Fatih AYDIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİMDALI

Danışman

Doç. Dr. Mustafa ACAROĞLU

Konya, 2006

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SIRALI GAZ FAZI LPG ENJEKSİYON SİSTEMİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Fatih AYDIN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİMDALI
Danışman
Doç. Dr. Mustafa ACAROĞLU
Konya, 2006

Bu tez 21 / 06 / 2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Mustafa ACAROĞLU
(Danışman)

Doç. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU
(Üye)

Yrd. Doç. Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU
(Üye)

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FENBİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SIRALI GAZ FAZI LPG ENJEKSİYON SİSTEMİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Fatih AYDIN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİMDALI

Danışman
Doç. Dr. Mustafa ACAROĞLU

Konya, 2006

İÇİNDEKİLER

İçindekiler…… i
Şekil Dizini……...iv
Tablo Dizini…… vi
Özet……..vii
Abstract…… ix
Önsöz……... xi
1. GİRİŞ……... 1
1.1. Gaz Yakıtlar……..1
1.1.1. Daimi Gazlar……..1
1.1.2. Sıvılaştırılmış Gazlar…… 2
1.2. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı……2
1.2.1. LPG'nin Elde Edilmesi……..2
1.2.2. LPG'nin Çeşitleri……...5
1.2.3. LPG'nin Özellikleri……... 7
1.2.4. Buhar Basınç Eğrisi……... 8
1.2.5. LPG'nin Isıl Değeri……... 9
1.2.6. Buharlaşma Gizli Isısı……10
1.2.7. Kaynama Noktası……...10
1.2.8. LPG'nin Tutuşma Sınırları…… 12
1.2.9. LPG'nin Yoğunluğu……... 13
1.2.10. LPG'nin Yoğunluk Hesabı…….. 14
1.2.11. LPG'nin Tam Yanma Şartları ve Teorik Yanma Denklemleri……14
1.2.12. LPG'nin Kokulandırılması…….. 15
1.2.13. LPG'nin Depolanması…… 16
1.2.14. Motor Yakıtı Olarak LPG……17
1.2.15. Motor Yakıtı Olarak LPG'nin Avantajları…….. 19
1.2.16. Motor Yakıtı Olarak LPG'nin Dezavantajları…… 19
1.2.17. LPG'nin Oktan Sayısı……..19
1.2.18. LPG'nin Çevreye Etkisi ve Egzoz Emisyonları…….. 20
1.2.19. LPG Yakıtının Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi……..21
1.2.20. LPG'nin Araç Dönüşüm Maliyeti……... 22
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI……23
3. MATERYAL VE METOT……..26
3.1. Materyal……26
3.1.1. Birinci Kuşak Basit Karıştırıcılı Sistem…… 26
3.1.2. İkinci Kuşak Elektronik Kontrollü Sistem…… 27
3.1.3. Üçüncü Kuşak LPG Enjeksiyonlu Sistem…… 28
3.1.4. Dördüncü Kuşak Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyonlu Sistem……28
3.1.5. LPG Motor Dönüşüm Sistem ve Ekipmanları Standartları……... 30
3.1.6. Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyon Sisteminin Tanıtılması…….. 30
3.1.7. "FAST" Gaz Enjeksiyon Sisteminin Özellikleri……... 31
3.1.7.1. Sistemin Tanımı……..31
3.1.7.2. Çalıştırma Prensibi……..32
3.1.7.3. LPG Tankı…….. 32
3.1.7.4. Çoklu Valf (Multivalf)……33
3.1.7.5. Gaz Sızdırmaz (Multivalf) Koruyucu Kapağı……... 34

3.1.7.6. LPG Dolum Ucu……34
3.1.8. "FAST" Kit Bileşenleri……..35
3.1.8.1. LPG Açma Valfi……35
3.1.8.2. Redüktör / Vaporizatör……... 36
3.1.8.3. FAST Enjektör Tertibatı……36
3.1.8.4. LPG Filtresi…… 37
3.1.8.5. FAST Servis Çantası……..37
3.1.8.6. Kauçuk Hortumlar……..37
3.1.8.7. FAST Elektronik Kontrol Ünitesi……...38
3.1.8.8. EMU FAST Enjektör Kesme Kontrol Ünitesi……39
3.1.8.9. Gaz Sıcaklık ve Basınç Sensörü……39
3.1.8.10. FAST Kablo Şebekesi……...40
3.1.8.11. EMU FAST Emülatör Kablo Şebekesi……40
3.1.8.12. Anahtar / Şalter……41
3.1.8.13. Akustik / Ses Sinyali Uyarıcısı……41
3.1.9. Kurulum Sırası……...42
3.1.9.1. FAST Enjektör Montajı İçin Kurulum Alanı Belirlemek……...42
3.1.9.2. FAST Redüktör / Vaporizatör İçin Kurulum Alanı Belirlemek……43
3.1.9.3. LPG Açma (lock-off) Valfı İçin Kurulum Alanı Belirlemek……44
3.1.9.4. Nozulları Monte Etmek…….. 45
3.1.9.5. FAST Enjektör Montajını Yapmak…… 46
3.1.9.6. LPG Açma (lock-off) Valfini Kurmak……... 49
3.1.9.7. FAST Redüktör / Vaporizatör Kurulumu……... 50
3.1.9.7.1. Redüktörü Aracın Soğutma Devresine Bağlama……53
3.1.9.7.2. Redüktörü Enjektöre Bağlamak……...54
3.1.9.7.3. Redüktörü M.A.P Sensörüne Bağlamak……..55
3.1.9.8. Elektronik Kontrol Ünitesini Kurmak…… 57
3.1.9.9. EMU FAST Elektronik Kontrol Ünitesini Kurmak……58
3.1.9.10. Motor Devir Sinyali Elektrik Bağlantısı……...59
3.1.9.11. Lambda Sondası Sinyali (Katalizörden Önce)…… 60
3.1.9.12. Sıcaklık Sensörü Bağlantısı…….. 60
3.1.9.13. Seviye Gösterge Bağlantısı……...61
3.1.9.14. LPG Çoklu Valf ve Açma Valfi Bağlantısı…….. 61
3.1.9.15. Enjektör Güç Bağlantısı……61
3.1.9.16. Güç Ünitesi Bağlantısı……..61
3.2. Metot……63
3.2.1. BEDİNİ Marka LPG Sisteminin 06 MHJ 87 Plakalı 1993 Model Ford 2000 Motorundaki Tekerlek Gücü ve Emisyon Sonuçları……..63
3.2.2. LOVATO Marka LPG Sisteminin 06 VA 310 Plakalı 1975 Model Peugeot 504 – 2000 cc Motorundaki Tekerlek Gücü ve Emisyon Değerleri…….. 64
3.2.3. LOVATO Marka LPG Sisteminin 06 NC 753 Plakalı 1991 Model Mercedes 190 E 1800 cc (K – Jetronik) Motorundaki Tekerlek Gücü ve Emisyon Sonuçları……...65
3.2.4. Deney Aracının Teknik Özellikleri……... 67
4. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA……..80
4.1. LOVATO Marka Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyon Sisteminin 2000 Model 42 VN 621 Plakalı Hyundai Accent 1.5 GLS 1500 cc Enjeksiyonlu Motorundaki Tekerlek Gücü ve Emisyon Sonuçları……..... 80

5. SONUÇ ve ÖNERİLER…….. 85
6. KAYNAKLAR…… 88

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 1.1. Reforming İhtiva Eden Kraking Tipi Rafineri…… 3
Şekil 1.2. Destilasyonla Elde Edilen Ürünlerin Yüzdesi……4
Şekil 1.3.Propan, Normal Bütan ve İzobütanın Sıcaklığa Bağımlı Buharlaşma Basınç Değişimi……...8
Şekil 1.4. Propan – Bütan Karışımı Buhar Basınç Eğrisi…… 9
Şekil1.5. Propan ve Bütan Tanklarında Kaynamanın Mukayesesi……..11
Şekil 1.6. Hava İçindeki Çeşitli Gazların % Tutuşma Sınırları……... 13
Şekil 1.7. % 20 Gaz - % 80 Sıvı LPG'nin 15 ^{0}C de Depolandığında, 38^{0}C–50^{0}C Sıcaklıklarda Yakıt Deposundaki Yakıt Oranlarının Değişimleri……... 16
Şekil 1.8. % 10 Gaz - % 90 Sıvı LPG'nin 15 ^{0}C de Depolanmasından sonra, 50 ^{0}C sıcaklıkta Yakıt Deposundaki Yakıt Oranlarının Değişimleri……...17
Şekil 3.1. Birinci Kuşak Basit Karıştırıcılı Sistem…….. 26
Şekil 3.2. İkinci Kuşak Elektronik Kontrollü Sistem…….. 27
Şekil 3.3. Üçüncü Kuşak LPG Enjeksiyonlu Sistem……...28
Şekil 3.4. Dördüncü Kuşak Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyonlu Sistem…….. 29
Şekil 3.5. Tirodial (Stepne)Tank…… 33
Şekil 3.6. Silindirik Tank……33
Şekil 3.7. Çoklu Valf (Multivalf)…… 33
Şekil 3.8. Gaz Sızdırmaz (Multivalf) Koruyucu Kapağı……34
Şekil 3.9. LPG Dolum Ucu……..34
Şekil 3.10. LPG Açma Valfi……35
Şekil 3.11. Redüktör / Vaporizatör……..36
Şekil 3.12. Fast Enjektör Tertibatı……...36
Şekil 3.13. LPG Filtresi……... 37
Şekil 3.14. Fast Servis Çantası…… 37
Şekil 3.15. Kauçuk Hortumlar……38
Şekil 3.16. FAST Elektronik Kontrol Ünitesi…… 38
Şekil 3.17. EMU FAST Enjektör Kesme Kontrol Ünitesi……...39
Şekil 3.18. Gaz Sıcaklık ve Basınç Sensörü…… 39
Şekil 3.19. FAST Kablo Şebekesi…….. 40
Şekil 3.20. EMU FAST Emülatör Kablo Şebekesi……..40
Şekil 3.21. Anahtar / Şalter……..41
Şekil 3.22. Akustik / Ses Sinyali Uyarıcısı……..41
Şekil 3.23. FAST Enjektör Montajı……43
Şekil 3.24. FAST Redüktör / Vaporizatör Montajı……..43
Şekil 3.25. Gaz Enjektör Nozulu……45
Şekil 3.26. Nozulların Montajı…… 45
Şekil 3.27. LPG Enjektör Nozulları……46
Şekil 3.28. FAST Enjektör Montaj Ekipmanları…… 46
Şekil 3.29. FAST Enjektör Montajı……47
Şekil 3.30. Basınç Sensörü Montajı……47
Şekil 3.31. FAST Enjektör Montajının Motor Üzerinde Gösterimi…… 48
Şekil 3.32. LPG Açma Valfi Montaj Ekipmanları…….. 49
Şekil 3.33. LPG Açma Valfinin Araç Üzerinde Montajı……50
Şekil 3.34. FAST Redüktör / Vaporizatör Kurulumu Montaj Ekipmanları…… 50
Şekil 3.35. Redüktör / Vaporizatörün Sabitlenmesi…… 51

Şekil 3.36. Redüktör / Vaporizatörün Kurulumu…….52
Şekil 3.37. Redüktör / Vaporizatörün Araca Montajı……..53
Şekil 3.38. Su Bağlantı Kelepçeleri……53
Şekil 3.39. LPG Filtre ve Bağlantı Kelepçeleri……... 54
Şekil 3.40. Enjektör Tertibatı, LPG Filtresi, Sıcaklık / Basınç Sensörü
ve LPG Giriş Hortumlarının Motor Üzerinde Gösterimi……... 55
Şekil 3.41. Y Bağlantı Hortum ve Kelepçeleri…… 55
Şekil 3.42. Redüktör İle M.A.P. Sensörü Bağlantısı ve Basınç Boşaltma
Devresi……56
Şekil 3.43. Emme Manifoldu Basınç Ölçüm Devresi……..56
Şekil 3.44. Elektronik Kontrol Ünitesi Ekipmanları……... 57
Şekil 3.45. Elektronik Kontrol Ünitesi Montajı……...58
Şekil 3.46. EMU FAST Elektronik Kontrol Ünitesini Ekipmanları……58
Şekil 3.47. EMU FAST Elektronik Kontrol Ünitesinin Motor Üzerine Montajı… 59
Şekil 3.48. Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyon Sistemi Akış Diyagramı…… 62
Şekil 3.49. Deney Aracı……...68
Şekil 3.50. Deney Alanı Yerleşim Planı……..69
Şekil 3.51. Kontrol Paneli……69
Şekil 3.52. Soğutucu Klima…… 70
Şekil 3.53. Egzoz Emisyon Cihazı…….. 70
Şekil 3.54. Ortam Havalandırması……...71
Şekil 3.55. Egzoz Havalandırması……...71
Şekil 3.56. Şasi Dinamometresi ve Aracın Cihaza Bağlanması…….. 72
Şekil 3.57. Egzoz Porbunun Araca Takılması…… 72
Şekil 3.58. Egzoz Havalandırmasının Araca Takılması…….. 73
Şekil 3.59. LPG Ayarının Diagnostik İle Yapılması……...73
Şekil 3.60. Test İşlemine Geçiş……... 74
Şekil 3.61. Test İşlemi…… 74
Şekil 3.62. Test Sırasında Gerekli İşlemlerin Yapılması……75
Şekil 3.63. Egzoz Emisyon Verilerinin Cihazdan Okunması……..75
Şekil 3.64. Buharlaştırıcı / Redüktör'ün Araç Üzerindeki Yeri…….. 76
Şekil 3.65. EMU FAST Enjektör Kesme Kontrol Ünitesi'nin Araç
Üzerindeki Yeri……... 76
Şekil 3.66. LPG Açma Valfi'nin Araç Üzerindeki Yeri……..77
Şekil 3.67. FAST Elektronik Kontrol Ünitesi'nin Araç Üzerindeki Yeri……... 77
Şekil 3.68. FAST Enjektör Tertibatı'nın Araç Üzerindeki Yeri……..78
Şekil 3.69. Bağlantı Hortumları'nın Araç Üzerindeki Yeri……78
Şekil 3.70. LPG Dolum Ucu'nun Araç Üzerindeki Yeri……79
Şekil 4.1. LPG ve Kurşunsuz Benzinde CO Değerleri…… 82
Şekil 4.2. LPG ve Kurşunsuz Benzinde CO_2 Değerleri……...82
Şekil 4.3. LPG ve Kurşunsuz Benzinde HC Değerleri…… 83
Şekil 4.4. LPG ve Kurşunsuz Benzinde O_2 Değerleri……. 83
Şekil 4.5. LPG ve Kurşunsuz Benzinde Lambda Değerleri…… 84
Şekil 4.6. LPG ve Kurşunsuz Benzinde Güç Değerleri……...84

TABLO DİZİNİ

Tablo 1.1. Sıvılaştırılmış ve Daimi Gazlara Ait Karşılaştırmalı Özellikler…… 2
Tablo 1.2. Petrol Rafineri İşleminde Açığa Çıkan Ürünlerin Hidrokarbon Serisi…… 4
Tablo 1.3. Türkiye TÜPRAŞ Rafineri İşletmelerinde Üretilen LPG Yakıtının Analiz Sonuçları…….. 5
Tablo 1.4. LPG'nin Yaklaşık Özellikleri……6
Tablo 1.5. Bazı Gazların Isıl Değerleri……10
Tablo 1.6. Propan ve Bütanın Buharlaşma Gizli Isıları……..……10
Tablo 1.7. Yakıt Deposunda Kalan Yakıt Yüzdeleri……...… 12
Tablo 1.8. Çeşitli Ülkelerde Yaz ve Kış Aylarında Kullanılan LPG'nin İçindeki Propan / Bütan Oranları……12
Tablo 1.9. Motor Yakıtları ve LPG'nin Karşılaştırmalı Özellikleri…… 18
Tablo 1.10. Ankara İli Ulaşımında Yakıt Tüketimi Bazında Emisyon Değerlerinin Benzinli ve Dizel Motorlara Göre Değişimi…….. 20
Tablo 1.11. TOFAŞ / FİAT Emisyon Laboratuarında LPG – Benzin Emisyon Değerleri (Hot 550 USA Testine Göre) Karşılaştırılması……... 21
Tablo 1.12. LPG, Kurşunsuz Benzin ve Motorinin Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması……...21
Tablo 3.1. 06 MHJ 87 Plakalı 1993 Model Ford 2000 Otomobilinin Test Sonuçları……..63
Tablo 3.2. 06 VA 310 Plakalı 1975 Model Peugeot 504, 2000 cc Otomobilinin Test Sonuçları…… 64
Tablo 3.3. 1991 Model Mercedes 190 E 1800 cc (K Jetronik) Otomobilinin Test Sonuçları……..65
Tablo 4.1. 2000 Model Hyundai Accent 1.5 GLS 1500 cc Çok Nokta Enjeksiyonlu Otomobilinin Test Sonuçları…… 81

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SIRALI GAZ FAZI LPG ENJEKSİYON SİSTEMİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Fatih AYDIN

Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Mustafa ACAROĞLU
2006, 91 Sayfa

Jüri : Doç. Dr. Mustafa ACAROĞLU
Doç. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU
Yrd.Doç. Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU

Bu çalışmada, içten yanmalı motorlarda kullanılan 4. kuşak LPG sisteminin çalışma şartları tespit edilmeye çalışılmıştır. LPG sistemlerinin geldiği son noktadaki 4. Kuşak Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyon Sistemi incelenerek, sistem tanıtılmıştır. 1., 2. ve 3. kuşak LPG sistemlerinin problemlerine değinilmiş ve 4. Kuşak Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyon Sisteminde bu problemlerin olmadığı belirlenmiştir.

Üzerinde 4. Kuşak LOVATO Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyon Sistemli cihaz monte edilmiş, MPI sistemli 2000 model Hyundai Accent 1.5 GLS marka araç üzerinde deneyler yapılmıştır. Araç LPG ve kurşunsuz benzinle çalıştırılarak emisyon ve güç değerleri tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, 4. Kuşak Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyon Sisteminde eski sistemlerde görülen performans düşüklüğünün olmadığı belirlenmiştir. LPG'nin kurşunsuz benzine göre en az % 40 ekonomik olduğu da bilinmektedir. LPG'nin ısıl değerinin ve yanma hızının kurşunsuz benzine yakın olması nedeniyle, LPG sistemleri benzin sistemine sahip araçlara takılabilir.

Anahtar Kelimeler : LPG, yakıt karakteristikleri, sıralı sistemi, emisyon.

ABSTRACT

Master Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SEQUENT GAS PHASE LPG INJECTION SYSTEM

Fatih AYDIN

Selçuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mechanical Education Department

Supervisor : Assoc.Prof. Dr. Mustafa ACAROĞLU
2006, 91 Pages

Jury : Assoc. Prof. Dr. Mustafa ACAROĞLU
Assoc. Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU
Assist. Prof. Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU

In this study, effective working conditions of LPG system which are used at internal combustion engine is tried to determine. The fourth generation sequent gas phase LPG injection system, the last level that the LPG systems are reached, is examined and the system is introduced. It is mentioned about the problems of first, second and third generation LPG systems and it is determined that fourth generation sequent gas phase LPG injection system has not these problems.

Experiments are done with the car Multi Point Injection system 2000 Model Hyundai Accent 1.5 GLS on which fourth generation LOVATO sequent gas phase LPG injection system equipment assembled. The car is operated with LPG and unleaded oil. Emission and performance values are determined.

In conclusion it is determined that at fourth generation squent gas phase LPG injection system performance decreasing which is seen at previous generations is not exist. Since the heat value and burning speed of LPG is aproximate to unleaded oil, LPG systems can be assembled in the cars which have oil system.

Key Words : LPG, fuel characterictic, squent system, emission.

ÖNSÖZ

Dünyada, son yıllarda artan enerji kullanımı sebebiyle bazı sorunlarla karşılaşılmıştır. Bu sorunlardan birincisi çevre kirliliği, ikincisi ise enerji (yakıt) fiyatlarının yüksek olmasıdır. Taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliğinin artması, egzoz emisyon standartlarını yükseltmiş ve egzoz emisyonları temiz olan yakıtların kullanılması ihtiyacını doğurmuştur.

Bu ihtiyaca cevap veren, temini ve dönüşümü kolay olan alternatif yakıt türleri, kullanılmakta olan benzin ve dizel yakıtının yerini almaktadır. Bu alternatif yakıtlar içerisinden LPG (Liquefied Petroleum Gas)'nin, benzin ve dizel yakıtına göre ekonomik olması ve daha temiz egzoz emisyonu vermesi kullanımda tercih sebebi olmuştur.

Dünya LPG üretiminin % 5–6'sı taşıtlarda kullanılmaktadır. LPG'li yakıt kullanımında başta gelen ülkeler İtalya, Hollanda, Japonya, Güney Kore, Tayland, Avusturya, Amerika ve Kanada'dır. Ayrıca Yunanistan, Rusya, Endonezya, İran ve Türkiye gibi ülkelerde de kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. LPG Viyana'da 1970 yılından beri otobüs ve taksilerde kullanılmaktadır. Japonya'da tüm ticari taksiler LPG yakıtı kullanmaktadır. Rusya'da devlet tarafından araçlarda LPG ve CNG (Sıkıştırılmış doğal gaz) kullanımı için kişiler teşvik edilmektedir. Güney Kore'de ticari taksilerin % 90'ı LPG yakıtı kullanmaktadır (Ayhaner 1995a).

LPG'nin motorlu taşıtlarda alternatif yakıt olarak kullanım avantajları aşağıda sıralanmıştır:

- Temiz ve verimli yanma sağlar.
- Benzine göre daha ekonomik bir yakıttır.
- Yüksek oktan numarasından dolayı vuruntuyu önler.
- Karbon birikimi olmadığından motorun ömrünü uzatır.
- Araçlarda piston, segman, valf (supap), buji ve karbüratörün kullanım ömrü artmaktadır.

Yeni teknolojilerin ülkemize girmesiyle, kaynak kullanımı ve yeni iş alanı doğması sağlanmıştır (Anonim 1999).

Bu çalışmanın amacı, ülkemizde de kullanılmakta olan LPG sistemlerinin, benzin motorları üzerindeki uygulamalarının, motor performansı ve egzoz emisyonları yönünden benzine göre farklarının araştırılmasıdır. LPG sistemlerinin geldiği son noktadaki 4. Kuşak Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyon Sistemi incelenerek, sistem tanıtılmıştır. 1., 2. ve 3. kuşak LPG sistemlerinin problemlerine değinilmiş ve 4. Kuşak Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyon Sisteminde bu problemlerin olmadığı belirtilmiştir. Üzerinde LOVATO marka 4. Kuşak Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyon Sistemli cihaza sahip 2000 model Hyundai Accent 1.5 GLS marka çok nokta yakıt enjeksiyon sistemli araç üzerinde deneyler yapılmıştır. Araç LPG ve kurşunsuz benzinle çalıştırılarak emisyon ve performans değerleri tespit edilmiştir.

Çalışmalarım sırasında çok yoğun mesaisi içinde değerli vakitlerini ayıran, tez konumun tespitinden son aşamasına kadar yakın ilgi ve desteklerini esirgemeyip rehberlik eden danışmanım Doç. Dr. Mustafa ACAROĞLU'na, LPG'nin rafineri işlemleri hakkında bizleri bilgilendiren TÜPRAŞ Kırıkkale Rafinerisi Teknik Servis Müdürlüğü Personeline, LPG sistemleri hakkında bilgi temin etmeme ve bu sistemleri pratik olarak görmeme izin veren, İtalya ve Kanada ile telefon, fax ve email iletişimi kurarak gerekli katalogları elde etmemi sağlayan Aytok Ltd.Şti. sahibi Mustafa AYDIN'a, deney yapmamıza olanak sağlayan Konya Ticaret Odası Vakfı Teknoloji Danışmanlık Ve Eğitim Merkezi eğiticilerinden Erdal AVCI'ya, deney sırasında bana yardımcı olan Bayraktarlar Merkon A.Ş. Satış Sonrası Hizmetler Müdürü Mehmet AKYOL'a, kullanmış olduğu Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyon Sistemine sahip Hyundai Accent 1.5 GLS marka aracını deney yapmamız amacıyla bize güvenerek teslim eden Doğaner Kardeşler İnş. Otomotiv ve Gıda San. Tic. Ltd. Şti. sahibi Arif ve Murat DOĞANER kardeşlere, tez çalışmalarım süresince yardımcı olan tüm öğretim elemanlarına, üniversite görevlilerine ve beni teşvik ederek bu günlere gelmemi sağlayan aileme minnet ve saygılarımı sunar, teşekkür ederim.

Konya, 2006 Fatih AYDIN

1. GİRİŞ

Hava kirliliğinin büyük boyutlara ulaştığı günümüzde, motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirliliğin ihmal edilemez düzeyde olduğu bilinmektedir. Taşıtların egzozlarından çıkan karbon monoksit, hidrokarbon, azot bileşikleri ve parçacıkların meydana getirdiği çevre sorunları ciddi boyutlara ulaşmıştır. Petrolün hafif ürünlerinden olan LPG'nin buji ile ateşlemeli motorlarda kullanımı da mevcut sıvı yakıtların yerini tutacak diğer bir uygulamadır. Gaz yakıtlar, karışımın oluşturulması, dağıtımın ateşlenmesi ve yanması kontrolüne en az zorluk gösteren yakıtlardır. Egzoz emisyonları bakımından daha az kirletici olmaları sebebiyle ideal yakıtlar olarak bilinirler.

Kısa vadede alternatif yakıtlar olarak; LPG, Alkoller ve CNG, 2010 yılı sonrası için; hidrojen, biyokütle, yakıt hücresi gibi yakıtlar gündemdedir (Çelik ve Akay 2000, Polat 1999, Acaroğlu 2003).

1.1. Gaz Yakıtlar

Motorlu taşıtların hızla gelişimi ve petrol ürünü yakıtlara bağımlılığı araştırmacıları, doğada doğal olarak bulunan veya değişik metotlarla elde edilebilecek alternatif yakıtları bulma, geliştirme ve deneme çalışmaları yapmaya zorlamıştır. Bu amaçla motorlarda denenen ve kullanılan alternatif yakıtlardan bir bölümünü de gaz yakıtlar oluşturmaktadır. Motorlu taşıtlarda kullanılan gaz yakıtlar, yapı ve özellikleri bakımından iki halde bulunurlar (İçingür 1994):

- Daimi Gazlar
- Sıvılaştırılmış Gazlar

1.1.1. Daimi Gazlar

Çok yüksek basınçta bile sıvı hale geçmeyen, daimi gaz fazında olan gazlardır. Doğalgaz, Metan gazı, Hava gazı. Bu gazların depolanarak kullanılması yüksek maliyetler gerektirdiğinden boru hat sistemleri döşenerek kullanılmaktadırlar.

1.1.2. Sıvılaştırılmış Gazlar

Belirli basınç ve sıcaklıkta gaz halinden sıvı haline veya sıvı halden gaz haline dönüşen gazlardır. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı olarak adlandırılan LPG, propan ve bütan karışımından meydana gelmektedir.
(http://web.ttnet.net.tr/users/grupgas/urun1.htm)

Sıvılaştırılmış ve daimi gazlara ait karşılaştırmalı özellikler Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1. Sıvılaştırılmış ve Daimi Gazlara Ait Karşılaştırmalı Özellikler
(İçingür 1994)

Özellikler	Sıvılaştırılmış Gazlar			Daimi Gazlar	
	Propan	Bütan	Propan (50) Bütan (50)	Motor Metanı	Hava Gazı
Gazın Özgül Ağırlığı 15^0C de (kg/m^3)	1,81	2,38	2,06	0,915	0,600
Sıvının Özgül Ağırlığı 15^0C de (kg/l)	0,51	0,58	0,54	---	---
Isı Değeri (kj/m^3)	83580	108780	94920	42000	21000
Oktan Sayısı	126	95	80	100	90
1 kg gaz yakıtın ısı değerine tekabül eden benzin miktarı	1,4 – 1,81			0,46 – 0,551	

1.2. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı

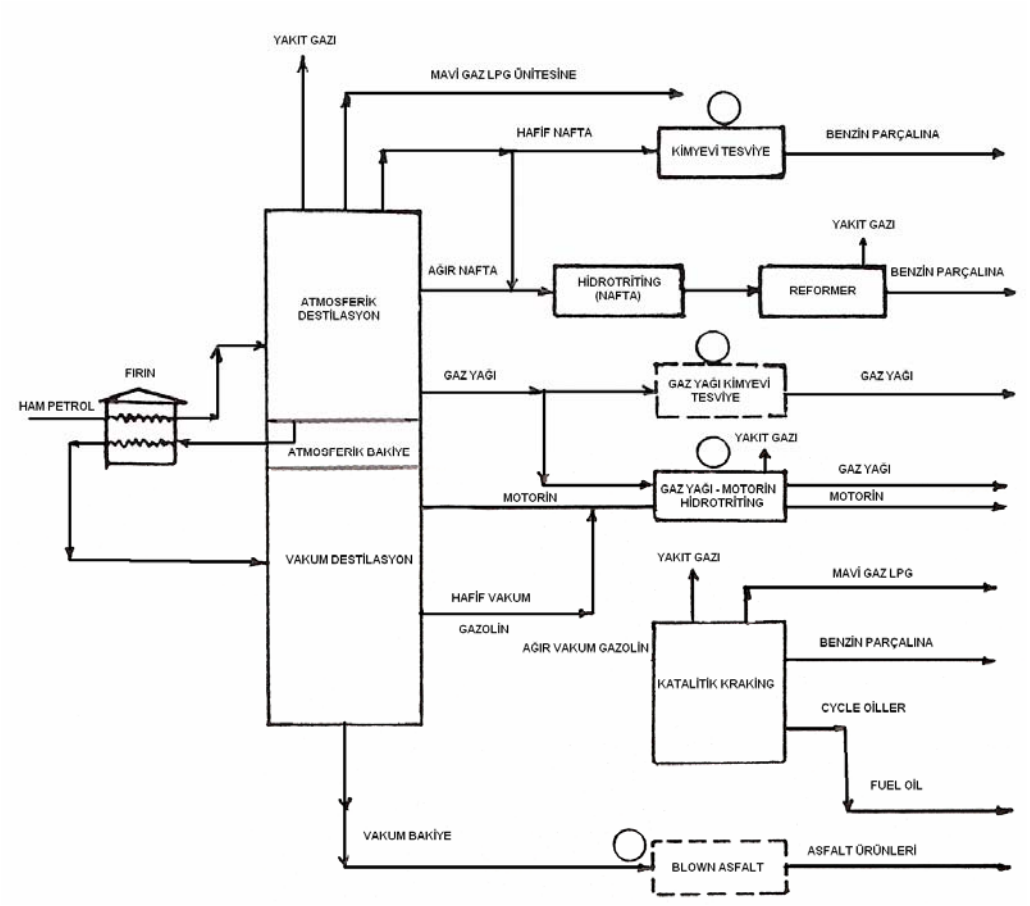
1.2.1. LPG'nin Elde Edilmesi

LPG doğalgaz kuyuları ve ham petrol rafinerileri olmak üzere iki ana kaynaktan elde edilir. Ham Petrolün distilasyonu ile elde edilen LPG, sudan arıtılır ve içerdiği kükürt miktarı standartlara uygun sınıra indirilir. Kokusuz olan LPG, etilmerkaptan (C_2H_5SH) ile kokulandırılır. Oda sıcaklığı ve 1 atm basınçta gaz halinde olup, basınç uygulandığında sıvılaşır.

Sıvılaşınca hacmi azaldığından taşıma, depolama ve ölçme işlemleri sıvı haldeyken yapılır. Basınç düşürüldüğünde ve çevreden aldığı ısı ile gaz haline dönüşür ve gaz halindeyken kullanılır.

LPG, benzinden daha ucuz olarak piyasaya arz edilmektedir. Taşıtlarda LPG kullanımının benzine göre % 50 daha ucuz olduğu ifade edilmektedir. Taşıtlarda LPG ve benzin kullanım miktarları, araçtan araca ve mevsimlere göre değişiklik arz etmektedir (Anonim 2002).

LPG, tüplü olarak konutlarda ve endüstriyel işletmelerde kullanılır. LPG, dökme olarak da yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Endüstride sıcak su ve buhar üretiminde, ısıl işlemlerde, kurutma, lehimleme, kesme gibi çeşitli proseslerde kullanılabilir (http://www.aygaz.com.tr).



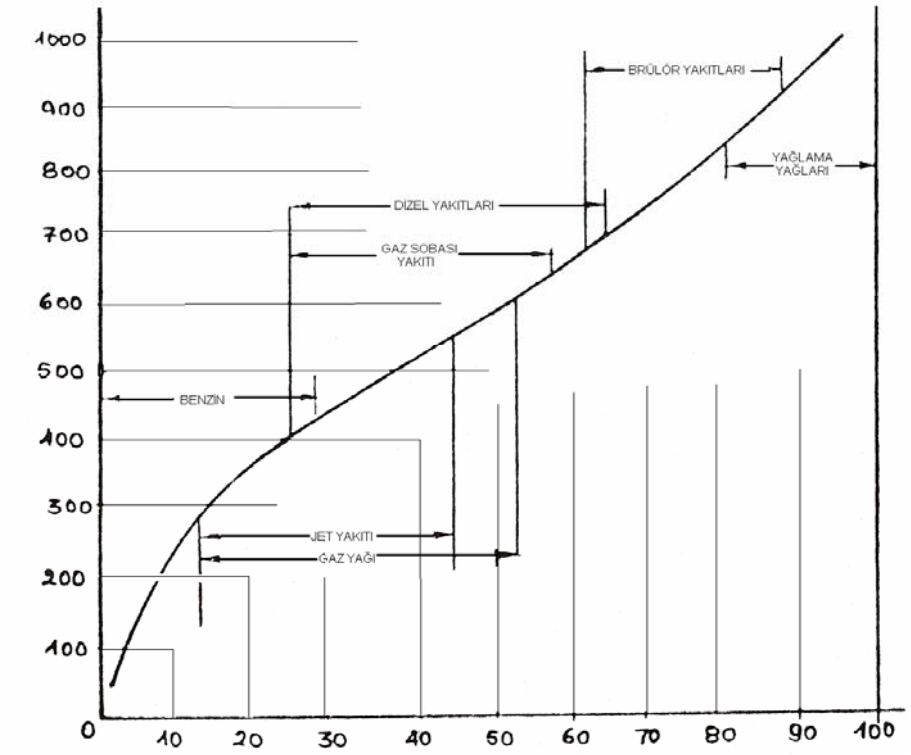
Şekil 1.1. Reforming İhtiva Eden Kraking Tipi Rafineri (Anonim 2001)

Sıvılaştırılmış petrol gazının molekülleri, benzin moleküllerinden daha küçüktür. Bu özelliğinden, sıvılaştırılmış petrol gazı normal atmosfer basınç ve sıcaklığında gaz halinde, benzin ise sıvı haldedir. Petrolün rafineri işleminde açığa çıkan ve hidrokarbon serisini oluşturan gözlere ait özellikler Tablo 1.2'de verilmiştir.

Tablo 1.2. Petrol Rafineri İşleminde Açığa Çıkan Ürünlerin Hidrokarbon Serisi (Anonim 2003)

Gaz	Formül	Kaynama Noktası (^{0}C)	Yoğunluk	Kullanılış Şekli
Metan	CH_4	- 162	0,554	Doğalgaz
Etan	C_2H_6	- 89	1,038	Doğalgaz
Propan	C_3H_8	- 42	1,520	LPG
İzobütan	C_4H_{10}	- 12	2,006	LPG
Bütan	C_4H_{10}	- 0,5	2,006	LPG
Pentan	C_5H_{12}	+ 36	2,491	Benzin Sınırı

Petrolün rafineri işlemi sırasında ilk açığa çıkan ürün LPG'dir. İşlenen petrolün % 4'ü LPG'ye dönüşür (Ayhaner 1995b).



Şekil 1.2. Destilasyonla Elde Edilen Ürünlerin Yüzdesi (Anonim 2001)

Sıvılaştırılmış petrol gazının özelliği ve kalitesi içerisindeki propan ve bütan oranına göre değişmektedir. Yakıt içerisindeki propan ve bütan miktarları üretildikleri ülke iklim şartlarına ve kullanım yerlerine göre değişir. Türkiye'de TÜPRAŞ rafineri işletmelerinde üretilen LPG yakıtının analiz sonuçları Tablo 1.3'de verilmiştir.

Tablo 1.3. Türkiye TÜPRAŞ Rafineri İşletmelerinde Üretilen LPG Yakıtının Analiz Sonuçları (Anonim 1996)

LPG ANALİZ SONUÇLARI		
İçindekiler	**1. Numune**	**2. Numune**
C1 (Metan)	0,03	0,01
C2 (Metan)	3,78	5,63
C3 (Metan)	32,93	30,19
Propilen	0,06	0,04
IC4 (İzobütan)	23,29	21,67
nC4 (N.Bütan)	35,43	35,57
ISO Bütilen	0,06	0
1 Bütan (Normal)	0,18	0,12
Trans 2 Bütan	0,04	0,03
IC5 (İzoheptan)	3,45	5,9
Cis 2 Bütan	0,03	0,04
nC5 (N. Heptan)	0,72	0,8
Yoğunluk	0,553	0,553
Kükürt (mg/m^3)	20 - 100	20 - 100

1.2.2. LPG'nin Çeşitleri

Türk Standartları Enstitüsüne göre, ülkemiz iklim ve kullanım şartlarına göre üretilecek LPG yakıtı bileşiminde bulunması gereken ana hidrokarbon oranına göre dört gruba ayrılmıştır. Sınıflandırılması yapılan gazlara ait özellikler Tablo 1.4.'de verilmiştir.

- **Ticari Propan :**

  Esas olan propan ve propilenden meydana gelen fiziki metotlarla sıvılaştırılabilen gaz karışımıdır. Uçuculuğu yüksek olan bir hidrokarbondur.

Soğuk iklimli bölgelerde daha homojen bir karışım oluşturur. Evlerde, ticari ve endüstriyel amaçlı yerlerde kullanılan ticari propan, kütlece % 95 saflıktadır.

Tablo 1.4. LPG'nin Yaklaşık Özellikleri (TSE 1991, Anonim 1998)

ÖZELLİKLER	TİCARİ PROPAN	TİCARİ BÜTAN	TİCARİ PROPAN TİCARİBÜTAN KARIŞIMI	ÖZEL HİZMET PROPANI
Buhar Basıncı, en yüksek, kPa				
20^0C	930	103		950
40^0C	1550	285	1-)	1550
45^0C	1720	245		1720
55^0C	2070	462		2070
Uçucu Kalıntı : % 95' inin buharlaştığı Sıcaklık, en yüksek ^{0}C	-38,3	2,2	2,2	-38,3
Bütan veya daha Ağır Moleküllü Ürün % Hacimce en çok	2,5	******	******	2,5
Pentan veya daha Ağır Moleküllü Ürün % Hacimce en çok	******	2,0	2,0	******
Propilen Miktarı, % hacimce en çok	******	******	******	5,0
Artık Miktarı : 100 ml Numunenin Buharlaştırılmasıyla, ml, en çok	0,05	0,05	0,05	0,05
Sıvı Haldeki LPG'nin Nisbi Yoğunluğu (Suya Göre) (15,6 / 15,6 ^{0}C)	0,592 (2)	0,582 (2)	0,547 Minimum 0,573 Maksimum	0,509 (3)
Sıvı Haldeki LPG'nin 1 m^3'' ünün Kütlesi (15,6 ^{0}C), kg	509	582	******	509 (3)
Gaz Haldeki LPG'nin Nisbi Yoğunluğu (Havaya Göre) (15,6 ^{0}C)	1,52 (2)	2,01 (2)	******	1,52
Tutuşma Sıcaklığı (Havada) ^{0}C	493 – 549	482 – 538	******	493 - 549
Buharlaşmadan sonraki toplam ısıtma				
Değeri: a) kj / m^3 (Gaz Fazında)	93470 (2)	121280 (2)	******	93470 (3)
b) kj / m^3 (Sıvı Fazında)	50020 (2)	49140 (2)	******	50020 (3)
c) kj / l (Sıvı Fazında)	25430 (2)	28100 (2)	******	25430 (3)
Korozyon (Bakır şerit üzerinde en çok)	No.1	No.1	No.1	No.1
Kükürt, mg / kg, Kütlece en çok	185	140	140	123
Rutubet Miktarı	Bulunmamalı	Bulunmamalı	Bulunmamalı	Bulunmamalı
Serbest Su Miktarı	Bulunmamalı	Bulunmamalı	Bulunmamalı	Bulunmamalı

(1) – Ticari Propan – Bütan karışımının buhar basıncı 1430 kPa'ı geçmemelidir. Bu değer ayrıca gözlenen buhar basıncı ile deneyle elde edilen nisbi yoğunluk arasında aşağıdaki ile hesaplanan değerden fazlası olmamalıdır.
Buhar Basıncı (en çok) = 1167 – 1880 kPa (15,6 ^{0}C sıcaklıkta nisbi yoğunluk)

(2) Tolerans ± % 5 'dir.

(3) Tolerans ± % 2 'dir.

- **Ticari Bütan**

Esas olarak bütan ve bütilenden meydana gelen fiziki metotlarla sıvılaştırılabilen gaz karışımıdır. Uçuculuğu düşük olan bir hidrokarbondur. Ilıman iklimli bölgelerde yakıt olarak kullanılan ticari bütan kütlece % 95 saflıktadır (TSE 1991).

- **Ticari Propan – Bütan Karışımı**

Ticari propan – bütan karışımının uçuculuğu orta seviyededir. Karışım oranları geniş aralıklarda olabileceğinden belirli ihtiyaçları karşılayabilecek özellikte yakıt elde edilmesi mümkündür. Bu karışım evlerde, ticari ve endüstriyel amaçlı kullanımlarda geniş bir alanda uygulanır. Türkiye'de TÜPRAŞ rafineri işletmelerinde LPG ürünü % 30 propan / % 70 bütan olarak üretilmekte, ancak propan artırıcı yönde iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır (TSE 1991).

- **Özel Hizmet Propanı**

Propandan meydana gelen, içten yanmalı motorlarda vuruntusuz çalışmayı sağlayan hidrokarbondur. Kütlece % 98 saflıktadır. Orta süratte ve vuruntusuz çalışması gereken içten yanmalı motorlar için elde edilen özel sıvılaştırılmış bir petrol gazıdır (TSE 1991).

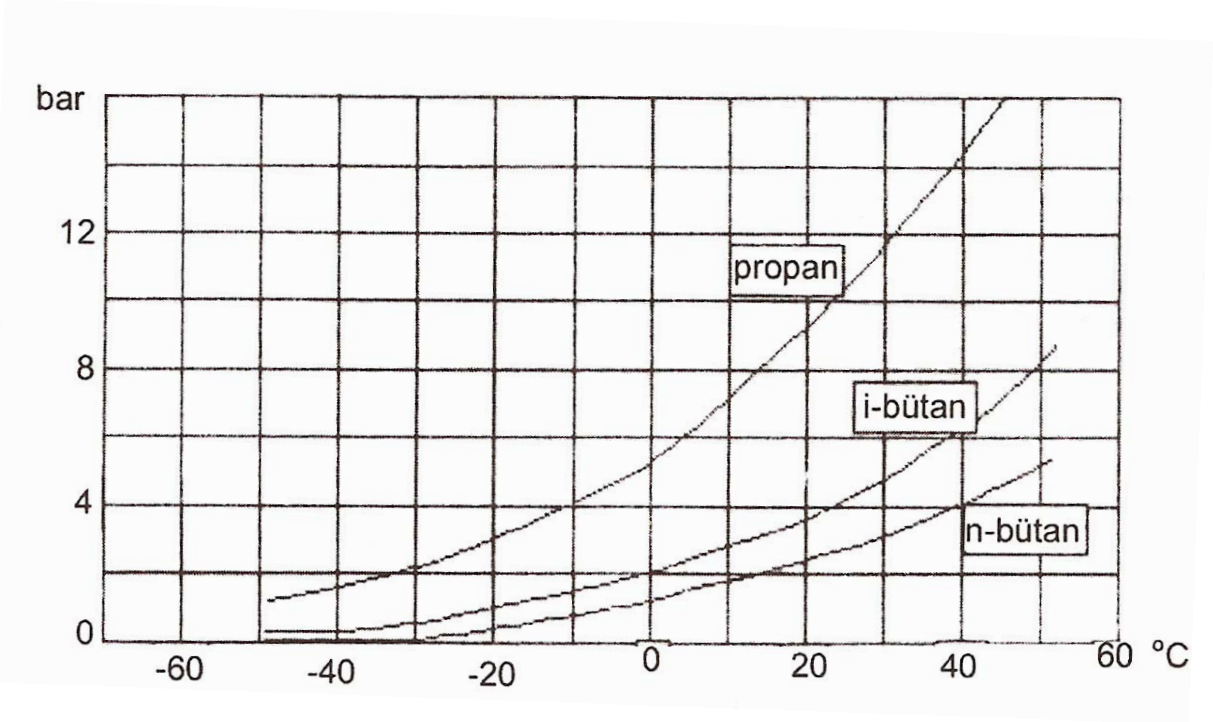
1.2.3. LPG'nin Özellikleri

- Havadan ağırdır. Bu sebepten dolayı zemine çökerek yayılma ve havasızlıktan boğulmaya sebep olur.
- Renksiz ve kokusuzdur.
- Parlayıcı ve patlayıcıdır.
- Benzine göre buhar basıncı yüksektir.
- % 100 temiz yanar. Kurum bırakmaz.
- Sıvı haldeki LPG, deri temasında soğuk yanmaya sebep olur.
- Bileşiminde asgari miktarda kükürt ihtiva eder. (20 – 100 mg/m^3)
- Silindir içinde daha homojen bir yakıt - hava karışımı sağlar.
- Atmosferik basınçta propan – 43^0C, bütan 0^0C sıcaklıkta sıvı fazına geçer.

- LPG'nin kısa sürede ve düşük oranda solunması, insanlarda zehirlenme belirtisi göstermez (Ayhaner 1995a, İçingür 1994, Anonim 2001).

1.2.4. Buhar Basınç Eğrisi

Bütan ve propanın belirleyici özelliklerinden biri de buhar basıncıdır. Yani, sıvının kapalı hacimdeki buhar ile dengede olduğu basınçtır. LPG Şekil 1.3.'de görüldüğü gibi, buhar basınç eğrisi altındaki şartlarda (basınç,sıcaklık) gaz halindedir. Bu eğrinin üzerindeki şartlarda sıvı haldedir (İçingür 1994).

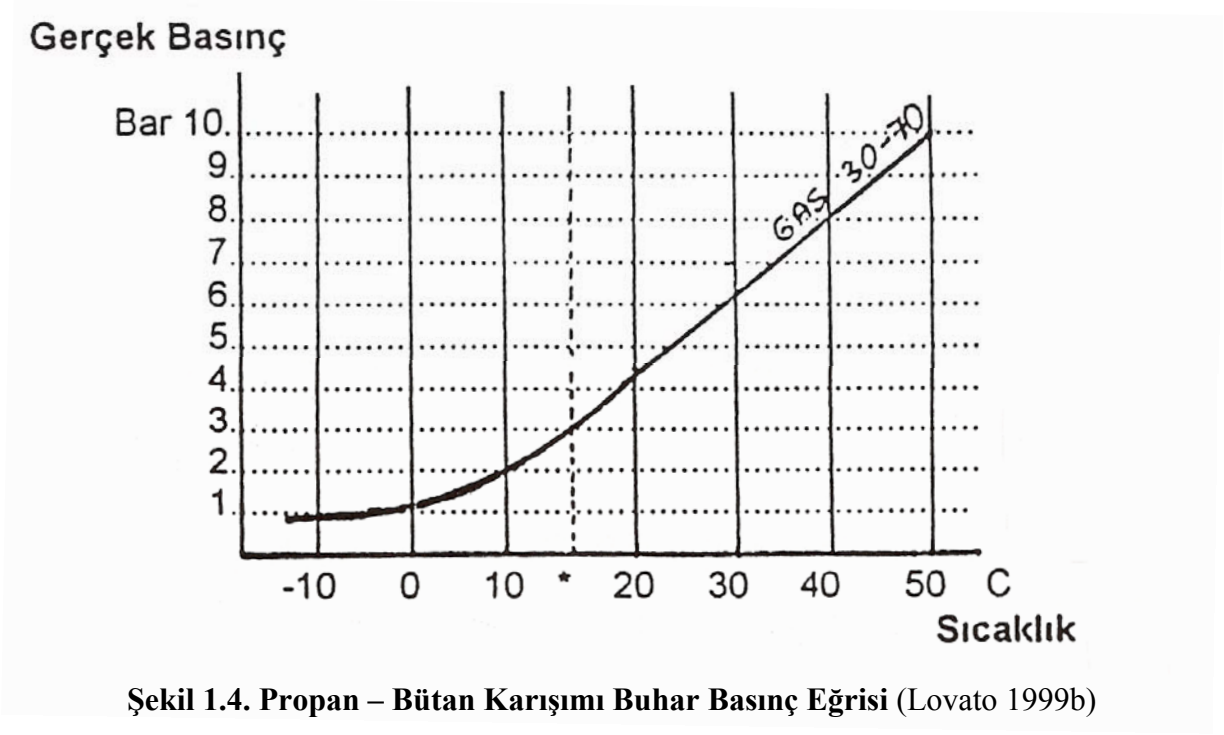


Şekil 1.3. Propan, Normal Bütan ve İzobütanın Sıcaklığa Bağımlı Buharlaşma Basınç Değişimi (Acaroğlu 2003)

Buhar basınç eğrisine göre bütanın 0 ^{0}C deki buhar basıncı 0,0005 bar ve 15 ^{0}C'de 0,8 bar; propanın aynı derecelerdeki buhar basıncı sırasıyla 4 bar ve 6,5 bar'dır. Bu nedenle propan ve bütan karışımının oranlarının değişmesi basınç üzerinde belirgin farklılıklara neden olur. Isı arttıkça basınç artar ve LPG'nin sıvı halindeki hacminde büyük değişikliklere neden olur. Basınç çok artarsa içinde bulunduğu tankın patlamasına neden olur. Tank hiçbir zaman LPG ile tam doldurulmamalıdır (Lovato 1999b).

Propan ve bütan arasındaki diğer ayırıcı özellik ise kaynama noktasıdır. Propanın – 43 ^{0}C de gaz faza geçmesi durup, sıvı fazda kalırken, bu olay bütanda 0^0C'dir.

Özellikler soğuk havalarda daha yüksek oranlarda propan gerektiren karışımların gereksinimini ortaya çıkarır. Böylece gaz fazına dönüşüm kolaylaşır. Türkiye'de hava ısısı bölgeden bölgeye değiştiğinden motorlu araçlarda kullanılan LPG karışımının da tüm koşullarda uygun olacak şekilde ayarlanması gerekir.(Şekil 1.4.)



Şekil 1.4. Propan – Bütan Karışımı Buhar Basınç Eğrisi (Lovato 1999b)

1.2.5. LPG'nin Isıl Değeri

Muhtelif gazların ısıl değerleri karşılaştırıldığında propan ve bütanın ısıl değeri gaz yakıtlardan oldukça yüksektir. Bu özelliğinden dolayı propan ve bütana yüksek kalorili gazlar denir. Tablo 1.5.'de çeşitli gazlara ait ısıl değerler verilmiştir.

Tablo 1.5. Bazı Gazların Isıl Değerleri (Anonim 2003)

GAZ	kJ / Nm^3
Hidrojen	11923,8
Havagazı	19811,4
Doğalgaz	41118
Asetilen	55133,4
Propan	94277,4
Bütan	122173,8

1.2.6. Buharlaşma Gizli Isısı

Buharlaşma gizli ısısı 1 kg yakıtı sıvı durumdan buhar durumuna geçirmek için gerekli olan ısıyı ifade eder. LPG yakıtını oluşturan gazların buharlaşma gizli ısıları Tablo 1.6.'da görüldüğü gibi yüksektir. İçten yanmalı motorlarda LPG'nin gerekli olan buharlaşma gizli ısısı, motor soğutma suyunun regülatörden geçen sıvısı, LPG'nin etrafında dolaştırılmasıyla temin edilir.

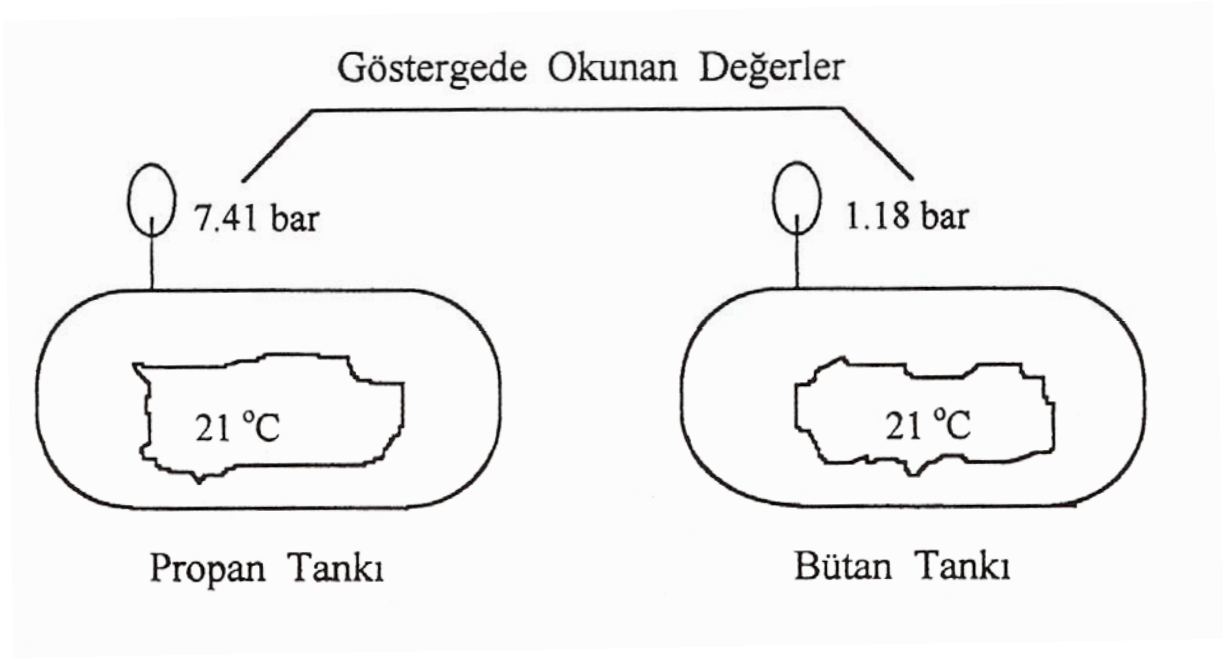
Tablo1.6. Propan ve Bütanın Buharlaşma Gizli Isıları (Anonim 2003)

Sıvı LPG Sıcaklığı (^{0}C)	Buharlaşma Gizli Isısı (kJ/ kg)	
	Propan	Bütan
- 28,9	410,8	-------
- 17,8	399	-------
- 12,2	392	-------
- 6,7	385,1	389,8
+ 1,7	373,4	382,6
+ 7,2	-------	378

1.2.7. Kaynama Noktası

Bir sıvının kaynama noktası, sıvının üzerinde 1,013 bar mutlak, yani atmosfer basıncı mevcut olduğu zaman, kaynama olayının meydana geldiği sıcaklıktır.

Şekil 1.5'de propan ve bütanın kaynama noktaları karşılaştırılmıştır. Yakıt deposunun içinde tamamen propan bulunursa, propan depo çevresindeki atmosfer sıcaklığı etkisiyle + 21 ^{0}C'ye kadar ısınır. Sıvının üstündeki buhar basıncı 7,41 bar olur. Bu durumda depo sıcaklığı artırılırsa içindeki propanın buhar basıncı fazlalaşır ve kaynama noktası yükselir. Eğer sıcaklık azaltılacak olursa , örneğin – 34,4 ^{0}C'de buhar basıncı 0,34 – 0,41 bar arasında olur. Şekil 1.5.'deki yakıt deposunda sadece bütan bulunursa, atmosfer sıcaklığı etkisiyle + 21 ^{0}C'ye kadar ısınan bütan 1,18 bar'lık buhar basıncı meydana getirir. 1,18 bar'lık basınç çalışması için yeterlidir. – 34 ^{0}C 'de bütanın buhar basıncı 0,205 bar'a kadar düşer.



Şekil1.5. Propan ve Bütan Tanklarında Kaynamanın Mukayesesi (Anonim 2003)

Propan ve bütanın kullanım alanları ile ilgili coğrafi dağılışında, en kesin rol oynayan fiziki faktör kaynama noktaları arasındaki farktır. Bütanın kaynama noktası (0 ^{0}C), propana (-43^{0}C) göre yüksek olduğu için sıcak iklimlerde kullanılır veya karışım içindeki oranı arttırılır (Anonim 2003).

Farklı karışımlardan meydana gelen yakıt kullanıldığı zaman, kaynama noktası düşük olan diğerinden daha çabuk buharlaşır ve karışım içindeki oranları önemli ölçüde değişir. Tablo 1.7.'de LPG yakıt deposunun tam, 1 / 3 ve 1 / 2 dolu olduğu zaman yakıt karışımlarının içindeki propan ve bütanın hacimsel yüzdelerinin değişimi görülmektedir.

Tablo1.7. Yakıt Deposunda Kalan Yakıt Yüzdeleri (Anonim 2003)

Tam Dolu		**1 / 3 Dolu**		**1 / 2 Dolu**	
Bütan	Propan	Bütan	Propan	Bütan	Propan
% 70	% 30	% 95	% 5	% 88	% 12
% 50	% 50	% 83	% 17	% 71	% 29
% 30	% 70	% 57	% 43	% 45,5	% 54,5

Avrupa'da çeşitli ülkelerde kullanılan LPG yakıtındaki propan / bütan oranları yaz ve kış aylarına göre değişim gösterir. Hatta iklim şartlarına göre sadece propan veya bütan kullanımı tercih edilir.

Tablo 1.8.'de Avrupa'nın çeşitli ülkelerinde yaz ve kış aylarında kullanılan LPG'nin karışım oranları verilmiştir.

Tablo1.8. Çeşitli Ülkelerde Yaz ve Kış Aylarında Kullanılan LPG'nin İçindeki Propan / Bütan Oranları (Soruçbay ve Ergeneman 1997, Kurulay ve Yeşil)

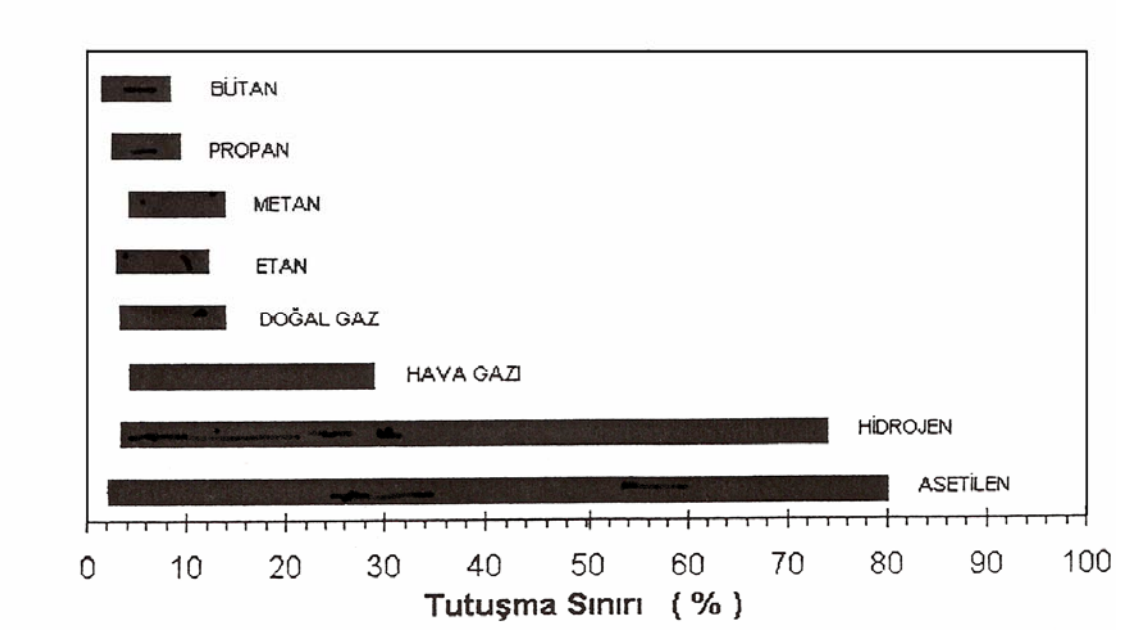
Ülkeler	**Propan (%) / Bütan (%) Oranı**	
	Yaz	**Kış**
Belçika	30 / 70	50 / 50
Almanya	Propan	
Danimarka	50 / 50	70 / 30
İngiltere	Propan	
Avusturya	20 / 80	80 / 20
Hollanda	30 / 70	70 / 30
İsveç	Propan	70 / 30
İsviçre	Propan	
Türkiye	30 / 70	

1.2.8. LPG'nin Tutuşma Sınırları

Bir yakıtın yanabilmesi için yakıt buharının hava ile gerekli miktarda karışmış olması gerekir. Yakıtların tutuşabilmesi için havada yanabilen yakıt yüzde miktarı hacimsel olarak tespit edilir. Bu değer alt ve üst sınırlar olarak LPG gaz yakıtları için aşağıdaki gibidir.

Hava gazı : 5 -------- 25 (%)
Bütan : 1,7 ------ 8,5 (%)
Propan : 2,5 ------ 9,5 (%)

Çeşitli gazların yanmaları için gaz / hava karışımındaki gaz yüzdelerini gösteren grafik Şekil 1.6.'da verilmiştir.



Şekil 1.6. Hava İçindeki Çeşitli Gazların % Tutuşma Sınırları (Anonim 2003)

Şekilde diğer gaz yakıtlara göre propan ve bütanın tutuşma aralığı daha dardır. LPG'nin kolayca tutuşabilme özelliği, içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılması için bir avantajdır.

1.2.9. LPG'nin Yoğunluğu

LPG'nin sıvı olarak yoğunluğu, propan 0,508 kg / m^3 normal bütan için 0,584 kg / m^3 olduğuna göre her ikisi de sudan hafiftir. Depoların maksimum doldurma oranını tayin edebilmek için sıvının yoğunluğu dikkate alınır. LPG'nin gaz olarak yoğunluğu, yakıtı meydana getiren karışım oranlarının değerine ve gazın sıcaklığına göre farklılık gösterebilir. Depolama tanklarının oranına dikkat etmek gerekir. Çünkü karışım içindeki oranlar LPG yakıtının yoğunluğunu belirler (Anonim 2003).

1.2.10. LPG'nin Yoğunluk Hesabı

Bir karışımın yoğunluğunun hesabı için, her yakıtın karışım içindeki hacim oranı ile o yakıtın yoğunluğu çarpılır ve sonra yakıtı oluşturan gazların yoğunlukları toplanır.

Türkiye'de kullanılan % 70 Bütan, % 30 Propan karışımının gaz yoğunluk hesabı :

Bütanın yoğunluğu : $2,006 * 0,70 = 1,400$

Propanın yoğunluğu : $1,520 * 0,30 = 0,456$

Gaz karışım yoğunluğu (kg / m^3) = 1,856

Türkiye'de kullanılan % 70 Bütan, % 30 Propan karışımının sıvı yoğunluk hesabı :

Bütanın yoğunluğu : $0,584 * 0,70 = 0,409$

Propanın yoğunluğu : $0,508 * 0,30 = 0,152$

Sıvı karışım yoğunluğu (kg / m^3) = 0,561

1.2.11. LPG'nin Tam Yanma Şartları ve Teorik Yanma Denklemleri

Yanma süreci için gerekli olan oksijen atmosferdeki havadan sağlanır. Hava hacimsel olarak % 78,09 azot, % 20,95 oksijen, % 0,93 argon ve % 0,03 karbondioksitten oluşur. Molekül ağırlığı 28,964'tür. Yanma süreci incelenirken karbondioksit ve argon gazları dikkate alınmaz ve havanın % 79 azot ve % 21 oksijenden oluştuğu varsayılır. Bu bileşimde olan havanın molekül ağırlığı 28,851'dir ve içerisinde 1 mol oksijene karşılık 3,76 mol azot bulunur (Yücesu 1991).

% 70 Bütan / % 30 Propan oranlarındaki LPG yakıtının yanma denklemi :

$$(0,7 * C_4H_{10} + 0,3 * C_3H_8) + a * O_2 + 3,76 * a * N_2 \rightarrow 6 * CO_2 + C + H_2O + 3,76 * a * N_2$$

denkleştirme sonucu yanma denklemi yeniden düzenlenirse;

$(0,7 * C_4H_{10} + 0,3 * C_3H_8) + 6,05 * O_2 + 22,75 * N_2 \rightarrow 3,7 * CO_2 + 4,7 * H_2O + 22,75 * N_2$ bulunur.

1 Mol LPG için gerekli hava miktarı ;

$6,05 * O_2 + 22,75 * N_2 = 28,8$ mol hava

$$\text{Hacimsel olarak hava / yakıt oranı } A / F = \frac{\text{Mol Hava}}{\text{Mol Yakıt}} = \frac{28,8}{1} = 28,8 \text{ 'dir.}$$

Kütle olarak ;

$M_y = 0,70 * M(_{C4H10}) + 0,30 * M(_{C3H8}) = (0,7 * 58) + (0,3 * 44) = 53,86$ kg LPG / mol LPG

$Mh = 28,8 * M_{hava} = 28,8 * 28,851 = 830,91$ kg hava / mol hava

$$\text{Hava ve LPG'nin Kütlesel Oranı } \frac{H}{Y} = \frac{830,91}{53,86} = 15,42 \text{ kg hava / kg LPG}$$

1.2.12. LPG'nin Kokulandırılması

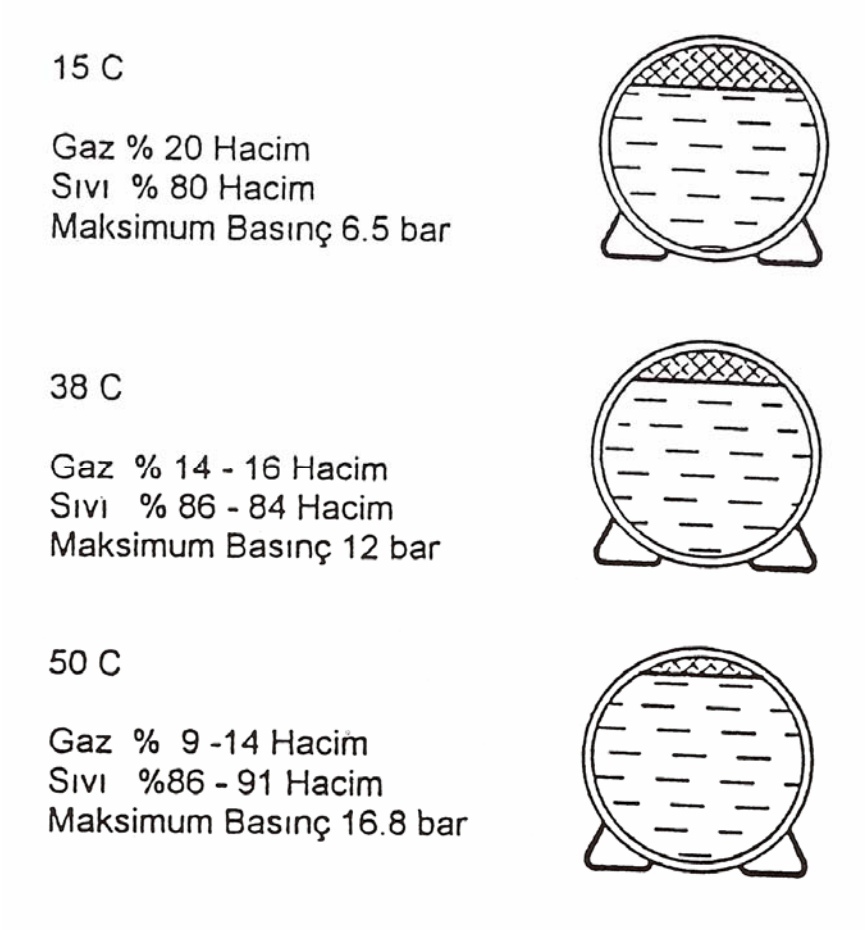
LPG sızıntı ve kaçak sonucu çevre emniyeti açısından zararlı olabilir. Sızıntı durumunda parlayıcı, patlayıcı ve sağlığa zararlı karışım meydana getirmeden fark edilmesi için içerisine koku verici maddeler karıştırılmalıdır.

Genel olarak 1 ton LPG içerisine ;

21 g	Etilmerkaptan	C_2H_5SH	
30 g	Merkaptan	$C_5H_{11}SH$	
137 g	Fiyofen	C_4H_4S	katılması gerekmektedir (TSE 1996).

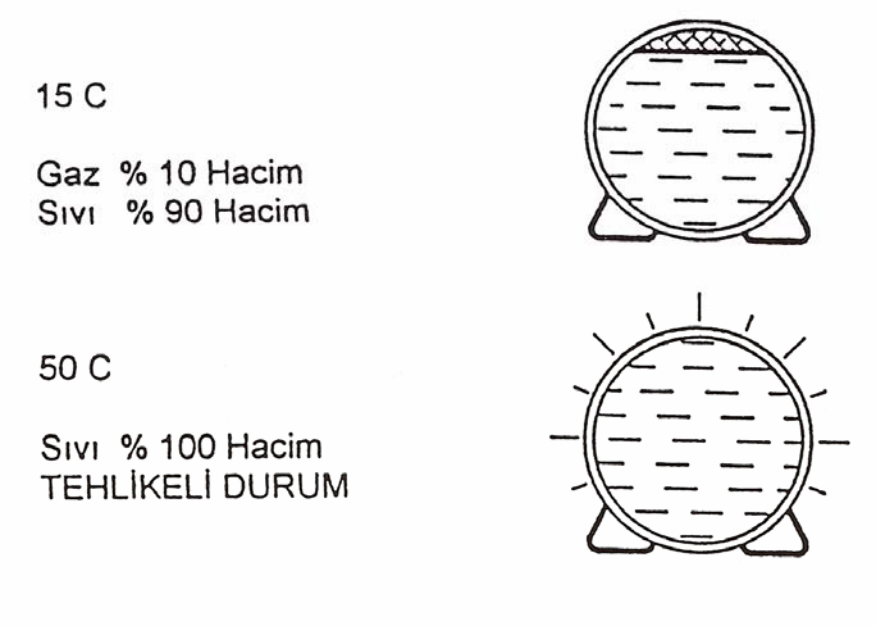
1.2.13. LPG'nin Depolanması

LPG yakıtının depolanması sırasında yakıt tankları, LPG'nin buhar basıncı nedeniyle tamamen doldurulmamalıdır. LPG tankları Ulaştırma ve Sanayi Bakanlıkları ve TSE'nin yönetmelik ve standartlarına göre üretilip, test edilirler. Tanklar yüksek kaliteli çelikten yapılır ve genelde üç parça su altı ark kaynağı ile birleştirilir. 45 bar hidrolik basınçta test edilirler. Basınç 1 dakika boyunca sürdürülür. Bu süre içerisinde şişme, sızıntı, akma, çatlama ve esneklik belirtileri olmamalıdır. İtalyan standartlarına göre tanklar toplam kapasitelerinin en fazla % 80'ine kadar doldurulmalıdır. Şekil 1.7.'de % 20 gaz ve % 80 sıvı LPG depolanmasında değişik sıcaklıklarda sıvı ve gaz LPG oranlarında meydana gelen değişiklikler görülmektedir (Lovato 1999b).



Şekil 1.7. % 20 Gaz - % 80 Sıvı LPG'nin 15 ^{0}C de Depolandığında, 38^{0}C – 50 ^{0}C Sıcaklıklarda Yakıt Deposundaki Yakıt Oranlarının Değişimleri (Lovato 1999b)

Yakıt tanklarının bu oranlar dikkate alınmadan fazla miktarda doldurulması halinde, ortam veya depo sıcaklığının artması tehlikeli durum oluşturur. Şekil 1.8.'de % 10 gaz ve % 90 sıvı, 15^0C sıcaklıkta LPG yakıtının depolanmasından sonra, 50^0C sıcaklıkta deposundaki LPG yakıt oranlarında meydana gelen değişmeler verilmiştir (Lovato 1999b).



Şekil 1.8. % 10 Gaz - % 90 Sıvı LPG'nin 15 ^{0}C de Depolanmasından sonra, 50 ^{0}C sıcaklıkta Yakıt Deposundaki Yakıt Oranlarının Değişimleri (Lovato 1999b)

1.2.14. Motor Yakıtı Olarak LPG

Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), endüstriyel, tarımsal, askeri ve motorlu araçlarda kullanılabilecek yüksek kalitede enerji sağlar. Tablo 1.9.'da motor yakıtları ve LPG'nin karşılaştırmalı özellikleri verilmiştir. Tablo değerlerinden görüleceği gibi benzin ve diesel yakıtlarının oda sıcaklığı üzerinde kaynama noktası değerleri vardır. LPG ise daha düşük ısılarda kaynar. Bu durum, benzin ve diesel yakıtlarının atmosferik basınçta sıvı halde tanklarda saklanabilirken, LPG'nin belirli bir basınçta bulundurulma zorunluluğunu getirir.

Tablo 1.9. Motor Yakıtları ve LPG'nin Karşılaştırmalı Özellikleri (Lovato 1999b)

Özellikleri	Propan	Bütan	Benzin	Diesel
15 ^{0}C'de Yoğunluk (kg / lt)	0,508	0,584	0,73 – 0,78	0,81 – 0,85
Buhar Basıncı 37,8 ^{0}C' de (bar)	12,1	2,6	0,5 – 0,9	0,003
Kaynama Noktası (^{0}C)	-43	0,5	30 - 225	150 – 560
AON (RON)	111	103	96 - 98	-----
MON	97	89	85 - 87	-----
Düşük Isıl Değeri (kJ/kg)	23,400	26,500	32,300	35,600
Yüksek Isıl Değeri (kJ/kg)	46,100	45,460	44,030	42,400
Stokiyometrik Oran (kg / kg)	15,8	15,6	14,7	-----
Kalorifik Oran (kg /m)	3414	3446	3482	-----

AON, Araştırma Oktan Numarası (RON – Research Octane Bumber) ve MON, Motor Oktan Numarasından görüldüğü gibi LPG benzine kıyasla daha üstün anti detenasyon özelliğine sahiptir. Diesel yakıtı ve benzine göre LPG, daha iyi kalorifik gücü verir.

Araç yakıt tüketimi diesel ve benzin için LPG'den daha azdır. Fakat hacim olarak karşılaştırıldığında özgül ağırlıklarından dolayı tam tersi geçerlidir. LPG gaz olduğundan benzine kıyasla daha iyi homojen karışım gösterir. Bu gaz karışımı, karbüratörden daha kolay geçer ve motor performansını artırır.

Motor ele alındığında, benzinli motoru 100 olarak ele alırsak, LPG 90 güç verir(% 10 kayıp) ve diesel motor ise 65'tir(% 35 kayıp).

Bu oran diesel motorlarının, benzin ile çalışan motorlara göre daha fazla hacimsel motor kapasitesine sahip olduklarını açıklar (Lovato 1999b).

1.2.15. Motor Yakıtı Olarak LPG'nin Avantajları

- Soğuk havalarda ilk hareket kolaylığı vardır.
- Egzoz emisyonları daha düşüktür.
- Kullanılan sistemin bakımı azdır.
- Silindirlere daha eşit yakıt dağılımı olur.
- Oktan sayıları yüksektir.
- Yanma daha verimlidir.
- Fakir karışımda çalışmaya müsaittir.
- Yağlama yağı daha uzun ömürlü olur.
- Yanma odasında daha az artık madde bırakır.
- Yakıt fiyatı ekonomiktir.
- Benzine göre ozon tabakasına % 30 daha az zarar verir.
- Temiz yanması buji kirlenmesini geciktirir, kirlenmeden dolayı yanma verimini düşürmez.

  Egzoz sistemi daha uzun süre dayanır (Ayhaner 1995a, Anonim 2001)

1.2.16. Motor Yakıtı Olarak LPG'nin Dezavantajları

- Yakıt tankının ağır oluşu, dönüşüm yapılan araca ilave ağırlık oluşturur.
- Yakıt tankından dolayı bagaj hacmi küçülür.
- Güç çıkışında yaklaşık % 5 – 10 azalma olur.
- Yakıta katkı maddesi ilavesi mümkün değildir.
- LPG dönüşümü ek maliyet getirir.

Tank dolum anında veya LPG'li çalışmada taşıt içi kokar (Ayhaner 1995, Anonim 2001, Yücesu 1991).

1.2.17. LPG'nin Oktan Sayısı

Benzinin oktan sayısı düşüktür. İçerisine çeşitli metodlarla katılan katkı maddeleriyle (kurşun tetraetil, aromatikler) oktan sayısı yükseltilir. LPG'nin ise oktan sayısı yüksektir.

Bundan dolayı LPG, yüksek sıkıştırma oranlı motorlarda kullanımıyla motor gücünü artırır. LPG yakıtını meydana getiren propan, bütan ve diğer gazların karışım içindeki oranları LPG'nin oktan sayısını belirler (Anonim 2001).

1.2.18. LPG'nin Çevreye Etkisi ve Egzoz Emisyonları

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirleticilerin en önemlileri; azot oksitler (NO_x), karbon monoksit (CO), hidrokarbonlar (HC), kükürt (S), kurşun (Pb) ve partiküller olarak sıralanabilir. Çevre ve insan sağlığına zararlı olan bu kirleticiler, egzoz gazlarının hacimsel olarak % 1'ini oluşturmakta olup, motorun çalışma şartlarına bağlı olarak değişik davranışlar göstermektedir.

Ülkemizde yapılan çalışmalarda, Ankara ili için egzoz gazlarının hava kirliliğindeki etkisi partikül emisyonlarında % 42, hidrokarbon emisyonlarında % 86, azot oksit emisyonlarında % 73, karbon monoksit emisyonlarında % 87 ve toplam hava kirliliğinde % 74 olarak belirlenmiştir (Anonim 1999).

Tablo 1.10. Ankara İli Ulaşımında Yakıt Tüketimi Bazında Emisyon Değerlerinin Benzinli ve Dizel Motorlara Göre Değişimi (Anonim 1999)

	Benzin Motorlu (kg / ton)	**Dizel Motorlu (kg / ton)**
Kirleticiler / Pariküller	1,9	18
CO	500	10
HC	90	30
NO_x	20	37
SO_2	1,5	6

Dünyanın en önemli sorunlarından birisi, artan hava kirliliğinin ve sera etkisinden kaynaklanan küresel ısınmanın önlenmesidir. Bunun için teknolojik önlemler alınırken, otomotiv sanayide de alternatif yakıtlar üzerinde büyük araştırmalar yapılmaktadır. LPG bu alternatif yakıtlardan bir tanesidir.

LPG, hem benzine hem de motorine göre daha temiz bir yakıttır. İçinde kükürt, kurşun bileşiği, aromatik hidrokarbonlar ve polimerler yoktur. Karbon birikintisi oluşturmamaktadır. Diğer kirleticiler de önemli ölçüde azalmaktadır (Anonim 1999).

Tablo 1.11. TOFAŞ / FİAT Emisyon Laboratuarında LPG – Benzin Emisyon Değerleri (Hot 550 USA Testine Göre) Karşılaştırılması (Anonim 1999)

	Benzin	**LPG**
Karbonmonoksit (CO)	32,2	14,8
Hidrokarbonlar (HC)	11,6	6,8
Azot Oksitler (NO_x)	16,25	15,07
Karbondioksit (CO_2)	1280	1138

LPG kullanılarak CO'da % 54, HC'de % 41.4, NO_x'de % 7,2 oranında emisyon değerlerinde iyileşme olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte kirletici olmamakla beraber küresel ısınmanın nedeni olan CO_2 emisyonlarında da LPG kullanılarak önemli ölçüde azalma sağlanmaktadır. Bu azalma % 11,1 civarındadır. Ayrıca başka bir inceleme de Tablo 1.12.'de karşılaştırılmıştır (Anonim 1999).

Tablo1.12. LPG, Kurşunsuz Benzin ve Motorinin Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması (Anonim 1999)

	LPG	**Kurşunsuz Benzin**	**Motorin**
Hidrokarbon HC	1,8	3	6
Karbonmonoksit CO	0,3	6	0,2
Azotoksit NO_x	40	50	25

LPG'nin otomotiv sektöründe benzin ve motorine göre çevre açısından çok daha olumlu sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır.

1.2.19. LPG Yakıtının Ekonomik Açıdan Değerlendirilmesi

Otomotiv sektöründe taşıtlarda egzoz gaz emisyon sınırlarının sağlanabilmesi için temiz yakıt olarak, alkol esaslı yakıtlar, iyileştirilmiş benzin (REG), LPG, doğalgaz ve hidrojen söz konusudur. Şehir içerisinde taşıtlarda ortalama ;

10 lt benzin

12 lt LPG tüketilmektedir (Anonim 1999).

Şehir içi yakıt mukayesesi :

$$\text{Kurşunsuz benzin} \quad 3 \text{ YTL / lt} * \frac{10 \text{ lt}}{100 \text{ km}} = 0{,}3 \text{ YTL / km}$$

$$\text{LPG} \quad 1{,}50 \text{ YTL / lt} * \frac{12 \text{ lt}}{100 \text{ km}} = 0{,}18 \text{ YTL / km}$$

$$\text{Fark} = 0{,}12 \text{ YTL / km}$$

$$\text{Ekonomik Fayda} = 1 - \frac{0{,}18}{0{,}3} = 0{,}4 = \% \ 40$$

Aynı zamanda lt/km açısından incelendiğinde benzinde 0.1 lt/km, LPG'de 0.12 lt/km değerleri de karşımıza çıkmaktadır. Yakıt maliyeti açısından kurşunsuz benzin LPG'ye göre % 2'lik bir avantaj göstermektedir. Kısaca benzinden LPG ye dönüşümde yakıt tasarrufunun ortalama % 40 civarında olduğu söylenebilir. Ayrıca aracın yağlama yağı ömrünün iki katına çıkması ve bakım malzemelerinin ekonomik katkısı da % 10 civarındadır.

1.2.20. LPG'nin Araç Dönüşüm Maliyeti

Benzinden sıralı sistem LPG enjeksiyon sistemine dönüşümü yapılan araçların maliyeti proje dahil 1800 YTL civarındadır. Dönüşüm maliyetinin amorti edilebilmesi için;

$$\frac{1800 \text{ YTL}}{0{,}12 \text{ YTL/km}} = 15000 \text{ km yol kat etmesi gerekmektedir.}$$

Günde ortalama 200 km yol yapan bir aracın, şehir içinde kullanılması halinde 75 günde LPG dönüşüm maliyetini amorti etmesi mümkündür.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kaynak araştırması yazarların soyadına göre alfabetik sırada verilmiştir.

Bayındır ve arkadaşları (1997), LPG'nin ülkemizdeki otomobillerde alternatif yakıt amaçlı kullanımı, motor karakteristiklerine ve egzoz emisyonlarına etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Deneylerde benzinli motor kullanılmış, motor önce benzinle çalıştırılarak uygun sıcaklığa getirilmiş ve bu çalışma şartlarındaki egzoz gazı emisyonları ve yakıt tüketimi ölçülmüştür. Daha sonra motor aynı koşullarda LPG ile çalıştırılarak aynı deney yapılmış ve elde edilen değerler benzine göre karşılaştırılmıştır.

Chen ve arkadaşları (2001), yaptıkları çalışmada LPG ile az miktarda dimetil esteri karıştırarak, dizel motoruna uygulamışlardır. Yanma üzerine yapılan deneysel ve analitiksel çalışmalarda, motor performansı ve ve egzoz karakteristiklerini incelemişlerdir. Sonuçta, motorun bu yakıtla geniş bir yük aralığında yüksek bir verimle çalışabileceği ve NO_x emisyonun azaltılabileceği gösterilmiştir.

Çetinkaya (1998), vermiş olduğu panelde, İçten yanmalı motorlar, katı, sıvı ve gaz yakıtlardan her hangi birini veya ikisini (çift yakıtlı motorlar) kullanılabileceğini ve katı, sıvı yada gaz olsun, herhangi bir yakıtın otomotiv yakıtı olarak seçiminde dikkate alınan en önemli kriterlerin ;

- Bulunabilirliği ve fiyatı,
- Birim hacim veya kütlesinin ısı değeri,
- Temin etme, depolama ve motorda yakma için gerekli sistemlerin karmaşıklığı olduğunu belirtmiştir.

Bu kriterler göz önüne alındığında, birim fiyatının ucuz olması, ısı değerinin yüksek olması, kolay temin edilebilip depolanabilmesi ve diğer alternatif yakıtlara nazaran karmaşık olmayan sistemlerle motorlarda yakılabilmesi LPG'nin otomotiv yakıtı olarak kullanılmasının ne kadar doğru bir karar olduğunu göstermektedir.

Çetinkaya (1998), yapmış olduğu çalışmada sıvılaştırılmış petrol gazının (LPG) özelliklerini araştırmıştır. Bu çalışmada taşıtlarda LPG kullanımının yaygın

olduğu ülkeler, LPG'nin kimyasal özellikleri, LPG'nin avantaj ve dezavantajları, yakıt seçiminde dikkate alınan kriterler ele alınmıştır. Sonuçta, gaz yakıtların karışımın oluşturulması, dağıtımı, ateşlenmesi ve yanmasının kontrolüne en az zorluk gösteren yakıtlar olmaları ve egzoz emisyonları bakımından daha az kirletici olmaları sebebiyle ideal yakıtlar olduğunu belirtmiştir.

Demirbaş (2002), taşımacılıkta alternatif yakıt olarak kullanılan doğalgaz, LPG ve hidrojenin yakıt özelliklerini araştırmıştır. Daha az karbonlu olan LPG daha temiz yandığından yağ kirliliğinin ve motor aşıntısının azaldığını, segman ve yatakların ömrünün uzadığını tespit etmiştir. Ayrıca yüksek oktanlı LPG, motor vuruntusunu da minimuma indirmiştir.

Dinler ve Yücel (2002), yaptıkları çalışmada silindir hacimleri farklı iki motorda LPG'nin egzoz emisyonunu deneysel olarak incelemişlerdir. Motorların her ikisinde de aynı marka LPG dönüşüm kiti monte edilmiştir. Emisyon deneyleri 40 dev / sn sabit motor hızında motor yükü % 0 (yüksüz), % 100 (tam yük) arasında % 20 değiştirilerek yapılmış ve sonuçlar grafiksel olarak gösterilmiştir. Sonuçta, her iki yakıt kullanımında da egzoz emisyonlarının hava fazlalık katsayısına bağlı olarak değişim gösterdiğini bulmuşlardır.

Emen (2000), yaptığı yüksek lisans çalışmasında 1994 model Lada Samara marka aracı şasi dinamometresinde değişik devir kademelerinde teste tabi tutmuştur. Aracın 70 ve 90 km/h hızda motor gücü ve yakıt sarfiyatı belirlenmiş, LPG ile çalışmada egzoz emisyonu ve motor gücünün düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

İçingür ve ark. 1998 yılında vermiş olduğu panelde, sıvılaştırılmış petrol gazlarının (LPG) kimyasal özellikleri ele alınmış ve motor yakıtı olarak LPG'nin avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymuşlardır. Ayrıca motorlu taşıtlarda kullanılan LPG yakıt sistemlerinin çalışmalarını anlatarak sistemlerinin karşılaştırmasını yapmışlardır.

Salman ve arkadaşları (1998), yaptıkları çalışmada benzin ve LPG ile çalışan taşıtları şasi dinamometresinde yol şartları simule edilerek teste tabi tutmuşlardır. Egzoz emisyonları ve tekerlek güçlerini ölçerek, taşıt performanslarını karşılaştırmışlardır.

Selim (2005), çift yakıtlı motorlarda gaz yakıtı tipinin motor parametreleri üzerine etkisini incelemiştir. Motor tasarım parametrelerinin yanma gürültüsünü etkilediğini bulmuştur.

Soruşbay (2002), benzin motorlu taşıtların LPG kullanımına dönüşümünü standartlarda tanımlanan kirletici emisyonları ve karbondioksit emisyonu açısından incelemiştir. LPG'yi yakıt ekonomisi ve fiyat politikaları bakımından ayrıca değerlendirmiştir.

Yamin ve Bardan (2002), özellikle genişleme prosesinde motorun ısı kaybını azaltmak için çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında benzinli motorda yakıt olarak LPG kullanılmış, karışım oranı, sıkıştırma oranı, bujinin yeri ve farklı hızlardaki yanma süresinin ısı kayıpları üzerine etkisini incelemişlerdir.

Yoong ve Watkins (2004), LPG bileşiminin fiziksel ve kimyasal özelliklerini, ani buharlaşma modelinin gelişimini ve yanmanın laminer alevlenme modeli uygulamasını yapmışlardır.

Yücel ve Dinler (2000), 6^0 lik ateşleme avansı değerinde LPG'nin ve katalitik konvertörün motor performansı ve egzoz emisyonlarına olan etkisini incelemişlerdir. LPG ile yapılan deneylerde motor mil veriminin daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Yukarıda yapılan çalışmalar gibi LPG ile ilgili bir çok çalışma yapılmış ve yapılmaktadır. Araştırmacıları bu çalışmaları yapmaya zorlayan etkenlerin başında LPG'nin birim fiyatının ucuz olması, temiz yanan bir alternatif yakıt olması ve sistem karmaşıklığının olmaması gibi bir çok etkeni sıralayabiliriz.

Dünyada otomobillerden kaynaklanan çevre kirliliğinin gün geçtikçe artması alternatif yakıt alanındaki araştırmaların temelini oluşturmakta ve alternatif yakıt olarak bilinen LPG yakıtı hakkındaki araştırmaları da arttırmaktadır.

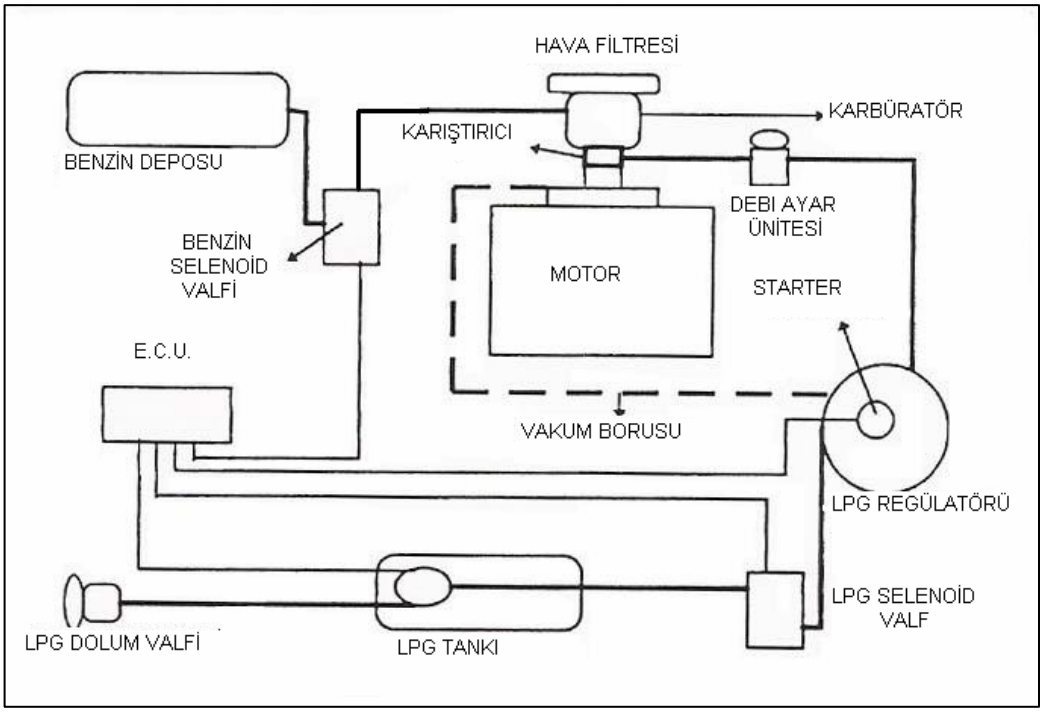
3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

LPG, güç kaybını önlemek ve egzoz emisyon değerlerini yeni normlara uygun hale getirmek için, benzinli sistemlerdeki gelişmeye paralel gelişme ve yenilenmelere göre kendini sistem olarak yenilemiştir. Sistemdeki bu gelişmede aşağıdaki sınıflandırma yapılabilir:

I. Birinci Kuşak Basit Karıştırıcılı Sistem
II. İkinci Kuşak Elektronik Kontrollü Sistem
III. Üçüncü Kuşak LPG Enjeksiyonlu Sistem
IV. Dördüncü Kuşak Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyonlu Sistem

3.1.1. Birinci Kuşak Basit Karıştırıcılı Sistem



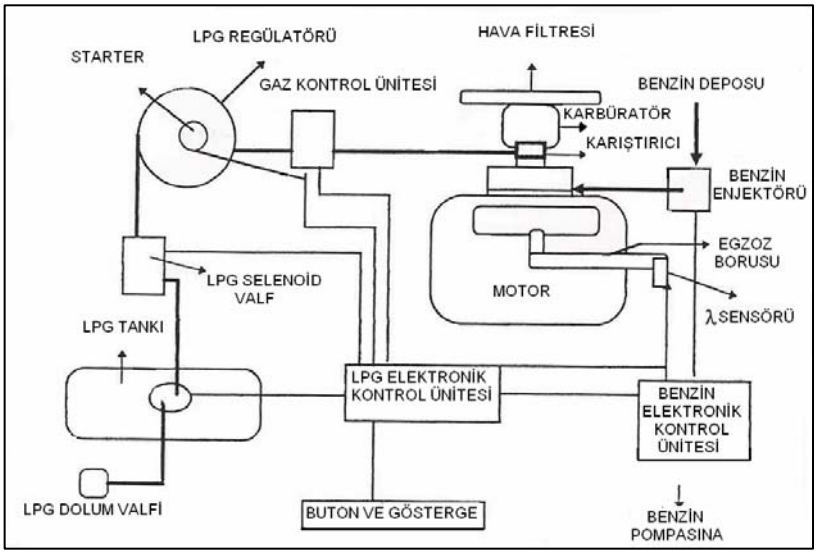
Şekil 3.1. Birinci Kuşak Basit Karıştırıcılı Sistem (Anonim 1998)

Birinci nesil LPG dönüşüm sistemleri en basit olan sistemlerdir. Yakıt deposundan sıvı halde alınan yakıt, bir regülatör ve buharlaştırıcı yardımıyla emme manifoldunda yer alan bir gaz karıştırıcıya gönderilerek hava ile karıştırıldıktan sonra silindirlere yollanmaktadır. Bu sistem karbüratörlü motorların dönüşümünde kullanılmaktadır. Birinci nesil LPG sistemleri regülatörün diyaframı ayarlamak için aldığı sinyale göre vakumlu veya elektronik olarak ikiye ayrılmaktadır.

Sistemde rölanti, kısmi yük ve tam yük için ayar vidaları bulunmaktadır. Bu sistemin, yetersiz sürüş performansı ve karışımın fakire ayarlanması durumunda geri tepme eğilimi vardır. Sürüş performansını iyileştirmek ve geri tepme eğilimini azaltmak üzere karışım zenginleştirildiğinde ise, emisyonlar ve LPG tüketimi artmakta, gaz kullanımın avantajları azalmaktadır (Şekil 3.1).
(http://selimcetinkaya.tripod.com/guncel/lpg_conversion.htm).

3.1.2. İkinci Kuşak Elektronik Kontrollü Sistem

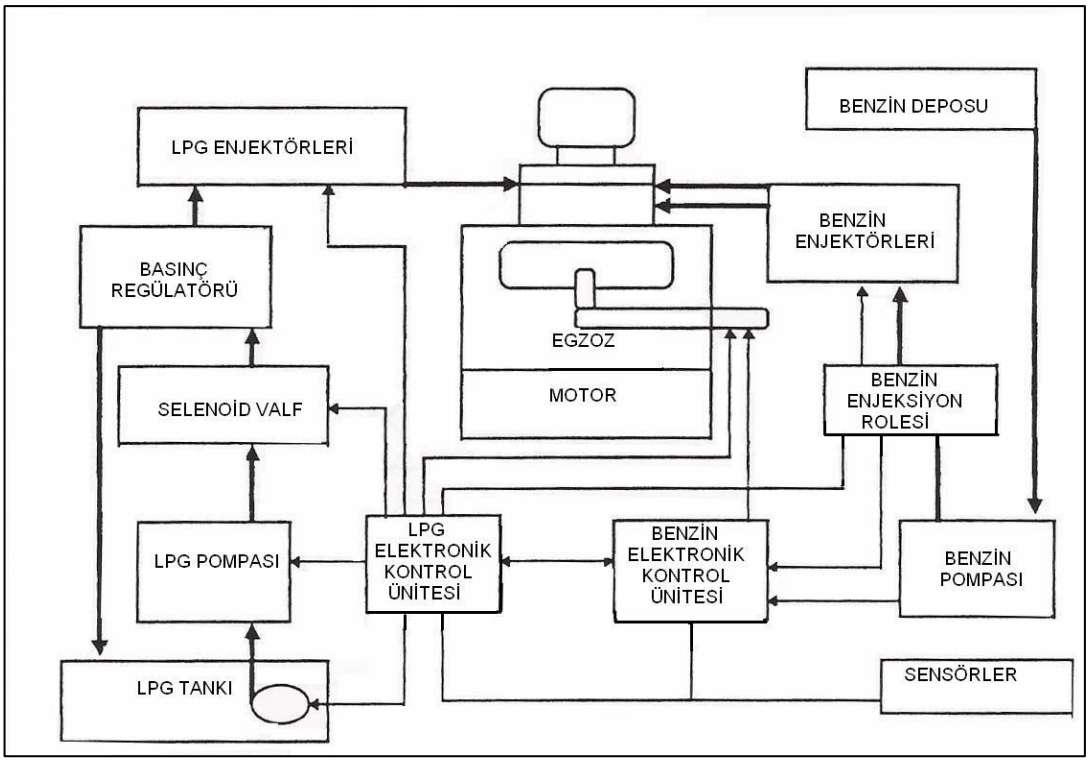
İkinci nesil LPG dönüşüm sistemlerinde egzoz gazı içinde bulunan oksijen miktarı ölçülerek, elektronik kontrol ünitesi yardımıyla yakıt miktarı regülatörde uygun şekilde düzeltilmektedir. Böylece hava fazlalık katsayısı stokiometrik değerde tutabilmekte ve egzoz sisteminde katalitik konvertör yardımıyla düşürülen emisyon şartları sağlanabilmektedir. (Ayhaner 1995a) (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. İkinci Kuşak Elektronik Kontrollü Sistem (Anonim 1998)

3.1.3. Üçüncü Kuşak LPG Enjeksiyonlu Sistem

Birinci ve ikinci nesil sistemlere göre daha komplike sistemlerdir. Motorun ilk çalıştırılması benzin enjeksiyonu ile yapılır, daha sonra motor devri 2000 d/d ye ulaştığında sistem otomatik olarak LPG enjeksiyonlu çalışmaya geçer. Çok yeni model araçlara takılmaları halinde yine de geri tepme riski bulunmaktadır (Ayhaner 1995a) (Şekil 3.3).



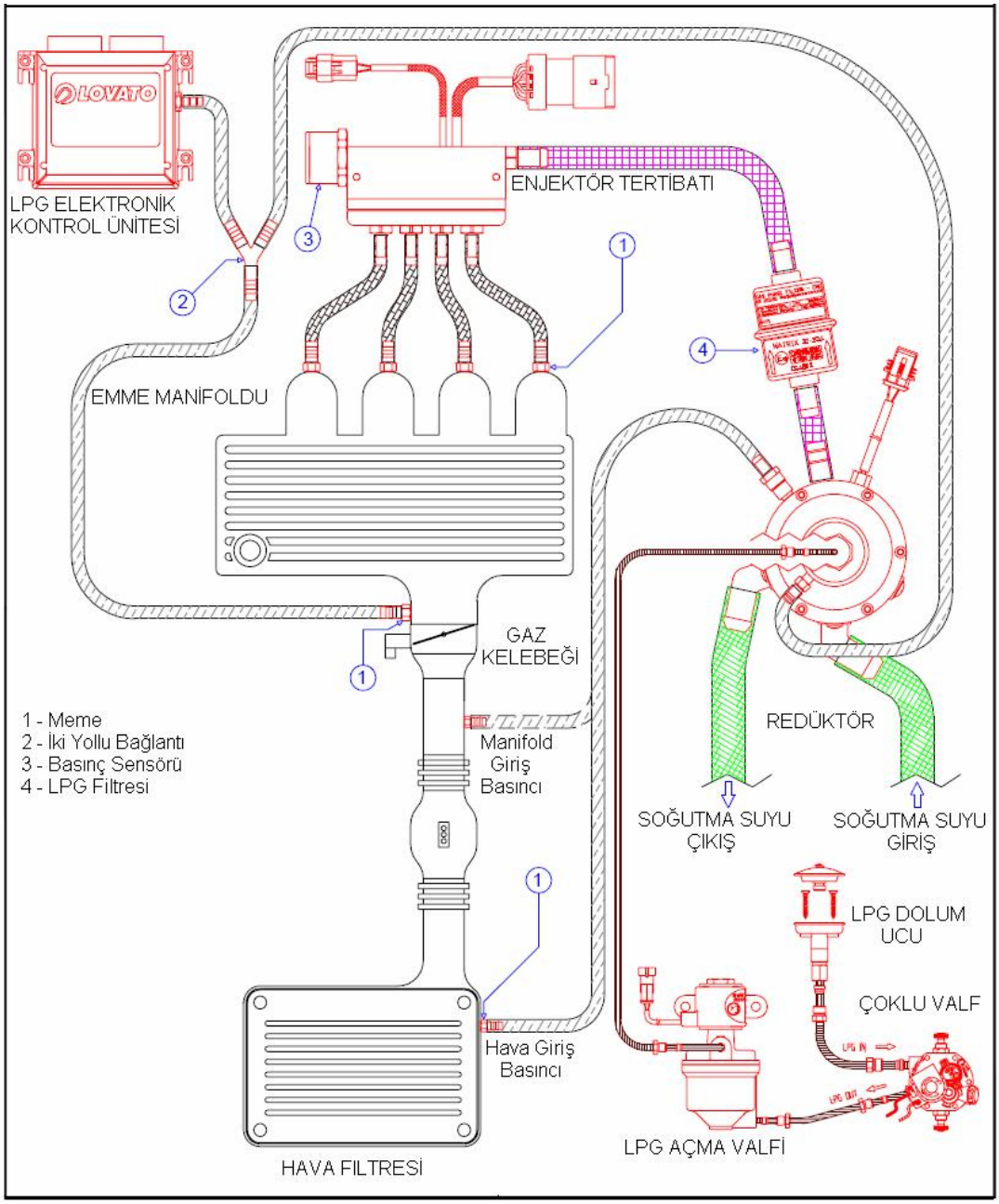
Şekil 3.3. Üçüncü Kuşak LPG Enjeksiyonlu Sistem (Anonim 1998)

3.1.4. Dördüncü Kuşak Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyonlu Sistem

Sıralı LPG enjeksiyon kontrollü sistemlerdir. Sistem kontrol sinyallerinin çoğunu ECU (Elektronik Kontrol Ünitesi) dan almaktadır.

Sıralı sistemleri klasik dönüşüm sistemlerinden ayıran en önemli parçaları; Benzinli araçlarda kullanılan ECU benzeri bir kontrol ünitesi, LPG Buharlaştırıcı / Regülatör, Gaz Enjektörleri, enjektörlerin sıralandığı bir kolektör ve özel kablo gruplarıdır. Gaz Elektronik Kontrol Ünitesi (ECU), her enjektörün püskürtme zamanını her bir silindir için büyük bir hassasiyetle tek tek hesaplamaktadır.

Ayrıca ihtiyaç duyulan gaz miktarının diğer enjektörlerden bağımsız olarak emme supabının açık olduğu bir sırada silindirlere püskürtülmesini sağlamaktadır (http://www.2a.com.tr) (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Dördüncü Kuşak Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyonlu Sistem (Lovato 1999a)

3.1.5. LPG Motor Dönüşüm Sistem ve Ekipmanları Standartları

Taşıtların LPG ile çalışabilir şekle dönüştürülmesi ile ilgili ve ülkeler tarafından resmen kabul edilmiş olan standartlar mevcuttur.

Ancak her ülkenin kabul ettiği standartlar % 80-90'a varan bir çok Avrupa ülkesinde dönüşüm sistemleri ile ilgili olarak ya E/ECE/324 R-67 standardı veya bu standardın yalnızca birkaç maddesinin değiştirilmesi ile oluşturulan ulusal standartlar uygulanmaktadır. Konu ile ilgili standartları iki kısımda ele almak mümkündür. Birinci tür standartlar dönüşüm sisteminin tanımı ve elemanlarının taşıması gereken özelliklerle ilgili standartlardır. İkinci tür standartlar ise dönüşümün taşıta uygulanması sırasında dikkat edilmesi gereken hususları içermektedir (Ciniviz 2001).

LPG dönüşüm sistemleri ve sistem elemanları, Avrupa ECE R/ 67 normlarına uygun olarak imal edilirler. Türkiye de uygulanan LPG dönüşüm sistemlerinde, Türk Standartları Enstitüsü (TSE), ECE R/67'nin çevirisi uygulanmaktadır (Lovato 1999b).

Ülkemizde uygulanan LPG dönüşüm sistemlerinde kaçak ve kanunsuz uygulamaları ortadan kaldırmak için Sanayi ve Ticaret Bakanlığı'nın Resmi Gazete'de yayınladığı iki tebliği (94 / 14–15, 96 / 47–48) ve TSE'nin yaptığı standart düzenlemeleriyle, LPG uygulamaları yasal hale gelmiştir.

3.1.6. Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyon Sisteminin Tanıtılması

Sequent (Sıralı) Gaz Fazı LPG Enjeksiyon sistemleriyle araçlarda LPG kullanımı bir evrim geçirmiş olup, FAST SİSTEM teknolojik olarak bu evrimde gelinen en son noktayı temsil etmektedir.

Eski nesil sistemlerde kullanılan ve motorun hava girişinde engel teşkil eden mikser sıralı sistemlerde olmadığından aşağıdaki avantajlar elde edilmektedir:

- Benzinle çalışırken mikserin neden olduğu performans kaybı yaşanmamaktadır.
- LPG' de, benzin enjeksiyon sistemindeki gibi performans sağlanmaktadır.
- Motorun hava girişindeki mikser montajının yarattığı olumsuzluklar olmamaktadır.

- LPG enjektörleri her silindir için emme supaplarının yakınına monte edildiğinden ve püskürtme emme supabının açık olduğu bir sırada hassasiyetle gerçekleştiğinden, çok nokta enjeksiyon sistemlerinde görülen patlama "back fire" riski hiçbir zaman oluşmamaktadır.
- Eski sistemlerdeki gibi benzin enjektörlerinin uyutulması için ilave emülatörlere ihtiyaç duyulmamakta, bu işlem sıralı LPG ECU'su tarafından yerine getirilmektedir.
- Benzin ECU'sunda hiçbir zaman hata kodları oluşmamaktadır.
- Benzin ECU'sunun fonksiyonları araç LPG ile çalışırken aynen devam etmekte ve araçla ilgili tüm sensörler devrede kalmaktadır.
- Dönüşümde hiçbir ilave ayar cihazına gerek duyulmamaktadır.
- Eski nesil dönüşün sistemlerinde OBD (On Board Diagnostic) 'li araçlara takılan "memory" cihazına ihtiyaç duyulmamaktadır.
- Kullanılan sistemin bakımı azdır.
- Soğuk havalarda ilk hareket kolaylığı vardır.
- Silindirlere daha eşit yakıt dağılımı olur.
- Fakir karışımda çalışmaya müsaittir (http://www.2a.com.tr).

3.1.7. "FAST" Gaz Enjeksiyon Sisteminin Özellikleri

3.1.7.1. Sistem Tanımı

Sistem aşağıdakileri içerir:

- LPG Tankı
- Çoklu Valf (Multi valf)
- Gaz Sızdırmaz (Multivalf) Koruyucu Kapağı
- LPG Dolum Ucu
- Valf Açma (Lock Off) Güvenliği
- Redüktör / Vaporizatör
- Enjektör Montesi
- Elektronik Kontrol Ünitesi

- Sıkıştırılmış Hava Bağlantıları
- Gaz Sıcaklık ve Basınç Sensörü
- Kablo Şebekeleri
- Smart Enjektör Kotra Kontrol Ünitesi
- Anahtar / Şalter
- Akustik (Ses) Sinyali Uyarıcısı (Lovato 1999b)

3.1.7.2. Çalıştırma Prensibi

LPG sıvısı dengeli bir şekilde buhar evresi ve çoklu valf ile uyumlu bir depo içinde depolanır. Depolama basıncı yakıtın karışım ve sıcaklığına bağlıdır. LPG sıvı evresinin içinde toplanır ve LPG açma valfinin ayarladığı basınçlı boru şebekeleri boyunca redüktöre / vaporizatöre dağıtılır.

Motor soğutma suyu tarafından ısıtılan redüktör / vaporizatör, yakıtı buharlaştırır ve enjektör basıncı olarak bilinen basıncını, motor kelebek valfinden, emme manifoldu içindeki basınca orantılı olan bir değere ayarlar. Gaz halinde olan LPG daha sonra elektronik kontrol ünitesi tarafından kontrol edilen enjektör tertibatına ulaşır.

LPG, enjeksiyon zamanı ve faz sinyali tarafından düzenlenir. Bu işlem elektronik kontrol ünitesinde motordan ve yakıt sisteminden gelen sinyallerle saptanır (Lovato 1999a).

3.1.7.3. LPG Tankı

LPG deposu maksimum 115 bar atmosfer basınçta ve dış etkilere mukavemetli yapılmış basınçlı kaptır. LPG tankı sistemin en büyük parçası olup, aracın arka bölümüne bagajın bir kısmına yada yedek lastik bölmesine yerleştirilmektedir. LPG tankları silindirik ve tirodal tipinde (stepne) olmak üzere iki çeşittir. Depoların muayeneleri sırasında depolarda şişme, sızıntı, akma, veya esneme belirtileri olmamalıdır. LPG tankları 10 yıldan fazla kullanılamaz ve 10 yılını dolduran depolar yenisi ile değiştirilir. LPG depoları taşıtlara uygun şekilde farklı uzunluk ve çapta üretilmektedir.

LPG depoları, sıvı LPG ile % 100 oranda doldurulmamalıdır. Depo tamamen sıvı LPG ile doldurulduğunda basınç çok yüksek değerlere ulaşabilir. Sıvı haldeki

LPG ‘nin hacimsel genleşme katsayısı oldukça yüksektir. Deponun sıvı LPG ile doldurulması sırasında depo kapasitesinin % 80 ‘ini aşmaması gerekmededir (Anonim 2000) (Şekil 3.5-Şekil 3.6).



Şekil 3.5. Tirodial (Stepne)Tank

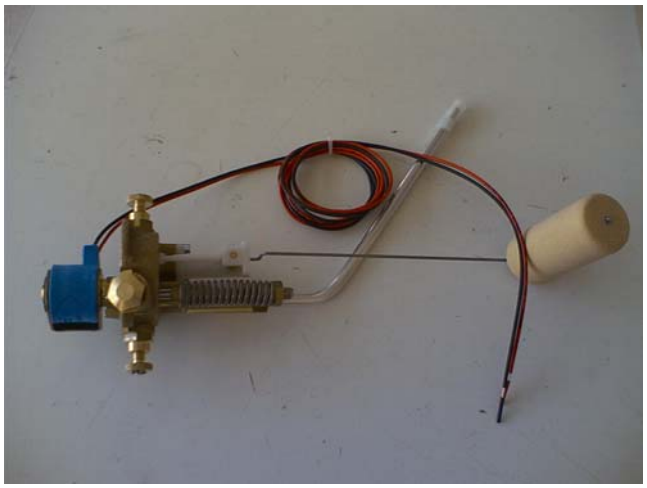


Şekil 3.6. Silindirik Tank

(http://www.ecogas-lpg.com/tr/alanlarimiz.htm)

3.1.7.4. Çoklu Valf (Multivalf)

Multivalf, tanka LPG giriş-çıkışını kontrol eden ve tank içerisinde LPG nin seviyesini gösteren çok amaçlı bir valftir. Dolum ağzından LPG doldurulmasına tank kapasitesinin % 80'ine kadar izin verir. Motor ile tank arasındaki bağlantı borularından birinin kopması durumunda gaz akışını otomatik olarak kesen bir iç vanası vardır. Bakım veya dolum sırasında elle kapatılabilir (http://www.ecogas-lpg.com/tr/alanlarimiz.htm) (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Çoklu Valf (Multivalf) (Anonim 2005)

3.1.7.5. Gaz Sızdırmaz (Multivalf) Koruyucu Kapağı

LPG sisteminin emniyet açısından çok önemli bir parçasıdır. . LPG tankına giriş-çıkış boruları ve çok amaçlı emniyet valfi bu sızdırmaz odacık içine konmuştur. Gaz sızıntısı olduğu taktirde gaz kapanı ve hortumlar sayesinde bagaj dışına atılır (Anonim 2000) (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Gaz Sızdırmaz (Multivalf) Koruyucu Kapağı

3.1.7.6. LPG Dolum Ucu

LPG deposuna pompa vasıtasıyla gaz dolumunu sağlar.Gaz dolum borusunun içinde kalan gazın sızdırılmaması için yayın önüne konulmuş bir bilye vasıtası ile gaz kaçakları önlenir. Dolum ağzını tozdan korumak için bir toz kapağı kullanılır.TS-12305'e göre dolum ağzı egzozdan en az 250 mm uzağa monte edilmelidir (Anonim 2000) (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. LPG Dolum Ucu

3.1.8. "FAST" Kit Bileşenleri

LPG dört silindir FAST takımı aşağıdaki parçaları içerir:

- 12 Volt E67R1 LPG Açma Valfi
- FAST Redüktörü / Vaporizatör
- FAST Enjektör Tertibatı
- LPG Filtresi
- FAST Servis Çantası
- Kauçuk Hortumlar
- FAST Elektronik Kontrol Ünitesi
- EMU FAST Enjektör Kesme Kontrol Ünitesi
- Gaz Sıcaklık ve Basınç Sensörü
- FAST Kablo Şebekesi
- EMU FAST Emülatör Kablo Şebekesi
- Anahtar / Şalter
- Akustik (Ses) Sinyali Uyarıcısı (Lovato 1999a, http://www.lovatogas.com)

3.1.8.1. LPG Açma Valfi :

Bu elektromanyetik parça motor stop ettiğinde ve yakıt miktarı benzin moduna şalter ile değiştirildiğinde LPG akışını durdurur (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. LPG Açma Valfi (Lovato 1999a)

3.1.8.2. Redüktör / Vaporizatör :

Depoda sıvı halde bulunan LPG'yi sistemde buharlaştırarak kullanabilmek için gerekli olan ısıyı sağlar ve manifold basıncına göre LPG'nin basıncını ayarlar (Şekil 3.11)



Şekil 3.11. Redüktör / Vaporizatör (Lovato 1999a)

3.1.8.3. FAST Enjektör Tertibatı :

Her silindire elektronik kontrol ünitesi tarafından gaz halinde olan belirli bir miktarda LPG'yi dağıtır. Yakıt iletimi elektronik kontrol ünitesi tarafından kontrol edilen açma valfleri tarafından sıralanır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Fast Enjektör Tertibatı (Lovato 1999a)

3.1.8.4. LPG Filtresi :

Sistemi, LPG'nin içindeki saf olmayan yabancı maddelerden korur (Şekil 3.13)



Şekil 3.13. LPG Filtresi (Lovato 1999a)

3.1.8.5. FAST Servis Çantası :

Emme manifoldu üzerine monte etmek için gerekli olan nozulları, rölatif – bağıl sigorta tutamaklarını, vidaları, destekleri ve kit'i monte etmek için gerekli olan donanımı kapsar (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Fast Servis Çantası (Lovato 1999a)

3.1.8.6. Kauçuk Hortumlar :

- Motor soğutma devresi içindeki sıvı ile redüktörü / vaporizatörü ısıtmak için su devre hortumu.

- “Only Air” (tek hava) hortumu, kelebek valfinden Manifold Mutlak Basınç Sensörü ucuna doğru olan basınç musluğunu ve redüktörü / vaporizatörü bağlar.
- LPG E67R1 hortumları, redüktörü / vaporizatörü enjektöre bağlar.
- Bakır boru, açma valfi ile redüktör / vaporizatör arasındaki sıkıştırılmış hava bağlantılarını sağlar.

Lastik borular LPG akışını engelleyici şekil ve kıvrımlara sahip olmamalıdır (Landi 1995) (Şekil 3.15)



Şekil 3.15. Kauçuk Hortumlar (Lovato 1999a)

3.1.8.7.FAST Elektronik Kontrol Ünitesi :

Sensörlerden doğru zamanda sinyalleri gönderir ve motorun çalışma durumuna göre temelde gaz halinde bulunan en uygun LPG enjeksiyon zamanını hesaplar (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. FAST Elektronik Kontrol Ünitesi (Lovato 1999a)

3.1.8.8. EMU FAST Enjektör Kesme Kontrol Ünitesi :

Bu kontrol ünitesi benzin enjeksiyon sistemlerinin motor gaz durumunda çalışırken devreye girmesini engeller. Aynı zamanda kontrol ünitesi, benzin enjektörünün polarizesini kontrol eder.

Çalışma ve kontrol ünitesine sinyal göndermek için negatif enjektörü seçer. Yani benzin enjektörü çalışıyormuş gibi motor ECU (Elektronik Kontrol Ünitesi)'su bilgilendirilir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. EMU FAST Enjektör Kesme Kontrol Ünitesi (Lovato 1999a)

3.1.8.9. Gaz Sıcaklık ve Basınç Sensörü :

Enjektörün yanında gerçek zamanda gaz basıncını okur. Kontrol ünitesi bu bilgiyi gaz yoğunluğunu hesaplamak ve enjektörün açılma zamanını doğrulamak için kullanır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Gaz Sıcaklık ve Basınç Sensörü (Lovato 1999a)

3.1.8.10. FAST Kablo Şebekesi :

Motorun çalışma durumlarını ve FAST sistem parçalarını belirlemek için gerekli olan elektronik LPG sensörünü diğer sensörlere bağlar. Özellikle elektronik kontrol ünitesinin, EMU FAST enjektör kesme kontrol ünitesine bağlantısını yapar (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. FAST Kablo Şebekesi (Lovato 1999a)

3.1.8.11. EMU FAST Emülatör Kablo Şebekesi :

Benzin işlevini devreden çıkarmak ve doğru motor techizi için enjeksiyon sinyali iletmek amacıyla EMU FAST kontrol ünitesini her bir benzin enjektörüne bağlar (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. EMU FAST Emülatör Kablo Şebekesi (Lovato 1999a)

3.1.8.12. Anahtar / Şalter :

Bu elektronik aygıt sürücüye yakıt stokunu bildirir. Ayrıca benzinden LPG'ye veya LPG'den benzine geçişi sağlar. Aracın çalışma konumunu ve depodaki gaz seviyesinin gözlenmesine olanak verir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Anahtar / Şalter (Lovato 1999a)

3.1.8.13. Akustik / Ses Sinyali Uyarıcısı :

Bu aygıt doğrudan FAST kontrol ünitesi tarafından kontrol edilir. Benzinden LPG'ye veya LPG'den benzine değiştirilme yapıldığında ve depodaki LPG biterse ses çıkararak sürücüyü uyarır (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Akustik / Ses Sinyali Uyarıcısı (Lovato 1999a)

3.1.9. Kurulum Sırası

Sistemin kurulumu için gereken işlemler sırası aşağıda gösterilmiştir :

1. Depo, çoklu valf (multivalf) ve yüksek basınç çizgisini motor bölümüne kurmak,
2. FAST enjektör montajı için kurulum alanı tayin etmek,
3. FAST Redüktör / Vaporizatör montajı için kurulum alanı tayin etmek,
4. LPG açma (lock-off) valfı için kurulum alanı tayin etmek,
5. Nozulları kurmak,
6. FAST enjektör montajını yapmak,
7. LPG açma (lock-off) valfını kurmak,
8. FAST Redüktör / Vaporizatörünü kurmak,
9. FAST kontrol ünitesini kurmak,
10. EMU FAST kontrol ünitesini kurmak,
11. Şalter (anahtar) ve vibratörü kurmak,
12. Elektrik ile ilgili bağlantıları yapmak,
13. PC ve kontrol ünitesi arasında bağlantıları yapmak,
14. Sensörleri ayarlamak ve kontrol etmek,
15. Kalibrasyon (ayarlama) yapmak ve sistem kontrolü,
16. Yol testi.

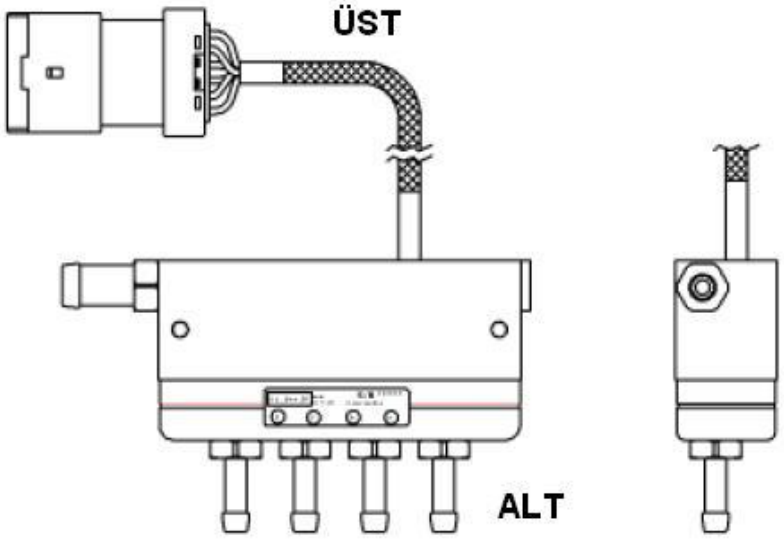
Parçaları monte etmeye başlamadan önce, aşağıdaki bilgilere göre motor bölümünün içinde FAST aygıtlarının kurulabileceği alanları belirleyin.

3.1.9.1. FAST Enjektör Montajı İçin Kurulum Alanı Belirlemek

FAST enjektör montajını kit içinde sağlanan iki çelik destek kullanılarak araca bağlanır. Destekler için sabitleme noktalarının yerleştirmesi unutulmamalıdır :

- Enjektör montajı motor giriş manifoldu üzerinde bulunan kanallara, bağlantı hortumlarının uzunluğunu küçültmek için mümkün olduğu kadar yakın yerleştirilmelidir.

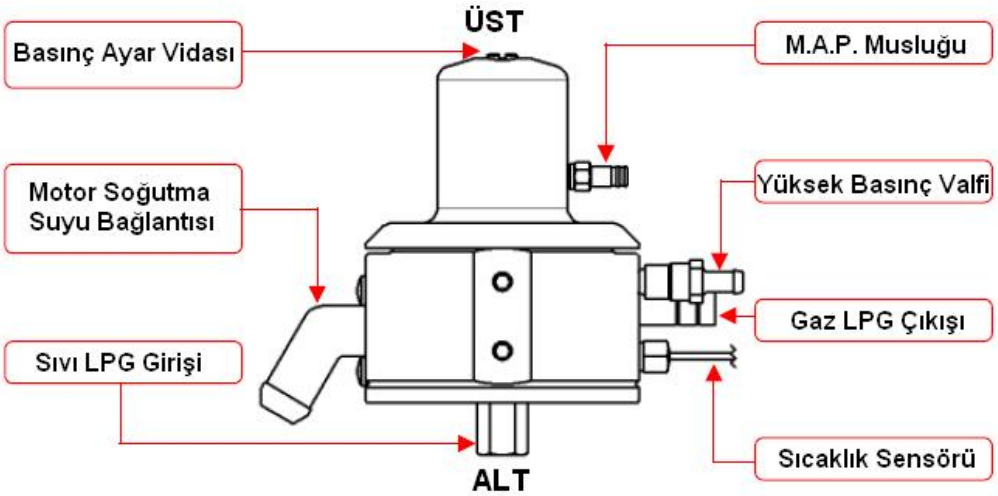
- Manifold kanalları üzerine monte edilen nozullarla, montajın çıkış başlarını bağlayan hortumlar aynı uzunlukta olmalı ve keskin bükümlere sahip olmamalıdır (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. FAST Enjektör Montajı (Lovato 2006)

3.1.9.2. FAST Redüktör / Vaporizatör İçin Kurulum Alanı Belirlemek

Kurulum alanını belirleme Şekil 3.24'de verilmiştir.



Şekil 3.24. FAST Redüktör / Vaporizatör Montajı (Lovato 2006)

Aşağıdaki şartlara uygun olarak FAST redüktörü / vaporizatörü araca rölatif / bağıl çelik destek ile sabitlenir :

- Redüktör Şekil 3.24.'de gösterilen pozisyonda monte edilmelidir,
- Redüktör kapağı üzerindeki MAP musluğunu , kelebek valfden aşağıya doğru olan giriş manifoldu üzerindeki basınç musluğuna bağlayan hortum mümkün olduğu kadar kısa olmalıdır. MAP musluğunun elektronik kontrol ünitesine bağlı olması gerektiği düşünülürse, bu parçalar birbirine yakın olarak kurulması gerekir,
- Yüksek basınçlı LPG alt kısımdan sağlanır,
- Enjeksiyon basıncı, gaz halinde olan LPG'in çıkışına az yakın mesafede olan FAST enjektör montajlarını işaret etmelidir,
- Redüktör rölatif / bağıl ayarlanabilir borular aracılığıyla motor soğutma sıvısıyla - suyu ile beslenmelidir,
- Yüksek basınç valfi motor giriş - emme devresine bağlanmalıdır,
- Redüktör montajdan sonra üzerinden kolayca ulaşılabilecek bir şekilde yeri tayin edilmelidir, aynı zamanda kapağın üzerine yerleştirilen ayar vidasına ulaşmak ve MOT testi esnasında seri numarasını okumak kolay olmalıdır,
- Bütün basınçlı hava, hidrolik ve elektrik bağlantılarını yaptıktan sonra, redüktör aracın hareket halinde yada sıcak olan parçalarına tehlike yaratacak bir şekilde değmemeli yada yakın olmamalıdır (Lovato 2006).

3.1.9.3. LPG Açma (lock-off) Valfı İçin Kurulum Alanı Belirlemek

Redüktör için kurulum alanına karar verildikten sonra, yüksek basınç LPG çizgisi üzerine açma - kapama valfini monte etmek için pozisyon belirlenir ve valf mümkün olduğu kadar redüktöre yakın yerleştirilir.

Fakat kaza etki bölgelerinden uzak olacak şekilde açma (lock-off) valfi bobinle üste gelecek şekilde, dikey bir şekilde monte edilmelidir.

3.1.9.4. Nozulları Monte Etmek

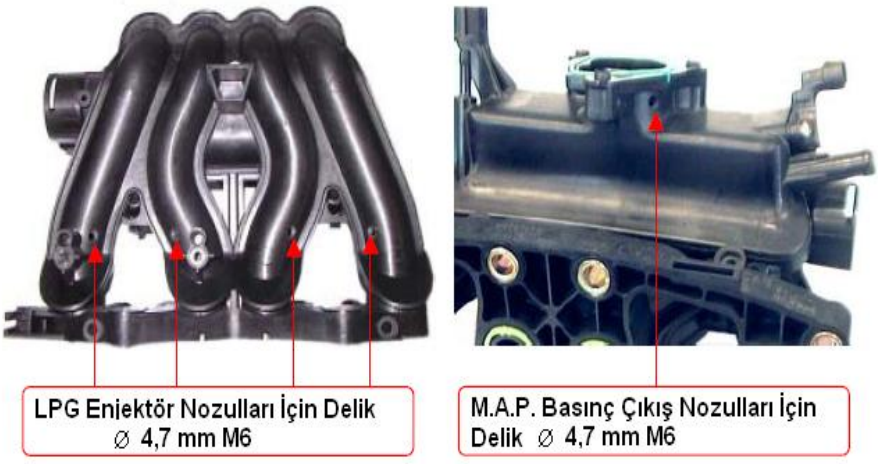
Aracın giriş - emme manifoldunu ve hava filtre kutusunu sökerek nozulları monte edilir. Bu manifoldun tam anlamıyla temiz olduğuna emin olmanızı sağlayacaktır (Şekil 3.25).



Şekil 3.25. Gaz Enjektör Nozulu (Lovato 2006)

Nozulları kurmak için aşağıdaki adımlar takip edilir :

1. Manifoldun eninde bulunan merkezi deliğe dikkat edilerek ve mümkün olduğu kadar motor giriş valfine yakın olacak şekilde, giriş - emme manifoldunun her dört kanalının içine 4.7 mm'lik bir delik açılır.
2. Önceden manifold üzerinde bulunan basınç musluğu için yerleştirilen noktada, kelebek valfden hemen aşağı çizgide ve emme - giriş manifoldunun uzanımı içine 4.7 mm'lik bir delik açılır (Şekil 3.26).



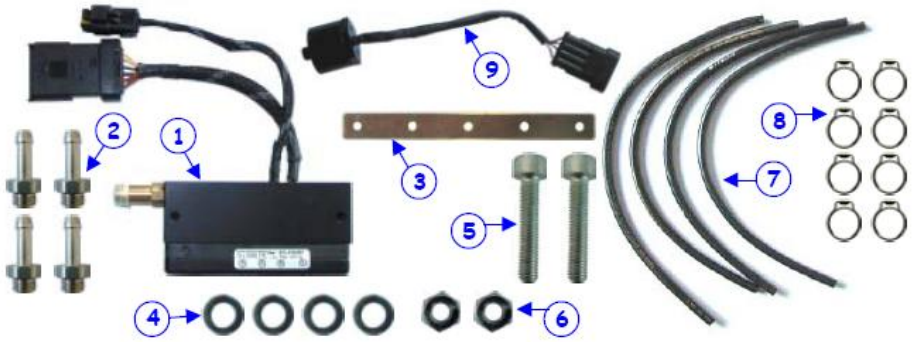
Şekil 3.26. Nozulların Montajı (Lovato 2006)

3. Hava filtre kutusu içine veya eğer araç sıcak tel hava akış sayacı ile uyumlu ise hemen uca doğru 4.7 mm'lik bir delik açılır.
4. Her deliğe bir M6 erkek ayırıcı ile bir vida yuvası açılır.
5. Her vidaya bir damla vida tutucu uyguladıktan sonra, altı nozulu relatif deliklere yerleştirilir.
6. Başlamadan önce giriş - emme manifoldunun içi temizlenir (Şekil 3.27).



Şekil 3.27. LPG Enjektör Nozulları (Lovato 2006)

3.1.9.5. FAST Enjektör Montajını Yapmak (Şekil 3.28)



Şekil 3.28. FAST Enjektör Montaj Ekipmanları (Lovato 2006)

1. Enjektör montajı,
2. Enjektör için nozullar; bunlar değiştirilen aracın kapasitesine göre ölçülendirilmelidir,
3. Enjektör montaj destekleri,
4. Ø 6 rondela – sızdırmazlık contası,
5. M5 × 25 enjektör montajına destekleri sabitlemek için vidalar,
6. Enjektör montajı ve desteği arasında bir boşluk yaratabilmek için somunlar,
7. Enjektör montajı nozulları için E 67 – R 01 onaylı 4 × 10 hortum,
8. Hortumu nozullara bağlamak için Ø 10,3 / 12,3 hortum kelepçeleri,
9. Basınç sensörü.

Aşağıdaki prosedür takip edilerek enjektör montajı üzerine basınç sensörü sabitlenir (Şekil 3.29).:

- '5' numara tek ağızlı anahtar kullanarak enjektör kapağı sökülür.



Şekil 3.29. FAST Enjektör Montajı (Lovato 2006)

- '34' numara çatal vida anahtarı kullanılarak kapağın üzerine basınç sensörü sıkıca vidalanır (Şekil 3.30).

.



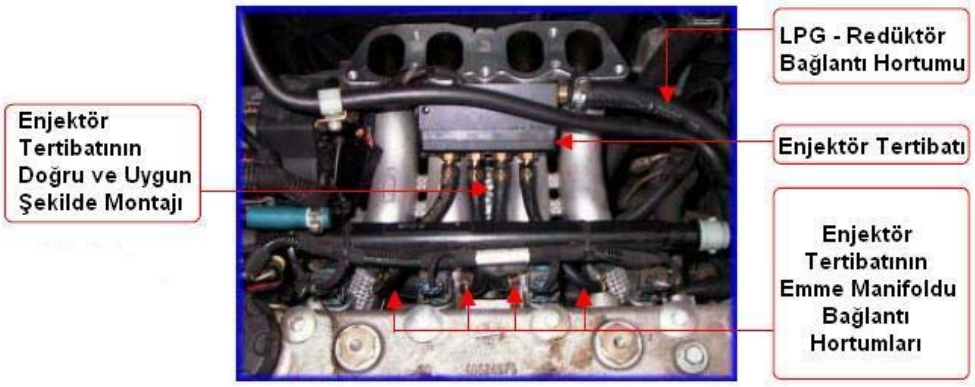
Şekil 3.30. Basınç Sensörü Montajı (Lovato 2006)

Aracın gücüne göre enjektör üzerine kurmak için nozullar seçilir. İki tür nozul vardır :

- 65 kW 'dan daha az yada eşit güç çıkışları olan araçlar için Ø 2,4
- 65'den 85kW 'a güç çıkışları olan araçlar için Ø 2,7

Enjektör montajı için aşağıdaki adımlar takip edilir :

1. Dönüştürülmüş aracın çeşidine göre enjektör montajına nozullar sabitlenir.
2. Gerekli olduğu takdirde destekler bükülür ve şekillendirilir.
3. Destekler motora sabitlenir.
4. Eğer gerekli ise enjektör montajını desteklere rondelalar, iki M5 vida ve somunlarla sabitlenir.
5. Kablo şebekesi ile bağlanmış enjektörün motor kapağının kapanmasını engellemediğine emin olunur (Şekil 3.31).



Şekil 3.31. FAST Enjektör Montajının Motor Üzerinde Gösterimi (Lovato 2006)

6. Manifold üzerinde bulunan yanal nozullardan bir tanesini, enjektör montajı üzerindeki çıkışın karşısına bağlamak için hortum uzunluklarından bir tanesi ölçüye uydurulmak için kesilir. Hortum kısa kesilmelidir ki bağlantı mümkün olduğu kadar kısa olsun ve keskin bükümlerden kaçınılsın.
7. Hortumun diğer uzunlukları da aynı uzunlukta kesilir.
8. Hortumun kesilen dört uzunluğu giriş manifoldunun kanalları üzerinde bulunan nozullara ve enjektör montaj çıkışlarına uygun kelepçeler kullanılarak bağlanır ve bağıntılı bir alet ile emniyet altına alınır.

3.1.9.6. LPG Açma (lock-off) Valfini Kurmak (Şekil 3.32).



Şekil 3.32. LPG Açma Valfi Montaj Ekipmanları (Lovato 2006)

1. LPG açma valfi,
2. LPG kapama valfını aracın şasisine yada karoserine sabitlemek için 4,8 × 16 otomatik diş açılmış vidalar,
3. Ø 6 Farol,
4. M10 × 1 galvanizli bağlayıcı,
5. 4 × 6 bakır boru,
6. Ø 8 araba hortum kelepçesi,
7. 3,9 × 9,5 otomatik diş açılmış vida.

Redüktörü kurulmadan önce LPG açma (lock-off) valfını sabitlenir. Bunu yapmak için, valf içine kurulan destek ve iki adet otomatik diş açılmış vida kullanılır. Deponun üzerine monte edilmiş olan çoklu valfi LPG açma (lock-off) valfina uygun uzunlukta bir bakır boru ile bağlanır.

Boruyu çoklu valfa, çift koni – mahrut ve çoklu valfa uyumlu galvanizli bağlayıcı ile sabitlenir.

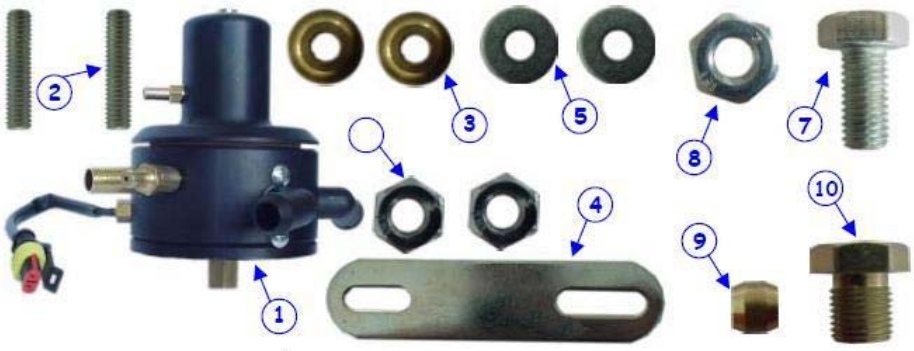
Boruyu aracın altına araba hortum kelepçesi ve otomatik diş açılmış vidaları kullanarak, motor bölümüne ulaşana kadar, ısı kaynaklarından ve kaza sonucu oluşabilecek etkiden muhafaza eden bir konumda sabitlemek gerekir. Çünkü bunlar borunun bozulmasına veya kırılmasına yol açabilir.

Boruyu LPG açma (lock-off) valfi gaz girişine, çift mahrut - koni ve galvanizli bağlayıcı (konektör) kullanarak sabitlenir. Aynı zamanda açma (lock-off) valfini redüktöre bağlayacak , onu açma (lock-off) valfina daha sonra da çift mahrut - koni ve rölatif galvanizli konektörle redüktöre sabitleyecek bakır profil bir boru hazırlanır (Şekil 3.33).



Şekil 3.33. LPG Açma Valfinin Araç Üzerinde Montajı (Lovato 2006)

3.1.9.7. FAST Redüktör / Vaporizatör Kurulumu (Şekil 3.34)



Şekil 3.34. FAST Redüktör / Vaporizatör Kurulumu Montaj Ekipmanları

1. Redüktör,
2. Redüktör sabitleme için saplama vidaları,
3. Redüktör sabitleme için separatör,
4. Redüktör sabitleme için halka,
5. M6 genişliğinde rondelalar,
6. M6 altı köşeli somun,
7. M10 × 20 vida,
8. M10 altı köşeli somun,
9. Çift koni – mahrut
10. M10 × 1 galvanizli konektör

Redüktörü sabitlemek için aşağıdakileri işlemler yapılır :

- Redüktör gövdesi üzerindeki bağıl deliklerin içine iki adet saplama vidayı yerleştirilir ve M3 allen anahtarı ile bunlar sabitlenir.
- Pirinç burçlar en geniş bölümü redüktör gövdesi üzerinde bulunacak şekilde saplamaların içine yerleştirilir.
- Çelik halka ölçüye uygun hale getirmek için bükülür ve kısa olan yivi iki saplamanın içine sokulur (Şekil 3.35).



Şekil 3.35. Redüktör / Vaporizatörün Sabitlenmesi (Lovato 2006)

- M6 genişliğindeki rondelalar yerleştirilir.
- M6 somunları kullanılarak halka redüktöre sabitlenir.
- Redüktör halkasını araca sabitlemeden önce, çift koni - mahrut ve M10 konektör kullanılarak kapama (lock-off) valfindan gaz emme - giriş borusuna bağlanır (Şekil 3.36).

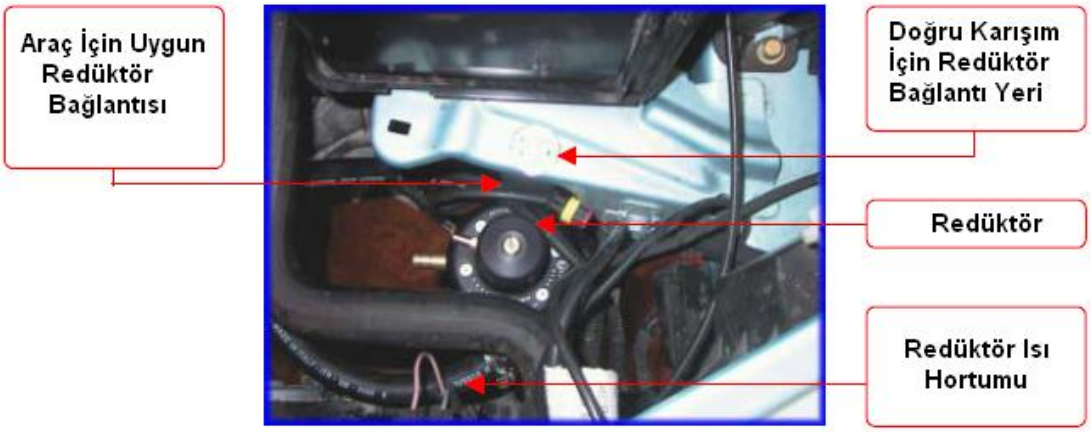
.



Şekil 3.36. Redüktör / Vaporizatörün Kurulumu (Lovato 2006)

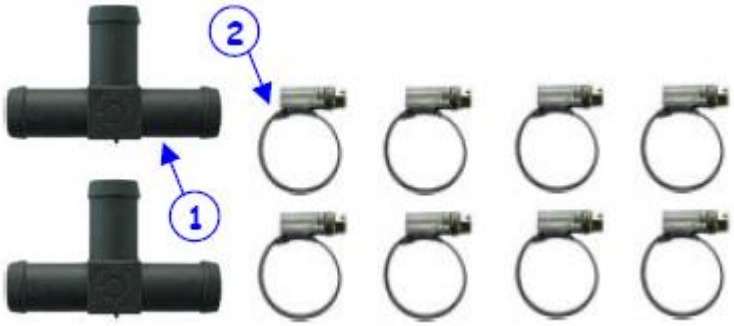
- Redüktör halkası aracın karoserine seçilen pozisyonda M10 × 20 vida ve M10 altı köşeli somun kullanılarak sabitlenir.(Şekil 3.37) .
- Redüktörü dikey olarak kurulur. Böylece basınç ayar vidasına ulaşmak kolay olacaktır ve LPG çıkış konektörü, MAP nozulu, yüksek basınç valfı ile su boruları yaklaşık olarak bağıntılı parçalara doğru çevrilir. Bir yere değmediğine, hareket etmediğine ve sıcak parçalardan korunduğuna emin olunur.

- Redüktörden enjektöre, yüksek basınç valfindan, gaz kısma valfinin üst çizgisinde bulunan nozula ve redüktörün üst kapağından, gaz kısma valfinden aşağı kısımda olan MAP musluğuna pnömatik bağlantılar yapılır (Şekil 3.37)



Şekil 3.37. Redüktör / Vaporizatörün Araca Montajı (Lovato 2006)

3.1.9.7.1. Redüktörü Aracın Soğutma Devresine Bağlamak (Şekil 3.38)



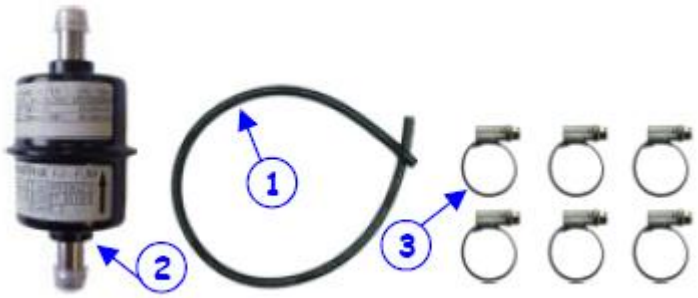
Şekil 3.38. Su Bağlantı Kelepçeleri (Lovato 2006)

1. T su vida bağlantısı
2. Ø 16 ÷ 27 ölçüsünde hortum kelepçesi

Redüktör ısıtma devresinin, soğutma sıvısının kaybının minimuma azalmasına dikkat edilerek aşağıda gösterildiği gibi kurulumu yapılır :

1. Motor bölümü ve iç kısmı arasında bölme duvarında bulunan iki adet soğutma suyu hortumu kesilir ve iki adet T şeklindeki bağlantı içine yerleştirilir.
2. Redüktörü ısıtmak için olan hortumlar bağlantıların diğer uçlarına bağlanır..
3. Hortumlar redüktör üzerindeki bağıl borulara bağlanır.
4. D.16 - 27 hortum kelepçeleriyle kurulan tam hidrolik devre sıkılır.
5. Soğutma sistemini havalandırılır.

3.1.9.7.2. Redüktörü Enjektöre Bağlamak (Şekil 3.39)

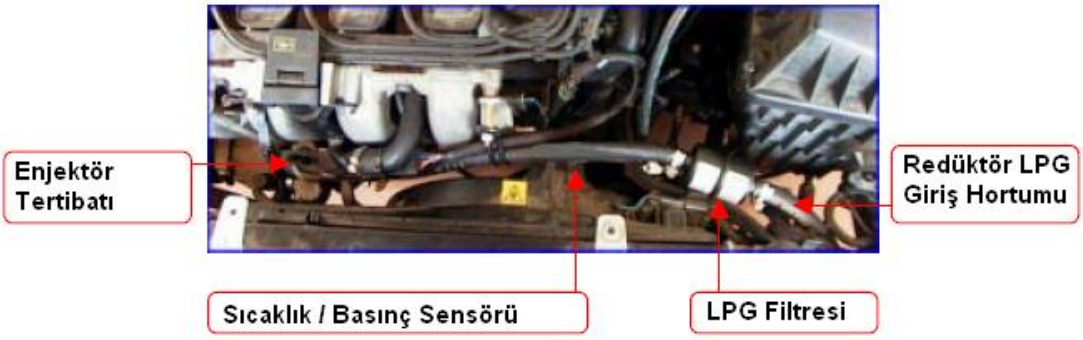


Şekil 3.39. LPG Filtre ve Bağlantı Kelepçeleri (Lovato 2006)

1. E67 – RO1 Ø 12 × 19 gaz hortumu
2. LPG filtresi
3. Ø 12 ÷ 22 hortum kelepçesi

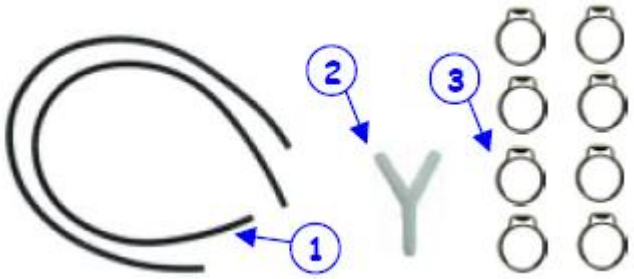
LPG'yi FAST enjektör montajı aşağıda görüldüğü gibi teçhiz edilir :

1. LPG filtresi redüktör ve enjektör montesi arasına kurulur.
2. 12 × 19 E 67 – R 01 onaylı boruyu üç bölüme kesilir.
3. Basınçlı hava devresi D.12 - 22 ölçülerinde altı hortum kelepçesi kullanılarak kurulur ve sıkıştırılır (Şekil 3.40).



Şekil 3.40. Enjektör Tertibatı, LPG Filtresi, Sıcaklık / Basınç Sensörü ve LPG Giriş Hortumlarının Motor Üzerinde Gösterimi (Lovato 2006)

3.1.9.7.3. Redüktörü M.A.P Sensörüne Bağlamak (Şekil 3.41)

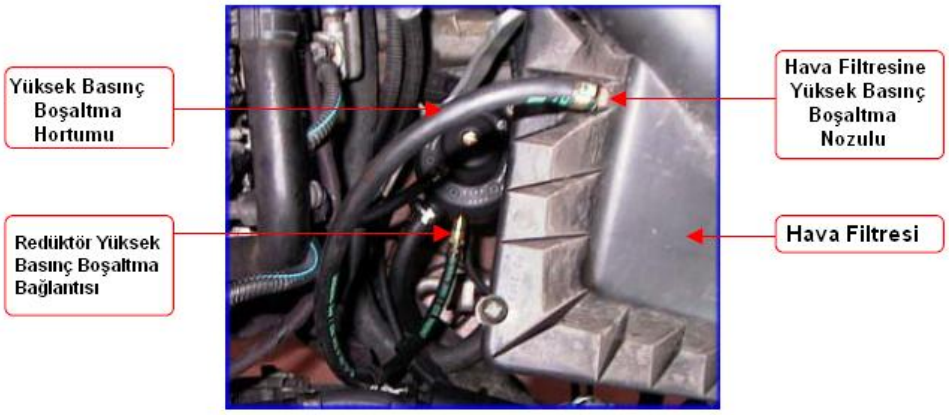


Şekil 3.41. Y Bağlantı Hortum ve Kelepçeleri (Lovato 2006)

1. ‘Only air ‘ (tek hava) hortumu
2. Y bağlantı
3. Hortum kelepçesi

Fazla basınç boşaltma devresi aşağıdaki maddelere göre kurulur :

1. ‘Only air ‘ (tek hava) hortumunun bir kesiti redüktör fazla basınç valf hortum konektörüne hortum kelepçesi kullanarak sabitlenir.
2. Uzunluğuna hortumu kesilir ve hava filtresi sabitlenmiş nozula veya uygunsa hava akış sayacından aşağıya doğru bağlanır.
3. Hortum, hortum kelepçesi ile sabitlenir (Şekil 3.42).



Şekil 3.42. Redüktör İle M.A.P. Sensörü Bağlantısı ve Basınç Boşaltma Devresi

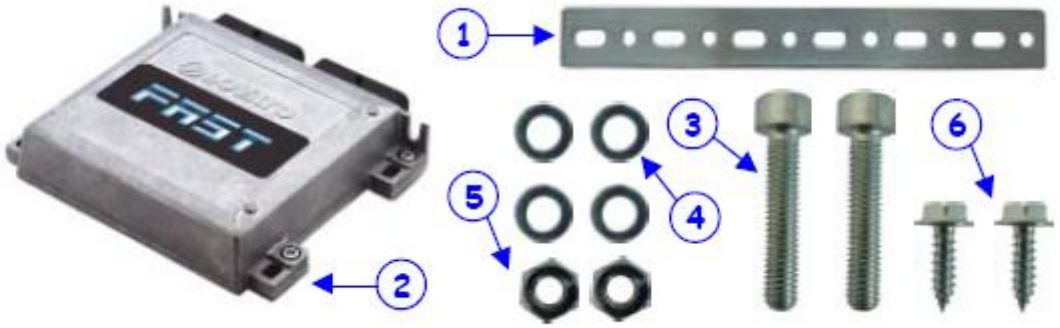
Emme - giriş manifoldu basınç ölçüm devresi aşağıdakileri takip ederek kurulur :

1. 'Only air'- (tek hava) hortumu, kelebek valfden aşağıya doğru sabitlenen manifold basınç dağıtım nozuluna monte edilir ve bir hortum kelepçesi ile sıkıca kapatılır.
2. Hortum redüktörün yakınına bağlanır ve FAST kontrol ünitesine ulaşabilmesi için kesilir. Daha sonra boş olan ucu Y bağlantıyla birleştirilir.
3. İki uzunlukta 'only air'- (tek hava) hortumuyla birleştirilir ve bağlantının boş olan uçlarına iki adet hortum kelepçesi ile sabitlenir. Hortumun bir ucu FAST kontrol ünitesi üzerinde bulunan M.A.P musluğuna ve diğerini de redüktör basınç dağıtım nozuluna bağlanır (Şekil 3.43).



Şekil 3.43. Emme Manifoldu Basınç Ölçüm Devresi (Lovato 2006)

3.1.9.8. Elektronik Kontrol Ünitesini Kurmak (Şekil 3.44)



Şekil 3.44. Elektronik Kontrol Ünitesi Ekipmanları (Lovato 2006)

1. Elektronik kontrol ünitesini sabitlemek için halka,
2. Elektronik kontrol ünitesi,
3. Halkayı kontrol ünitesine sabitlemek için M6 × 30 ölçüsünde vida,
4. M6 rondela,
5. M6 somun,
6. Kontrol ünitesi desteklerini aracın şasisine ya da karoserine sabitlemek için 4.8 × 16 kendinden diş açılmış vidalar.

Sabitleme halkasından iki parça kesilir ve kontrol ünitesini istenilen pozisyonda sabitleyebilecek biçimde şekillendirilir. Vidalar, rondelalar ve somunlar kullanılarak iki adet halka kontrol ünitesine sabitlenir. Kendinden diş açılmış vidalar kullanılarak kontrol ünitesi aracın karoserine sabitlenir.

Aşağıdaki şartlara uyduğuna emin olunur :

- Kontrol ünitesi bujilerden ve yüksek voltajlı ateşleme devresinden mümkün olduğu kadar uzak monte edilmelidir,
- Kontrol ünitesi sıcaklığın normalden fazla olmadığı bir yere monte edilmelidir; egzoz manifoldunun yakınına yerleştirilmez,
- Kontrol ünitesi hava sızdırmaz olmasına karşın, doğrudan su püskürtülebilecek bir pozisyonda sabitlenmemelidir,

- MAP musluk bağlantısının çok uzun olmadığına güvence vermek için; FAST kontrol ünitesi, redüktör ve kelebek valf gövdesine mümkün olduğu kadar yakın olacak bir şekilde kurulmalıdır.

Genel olarak belirtmek gerekirse, motor bataryasına (aküye) yakın olarak yerleştirilmelidir (Şekil 3.45).



Şekil 3.45. Elektronik Kontrol Ünitesi Montajı (Lovato 2006)

3.1.9.9. EMU FAST Elektronik Kontrol Ünitesini Kurmak (Şekil 3.46)



1. EMU FAST kontrol ünitesi
2. EMU FAST kontrol ünitesini aracın şasisine ve karoserine sabitlemek için 4.8 × 16 kendinden diş açılmış vida .

Şekil 3.46. EMU FAST Elektronik Kontrol Ünitesini Ekipmanları (Lovato 2006)

Kontrol ünitesi motor içine aşağıdaki şartlara dikkat edilerek yerleştirilir :

- Kontrol ünitesi bujilerden ve yüksek voltajlı ateşleme devresinden mümkün olduğu kadar uzak monte edilmelidir
- Kontrol ünitesi sıcaklığın normalden fazla olmadığı bir yere monte edilmelidir; egzoz manifoldunun yakınına yerleştirilmez,
- Doğrudan su püskürtülebilecek bir pozisyonda sabitlenmemelidir.

Genel olarak belirtmek gerekirse, motor bataryasına (aküye) yakın olarak yerleştirilmelidir. Kontrol ünitesi enjektörlere bağıl - rölatif kablo şebekesi ile bağlanır. Enjektöre göre şebeke çeşidini seçilir :

1. Bosch tipi enjektörler, normal ya da polarizeye çevrilmiş
2. Japon tipi enjektörler, normal ya da polarizeye çevrilmiş (Şekil 3.47)



Şekil 3.47. EMU FAST Elektronik Kontrol Ünitesinin Motor Üzerine Montajı

3.1.9.10. Motor Devir Sinyali Elektrik Bağlantısı

LPG Elektronik Kontrol Ünitesi Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyon Sisteminin bir parçasıdır ve aslında devir girişleri tüm sistemi senkronize etmek için kullanılır. Dönüşümü optimize etmek için kapsama metodu dikkatle değerlendirilir.

Seçim kriterleri aşağıdaki gibidir :

- Her zaman benzin kontrol ünitesinde motor devir sinyali tercih edilir. Motor devir sinyali pozisyonunun bağlantısı aracın bağlantı şeması ile veya sinyalleri bir osiloskopta doğrudan göstererek kurulur.
- Yeni model araçlarda motor devir sinyali CAN – BUS üzerinden iletilir ve faz bilgisi içermez.

Bu durumda ateşleme bobininden negatif sinyal tercih edilir. Bu sinyali elde ederken hatırlanması gerekir ki, ateşleme bobininin yeri iyi durumda değilse deşarj doğru olmayabilir ve sisteme zarar veren düşük voltajlı impulslar oluşabilir. Bu durumu oluşturan sebebi yok etmek mümkün değilse, elektrik devresinin bağlantısını kesmek için yükseltici kullanılmalıdır. Yükselticinin elektrik bağlantısı yapılır. Siyah kablo yeterli uzunlukta soyularak LPG Elektronik Kontrol Ünitesinden bobin negatif ucuna yalıtılarak bağlanır. LPG Elektronik Kontrol Ünitesi motor devir sinyalini doğru bir şekilde almazsa, sistem benzin modundan LPG moduna geçemez. Anahtar üzerinde kırmızı ışık parlar ve yeşil ışık yanıp söner (Lovato 2006).

3.1.9.11. Lambda Sondası Sinyali (Katalizörden Önce)

Lambda sondası sinyali, Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyon Sistemi İçin gerekli değildir fakat sistemin ayar edilmesine yardımcı olur. Sisteme bağlantısından önce benzin modundayken lambda sondasının çalışması kontrol edilir. Ateşleme bobininin kablosuna kılıflı beyaz kablo sarılarak elektromanyetik parazit engellenir. Lambda sondası sinyali elde etmek için LPG Elektronik Kontrol Ünitesi kablolarından beyaz fiş ucundan yararlanılır (Lovato 2006).

3.1.9.12. Sıcaklık Sensörü Bağlantısı

Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyon Sistemi pek çok amaçla redüktör sıcaklık sinyalini kullanır. Redüktörün sıcaklığı anahtarın benzin modundan LPG moduna yönlendirilmesindeki değişkenlerden birisidir.

Redüktör çalışma sıcaklığına ulaştığı zaman benzin modundan LPG moduna geçiş olur. Sıcaklık sensörü bağlantısında gri siyah kablo redüktördeki iki sensör bağlantısının pozitif olanına bağlanır. Diğer sensör bağlantısı topraklanır. Sıcaklık sensörü doğru çalışmaz yada bağlanmazsa, sistemin benzinden LPG'ye geçmesine izin vermez. Anahtar üzerinde kırmızı ışık parlar ve yeşil ışık yanıp söner.

3.1.9.13. Seviye Gösterge Bağlantısı

Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyon Sistemi mikro anahtar içine yerleştirilmiş bir dijital yakıt seviye ibresi içerir. LPG Elektronik Kontrol Ünitesinin kablosu seviye sensörü ile bağlantılıdır. LPG Elektronik Kontrol Ünitesinin çoklu valfteki yeşil ucu, seviye sensörünün yeşil ucu ile bağlanır ve sensörün mor ucu LPG Elektronik Kontrol Ünitesi kablo şebekesinin kırmızı ucu ile bağlanarak, seviye sensörü kurulur. (12 V Anahtar Voltajı)

3.1.9.14. LPG Çoklu Valf ve Açma Valfi Bağlantısı

Mavi ve kahverengi kablolu kılıf, çoklu valf güç bobin tellerine bağlanır. Mavi kablo çoklu valften kırmızı kabloya ve kahverengi kablo siyah kabloya bağlanır. İki yollu erkek bağlantıyı LPG açma valfinin bobininde yer alan uygun dişi bağlantıya bağlanır (Lovato 2006).

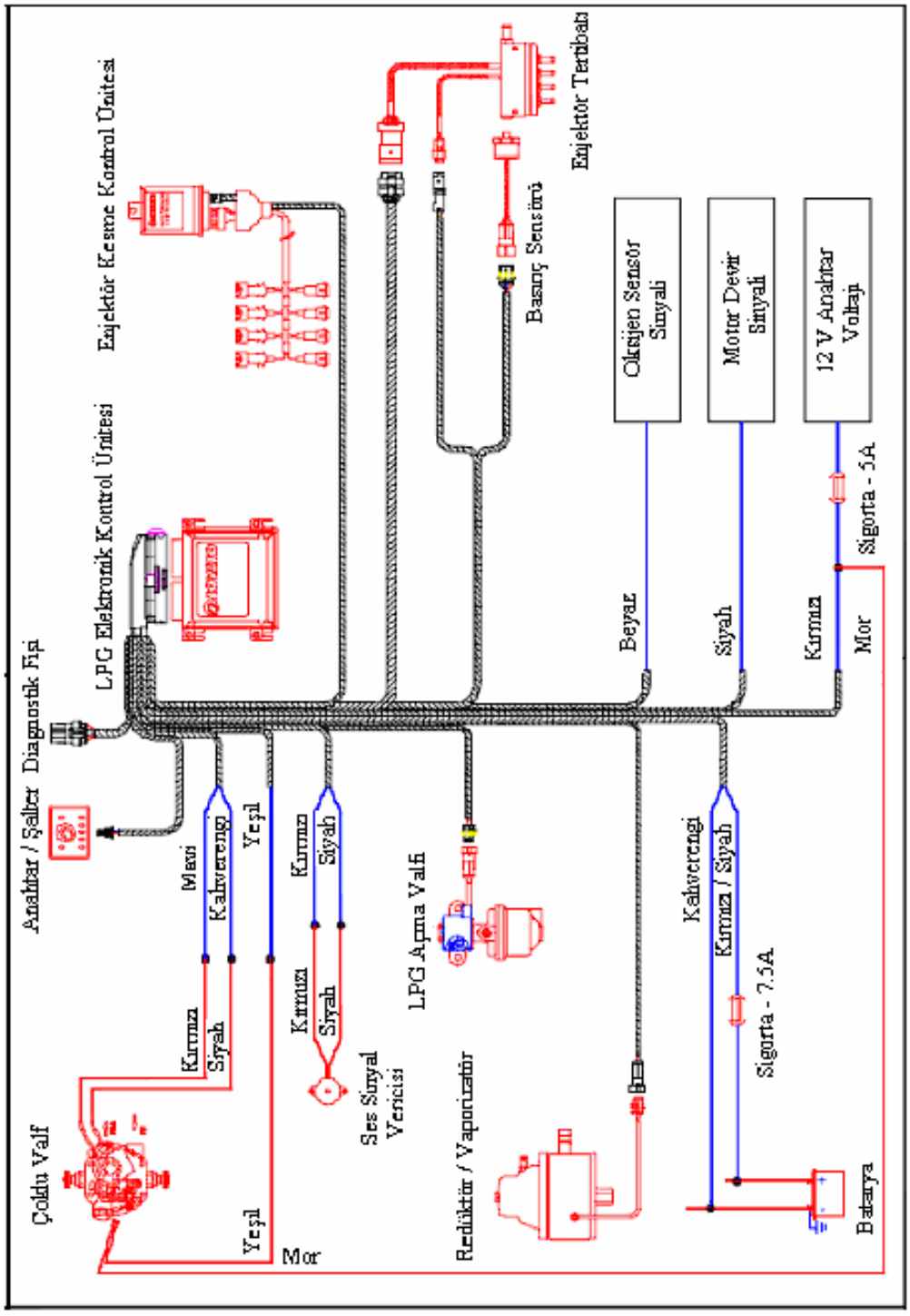
3.1.9.15. Enjektör Güç Bağlantısı

Enjektör tertibatının dişi bağlantısı ile uyuşan LPG Elektronik Kontrol Ünitesinden erkek bağlantısı yapılır (Lovato 2006).

3.1.9.16. Güç Ünitesi Bağlantısı

Araç kullanılırken sistem parametreleri kontrol ünitesindeki hafızada geçici olarak güncellenir ve daha sonra araç stop edildiğinde kontrol ünitesinin hafızasında depolanır (Lovato 2006) (Şekil 3.48).

Kırmızı siyah kablo pozitif batarya terminaline 7,5 Amper sigorta eklenerek ve kahverengi kabloda negatif batarya terminaline bağlanır. Kırmızı kablo tamamlanmamış devredeki 12 voltluk anahtara 5 Amper sigorta eklenerek bağlanır.



Şekil 3.48. Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyon Sistemi Akış Diyagramı (Lovato 1999a)

3.2. Metot

Değişik tip LPG sistemlerinin motor performansı ve emisyonlara etkisi ile ilgili yapılan testler tablolarda verilmiştir. Deneylerde kullanılan motorlarda, motor çalışma sıcaklıklarına ulaşıldıktan sonra testlere başlanmıştır. Motorlar hem LPG, hem de benzin ile aynı şartlarda çalıştırılarak sonuçlar incelenmiştir.

3.2.1. BEDİNİ Marka LPG Sisteminin 06 MHJ 87 Plakalı 1993 Model Ford 2000 Motorundaki Tekerlek Gücü ve Emisyon Sonuçları

Tablo 3.1.'de görüldüğü gibi 1993 model Ford 2000 motorunun LPG gazı ile rölantide 900 d/d'de çok iyi çalıştığı hava – yakıt oranından (AFR) ve CO değerlerinden görülmektedir. Maksimum tekerlek gücünün ölçülmesi sırasında hava – yakıt oranı 15,61 değerine düşerek ideal karışım oranı yakalanmıştır.

Motor benzin ile çalıştırıldığı zaman rölantide fakir karışım yapmasına rağmen, tekerlek maksimum gücü ölçülürken karışım aşırı derecede zenginleşerek, egzoz gazı ölçüm cihazının ölçüm sınırlarını aşmıştır. Buradan aracın karbüratörünün tamir edilmesi gerektiği sonucu çıkarılabilir (Anonim 1998).

Tablo 3.1. 06 MHJ 87 Plakalı 1993 Model Ford 2000 Otomobilinin Test Sonuçları (Anonim 1998)

CO %	**CO_2 %**	**HC ppm**	**CO_{cor}**	**O_2 %**	**AFR**	**d / d**	**Tekerlek Gücü (kW)**	**Yakıt**
0,58	**12,83**	**283**	**0,65**	**1,1**	**15,89**	**990**	**0**	**LPG**
0,13	13,07	242	0,15	2,7	16,50	938	0	Benzin
0,74	**12,77**	**104**	**0,82**	**0,6**	**15,61**	**3563**	**34 Maks**	**LPG**
-----	8,55	-----	-----	0,3	-----	3555	36 Maks	Benzin

3.2.2. LOVATO Marka LPG Sisteminin 06 VA 310 Plakalı 1975 Model Peugeot 504 – 2000 cc Motorundaki Tekerlek Gücü ve Emisyon Değerleri

Tablo 3.2.'deki değerler incelendiği zaman 1975 model 2000 cc'lik Peugeot 504 motorunun LPG ile rölantide 784 d/d'de zengin karışım ile çalıştığı görülmektedir. Bunun sonucu CO oranı % 5,2 gibi yüksek bir değere çıkmıştır.

90 km/h düz yol testi sırasında karışım daha fazla zenginleşerek hava – yakıt oranı % 12,07 olmuş, maksimum güç testi sırasında ise karışımın zenginliğini koruduğu görülmektedir. Bundan sonra LPG sisteminin hava ile yakıtı değişik gaz kelebek açıklıklarında iyi ayarlayarak karıştırdığı söylenebilir.

Aynı motor, benzin ile çalıştırıldığında karbüratör yine zengin karışım üretmektedir. Buradan karbüratör memelerinin aşınmış olabileceğini sonucu çıkarılabilir (Anonim 1998).

Tablo 3.2. 06 VA 310 Plakalı 1975 Model Peugeot 504, 2000 cc Otomobilinin Test Sonuçları (Anonim 1998)

CO %	CO_2 %	HC ppm	CO_{cor}	O_2 %	AFR	d / d	Tekerlek Gücü (kW)	Yakıt
5,2	**9,79**	**337**	**5,2**	**1,2**	**13,75**	**784**	**0**	**LPG**
0,44	13,84	300	0,44	1,8	15,57	710	0	Benzin
8,15	**8,24**	**227**	**8,15**	**0,4**	**12,07**	**3019**	**8**	**LPG**
3,16	12,77	153	3,16	0,7	13,74	2986	8	Benzin
4,11	**11**	**145**	**4,11**	**0,2**	**13,79**	**3322**	**32 Maks**	**LPG**
9,3	9,12	254	9,03	0,4	11,32	3330	34 Maks	Benzin

3.2.3. LOVATO Marka LPG Sisteminin 06 NC 753 Plakalı 1991 Model Mercedes 190 E 1800 cc (K – Jetronik) Motorundaki Tekerlek Gücü ve Emisyon Sonuçları

Tablo 3.3. incelendiği zaman 1991 model Mercedes 190 E 1800 cc enjeksiyonlu motorunun süper benzin ile rölantide zengin karışım ile çalıştığı görülmektedir. Bunun sonucu CO % 4,20 gibi yüksek bir değer çıkmıştır. 2. viteste 60 km/h hıza çıkıldığı zaman CO değerinde çok büyük bir düşüş olduğu görülmektedir. Bu durum püskürtmenin çok iyi olduğu anlamına gelir.

Araç 3.viteste 80 km/h hızda en ideal emisyon oranlarını yakalamaktadır. Bu durum 4.vites 100 km/h hızda biraz yükselmiş, 4.vites 120 km/h hızda ise tekerlek gücünün ve hava – yakıt oranının artması sonucu emisyon oranları biraz daha yükselmiştir.

Tablo 3.3. 1991 Model Mercedes 190 E 1800 cc (K Jetronik) Otomobilinin Test Sonuçları (Aydın ve Kaştaş 1999)

CO %	**CO_2 %**	**HC ppm**	**O_2 %**	**AFR**	**Tekerlek Gücü (kW)**	**Araç Hızı (km / h)**	**Yakıt**
4,20	13,42	158	3,1	15,33	0	Rölanti Devri	Süper Benzin
3,60	**10,69**	**219**	**3,9**	**16,34**	**0**	**Rölanti Devri**	**LPG**
0,44	15,51	193	0,6	14,78	40	2. Vites 60 km / h	Süper Benzin
3,46	**10,10**	**773**	**2,4**	**14,99**	**38**	**2. Vites 60 km / h**	**LPG**
0,36	15,53	202	0,6	14,83	28	3. Vites 80 km / h	Süper Benzin
0,54	**12,42**	**631**	**1,7**	**16,09**	**28**	**3. Vites 80 km / h**	**LPG**
0,51	15,45	272	0,4	14,62	22	4. Vites 100 km / h	Süper Benzin
0,63	**12,53**	**781**	**1,5**	**15,80**	**22**	**4. Vites 100 km / h**	**LPG**
0,98	14,88	390	0,4	14,34	28	4. Vites 120 km / h	Süper Benzin
0,20	**13,04**	**413**	**1,1**	**15,99**	**27**	**4. Vites 120 km / h**	**LPG**

Aynı araç LPG ile çalıştırıldığında rölanti devrinde CO emisyonu benzin kadar olmasa da yinede yüksektir. Bu durum 2. viteste 60 km/h hızda da devam etmektedir. Bu bize enjeksiyonlu sistemlerin ortalama 40 – 60 km/h hızlardan sonra otomatik olarak LPG'ye geçtiklerini göstermektedir.

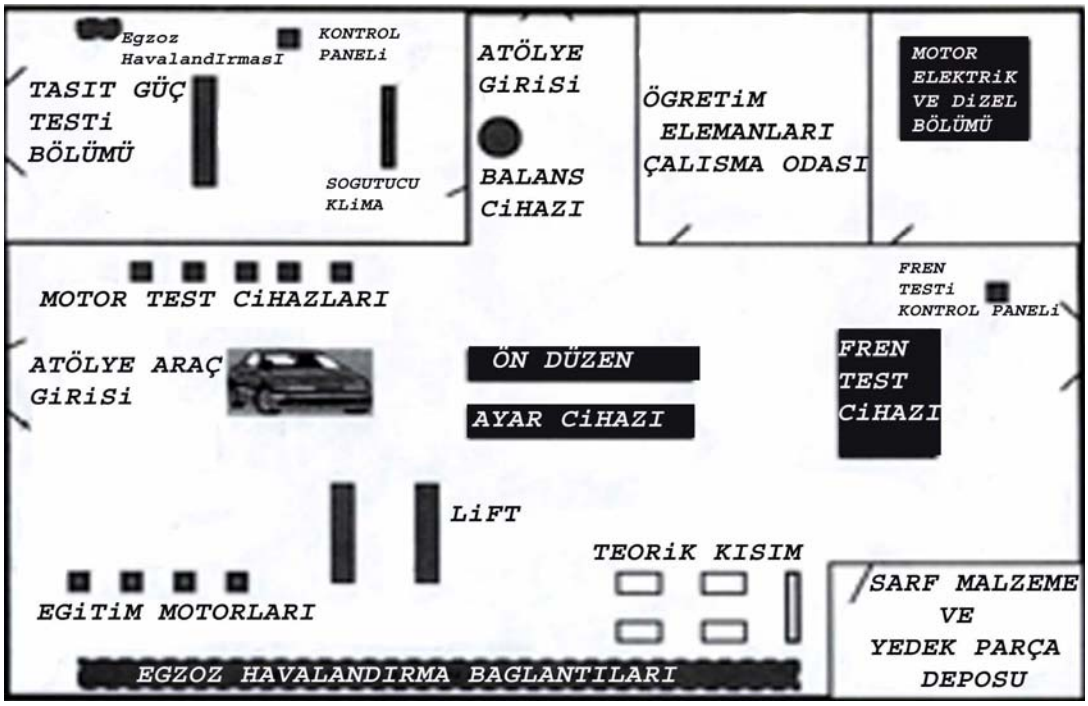
3.vites 80 km/h hızda emisyon değerlerinde gözle görülür bir değişme olmaktadır. Buradan LPG sistemi tam olarak devrede ve tam yanma sağlanabiliyor sonucuna varılır. Tabloda LPG ile çalışırken 4.vites 120 km/h hızda CO değerinin minimum olduğu görülmektedir. Buradan yüksek hızlarda LPG'nin daha iyi atomize olduğu ve hızının arttığı bilinmektedir (Aydın ve Kaştaş 1999).

3.2.4. Deney aracı ve yerinin teknik özellikleri (Şekil 3.49- Şekil 3.50)

Markası		: Hyundai
Tipi		: Accent
Versiyonu		: 1.5 GLS
Renk		: Beyaz
Dingil ve Tekerlek Sayısı		: 1 Dingil / 4+1 Tekerlek
Tahrikli Dingiller		: Önden
Dingil Uzaklığı		: 2400 mm
Uzunluk		: 4117 mm
Genişlik		: 1620 mm
Yükseklik		: 1394 mm
Arka Uzunluk		: 858 mm
Azami Yüklü Kütle		: 1392 kg
Bu Kütlenin Dingiller Arası Dağılımı	Ön	: 585 kg
	Arka	: 807 kg
Motor İmalatçısı		: Hyundai
Çalışma Prensibi		: 4 Zamanlı
Silindir Sayısı ve Düzeni		: 4 Tek Sıra
Motor Hacmi		: 1495 cm^3
Ateşleme Sırası		: 1 – 3 – 4 – 2
Soğutma Sistemi		: Su İle Soğutma
Yağlama Sistemi		: Basınçlı Yağlama
Supap Sayısı		: 12 Valf
Supap Yerleşimi		: Üstten Tek Eksantrik
Yakıt		: Benzin / LPG
Yakıt sistemi		: Çok Nokta Enjeksiyon
Azami Net Güç		: 80 HP
Lastik ve Tekerlekler	Ön	: 175 / 65 R 14
	Arka	: 175 / 65 R 14
Kapıların Sayısı ve Düzeni		: 4 Sağ 2 ve Sol 2
Koltukların Sayısı ve Konumu		: 5 Yolcu 4 ve Şoför



Şekil 3.49. Deney Aracı



Şekil 3.50. Deney Alanı Yerleşim Planı

Kontrol üniteleri ve deneyin yapılış aşamaları Şekil 3.51-Şekil 3.70'de verilmiştir.



Şekil 3.51. Kontrol Paneli



Şekil 3.52. Soğutucu Klima



Şekil 3.53. Egzoz Emisyon Cihazı



Şekil 3.54. Ortam Havalandırması



Şekil 3.55. Egzoz Havalandırması



Şekil 3.56. Şasi Dinamometresi ve Aracın Cihaza Bağlanması



Şekil 3.57. Egzoz Porbunun Araca Takılması



Şekil 3.58. Egzoz Havalandırmasının Araca Takılması



Şekil 3.59. LPG Ayarının Diagnostik İle Yapılması



Şekil 3.60. Test İşlemine Geçiş



Şekil 3.61. Test İşlemi



Şekil 3.62. Test Sırasında Gerekli İşlemlerin Yapılması



Şekil 3.63. Egzoz Emisyon Verilerinin Cihazdan Okunması



Şekil 3.64. Buharlaştırıcı / Redüktör'ün Araç Üzerindeki Yeri



Şekil 3.65. EMU FAST Enjektör Kesme Kontrol Ünitesi'nin Araç Üzerindeki Yeri



Şekil 3.66. LPG Açma Valfi'nin Araç Üzerindeki Yeri



Şekil 3.67. FAST Elektronik Kontrol Ünitesi'nin Araç Üzerindeki Yeri



Şekil 3.68. FAST Enjektör Tertibatı'nın Araç Üzerindeki Yeri



Şekil 3.69. Bağlantı Hortumları'nın Araç Üzerindeki Yeri



Şekil 3.70. LPG Dolum Ucu'nun Araç Üzerindeki Yeri

4. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA

4.1. LOVATO Marka Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyon Sisteminin 2000 Model 42 VN 621 Plakalı Hyundai Accent 1.5 GLS 1500 cc Enjeksiyonlu Motorundaki Tekerlek Gücü ve Emisyon Sonuçları

02.06.2006 tarihinde Konya Ticaret Odası Vakfı Teknoloji Danışmanlık ve Eğitim Merkezi Taşıt Güç Testi Bölümü'nde şasi dinamometresi üzerinde yapmış olduğumuz deneyde, üzerinde Lovato marka Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyon Sistemli cihaza sahip 2000 model Hyundai Accent 1.5 GLS marka çok nokta yakıt enjeksiyon sistemli araç deney düzeneğine alınmıştır.

Deneye başlamadan önce atölyede gerekli emniyet tedbirleri alınmış, araç motorunun soğutma suyu sıcaklığı ve motor yağ sıcaklığı 80 ^{0}C ye kararlı hale getirilmiştir.

Araç güvenli bir şekilde şasi dinamometresine bağlanmıştır. Aracın soğutulmasına yardımcı olması sebebiyle aracın önüne soğutucu klima yerleştirilmiştir. Deney üç kez tekrarlanmış ve Tablo 4.1'de verilerin ortalaması verilmiştir.

Tablo 4.1. incelendiği zaman 2000 model Hyundai Accent 1.5 GLS enjeksiyonlu motorunun kurşunsuz benzin ile rölantide ideal karışım ile çalıştığı görülmektedir. Bunun sonucu CO % 0,04 gibi uygun bir değer çıkmıştır. 2.viteste 60 km/h hıza çıkıldığı zaman CO değerinde bir miktar artış olmuştur.

Bu durum aracın 2. vitese göre fazla zorlandığını motor devrinin 4120 d/d da olduğu görülmektedir. Diğer vites durumlarında da CO değeri ideal şartlardadır.

Hız arttıkça HC değerlerindeki azalma ve diğer değişkenlerde ki uyumluluk aracın kurşunsuz benzin modunda lambda sondası verilerini düzenli aldığını ve ECU ile tüm sensörlerin uyumlu çalıştığının göstergesidir.

Lambda sondası yanmış yakıt içerisindeki oksijen miktarına göre ölçüm yaptığından araç kurşunsuz benzin ile çalışırken devrede olup, araç LPG moduna geçtiğinde LPG ECU'su lambda sondasından bilgi alamamaktadır. Bu durum LPG modunda HC lerin yüksek çıkmasına sebep olmuştur.

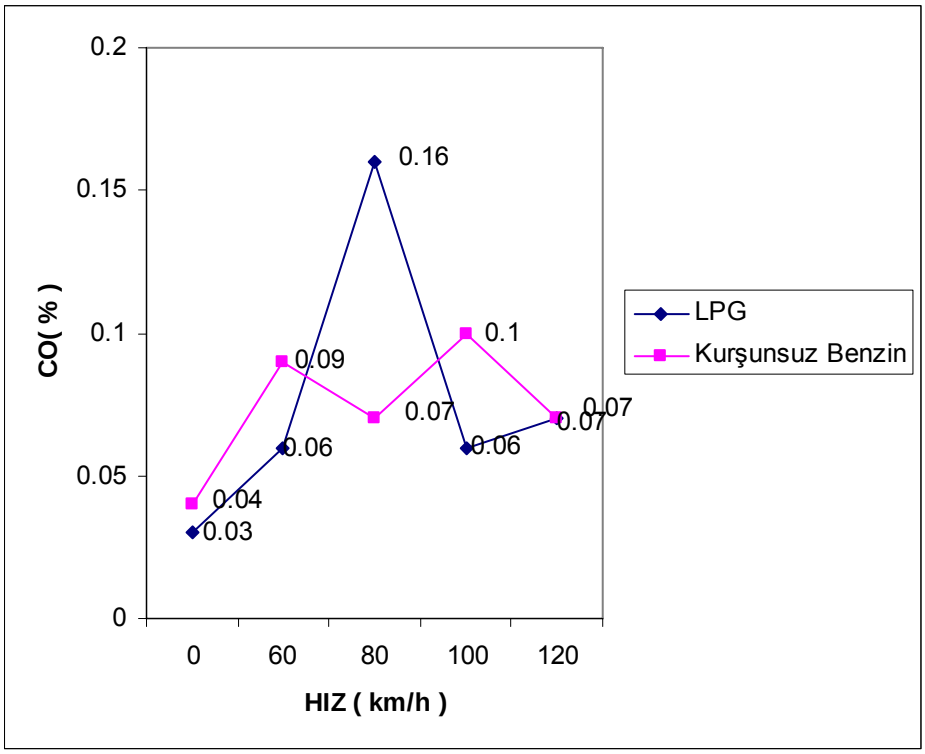
Tablo 4.1. 2000 Model Hyundai Accent 1.5 GLS 1500 cc Çok Nokta Enjeksiyonlu Otomobilinin Test Sonuçları

CO %	CO_2 %	HC ppm	O_2 %	Lambda	Motor Devri (d/d)	Tekerlek Gücü (kW)	Araç Hızı (km / h)	Yakıt
0,04	15,73	94	0,10	0,998	810	0	Rölanti Devri	Kurşunsuz Benzin
0,03	**13,82**	**156**	**0,16**	**1,005**	**820**	**0**	**Rölanti Devri**	**LPG**
0,09	15,59	43	0,09	0,999	4120	22,35	2. Vites 60 km / h	Kurşunsuz Benzin
0,06	**13,78**	**94**	**0,12**	**0,999**	**4060**	**23,75**	**2. Vites 60 km / h**	**LPG**
0,07	15,57	41	0,09	0,998	3680	32,50	3. Vites 80 km / h	Kurşunsuz Benzin
0,16	**13,76**	**108**	**0,13**	**0,999**	**3720**	**32,85**	**3. Vites 80 km / h**	**LPG**
0,10	15,61	41	0,09	0,998	3460	41,75	4. Vites 100 km / h	Kurşunsuz Benzin
0,06	**13,78**	**100**	**0,16**	**1,001**	**3480**	**40,75**	**4. Vites 100 km / h**	**LPG**
0,07	15,50	35	0,09	1,002	4210	50,65	4. Vites 120 km / h	Kurşunsuz Benzin
0,07	**13,75**	**84**	**0,21**	**1,004**	**4210**	**50,15**	**4. Vites 120 km / h**	**LPG**

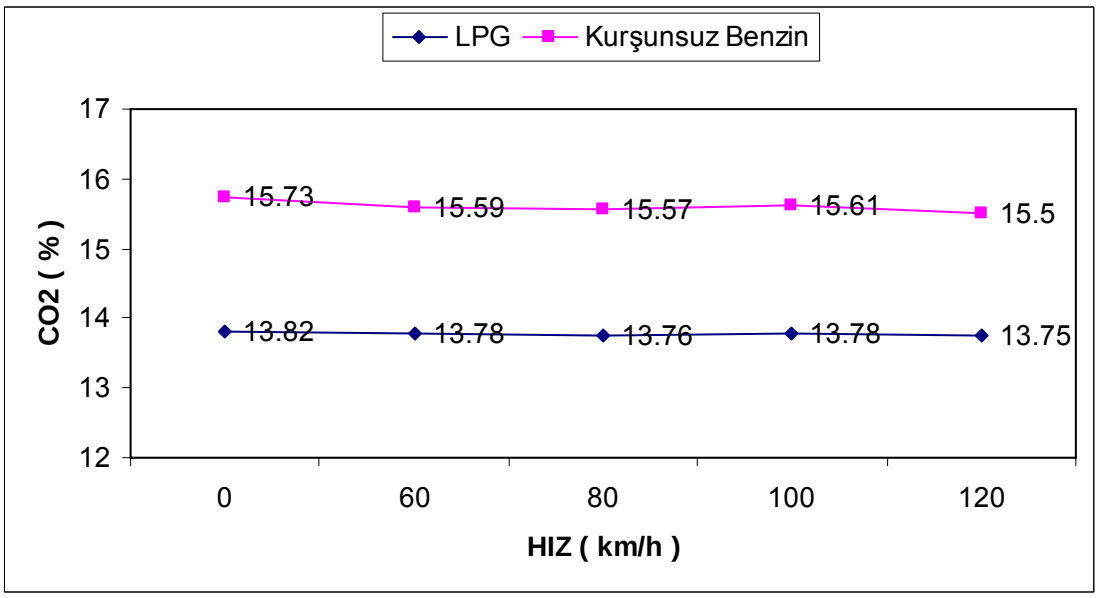
LPG ECU'sunda kayıtlı olan çalışma parametreleri araç üreticisinin araç üzerinde kullanmış olduğu ECU'nun parametreleriyle aynı doğrultuda olması sebebiyle, LPG sistemi ve araç üzerinde bulunan LPG enjektörlerinin püskürtme sürelerini diagnostic cihazla eşitlenmesi sebebiyle araç LPG modunda lambda verileri ideal çıkmaktadır. Giren hava miktarının değişmemesi de bu durumu doğrulamaktadır.

Aynı zamanda CO miktarı da ideal oranlardadır. CO'yu etkileyen diğer bir faktörde, benzin modunda kurşunsuz benzinin enjektörlerden sıvı halde püskürtülmesi, LPG modunda ise LPG'nin gaz halde püskürtülmesi LPG modunda CO'ların benzine göre düşük çıkmasına sebep olmuştur.

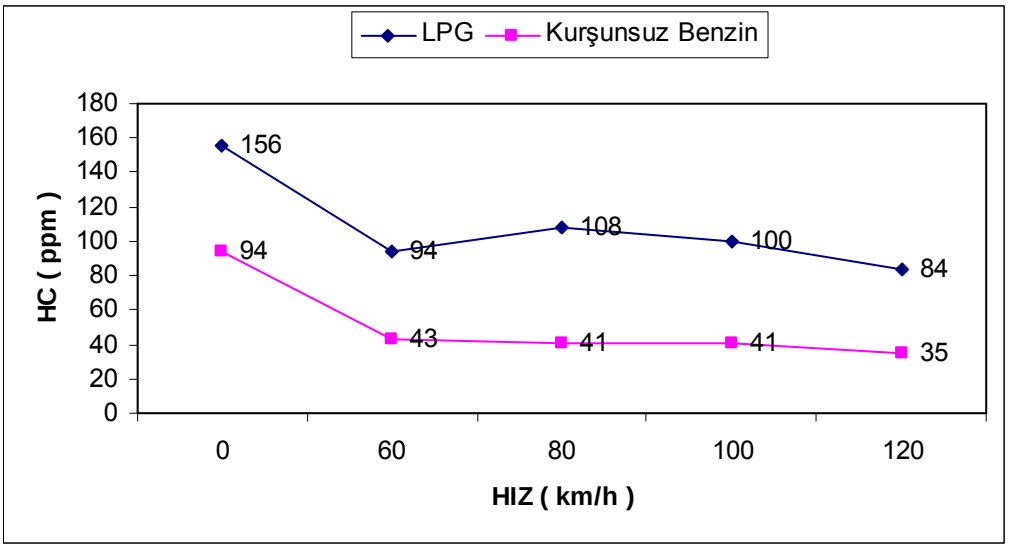
Sıralı gaz fazı LPG enjeksiyon sisteminde diğer LPG sistemlerinde bulunan mikser olmadığı için hava / yakıt oranı ideal verilerde olmuş, bu durum güç verilerinin de yükselmesini sağlamıştır.



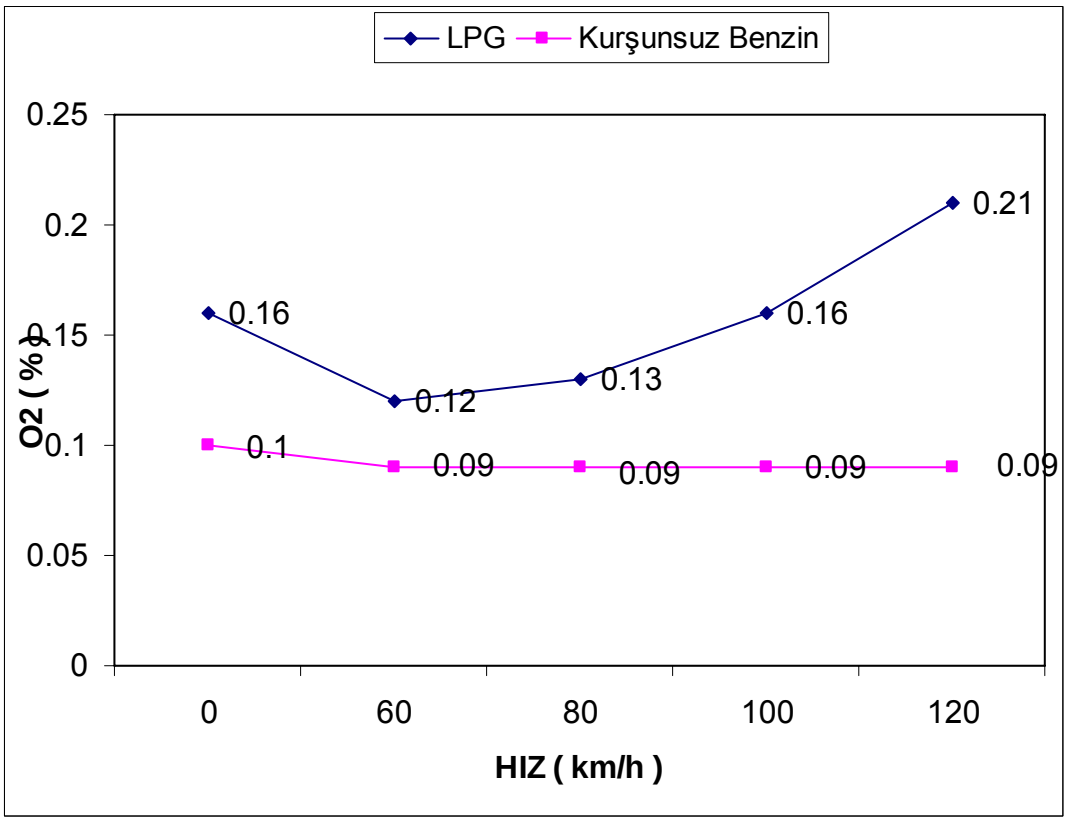
Şekil 4.1. LPG ve Kurşunsuz Benzinde CO Değerleri (02.06.2006)



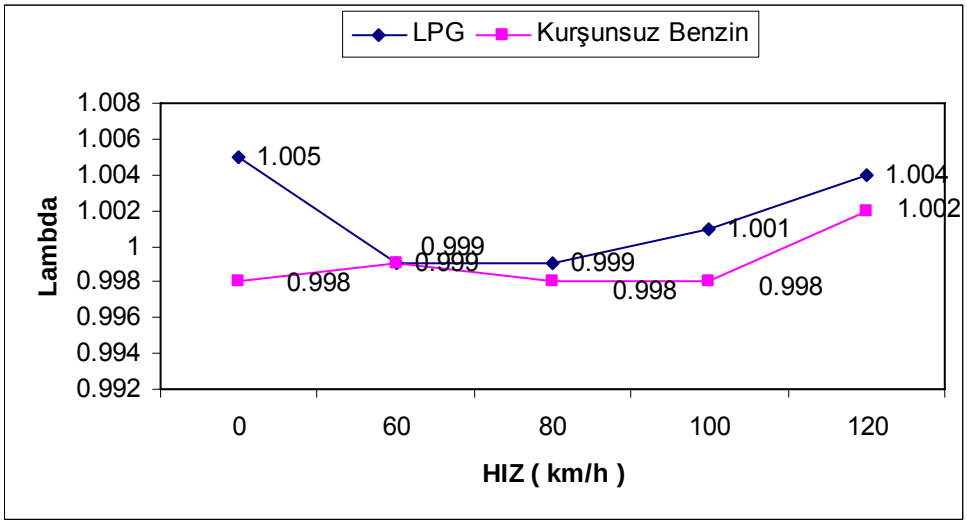
Şekil 4.2. LPG ve Kurşunsuz Benzinde CO_2 Değerleri (02.06.2006)



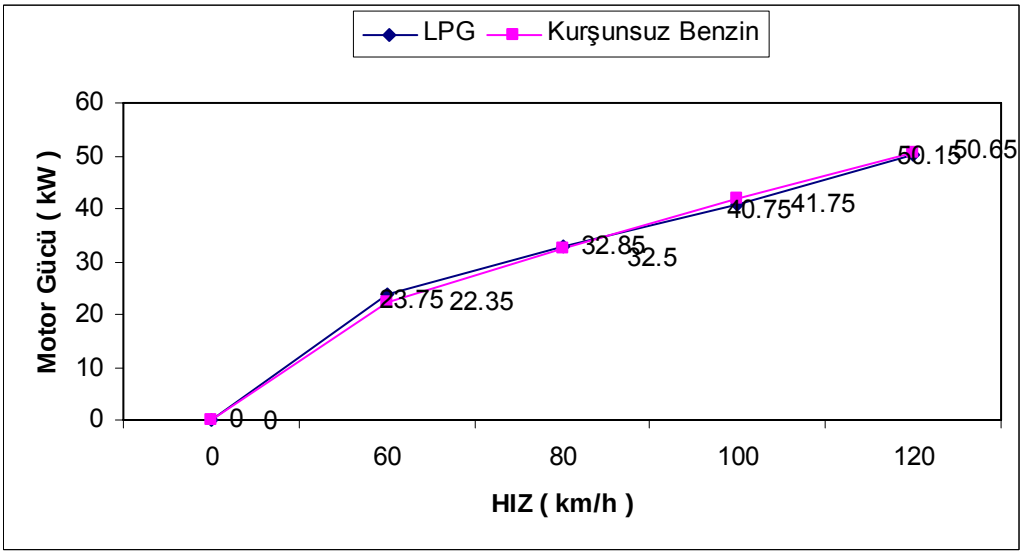
Şekil 4.3. LPG ve Kurşunsuz Benzinde HC Değerleri (02.06.2006)



Şekil 4.4. LPG ve Kurşunsuz Benzinde O_2 Değerleri (02.06.2006)



Şekil 4.5. LPG ve Kurşunsuz Benzinde Lambda Değerleri (02.06.2006)



Şekil 4.6. LPG ve Kurşunsuz Benzinde Güç Değerleri (02.06.2006)

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Petrolün hafif ürünlerinden olan LPG'nin buji ile ateşlemeli motorlarda kullanımı da mevcut sıvı yakıtların yerini tutacak diğer bir uygulamadır. Gaz yakıtlar, karışımın oluşturulması, dağıtımın ateşlenmesi ve yanması kontrolüne en az zorluk gösteren yakıtlardır. Egzoz emisyonları bakımından daha az kirletici olmaları sebebiyle ideal yakıtlar olarak bilinirler. LPG, dünya çapında ve uzun süreli rol oynayabilecek önemli bir alternatif yakıt olarak değerlendirilmelidir.

Bu araştırmada; LPG sistemlerinin geldiği son noktadaki 4. Kuşak Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyon Sistemi incelenmiş ve sistem tanıtılmıştır.

4. Kuşak Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyon Sistemli cihaza sahip 2000 model Hyundai Accent 1.5 GLS marka çok nokta yakıt enjeksiyon sistemli araç üzerinde deneyler yapılmıştır. Araç LPG ve kurşunsuz benzinle çalıştırılarak emisyon ve güç değerleri tespit edilmiştir. Aracın kurşunsuz benzin ile rölantide ideal karışım ile çalıştığı görülmektedir. Bunun sonucu CO % 0,04 gibi uygun bir değer çıkmıştır. 2.viteste 60 km/h hıza çıkıldığı zaman CO değerinde bir miktar artış olmuştur.

Bu durum aracın 2. vitese göre fazla zorlandığını motor devrinin 4120 d/d da olduğu görülmektedir. Diğer vites durumlarında da CO değeri ideal şartlardadır.

Hız arttıkça HC değerlerindeki azalma ve diğer değişkenlerde ki uyumluluk aracın kurşunsuz benzin modunda lambda sondası verilerini düzenli aldığını ve ECU ile tüm sensörlerin uyumlu çalıştığının göstergesidir.

Lambda sondası yanmış yakıt içerisindeki oksijen miktarına göre ölçüm yaptığından araç kurşunsuz benzin ile çalışırken devrede olup, araç LPG moduna geçtiğinde LPG ECU'su lambda sondasından bilgi alamamaktadır. Bu durum LPG modunda HC lerin yüksek çıkmasına sebep olmuştur.

LPG ECU'sunda kayıtlı olan çalışma parametreleri araç üreticisinin araç üzerinde kullanmış olduğu ECU'nun parametreleriyle aynı doğrultuda olması sebebiyle, LPG sistemi ve araç üzerinde bulunan LPG enjektörlerinin püskürtme sürelerini diagnostic cihazla eşitlenmesi sebebiyle araç LPG modunda lambda verileri ideal çıkmaktadır. Giren hava miktarının değişmemesi de bu durumu doğrulamaktadır.

Aynı zamanda CO miktarı da ideal oranlardadır. CO'yu etkileyen diğer bir faktörde, benzin modunda kurşunsuz benzinin enjektörlerden sıvı halde püskürtülmesi, LPG modunda ise LPG'nin gaz halde püskürtülmesi LPG modunda CO'ların benzine göre düşük çıkmasına sebep olmuştur.

Sıralı gaz fazı LPG enjeksiyon sisteminde diğer LPG sistemlerinde bulunan mikser olmadığı için hava / yakıt oranı ideal verilerde olmuş, bu durum güç verilerinin de yükselmesini sağlamıştır.

Buna göre 4. Kuşak Sıralı Gaz Fazı LPG Enjeksiyon Sisteminde eski sistemlerde olan performans düşüklüğü yaşanmadığı sonucuna varılmıştır. LPG'nin kurşunsuz benzine göre en az % 40 ekonomik olduğu da bilinmektedir. LPG'nin ısıl değerinin ve yanma hızının kurşunsuz benzine yakın olması, benzin sistemine sahip araçlarda LPG sistemlerin uygulanmasına olanak sağlamaktadır.

Birinci kuşak sistemde 1993 model Ford 2000 motorunun LPG gazı ile rölantide 900 d/d'de çok iyi çalıştığı hava – yakıt oranından (AFR) ve CO değerlerinden görülmektedir. Maksimum tekerlek gücünün ölçülmesi sırasında hava – yakıt oranı 15,61 değerine düşerek ideal karışım oranı yakalanmıştır. Motor benzin ile çalıştırıldığı zaman rölantide fakir karışım yapmasına rağmen, tekerlek maksimum gücü ölçülürken karışım aşırı derecede zenginleşerek, egzoz gazı ölçüm cihazının ölçüm sınırlarını aşmıştır.

İkinci kuşak sistemde ise 1975 model 2000 cc'lik Peugeot 504 motorunun LPG ile rölantide 784 d/d'de zengin karışım ile çalıştığı görülmektedir. Bunun sonucu CO oranı % 5,2 gibi yüksek bir değere çıkmıştır. 90 km/h düz yol testi sırasında karışım daha fazla zenginleşerek hava – yakıt oranı % 12,07 olmuş, maksimum güç testi sırasında ise karışımın zenginliğini koruduğu görülmektedir. Bundan sonra LPG sisteminin hava ile yakıtı değişik gaz kelebek açıklıklarında iyi ayarlayarak karıştırdığı söylenebilir. Aynı motor, benzin ile çalıştırıldığında karbüratör yine zengin karışım üretmektedir. Buradan karbüratör memelerinin aşınmış olabileceğini sonucu çıkarılabilir (Anonim 1998).

Üçüncü kuşak sistemde 1991 model Mercedes 190 E 1800 cc enjeksiyonlu motorunun süper benzin ile rölantide zengin karışım ile çalıştığı görülmektedir. Bunun sonucu CO % 4,20 gibi yüksek bir değer çıkmıştır. 2. viteste 60 km/h hıza çıkıldığı zaman CO değerinde çok büyük bir düşüş olduğu görülmektedir.

Bu durum püskürtmenin çok iyi olduğu anlamına gelir. Araç 3.viteste 80 km/h hızda en ideal emisyon oranlarını yakalamaktadır. Bu durum 4.vites 100 km/h hızda biraz yükselmiş, 4.vites 120 km/h hızda ise tekerlek gücünün ve hava – yakıt oranının artması sonucu emisyon oranları biraz daha yükselmiştir.

LPG sistemi takılan taşıtlardan daha iyi sonuçlar alınabilmesi için bazı önerilere uymak yararlı olacaktır:

- LPG dönüşüm sistemi seçilirken motorunuzun teknolojisine göre en gelişmiş olanı seçilmelidir.
- Kullanılan parçaların tamamının orijinal olmasına dikkat edilmelidir.
- Seçilen dönüşüm sisteminin yedek parça durumu göz önünde bulundurulmalıdır.
- Sistemin montaj ve ayarı ehliyetli kişilere yaptırılmalıdır.

Böylece ilerde çıkabilecek sorunların bir çoğu çözülmüş olacaktır.

6. KAYNAKLAR

Acaroğlu, M., 2003. Alternatif Enerji Kaynakları, Atlas Kitabevi, İstanbul.

Anonim, 1996. TÜPRAŞ Rafineri LPG Analiz Sonuçları, Teknik Servis Müdürlüğü, Aralık 1996, Kırıkkale.

Anonim, 1998. Taşıtlarda Yakıt Olarak LPG Kullanımı, Selçuk Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, 1998, Konya.

Anonim, 1999. HABAŞ firması LPG Analiz Sonuçları, 1999, İstanbul.

Anonim, 2000. Makine Mühendisleri Odası, Araçlarda LPG Dönüşümü Mühendis El Kitabı, İkinci Baskı, 2000, Ankara.

Anonim, 2001. Yakıtlar ve Yağlar, Petrol Ofisi Madeni Yağ Şube Müdürlüğü, Petrol Ofisi Yayınları, İstanbul, 2001.

Anonim, 2002. LPG'nin Özellikleri ve Emniyetli Kullanımı, TMMOB, Kimya Mühendisleri Odası, LPG Eğitim Yayını, 2002, İstanbul.

Anonim, 2003. LPG Servis El Kitabı, Aygaz LPG Servis Müdürlüğü, 2003, İstanbul.

Anonim, 2005. Makine Mühendisleri Odası, LPG Sistemli Araçların Güvenli Kullanım Kılavuzu, El Kitabı, 2005, Konya.

Aydın, F., Kaştaş, Y., 1999. İçten Yanmalı Motorlarda Sıvılaştırılmış Petrol Gazının Kullanımı, emisyonlara ve Motor Performansına Etkisi, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Otomotiv Anabilim Dalı, Bitirme Projesi, Ankara.

Ayhaner, M., 1995a. Araçlarda LPG ve CNG Uygulaması, Mühendis ve Makine, Cilt : 35, Sayı : 1429, Ekim 1995, Ankara

Ayhaner, M., 1995b. Araçlarda LPG ve CNG Uygulaması, Mühendis ve Makine, Cilt : 36, Nisan 1995, Ankara.

Bayındır H., İlkılıç C., Sarsılmaz C., 1997. Yerli Otomobillerde LPG Kullanımı, 1. Uluslararası Katılımlı Otomotiv Teknolojisi Kongresi, Adana.

Chen Z., Konno M., Goto S., 2001. Study on Homogenous premixed charge CI Engine fueled with LPG, JSAE Review, 22:265-270.

Ciniviz, M., 2001. Dizel motorlarında Dizel Yakıtı + LPG Kullanımının Performans ve Emisyona Etkisi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2001, Konya.

Çelik, V., Akay, M.E., 2000. Taşıtlarda LPG Uygulamasının Ekonomik Açıdan İncelenmesi, LPG Otogaz Sempozyumu, MMO Yayın No : E / 2001 / 257, Aralık, İstanbul.

Çetinkaya S., 1998. Taşıtlarda LPG Kullanımı, Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Paneli, Konya.

Demirbaş A., 2002. Fuel Properties of Hydrogen, Liquefied Petroleum Gas (LPG), and Compressed Natural Gas (CNG) for Transportation, Energy Sources, 24:601-610.

Dinler, N., Yücel, N., 2002. Alternatif Yakıt Olarak LPG Kullanan İki Motorun Performansının Deneysel İncelenmesi, LPG ve CNG Uygulamaları Sempozyumu, MMO Yayın No: E/2003/315, Aralık,Ankara.

Emen M., 2000. Benzin ve Motorin Yakıtlı Motorlarda LPG Kullanımı, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

http://selimcetinkaya.tripod.com/guncel/lpg_conversion.htm

http://web.ttnet.net.tr/users/grupgas/urun1.htm

http://www.2a.com.tr

http://www.akyildiz.com.tr/demal5.htm

http://www.aygaz.com.tr

http://www.ecogas-lpg.com/tr/alanlarimiz.htm

http://www.emmegas.com.tr

http://www.lovatogas.com

http://www.lpghaber.com

http://www.teknikyayincilik.com

İçingür, Y., 1994. Yakıtlar ve Yanma Ders Notları, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, 1994, Ankara.

Kurulay, N.S., Yeşil, A. LPG 'nin Otto Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması Halinde Egsoz Gazı Emisyon Değerlerinin İrdelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Ders Notları, İZMİR

Landi, 1995. LPG System Installation Guide, March 1995, ITALY.

Lovato, 1999a. Autogas LPG System Manual, Vicenza, ITALY.

Lovato, 1999b. LPG Sistem El Kitabı, Vicenza, İTALYA.

Lovato, 2006. Fast Installation Manual, 2006, ITALY.

Polat, İ., 1999. Benzin Motorunun LPG İle Çalışacak Şekilde Dönüşümü Yapılarak, Farklı Ateşleme Avansı Değerlerinde Performans ve Emisyon Davranışının İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Salman M. S., Batmaz İ., İçingür Y., 1998. LPG Dönüşümü Yapılan Taşıtlarda Performans Emisyonlar, Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Paneli, Konya.

Selim M.Y.E., 2005. Effect of Engine Parameters and Gaseous Fuel Type on the Cyclic Variabilty of Dual Fuel Engines, Fuel, 84:961-971.

Soruçbay, C., Ergeneman, M., 1997. Benzin Motorlu Taşıtların LPG Kullanımına Dönüşümü, Mühendis ve Makine, Cilt : 37, Ekim 1997, Ankara.

Soruçbay, C., 2002. Taşıtlardaki LPG Kullanımının Teknolojik ve Ekonomik Açılardan Değerlendirilmesi, LPG ve CNG Uygulamaları Sempozyumu, Ankara.

TSE, 1991. T.S. 2178, Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG), Nisan 1991, Ankara.

TSE, 1996. TS-EN 589, Otomotiv Yakıtları, LPG Özellikleri ve Deney Metotları, Mart 1996, Ankara.

Yamin J. A., Bardan O.O., 2002. Analytical Study to Minimise the Heat Losses From a Propane Powered 4-Stroke Spark Ignition Engine, Renewable Energy, 27:463-478.

Yoong A. P. F., Watkins A. P., 2004. Modelling of Liquefied Petroleum Gas Spray Development, Wvaporation and Combustion, Int. J. Engine Res., Vol:5- No:6

Yücel N., Dinler N., 2000. LPG Dönüşümü Yapılan Bir Motorda Katalitik Konvertörün Motor Performansına ve Egzoz Emilsüyonlarına Etkisi, LPG Oto Gaz Sempozyumu, İstanbul.

Yücesu, S., 1991. Buji İle Ateşlemeli Motorlarda Doğalgazın Yakıt Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1991, Ankara.