalışmada gaz dönüşüm sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bir enjektör deney enjektörü olarak belirlenmiştir. Enjektör çalışma karakteristiği iki aşamalı deneysel çalışma ile incelenmiştir. Birinci aşamada belirli parametrelerin (darbe genişliği, modülasyonsuz darbe genişliği, modülasyonlu darbe kullanım oranı modülasyonlu darbe frekansı, besleme gerilimi, fark basıncı) manyetik çekim kuvvetine etkisi, ikinci aşamada ise fark basıncının enjektör akım değişimine etkisi incelenmiştir. Bu bölümde, iki aşamalı deneysel çalışmada kurulan deney sistemleri, materyalleri ve deney prosedürleri hakkında bilgiler verilecektir.

III.1.1. Deney Enjektörü

Enjeksiyonlu LPG dönüşüm sistemlerinde en yaygın olarak kullanılan alüminyum gövdeli, ayırık bobinli, AMP soketli ve yandan gaz girişli olan enjektör model olarak seçilmiştir. Bu tasarıma sahip deney enjektörü üretilerek tüm deneylerde aynı enjektör kullanılmıştır. Deney enjektörünün genel görünümü şekil III.1’de verilmiştir. Ayrıca deney enjektörünün teknik resmi Ek 1’de verilmiştir.

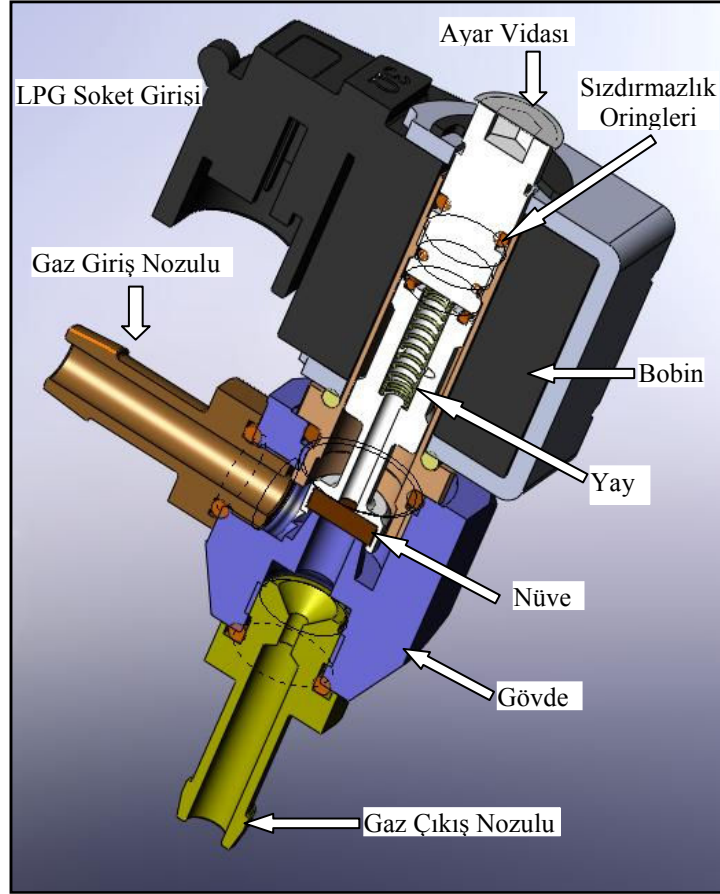
Sıralı enjeksiyonlu LPG dönüşüm sistemlerinde EKÜ tarafından kumanda edilen enjektörler, aracın manifoldu üzerine benzin enjektörlerine yakın bir bölgeye monte edilmektedir. Gaz enjektörleri gaz giriş ve çıkış rekorlarının yanı sıra, LPG EKÜ’sünden gelen enjeksiyon sinyallerini alabilmeleri için bir soket girişine sahiptir. Gaz çıkış rekorları çeşitli çaplarda olabilmektedir. Farklı motor tiplerine göre bu rekorlar değiştirilebilmektedir. Tablo III.1’de deney enjektörünün standart durumlar için verilen teknik özellikleri gösterilmiştir.



Şekil III.1. Deney enjektörü

Tablo III.1 Deney enjektörünün teknik özellikleri

Teknik Özellikleri	Değerler
Çalışma Basıncı	0,5 - 2,0 bar
Max. Çalışma Basıncı	3,0 bar
Bobin Direnci	3,0 ohm $\pm$ 15%
Besleme Voltu	12 V $\pm$ 15%
Enjektörün Açık Kalma Süresi	3,5 ms $\pm$ 3%
Minimum Enjeksiyon Zamanı	3,3 ms $\pm$ 3%
Enjektör Adaptörünün Giriş Çapı	10mm / 12mm
Enjektörün Adaptöre Giriş Çapı	7mm / 8mm
Tamamlanmış Açma Zamanı	3,7 ms $\pm$ 5%
Tamamlanmış Kapanma Zamanı	3,2 ms $\pm$ 5%
Gaz Çıkış Bağlantısı	M8x1 dış çap 7mm
Nozul İçin Ölçülendirilmiş Değer	1,0 - 3,5 mm
Sıcaklık Değeri	-20 / + 120° C



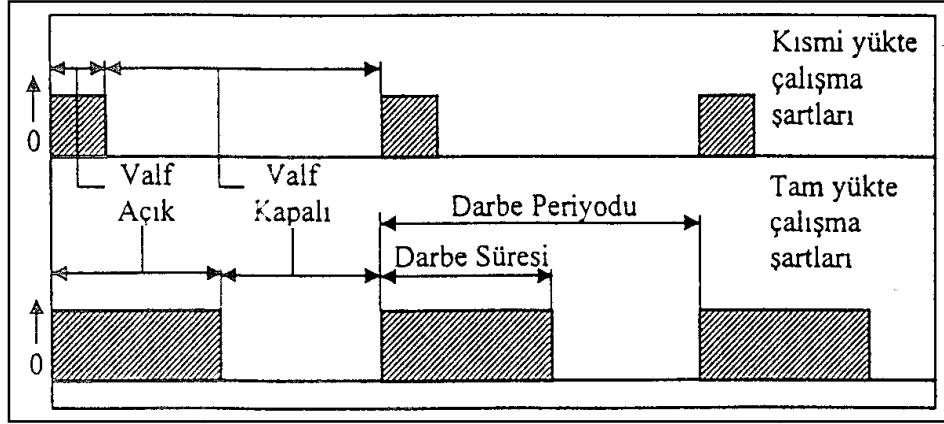
Şekil III.2. Deney enjektörünün 3 boyutlu görünümü

Şekil III.2’deki deney enjektöründe enjektör nüvesi 0-0,6 mm’lik bir hareket mesafesine sahiptir. Enjektörün gerçek açık kalma süresi EKÜ’den gelen püskürtme darbe süresine bağlıdır. Enjektörün açılma ve kapanma süresi 3,3-3,7 ms arasında değişmektedir. Yaklaşık 4A’lık bir akım selenoidi enerjilendirerek enjektör nüvesini harekete geçirmek için gereklidir. Bu enjektör 0,5-3 bar’a kadar olan yakıt basınçları ve 185-200 ml/dak arasında değişen debi değerleri için tasarlanmıştır.

Enjektörler EKÜ tarafından tetiklenen bir elektrik darbesinin selenoidi enerjilendirmesi ve enerjiyi kesmesi ile açıp kapanırlar. Manyetik kuvvet yay kuvvetini ve akışkan kuvvetini yendiği zaman enjektör nüvesini çeker, selenoid akımı kesildiğinde ise yay hareketli elemanı tekrar eski konumuna iter. Bu esnada enjektör püskürtme işlemini yapmış olur.

Bu tip püskürtme sistemleri ile hem yakıt basıncı hem de püskürtme orifis alanı sabit tutulur. Şekil III.3’den görüldüğü gibi püskürtülen yakıt miktarını sadece enjektör nüvesinin açık kalma süresi belirlemektedir. Püskürtülecek olan yakıt

miktarı; hava debisi, giriş havasının sıcaklığı ve atmosfer basıncı gibi çalışma parametrelerine bağlı olarak belirlenir [2].



Şekil III.3. Enjektörün açık ve kapalı durumlarının sabit hızda kısmi ve tam yükte çalışma şartlarının karşılaştırılması

Enjektör tasarımında önemli olan bir diğer özellik denetim sinyalleri darbe genişliği ile püskürtülen yakıt miktarları arasında doğrusal bir ilişkinin sağlanmasıdır. İdeal olarak bu doğrusallığın maksimum yakıt miktarından minimum yakıt miktarına kadar her durum için sağlanması gerekir. Ancak yakıt dağıtımının ani olarak başlamasından ve bitmesinden dolayı bu durum tüm yakıt koşullarında sağlanması mümkün değildir.

Püskürtme süresi aslında krank mili devir hızının bir fonksiyonudur. Bu yüzden pratikte püskürtülecek olan yakıt miktarı ve püskürtme süresi enjektör tasarımı ve püskürtme periyodu ile belirlenir. Enjektör ne kadar uzun süre açık kalırsa o kadar çok yakıt püskürtür.

DGM’de üretilen kare dalga darbe sinyallerinin genişliklerinin ortalaması, çıkışta üretilecek olan analog değerin elde edilmesini sağlar. Şekil III.4’te örnek bir DGM sinyali görülmektedir. Kare dalganın frekasına $f(t)$, en düşük genlik değerine y_{min} , en yüksek genlik değerine y_{max} ve darbe kullanım oranına (duty cycle) D denilecek olursa, darbe ortalaması;

Enjektörlerin yüksek gerilimle uzun süre beslenmesi bobinlerin ısınmasına ve çalışma karakteristiklerinin bozulmasına sebebiyet vermektedir. Bu etkinin oluşmaması için darbe genişlikleri modüle edilmektedir ve bu işleme darbe genişlik modülasyonu adı verilmektedir.

$$\bar{y} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$$

olarak tanımlanabilir.

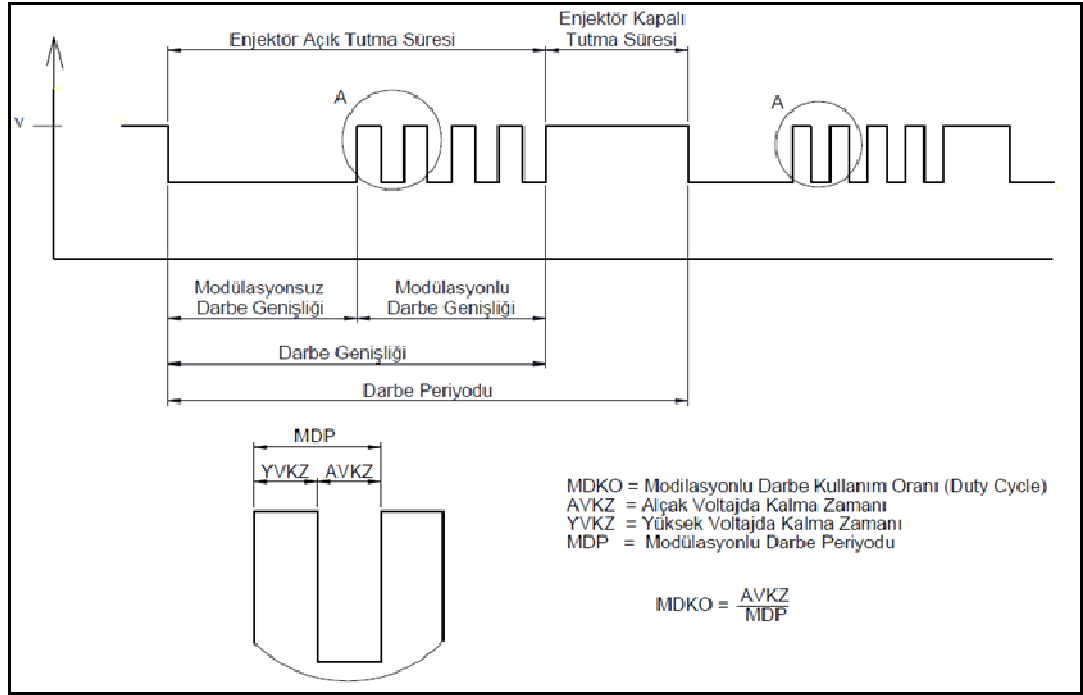
F(t) kare dalga olduğundan, $f(t)$, $y_{\max}$ için $0 < t < D \cdot T$ ve $y_{\min}$ için $D \cdot T < t < T$ değerini alabilir.

Buradan,

$$\begin{aligned} \bar{y} &= \left(\int_0^{DT} y_{\max} dt + \int_{DT}^T y_{\min} dt \right) \\ &= \frac{D \cdot T \cdot y_{\max} + T(1-D)y_{\min}}{T} \\ &= D \cdot y_{\max} + (1 - D) y_{\min} \end{aligned}$$

elde edilir.

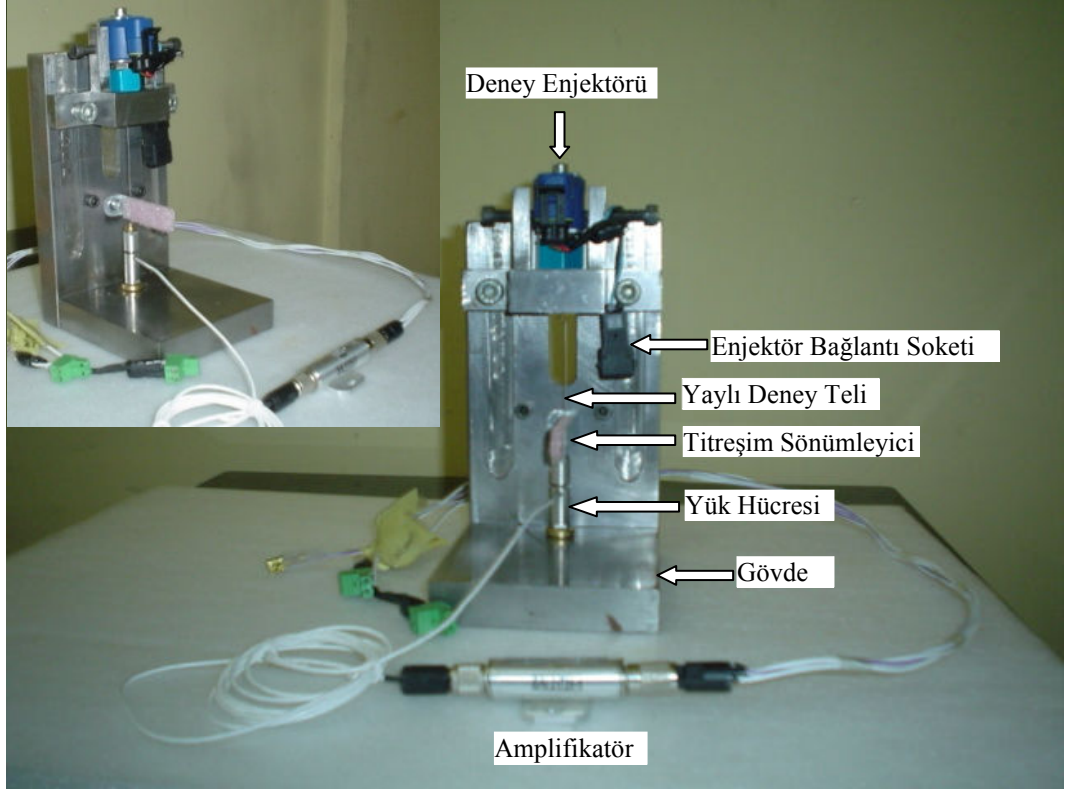
Yukarıda verilen formül genellikle $y_{\min} = 0$ iken $\bar{y} = D \cdot y_{\max}$ olarak kullanılır. Görüldüğü gibi elde edilecek ortalama değer direk modülasyonlu darbe kullanım oranına (duty cycle) bağlıdır. Buradan, enjektörlerin besleme gerilimlerinin darbe kullanım oranlarının değiştirilmesiyle kontrol edilebileceği görülmektedir. Şekil III.4'te DGM'li darbenin genel özellikleri gösterilmiştir.



Şekil III.4. DGM’li darbe

III.1.2. Deney Aparatı

Enjektör deneylerinin gerçekleşmesi için L şeklinde metal bir gövdeden oluşan deney aparatı hazırlanmıştır. Deney enjektörü, deney aparatının yüzeyinde bulunan dikey eksenle hareketli olan, metal enjektör konumlandırıcısına bağlanmıştır. Deney aparatının taban yüzeyine ise, manyetik çekim kuvvetinin ölçülmesinde kullanılan yük hücresi (kuvvet sensörü) dikey şekilde yerleştirilmiştir. Enjektör ile yük hücresi arasındaki bağlantı yaylı bir deney teli vasıtasıyla yapılmıştır. Enjektör nüvesine uygulanan manyetik çekim kuvveti bu yaylı tel vasıtasıyla yük hücresine aktarılmakta ve enjektörün çekim kuvveti ölçülmektedir. Ölçümler esnasında telden gelen titreşimlerin azaltılması ve ölçümlerin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için, sisteme tek yandan temas eden bir titreşim sönümleyici ilave edilmiştir. Ayrıca deney aparatının arka kısmına, enjektöre basınçlı hava verebilmek ve hava hortumu bağlayabilmek için dikey eksenle kanal açılmıştır. Deney aparatının genel görünümü Şekil III.5’de verilmiştir.



Şekil III.5. Deney aparatının genel görünümü

III.1.3. Yük Hücresi

Yük hücresi, enjektör bobinin elektriklenmesiyle oluşan manyetik etkinin etkisiyle enjektör nüvesinde meydana getirdiği çekim kuvvetinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Yük hücresinin genel görünümü Şekil III.6’da gösterilmiştir. Yük hücresinin ölçüm aralığı 0-20 N dur. Strain gauge malzeme kullanımıyla oluşturulmuştur. Yük değişimi altında strain gauge malzemede meydana gelen direnç değişimi wheatstone köprüsünün çıkış geriliminde değişim meydana getirmektedir. Böylece yük değişimi, gerilim değişimi izlenerek ölçülmektedir. Yük hücresinin kalibrasyonu yetkili servis tarafından yapılmıştır. Yük hücresinin teknik özellikleri Tablo III.2’de verilmiştir.



Şekil III.6. XFTC 320 Yük hücresi

Tablo III.2 XFTC 320 Yük hücresinin teknik özellikleri

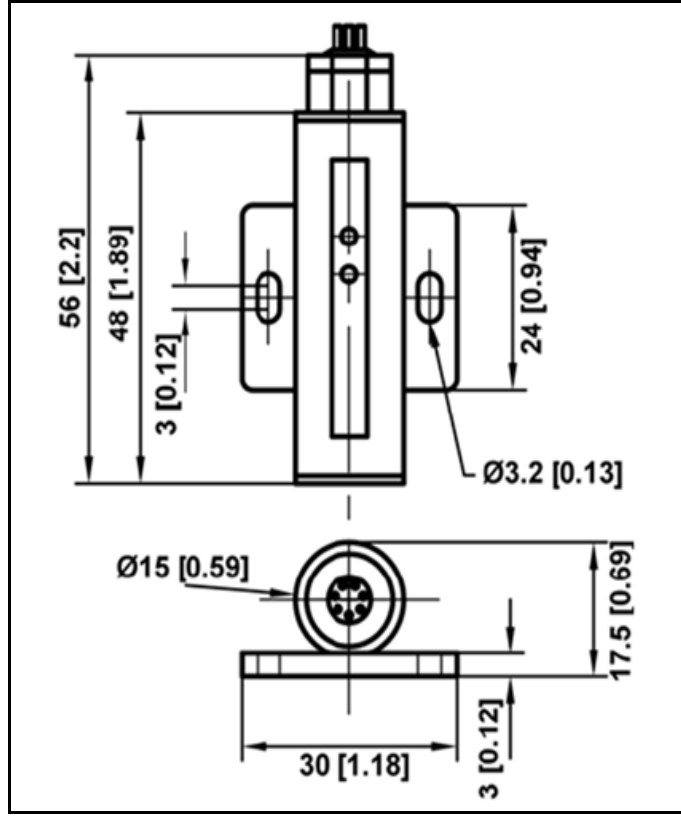
Teknik Özellikleri	Değerler
Ölçüm Aralığı	0-20 N
Zarar Sınırı	2 - 4 x F.S
Tahrip Sınırı	3-6 x F.S
Linerite	$\leq \pm 0.5\%$ F.S
Companse Sıcaklık Aralığı	0 – 60 °C
Full Scale	100 mV
Sıfır Ayarı	$< \pm 10$ mV

III.1.4. Amplifikatör

Amplifikatör yük hücresinden alınan sinyallerin yükseltilmesi ve sistemde oluşabilecek parazitlerin filtrelenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Amplifikatörün kalibrasyonu yetkili servis tarafından yapılmıştır. Amplifikatörün teknik özellikleri Tablo III.3’de, teknik resmi ise Şekil III.7’de verilmiştir.

Tablo III.3 XAM-BV Amplifikatörün teknik özellikleri

Teknik Özellikleri	Değerler
Güç Kaynağı	$\pm 5 - \pm 18$ V
Çıkış Sinyali	± 10 V (min. $V_{gir} = \pm 12$ V)
Sıfır Ayarı	± 20 % Çıkış Sinyali
Kazanç	± 5 % Fabrika Ayarı
Tüketilen Akım	70 mA max.
Çalışma Sıcaklığı	-10 - +70° C
Depolama Sıcaklığı	-20 - +80° C



Şekil III.7. XAM-BV Amplifikatörün teknik resmi

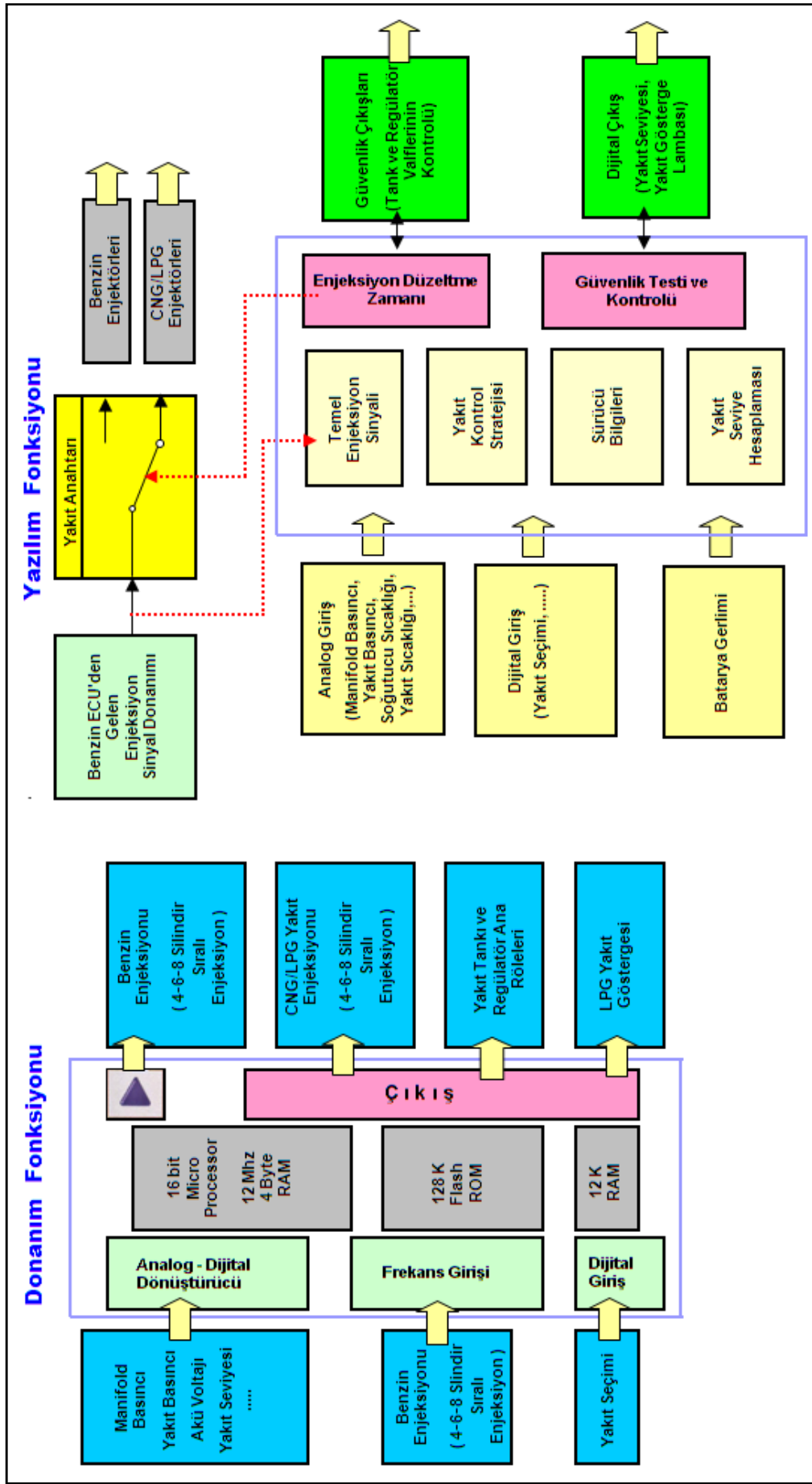
III.1.5. Elektronik Kontrol Ünitesi

Bu çalışmada Üçyıldız Otomotiv firması tarafından geliştirilen Vogasplus marka EKÜ kullanılmıştır. LPG dönüşüm sisteminde kullanılan bu EKÜ yazılımında yapılan değişikliklerle CNG dönüşüm sistemlerinde de kullanılabilir. Şekil III.8’de 4 silindir araçlar için kullanılan EKÜ görülmektedir. Bu EKÜ’nün 6 ve 8 silindirli motorlu taşıtlar için kullanılan versiyonları da üretilmektedir. Bu çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için EKÜ’nün yazılımında modülasyonsuz darbe genişliği, modülasyonlu darbe kullanım oranı ve modülasyonlu darbe frekansı, değişken hale getirilmiştir.



Şekil III.8. Elektronik kontrol ünitesi

EKÜ enjektörleri DGM’li darbeler ile tetiklemektedir. EKÜ motor devrini benzin yakıt enjeksiyonlarını analiz ederek belirlemektedir. Gaz enjektörleri tarafından motora gönderilecek LPG yakıt miktarı her silindire ait benzin yakıt enjeksiyonları izlenerek belirlenmektedir. Şekil III.6’da gaz enjeksiyon sistemi EKÜ’sünün yazılımsal ve donanımsal fonksiyonları gösterilmektedir.



Şekil III.9. Gaz enjeksiyon sisteminin donanımsal ve yazılımsal fonksiyonları [30]

III.1.6. Dijital Osilaskop

Ölçüm sistemlerinden alınan verilerin değerlendirilmesi ve sayısallaştırılarak bilgisayar ortamına aktarılması LeCroy marka LT374 model renkli ekran bir dijital osiloskopa gerçekleştirilmiştir. Osiloskobun teknik özellikleri Tablo III.4’de verilmiştir. Osiloskobun kalibrasyonu cihazın kendisi tarafından otomatik olarak yapılmaktadır.

Tablo III.4 Dijital osiloskobun teknik özellikleri (LeCroy marka LT374 model)

Teknik Özellikleri	Değerler
Kanal Sayısı	4
Band Genişliği	500 MHz
Hassasiyet (50 Ω veya 1M Ω)	2mV~10V/div
Timebase	Aynı anda bağımsız ve dört bağımsız zoom izi
Kademeler	500ps/div - 1000s/div
Saat Doğruluğu	≤ 10 ppm
Örnekleme Hızı	
1. Kanal Max.	4 GS/s
2. Kanal Max.	4 GS/s
3-4. Kanal Max.	2 GS/s
Maksimum Kayıt Nokta/Kanal	
1. Kanal Max.	500k / 2M / 8M
2. Kanal Max.	500k / 2M / 8M
3-4. Kanal Max.	250k / 1M / 4M

III.1.7. Güç Kaynağı

Bu çalışmada Sunyo HY 3020 E marka güç kaynağı kullanılmıştır. Bu cihaz sabit voltaj ve akım üretebilmekte ayrıca voltaj ve akım değerleri hassas olarak ayarlanabilmektedir. Güç kaynağının teknik özellikleri Tablo III.5’te verilmiştir.

Tablo III.5 Güç kaynağının teknik özellikleri(Sunyo HY 3020 E)

Teknik Özellikler	Değerler
Çıkış Voltajı	0 - 30 V
Çıkış Akımı	0 - 20 A
Max. Güç	20 x 30 = 600 Watt
Input Voltajı	110 V / 60 Hz, Opsiyonel olarak 200V - 50 Hz
Gerilimde Hata Oranı	0,01%
Akımda Hata Oranı	0,20%
Voltaj Taşımada Kaynaklanan Hata	0,01 % + 3mV
Akım Taşımada Kaynaklanan Hata	0,2 % + 3mA
Dalgalanma	2 mV r.m.s.
Gürültü	10 mA r.m.s.

III.1.8. Arayüz Programı

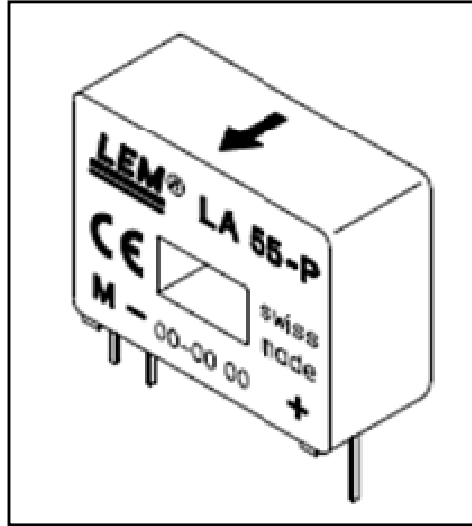
Bu çalışmada Vogasplus sıralı LPG dönüşüm sistemine ait arayüz programı kullanılmıştır. Arayüz programı LPG dönüşümü yapılan araçların çalışma koşullarına göre LPG EKÜ'sünün ayarlamasını sağlamaktadır. Bu çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için arayüz programında özel değişiklikler yapılmıştır. Revize edilen arayüz programı, enjektöre gönderilen DGM'li darbelerin modülasyonlu darbe kullanım oranını, modülasyonsuz darbe süresi ve modülasyonlu darbe frekansı değerlerinin kontrol edilmesini sağlamıştır. Arayüz programının sistem ayarları bölümündeki enjeksiyon parametreleri Şekil III.10'de gösterilmiştir.



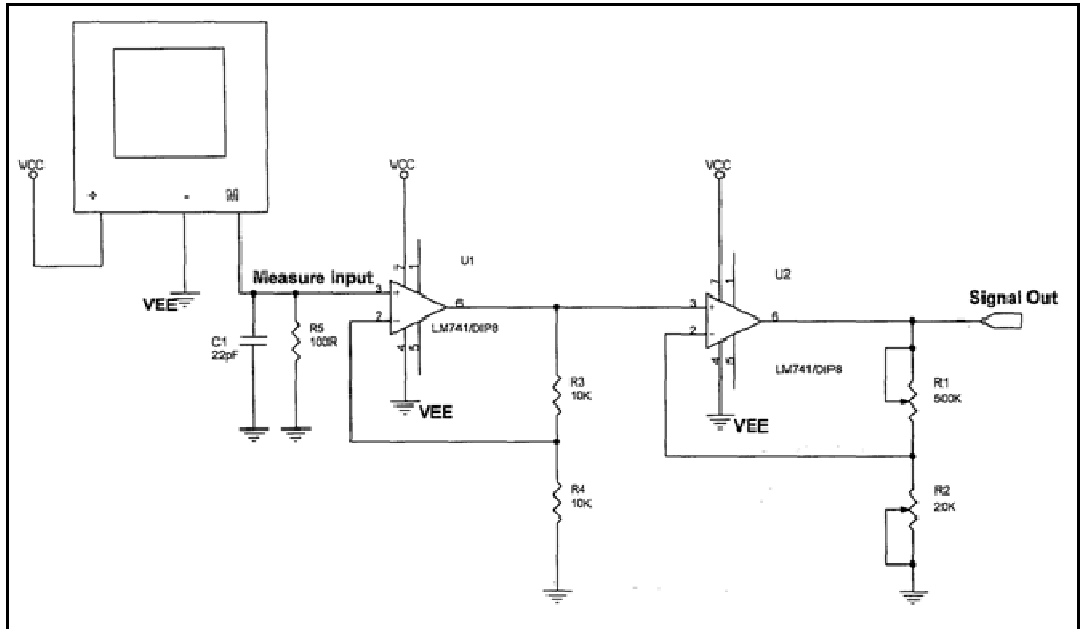
Şekil III.10. Arayüz programı

III.1.9. Akım Ölçer ve İşlemsel Yükseltgeç

Gaz enjektörünün karakteristiğinin belirlenmesinde ikinci bir yöntem olarak enjektör bobininden geçen akımın analiz edilmesi kullanılmıştır. Enjektör bobininden geçen akımın ölçülmesi için LA-55P akım ölçer (transdüseri) kullanılmıştır. Şekil III.11’de görülen akım ölçerinden, akım ölçülmek istenen iletken şeklindeki ok yönünden geçirilerek ölçüm yapılmıştır. Akım ölçerinde akım seviyesi 1/1000 oranında gerilim seviyesine çevrilmektedir. Akım ölçerinden alınan gerilim sinyal değeri çok düşük olmasından dolayı bir yükseltgeç devresi kullanılmıştır. Devre çift kademeli işlemsel yükseltgeç devresidir. u_1 ve u_2 entegreleri sayesinde yükseltme işlemi yapılmaktadır. LA-55-P akım transdüserinin M (sinyal) ucundan alınan gerilim bilgisi u_1 entegresinin girişine verilerek 10x10 oranında yükseltilerek u_2 entegresine giriş yapılır. u_2 entegresinde bulunan R_1 ve R_2 ayarlı dirençler sayesinde çıkış gerilim seviyesi istenilen değerde elde edilmektedir. R_1 ve R_2 dirençlerinin devredeki görevleri enjeksiyon sinyalinden reel açma zamanını grafiksel olarak belirlenmesini sağlayacak şekilde enjeksiyon sinyalinin ayarlanmasına imkan tanımaktadır. C_1 kondansatörü filtre amaçlı kullanılmıştır. Parazit gerilim sinyallerini filtrelemek amacıyla kullanılmıştır. Şekil III.12’de çift kademeli işlemsel yükseltgecin devresi verilmiştir.



Şekil III.11. LA-55-P Akım ölçeri



Şekil III.12. İşlemsel yükseltgeç

III.1.10. Sinyal Jeneratörü

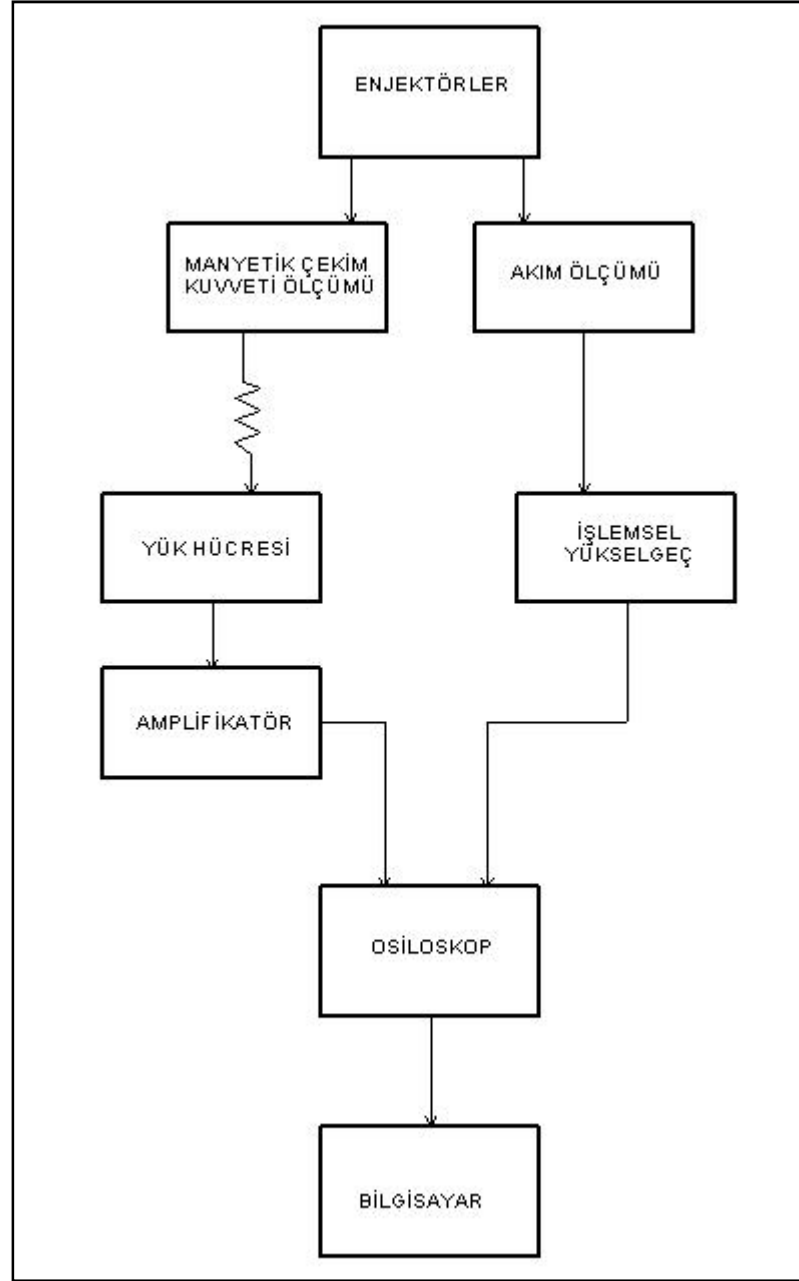
Enjektör bobininin akım analizinde sinyal jeneratörü kullanılmıştır. Sinyal jeneratörü ile 0-20 ms arasında sinyal üretilebilmektedir. Sinyal değeri ayarlama aralığı ise 0,05 ms'dir. Sinyal tekrarlama kapasite sayısı 10000 olup 5'er birim aralıklarla ayarlanabilmektedir. Ölçümler 10 ms'lik sinyalin 300 kez tekrarlanmasıyla gerçekleşmiştir.



Şekil III.13. Sinyal jeneratörü

III.2. DENEY PROSEDÜRÜ

Bu çalışmada, deneysel çalışmalar iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, enjektör bobininin enjektör nüvesine uygulamış olduğu manyetik çekim kuvveti değişiminin incelenmesiyle enjektör çalışma karakteristiği hakkında deneysel bulgular elde edilmiştir. İkinci aşamada ise enjektör bobinden geçen akımın değişimi incelenerek enjektör çalışma karakteristiği incelenmeye çalışılmıştır. Şekil III.14.'de manyetik çekim kuvveti ve akım ölçümünün deney şeması görülmektedir. Manyetik çekim kuvveti ölçümü yapılır iken enjektör nüvesi ile yük hücresi arasındaki bağlantı yaylı bir tel ile sağlanmıştır. Manyetik çekim kuvveti deneyinde yük hücresi ile amplifikatör kullanılırken, akım ölçümü deneyinde işlemsel yükseltgeç kullanılmıştır. Bu bölümde bu deney prosedürleri açıklanacaktır.

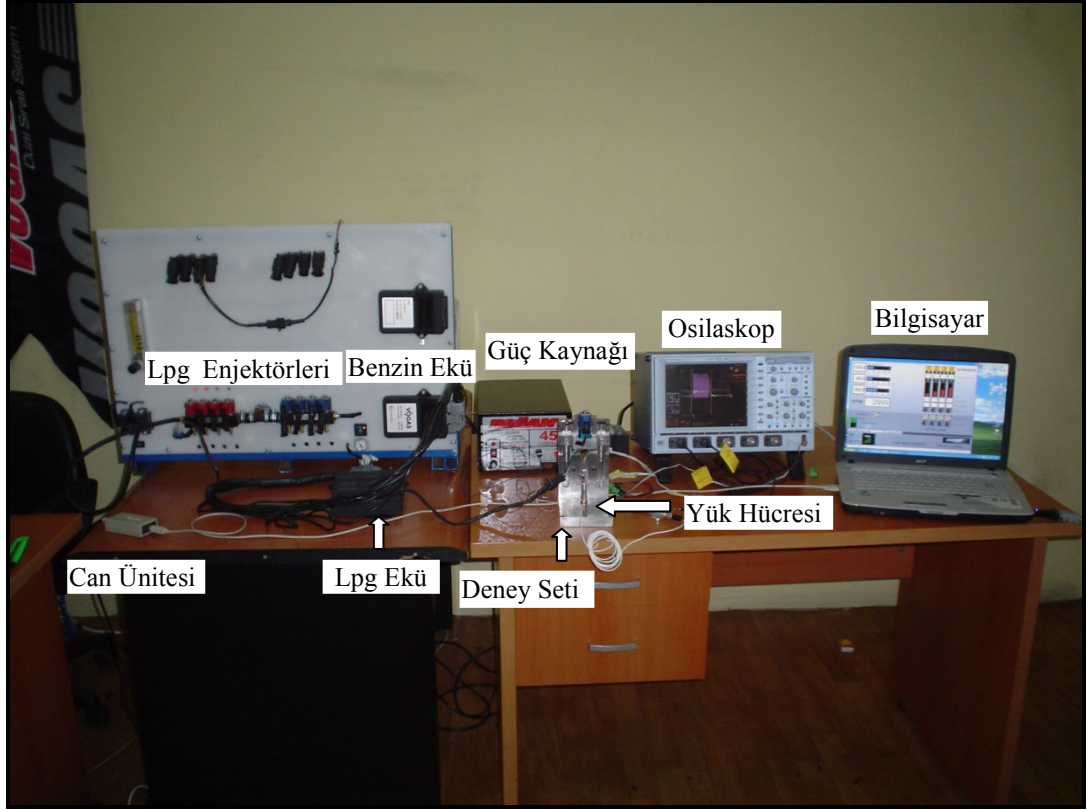


Şekil III.14. Manyetik çekim kuvveti ve akım ölçümü deney şeması

III.2.1. Manyetik Çekim Kuvvetinin Değişimine Göre Enjektör Karakteristiğinin İncelenmesi

Bobin manyetik çekim kuvveti, enjektörün çalışma karakteristiğini gösteren önemli bir parametredir. Aynı zamanda manyetik çekim kuvveti enjektör açılma zamanı, kapanma zamanı ve enjektör nüvesinin açılma durumundaki konumunu etkilemektedir. Bu da enjektörün debisini değiştirmektedir. Bu sebep den dolayı bu bölümde çeşitli parametrelere göre manyetik çekim kuvveti değişimleri incelenmiştir. Manyetik çekim kuvvetini etkileyen parametreler olarak, Tablo

III.6’da görüldüğü gibi (darbe genişliği, modülasyonsuz darbe genişliği, modülasyonlu darbe kullanım oranı, modülasyonlu darbe frekansı, besleme gerilimi, nüve açılma mesafesi, sıcaklık) etkileri incelenmiştir. Şekil III.15.’de deney düzeneğinin genel bir görünümü verilmiştir.



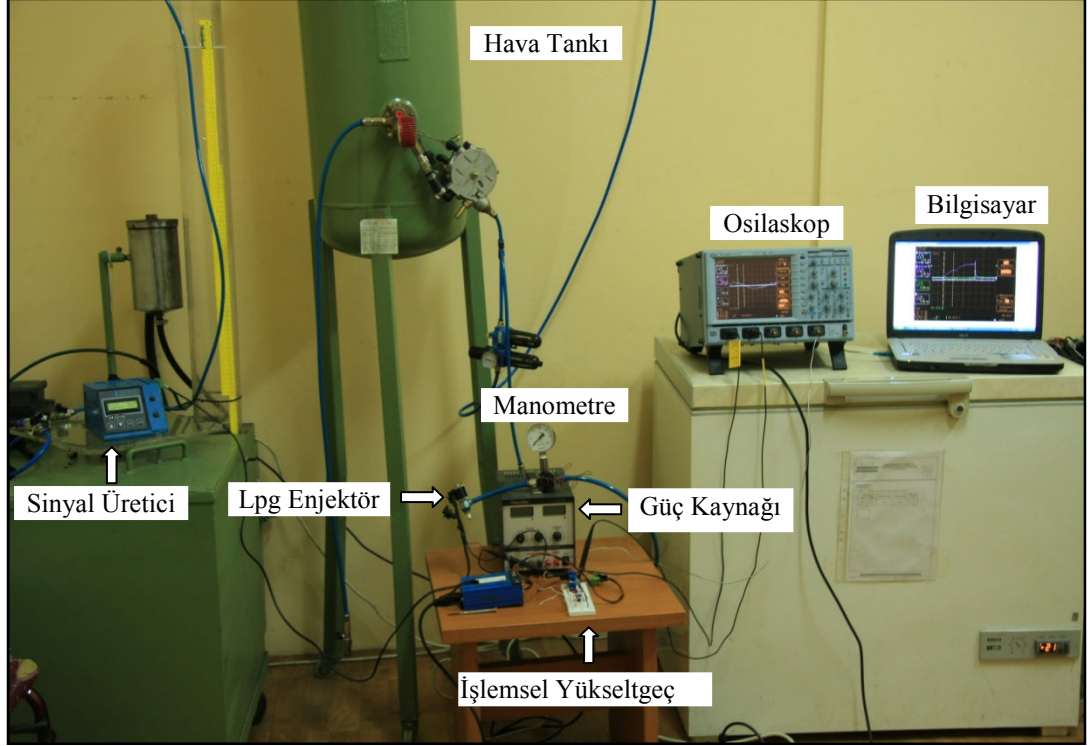
Şekil III.15. Manyetik çekim kuvveti deney düzeneği

Tablo III.6 Manyetik çekim kuvveti değişimine göre yapılan deneylerin parametre değerleri

Deneyler	Darbe Genişliği (ms)	Modülasyonsuz Darbe Genişliği (ms)	Modülasyonlu Darbe Kullanım Oranı (%)	Modülasyonlu Darbe Frekansı (kHz)	Besleme Gerilimi (V)	Nüve Açılma Mesafesi (mm)	Sıcaklık (°C)
1	5	3,6	75	1,3	12	0,6	20
2	10						
3	15						
4	20						
5	20	1	75	1,3	12	0,6	20
6		2					
7		2,3					
8		2,5					
9		3					
10		3,5					
11		5					
12		10					
13		15					
14		20					
15	20	3,6	50	1,3	12	0,6	20
16			60				
17			65				
18			68				
19			70				
20			80				
21			90				
22			100				
23	20	3,6	75	1,3	12	0,6	20
24				5			
25				10			
26				20			
27				30			
28				50			
29	20	3,6	75	1,3	10	0,6	20
30					11		
31					12		
32					13		
33					14		
34	20	3,6	75	1,3	12	0,4	20
35						0,5	
36						0,7	
37						0,8	
38						0,9	
39						1	
40						1,2	
41						1,4	
42	20	3,6	75	1,3	12	0,6	-20
43							-10
44							0
45							10
46							20

III.2.2. Akım Değişimine Göre Enjektör Karakteristiğinin İncelenmesi

Enjektör çalışma karakteristiğinin belirlenmesinde bobinin çektiği akım incelenmesi gereken diğer bir önemli parametredir. Bu parametrenin değişimi farklı fark basınç değerleri için incelenmiştir. Şekil III.16’de deneylerin gerçekleştirildiği deney düzeneğinin genel görünümü verilmiştir.



Şekil III.16. Akım değişimi deney düzeneği

Bu deney sürecinde fark basınç değişiminin enjektör açılma karakteristiğinin üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Sıralı gaz enjeksiyon sistemlerinde regülatör sonrasındaki oluşan basınç ile manifold basıncındaki değişimin farkı (fark basınç) gaz enjektörlerinin hacimsel debisini etkilemektedir. Manifold basıncının motor çalışma koşullarına göre sürekli değişken olmasından dolayı regülatör, fark basıncı belirli bir değerde (1 atm) tutmaya çalışmaktadır. Ancak motora uygulanan ani değişimler manifold basıncını hızla değiştirmektedir. Bu tür durumlarda regülatör bu durumu dengileyememektedir (1 atm’de tutamamaktadır). Bu nedenle bu fark basınç ölçülerek, benzin enjeksiyon sinyaline göre gaz enjektörlerinin sinyalleri yeniden düzenlenmektedir.

BÖLÜM IV.

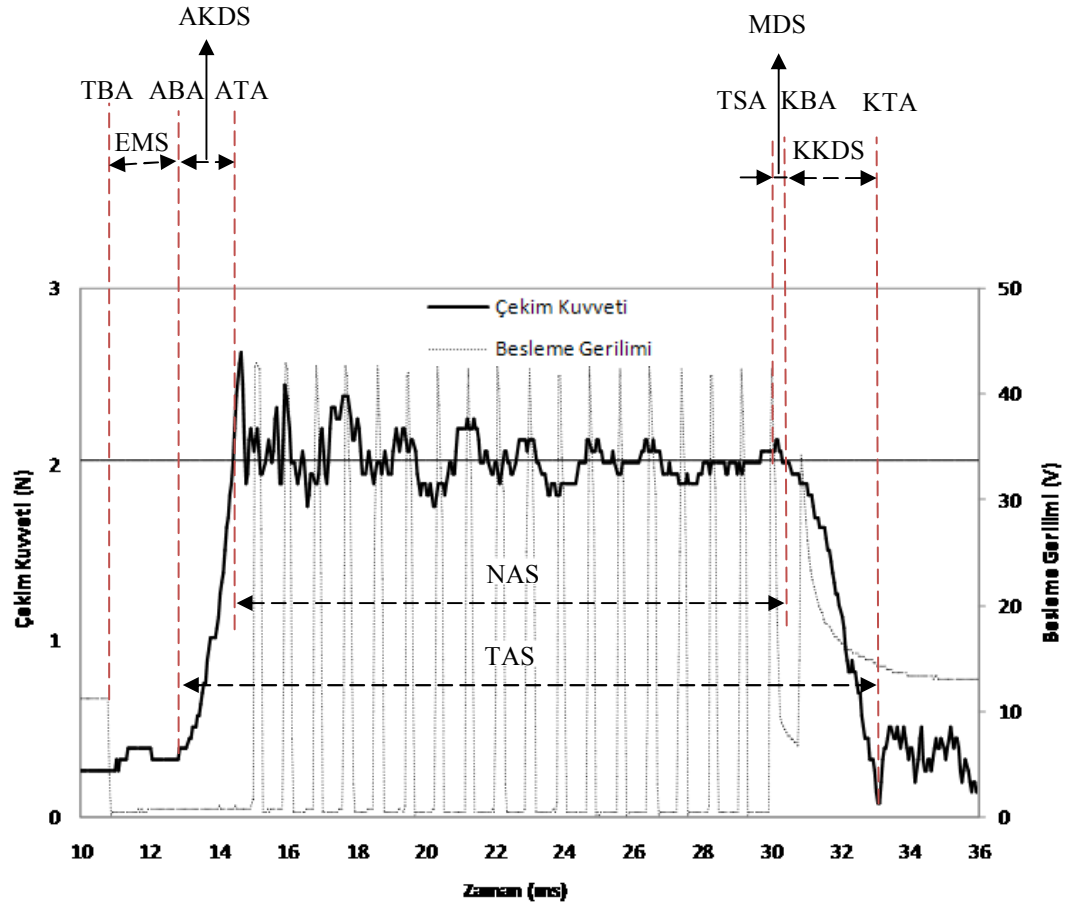
DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

IV.1. MANYETİK ÇEKİM KUVVETİNİN DEĞİŞİMİNİN PARAMETRELERE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

Manyetik çekim kuvveti enjektör açılma zamanı, kapanma zamanı ve enjektör nüvesinin açılma durumundaki konumunu etkilemektedir. Bu da enjektörün debisini değiştirmektedir. Bu sebep den dolayı bu çalışmada, manyetik çekim kuvveti üzerinde etkili olduğu görülen parametrelerin etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Darbe genişliği, modülasyonsuz darbe genişliği, modülasyonlu darbe kullanım oranı, modülasyonlu darbe frekansı, besleme gerilimi, sıcaklık ve enjektör nüvesi açılma mesafesi manyetik çekim kuvveti üzerinde etkili olduğu görülen parametrelerdir. Bu bölümde bu parametrelerin değerleri değiştirilerek manyetik çekim kuvveti üzerindeki etkileri incelenmiş ve elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

Şekil IV.1’de etkili parametrelerin belirli değerleri için yapılan deneyin gerilim ve yük hücresi sinyal değişimi örnek olarak verilmiştir. Konunun anlatımı için gerekli olan tanımlamaların kısaltmaları şekil üzerinde verilip açılımları liste halinde verilmiştir. Kullanılan tanımlamalar gerilim ve yük hücresi sinyal değişimlerine göre belirlenmiştir. Bu tanımlamalar enjektörün çalışma karakteristiğini belirlemektedir.

Bu bölümdeki deneyler enjektörden gaz geçmez iken yapılmıştır. Enjektörün giriş ve çıkışındaki basınçlar atmosfer basıncına eşit olup fark basınç sıfırdır. Enjektörden geçen havanın, yakıt hücresinin ölçüm hassasiyetini etkilemesinden dolayı ölçümler gazsız yapılmıştır.



Şekil IV.1. Enjektörün örnek gerilim ve yük hücresinin örnek sinyal değişimi

TBA: Tetiklemenin Başladığı An

TSA: Tetiklemenin Sonlandığı An

ABA: Açılmanın Başladığı An

ATA: Açılmanın Tamamlandığı An

KBA: Kapanmanın Başladığı An

KTA: Kapanmanın Tamamlandığı An

EMS= ABA-TBA ; Enjektör Manyetiklenme Süresi

AKDS= ATA-ABA ; Açılma Konum Değişme Süresi

EAS= EMS+AKDS ; Enjektör Açılma Süresi

MDS= KBA-TSA ; Manyetiklenme Devam Süresi

KKDS=KTA-KBA; Kapanma Konum Değişme Süresi

EKS= MDS+KKDS ; Enjektör Kapanma Süresi

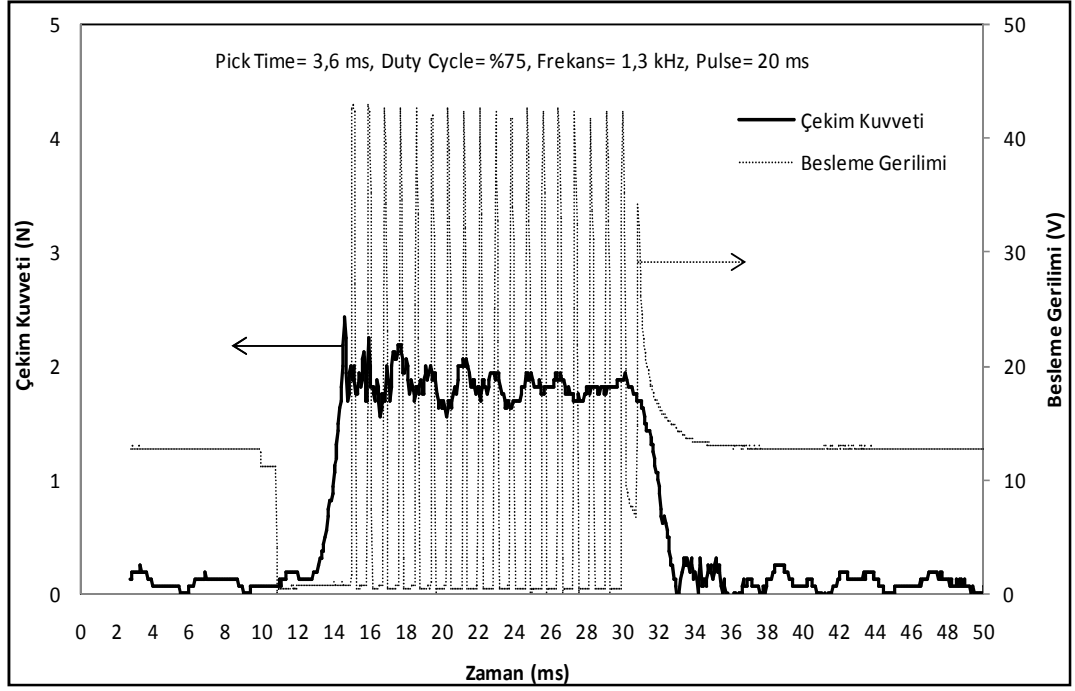
NAS= KBA-ATA; Net Akış Süresi

TAS= KTA-ABA ; Toplam Akış Süresi

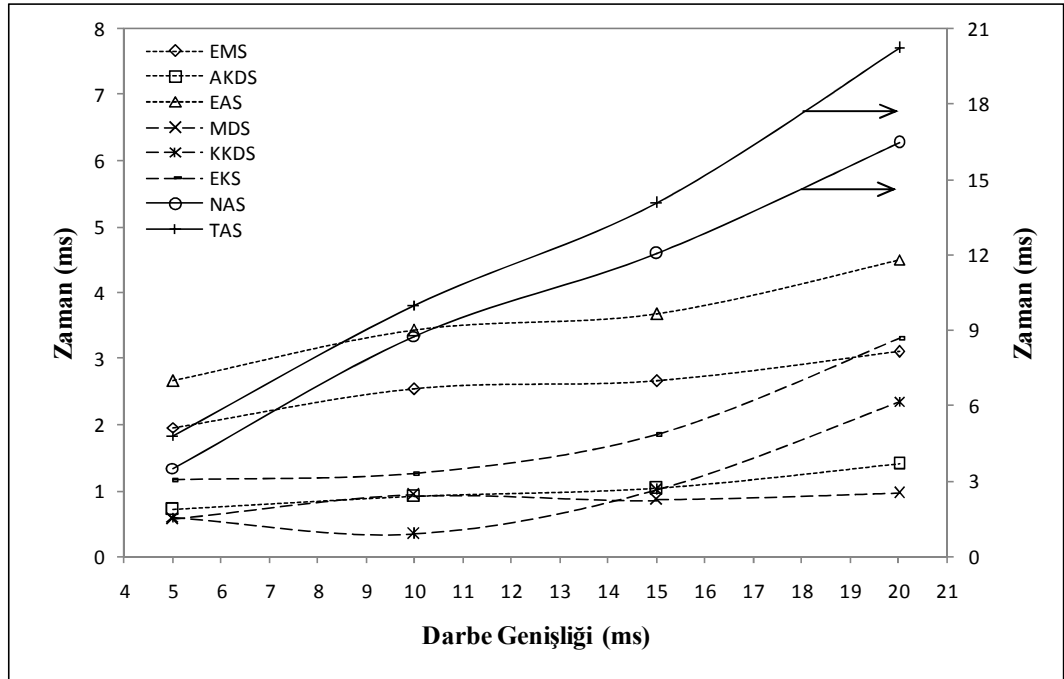
IV.1.1. Darbe Genişliği Değişiminin Etkisinin İncelenmesi

Motor devri ve yükünün artması ile birlikte silindirlere gönderilen yakıt miktarının arttırılması gerekmektedir. Motorun emdiği havanın artışına bağlı olarak yakıt miktarının arttırılması için EKÜ'den enjektörlere gönderilen darbe genişliklerinin arttırılması gerekmektedir. Enjektörlerin darbe genişliklerine bağlı olarak yakıt debisinin belirlenebilmesi için, darbe genişliğinin enjektörlerin açılma ve kapanma sürelerini nasıl etkilediği bilinmesi gerekmektedir. Bu etkinin bilinmesiyle ideal hava-yakıt karışımlarının temini sağlanır. Gaz yakıt enjeksiyon sistemlerinin, EKÜ'sü gaz enjektörlerinin açık kalma sürelerini (darbe genişlikleri) benzin enjektörlerinin açık kalma sürelerine göre belirlemektedirler. Buna göre gerek benzin enjektörlerinin ve gerekse gaz enjektörlerinin darbe genişliğine göre çalışma karakteristiklerinin bilinmesi durumunda, benzin enjeksiyonuna karşılık gelen ve benzin motorunun gaz yakıt kullanımında ideal çalışmasını temin eden gaz enjeksiyon süresi belirlenebilir.

Bu nedenden dolayı bu bölümde deney enjektörüne uygulanan darbe genişlikleri (pulse) değiştirilerek enjektörün açma ve kapanma zamanları arasındaki değişimler incelenmiştir. Ayrıca net akış ve toplam akış süreleri incelenmiştir. 4 farklı darbe genişliğinin etkileri incelenmiştir. Bu çalışma boyunca modülasyonsuz darbe genişliği 3,6 ms, modülasyonlu darbe kullanım oranı %75, besleme gerilimi 12 volt ve modülasyonlu darbe frekansı 1,3 kHz, sıcaklık 20°C olarak ayarlanmış ve deney boyunca sabit tutulmuştur. Şekil IV.2'de 20 ms darbe genişliğinde enjektöre uygulanan gerilim değişimi ve yük hücresi sinyal değişimi görülmektedir.



Şekil IV.2. 20 ms darbe genişliğinde enjektör gerilimi ve yük hücresi sinyal değişimi



Şekil IV.3. Darbe genişliği değişiminin enjektör çalışma karakteristiğine etkisi

Şekil IV.3’de görüldüğü gibi enjektöre gönderilen darbe genişliği arttırıldığında EAS ve EKS artmaktadır. Darbe genişliği 20 ms olduğunda EAS

ortalama değere göre %26,27 oranında artmaktadır, yani enjektör daha geç açılmaktadır. EKS ise ortalama değere göre %42,72 oranında artmaktadır. Buradan, enjektörün darbe genişliği arttırıldığında EAS ve EKS'nin ciddi bir şekilde arttığı gözlemlenmektedir. Enjektörün net akış ve toplam akış sürelerindeki değişimlere bakıldığında, darbe genişliği ile doğru orantılı olarak net akış ve toplam akış sürelerinin de arttığı görülmektedir.

NAS, darbe genişliği 20 ms olduğunda ortalama değere göre %61,53 oranında artmaktadır. TAS ise ortalama değere göre %64,78 oranında artmaktadır. Bu sonuçlara göre; darbe genişliğinin enjektör çalışma karakteristiği üzerinde önemli etkisi olduğu söylenebilir.

IV.1.2. Modülasyonsuz Darbe Genişliği Değişiminin Etkisinin İncelenmesi

Enjektörlerin, motor yakıt taleplerini hızlı bir şekilde ve gecikmeksizin karşılaması istenir. Bu sürücünün motordan beklenen taleplerinin ani olarak karşılanabilmesi için gereklidir. Bunun sağlanması enjektörlerin açılma gecikmelerinin minimize edilmesini gerektirir. Enjektörlerin hızlı açılması için yüksek akımla beslenerek yüksek manyetik etki ve bunun sonucunda yüksek manyetik çekim kuvvetinin oluşması sağlanır. Enjektörlerin yüksek akımla beslenebilmeleri için enjektör sargılarının dirençleri azaltılır ve böylece 12 V'luk devreden daha yüksek akımın geçmesi temin edilir.

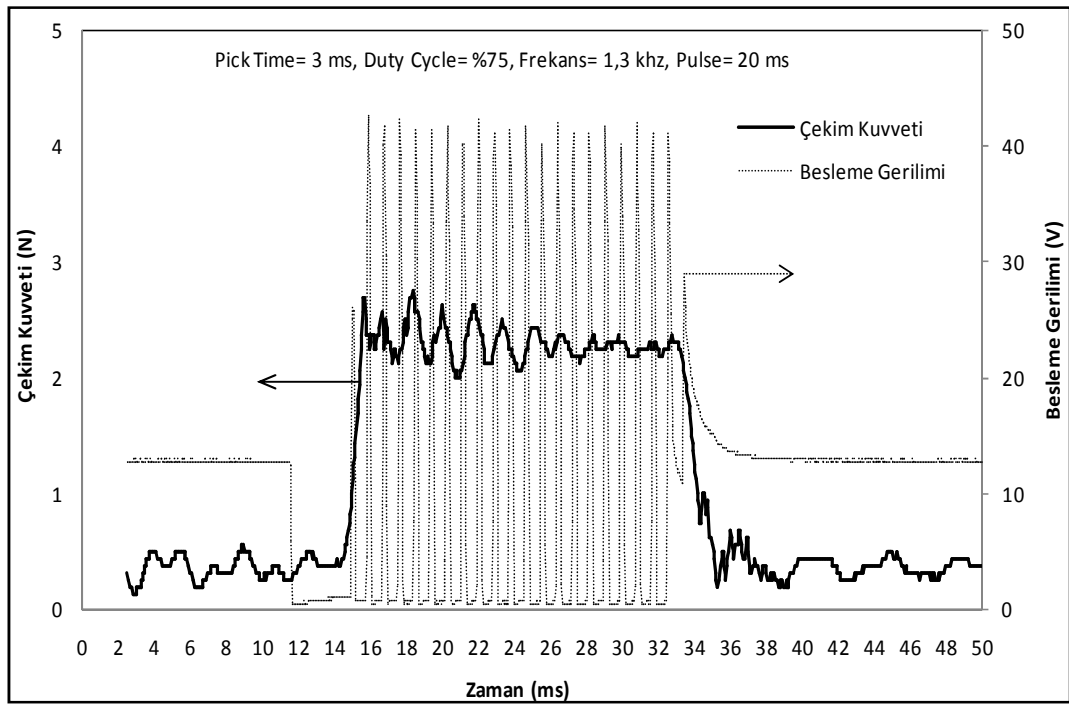
Ancak yüksek akımlarla kontrol edilen enjektörlerde aşırı ısınma problemiyle karşılaşılır. Yüksek sıcaklıklar manyetik çekim kuvvetini olumsuz etkilediği gibi enjektör sargılarının aşırı ısınıp kopmasına veya plastik aksamalarda kalıcı hasarlara sebebiyet verip enjektörün bozulmasına neden olabilmektedir.

Enjektörlerin hem hızlı açılması hem de ısınma probleminin oluşmaması için bölüm III'de detaylıca açıklanan Pick&Hold ve DGM yöntemleri uygulanmaktadır. Bu çalışmada DGM yöntemi uygulamasının etkileri incelenmiştir. Enjektörün hızlı açılması için enjektörün açılma süresi içinde enjektör normal gerilimle beslenmiş ve yüksek çekim kuvvetinin oluşması sağlanmıştır. Enjektörün açılmasından sonra enjektörün açık tutulması için gerekli olan akım ve çekim kuvveti daha düşüktür. Bu düşük akım ve çekim kuvveti DGM'li gerilim ile sağlanabilmektedir.

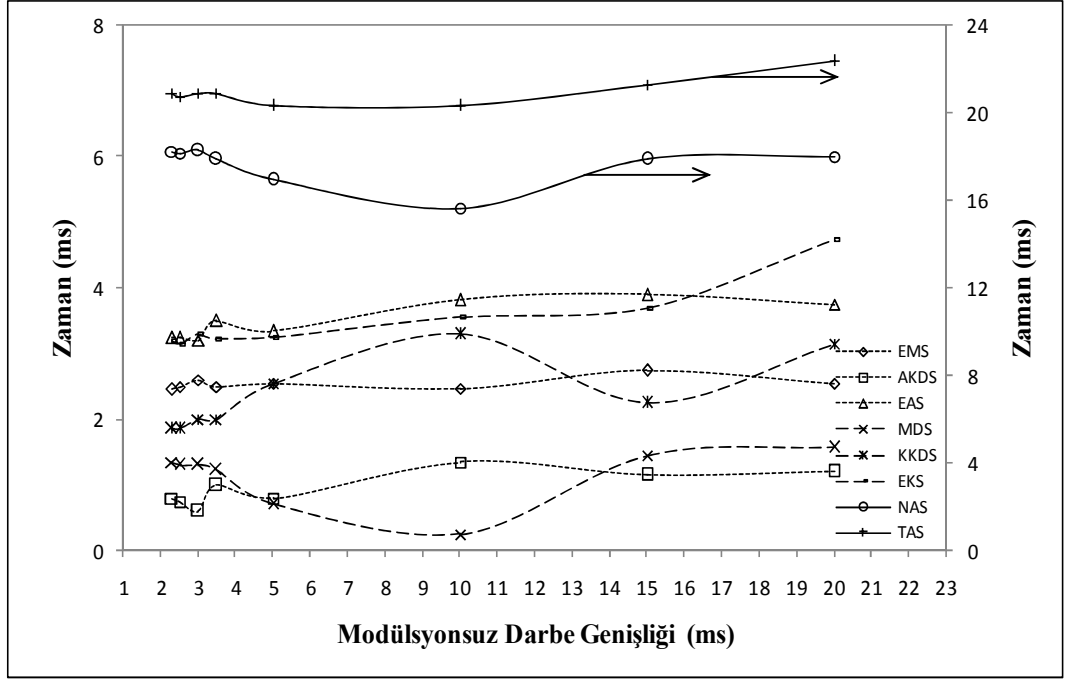
Bu bölümde DGM'nin enjektörün çalışma karakteristiğine etkisi incelenmiştir. DGM ile ilgili tanımlamalar bölüm III'de verilmiştir. DGM'li sinyalin normal darbe genişliği değiştirilerek enjektörün çalışma karakteristiği incelenmiştir.

Enjektörde, modülyonsuz darbe genişliği 1-20 ms arasında olan 10 farklı değerde ölçümler yapılmıştır. Ancak 1 ve 2 ms değerlerinde enjektör açılmadığı için bu veriler değerlendirmeye alınmamıştır.

Şekil IV.4'de modülyonsuz darbe genişliği 3 ms olduğunda enjektörün açılma durumu gözükmektedir. Çalışmanın bu bölümünde modülyonlu darbe kullanım oranı %75, modülyonlu darbe frekansı 1,3 kHz, besleme gerilimi 12 volt ve darbe genişliği 20 ms, sıcaklık 20 °C ayarlanmıştır ve deney süresince sabit tutulmuştur.



Şekil IV.4. 3 ms modülyonsuz darbe genişliğinde enjektör gerilimi ve yük hücresi sinyal değişimi



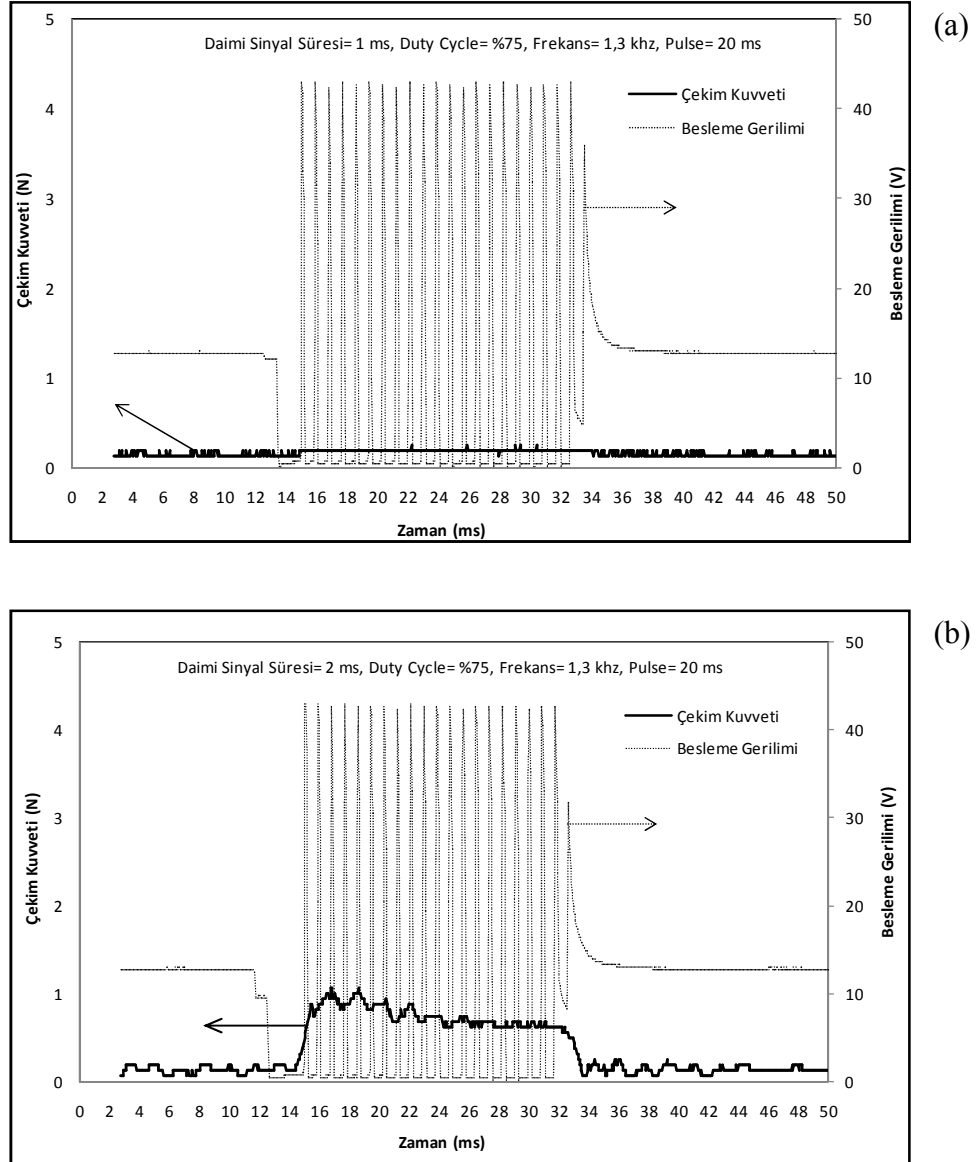
Şekil IV.5 Modülasyonsuz darbe genişliğinin enjektör çalışma karakteristiğine etkisi

Modülasyonsuz darbe genişliği 3 ms değerine kadar EAS azalma eğilimindedir. Modülasyonsuz darbe genişliği 10 ms ve 15 ms olduğunda EAS biraz artış göstermiştir. 20 ms’de tekrar azalma görülmektedir. Modülasyonsuz darbe genişliği 20 ms olduğunda EAS, ortalama değere göre %7,04 artış göstermektedir. Modülasyonsuz darbe genişliğinin EKS üzerindeki etkisi incelendiğinde, daimi sinyal süresi 10 ms oluncaya kadar EKS’te küçük artışlar görülmektedir. Ancak 10 ms’den sonra EKS’te ciddi artışlar meydana gelmektedir. Daimi sinyal süresi 20 ms olduğunda EKS, ortalama değere göre %34,51 oranında artmaktadır.

Modülasyonsuz darbe genişliğinin net akış süresine etkisi incelendiğinde 2,3 ms ile 3,5 ms arasında net akış süresinin sabit olduğu görülmektedir. Ancak 5 ms’de %3,89, 10 ms’de %11,26 ortalama NAS’a göre bir azalma görülmektedir. NAS, modülasyonsuz darbe genişliğinin 15 ile 20 ms değerleri arasında tekrar sabit konuma gelmektedir. Modülasyonsuz darbe genişliği 20 ms iken NAS değeri, %2,05 oranında ortalama değerden fazladır. TAS süresine baktığımızda, daimi sinyal süresi arttıkça TAS’ın arttığı söylenebilir. Modülasyonsuz darbe genişliği 20 ms iken TAS değeri ortalama değerden %6,61 oranında fazladır. Bu sonuçlardan enjektörün açılmasını sağlayan modülasyonsuz darbe genişliğinin enjektör çalışma

karakteristiğini belirli bir yönde ve önemli bir derecede etkilemediği görülmektedir. Bu nedenle enjektörün aşırı ısınmasını engelleyerek çalışma ömrünün uzatılabilmesi için modülyonsuz darbe genişliği enjektörün açılmasını sağlayacak değerde olmalıdır.

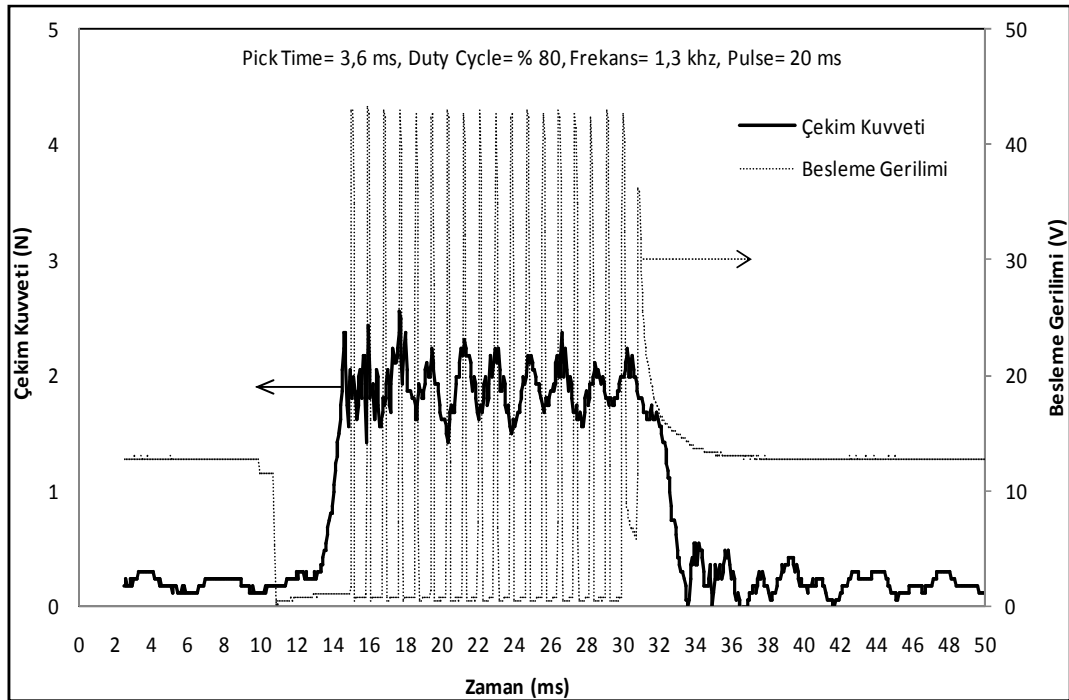
Şekil IV.6.'da, modülyonsuz darbe genişliği değerin 1 ve 2 ms olması durumunda enjektörün açılmadığı görülmektedir.



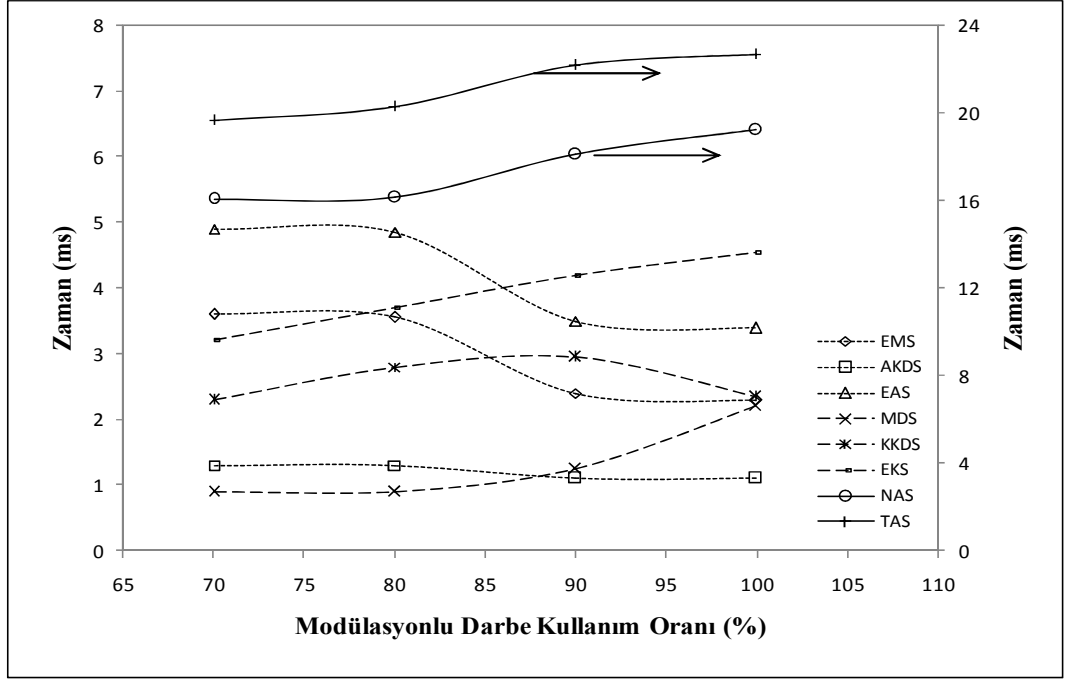
Şekil IV.6. Enjektörün açılmadığı modülyonsuz darbe genişliği (a=1ms, b=2ms)

IV.1.3. Modülasyonlu Darbe Kullanım Oranı Değişiminin Etkisinin İncelenmesi

Bu deney bölümünde modülasyonlu darbe kullanım oranı (duty cycle) değerleri değiştirilerek enjektör çalışma karakteristikleri incelenmiştir. Modülasyonlu darbe kullanım oranı % 70, 80, 90 ve 100 olan değerlerde deneyler uygulanmıştır. Modülasyonlu darbe kullanım oranı %80 iken elde edilen gerilim ve yük hücresi sinyal değişimi şekil IV.7’de verilmiştir. Bu değerlerde enjektörün çalışma karakteristiğinin değişimi şekil IV.8’de gösterilmiştir. Bu bölümde modülasyonsuz darbe genişliği 3,6 ms, modülasyonlu darbe frekansı değişimi 1,3 kHz, darbe genişliği 20 ms, besleme gerilimi 12 volt, sıcaklık 20 °C olarak ayarlanmış ve deney süresince sabit tutulmuştur. Ayrıca % 50, 60, 65, ve 68 değerleri içinde deneyler uygulanmıştır. Ancak bu değerlerde enjektör açılmadığı için ölçüm yapılamamıştır. Şekil IV.9’da enjektörün açılmadığı modülasyonlu darbe kullanım oranı değerleri görülmektedir.



Şekil IV.7. %80 modülasyonlu darbe kullanım oranındaki enjektör gerilimi ve yük hücresi sinyal değişimi



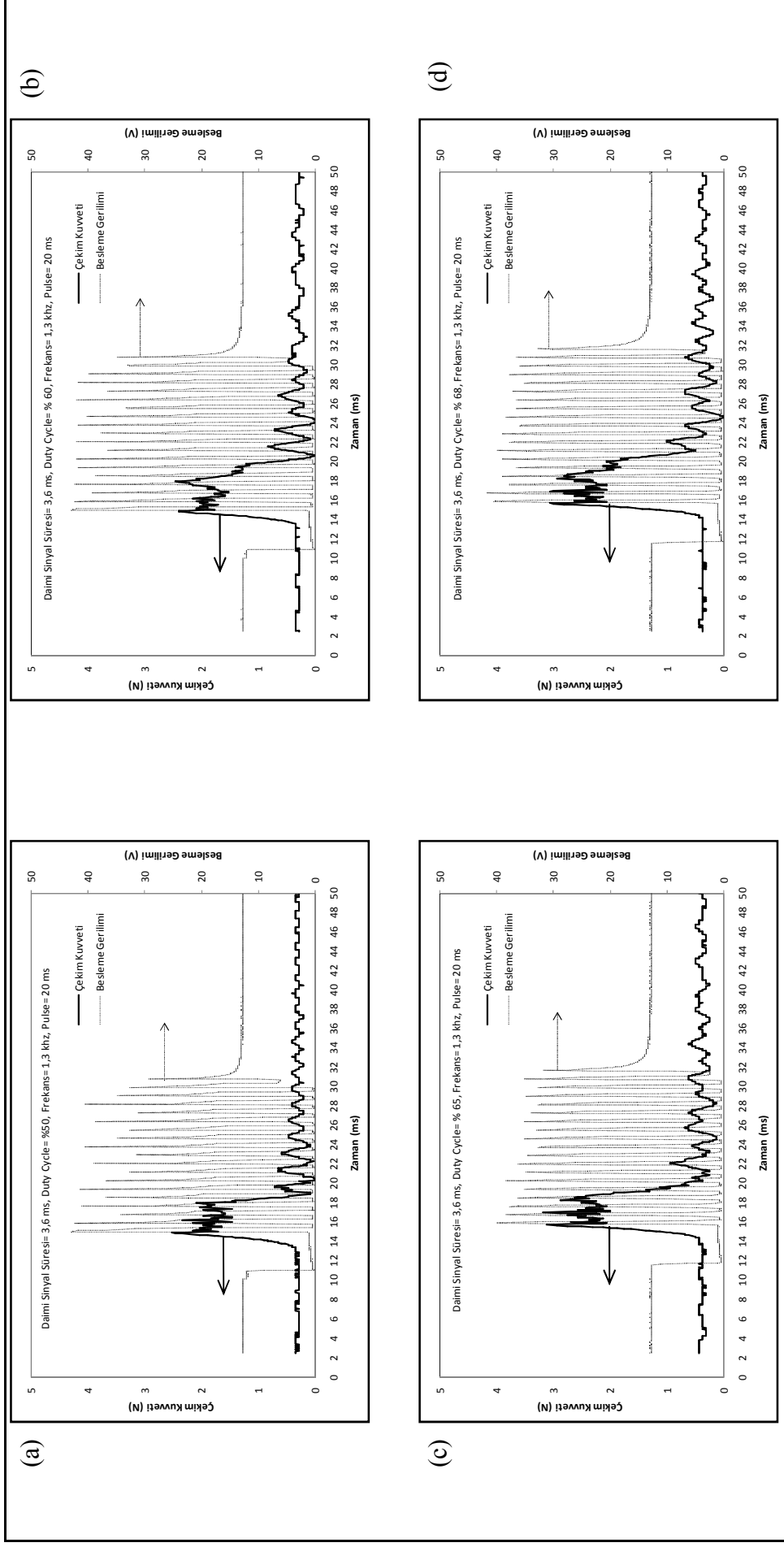
Şekil IV.8. Modülasyonlu darbe kullanım oranı değişiminin enjektör çalışma karakteristiğine etkisi

Şekil IV.8 'da görüldüğü gibi modülasyonlu darbe kullanım oranı arttıkça EAS azalmaktadır. Enjektör %100 olduğunda, modülasyonlu darbe kullanım oranı %70'e göre %30,61 daha hızlı açılmaktadır. Özellikle modülasyonlu darbe kullanım oranı %90 ve %100'de enjektörün açılma süresi bariz bir şekilde düşüş göstermektedir. Modülasyonlu darbe kullanım oranı %100 iken EAS, ortalama değere göre %18,32'lik bir azalma göstermektedir. Bu azalma, modülasyonlu darbe kullanım oranının artması sonucunda manyetik etkinin artarak çekim kuvvetinin artmasına bağlanabilir. Bir diğer parametre olan EKS, modülasyonlu darbe kullanım oranı arttıkça artmaktadır. Enjektör, modülasyonlu darbe kullanım oranı değeri %100 olduğunda, modülasyonlu darbe kullanım oranı %70'e göre %40,18 daha geç kapanmaktadır. Modülasyonlu darbe kullanım oranı %100 iken EKS, ortalama değerden %16,29 daha fazla olmaktadır.

Net akış süreleri incelendiğinde özellikle modülasyonlu darbe kullanım oranı %90 ve %100'ün net akış sürelerinde ciddi bir artış gözlemlenmektedir. Ortalama NAS 17,375 ms'dir. Modülasyonlu darbe kullanım oranı değeri %100 olduğunda, NAS ortalama değerden %10,5 daha fazla olmaktadır. Ayrıca modülasyonlu darbe kullanım oranı %90 ve %100 değerinde TAS'da ciddi bir artış olduğu söylenebilir. Elde edilen ortalama TAS değeri 21,175 ms'dir. Modülasyonlu darbe kullanım oranı %100 olduğunda, ortalama değerden %6,96 daha fazla toplam

akış olmaktadır. Bu durum, enjektörün besleme geriliminin kesilmesinden sonrada manyetik çekimin etkisini sürdürmesinden kaynaklanmaktadır. Modülasyonlu darbe kullanım oranının artması manyetik çekimin etkisi süresini artırmaktadır. Bu da enjektörün daha geç kapanmasına sebebiyet vermektedir.

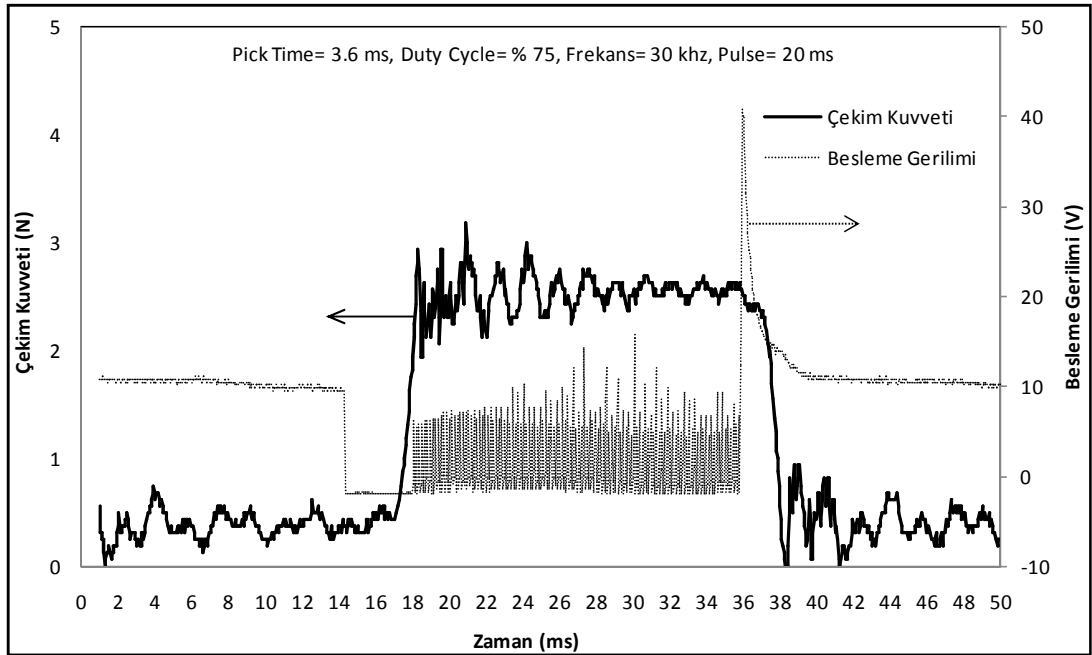
Bu deneyden genel olarak çıkarılacak sonuç; modülasyonlu darbe kullanım oranının artması enjektörün açık kalma süresini ve dolayısıyla gaz akış debisini arttırdığıdır. EKS ile NAS birbiriyle ilişkili olup sonuçlardan da görüldüğü gibi EKS ne kadar uzarsa enjektörden geçen net akış miktarı artmaktadır. Ayrıca modülasyonlu darbe kullanım oranı değeri arttıkça NAS'ta meydana gelen artış oranı, TAS'a göre daha fazla olmaktadır.



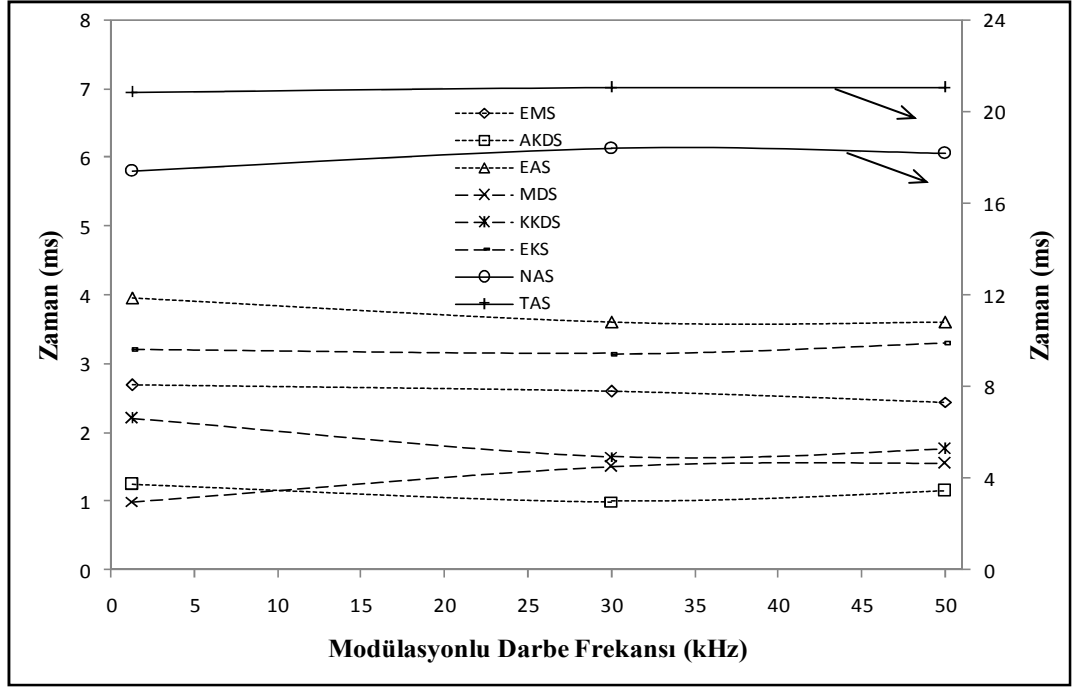
Şekil IV.9. Enjektörün açılmadığı modülasyonlu darbe kullanım oranları (a=%50, b=%60, c=%65, d=%68)

IV.1.4. Modülasyonlu Darbe Frekansı Değişiminin Etkisinin İncelenmesi

Burada modülasyonlu darbe frekansının değiştirilmesinde enjektör karakteristiklerinin değişimleri incelenmiştir. Bu deneyde 6 adet frekans değişiminde ölçümler yapılmıştır. Çalışmanın bu bölümünde modülasyonsuz darbe genişliği 3,6 ms, modülasyonlu darbe kullanım oranı %75 ve darbe genişliği 20 ms, sıcaklık 20 °C olarak ayarlanmış ve deney süresince sabit tutulmuştur. Şekil IV.10'da modülasyonlu darbe frekans değeri 30 kHz olan bir enjektörün çalışma durumu görülmektedir. Deney sonucunda enjektörün 1,3-30 ve 50 kHz değerlerinde açıldığı görülmüştür. Enjektörün bu modülasyonlu darbe frekanslarındaki çalışma karakteristiklerinin değişimi şekil IV.11'de gösterilmiştir. Ayrıca 5, 10 ve 20 khz modülasyonlu darbe frekansında da ölçümler yapılmıştır. Ancak bu modülasyonlu darbe frekanslarında enjektör açılmadığından değerlendirmeye alınmamıştır. Şekil IV.12'de modülasyonlu darbe frekans değerleri 5, 10, ve 20 khz olan enjektör sinyalleri görülmektedir.

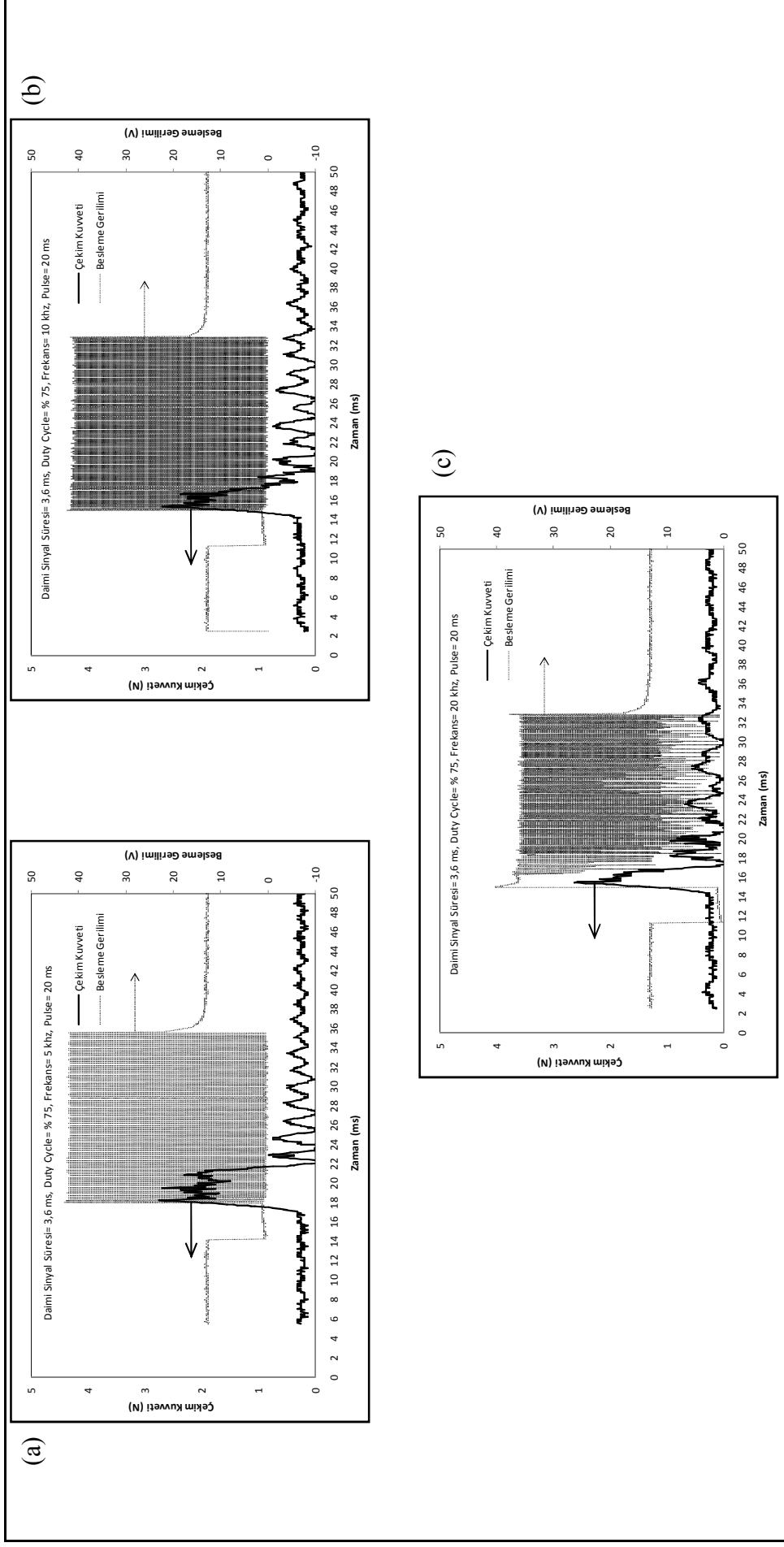


Şekil IV.10. 30 kHz modülasyonlu darbe frekans değerinde enjektör gerilimi ve yük hücresi sinyal değişimi



Şekil IV.11. Modülasyonlu darbe frekans değişiminin enjektör çalışma karakteristiğine etkisi

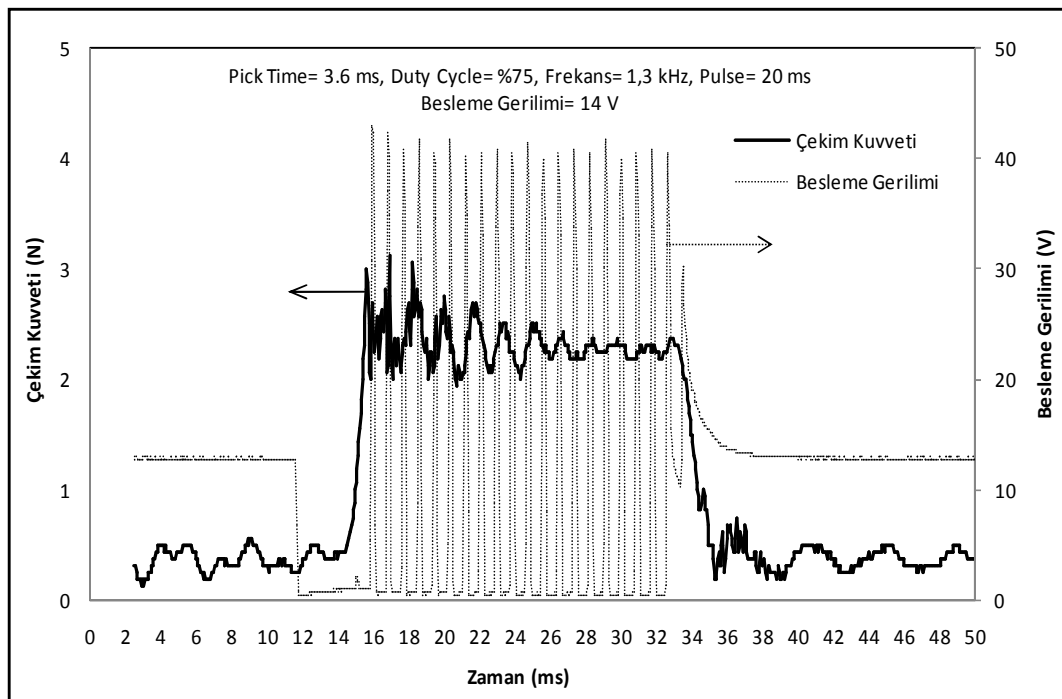
Şekil IV.11'e bakıldığında modülasyonlu darbe frekans değerleri yükseldikçe EAS de çok küçük azalmalar meydana gelmektedir. Modülasyonlu darbe frekans değeri 50 kHz olduğunda, EAS ortalama değere göre %3,13 azalmaktadır. Aynı zamanda EKS de çok küçük artışlar meydana gelmektedir. Modülasyonlu darbe frekans değeri 50 kHz olduğunda, EKS ortalama değere göre %2,59 oranında artmaktadır. Dolayısı ile NAS değerinde %0,92, TAS değerinde %0,31'lik bir artış meydana gelmektedir. Buradan çıkarılabileceğimiz genel sonuç, modülasyonlu darbe frekans değişiminin enjektör karakteristikleri üzerinde çok fazla etkisi olmadığıdır. Ancak bazı modülasyonlu darbe frekans değerlerinde enjektör sağlıklı çalışmamıştır.



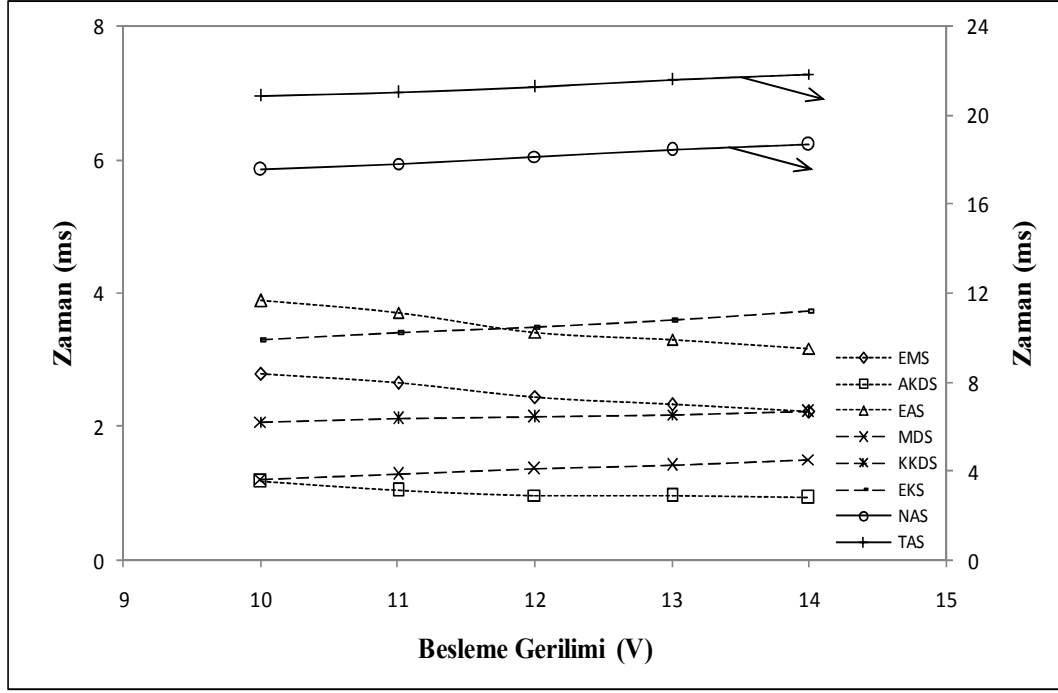
Şekil IV.12. Enjektörün açılmadığı modülasyonlu darbe frekansları (a=5 kHz, b=10 kHz, c=20 kHz)

IV.1.5. Besleme Gerilimi Değişiminin Etkisinin İncelenmesi

Araçta bulunan bataryanın gerilimleri motor çalışma koşullarına göre veya bataryanın kendine özgü koşullarına göre değişebilmektedir. Bu değişimin gaz enjektör debisi üzerine etkisi olmaktadır. Bu nedenle bu etki belirlenerek gaz enjektör sinyalleri batarya gerilimine göre EKÜ tarafından yeniden düzenlenmelidir. Bu nedenle besleme gerilimi olarak batarya geriliminin etkisi de incelenmiştir. Bu bölümde besleme geriliminin değiştirilmesi ile enjektör karakteristiklerinin değişimleri incelenmiştir. Bu deneyde besleme gerilimi 10-14 volt arasında besleme gerilimleri değiştirilerek ölçümler yapılmıştır. Çalışmanın bu bölümünde darbe genişliği 20 ms, modülasyonsuz darbe genişliği 3,6 ms, modülasyonlu darbe kullanım oranı %75 ve darbe genişliği 20 ms, sıcaklık 20 °C olarak ayarlanmıştır ve deney süresince sabit tutulmuştur. Şekil IV.13’de besleme gerilimi 14 Volt olan bir enjektörün çalışma durumu görülmektedir. Enjektörün farklı besleme gerilimlerindeki çalışma karakteristiğinin değişimi şekil IV.14’de gösterilmiştir.



Şekil IV.13. 14 Volt besleme geriliminde enjektör gerilimi ve yük hücresi sinyal değişimi



Şekil IV.14. Besleme gerilimi değişiminin enjektör çalışma karakteristiğine etkisi

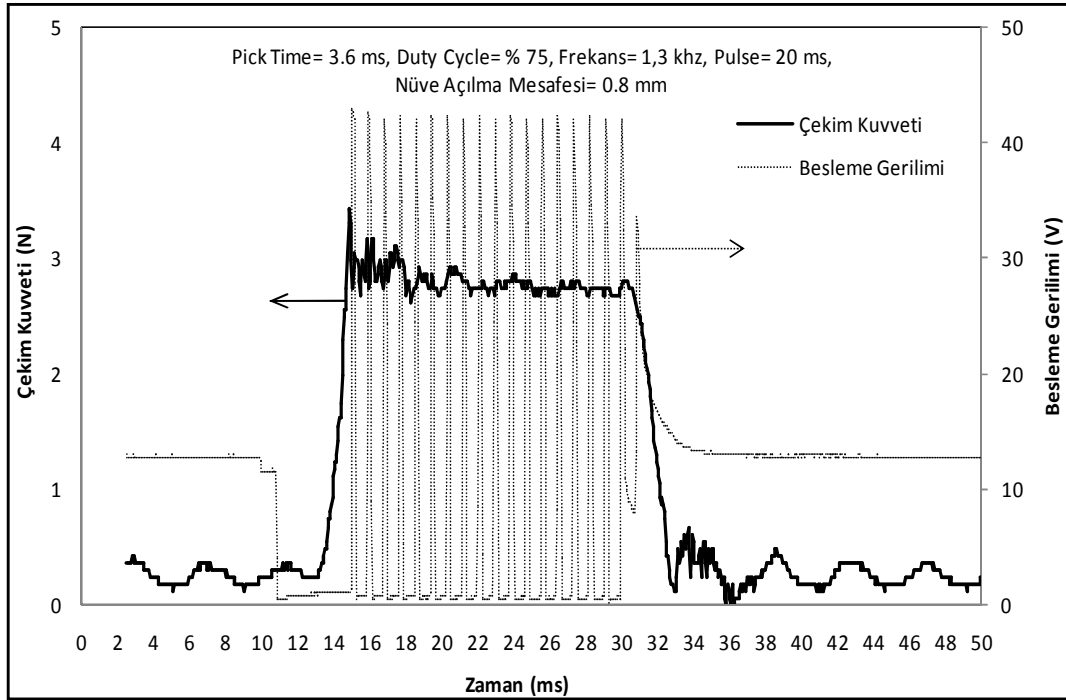
Şekil IV.14'ü incelediğimizde besleme gerilimi arttıkça EAS kısalmakta olduğu görülmektedir. Besleme gerilimini 14 volta yükseltildiğinde EAS ortalama değere göre %9,14 azalmaktadır. Yani enjektör daha çabuk açılmaktadır. Ancak besleme gerilimi yükseldikçe EKS artmaktadır. Besleme gerilimi 14 volt olduğunda EKS ortalama değere göre % 6,38 artmaktadır. Besleme geriliminin NAS ve TAS üzerindeki etkileri incelendiğinde, besleme gerilimi arttıkça NAS ve TAS artmaktadır. Besleme gerilimi 14 volt olduğunda NAS ortalama değere göre %3,09 oranında artmaktadır. TAS ise ortalama değere göre % 2,58 oranında artış göstermektedir. NAS ve TAS'deki artışlar çok küçük olduğundan, besleme geriliminin bu parametreler üzerinde çok fazla etkisi olmadığı söylenebilir.

IV.1.6. Nüve Açılma Mesafesi Değişiminin Etkisinin İncelenmesi

Bu çalışmada incelediğimiz enjektörün tasarımındaki açılma mesafesi, enjektör çalışma karakteristiğini etkilemektedir. Bu tasarımdaki enjektörlerde bobinin sargıları seviyesinde bulunan ayar vidası bobinin oluşturmuş olduğu manyetik etkiyle mıknatıslık özelliği (çekim etkisi) kazanmaktadır. Ayar vidasının bu çekim etkisiyle enjektör nüvesinin hareketi kontrol edilmektedir. Bu ayar vidası ile ayarlanan enjektör açılma mesafesi, ayar vidası ile nüve arasındaki mesafeyi

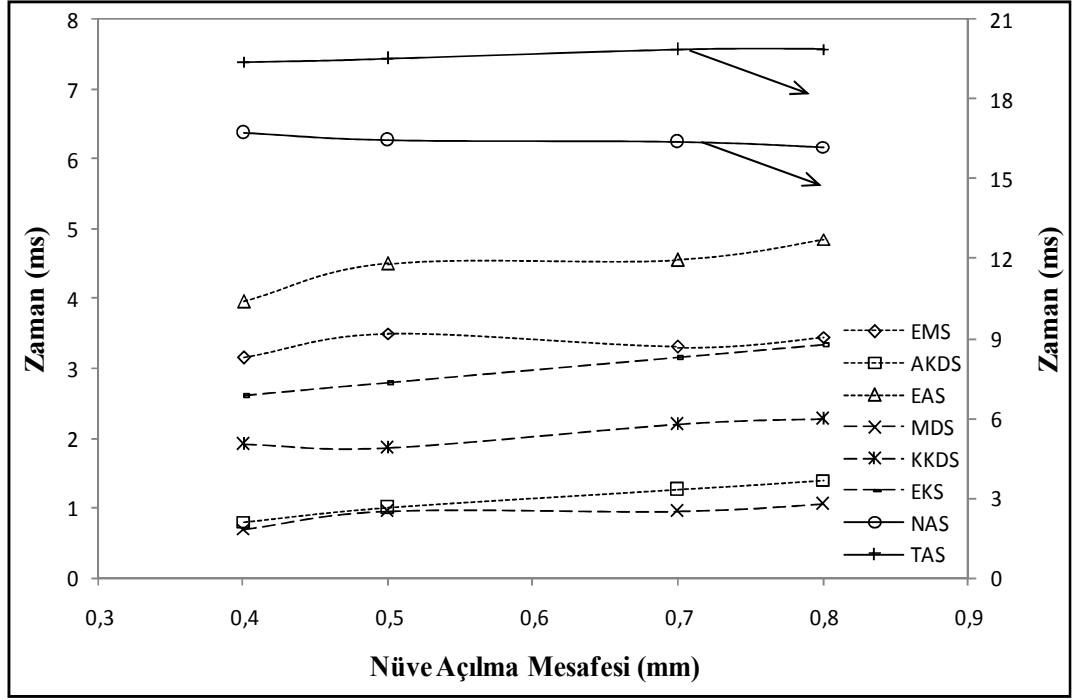
oluşturmaktadır. Bu nedenle, ayar vidası ile enjektör nüvesi arasındaki mesafe olan, enjektör açılma mesafesinin değişimi enjektör çalışma karakteristiğini etkilemektedir.

Bu bölümde enjektör nüvesinin açılma mesafesi değiştirilerek enjektör karakteristikleri incelenmiştir. Nüvenin orijinal mesafesi 0,6 mm'dir. Bu çalışmada 0,4 mm ile 1,4 mm arasındaki 8 farklı mesafede ölçümler yapılmıştır. Bu çalışma boyunca modülasyonsuz darbe genişliği 3,6 ms, modülasyonlu darbe kullanım oranı %75, modülasyonlu darbe frekans değişimi 1,3 kHz, darbe genişliği 20 ms, besleme gerilimi 12 volt, sıcaklık 20 °C olarak ayarlanıp çalışma boyunca sabit tutulmuştur. Şekil IV.15.'de açılma mesafesinin 0,8 mm olması durumunda, enjektör besleme gerilimi ve yük hücresi sinyal değişimi gösterilmiştir.



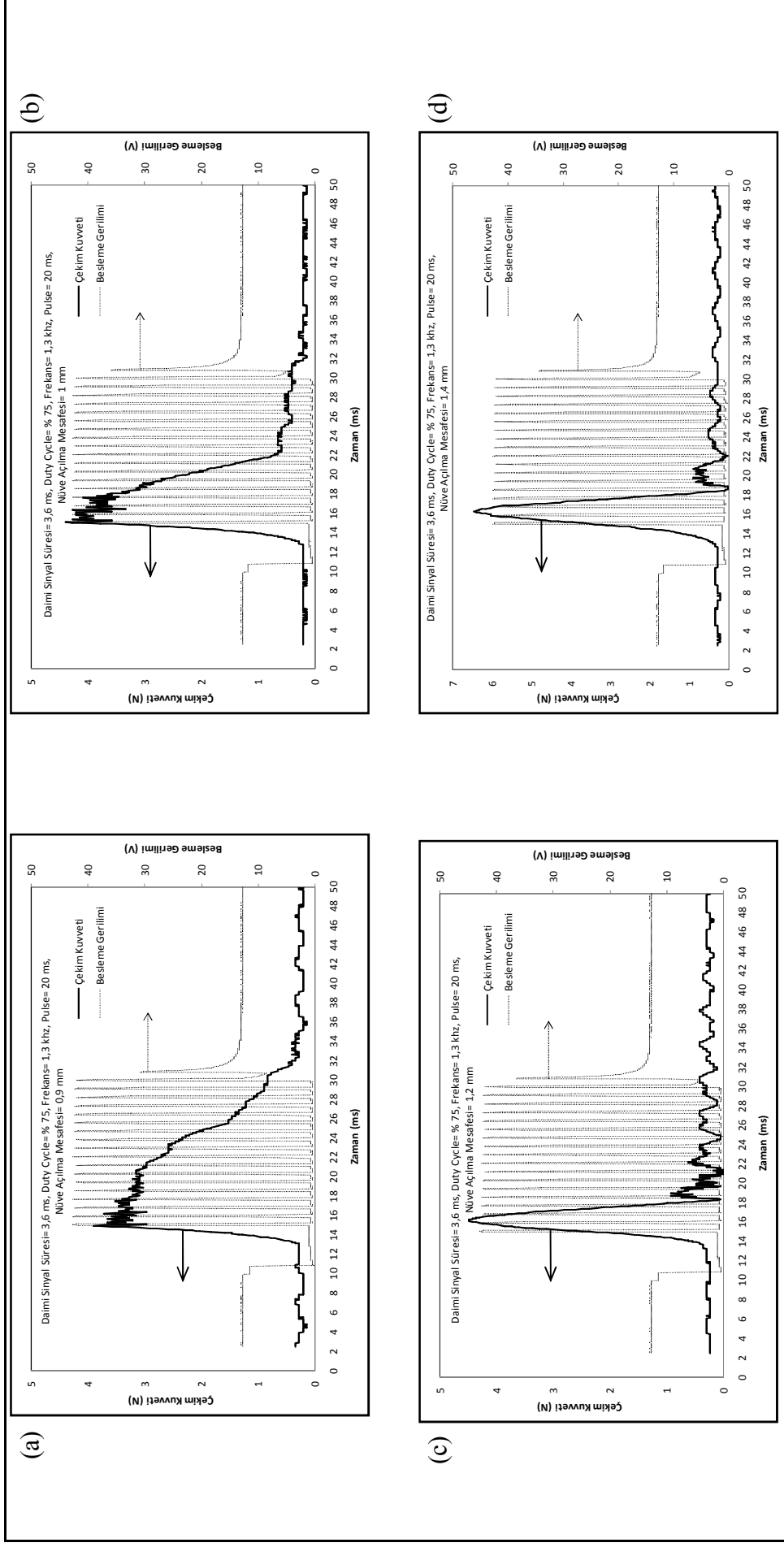
Şekil IV.15. 0,8 mm nüve açılma mesafesinde enjektör gerilimi ve yük hücresi sinyal değişimi

Farklı açılma mesafelerindeki enjektör çalışma karakteristiği şekil IV.14'de gösterilmiştir. Özellikle 0,9 – 1 – 1,2 ve 1,4 mm'lerde yapılan ölçümlerde nüve ve ayar vidası mesafesi çok fazla olduğundan enjektör bobini nüveyi çok fazla açık tutamadığından enjektör hemen kapanmaktadır. Bu durum şekil IV.17.'de görülmektedir. Bu sebeple bu değerlerde ölçüm yapılamamıştır.



Şekil IV.16. Nüve açılma mesafesinin enjektör çalışma karakteristiğine etkisi

Şekil IV.16'e baktığımızda nüve açılma mesafesi arttıkça EAS ve EKS'nin arttığı görülmektedir. Nüve açılma mesafesi 0,8 mm olduğunda EAS'de ortalama değere göre %8,68 artış görülmektedir. Ayrıca NAS'da azalma görülmektedir. Nüve açılma mesafesi 0,8 mm olduğunda EKS ortalama değere göre %12 artmaktadır. Nüve açılma mesafesi ile NAS arasındaki ilişkiye baktığımızda, nüve açılma mesafesi arttıkça NAS'ın azaldığı görülmektedir. Nüve açılma mesafesi 0,8 mm olduğunda NAS ortalama değerden %1,44 daha az olmaktadır. TAS değeri incelendiğinde ortalama değerden %1,37 fazla olduğu söylenebilir. Buradan çıkarılabilecek sonuç; nüve açılma mesafesinin, NAS ve TAS değerleri üzerinde fazla bir etkisi olmadığıdır. Ancak nüve açılma mesafesinin 0,8 mm üzerine çıkarılması durumunda enjektör açık tutulamamaktadır.



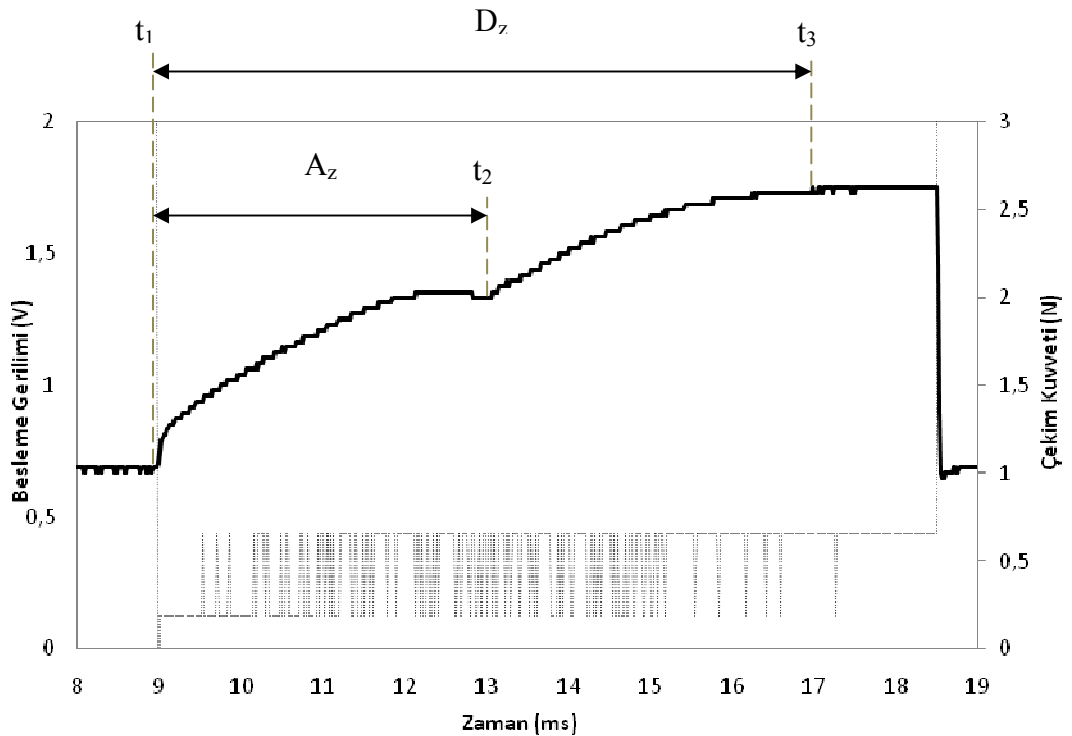
Şekil IV.17. Enjektörün açlamadığı nüve açılma mesafeleri (a=0,9 mm, b=1 mm, c=1,2 mm, d=1,4 mm)

IV.1.7. Sıcaklık Değişiminin Etkisinin İncelenmesi

Çalışmanın bu bölümünde sıcaklık değişiminin enjektör çalışma karakteristiğine etkileri incelenmiştir. Ancak yapılan deneyler sonucunda sıcaklığın EK 2'deki tabloda görüldüğü gibi belirli bir etkisi olmadığı görülmüştür. Sadece ilk çalışma esnasında nüvenin enjektör gövdesine yapışma etkisi olduğu tahmin edilen bir etki görülmüştür. Bu etkinin metal ile metalin soğukta bir birine yapışmasından dolayı olduğu düşünülmektedir. Soğukta yapışmadan dolayı sadece ilk birkaç periyotta sorunlu çalışma tespit edilmiştir. Bu periyotların ardından enjektörün çalışması düzelmiştir.

IV.2. AKIM DEĞİŞİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Enjektörde gaz akışı olması durumunda hazırlanan deney düzeneğinde manyetik çekim kuvvetinin hassas bir şekilde belirlenmesi mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, enjektörde gaz akışı olması durumundaki çalışma karakteristiği akım değişimlerinin incelenmesi ile belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil IV.18'de akım değişim sinyalinin şekli ve bu deneyde kullanılan parametreler gösterilmektedir.



Şekil IV.18. Akım değişim sinyali

A_z = Açma Zamanı

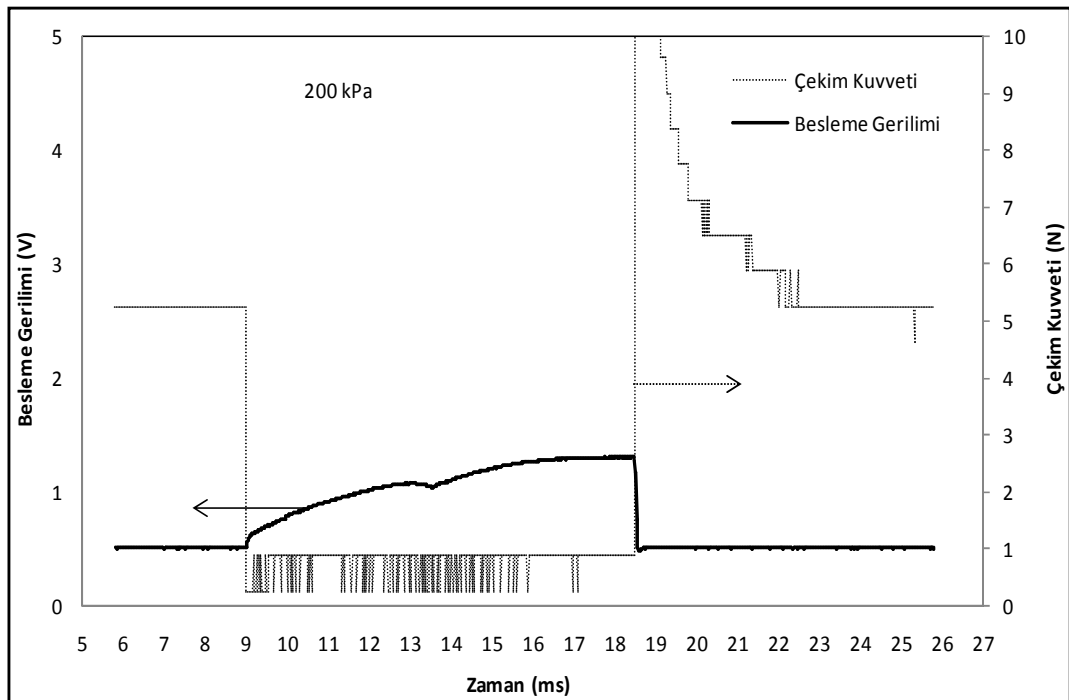
$A_z = t_2 - t_1$

D_z = Doyma Zamanı

$D_z = t_3 - t_1$

Sıralı gaz enjeksiyonlu sistemlerde gaz enjeksiyonu sabit basınçta yapılmak istenir. Gaz enjektörlerinin enjeksiyon basıncı, rail basıncıyla emme manifoldu basınç farkına eşittir. Emme manifoldu basıncı motorun çalışma durumuna göre sürekli değişim gösterir. Bu değişimi dengelemek ve fark basıncı 100 kPa değerinde tutmak için basınç regülatörleri kullanılmaktadır. Motor çalışmasında ani değişimlerin oluşması durumunda, regülatörler basınç değişimini eş zamanlı olarak dengeleyememektedirler ve fark basınçta değişimler oluşmaktadır. Bu değişimler gaz enjektörlerinin çalışma karakteristiğini etkilemektedir. Sıralı gaz enjeksiyonlu sistemlerde fark basınç sürekli ölçülmektedir. EKÜ tarafından fark basınçta değişim algılandığında, enjektörün gaz debisindeki değişimi kompanse edecek şekilde enjeksiyon süresi değiştirilmektedir. Bu değişimin başarılı şekilde gerçekleştirilebilmesi için, enjektörlerin çalışma karakteristiklerinin fark basınç değişimine bağlı olarak değişimi bilinmelidir. Bu nedenle bu bölümde deney enjektörünün çalışma karakteristiğinin fark basınca göre değişiminin belirlenmesi enjektör akım değişimine göre yapılmıştır. Deneyler fark basınç 20 - 200 kPa arasında 20 kPa arttırılarak, 10 farklı değerde uygulanmıştır.

Şekil IV.19’de basınç 200 kPa iken akım değişim sinyalin şekli görülmektedir. Bu deneyde darbe genişliği 10 ms, modülasyonlu darbe kullanım oranı %100 olarak ayarlanmıştır ve bu değerler deneyler süresince sabit tutulmuştur.

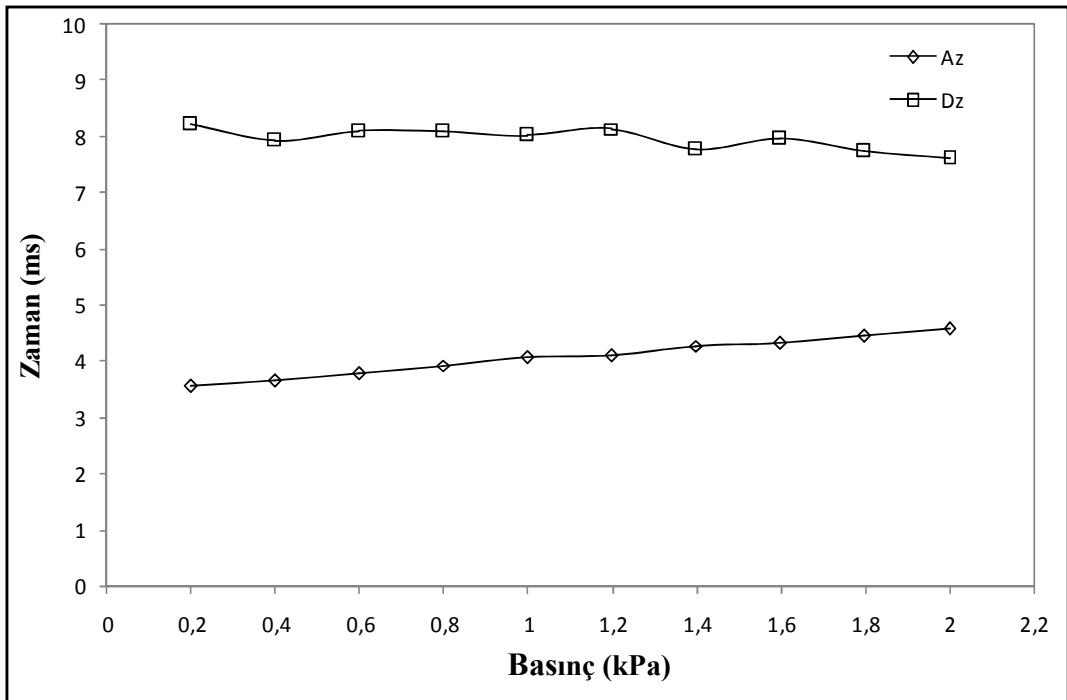


Şekil IV.19. 200 kPa Akım değişim sinyali

Şekil IV.20’de açma ve doyma zamanlarının basınç değişiminden nasıl etkilendikleri görülebilmektedir.

Doyma zamanı elektriksel devrenin karakteristiği ile ilgilidir. Basınç 200 kPa olduğunda doyma zamanı ortalama değerden %4,4 oranında azalmıştır. Doyma zamanı çok küçük değişimler gösterse de değişmediği kabul edilebilir.

Fark basınç arttıkça açma zamanı artmıştır bu da fark basıncının artması ile nüveye uygulanan kuvvetin artmasından kaynaklanır. Basınç 200 kPa olduğunda açma zamanı ortalama açma zamanına göre %11,09 oranında daha fazladır. Buradan çıkarılabileceğimiz genel sonuç basınç arttıkça açma zamanı artar, doyma zamanı küçük değişimlerle azalmasına rağmen sabit kabul edilebilir.



Şekil IV.20. Açma zamanı ve doyma zamanlarına göre basınç değişim sinyali

BÖLÜM V.

SONUÇ VE ÖNERİLER

V.1. SONUÇ

Bu çalışmada LPG sıralı enjeksiyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılan örnek bir enjektör tasarımı deney enjektörü olarak belirlenmiştir. Deneylerin gerçekleştirilmesi için bu enjektörden prototip üretilmiştir. Deney enjektörünün kullanıldığı sıralı enjeksiyon sistemlerinde, darbe genişlik modülasyonu kontrolüyle ideal hava-yakıt karışımının sağlanması için enjektörün çalışma karakteristiğini etkileyen parametreler ve bu parametrelerin etkileri belirlenmiştir.

Deneyler iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada enjektör çekim kuvvetinin analiziyle; darbe genişliği, modülasyonsuz darbe genişliği, modülasyonlu darbe kullanım oranı, modülasyonlu darbe frekansı, besleme gerilimi, nüve açılma mesafesi ve sıcaklık değişiminin enjektör çalışma karakteristiği üzerine etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. İkinci aşamada ise enjektör akım değişiminin analiziyle; enjektör yakıt besleme basıncı (fark basınç) değişiminin enjektör çalışma karakteristiği üzerine etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

Darbe genişliği, modülasyonsuz darbe genişliği ve nüve açılma mesafesi arttıkça EAS artmaktadır, yani enjektör daha geç açılmaktadır. Darbe genişliği enjektör açılma gecikmesi bakımından en etkili parametredir. Modülasyonlu darbe frekansı, modülasyonlu darbe kullanım oranı ve besleme gerilimi arttıkça EAS kısılmaktadır. Özellikle besleme gerilimi değişiminin EAS'yi ciddi bir şekilde etkilediği görülmektedir.

EKS'ye etki eden parametreler incelendiğinde, bütün parametreler EKS'yi arttırmaktadır. Özellikle darbe genişliği 20 ms iken EKS'yi ortalama değere göre %42,72 oranında arttırmaktadır. EKS'ye en az etki eden parametre modülasyonlu darbe frekansı değişimidir, ortalama değere göre %2,59 oranında arttırmaktadır.

NAS'a etki eden en önemli parametre modülasyonlu darbe kullanım oranı değişimi görülmektedir. Modülasyonlu darbe kullanım oranı arttıkça NAS'ın arttığı

görülmektedir. Modülasyonlu darbe kullanım oranı %100 olduğunda ortalama değerden %10,5'lik bir artış ile NAS üzerinde en fazla etkiyi yapmaktadır. Modülasyonsuz darbe genişliği 20 ms iken ortalama değerden %2,055'lik bir artış göstermektedir. Modülasyonlu darbe frekansı değişimi çok fazla bir etki yapmamıştır. Besleme gerilimi 14 volt olduğunda %3,09'lik bir artış ile darbe genişliğinden sonra NAS'a en fazla etkiyi yapan parametredir. Ancak nüve açılma mesafesindeki artış NAS'da azalma meydana getirmiştir. NAS ortalama değere göre %1.44 azalma göstermiştir.

Parametrelerin TAS üzerindeki genel etkilerine bakıldığında TAS'a en fazla etki eden parametrenin modülasyonlu darbe kullanım oranı olduğu görülmektedir. Modülasyonlu darbe kullanım oranı %100 olduğunda ortalama değere göre %6,96 oranında artış göstermektedir. %6,61'lik bir artış ile modülasyonsuz darbe genişliği, modülasyonlu darbe kullanım oranından sonra TAS'ı en fazla etkileyen parametredir. Besleme gerilimi 14 volt olduğunda TAS ortalama değere göre %2,58'lik bir artış göstermektedir. Modülasyonlu darbe frekansı değişimi 50 kHz iken %0,31'lik bir etki yapmaktadır, bu oran yok sayılabilecek kadar küçüktür. Nüve açılma mesafesi ise 0,8 mm iken TAS'ı ortalama değere göre %1,3 oranında arttırmıştır.

Sıcaklık değişiminin enjektörün çalışma karakteristiğine belirli bir etkisi olmadığı görülmüştür. Metal ile metalin birbirine yapışmasından dolayı sadece ilk periyotlarda sorunlar görülmüştür, daha sonra enjektörün çalışması düzelmiştir.

Basınç değişiminin enjektörün açma zamanları üzerinde ciddi bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Fark basınç arttıkça enjektörün açma zamanı artmaktadır. Fark basınç 200 kPa bar olduğunda, enjektörün açma zamanı ortalama değerden %11,09 oranında daha fazla olmaktadır. Basınç değişiminin doyma zamanı üzerinde ise çok küçük etkileri görülmüştür.

V.2. ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada belirli parametrelerin gaz enjektörlerinin çalışma karakteristikleri üzerinde etkili oldukları açıkça görülmüştür. Yakıt ekonomisi ve egzoz emisyonları üzerinde belirleyici rol oynayan hava-yakıt karışımının ideal bir şekilde ayarlanması gaz enjektörünün çalışma karakteristiğinin belirlenmesini gerektirmektedir. Bu nedenle gaz enjeksiyon sistemlerinin tasarımında, sistemde kullanılacak enjektörlerin karakteristiklerinin belirlenmesinden sonra EKÜ'nün

donanımsal ve yazılımsal fonksiyonları belirlenmelidir. Aksi takdirde, sistemde bulunan diğer komponentlerin mükemmel çalışması durumunda bile, sistem beklentilere cevap veremeyecektir.

Enjektör karakteristiği enjektörün kontrol yöntemine bağlı olarak (DGM, Pick&Hold, saturated) belirlenen parametrelere göre incelenmelidir. Gaz yakıtların günümüzde kullanımlarının tercih edilmesindeki önemli etkenlerden birisi çevreye sağladıkları olumlu katkılardır. Gaz yakıtlarının kullanımında, egzoz emisyonları azaltılarak beklentilerin karşılanması, enjektörün çalışma karakteristiğinin bilinip hava-yakıt karışımının hassas olarak ayarlanmasına bağlıdır. Gaz yakıtların alternatif yakıt olarak kullanımlarının önemli bir diğer nedeni sağladıkları yakıt ekonomisidir. Gaz yakıtlarından maksimum yakıt ekonomisinin sağlanması yine enjektörün çalışma karakteristiğinin bilinip hava-yakıt karışımının hassas olarak ayarlanmasına bağlıdır.

Bu çalışmada enjektör çalışma karakteristiği bir enjektör dizaynı için deneysel olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmanın devamı olarak farklı tasarımdaki enjektörler incelenebilir. Ayrıca nümerik bir çalışma yaparak tüm enjektör tiplerinin çalışma karakteristikleri hakkında fikir veren modellemeler yapılabilir. Bu çalışmalarda paket programlar kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Ögüt, H.; Kuş, R.: “Motorlu Taşıtlarda Alternatif Yakıt Kullanımı” 2. *Ulaşım ve Trafik Kongresi - Sergisi, Konya, Türkiye*, 149-161
- [2] Kamış, Z.: “Benzinli Motorlarda Enjektör Sistemlerinin İncelenmesi, Disk Valflı Yeni Bir Enjektör Tasarımı ve İmalatı” *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye, (2001).
- [3] Safgönül, B.; Ergeneman, M.; Arslan, E.; Soruşbay, C.: “İçten Yanmalı Motorlar”, İTÜ Makina Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı, *Birsan Yayınevi Ltd. Şti.*, İstanbul, (2003).
- [4] Bosch Technical Instruction: “ME-Motronic engine management” (1999).
- [5] Kocagöz, S.: “Çift Yakıtlı (LPG-Benzin) Buji Ateşlemeli Bir Motorda Hacimsel Verimin Performans ve Emisyonlara Etkisi”, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul, (2009).
- [6] Karabektaş, M.; Ergen, G.: “Taşıtlarda Doğalgaz Kullanım Teknolojileri” 5. *Uluslararası Teknolojileri” İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, Mayıs 13-15 (2009).
- [7] Çetinkaya, S.: “Taşıtlarda Yakıt Olarak CNG Kullanımının Teknolojik ve Ekonomik Açidan Değerlendirilmesi”, 3.LPG-CNG Kongresi ve *Sergisi Bildiriler Kitabı*, Ankara, Haziran 8-9 (2007) 15-34.
- [8] Topuzlar, G.: “Otomotiv Sektöründe Doğalgaz”, 3.LPG-CNG Kongresi ve *Sergisi Bildiriler Kitabı*, Ankara, Haziran 8-9 (2007) 109-122.
- [9] <http://www.czakram.pl/cng.php> (28.04.2009)
- [10] Bosch Technical Instruction: “Motronic engine management” (1999).
- [11] hanalpg.en.ecplaza.net (19.04.2009)
- [12] www.teleflexgf.com (19.04.2009)
- [13] www.railspa.net (17.04.2009)
- [14] Topçu, E.E.; Yüksel, İ.: “Alternatif Bir Elektropnömatik Valf Tasarımı ve Karakteristiklerinin İncelenmesi” *Uludağ Üniversitesi, Mühendis ve Makina Dergisi*, Cilt:46, Sayı:542, 19-28.
- [15] Ganesh, H.R.; Ganesh, H.R.; Subramaniana, V.; Balasubramanian, V.; Mallikarjuna, J.M.; Ramesh, A.; Sharma, R.P.: “Hydrogen Fueled Spark Ignition Engine With Electronically Controlled Manifold Injection”

Science Direct Renewable Energy, 33 (2008) 1324–1333.

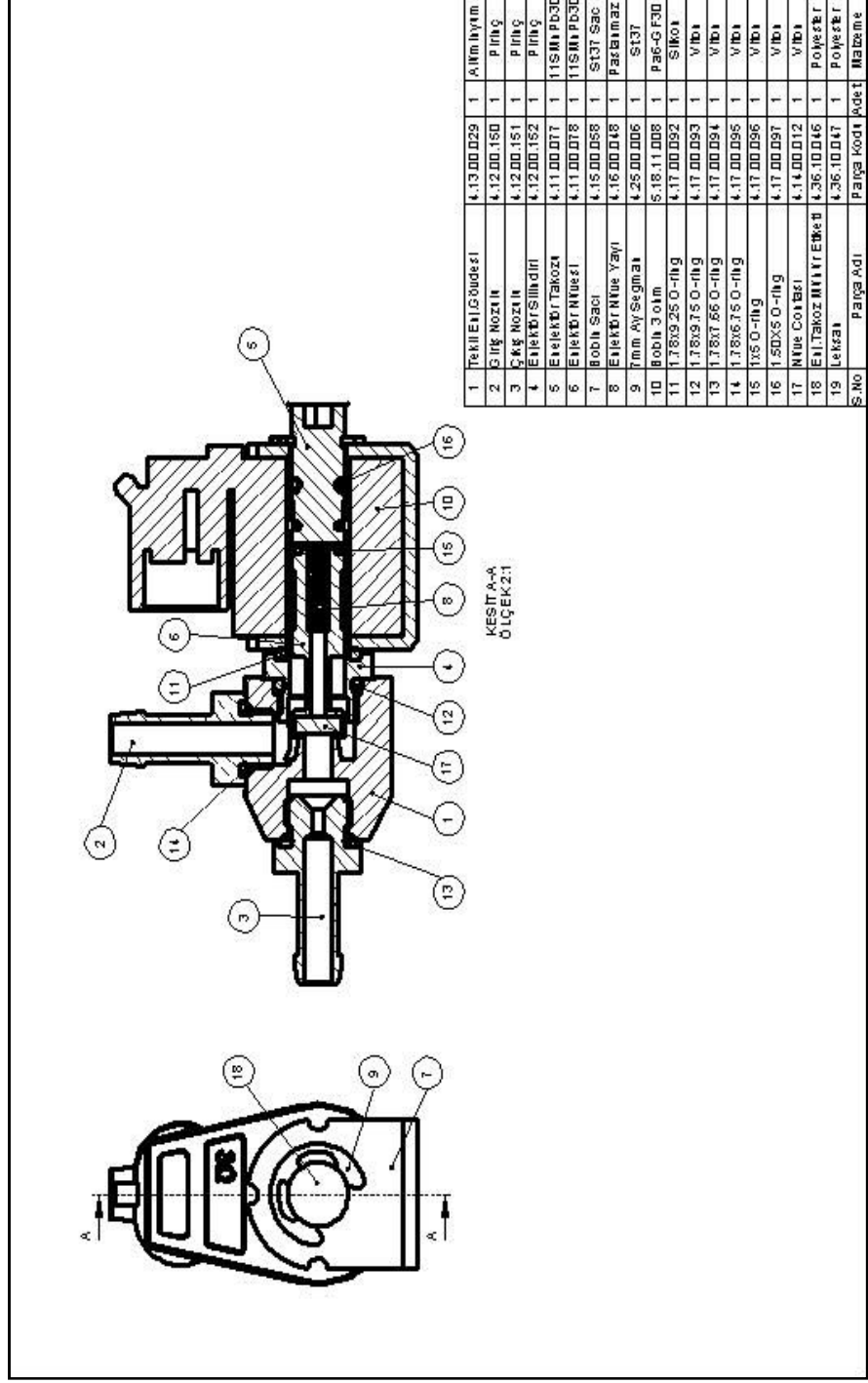
- [16] Şengirgin, M.; Yüksel, İ.; Şefkat, G.: “Mekatronik Yaklaşım İle Elektrohidrolik Disk Valflerin Tasarımı ve DGM Tekniği İle Sürülmesinin İncelenmesi” 9. Uluslararası Makine Tasarımı ve İmalat Kongresi, Ankara, Eylül (2000) 13-15.
- [17] Saravanan, N.; Nagarajan, G.: “Experimental Investigation On a DI Dual Fuel Engine With Hydrogen Injection” *International Journal Energy Research*, (2009) 33:295–308.
- [18] Şengirgin, M.; Yüksel, İ.: “İki Kademeli Elektrohidrolik Bir Hızlı Anahtarlama Valfinin Karakteristiklerinin İncelenmesi” *Uludağ Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, (2003) 157-164.
- [19] Vannucci, A.; Teixeira, C.M.D.O.; Teixeira, F.S.; Vuolo, J.H.; Paulo, A.C.D.; Horita, F.; Degasper, F.T.; Elizondo, J.I.; Sanada, E.K.; Almeida, V.A.L.; Pantano, F.: “Fast Opening Gas Valve For The TCABR Pellet Injector” *Brazilian Journal of Physics*, vol. 34, no. 4B, December (2004) 1752-1755.
- [20] Saravanan, N.; Nagarajan, G.: “An Experimental Investigation On Manifold-Injected Hydrogen As a Dual Fuel For Diesel Engine System With Different Injection Duration” *International Journal Energy Research*, (2009).
- [21] Topçu, E.E.; Yüksel, İ.: “Elektropnömatik Sistemler İçin Tasarlanan Hızlı Anahtarlama Valfi İle Konum Denetiminin Araştırılması” IV. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi, 289-297.
- [22] Shen, Z.G.; Xing, Y.S.; Chen, J.; Liu, C.H.; Wu, C.; Yang, S.: “Fast Elektromagnetic Gas Valve” *Meas. Sci. Technol.*, 6 (1995) 324-328.
- [23] Topçu, E.E.; Yüksel, İ.: “Elektropnömatik Bir Sistemde Konum Denetiminin Araştırılması” IV. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi, 439-449.
- [24] Kabat, D. M.; Heffel, J.W.: “Durability İmplications of Neat Hydrogen Under Sonic Flow Conditions On Pulse-Width Modulated İnjectors” *International Journal of Hydrogen Energy*, 27 (2002) 1093-1102.
- [25] Hu, Q.; Wu, S.F.: “Modeling Of Dynamic Responses Of An Automotive Fuel Rail System” *Journal Of Sound and Vibration*, (2001)

245(5), 801-814.

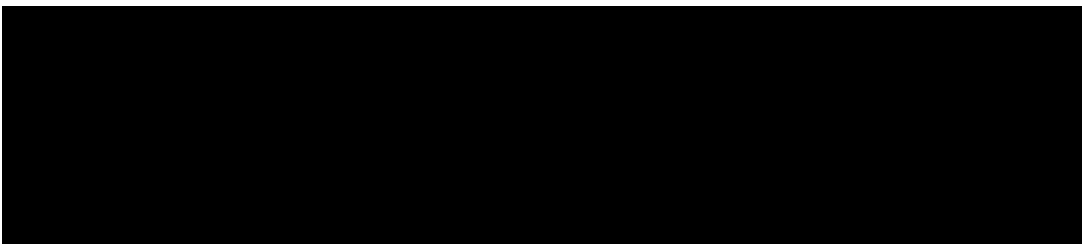
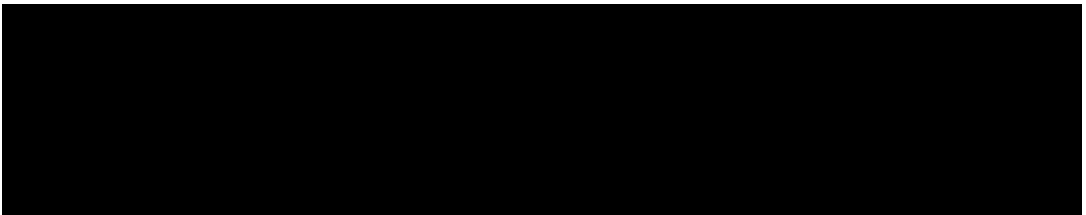
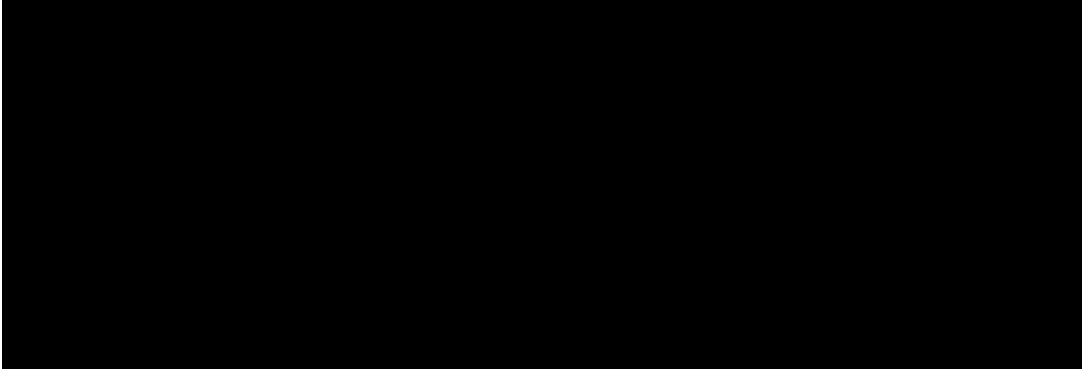
- [26] Dyntar, D.; Guzzella, L.: “Optimal Control For Bouncing Supression Of CNG Injectors” *J. Dyn. Sys. Meas Control*, March**(2004)** 1-47.
- [27] Chen, R.; Huang, Q.; Lucas, G.G.: “Theoretical And Experimental Study Of a Fluidic Device ’As a Fuel Injector For Natural Gas Engines” *Journal Of Automobile Engineering*, **(1998)** 215-226.
- [28] Sim, H.; Lee, K.; Chung, N.; Sunwoo, M.: “A Study On The Injection Characteristics Of a Liquid-Phase Liquefied Petroleum Gas İnjector For Air-Fuel Ratio Control” *Journal Of Automobile Engineering*, **(2005)** 1037-1046.
- [29] Podlesny, M.; Pietrzyk, W.; Walusiak, S.: “LPG Fuel Injectors Testing On The Test Stand” *Computer Applications in Electrical Engineering*, **(2007)** 248-263
- [30] Gümüş, M.: “Sıralı Gaz Enjeksiyon Sistemiyle Gaz Yakıt Kullanımına Dönüştürülmüş Bir Buji Ateşlemeli Motorda Benzin, LPG ve CNG Kullanımının Motor Performansına Etkisi” 3. Uluslar arası Doğal Gaz Sempozyumu (INGAS 09), İstanbul, Türkiye, **(2009)** 385-394

EKLER

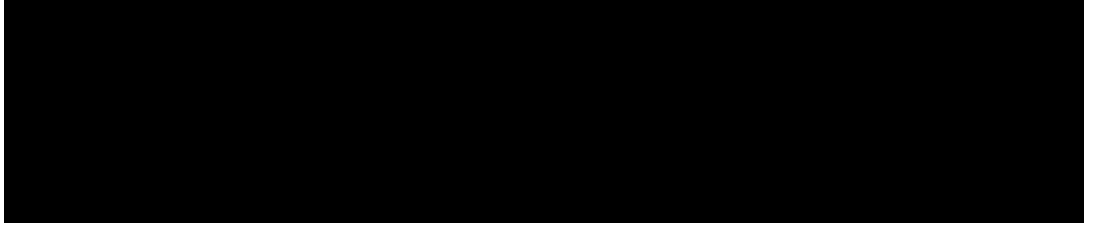
EK 1. Çalışmada Kullanılan Sıralı LPG Enjektörünün Teknik Resmi



EK 2. Manyetik Çekim Kuvvetinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Tablo Parametreleri



EK 2. Manyetik Çekim Kuvvetinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Tablo
Parametreleri (Devamı)



SICAKLIK °C	EMS	AKDS	EAS	MDS	KKDS	EKS	NAS	TAS
-20	2,31	1,6	3,91	0,9	1,3	2,2	16,9	19,8
-10	2,61	1,3	3,91	1,1	1,3	2,4	17,1	19,7
0	2,31	1,6	3,91	0,4	1,2	1,6	16,9	19,7
10	2,31	1,6	3,91	1	1,5	2,5	17,1	20,2
20	2,11	1,9	4,01	0,8	1,7	2,5	16,7	20,3

ÖZGEÇMİŞ

Selçuk TEMURBOĞA, 1983 yılında İzmir’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İzmir’de tamamladı. 2001 yıllarında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitim Bölümü Otomotiv Öğretmenliğini kazandı ve 2005 yılında buradan mezun oldu. Yine aynı yıl Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. Nisan 2007’de Üçyıldız Otomotiv firmasında Pazarlama sorumlusu olarak işe başladı. Şu anda Servis müdürü olarak görevine devam etmektedir.