

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

128774

BENZİNLİ DİREKT PÜSKÜRTMELİ MOTORLARIN  
GELİŞTİRİLMESİ

Makina Müh. Kemal Uğur BİNİCİ

FBE Makina Anabilim Dalı Enerji Makinaları Programında  
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Orhan Deniz

Prof. Dr. ORHAN DENİZ

Prof. Dr. ERTUĞRUL ASLAN

Prof. İRFAN YAVAŞLIOĞLU

TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

128774

İSTANBUL, 2002

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	i
KISALTMA LİSTESİ.....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	v
ÖNSÖZ .....	vi
ÖZET .....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. GİRİŞ .....	1
2. BENZİNLİ DİREKT PÜSKÜRTMELİ MOTORUN GELİŞTİRİLMESİ.....	3
2.1 Tanıtım.....	3
2.1.1 Birinci Safha (1950'lere kadar) .....	3
2.1.2 İkinci Safha (1950'den 1980'lere kadar) .....	5
2.1.3 Üçüncü Safha (1990'dan sonar).....	6
2.2 Mitsubishi GDI Temel Stratejileri .....	7
2.3 Mitsubishi GDI Sistem Konfigürasyonu.....	9
2.4 Emme Portunun Optimizasyonu .....	12
2.5 Yakıt Püskürtme Sistemi.....	12
2.6 Ateşleme Sistemi.....	21
2.7 Hava Kontrolü.....	21
2.8 Fakir NOx Katalist.....	23
2.9 Mitsubishi GDI Motorun Kalibrasyonu .....	23
2.10 Benzinli Direkt Püskürtmeli Motorun Karakteristikleri .....	27
2.11 Ömür Onayı.....	30
3. BENZİNLİ DİREKT PÜSKÜRTMELİ MOTORLAR İÇİN MOTRONIC MED7 MOTOR YÖNETİM SİSTEMİ VE KALİBRASYON PROSEDÜRLERİ.....	32
3.1 Özet.....	32
3.2 Tanıtım .....	32
3.3 Sisteme Bakış.....	33
3.4 Yüksek Basıncılı Yakıt Sistemi .....	34
3.5 Çalışma Modları ve Mod Seçimi .....	36
3.6 Tork Yapısı .....	40
3.7 Egzoz Emisyonlarını Motor Çıkışından Sonra İyileştirme Kavramı .....	41
3.8 Hata Teşhis Kavramı.....	44
3.9 Kalibrasyon Prosedürleri.....	47
3.10 Sonuçlar ve Öneriler .....	49
4. MITSUBISHI GDI SİSTEMİNİN ÖZETİ VE MPI MOTORLA KIYASI.....	51

4.1.	GDI Sistemi .....	51
4.1.1	Sistemin Ana Kuramları.....	52
4.1.1.1	İki Tip Yakıt Karışımının Sağlanması .....	52
4.1.1.2	Hassas Hava-Yakıt Karışımı .....	53
4.1.2	Yakıt Ekonomisi .....	57
4.1.3	Güç Artırımı .....	58
4.1.4	Mitsubishi GDI ve MPI Motorunun Karşılaştırılması .....	60
4.1.4.1.	Araç Üzerinde Yakıt Ekonomisi Açısından Karşılaştırılması .....	61
4.1.4.2	Araç Üzerinde Elde Edilen Güç Açısından Karşılaştırılması. ....	63
4.1.4.2.1	Gücü Etkileyen Faktörler .....	63
4.1.4.2.2	Motor Performans Değerlerinin Karşılaştırılması.....	63
4.1.5.	Bu Motorun Kullandığı Aracın Teknik Verileri .....	65
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	66
	KAYNAKLAR .....	70
	ÖZGEÇMİŞ .....	71



## SİMGE LİSTESİ

d	Çap
$\lambda$	Hava fazlalık katsayısı
$\rho$	Yoğunluk
U	Hız
$\sigma$	Yüzey gerilimi
U	Swirling yivlerin içindeki hız
$\mu$	Yakıt viskozitesi
r	Swirling yarıçapı



## KISALTMA LİSTESİ

AÖN	Alt Ölü Nokta
DOHC	Üstten çift kam milli
EGR	Egzoz Gazı Resirkülasyonu
GDI	Benzinli Direkt Püskürtme
HFK	Hava Fazlalık Katsayısı
KMA	Krank Mil Açısı
MPI	Çok Noktalı Püskürtme
Pe	Püskürtme Basıncı
RON	Research Octan Number
SI	Buji Ateşlemeli
SMD	Ortalama Damla Büyüklüğü
ÜÖN	Üst Ölü Nokta



## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Erken safhada direkt püskürtmeli benzinli motorlar için yanma sistemleri örneği.....	4
Şekil 2.2	Direkt püskürtmeli motorların çalışma modları.....	7
Şekil 2.3	Mitsubishi GDI da kullanılan geniş yapılı alan modları.....	7
Şekil 2.4	Mitsubishi GDI için temel teknolojiler.....	8
Şekil 2.5	Kesit görünüş.....	10
Şekil 2.6	Yandan ve önden görüntüşler.....	11
Şekil 2.7	Sistem konfigürasyon şematik diyagramı.....	11
Şekil 2.8	Emme portu optimizasyonu.....	12
Şekil 2.9	Yüksek basınçlı yakıt pompa kesiti.....	12
Şekil 2.10	Krank esnasında yakıt akış kontrolü.....	13
Şekil 2.11	Yakıt sprey karakterisiğine gereksinimler.....	14
Şekil 2.12	Katı sprey jet sonu uzunluğu.....	15
Şekil 2.13	Girdap nozülün temel prensipleri.....	16
Şekil 2.14	Sprey koni açısı ve sprey uç penetrasyonunun girdap Reynolds Sayısına bağımlılığı.....	17
Şekil 2.15	Damlacık çap yayılımı.....	17
Şekil 2.16	Koni açısı, hız vektörlerin dikey ve yatay bileşenleri.....	18
Şekil 2.17	Yakıt spreyine hava nüfuz etmesi (Çevre basıncı: 0.1 MPa).....	19
Şekil 2.18	Yakıt yayılımının çevre basıncına bağımlılığı.....	19
Şekil 2.19	Ömür testlerinden sonra püskürtme deliği resmi.....	20
Şekil 2.20	Enjektör Sıcaklığı.....	21
Şekil 2.21	Erken püskürtmeden geç püskürtme moduna geçiş esnasında hava ve yakıt yönetimi.....	22
Şekil 2.22	Kararlı yanma için püskürtme ve ateşleme zamanı.....	24
Şekil 2.23	Yanma karakteristikleri.....	25
Şekil 2.24	Yanma modu kalibrasyonu.....	25
Şekil 2.25	Manifold Mutlak Basıncı.....	26
Şekil 2.26	EGR ile NOx azaltımı.....	26
Şekil 2.27	EGR kalibrasyonu.....	27
Şekil 2.28	Yakıt ekonomisini iyileştirme.....	27
Şekil 2.29	Püskürtme zamanına tam yük performansın bağımlılığı.....	28
Şekil 2.30	İvmelenme esnasında vuruşu yoğunluğu.....	29
Şekil 2.31	Tam Yük Performansı.....	29
Şekil 2.32	Motor yönetimi vasıtasıyla ivmelendirme esnasında motor titreşiminin önlenmesi.....	30
Şekil 3.1	Buji ateşlemeli Motorların Tarihçesi.....	33
Şekil 3.2	MED7 Motor Yönetim Sistemi.....	34
Şekil 3.3	MED7 Motor Yönetim Sisteminin Parçaları.....	35
Şekil 3.4	Yüksek Basınç Enjektörünün Kesiti.....	36
Şekil 3.5	Çalışma Mod Haritası.....	37
Şekil 3.6	Çift Püskürtmeli Çalışma Modları.....	38
Şekil 3.7	Çalışma Mod Koordinasyonu ve Geçışı.....	39
Şekil 3.8	Dolgu Kontrolü ve Kademeli Modda Torkun Gerçekleştirilmesi.....	41
Şekil 3.9	Benzinli Direkt Püskürtmeli Motorun Egzoz Sistemi.....	42
Şekil 3.10	NOx-Depolama Katalistin Kontrolü.....	43
Şekil 3.11	NOx-Azaltmanın Test Sonuçları.....	43
Şekil 3.12	Hata Tespit Kavramı MED7, Genel Bakış.....	44

Şekil 3.13	Yüksek Basınç Yakıt Sistemi için Hata Tespit Çevrim Planı.....	46
Şekil 3.14	O <sub>2</sub> -Sensörlü (LSF) NOx Katalistin İzlenmesi.....	46
Şekil 3.15	Kademeli yanma modunda bir motor çalışma noktası için kalibrasyon parametreleri.....	47
Şekil 3.16	Kademeli yanma modunda dino optimizasyonu.....	48
Şekil 3.17	Kademeli yanma modunda motor yanıtlarının modellenmesi.....	49
Şekil 3.18	Etkileşim Diyagramları.....	50
Şekil 4.1	Mitsubishi GDI Motoru.....	51
Şekil 4.2	Karışım Tiplerine Göre Elde Edilen Torklar.....	52
Şekil 4.3	Karışım tiplerinin oluşumundaki yakıt hüzmeleri.....	53
Şekil 4.4	Yakıtın buharlaşması ve buji önüne taşınması.....	53
Şekil 4.5	Schlieren fotoğrafı ile çekilen yakıt hareketi.....	54
Şekil 4.6	Dikey emme manifoldunun görüldüğü motor diyagramı.....	54
Şekil 4.7	Silindir üst kısmı ve elemanları.....	55
Şekil 4.8	Silindir içi hava akımı.....	56
Şekil 4.9	Özel şekillendirilmiş piston üst yüzeyi.....	56
Şekil 4.10	Yüksek basınçlı türbülanslı püskürtme.....	57
Şekil 4.11	Elde edilen ısı ve silindir içi basınç.....	57
Şekil 4.12	Litre başına kat edilen yol cinsinden motorların yakıt harcaması.....	58
Şekil 4.13	İki kademede yakıt püskürtme.....	59
Şekil 4.14	Sadece sıkıştırma stroğunda ve iki kademede püskürtmeyle oluşan karışım durumu.....	60
Şekil 4.15	MPI , GDI tek kademeli ve GDI iki kademeli motorun karşılaştırılması.....	60
Şekil 4.16	Karşılaştırılan GDI ve MPI motorlarının özellikleri.....	61
Şekil 4.17	MPI ve GDI motorun rölanti devrinde yakıt tüketimi.....	62
Şekil 4.18	MPI ve GDI motorun ortalama bir hızda yakıt tüketimi.....	62
Şekil 4.19	MPI, GDI ve dizel motorun şehir içi yakıt tüketimi.....	62
Şekil 4.20	MPI ve GDI motorun emisyon oranları.....	63
Şekil 4.21	MPI ve GDI motorun devirlere göre volümetrik verimi.....	64
Şekil 4.22	MPI ve GDI motorun sıkıştırma oranına bağlı gereken yakıt oktan sayısı.....	64
Şekil 4.23	MPI ve GDI motorun çıkış gücü ve torku.....	65
Şekil 4.24	MPI ve GDI motorun araç üzerinde sağladıkları hızlanma.....	65
Şekil 4.25	Araç Özellikleri.....	65

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Ömür testleri için özet.....	31
Çizelge 2.2 Ömür testlerinde kullanılan benzinin özellikleri.....	31
Çizelge 5.1 Mitsubishi GDI motorun spesifikasyonları.....	69



## ÖNSÖZ

Günümüz otomotiv teknolojisinde, püskürtme sistemlerinin ağırlık kazandığı otomobil üretimleri yapılmakta ve firmalar kıyasıya bir rekabet içinde mevcut sistemlerini her geçen gün yenilemeye çalışmaktadırlar.

Bugüne kadar kullanılan “Dizel Püskürtme Sistemleri” ve “Emme Manifolduna Yapılan Püskürtme Sistemleri” yeterli olmamaktadır. İşte bu yüzden ki “Benzin-Direkt-Püskürtme Sistemi” son yıllarda yeniden önem kazanarak Otto Motorlar üzerinde geliştirme çalışmaları yapan tasarımcıların ilgi kaynağı haline gelmiştir.

Bu çalışmada “Benzin-Direkt-Püskürtme Sistemi” nin diğer püskürtme sistemleriyle olan ortak noktaları ve onlardan ayrıldığı noktalar deneysel olarak incelenmiş ve püskürtme sistemleri hakkındaki temel bilgi düzeyi zenginleştirilmeye çalışılmıştır.

Bu araştırmanın hazırlanması esnasında teşvik ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Orhan Deniz’e teşekkür etmeyi bir borç bilirim.



## ÖZET

Bugüne kadar ileri sürülen direkt püskürtmeli benzinli motorların çeşitli karışım teşekkül kavramlarının önemli problemleri geniş motor çalışma aralıklarında bujide yeterli derecede karışım hazırlama zorluklarıdır. Mitsubishi tarafından ileri sürülen yanma kontrol teknolojileri bu problemler için çözümlerden biridir. Yuvarlanma hava hareketini oluşturmak için yukarı doğru dik emme portları, optimize edilmiş sprey dağılımını ve atomizasyonunu gerçekleştirmek için elektromanyetik girdap enjektör ve kademeli dolguyu devam ettirmek için kompakt piston oyucu kullanılarak, tam yüklerde yüksek performansı gerçekleştirmek için homojen yanmayı elde etmek, kısmi yükler altında da yüksek termik verim için süper-fakir kademeli yanmayı başarmak mümkün olmuştur.

Bu teknolojileri kullanan GDI (Benzinli Direkt Püskürtme) motor geliştirilmiştir. Kısmi yüklerde, %30' u aşan yakıt ekonomisi iyileştirilmesi gerçekleştirildi. Yüksek yüklerde, buharlaşma gizli ısı ile soğuyan hava volümetrik verimi arttırdığından ve oktan sayısı gereksinimini azalttığından yüksek bir sıkıştırma oranı olan  $\epsilon=12:1$  seçilebilmektedir. Sonuç olarak, performansta %10 luk bir artış gerçekleşmiştir. NOx emisyonu, fakir yanmalı motorların en önemli problemlerinden biri olarak düşünülmektedir. Bu problem yeni geliştirilen fakir-NOx katalist ve yüksek EGR toleranslı kademeli yanmanın doğal karakteristiği kullanılarak çözülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Elektromanyetik girdap enjektör, piston oyucu, yukarı doğru dik emme portu.

## **ABSTRACT**

The major problems of the various mixture formation concepts for direct injection gasoline engines that have been proposed up to the present were caused by the difficulties of preparing the mixture with adequate strength at spark plug in wide range of engine operating conditions. Novel combustion control technologies proposed by Mitsubishi is one of the solution for these problems. By adopting upright straight intake port to generate air tumble, an electromagnetic swirl injector to realize optimized spray dispersion and atomization and a compact piston cavity to maintain charge stratification, it has become possible to achieve super-lean stratified combustion to realize higher performance at full loads.

GDI (Gasoline Direct Injection) engine adopting these technologies is developed. At partial loads, fuel economy improvement exceeding 30 % is realized. At higher loads, since air cooling by the latent heat of vaporization increases volumetric efficiency and reduces the octane number requirement, a high compression ratio of 12 to 1 can be adopted. As a result, 10% increase in performance is realized. NOx emission had been considered as one of the most significant issues of lean burn engines. This problem is solved by using the inherent characteristics of stratified combustion of high EGR tolerance and by the newly developed lean-NOx catalyst.

**Keywords:** Electromagnetic swirl injector, piston cavity, upright straight intake port.

## 1. GİRİŞ

Dünyanın son yıllardaki zararlı maddeler ve gürültü tarafından maruz kaldığı tehditler, toplumların artan duyarlılık sebebiyle sert yasa ve düzenlemeler getirmesine yol açmıştır.

Sınırlı kullanımı olan fosil yakıtların kullanımı bizim sorumluluk bilincimizin gelecek kuşakların insanlarını düşünmesine yol açmıştır. Bu enerji kaynağının yanmasından meydana gelen maddelerin çevreye verdikleri zararlardan dolayı hızlı ve kararlı şekilde harekete geçilmesi gerekiyordu. Örneğin CO<sub>2</sub>'nin yol açtığı iklim değişiklikleri bu zararlardan birine örnektir.

Otomobil endüstrisinde yıllardan beri diğer işletme yöntemlerinin gelişmesiyle beraber işletmeler yüksek bir sarfiyat kapasitesiyle yönetildi. Fakat bunlar içten yanmalı motorların gelecek on yılda taşıma araçlarında kullanılmasına engel olamayacaktır. Motor veriminin iyileştirilmesi, yakıt sarfiyatının azalmasıyla bağlantılı olduğu kadar egsoz ve gürültü emisyonlarının azaltılması ile de bağlantılıdır ve bu yüzden otomobil endüstrisindeki geliştirme çabalarının merkezini oluşturmaktadır.

Kaliteli bir düzene sahip olan dizel motor günümüzde kullanıma uygun bir motor örneği olarak gösterilmektedir. Düşük partikül ve gürültü emisyonları, yüksek spesifik iş değeri ve yakıt düzenlemeleri sebeplerinden dolayı Otto motordaki geliştirme çalışmalarını yoğun bir şekilde sürdürülmektedir.

Benzinin direkt enjeksiyonu bugünkü şekliyle yüksek potansiyelli bir yöntem olarak kendini göstermektedir. Daha 30'lu yıllarda direkt püskürtmeli Otto motorlarında yapılan geliştirme çalışmaları başarıya ulaşmışlardır. O zamanlar esas hedef uçak motorlarına yerleştirilmiş karbüratörün eğrisel ve akrobatik uçuşlardaki eksiklikleri gidermesiydi. 1937'de benzin direkt püskürtmeli ilk uçak motoru piyasaya tanıtıldı. Uçak motorundaki başarılar tasarımcıların yoğun geliştirme çalışmalarını taşıt araçlarına yönlendirmelerini sağladılar. Burada sözü geçen Gutbrod ve Goliath 1952 yılında iki stroklu Otto motorunu pazara tanıttılar. 1954 yılında Daimler Benz "Mercedes-Benz 300 SL" modeli ile ilk dört zamanlı benzin direkt püskürtmeli otomobil piyasaya sürdü.

Benzin direkt enjeksiyonda yanma odası, püskürtme ve ateşlemenin uygun bir tasarımı vardır. Bu da motorun kaliteli bir şekilde işletilmesini sağlamaktadır. Bu duruma kısmi yüklenme durumunda yük tabakası vasıtasıyla ulaşılabilir ve yakıtın sıkıştırma strokunda geç püskürtülmesine sebebiyet verir. Tam yüklenmede homojen bir karışım sağlanabilmesi için yakıtın emme strokunda geç püskürtülmesi gerekir. Geçmiş yıllarda dizel püskürtme düzenini

temel olarak yapılan püskürtme sistemleri gerekli olan esnekliği gösteremiyorlardı. Ayrıca takılan mevcut enjektörlerle sağlanan karışım kalitesi (çoğunlukla meme deliği yüzünden) yeterli değildi. Püskürtme ayarı hususunda (püskürtme anı, süresi, basıncı) yüksek esneklik gösteren modern Benzin-Common-Rail püskürtme düzenlerinin gelişimi ve yüksek basınçlı yakıt püskürten enjektörler sayesinde esaslı iyileştirmeler yapılabilmektedir. Püskürtme teknolojisindeki yeni imkanlar doğrutusunda Benzin-Direkt-Enjeksiyon'un gelişmesi gelecekte sürüş kolaylığı, emisyon değerleri ve yakıt sarfiyatının azaltılmasındaki taleplerin durmasını sağlayacak şekilde ilerlemektedir. Bu yüzden otomobil endüstrisi bu konu üzerinde çok yaygın bir şekilde çalışmaktadır.



## 2. BENZİNLİ DİREKT PÜSKÜRTMELİ MOTORUN GELİŞTİRİLMESİ

Bugüne kadar öne sürülen direkt püskürtme benzinli motorların çeşitli karışım teşekkül kavramlarının önemli problemleri geniş motor çalışma aralıklarında bujide yeterli derecede karışım hazırlama zorluklarıdır. Mitsubishi tarafından ileri sürülen yanma kontrol teknolojileri bu problemler için çözümlerden biridir. Yuvarlanma hava hareketini oluşturmak için yukarı doğru dik emme portları, optimize edilmiş sprey dağılımını ve atomizasyonunu gerçekleştirmek için elektromanyetik girdap enjektör ve kademeli dolguyu devam ettirmek için kompakt piston oyuğu kullanılarak, tam yüklerde yüksek performansı gerçekleştirmek için homojen yanmayı elde etmek, kısmi yükler altında da yüksek termik verim için süper-fakir kademeli yanmayı başarmak mümkün olmuştur.

Bu teknolojileri kullanan GDI (Benzinli Direkt Püskürtme) motor geliştirilmiştir. Kısmi yüklerde, %30' u aşan yakıt ekonomisi iyileştirilmesi gerçekleştirildi. Yüksek yüklerde, buharlaşma gizli ısı ile soğuyan hava volümetrik verimi arttırdığından ve oktan sayısı gereksinimini azalttığından yüksek bir sıkıştırma oranı olan  $\epsilon=12:1$  seçilebilmektedir. Sonuç olarak, performansta %10 luk bir artış gerçekleşmiştir. NOx emisyonu, fakir yanmalı motorların en önemli problemlerinden biri olarak düşünülmektedir. Bu problem yeni geliştirilen fakir-NOx katalist ve yüksek EGR toleranslı kademeli yanmanın doğal karakteristiği kullanılarak çözülmüştür.

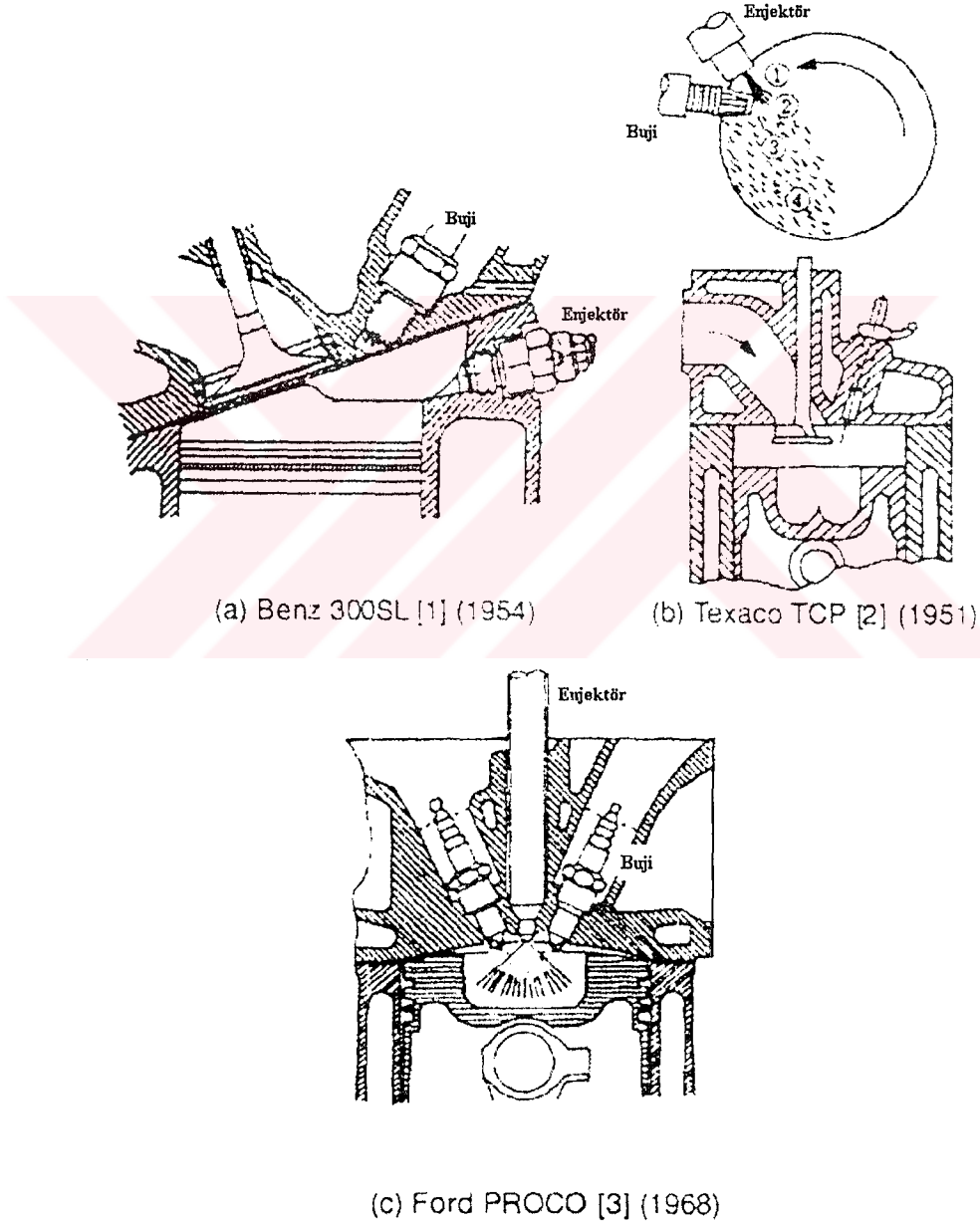
### 2.1 Tanıtım

Bir yüzyılı aşkın içten yanmalı motorun uzun tarihçesinde, yüksek performanslı ve daha temiz egzoz gazı emisyonlu benzinli motorlar ve yüksek termik verimli dizel motorlar kullanılmıştır. Aynı anda benzinli ve dizel motorların özelliklerini gerçekleştiren motor ideal bir motordur. Bu yüzden, otomobil endüstrisi benzinli motorun termik verimini dizel motorun seviyesine getirmek için önemli bir çaba harcamıştır. Son elli yılda, direkt püskürtmeli benzinli motor bu amacı başarması için en önemli umut verici çözümlerden biri olması düşünülmüştür. Kapsamlı araştırma ve geliştirme çabaları direkt püskürtmeli benzinli motorun yanma kavramını kurmaya yoğunlaşmıştır.

Benzinli direkt püskürtmeli motor üzerine yapılan araştırmaların tarihçesi 3 safhaya bölünebilir.

#### 2.1.1 Birinci Safha (1950'lere kadar)

Komplike karbüratörlerin icadından önce, yüksek derecede havası yükseltilmiş uçak motorların bir kısmında dizel motorlar için yakıt püskürtme teknolojilerini kullanan direkt püskürtme sistemleri kullanılmıştır. 1954' te , Benz 300SL karbüratörlerin doğasında olan performans eksikliği problemini çözmek için direkt püskürtme sistemi kullanmıştır. Bununla birlikte, bu teknoloji birkaç yıl içerisinde komplike porta püskürtme sistemleri ile yer değiştirmiştir. Bu safhada direkt püskürtmeli motorlar erken püskürtme stratejisini kullanmıştır. Burada, yakıt homojen karışım hazırlamak için emme storuku esnasında silindir içersine püskürtülür. Sonuç olarak, hedef yakıt ekonomisini iyileştirme olmamıştır.



Şekil 2.1 Erken safhada direkt püskürtmeli benzinli motorlar için yanma sistemleri örneği.

### 2.1.2 İkinci Safha (1950'den 1980'lere kadar)

Yakıt ekonomisi potansiyelini gerçekleştirmek için, direkt püskürtmeli benzinli motor buji etrafında zengin bir hava-yakıt karışımı hazırlayarak ve özellikle dolguyu kademelendirerek son derece fakir şartlarda gaz keleşini kısmadan çalıştırılması gerekir. Bunun için, bu safhada farklı kademeli dolgu yanma kavramları ileri sürülmüştür. Şekil 2.1' de görüldüğü gibi, bu kavramlar dar alan konfigürasyonunu kullanmıştır. Burada, buji aralığı yakıt sprey konisinin yakınına yerleştirilmiştir. Kararlı yanma böyle bir konfigürasyonla gerçekleştirildiği kabul edilmesine rağmen, aşağıdaki problemler seri imalata geçişte bu kavramları engellemiştir.

#### 1-Hidrokarbon emisyonları:

Büyük miktarda hidrokarbon yayılmıştır çünkü yanmayı tam tamamlamak zordur.

#### 2-Sınırlandırılmış çalışma bölgesi:

Bu kavramlar yakıt-hava karışım desteği için girdap hareketini kullanmıştır. Yakıt sprey momentumu motor hızına bağlı değil iken, girdap hareketi yapan havanın momentumu motor devri ile orantılıdır. Bu yüzden, yeterli uygun hava-yakıt karışımının gerçekleştirildiği motor hız aralığı sınırlandırılmıştı.

#### 3-Buji kirlenmesi:

Dar alanda çalışma durumundan dolayı, sıvı yakıt spreyi veya aşırı zengin karışım bujiye kurulmuştur. Bu da is teşekkülüne sebep olur. İis buji boşluğunda toplanır ve ateşleme bozukluğuna sebep olur. Yüksek enerjili ateşleme sistemleri bazen daha az ateşleme bozukluk etkileri göstermesine rağmen, çok yüksek ateşleme enerjisi çözülemediğinden dolayı bujinin ömrü kötüye gitmiştir.

#### 4-Fakir performans:

Püskürtme zamanı değişim aralığı bu safhada kullanılan mekanik yakıt püskürtme ekipmanı ile gerçekleştirilmiştir ve geç püskürtmeden erken püskürtme stratejisine geçiş mümkün değildi. Bu nedenle, bu motorlar en yüksek yük aralığında bile kademeli dolgu ile çalıştırılması gerekir. İis emisyonunu önlemek için, hava fazlalık oranı yüksek tutulması gerekir. Bu da fakir performansa sebep olur.

#### 5-Yağlama yağı seyreltilmesi:

Silindir cidarında veya piston yüzeyinde etkili olan sıvı benzin damlacıklarını önlemek zordur. Silindir cidarındaki benzin cidardaki yağlama yağını seyreltir. Piston yüzeyindeki benzin piston yarığında tutulmuştur ve yağlama yağını seyreltir

6-İs emisyonu ve depozit yığılması:

Buji etrafındaki aşırı zengin karışım is emisyonunun oluşmasına sebep olur. Piston yüzeyindeki sıvı yakıt film tabakası yanma odası depozitlerinin yığılmasına sebep olur.

Birçok araştırmacı tarafından yapılan çalışmalar, bu problemlerin çözümü için olan zorluklar ortak bir anlayış getirmiştir. Direkt püskürtmeli benzinli motorlar üzerine olan çalışmalar bu safhanın sonunda başarısızlığa uğramıştır.

### 2.1.3 Üçüncü Safha (1990'dan sonra)

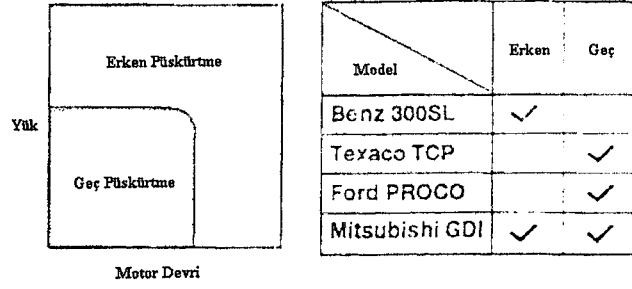
Bu safhada, yakıt ekonomisini iyileştirme otomobil endüstrisi için en önemli konu olmuştur. Çünkü bu, enerji tasarrufu ve CO<sub>2</sub> azaltımı (CO<sub>2</sub> en zararlı sera gazıdır) için anahtar faktördür. Bu gereksinimleri karşılamak için, güçlü araştırma faaliyetleri gerçek hayatta pratik motorlara apliedilebilen direkt püskürtmeli benzinli motor teknolojilerini kurmaya başladılar.

Yüksek yüklerde geleneksel MPI (Çok noktalı püskürtme sistemi) motorlardan daha iyi bir performans gerçekleştirmek ve kısmi yüklerde dizel motorlara kıyasla daha iyi bir yakıt ekonomisi gerçekleştiren bir direkt püskürtmeli benzinli motor geliştirmek araştırma faaliyetlerinin bir hedefi olmuştur. Yakıt ekonomisi potansiyelini gerçekleştirmek için, direkt püskürtmeli benzinli motor özellikle dolguyu kademelendirerek son derece fakir şartlarda gaz keleşini kısmadan çalıştırılması gerekir. Yüksek yüklerde yüksek performans potansiyelini başarmak için, direkt püskürtmeli benzinli motor stokiometrik oranın altında veya az zengin şartlar altında çalıştırılması gerekir. Dolgu kademelendirildiği zaman, zengin bölgede is oluşur. Oluşan is yakmak için, is içeren yanma bölgesi etrafında yeterli aşırı hava sağlanması gerekir. Bu yüzden, ortalama karışım sertliği stokiometrik veya az zengin olduğu zaman, ki o, eşdeğerlik oranı birden büyük olduğu zaman, is teşekkülünü önlemek için karışımın homojen olması gerekir. Bundan dolayı, Şekil 2.2' de gösterildiği gibi bu safhada direkt püskürtmeli benzinli motor aşağıdaki hedefleri gerçekleştirmesi gerekir.

1-Kısmi yüklerde geç püskürtme modu vasıtasıyla sürekli ve ayrı kademelendirme

2-Yüksek yüklerde erken püskürtme modu vasıtasıyla tamamen homojen dolgu

3-Geç ve erken püskürtme modlarına hızlı ve düzgün geçiş

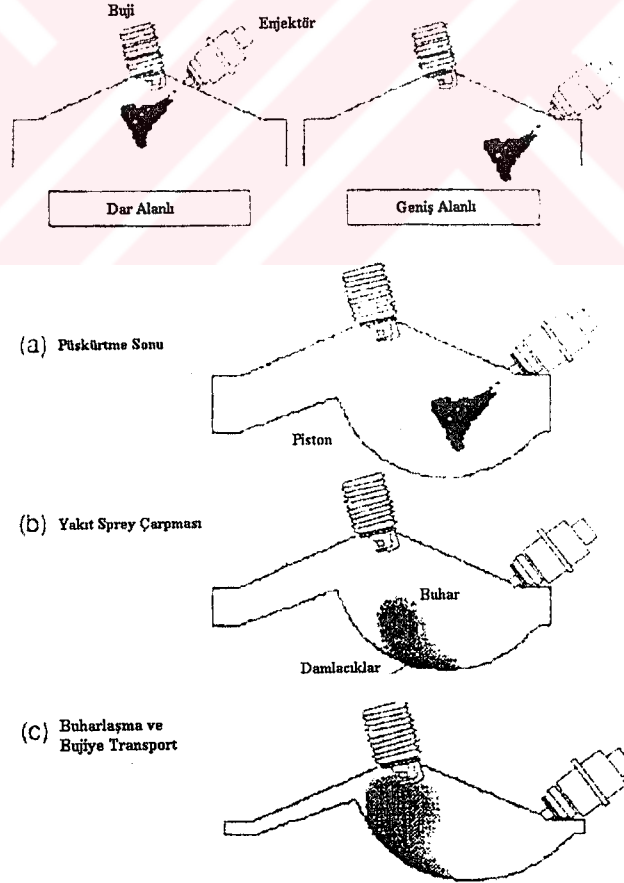


Şekil 2.2 Direkt püskürtmeli motorların çalışma modları

Ayrıntılı araştırma Mitsubishi Motors Kuruluşunun laboratuvarlarında yapılmıştır. Bu hedeflere yeni bir karışım hazırlama kavramı ile gerçekleştirilebileceği görülmüştür. Mitsubishi Motors Kuruluşu GDI motor için bu kavramı kullanmıştır ve 1996 Ağustos ayında seri üretime başlamıştır.

Burda, temel kavram, kavramı gerçekleştiren ölçüler ve Mitsubishi GDI motorun karakteristiği tanıtılacaktır (Iwamoto, 1997).

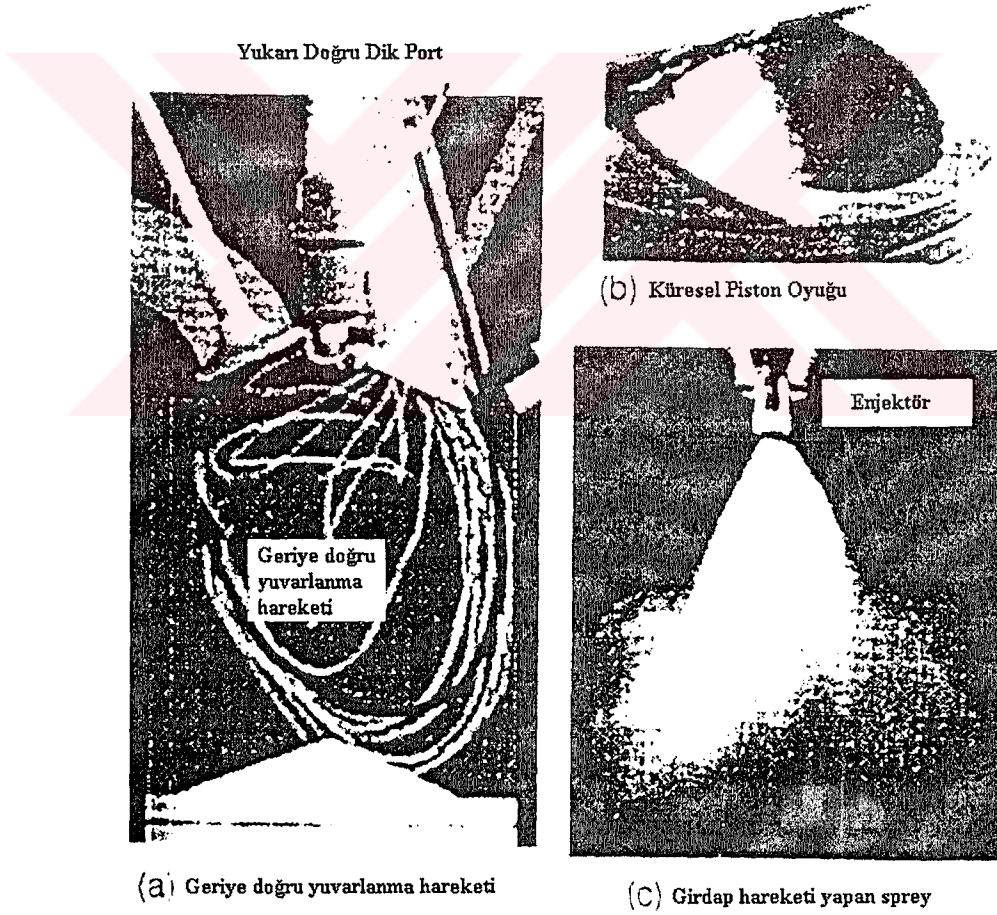
## 2.2 Mitsubishi GDI Temel Stratejileri



Şekil 2.3 Mitsubishi GDI' da kullanılan geniş yapılı alan modları

Yeni karışım teşekkül kavramı Şekil 2.3' te görülmektedir. Dar alanlı yapı yerine geniş alanlı bir yapı kullanılmıştır. Yakıt spreyi bujiye yönlendirilmemiştir. Piston yüzeyine yönlendirilir ve küresel piston oyuğu üzerinde etkili olduktan sonra bujiye doğru yansıtılır. Bu yapıyı kullanarak, çevredeki hava ile karışma ve yakıt buharlaşmasını ilerletmek için yeteri kadar uzun ateşleme ve püskürtme sonu arasında bir aralık gerçekleştirilebilir. Bu nedenle, buji etrafında aşırı-zengin karışım veya sıvı yakıtın sebep olduğu önceki safhaların problemleri çözülebilir. Karışımı kontrol eden temel faktör yakıt sprejidir veya yakıt sprey momentumuna tabi tutulan oyuk cidarı üzerindeki gaz karışım yansımasıdır. Girdap hareketi ile karışımı kontrol eden bu gibi methodlar, motor devri ile hemen hemen hiç tesir edilmez. Bu da, geniş motor hız aralığında yeterli karışımı garanti eder.

Geniş alanlı yapı ile yeterli uygun karışım kontrolünü gerçekleştirmek için geliştirilen temel teknolojiler Şekil 1.4' te gösterilmiştir. Aşağıdaki yeni teknolojiler kullanılır.



Şekil 2.4 Mitsubishi GDI için temel teknolojiler

1-Güçlü bir ters yuvarlanmayı oluşturan yukarı doğru dik emme portları, o da, geleneksel yatay emme portları ile oluşturulan yuvarlanmaya göre zıt rotasyonel bir yuvarlanmadır.

2-Küresel bir kompakt piston oyuğu

### 3-Elektromanyetik girdap enjektör

Mitsubishi Motor Kuruluşu Barrel-Kademelendirme olarak bilinen ön-karışimli fakir yanmalı motor kavramını önermiştir. Bu kavramda, egzozdan emme tarafına piston yüzeyine doğru bir akış yönlü yuvarlanma sözkonusudur. Bu yöndeki yuvarlanmayı yoğunlaştırmak için, emme portunun yukarı bölgesi arasından geçen ve egzoz tarafında silindir cidarına yönlendirilmiş emme port akışı sağlanmıştır. Direkt püskürtmeli motorda, yakıt enjektörleri yüksek sıcaklıktaki egzoz tarafına yerleştirilmemesi gerekir ve alt ısı kayıpları nedeniyle düzeltilmiş yanmayı gerçekleştirmek için silindir merkezine buji yerleştirilmesi tercih edilebilir. Sonuç olarak, enjektör için seçilen yer emme tarafıdır. Emme tarafına püskürtülen yakıt spreyinden dolayı piston oyuğu emme tarafına yerleştirilmesi gerekir. Bu oyuk geleneksel yönde yuvarlanmayı zayıflatır. Bu yüzden, uzmanlar geriye doğru yöne sahip olan bir yuvarlanma kullanmıştır. Geriye doğru yuvarlanma hareketi piston oyuğu üstüne çarpmadan sonra, bujiye doğru gaz yakıtın hareket etmesinde de efektifdir. Geriye doğru yuvarlanma hareketini gerçekleştirmek için, yukarı doğru dik emme portları seçilmiştir. Çünkü yukarı doğru dik emme portları yüksek akış katsayısı karakteristiğine sahiptir. En yüksek motor devri aralığında motor performansı düzeltilmiştir. Bu konfigürasyon enjektörü yerleştirmek için silindir kafası içinde alanın hazırlanmasında efektiftir. Geleneksel yatay emme portu konfigürasyonu seçilseydi, piston oyuğuna doğru yakıt spreyini yöneltmek oldukça zor olurdu. Çünkü piston yüzeyi ve enjektör arası yatay emme portu altında bir bölge mevcudiyeti ile belirlenir.

Küresel bir yanma odası yakıt spreyini ve gaz yakıtını yakalayacak ve bujiye gaz karışımını yansıtacak gibi dizayn edildi. Buji yanma odası çevresine yerleştirilmiştir. Hava-yakıt karışımı ve alevi, büyük miktarda hava olan küresel odanın merkezine yayılması gerekir. Bu da, egzoz tarafında yanma odasında dar bir kesitle oluşturulan güçlü bir sıkıştırılmış akış ile gerçekleştirilir. Yanmanın geç safhalarında, ters bir sıkıştırılmış akış egzoz tarafına alevin yayılmasını sağlar. Egzoz tarafında küresel çanağın duvarı, piston üzerinde etkili olduktan sonra hava akışını aşağı doğru silindir cidar tarafından yukarı doğru bir akışa değiştirir. Bu yüzden bu dizayn ters yuvarlanma hareketini çoğaltmak için uygundur. Ayrıca çanağın biçimi, sıkıştırma strokunun sonuna kadar ters yuvarlanma hareketinin rotasyonel momentumunu devam ettirmesi içinde uygundur.

Elektromanyetik girdap enjektör atomizasyonu gerçekleştirir, nüfuz etmeyi kontrol eder ve yakıt spreyinin yayılmasını kontrol eder (Noma, 1997)

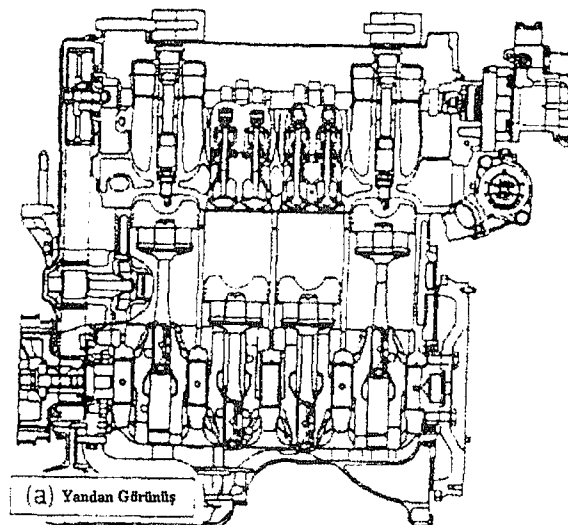
### 2.3 Mitsubishi GDI Sistem Konfigürasyonu

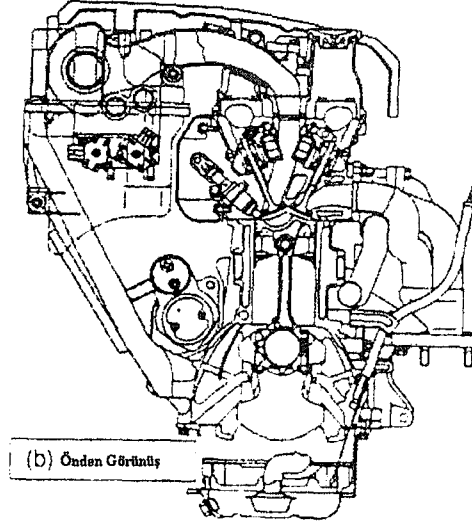
Mitsubishi GDI motorun özellikleri Çizelge 5.1' de özetlenmiştir. Onun kesit görünüşü, ön ve yandan görünüşü Şekil 2.5 ve 2.6' da gösterilmiştir. Sistem konfigürasyonu şematik olarak Şekil 2.7' de belirtilmiştir.

Dört valfli DOHC MPI bir motor GDI motor haline dönüştürülmüştür. Yatay emme portları yukarı doğru dik emme portları ile yer değiştirilmiştir. Küresel bir oyuk pistonun üstüne yapılmıştır. Sıkıştırma oranı orijinal MPI motorunda 10.5:1 iken GDI' da 12:1' e artırılmıştır. Sırasıyla 92 ve 100 RON her iki oktan sayısı ile çalışabilir. Bir adaptasyon kontrolü ile , en iyi yakıt temin potansiyelini üretmek için ateşleme avansı kadar hava miktarı, hava yakıt oranında kontrol edilir. Yeni geliştirilen bir yüksek basınç püskürtme pompası ve elektroman-

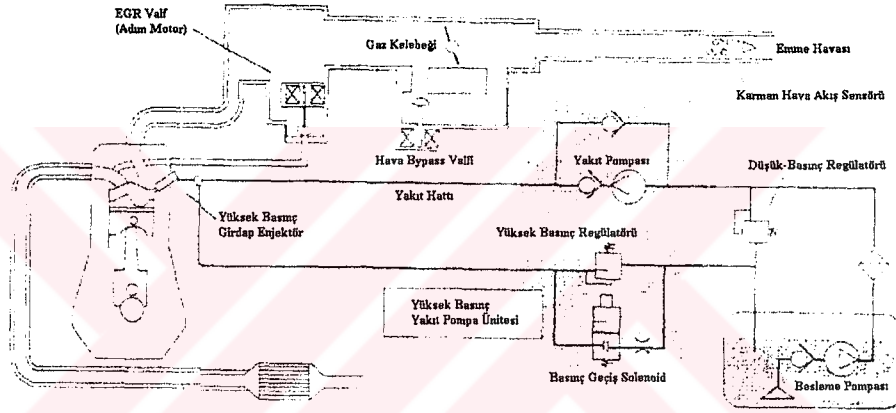


Şekil 2.5 Kesit görünüş



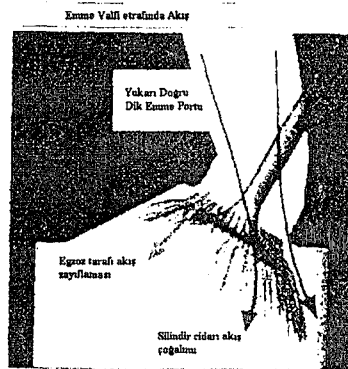


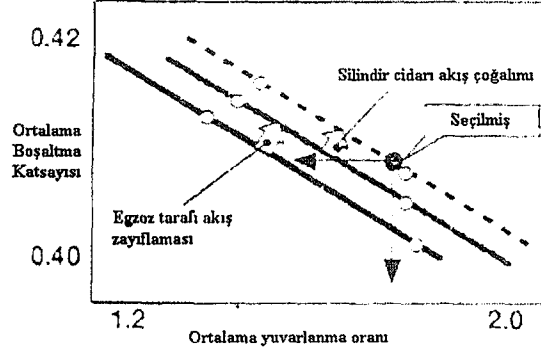
Şekil 2.6 Yandan ve önden görünüşler



Şekil 2.7 Sistem konfigürasyon şematik diayagramı

yetik girdap enjektörle donatılmıştır. 5 MPA lık oldukça düşük püskürtme basıncı seçilmiştir. Hava bypass valfi erken püskürtme modu-stokiyometrik çalışmadan geç püskürtme modu-fakir çalışmaya düzgün bir geçiş için kullanılır. Ateşleme enerjisi 60 mJ 'e kadar biraz artırılmıştır ve dar aralıklı bir platinum buji kullanılmıştır. NOx in miktarının azaltımı için, EGR stepper motorla çalıştırılan bir EGR valfi ile tam olarak kontrol edilir. Seçmeli NOx azaltmalı fakir-NOx katalisti ileri düzeyde NOx azaltımı için geliştirilmiştir (Ando, 1997).





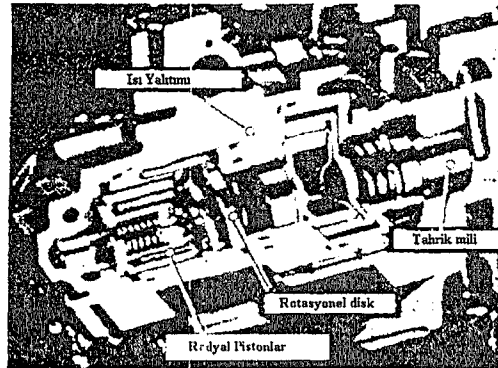
Şekil 2.8 Emme portu optimizasyonu

#### 2.4 Emme Portunun Optimizasyonu

Akış katsayısı ve ters yuvarlanma hareket yoğunluğu arasında değiş tokuş ilişkisinin iyileştirilmesi için, yukarı doğru dik emme port dizaynı optimize edilmiştir. Şekil 2.8' de gösterilen egzoz tarafındaki duvarda overhang ve silindir cidarında küçük bir izdüşüm alınmıştır. Bu overhang egzoz tarafına doğru valf oturma yüzeyi arasından geçen akışı zayıflatır. Küçük izdüşüm valf oturma yüzeyi akış yönünün tersine laminarizedir ve akışı aşağı doğru yönlendirmiştir. Sonuç olarak, egzoz tarafına akış zayıflatılır ve emme tarafı silindir cidarına paralel akış çoğaltılır. Geleneksel MPI motorun yatay emme portuna göre %10 daha yüksek akış katsayısı korunuyor iken bu emme portuyla, yuvarlanma hareketi oranı, o da, motor devri üzerinde yuvarlanma hareketi dönme hızı 1.8 e kadar artırılabilir. Yüksek akış katsayısı en yüksek motor hız aralığında tork artışı için zorunludur ve güçlü ters yuvarlanma kademeli dolgu yanmanın stabilizasyonda önemli bir rol oynar (Yamauchi,1997).

#### 2.5 Yakıt Püskürtme Sistemi

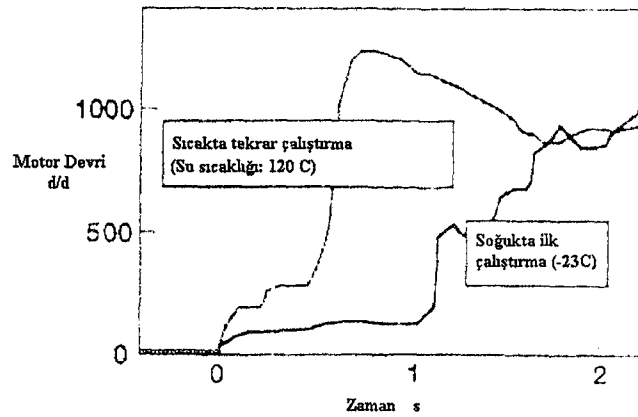
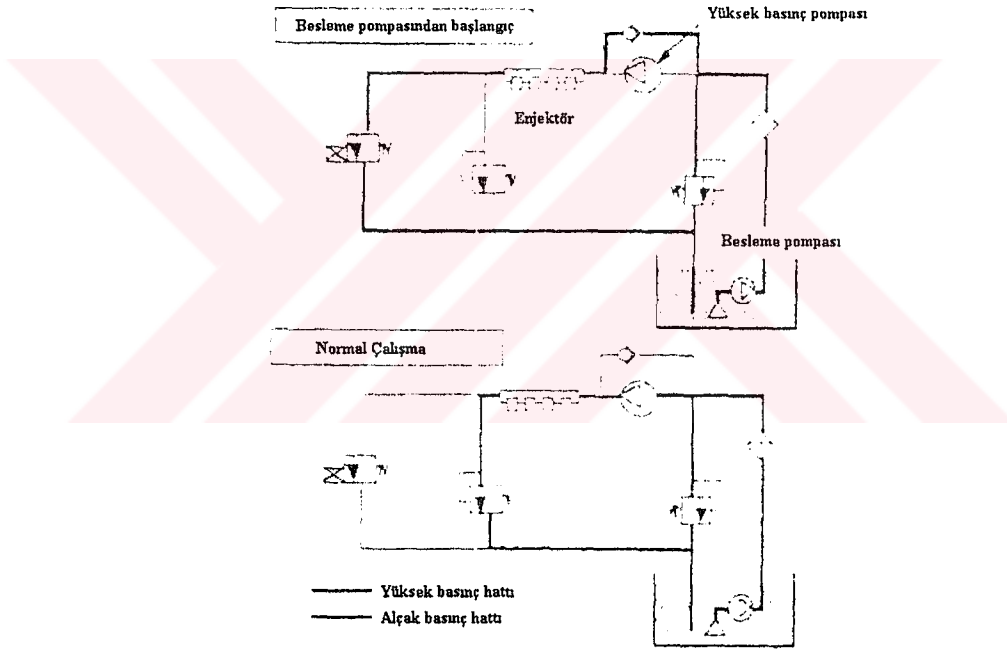
YÜKSEK BASINÇ POMPASI- Yüksek basınç yakıt pompasının kesit görünüşü Şekil 2.9' da gösterilmiştir. Sistemi basitleştirmek için, ölçme fonksiyonsuz bir pistonlu pompa seçilmiştir.



Şekil 2.9 Yüksek basınçlı yakıt pompa kesiti

Püskürtme basıncı yüksek basınçlı yakıtın (yakıt sıkıştırma işini arttıran) saçılmasıyla düzenlenir. Yakıt sıkıştırma işini azaltmak için, 5 MPa'lık oldukça düşük bir yakıt püskürtme basıncı seçilmiştir. Dizel yakıt için kullanılan yakıt pompalarıyla kıyaslandığında, yağlama ve soğutma ile ilgili ayrıntılı özenin gösterilmesi gerekir. Çünkü benzin dizel yakıtı göre düşük bir viskozite ve yüksek bir uçuculuğa sahiptir. Püskürtme basıncındaki azalma pompa sisteminin güvenilirliğini kanıtlamada etkilidir. Bu pompa silindir kafasına monte edilmiştir ve kam milinden direkt olarak tahrik edilir.

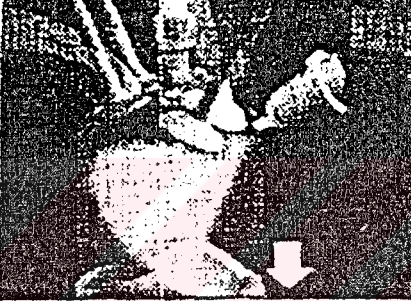

Motordan tahrikli pompaların en önemli eksikliği ilk çalışma esnasında yakıtın yetersiz olmasıdır. Burada motor hızı en düşüktür. Bu eksikliği gidermek için, sistem ilk çalışma için klasik MPI motorlarda olduğu gibi tankın içine konmuş yakıt besleme pompası kullanılır. Bu Şekil 2.10' da görüldüğü gibi basit bir yüksek basınç regülatörünün bypass valfi ile gerçekleştirilir.



Şekil 2.10 Krank esnasında yakıt akış kontrolü

Porta püskürtmeli motorlarda, motorun çalışma prosesine emme portunun cidarındaki yakıt film teşekkülü tarafından sebep olunan yakıt taşıma geri kalınımıyla tesir edilir. Bunun tam tersi, direkt püskürtmeli motorlarda, yakıt silindir içersine direkt olarak püskürtülür. Bu nedenle bu motorun çalıştırma karakteristikleri Şekil 2.10' da gösterildiği gibi mükemmeldir. Bu motor ve sıcak soaking ten sonra düşük çevre sıcaklığı gibi kısıtlayıcı şartlar altında 1.5 saniye içinde çalıştırılabilir.

Yakıt spreylene temel gereksinimler Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Erken püskürtme durumunda, geniş yayımlı yakıt spreyi homojen bir karışım elde edebilmek için gerek duyulmuştur.

	Erken Püskürtme	Geç Püskürtme
Kavram		
Sprey	Geniş Yayılma Cidar Islanması Yok	Kompakt Atomizasyonu
Yanma	Homojen	Kademeli
Hedef	Yüksek Performans	Yakıt Ekonomisini İyileştirme

Şekil 2.11 Yakıt spreye karakterisigine gereksinimler

Piston yüzeyi ve silindir cidarı üzerindeki yakıt spreynin çarpmasının sindirilmesi gerekir. Çünkü, cidarda tutulan sıvı yakıt is emisyonu ve yağlama yağının seyrelmesi ile sonuçlanır. Bu gereksinimleri karşılamak için, geniş bir şekilde yayılan düşük nüfuz etmeli yakıt spreyi hazırlanması gerekir. Öyle bir zamanda püskürtülmesi gerekir ki, piston yüzeyinde herhangi bir çarpmadan kaçınmak için sprej pistonu kovulur.

Kompakt sprej geç püskürtme durumunda gerek duyulur. Çünkü kompakt sprej kompakt piston oyuğu içinde olması gerekir. Aynı zamanda kompakt sprejin atomize olması gerekir. Çünkü, buharlaşmış yakıt içine EGR gazı ve havanın nüfuz etmesini ilerletmek için sprej bujiye varmadan önce kısa sürede buharlaştırılması gerekir.

Girdap Enjektör- Yakıt spreynin temel gereksinimleri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

#### 1.Kontrollü dağılma

## 2. Zapt edilmiş nüfuz etme

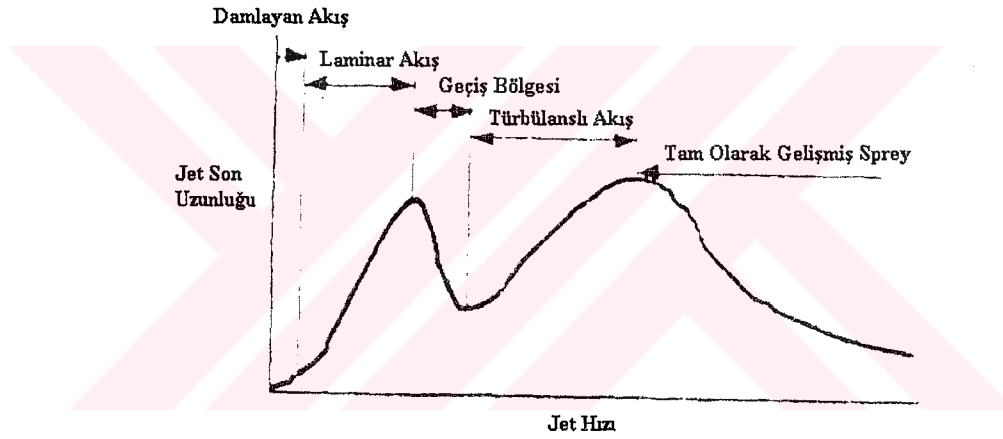
## 3. Atomizasyon

Yakıt atomizasyonunun temel prosesi aşağıdaki Weber Sayısı ile tarif edilebilir.

$$\text{Weber sayısı} = \rho \cdot U^2 \cdot d / \sigma$$

$\rho$  : yoğunluk ( $\text{kg/cm}^2$ )     $U$  : hız (m/s) ·  $\sigma$  : yüzey gerilimi ( $\text{kg/s}^2$ )     $d$  : çap (m)

Bu sayı, kinetik enerjinin damlacık yüzey enerjisine oranıdır. Yakıt spreyini sona ermesi Weber sayısı 1 olana kadar sürer. Diğer bir deyişle, yakıt atomizasyon prosesi yüzey enerji içine bir kinetik enerji dönüşüm prosesidir. Damlacıkların 40 km/s hıza ve 100 mikrometre çapa sahip olduğu durumu varsayarsak Weber sayısı 100 ' ü aşar. Bunun anlamı, yakıt atomizasyonu herhangi bir dış kuvvet olmaksızın ilerler. Atomizasyonun bir sonucu olarak, etik enerjisini kaybeder ve hız sıfıra düşer. Şekil 2.12' de görüldüğü gibi bununla birlikte yakıt



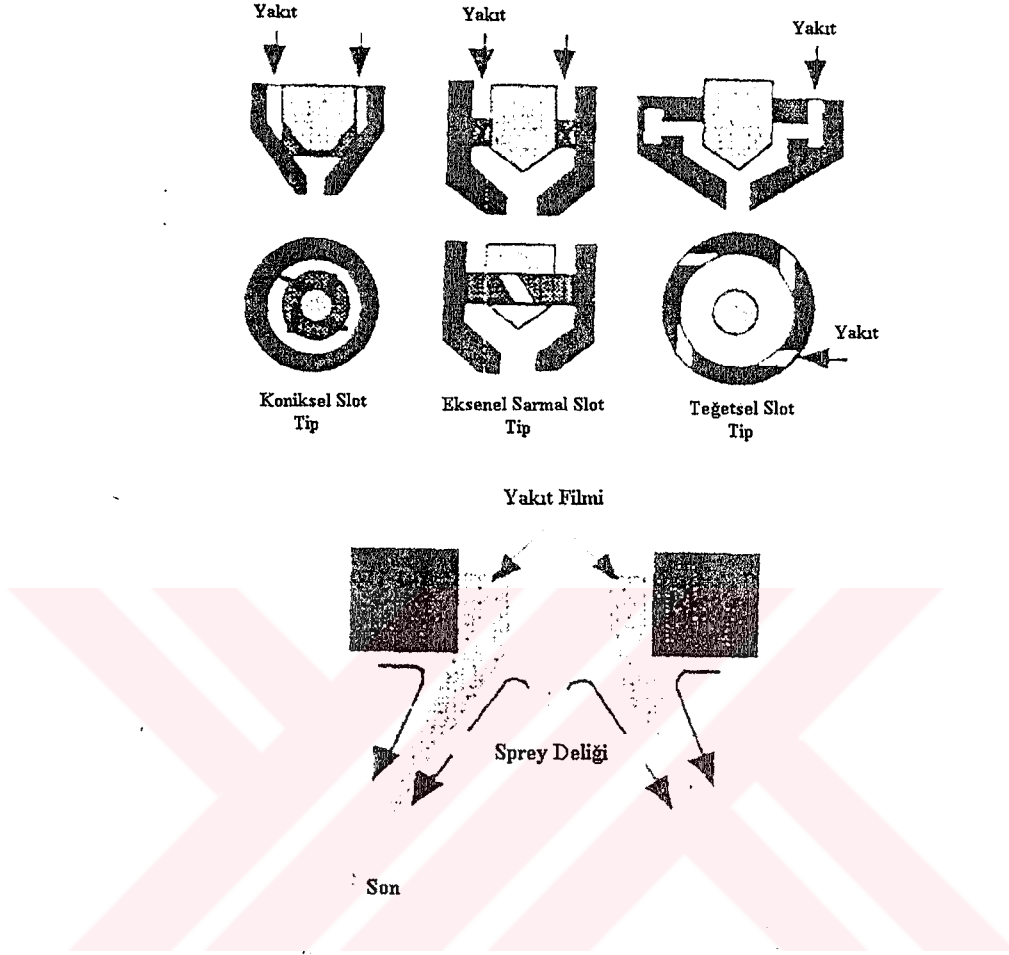
Şekil 2.12 Katı sprey jet sonu uzunluğu

spreyi katı jet şekline sahiptir. Yakıt spreyi sona ermesinin başlamasından önce gelişir. Sona ermenin uzunluğu şu demektir; sona ermeden önce damlacık yolculuğunun mesafesi sona ermenin uzunluğu olarak çağrılır. Klasik delik nozülünden jet akışı bir türbülans akışıdır ve atmosfer basıncı ile hava içine püskürtüldüğü zaman sona ermenin uzunluğu 100mm' yi aşar. Bu yüzden sona ermeden önce silindir cidarı üstüne etkili olur.

Nüfuz etmeyi zaptetmek için, Şekil 2.13' te gösterilen swirl nozül konfigürasyonları genel olarak çeşitli stasyonel combustorlar tarafından seçilmiştir. Yakıt akışı kinetik enerjisinin bir kısmı önemli bir şekilde kısa sona erme uzunluğuna sebep olan nozül deliği içinde yüzey enerjisine dönüşür.

Direkt püskürtmeli benzinli motorların temel gereksinimlerini karşılamak için Mitsubishi Motor ve Elektrik Kuruluşları elektromanyetik girdap enjektör geliştirmiştir. Bu enjektör

porta püskürtmeli motorlarda kullanılanla yaklaşık olarak aynı ölçülere sahiptir. Swirlers tip püskürtme deliğinin akış yönünde yerleştirilmiştir. Şekil 2.13' te gösterilen üç tip swirlers tip test edilmiştir. Daha sonra tanımlanacak swirl Reynolds sayısı aynı değere ayarlandığı zaman



Şekil 2.13 Girdap nozulün temel prensipleri

swirlers' ların üç tipide aynı yakıt sprej karakteristiğini vermiştir. Üretim fizibilitesinden değerlendirme sonucu olarak, teğetsel slot tip swirlers seçilmiştir. Dinamik ölçme aralığını genişletmek için yüksek voltajla çalışan bir devre çalıştırılır.

Yakıt swirl yoğunluğu optimize edilmiştir. Swirl yoğunluğu aşağıdaki swirl Reynolds Sayısı ile tanımlanabilir.

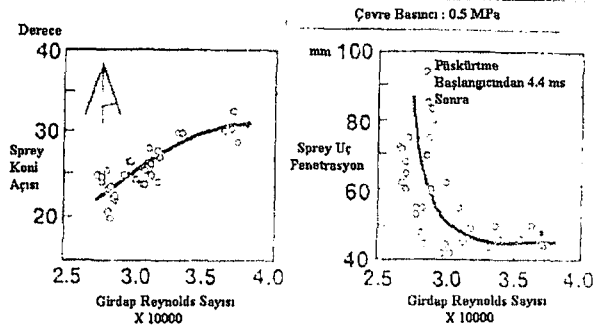
$$\text{Swirl Reynolds Sayısı} = U \cdot r / \mu$$

U: Swirling Yivlerin içindeki hız (m/s)

r: Swirling yarıçapı (m)

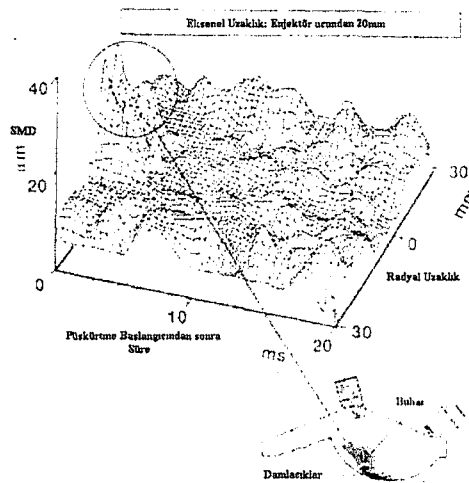
$\mu$ : Yakıtın viskozitesi (m/s<sup>2</sup>)

Şekil 2.14' te Swirl yoğunluğu üzerine spray koni açısı ve spray uç penetrasyonunun bağımlılığı gösterilmiştir. Swirl yoğunluğu arttıkça, spray uç penetrasyonu azalır. Swirl Reynolds sayısı  $3 \times 10^4$  dan fazla olduğu zaman, bununla birlikte, swirl yoğunluğu tarafından etki edilmez.



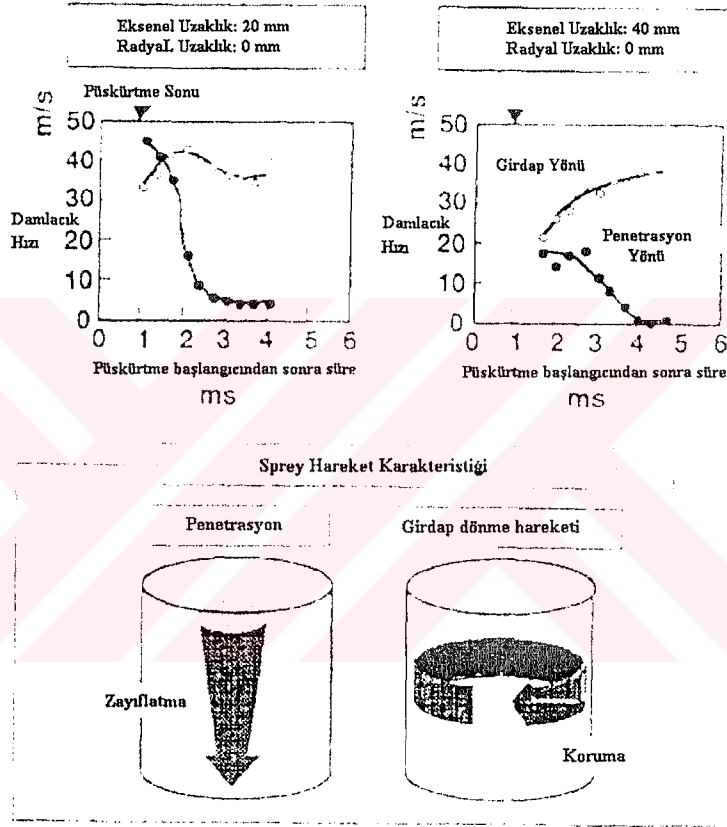
Şekil 14. Spray koni açısı ve spray uç penetrasyonunun girdap Reynolds Sayısına bağımlılığı. Silindir içersine geç püskürtme şartının simüle edilmesi şartları altında normal sıcaklıklarda 0.5 MPa çevre basıncı altında, 50 mm bu enjektör ile gerçekleştirilmiş en kısa penetrasyondur. Swirl Reynolds sayısı  $3 \times 10^4$  dan fazla olduğu yerlerde, spray koni açısı swirl yoğunluğu üzerinde bir parça bağımlılık gösterir. Doğru koni açısı ayarı, bu swirl yoğunluk aralığı içinde oluşturulur.

Şekil 2.15 faz Doppler Methodu ile ölçülmüş damlacık çap dağılımını göstermektedir. 15 mikrometreden daha az SMD li mükemmel atomizasyon oyuk konik spray çevresinde gerçekleştirilmiştir. 30 mikrometreyi aşan SMD' li büyük damlacıklar yakıt sprayin merkezinde oluşur. Aynı şekilde modelleme sonuçları göstermiştir ki, bu büyük damlacıklar piston oyugu tarafından yakalanmaktadır ve bujiye gitmemektedir. Şekil 2.13' te gösterildiği gibi, piston üzerindeki damlacıklar yüksek sıcaklıktaki piston yüzeyi üstünde kısa sürede buharlaşmaktadır.



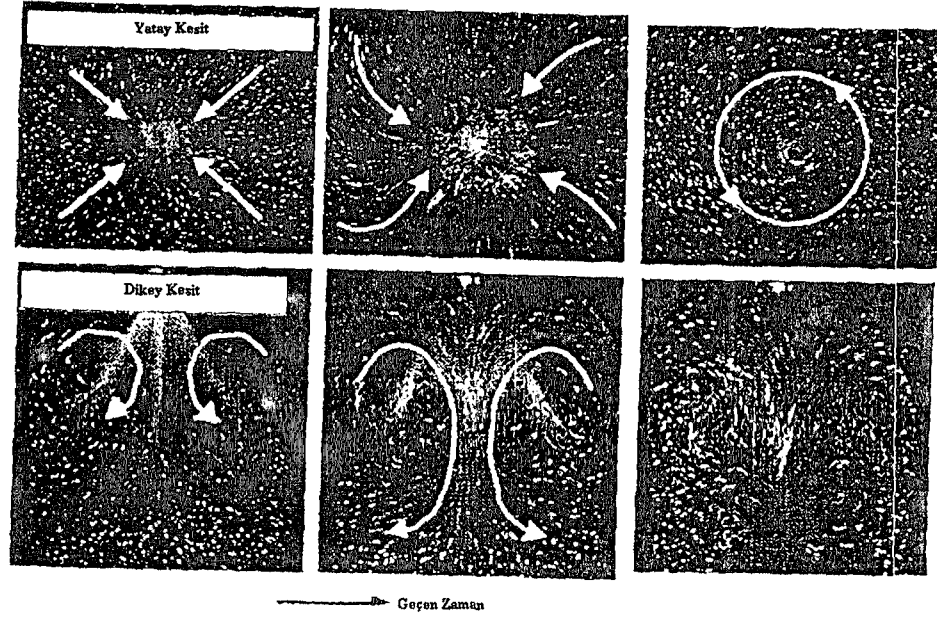
Şekil 2.15 Damlacık çap yayılımı

Şekil 2.16 damlacık hız vektörlerin yatay dikey bileşenlerini göstermektedir. Dikey vektör, penetrasyon hız bileşeni mesafe ile azalır. Yatay vektör, dönme bileşeni, bununla birlikte, daha fazla veya daha az sabit kalır. Penetrasyon hızındaki azalma, çevre havası tarafından çekme kuvvetiyle oluşan dirençle açıklanabilir. Dönme hızına kıyasla çevre havasının direnci önemli değildir. Çünkü çevre havası yakıt damlacıkları ile döner. Dönme spray hareketi ile momentum elde ediliyorken penetrasyonu tutma swirl enjektörün doğal karakteristiğidir. Direkt püskürtmeli benzinli motorlarda yakıt sprayine temel gereksinimlerini karşılamak için tercih edilebilir.



Şekil 2.16 Koni açısı, hız vektörlerin dikey ve yatay bileşenleri

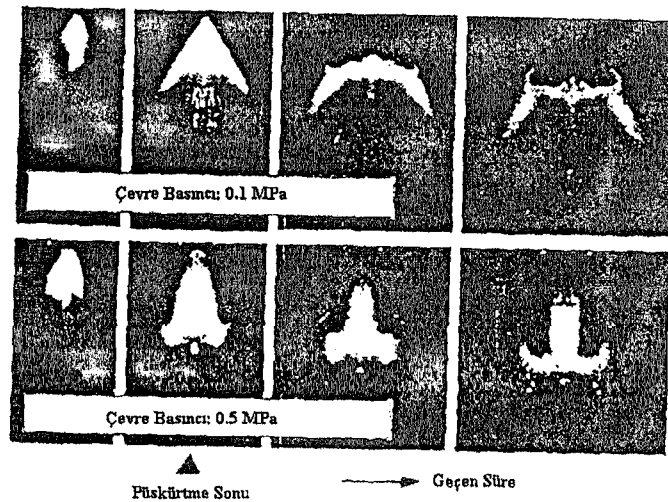
Şekil 2.17 yakıt sprayi ve çevre havası arasında etkileşimi göstermektedir. Bir dönme have hareketi spray swirling hareketi vasıtasıyla spray etrafında neden olunur. Bu deneyde yakıt, polimer mikro-balon yönlendirici partiküller ile doldurulmuş oda içine püskürtülür ve hava hareketi yönlendirici partiküllerin yörüngesinde izlenir. Spray temel olarak konik oyuk bir yapıya sahiptir. Şiddetli bir hava akışı yakıt sprayinin hareketinden dolayı oyuk koniğin merkezinde oluşturulur. Şiddetli türbülans da hava hareketlerinin etkileşimden dolayı oluşturulur ve yakıt akar. Bu türbülans yakıt sprayine EGR gazı ve çevre havasının nüfuz etmesini artırır. Sprayin üst kısmında oluşturulan geniş ölçek vorticesler püskürtmenin son safhaları ve sonrasında hava nüfuz etmesini ilerlettiği görülebilir. Bu vorticesler yakıt sprayi



Şekil 2.17 Yakıt spreyine hava nüfuz etmesi (Çevre basıncı: 0.1 MPa)

içine EGR gazı ve havanın nüfuz etmesini yükseltir. Hava yakıt karışımı is teşekkülünün saklı tutması için efektifti. Yakıt ve EGR gaz karışımı daha düşük NOx emisyonla sonuçlanan lokal alev sıcaklığının azalması için efektiftir.

Erken püskürtme durumunda, yakıt emme stroku esnasında silindir içersine püskürtülür. Bununla beraber, çevre basıncı yaklaşık olarak atmosferik basınçla aynı veya daha azdır. Geç püskürtme esnasında 0.3 MPa' dan 1 MPa kadar sıkıştırılan hava içersine sıkıştırma strokunun geç safhalarında yakıt püskürtülür. Yakıt damlacıkları üstünde etkin olan çekme kuvveti çevre havasının yoğunluğu aynı derecede artıyor gibi artar. Şekil 2.18 yakıt formu üstüne çevre basıncının etkisini gösterir. Düşük çevre basıncı durumunda, yakıt spreyi geniş açılı bir yayımlı konik oyuk yapıdadır. Yüksek çevre basıncı durumunda , yüksek çekme

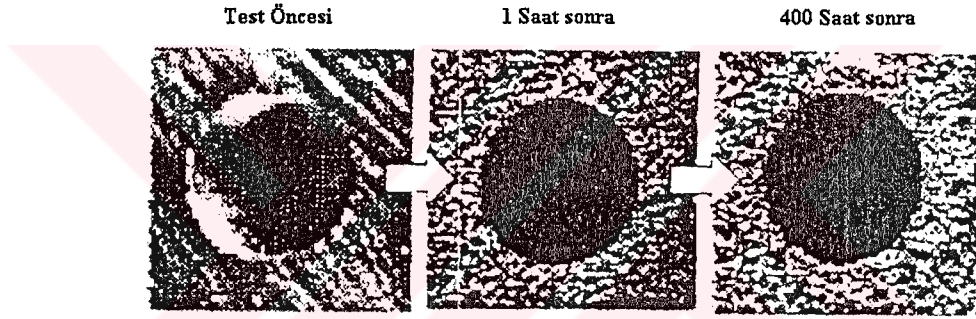


Şekil 2.18 Yakıt yayılımının çevre basıncına bağımlılığı

kuvveti saklı tutulmuş penetrasyonlu sıkı ve katı bir koni içine spreyi değiştirir. Şekil 2.11' de belirtildiği gibi sprey optimizasyon hedefi geç püskürtme modu için sıkı form ve erken püskürtme modu için geniş bir dağılımdır. Bu hedefler yakıt spreyi ve çevre havası arasındaki etkileşim doğal karakteristiği kullanılarak gerçekleştirilir. Bu karakteristikler dikkatli bir enjektör dizaynı ile sağlanır. Böylece yakıt damlacığının kinetik enerjisi sadece penetrasyona değil dairesel hız bileşeninde de paylaşılır.

Endişelerden kurtulmak için özenli dayanıklılık testleri tekrarlanmıştır. Püskürtme karakteristikleri birikmiş depozitler ile kötüleşir. İki çeşit depozit önceden bilinebilir. Biri is veya yağlama yağından normal motor çalışmasında oluşturulan depozittir. Diğeri benzinin aromatik veya olefin bileşiminden sıcak ısınma periyodu esnasında oluşan depozittir.

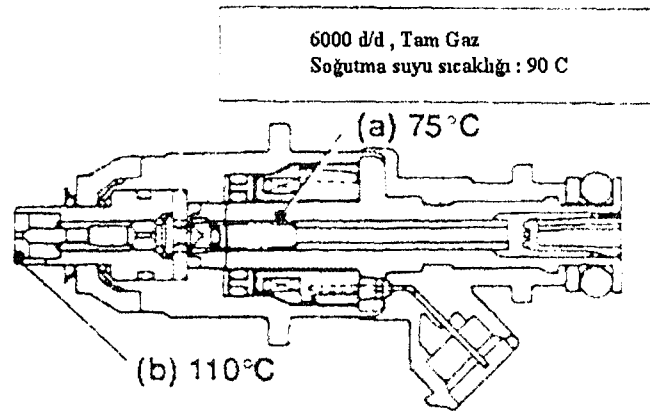
Şekil 2.19 400 saatlik tam yük ve tam hız ömür testi öncesi ve sonrasında püskürtme deliği resmini göstermektedir.



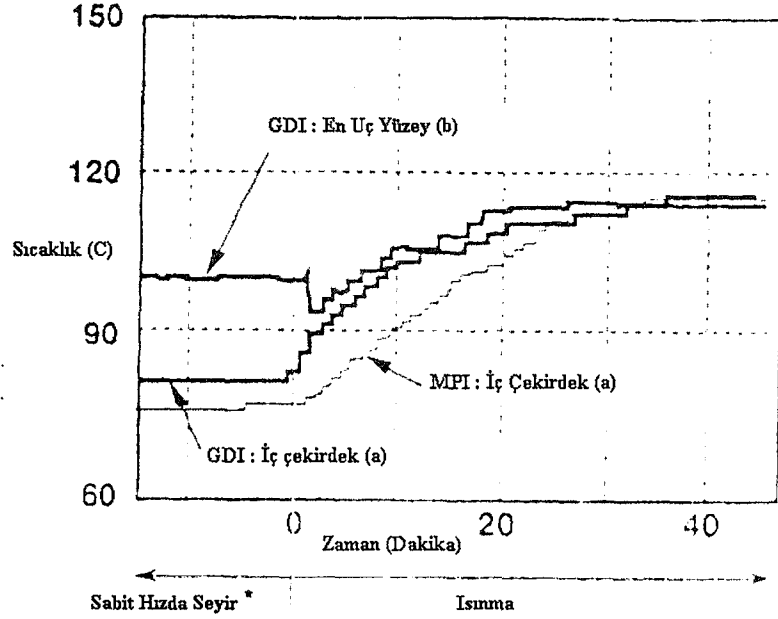
Şekil 2.19 Ömür testlerinden sonra püskürtme deliği resmi

Enjektör yüzeyinde küçük depozit birikme miktarı gözlenmesine rağmen enjektör deliği temiz tutulmuştur.

Sıcak ısınma periyodunda birikmiş enjektör depozitleri gözlenmemiştir. Şekil 2.20 sürekli yüksek hızda tam yük çalışma ve sıcak ısınma esnasında enjektörün yüzey sıcaklığını gösterir.



(a) Sabit Durum Testi



\* 120 km/h , %3 Tepe Tırmanışta

(b) Sıcakta Isınma Testi

(b) Sıcakta Isınma Testi

Şekil 2.20 Enjektör sıcaklığı

gösterir. Enjektör sıcaklığı klasik MPI motorlara göre önemli bir farklılık göstermemektedir. Enjektör depoziti ile oluşan sorun tecrübe edilmemiştir diye açıklamamızı mümkün kılacaktır. Bu sonuçlardan elde edilen, motor çalışması esnasında depozit birikmesi hakkında endişeye gerek duyulmayacak gibi gözüküyor. Çünkü is, yağlama yağı veya depozit her zaman yüksek basınç benzin jeti ile yıkanır (Nakayama, 1997).

## 2.6 Ateşleme Sistemi

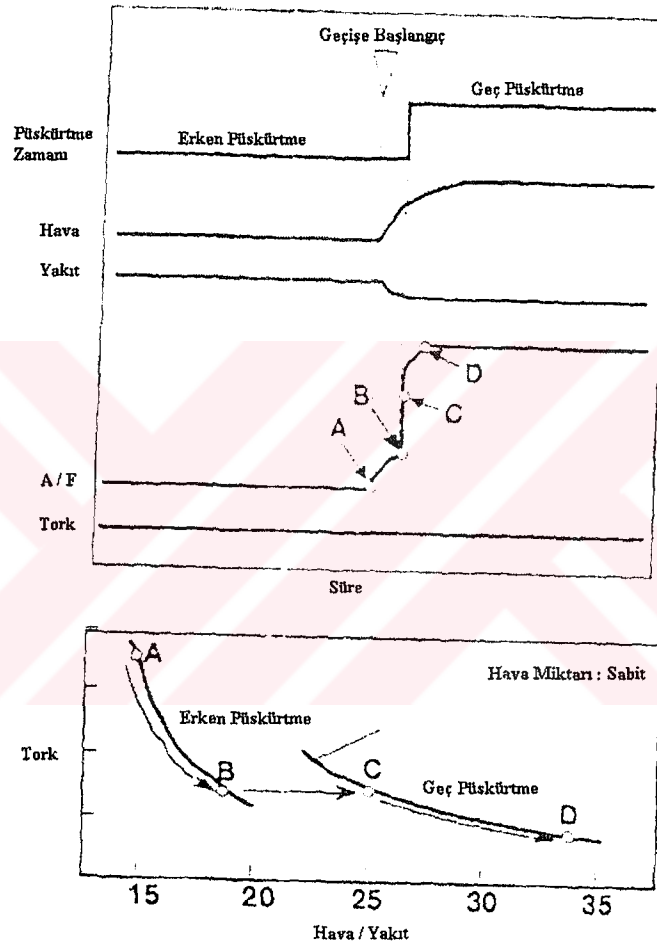
Enjektör ve bujinin geniş alanlı karışım hazırlama kavram amaçlarından biri buharlaşmış yakıt içine yakıt ve hava nüfuz buharlaşmasını ilerletmektir. Sonuç olarak, buji üstünde is tabakası gelişimine sebep olabilir sıvı yakıt çarpması ve bujiye aşırı zengin karışım dağıtımını yer almaz. Bu yüzden, ortalama bir ateşleme enerjili klasik ateşleme sistemi seçilmiştir. Kötüleştirme hızlanma testlerinin sonuçlarına göre benzinli direkt püskürtmeli motora mahsus buji kirlenme problemi olmayacak sonucuna varılıyor (Iwamoto, 1997).

## 2.7 Hava Kontrolü

Hava miktarı gaz pedalına bağlantılı klasik gaz kelebeği ve geniş nabız-atış modülasyonla çalıştırılan gaz kelebeğine benzeyen bir bypass solenoid valf ile kontrol edilir. Kontrol sistemi tork üzerinden bir talep kadar gaz pedal pozisyonunu kullanır. Bu motor iki farklı yanma

modları kullanır. Biri erken diğeri geç püskürtmedir. Geç püskürtme modunda hava-yakıt oranı 30' u aşar ve erken püskürtme modunda az zengin veya stokiyometriktir. Kabaca denebilir ki, oluşturulan tork yakıt miktarı ile belirlenir. Bu yüzden, erken püskürtme modunda ihtiyaç duyulan hava miktarı aynı torku üretebilmesi için geç püskürtme modundakinin en az iki katını olması gerekir. Hava miktarı hava bypass valfi ile kontrol edilir.

Şekil 21 şematik olarak erken püskürtme stokiyometrik çalışmadan geç püskürtme fakir çalış-



Şekil 21. Erken püskürtmeden geç püskürtme moduna geçiş esnasında hava ve yakıt yönetimi. maya geçişin kısa süreli şartlarında hava ve hava-yakıt oran kontrol örneği gösterilmektedir. Çünkü plenum oda hacmi ile sebep olunan hava miktarı kontrolündeki kısa süreli gecikme kaçınılmazdır. Geçişten önce ve sonra tork farkı ile sebep olunan şoktan kaçınmak için tam olarak aynı hava miktarı altında her iki modun oluşan tork şartlarında geçişin oluşturulması gerekir. Bu örnekte, 18 hava-yakıt oranlı erken püskürtme ve 25 hava yakıt-oranlı geç püskürtme sabit hava şartında aynı torku verir. Hava-yakıt oranı, yakıt miktarı korunuyorken hava artışı ile stokiyometrikten 18' e yavaş yavaş artırılır. Sonra yanma modu geç püskürtmeye anlık olarak geçiş yapar. Geç püskürtme modunun ilk çevriminde, yakıt miktarı

hava yakıt oranı 25 olacak gibi tune edilir. Yakıtı azaltarak havayı artırarak seyir şartındaki hava yakıt oranı yavaş yavaş 35 artırılır. Bu durumda, motor herhangi bir kısa süreli şartlarda tork farkını azaltmak için yönetilir. Benzinli direkt püskürtmeli sistemi gerçekleştirmek için zorunlu teknolojilerden biri hava bypass valfi veya elektrik gaz ile hızlı ve doğru hava kontrolüdür (Nakayama, 1997).

## 2.8 Fakir-NOx Katalist

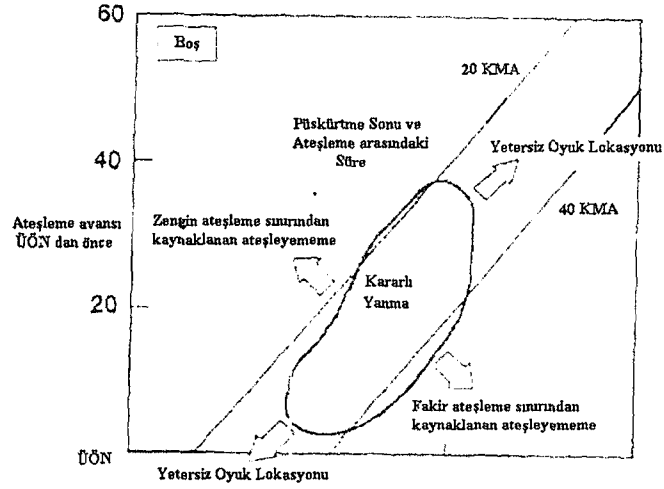
NOx azaltımı herhangi bir fakir yanmalı motorda çözülecek major problem olmuştur. Mitsubishi GDI motorunda, onun yüksek EGR tolerans avantajı alınarak EGR ile çözülmeye çalışılmıştır. Yeterli NOx azaltımı büyük miktarda EGR ile gerçekleştirilir. Bu fakir çalışma aralığını azaltır. Çünkü EGR silindir içersine temin edilecek havayı azaltır. Mitsubishi Motors Kuruluşu ve Nippon Shokubai Kuruluşu tarafından yeni geliştirilen fakir yanmalı bir NOx katalistine fakir çalışma aralığını koruyan ileri NOx azaltımı için başvurulur. Fakir-NOx katalistin iki cinsi ileri sürülmüştür. NOx emici katalist ve seçici azaltma katalist. NOx emici katalistler [13-15] fakir çalışma esnasında NOx' i tuzağa düşürür ve kısa zengin gezinti periyodu esnasında onu azaltmak için emilmiş NOx' i serbest bırakır. Seçici azaltma katalistleri [16-18] hidrokarbon ile NOx' in direkt azaltma reaksiyonunu kullanır. Seçilmiş fakir NOx katalisti seçici azaltma katalistidir. NOx emici katalistin avantajı onun yüksek azaltma verimidir. Bununla birlikte, sülfür zehirlenmesine tabi tutulacaktır. Avrupa markette yüksek sülfürlü benzinle çalıştırıldığı zaman, kısa mil mesafelerinde özelliğini kaybedecektir. Buna karşın, seçici azaltma katalist verimi olağanüstü olmamasına rağmen, yüksek sülfürlü Avrupa benzini ile mil mesafeli yığılan ömür testlerinden sonra bile verimliliğini korur. Yine de, fakir NOx katalist gelişen bir teknolojidir ve daha ileri düzeltmeler beklenmektedir.

## 2.9 Mitsubishi GDI Motorun Kalibrasyonu

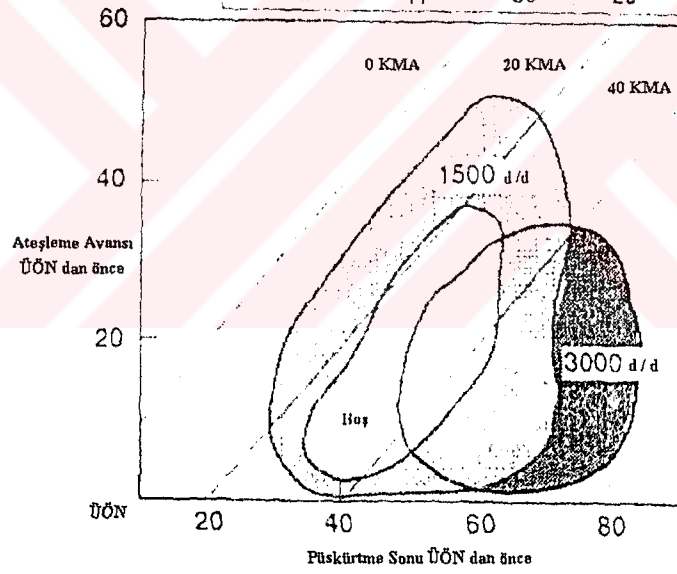
Püskürtme ve ateşleme zamanı- Şekil 2.22 püskürtme ve ateşleme zaman haritası üzerinde geç püskürtme ile gerçekleştirilen kararlı yanma şartlarını göstermektedir.

Yakıt sprey ve gaz karışımı davranışı piston oyuğu üstüne çarpma ve ters yuvarlanma ile kontrol edilir. Yakıt çarpması ve terse yuvarlanmadan efektif olarak piston çarpma zamanında kendine ayrılan pozisyona geldiği zaman yararlanır. Çevre havası ile karışımı ve yakıtın difüzyonu ve buharlaşmasını elverişli bir şekilde ilerletmek için buji ateşlemesi püskürtme sonu arasında düzgün bir aralık koymak gerekir. Bu aralık çok kısa olduğu zaman, aşırı zengin karışım bujinin çevresinde hazırlanır. Bu aralık çok uzun olduğu zaman, yakıt difüzyonu buji çevresindeki karışımı çok zayıf yapar. Bu yolla, uygun püskürtme ve ateşleme

zamanları belirlenir. Motor devri 1500 d/d olduğu zaman, harita üstündeki kararlı yanma alanı en genişdir. Mevcut aralık 10' dan 60 krank mil açısında gezinir. Motor devrinin azalması ile,



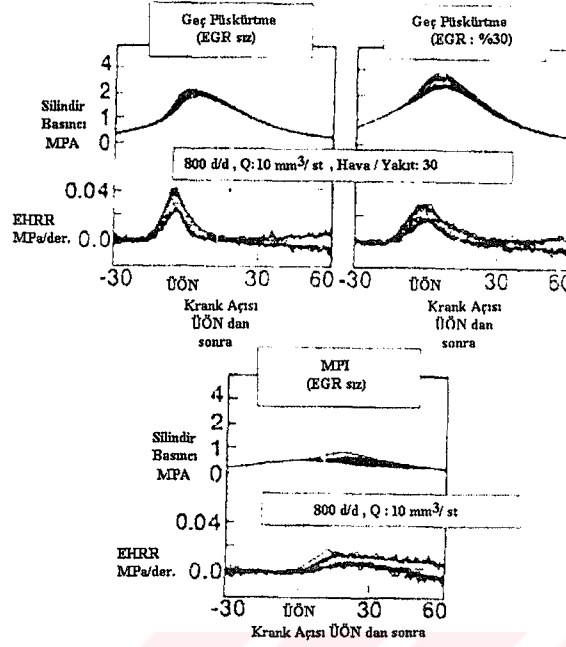
	Q (mm <sup>3</sup> /st)	Hava / Yakıt	EGR (%)
Boş	6	30	30
1500 d/d	10	30	50
3000 d/d	17	30	20



Şekil 2.22 Kararlı yanma için püskürtme ve ateşleme zamanı.

terse yuvarlanma kinetik enerjisi azalır. Bu gibi durumda, yakıt sprey çarpması karışım hazırlanmasında daha önemli bir rol oynaması gerekir. Çünkü terse yuvarlanma desteği azalmaktadır. Sonuç olarak, kararlı yanma alanı sıkışmıştır. Motor devri arttığı zaman, piston yüzeyine nüfuz etme yakıt spreyi için ihtiyaç duyulan süre (krank açısı tarafından ifade edildiği zaman) artmıştır. O suretle, püskürtmeyi başlatmak için krank açısı, çarpma lokasyonunu sabit tutmak için ilerletilmesi gerekir. Birim zamanla ifade edildiği zaman mevcut karışım teşekkül süresi azaldığı için, bu gibi bir durumda harita üstündeki kararlı yanma alanıda sıkışmıştır. Motor devri 3500 d/d aştığı zaman, müsait alan azalır. Eğer

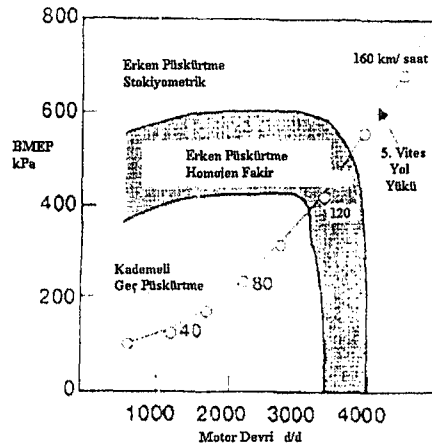
püskürtme ve ateşleme zamanı bu kararlı yanma alanında seçilirse, hızlı ve kararlı yanma Şekil 2.23' te gösterildiği gibi gerçekleştirilir. Erken püskürtme durumunda yakıt spreyi yüzey



Şekil 2.23 Yanma karakteristikleri.

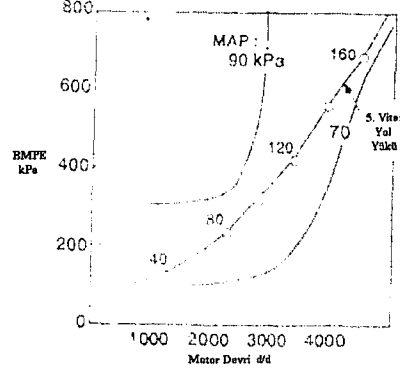
ıslanmasından kaçınmak için piston yüzeyi üstüne çarpmadığı bir püskürtme süresi seçilmiştir. Bu gereksinim karşılandığı zaman, yakıt karışımını ve buharlaşmasını ilerletebilmek için erken bir püskürtme zamanı seçilebilir.

Yanma modu- Yanma mod kalibrasyonu Şekil 2.24' te gösterilmiştir. Kısmi yüklerde çalışma şartlarında, geç bir püskürtme stratejisi seçilmiştir. Motor 100'ü aşan hava yakıt oranında çalıştırılabilmesine ve tam kısılmadan çalışması mümkün olabilmesine rağmen, motor bu bölgede biraz kısılır ve hava yakıt oranı büyük bir miktar EGR'ı ortaya çıkarması için 30' dan 40' a gezinmesi kontrol edilir. Hava yakıt oranı üstüne yakıt ekonomisi iyileştirme etkileri



Şekil 2.24 Yanma modu kalibrasyonu.

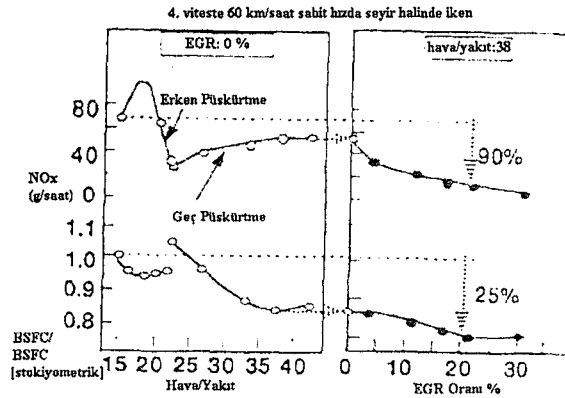
önemli olmadığı için, hava yakıt oranı 30' u aştığı zaman, yakıt ekonomisi üstüne biraz kısılmanın cezası küçüktür. Şekil 2.25' te gösterildiği gibi, gerçek çalışmada sık sık kullanılan manifold mutlak basıncı 75 kPa'dan daha yüksektir ve önemli pompalama iş kayıpları gerçek sürüş şartlarında baştan başa gerçekleştirilir.



Şekil 2.25 Manifold Mutlak Basıncı

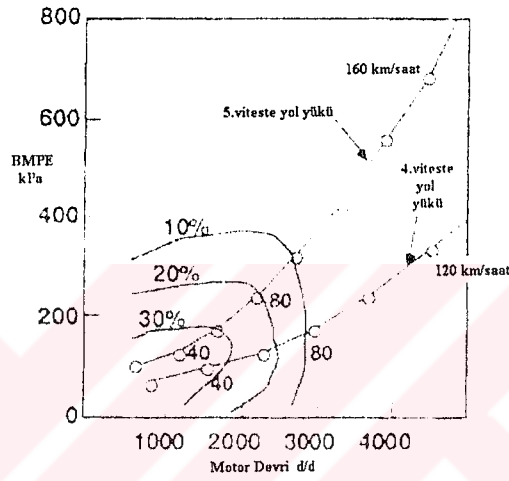
Erken püskürtme stratejisi daha yüksek çalışma şartları için seçilmiştir. Bu bölgede en çok, motor stokiyometrik oran altında çalıştırılır ve tam yükte biraz zengin bir şartta çalıştırılır. En düşük yük şartlarında bu bölgede, motor yakıt ekonomisini iyileştirme için 20' den 25' e hava-yakıt oranlı homojen fakir şartlarda çalıştırılır.

EGR- Ön karışimli fakir yanmalı MPI motorlarda durum, hava-yakıt oranındaki bir artış NOx emisyonunun azalması ile sonuç verir. Bu, reaksiyon bölgesinin sıcaklığındaki bir azalma ile gerçekleştirilir. Geç direkt püskürtme durumunda termodinamik sıcaklık fakir çalışmadan dolayı azalmasına rağmen, reaksiyon bölge sıcaklığı yüksek kalır. Bununla birlikte, kademeli yanma şöyle bir avantaja sahiptir: Şekil 2.23' te görüldüğü gibi EGR ile yanma karakteristiği kötüleşmemiştir. Bununla birlikte, yeterli NOx azaltımı büyük miktarda EGR ile gerçekleştirilir. Şekil 2.26 NOx azaltımı üstünde EGR'in etkisini gösterir.



Şekil 2.26 EGR ile NOx azaltımı

Stokiyometrik oran altında çalıştırılan MPI motorun NO<sub>x</sub> motor çıkışı ile kıyaslandığı zaman, %90 'ı aşan NO<sub>x</sub> azaltımı yakıt ekonomisi korunuyorken gerçekleştirilir. Direkt püskürtmeli dizel motor durumunda, EGR' daki NO<sub>x</sub> azaltma hassaslık değişimleri ön karışımli benzinli motorlara göre ikinci derecededir. Bu, yüksek bir reaksiyon bölge sıcaklığı ile sonuçlanan EGR gazı ve yakıtın alt karışımı ile sebep olunur. Direkt püskürtmeli durumda Hassaslık yaklaşık olarak ön karışımli yanma [19] ile aynıdır. Bu, EGR gazı ve sprey hareketi ile ilerletilmiş buharlaşmış yakıt karışımı, squish akış ve ters yuvarlanmanın bir sonucu olarak açıklanabilir. EGR kalibrasyonu Şekil 2.27' de gösterilmiştir. EGR %10-40 arası geç püskürtme bölgesinde tanıtılmıştır.

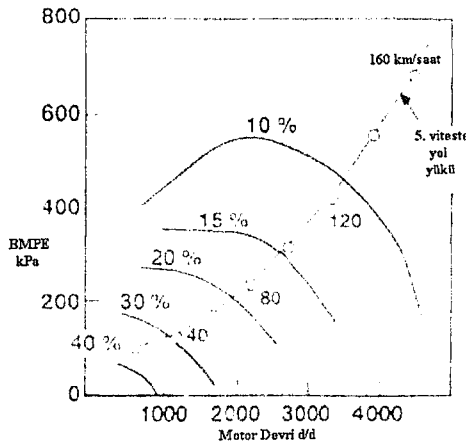


Şekil 2.27 EGR kalibrasyonu

Büyük miktarda EGR' ın hızlı ve düzgün kontrolü için, bir adım motorla çalıştırılan elektrik EGR valfi seçilmiştir (Noma, 1997).

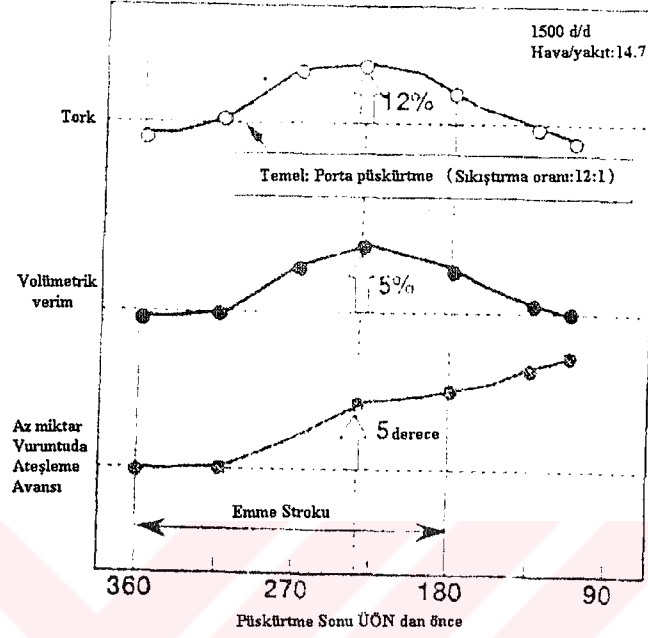
## 2.10 Benzinli Direkt Püskürtmeli Motorun Karakteristikleri

Yakıt ekonomisi- Yakıt ekonomisindeki önemli iyileştirme Şekil 2.28' de gösterildiği gibi geç



Şekil 2.28 Yakıt ekonomisini iyileştirme

direkt püskürtme ile gerçekleştirilir. Karşılaştırmanın esası 10.5:1 sıkıştırma oranlı aynı özelliklere sahip olan klasik MPI motordur. En düşük devir ve yük şartında, %40'ı aşan yakıt ekonomisi iyileştirmesi gerçekleştirilmiştir. 100 km/h seyir hızında yolda yakıt ekonomisi %15 düzeltilmiştir.



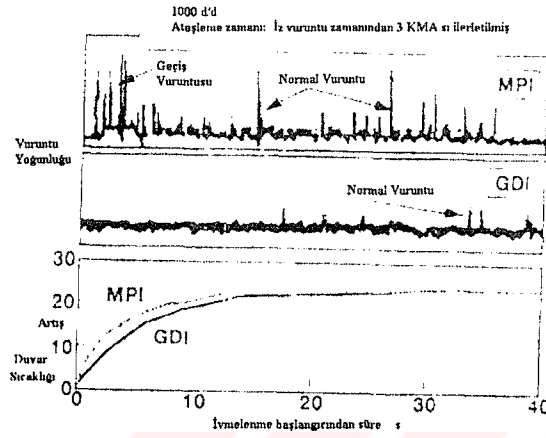
Şekil 2.29 Püskürtme zamanına tam yük performansının bağımlılığı.

Tam yük performansı- Yüksek yüklerde, direkt püskürtmeli SI motor erken püskürtme stratejisi seçilerek çalıştırılmaktadır. Yanma karakteristikleri temel olarak ön karışimli porta püskürtmeli motorunkiyle aynıdır. Bununla birlikte, iyileştirilmiş motor performansı optimize edilmiş püskürtme ile gerçekleştirilebilir. Şekil 2.29 az miktar vuruşu şartı esnasında tork, volümetrik verim ve ateşleme avansı üzerine püskürtme zamanı etkisini göstermektedir.

Duman ve O<sub>2</sub> egzozu da şekilde gösterilmektedir. Bu deneyimde, motor 1500 d/d' da stokiometrik yakıt kullanılarak hat vuruşu şartında çalıştırılır.

MPI motorlar durumunda, buharlaşma alt ısı değeri emme portu yüzeyi, emme valfi veya silindir cidarından temin edilir. Erken direkt püskürtme durumunda, yakıt spreyi pistonu takip eder ve yüzey üstüne sıvı yakıtın çarpması dikkatli bir şekilde minimize edilir. Bu yüzden alt ısı değeri emme havasından temin edilir. Bu verimli dolgu hava soğutmaya neden olur. Emme strokunun en erken safhasında püskürtme zamanı seçildiği zaman, yakıt spreyi pistonu çarpar. Bu gibi bir durumda, volümetrik verim porta püskürtmeli motorunkine aynıdır. Uygun püskürtme zamanı seçildiği zaman, volümetrik verim %5 artar. Taze dolgu havası bununla tahmini yaklaşık 15 K soğur. Sıkıştırma strokunun sonunda gaz sıcaklığı yaklaşık 30 K

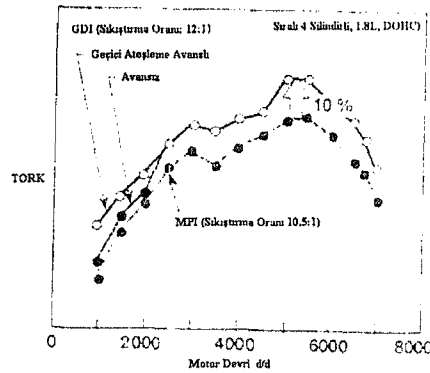
azalacak kadar hesap edilir ve vuruntu böylece hafifletilir. Püskürtme zamanını daha ileri geciktirme, az bir dolguyu kademelendirmeden dolayı anti-vuruntu kalitesini daha ileri iyileştirmeye neden olması beklenebilir. Bu gibi zamanlar tercih edilir değildir. Çünkü emme valfinin kapanmasından sonra dolgu soğutma volümetrik verimi düzeltmez ve dolgu kademelendirme havadan faydalanmayı cezalandırır ve is emisyonuna sebep olur.



Şekil 2.30 İvmelenme esnasında vuruntu yoğunluğu

MPI motorlar durumunda, önemli geçici vuruntu aracın ivmelenmesinin başlangıcında birkaç saykıl esnasında yer alır. Geçici vuruntuya alt oktan sayılı düşük kaynama noktası benzin bileşenin seçici taşıma ile sebep olunur. Şekil 2.30' da gösterildiği gibi, direkt püskürtmeli motor böyle bir geçici vuruntuya sebep olmaz. Çünkü benzin bileşenlerinin hepsi silindir içersine iletilir. Yanma odası yüzey ısınmasının gecikmesi ile sebep olunan vuruntuyu hafifletme periyodu geçici vuruntu periyodunu takip eder. Bu nedenle, GDI motor durumunda geçici vuruntu ile tesir edilmez. Ateşleme zamanı 10 saniye veya daha fazla için ivmelenmenin başında ilerletebilir. Genelde, bu periyod aracın ivmelenmesini tamamlamak için yeterlidir.

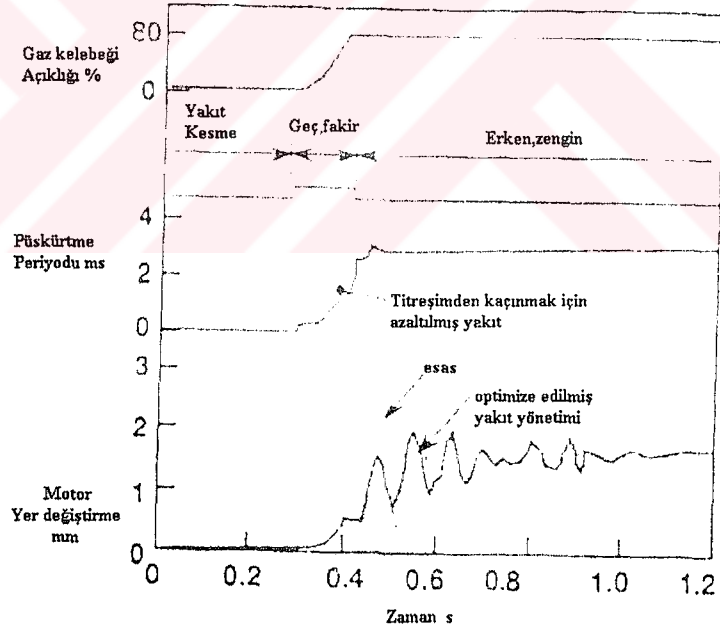
Şekil 2.31 tam yük performansını göstermektedir. Hemen hemen bütün motor hız aralıklarında



Şekil 2.31 Tam Yük Performansı

klasik MPI motordan %10 daha yüksek tork gerçekleştirilir. Düşük motor hız aralıklarında en önemli faktörler volümetrik verimdeki ve geçici ateşleme zamanı avansındaki artıştır. Yüksek motor hız aralıklarında, en önemli faktörler artırılmış volümetrik verim, daha yüksek sıkıştırma oranı ve iyileştirilmiş emme portu akış katsayısıdır.

Titreşimler- Yüksüz çalışmada bile kısılmadan çalışma ve yüksek sıkıştırma oranının sonucu olarak yüksek sıkıştırma basıncı yüzünden direkt püskürtmeli benzinli motorlar yüksek titreşim karakteristiğine sahiptir. Bununla birlikte, bu kusur motor kulaklarının optimizasyonu ile tamamen karşılanır. Bu kulaklar motor torkunun hızlı değişiminden sonra geçici şart esnasında motor titreşimini emmeye yatkındır. Direkt püskürtmeli motorlar üstün nitelikli kumanda edilebilir avantaja sahiptir. Sadece yakıt miktarının değişmesi ile değil gaz keleşi hacim akış aşığı ile sebep olunan gecikmeli havayı kontrol ederek de torku kontrol edilebilir. Bundan başka, emme portunun yüzeyi üstüne yakıt filminin teşekkülü ile sebep olunan yakıt gecikmesi ile tesir edilmez. Geçici şart esnasında motor titreşimi direkt püskürtmeli motorun doğasında olan tork yönetim yeteneğı ile zapt edilir. Şekil 2.32 bir yönetim örneğini göstermektedir.



Şekil 2.32. Motor yönetimi vasıtasıyla ivmelendirme esnasında motor titreşiminin önlenmesi. Şekilde görüldüğü gibi ivmelendirme esnasında araç yanıtını cezalandırmadan gaz pedalı çalışması sonundan sonra birkaç saykılın oluşan torkunu azaltarak önemli bir şekilde motor titreşimi azaltılabilir (Ando, 1997).

## 2.11 Ömür Onayı

Bu, yeni yanma sisteminin hayat boyu güvenilirliğini onaylamak için Çizelge 1' de

Motor Sistemi	motor dayanıklılık araç dayanıklılık yol testi (biri bir tamam yok)
Enjektör	Tam gaz 121 çevrimi vuruntu çalışması sürekli geç püskürtme sürekli boşta ısıma tekrarı panel cooling
Yakıt Pompası	sürekli çalışma kıvrık çalışma alkolik gaz (M16) ritişim testi antihirillik gerçek motor testi
Buji	Tam Gaz 121 çevrimi yüksek hızlı çalışma sürekli geç püskürtme sürekli boşta
Katalist	hızlandırılmış hőtüleştirme (test bench/araç)

Motor sayısı: 40  
Dayanıklılık testi için araç sayısı: 20  
Yol testi için araç sayısı: 120

Çizelge 2.1 Ömür testleri için özet

listelenmiş ayrıntılı ömür onay testleri oluşturulmuştur. Çünkü kuşgulanabilinir ki benzinin kalitesi önemli bir şekilde fakir-NOx kataliste, yanma odasına ve yakıt püskürtme sisteminin ömrüne tesir eder. Çizelge 2.2 ' de listelenmiş özellikle sentezle birleştirilmiş yakıt bileşimi

		Aroma (%)	Olefin (%)	MTBE (%)	Sülfür (ppm)
	Test yakıtı	45	25	9.5	440
Kuryunsuz Super	Japon	37	15	6	<100
	EU	45	10	9.5	440
	USA	43	10	0	260
Kuryunsuz Normal	Japon	27.5	17.5	0	<300
	EU	37.5	10	-	275
	USA	32.5	12.5	0	350

Çizelge 2.2 Ömür testlerinde kullanılan benzinin özellikleri

hazırlanmıştır. Japonya, Avrupa ve Amerika marketlerinde ki en kötü benzin de bulunan örnek elementler tabloda listelenmiştir. Bu üç market te test benzini maksimum aromatik,olefin, MTBE ve sülfür değerleri ile meydana getirilmiştir. Baştan başa ömür testlerinde, benzinli direkt püskürtmeli motora mahsus problemler tecrübe edilmemiştir. Erken püskürtme modunda çalıştırılan birçok ısıl problemin olduğu en yüksek devir ve en yüksek yükleme şartlarında tahmin edilir izah olacaktır. Erken püskürtme modunun yanma karakteristiği, yaklaşık olarak uluslararası marketlerde güvenilirliği tamamen onaylanmış klasik MPI motoruyla aynıdır.

### 3. BENZİNLİ DİREKT PÜSKÜRTMELİ MOTORLAR İÇİN MOTRONIC MED7 : MOTOR YÖNETİM SİSTEMİ VE KALİBRASYON PROSEDÜRLERİ

#### 3.1 Özet

Bu kısımda benzinli direkt püskürtmeli motorlar için geliştirilmiş Motronic MED7 motor yönetim sisteminin ana stratejileri anlatılmaktadır. Bu düşünce GDI yanma kavramı tarafından sağlanan en yüksek yakıt tasarrufunu karşılamak için gerekli olan bütün çalışma modlarını (kademeli, homojen, fakir ve yarı kademeli) destekler. Bosch GDI-parçaları ile koordineli bu sistem gelecek emisyon standartları (ULEV,EUIII VE EUIV) için en yüksek performansı verir ve Bütün EOBD gereksinimlerini karşılar. Bu sistemin ana yapısı motor torkuna dayandırılmıştır ve bütün yapılan işleri tork ve verimler vasıtasıyla koordine ediyor. Farklı çalışma modları, bütün şartlar altında optimal çalışma modlarını seçebililen özel bir dinamik mod yöneticisi ile koordine edilir. Egzoz emisyonları için alınan önlemler, ilk HC azaltımı için hızlı ısınan bir ön katalistten, NO<sub>x</sub>- emicili bir ana katalist ve TWC den oluşan bir egzoz katalist sistemine dayandırılmıştır.Üç sensör bu sistemin optimal kontrolü için gereklidir. MED7 sadece emme havası-yolu değil yakıt-yolunu gösteren genişletilmiş bir teşhis kavramı kullanıyor. Bütün önemli teşhis fonksiyonların planlanması kolay kalibrasyon için dinamik yapıyı bir avantaj sunan yeni bir teşhis sistem yöneticisi tarafından yapılır. Kalibrasyon prosedürü, kalibrasyon süresini azaltmak ve GDI bir motorun fiziksel davranışını daha iyi anlamak için yeniden geliştirilmiştir.

#### 3.2 Tanıtım

Şekil 3.1' de görüldüğü gibi, benzinli motorların motor yönetim sistemleri değişen istek ve hedefler ile uzun bir tarihe sahiptir. Karbüratörlü sistemlere ilk karşı çıkma HC, NO<sub>x</sub> ve CO azaltımıdır. Bu hedefe ulaşmak için anahtar elemanlar üç yollu katalist teknolojisi, lambda sensörü geliştirmesi ve hava/yakıt oranının elektronik kontrolüdür. Bugün odak noktası değişmiştir. Ana görev diğer emisyonların düşük seviyeleri korunurken, şimdi CO<sub>2</sub> emisyonlarında azaltımıdır. Yaklaşım, direkt püskürtmeli kademeli dolgu kullanarak pompalama kayıplarının azaltılmasıdır. Bu yüzden anahtar elemanlar fakir katalist teknolojisi, yüksek basınçlı yakıt sistemi ve farklı çalışma modlarının kontrolüdür.

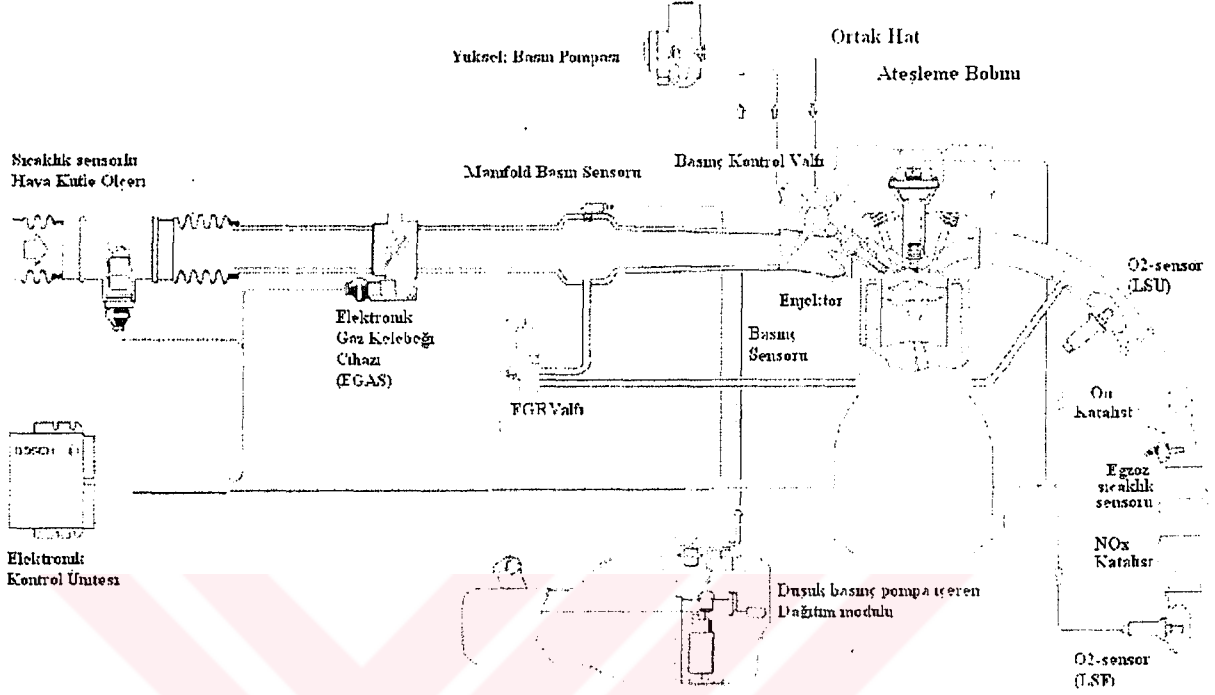
Benzinli motorlar için direkt püskürtme sistemi porta püskürtme motorlarda gerçekleştirilemeyen bir miktar özellikler sunar.

Manifolttaki yakıt cidar filmine engel olma



Yüksek basınçlı püskürtme sistemi; yüksek basınç pompası, yakıt hattı, basınç kontrol valfi, yakıt basınç sensörü ve yüksek basınç enjektörleri kapsamaktadır.

Yakıt dağıtım modülü içindeki geleneksel bir elektrikli yakıt pompası, yüksek basınç



Şekil 3.2 MED7 motor yönetim sistemi

pompasına yaklaşık 0.35 MPa basıncıyla yakıt besler.

Motor yükü, porta püskürtmeli sistemlerden bilindiği gibi bir sıcak film-hava debi sensörü ile belirlenir. EGR sisteminin hata teşhisi ve EGR oranının tam belirlenmesi, bir manifold basınç sensörü kullanımı ile başarılır. Hava/yakıt oranı bir geniş band oksijen sensörü LSU vasıtasıyla kontrol edilir. Katalist sistemin hata teşhisi, bir egzoz sıcaklık sensörü ve iki uçlu oksijen sensörü ile yapılır.

Elektronik gaz kelebeği gövdesi farklı çalışma modlarının yönetimi için vazgeçilmez bir parçadır.

Kontrol ünitesi yüksek basınç enjektörleri için güç aşamasını içine alır. Karbon tasviye kutusu alt sistem bu şekilde gösterilmemiştir (Kuesell, 1999).

### 3.4 Yüksek Basınçlı Yakıt Sistemi

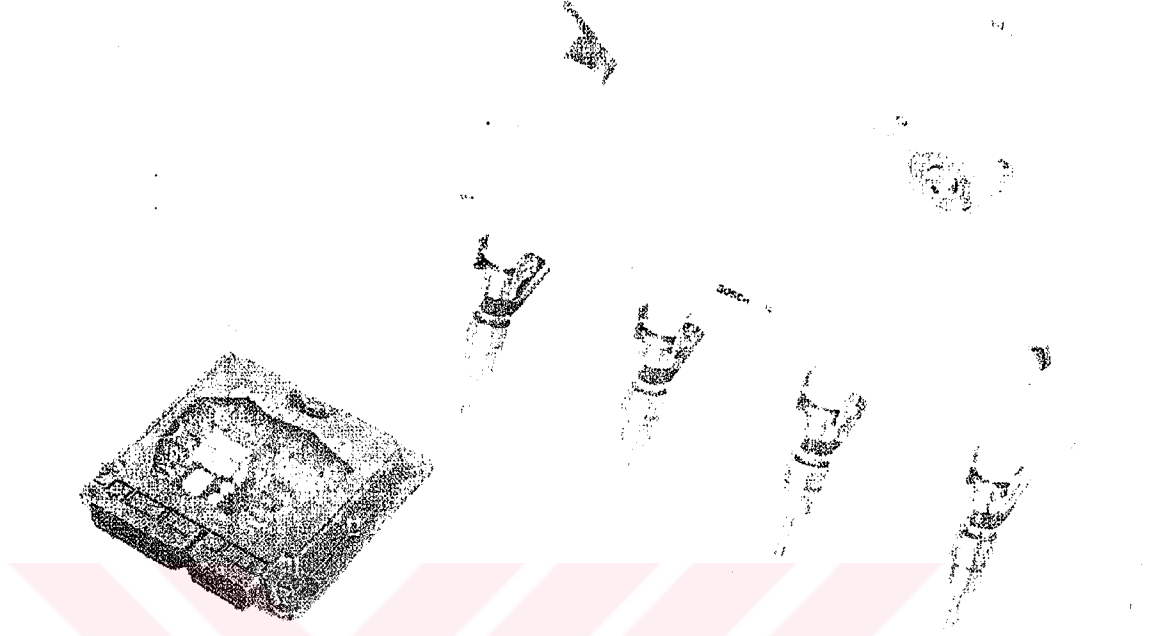
Şekil 3.3' te yeni yakıt püskürtme parçaları gösterilmektedir.

-3 silindirli yakıt basınç pompası

-Basınç sensörlü ve basınç kontrol valfli yakıt hattı

### -Yüksek basınç enjektörleri

Yüksek basınç enjektörlerinin kontrolü için güç evresi entegreli motor kontrol ünitesi görülmektedir.



Şekil 3.3 MED7 Motor yönetim sisteminin parçaları.

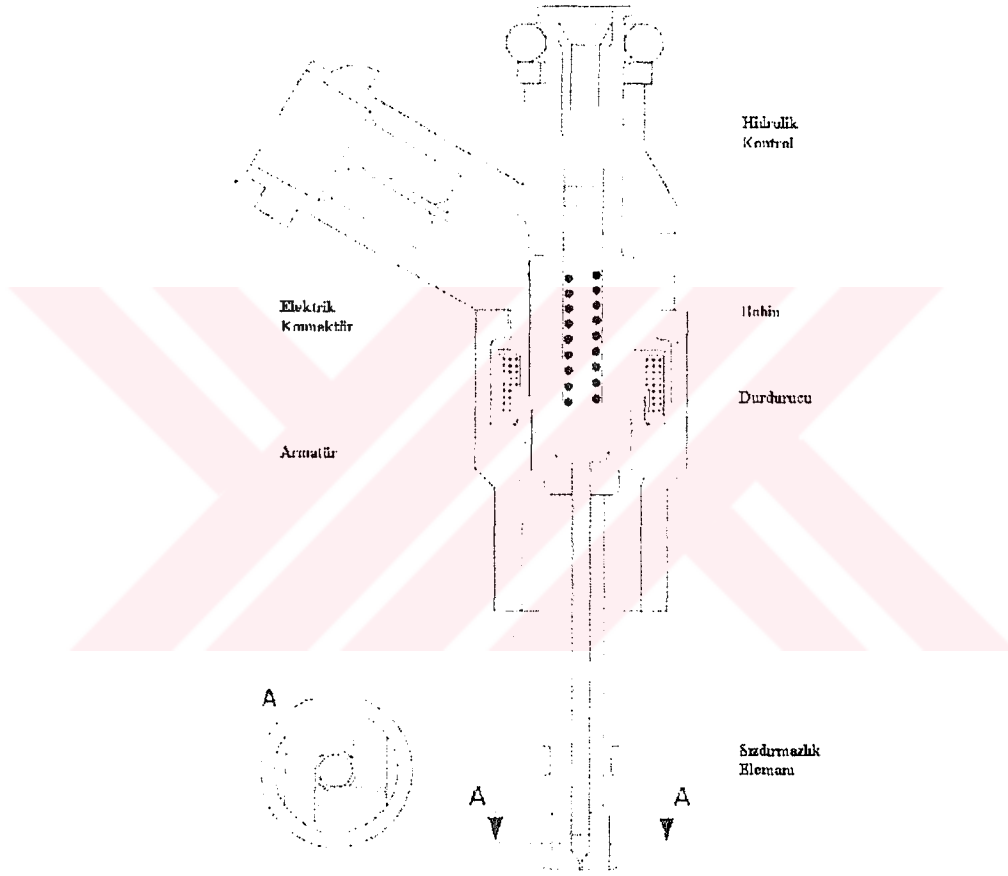
Yüksek basınç pompası, üç silindirli radyal pistonlu pompa gibi gerçekleştirilmiştir ve basıncı 12 MPa kadar artırır. Yakıt basıncı, 2 MPa' dan 12 MPa aralığındaki bir çalışma noktasına bağlı olan aplikasyon dataları ile kurulabilir. Bu yüzden yakıt hattındaki basınç, basınç sensörü ile belirlenir. Kapalı bir çevrim kontrolünde fazla yakıt basınç kontrol valfi ile geri döndürülür.

Enjektör, enjektör sisteminin merkezi parçasıdır. Bir taraftan özellikle yerleştirme şartları ile ilgili olarak yüksek talepler, kısa püskürtme süreleri ve yüksek doğrusal alan karşılanması gerekliliği, diğer taraftan yanma modunun ayarlanması için yakıt spreyinin karakteristiğine özel önem verilir.

Şekil 3.4' de enjektörün şematik görünüşü ve temel elemanları gösterilmektedir. Enjektör dizaynı için ana geometriksel sınırlamalar modern 4 valf motorlarda sınırlı mevcut yerleştirme yeridir. Enjektör ince yapılı, uzatılmış buruna sahip olması gerekir. Bu silindir kafasında yeterli bir soğutma ceketine imkan verir. Yuvarın çapı olabildiğince küçük, 12 MPa kadar çalışma basıncını sınırlamamaksızın ve geniş bir spreynin açılı seçilir. Maliyet sebepleri, güvenilirlik ve üretimin erken başlamasından dolayı elektromanyetikle çalışan enjektör ilk seçim olmuştur.

Uygun bir sürücü safhası ve direkt olarak çalıştırılan ibre, maksimum bir püskürtme süreli (5 ms) dinamik bir akış aralığını (1:12) sağlama almak için kısa açma kapama zamanlarına izin verir.

Özel mühendislik hedefleri ve diğer motor dizayn parametrelerin kısıtlamalarından dolayı, yanma sistemleri çeşitli motor üreticileri ve motor ailelerinden dolayı farklılık gösterirler. Bu yüzden Bosch geniş bir sistem basıncı ve sprej karakteristiğinin optimasyonu için sprej açısı teklif eder. Buna ilaveten göz önüne alınıp alınmayacak bu gibi yerleştirme durumlarını kontrol etmek için, valf eksenine doğru spreji yönlendirmek mümkündür (Moser, 1999).



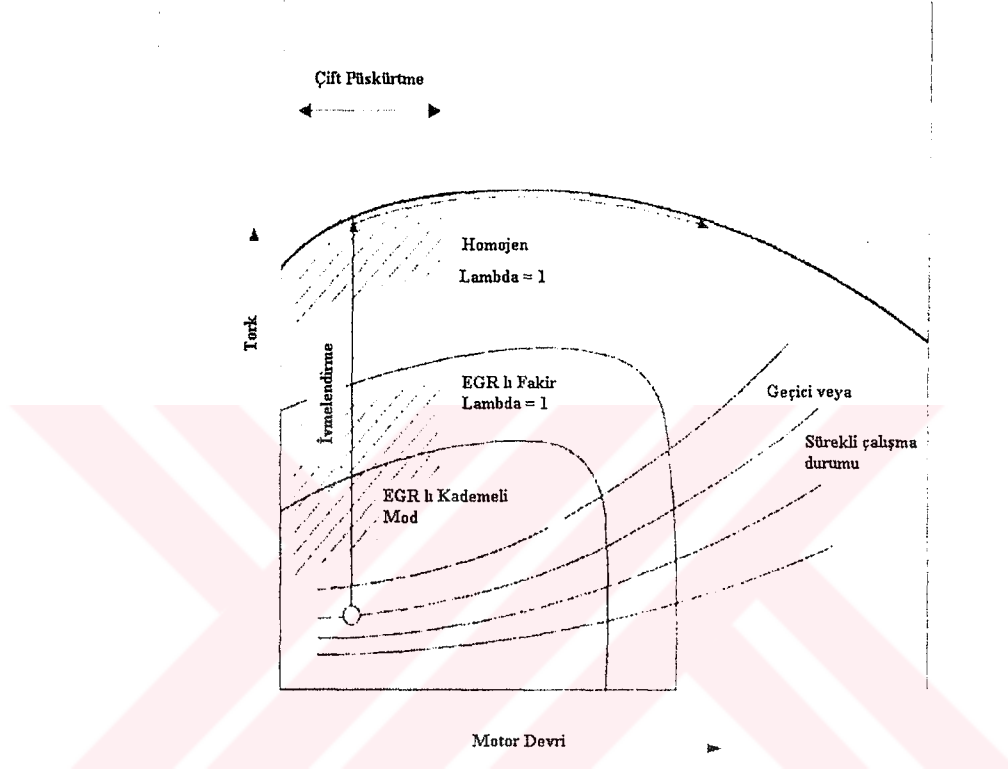
Şekil 3.4 Yüksek basınç enjektörünün kesiti

### 3.5 Çalışma Modları Ve Mod Seçimi

Çalışma modları- Düşük yakıt tüketimini ve yüksek performansı başarmak için, benzin direkt püskürtmeli motorun çeşitli çalışma modlarına gerek duyulur (Şekil 3.5).

Düşük yükleme bölgelerinde, motor kademeli dolgu modunda çalıştırılır. Bu yüzden yakıt ateşlemeden önce kısa süreli yüksek basınçta püskürtülmelidir. Azaltılmış boğulma kayıpları ve cidarlar arasındaki alt ısı kayıplarından dolayı yakıt tüketiminde %15-20 lik bir azaltma gerçekleştirilmiştir. Fakir kirleticilere karşı alınan önlemlerin alt değişim oranları ile ilgili

olarak EGR NOx motor emisyonunu azaltmak için kullanılmalıdır. Bununla birlikte kademeli çalışmanın haritası yük ve hızla sınırlandırılmıştır. Yüksek yüklerde, yanma odasındaki kademeli bölgenin karışımı daha zengin (is teşekkülüne eğilimli olan) olmalıdır. Yüksek hızlarda da silindir içindeki yüksek türbülansın dolayısıyla yeterli kademeli dolgunluğu sağlamak zordur.



Şekil 3.5 Çalışma mod haritası

Daha yukarı yükleme alanlarında, bu yüzden motor düşük emisyon ve yüksek torku başarması için homojen modda çalıştırılır. Geçici (kısa süreli) alanlarda, motor yakıt tüketimini optimize etmesi için homojen-fakir çalıştırılabilir.

İyi bir sürüş keyfi ve benzinli direkt püskürtmenin tüketim avantajlarını maksimum kullanımı için bir mod çalışma haritasında her bir çalışma noktası için optimal çalışma modlarını kurmak ve seçmek gerekmektedir. Motor kontrol sisteminin ana görevi farklı çalışma modlarını desteklemek ve de sürüş esnasında sürücüyü ikazsız, çalışma modlarının sık sık değişimlerine hakim olmalıdır. Şekil 3.5 sürücünün tam ivmelenmesi için ve hem sürekli hemde süreksiz şartlar için çalışma modlarında gerekli değişiklikleri göstermektedir.

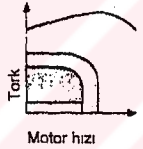
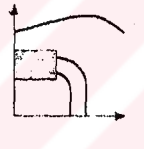

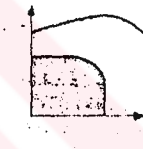
Çift püskürtme – MED7 tarafından desteklenen en enterasan çalışma modu bölünmeli püskürtme veya yarı-kademeli çalışma modu olarak bilinen çift püskürtmedir.

Çift püskürtme kullanımının farklı sebepleri vardır. 4 farklı çift püskürtme çeşidi için bir karşılaştırma tablosu Şekil 3.6 da listelenmiştir.

Genelde bir püskürtme emme stroku esnasında ve ikincisi sıkıştırma stroku esnasında (katalist ısıtma için çift püskürtme hariç) yapılmaktadır. Bu mod termodinamik açıdan zengin kademeli bölgeden mevcut alev ateşlemeli homojen enerji dönüşümü anlamına gelir. Motronic yapıdan bakışla bu mod zamanlama gereksinimlerinden dolayı kademeli mod gibi idare edilmelidir.

Kademeli ve homojen çalışma arasında geçiş prosesi için, çift püskürtme azaltılmış NO<sub>x</sub> emisyonlu sabit bir tork sunar. Kayma faktörü yaklaşık olarak %75 olması gerekir.

Kısmi yüklerde sürekli çalışma da yapılan ölçümler göstermiştir ki; çift püskürtme, is emisyonlarının azaltımı için ve kademeli ve homojen çalışma esnasında geçiş alanında düşük motor hızlarında yakıt tüketiminde bazı ilave tasarruf için yardımcıdır.

Çift Püskürtme Modu	Çift Püskürtmeye Geçiş	Çift Püskürtmede Kısmi yük	Çift Püskürtmede Tam yük	Çift Püskürtmede Katalist ısıtma
Çalışma alanları				
Kullanım için sebepler	En aza indirgenmiş NO <sub>x</sub> li geçiş esnasında optimize edilmiş tork sabitliği	İs emisyonlarında ve yakıt tüketiminde azalma	Optimize edilmiş vuruşu sınırından dolayı tork çıkışındaki artış	Sülfatların eliminasyonu için aktif katalist sıcaklık kontrolü, hızlı ısınma
1. Püskürtme zamanı	330 KMA ÜÖN dan önce	330 KMA ÜÖN dan önce	330 KMA ÜÖN dan önce	80 KMA ÜÖN dan önce
2. Püskürtme zamanı	80 KMA ÜÖN dan önce	80 KMA ÜÖN dan önce	80 KMA ÜÖN dan önce	50 KMA AÖN dan sonra
Kayma faktörü (%)	75	75	30 ile 70 arasında değişebilir	Isıtma talebinden dolayı değişebilir
100 = sadece 1. püskürtme 0 = sadece 2. püskürtme				

Şekil 3.6 Çift Püskürtmeli Çalışma Modları

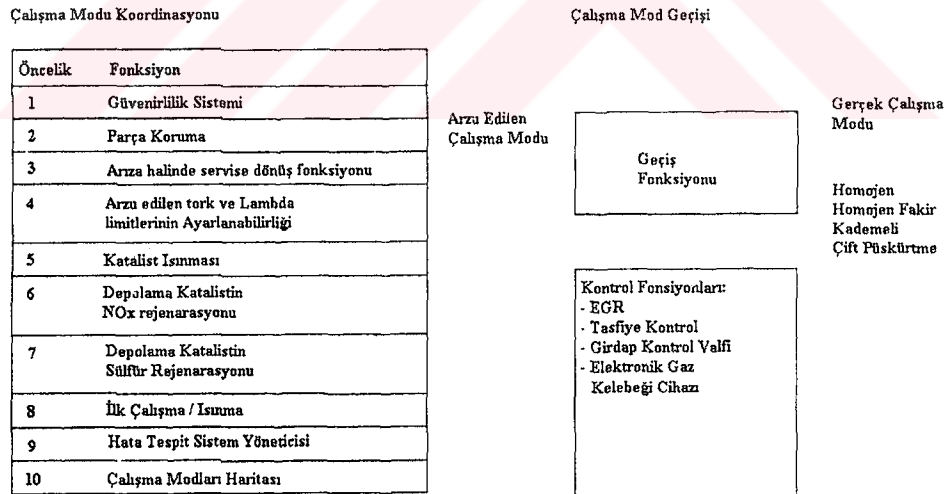
Tam yüklerde % 5 e kadar olan bir tork artışı vuruşu sınırının uzaması ile başarılabilir. Optimal kayma faktörü temel motor dizaynına bağlı olarak %30-70 arasında değişiklik gösterir.

Çift püskürtme, fakir kademeli-çalışma modlu hızlı katalist ısıtma için de kullanılabilir.

Bu ilk üç çeşit çift püskürtme için tipik zamanlama ilki 330 °KMA ÜÖN' dan önce ve ikincisi 80 °KMA ÜÖN' dan önce bulunur.

Çift püskürtme, fakir kademeli-çalışma modlu hızlı katalist ısıtma için de kullanılabilir. Bu, EUIV veya ULEV emisyon sınırlarına geleneksel ölçümler ile erişilemeyen durumlarda ikinci bir hava pompası saklayabilir. Bu çeşit katalist ısıtmaya ilave olarak aktif sülfür atma için de gereklidir. Püskürtme zamanı 80 °KMA ÜÖN' dan önce ve 50 °KMA ÜÖN' dan sonra tipik olarak bulunur ve kayma faktörü gerçek katalist ısıtma talebinden dolayı değişken olmalıdır.

Dinamik çalışma mod yöneticisi- Çalışma mod seçiminde temel unsur çalışma mod haritasıdır. Harita dataları, arzu edilen sabit çalışma modlarına göre her proje için kurulacaktır. MED7 farklı motor olaylarına göre çalışma mod haritasından başka bir moda değişikliğe izin veren dinamik bir mod yöneticisi içerir. Parça koruma, yedek devre (elektronik sistemde bir hata halinde servise yavaşça arabayı götürmeye yarayan bir devre), NOx depolama katalistinin NOx- ve sulfur boşaltması, katalist ısıtma ve tasfiye kontrol gibi kriterler çalışma modunun seçimi için farklı öncelikler de düşünülecektir (Şekil 3.7). Bu kriterler yüksek öncülüğe sahiptir ve çalışma mod haritasında verilen farklı bir çalışma moduna ihtiyaç duyabilirler. Sonuç olarak dinamik mod yöneticisi sürekli olarak birkaç alt sistemle etkileşimde olan geçiş fonksiyonu ile kurulacak olan en iyi modu tercih eder.



Şekil 3.7 Çalışma mod koordinasyonu ve geçişi

MED7 deki mod geçişi şöyledir: Sürücü herhangi bir tork değişikliği uyarısı almaz. Farklı stratejiler örneğin üçüncü bir çalışma modundan geçerek yerine getirilir. Bir mod geçiş stratejisi için ana gereksinimler:

Dikkat edilebilen tork farkı yok

Yüksek hızla geçiş (yüksek tork için isteklerde)

Mod değişikliği esnasında küçük verim kayıpları

Mod geçişi esnasında tork ayarı hava akışını,yakıt kütlesini ve ateşleme zamanını kontrol ederek yapılır. Ateşleme zamanı iyi bir tork ayarı için kullanılır. EGR' ın hızlı devreye girip çıkması gereklidir ve EGR valfine yüksek ihtiyaçlar koyar (Philipp, 1999).

### 3.6 Tork Yapısı

Porta püskürtmeli motorlar için Bosch' un motor yönetim sistemi Motronic ME7' de tam olarak yeni bir sistem yapısı vardır. Alt sistemler arasında veya tek fonksiyonlarda arabirimler tork veya verim değişkenleri gibi belirtilir. Bu fonksiyonların yapısına genel bakmak için kolaylık ve açıklık sağlar. Bosch Motronic ME7 sonbahar 1997' de seri üretimde oldu.

Bu sistem yapısı önemli avantajları sunar:

- . Sistem modifikasyonların veya ilavelerin kolaylıkla gerçekleştirilmesi
- . Araçtaki farklı kontrol üniteleri ile basitleştirilmiş alt sistemler uygulaması
- . Tork isteklerinin yüksek doğruluk ile gerçekleştirilebilmesi

Motorun homojen çalışma modunda, istenen tork gaz keleşi pozisyonu vasıtasıyla motor yükü ile porta püskürtmeli sistemlere benzer yapılır. Kademeli çalışma için, motorun gerçek verimine bağlı olarak uygun yakıt kütlesini hesaplamak için mevcut tork yapısı genişletilmiştir.

Hesap modeli kademeli dolguda gerçek verim üzerinde örneğin girdap veya yuvarlanma kontrol valfinin pozisyonu, değişken kam mili kontrolü, gerçek EGR oranı, püskürtme başlangıcı ve ateşleme zamanı gibi bütün etkileri içermek zorundadır. Kademeli ve homojen mod arasında motor çalışmaya geçiş yapıldığı zaman motor torkunu gerçekleştiren model için denklemlerde de geçiş yapılır.

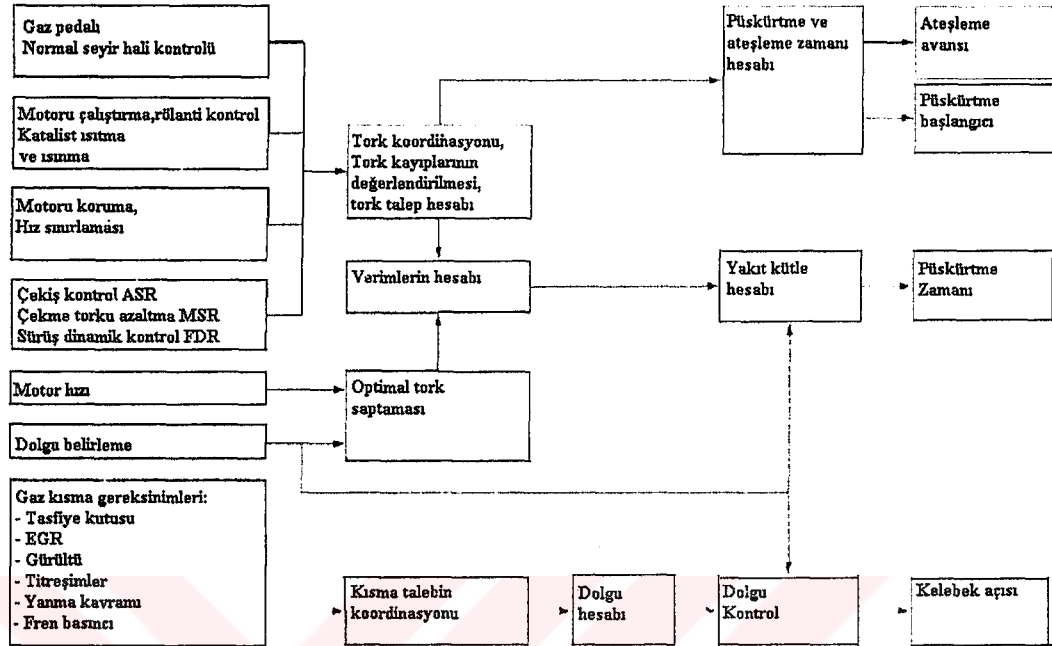
Şekil 3.8 özellikle kademeli çalışma için tork yapısının blok diyagramını gösterir.

ME7 deki gibi, bütün tork talepleri, örneğin sürücü tork talepleri, ihtiyaç duyulan motor torkunun set değerlerini belirlemek için, ayrı bir fonksiyon blok içinde koordine edilir. Verilen motor hız ve yükü için, gerekli yakıt kütlesi bütün verim faktörlerine göre hesaplanır.

Enjektör güç safhaları için gerekli yakıt kütlesinden püskürtme zamanı hesabı yakıt basıncını içine alır.

Verilen motor hız ve yükü için, gerekli yakıt kütlesi bütün verim faktörlerine göre hesaplanır.

Ateşleme zamanı ve püskürtme başlangıcı önemli bir şekilde enerji dönüşüm verimini ve kalitesini belirler. Bu zamanlar tork set değerlerine ve diğer motor hız ve gerçek motor hava akış parametrelerine dayalı değerlendirilir.



Şekil 3.8 Dolgu kontrolü ve kademeli modda torkun gerçekleştirilmesi

Gerekli hava akışı bütün gaz kelebeği açılıp kapanma taleplerinin koordinasyonundan belirlenir. Fren servo için basınç farkı talebi ve yanma prosesi çalışma limitleri için tasfiye sistemi, EGR, gürültü ve titreşim minimizasyonundan talepler doğar. Motora hava akışının set değeri maksimum gaz kelebeği açıklığı talebinden belirlenir. Motor hava akış kontrol fonksiyonu gaz kelebeğini kontrol ederek gerekli hava akışını set eder (Kuesell, 1999).

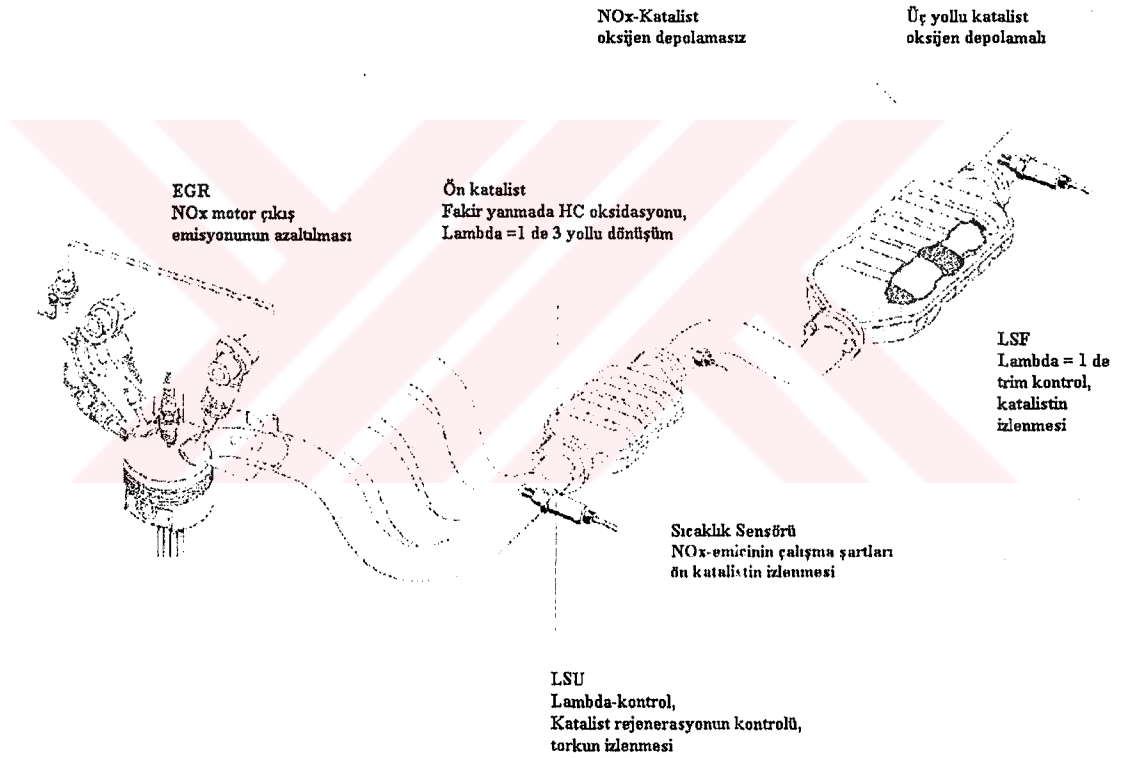
### 3.7 Egzoz emisyonlarını motor çıkışından sonra iyileştirme kavramı

Şu anda mevcut katalist sistemlerini karşılaştırmadan EUIII ve EUIV emisyon sınırlarını karşılamak için gerekli NOx dönüşüm oranları sadece bir depolama katalist kullanarak başarılabilir. Birçok motor imalatçısı maksimum dönüşüm potansiyeli yüzünden depolama katalist kavramını desteklemektedir. Bu yüzden Motronic MED7, NOx depolama-katalistlerine dayalı emisyon kontrol stratejilerini kapsar.

Şekil 3.9 direkt püskürtmeli motorlar için gerçek egzoz emisyon sistemini gösterir. NOx için bugünkü motor çıkışından sonra iyileştirme sistemleri  $\lambda=1$  kavramına erişemediği için, bir EGR sistemi gereklidir. Egzoz emisyon sistemi kendisi motora yakın olarak takılan 3 yollu bir katalist içerir. Yüksek bir HC dönüşüm oranı sağlamak ve genel olarak  $\lambda=1$  için emisyonları

azaltmak için kullanılır. Ana katalist, NOx katalist ve TWC katalist ile aynı muhafazada birleştirilmiştir.

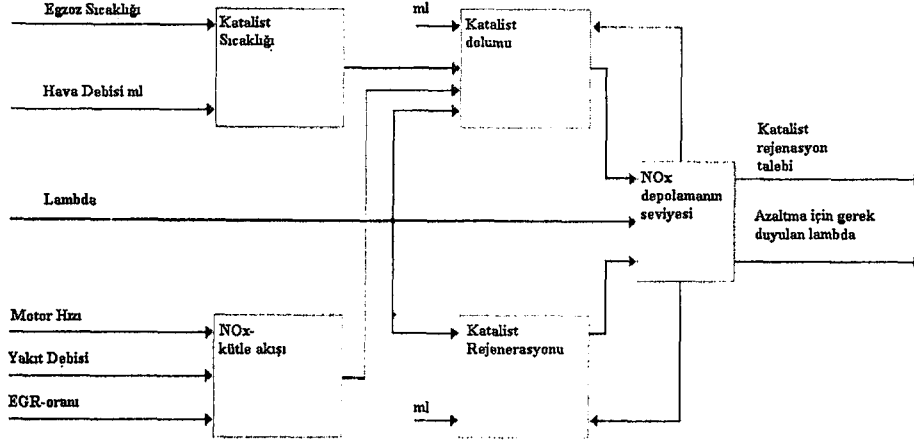
Egzoz sisteminde 3 sensörlü bir kavram yasal emisyon sınırlarını karşılamak için optimum motor çalışmasını, ön ve ana katalistin hata tespitini sağlar. Bir geçiş karakteristikli LSF oksijen sensörü, LSU geniş band oksijen sensörü için kalibrasyon sensörü olarak ve ana katalistin NOx ve O<sub>2</sub> depolama yeteneğinin hata tespiti için kullanılır. Sıcaklık sensörü, ön katalistin hata tespiti ve bir egzoz gazı sıcaklık modeli vasıtasıyla NOx katalist sıcaklığını belirlemek için kullanılır. LSU geniş band oksijen sensörünün sinyali farklı fonksiyonlar için kullanılır. Homojen fakir çalışma için gerekli  $\lambda$  LSU ile kontrol edilebilir. Gerçek tork izleme için motor hava akışından ve fakir karışımda oksijen sensörü sinyalinden belirlenebilir. LSU sinyali karbon tasfiye kutu sisteminin adaptasyonu için, tekrar sirküle edilen egzoz gazındaki



Şekil 3.9 Benzinli direkt püskürtmeli motorun egzoz sistemi

taze hava miktarını belirlemek için ve NOx depolama yeteneğinin hatasını tespit etmek için kullanılır.

Şekil 3.10 katalist depolama kontrolünün fonksiyonel prensibini gösterir. NOx katalist sıcaklığı, modelin bir parçası içinde sıcaklık sensör sinyalinden ve motor hava akışından hesaplanır. NOx kütle akışı modelin başka parçası içinde motor devrinden, yakıt külesinden ve EGR oranından hesaplanır.

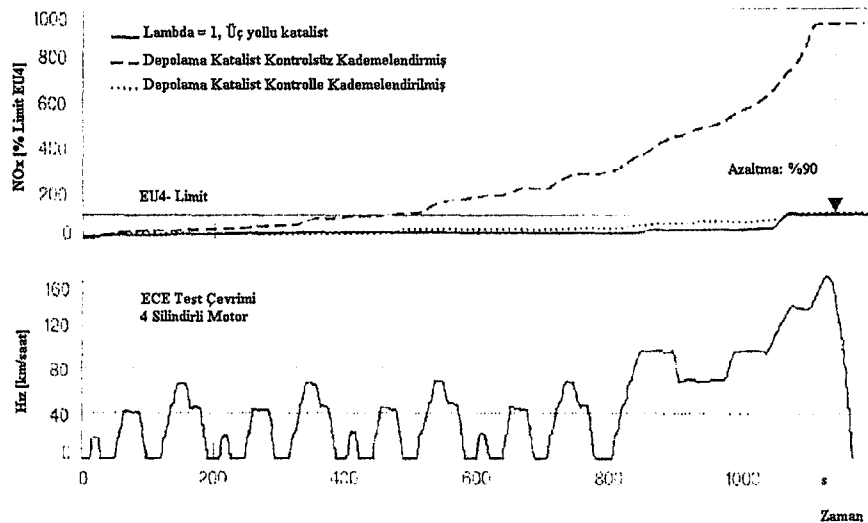


Şekil 3.10 NOx-Depolama katalistinin kontrolü

NOx kütle akışı modelin başka bir parçası içinde motor devrinden, yakıt kütlesinden ve EGR oranından hesaplanır. NOx kütle akışından ve taze emiş havasından katalist depolama yükü belirlenir. Katalist rejenerasyonunda NOx yükü azaltımı “katalist rejenerasyonu” alt-fonksiyonu içinde hesaplanır. NOx katalist gerçek seviyesi ve kalan depolama yeteneği bu iki hesaptan dolayı bilinir. Gerçek lambda’ dan karar verilir ki , eğer katalist dolup veya boşalıyorsa algoritma kullanılır.

Eğer depolama yeteneği bir eşiğin altında ise, rejenerasyon belli bir lambda için talep ile başlatılır. Gerçekleştirme, kademeliden homojen moda veya homojenden kademeli moda geçiş fonksiyonelliği ile yapılır.

NOx katalist depolama yeteneğinin modellenmesi katalist depolama kontrolünün kalitesini belirler. Şekil 3.11’ de 4 silindri GDI motorun üç test sonucun karşılaştırması gösterilmektedir. MVEG-testin sadece  $\lambda=1$  homojen çalışma modunda tam sürülmesinde %95 EU4-limit NOx emisyonuna götürür.



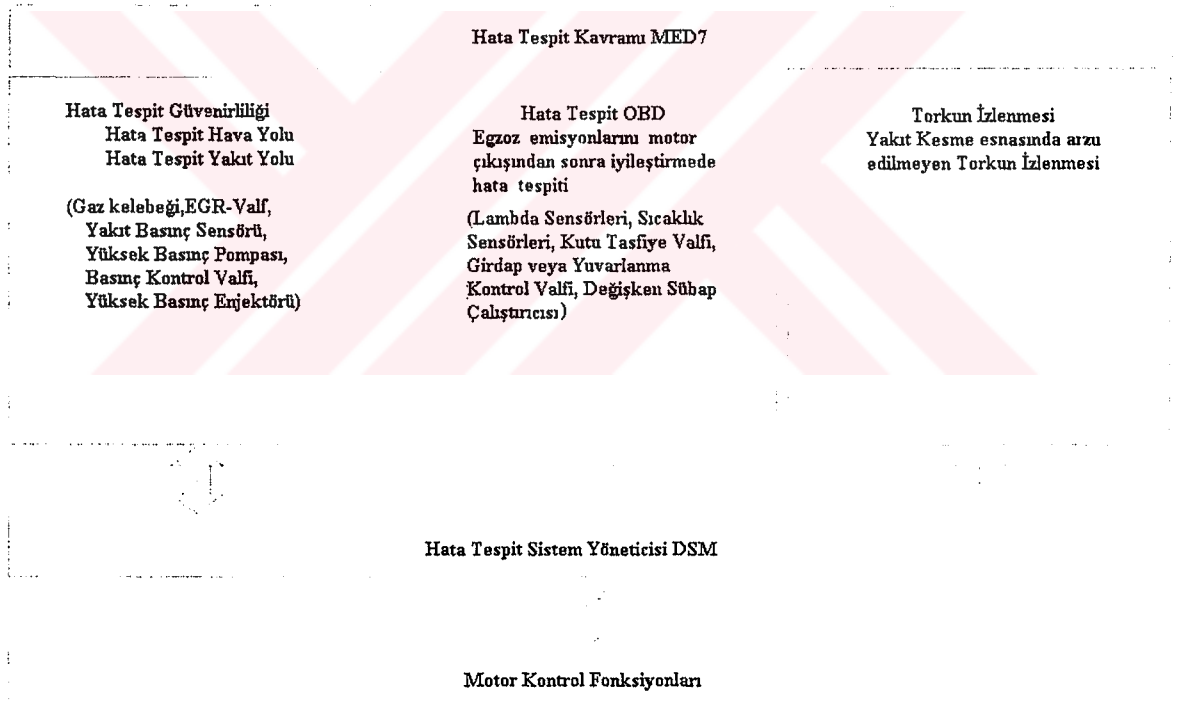
Şekil 3.11 NOx-Azaltmanın test sonuçları

Kademeli mod ile çalıştırılan sürüşte (fakat katalist depolaması kontrolsüz) yaklaşık olarak %1000 EUIV limit NO<sub>x</sub> emisyonları ile sonuçlanır. Şu anda sunulan katalist depolama kontrolünün kullanımını gelişmenin bu safhasında sadece %100 EUIV-limit NO<sub>x</sub> e bir azaltma sunar.

Yaklaşık olarak ortalama %90 NO<sub>x</sub> dönüşümü EUIII limitlerini yerine getirmek için yeterlidir. Daha ileri iyi bir katalist ayarlaması, kontrol stratejisi ve yanma ile EUIV limitlerini karşılamak yeterli mühendislik payı ile umut verici görülmektedir (Moser,1999).

### 3.8 Hata Teşhis Kavramı

Benzinli direkt püskürtme tanımlanan performansı sağlamak için daha fazla sensör ve çalıştırıcıya ihtiyaç duymasından dolayı hata teşhis fonksiyonların miktarı artar. Şekil 3.12' de farklı hata teşhis alanlarını kapsayan MED7 hata teşhis kavramının genel bir bakışını vermektedir.



Şekil 3.12 Hata tespit kavramı MED7, genel bakış

İlk alan en yüksek güvenirliliği sağlamak için yapılması gereken bütün hata teşhislerini kastetmektedir. Bu sadece hava kütlesi kontrolü için değil hemde yakıt kütlesi kontrolü içinde bütün sensör ve çalıştırıcıları kapsar, her iki yolda direkt olarak sırasıyla homojen ve kademeli çalışma modunu etkilemesine sebep olur.

Bu yüzden bu hata teşhis alanı elektronik gaz kelebeği, EGR valfi, yakıt basınç sensörü, yüksek basınç pompası, yüksek basınç enjektörü ve basınç kontrol valfi parçalarını kaplar.

Her parça için bir güç devresi hata tespiti veya bir sinyal aralık kontrolü sensörler ve makul bir kontrol için kullanılır. Ateşlememe ve motor düzensizlik saptaması gibi diğer fonksiyonlar kesin hata tanımını yapmak için ilave bilgi gibi kullanılırlar.

İkinci alan bütün OBD ve EOBD gereksinimlerini karşılamak için yapılması gereken bütün hata teşhisleri kasteder. Motor sonrası egzoz emisyonlarını iyileştirme ile ilgili olan bütün parça ve fonksiyonların hata teşhisi yapılmak zorundadır. Sensörler için bir güç devresi hata teşhisi veya bir sinyal aralık kontrolü daha önce tanımlandığı gibi zorunludur. Emisyonla ilgili parçalar LSU ve LSF oksijen sensörleri, karbon kutu tahliye valfi, bir girdap veya yuvarlanma kontrol valfi, değişken sübap zamanlama çalıştırıcısı ve EGR valfidir.

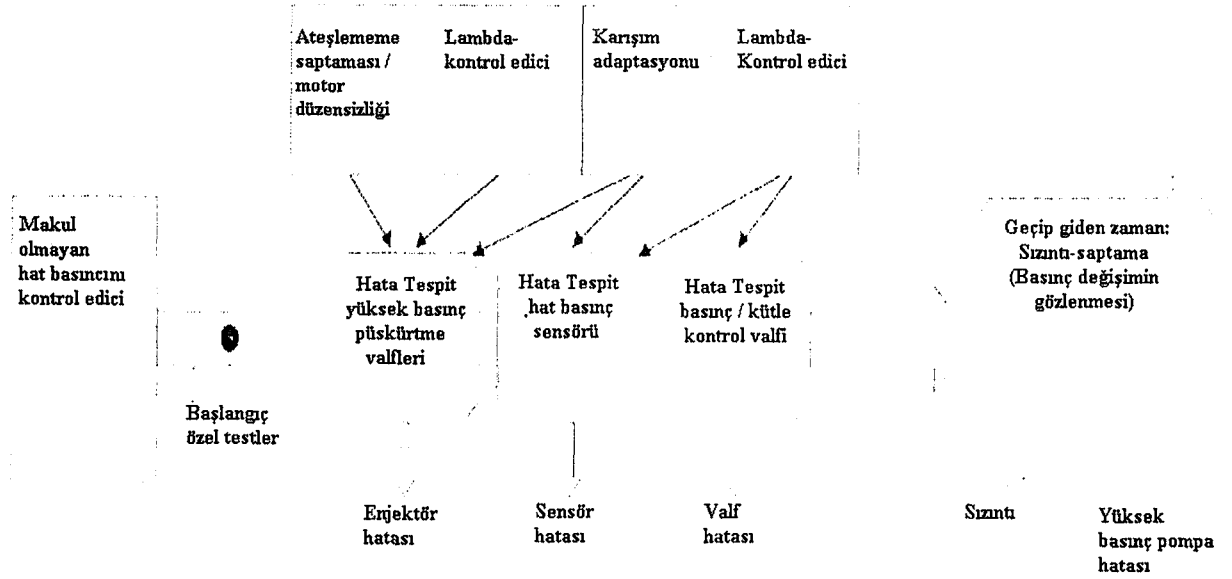
Üçüncü alan arzu edilmeyen yüksek torkun saptanması için tork izlenimidir. Belirtilen porta püskürtmeli motorlar için ME7 kavramı hava kütle sensörü ve LSF lambda-sensörünün sinyallerinden hesaplanan bir tork ile gaz pedalı pozisyonunun bir kıyaslanmasıyla arzu edilmeyen yüksek bir torku saptar. Kademeli çalışma esnasında tork yakıt kütesine bağlıdır ve hava kütle sensörünün sinyali bir torku göstermez.

Geniş band oksijen sensörünün kullanımı artan hava/yakıt oranıyla yüksek toleranslardan dolayı sınırlandırılmıştır. Dizel motorların kontrolünden bilinen yakıt kesimi için kullanılan bir kavram kıvılcım ateşlemeli SI motorlarda kademeli çalışma için yeterlidir. Arzu edilmeyen tork durumunda, sürücü tork talebi sıfır olacaktır ve yukarıda anlatılan ME7 tork izleme kavramı çalışıyor olan homojen çalışma içine bir geçişle yakıt kesimi olur.

Bu üç alan MED7 hata teşhis kavramı ile birlikte bağlantılıdır. Bazı hata teşhis fonksiyonları OBD gereksinimleri için bu fonksiyonları yönetenen, koordine eden ve tasarlayan DSM hata teşhis sistem yöneticisine bağlıdır. Sağlama almak için motor ve hata teşhis fonksiyonları arasında arzu edilmeyen etkileşimler gözükmez, bazı motor kontrol fonksiyonlarında DSM' e bağlanmıştır. DSM, hataları kontrol altında tutma ve depolamayı da içine alır.

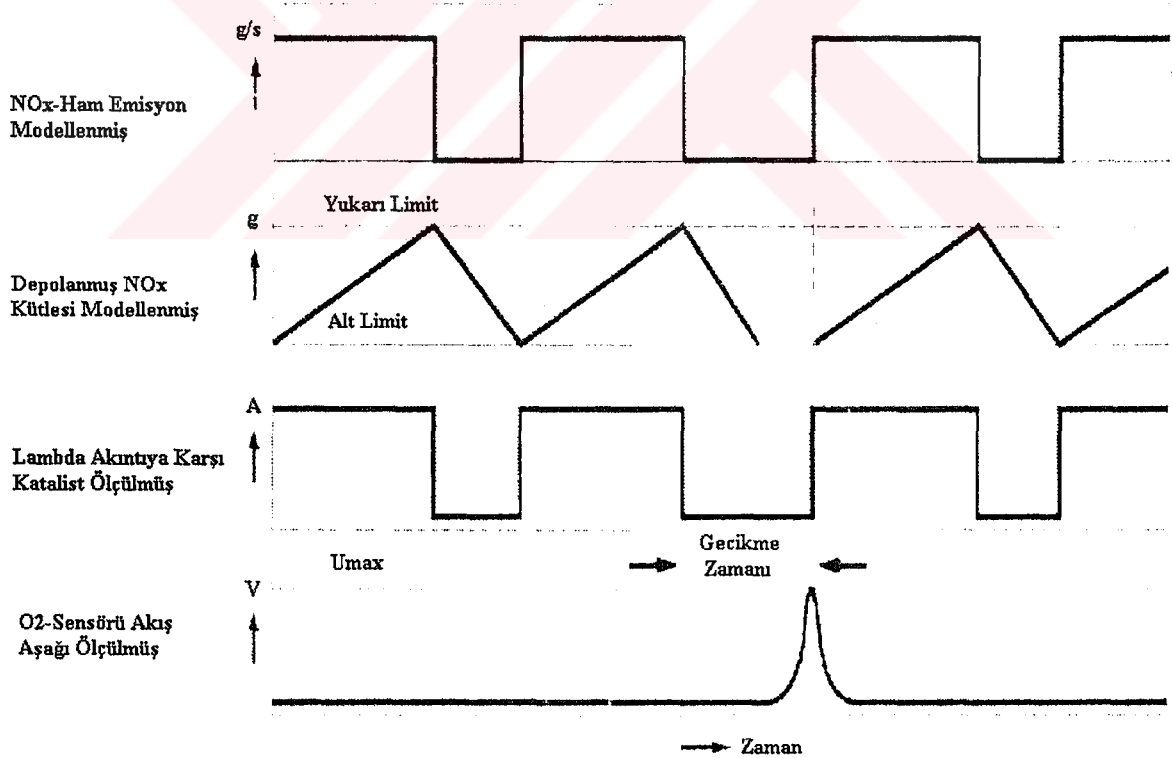
Şekil 3.13' de yüksek basınç yakıt sisteminin parça hatalarını saptamak için hata teşhis çevrimini gösteren bir akış diagramı görülmektedir. Eğer hat basınç kontrolcüsü makul değilse başta global bir sistem hatası saptanacaktır. Motor düzensizlik ve ateşlememe saptaması, lambda kontrolleri ve karışım adaptasyonundan bilgi ile dört bireysel kontroller kesin bir parça hata saptamayı mümkün kılar.

Ana katalistin NOx dönüşümü hata teşhisi, bir maliyet-effektifli (LSF) 2-noktalı O<sub>2</sub> – sensör ile yapılır. Seçilebilir fakir/zengin çevrimlerden sonra aşağı akışlı 2-noktalı O<sub>2</sub> –sensörü Şekil 3.14' de gösterildiği gibi fakirden zengine geçişi gösterene kadar NOx katalist depolamanın



Şekil 3.13 Yüksek basınç yakıt sistemi için hata tespit çevrim planı

model-destekli zengin rejenerasyonu genişletilecektir. Toplam rejenerasyon zamanından, I- değeri ve doğal emişli hava kütlesi bilindiği zaman, toplam NO<sub>x</sub> ve O<sub>2</sub> depolama kapasitesi saptanması mümkündür.



Şekil 3.14 O<sub>2</sub>-Sensörlü (LSF) NO<sub>x</sub> Katalistin İzlenmesi.

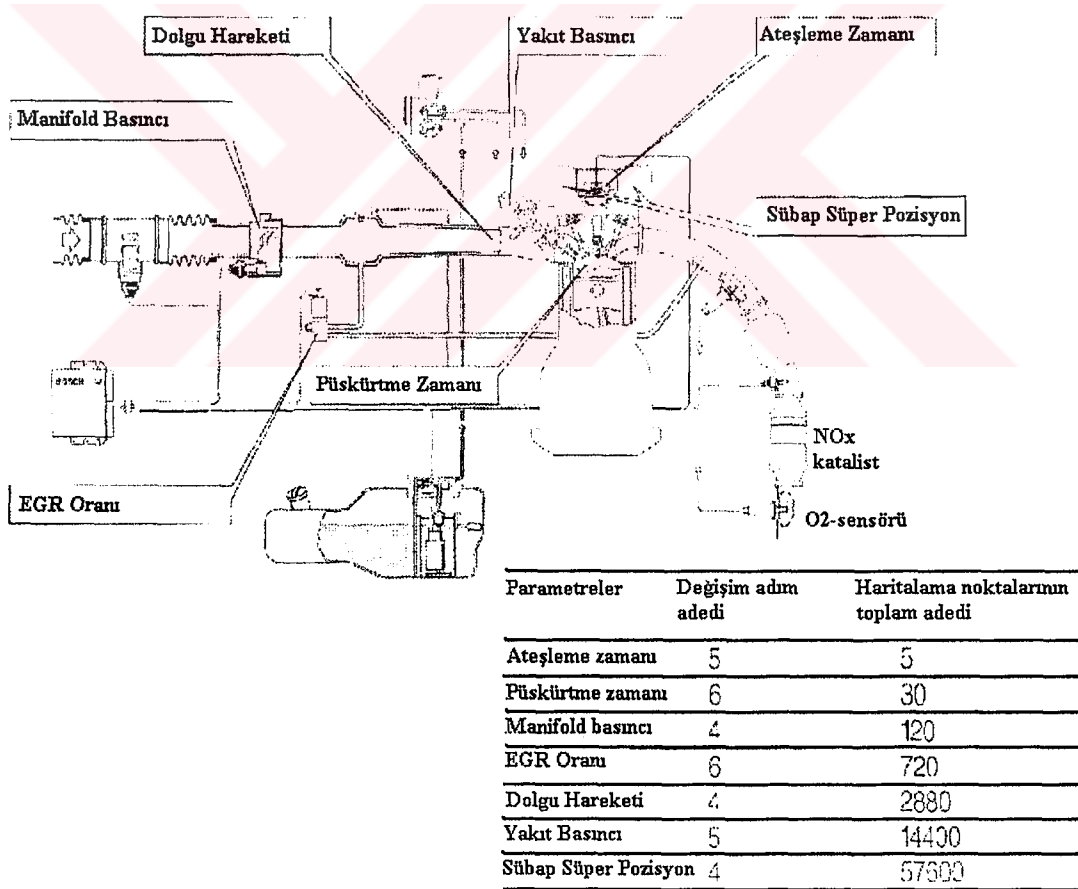
Belirlenmiş katalist kaplama ile, mevcut NO<sub>x</sub> depolama kapasitesi ve bu toplam ölçülen depolama kapasitesi arasında bir bağlantı varsaymak mümkündür. Bu varsayım katalitik motor çıkış sonrası egzoz emisyonlarını iyileştirme sistemi içinde NO<sub>x</sub> ve O<sub>2</sub> depolama

malzemesinin üniform yaşlanması üzerine dayalıdır. Bu yolla NO<sub>x</sub> depolama malzemesinde sülfür zehirlenmesine veya termal zarara sebep olan herhangi bir değişiklikleri gözlemek mümkündür. Toplam depolama kapasitesinde dayanılmaz bir azalma olması halinde, sülfür rejenerasyonu yapılmalıdır.

Eğer tüm depolama kapasitesi birkaç sülfür jenerasyon denemesinden sonra dahi tekrardan depolanamazsa, sonra kesin yaşlanma farz edilmelidir. Bu arıza gösterge ışığını açacaktır. Yukarıdan aşağıya limitleri belirlemeyi mümkün kılan toplam depolama kapasitesindeki azaltma zamana ters sürekli bir prosestir (Kuesell, 1999).

### 3.9 Kalibrasyon Prosedürleri

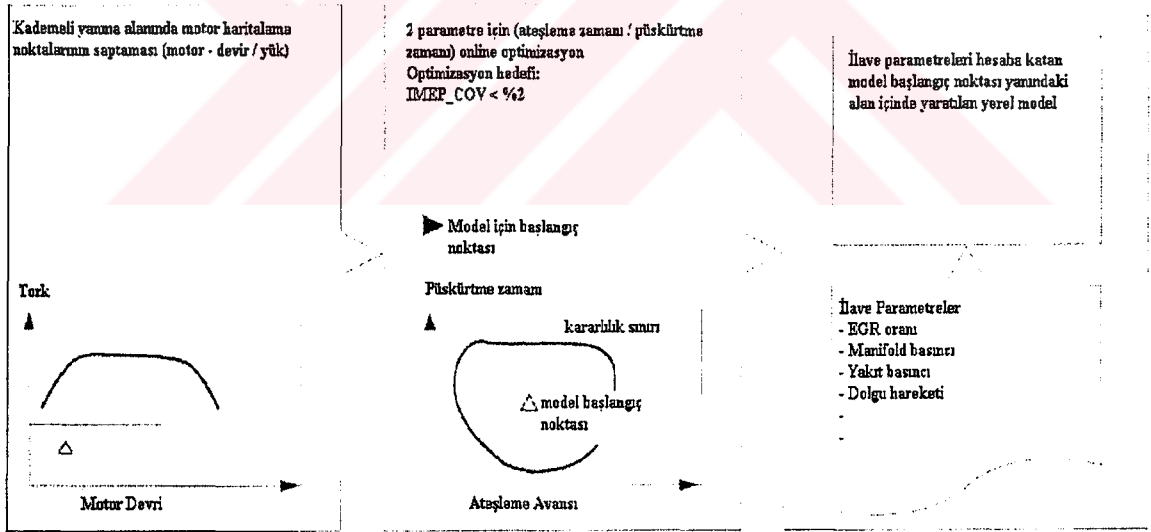
Yeni kalibrasyon methodu için maksat – Kademeli yanma modunda, bir GDI motorun set-up'ı en az 7 parametreye bağlıdır ( Şekil 3.15). Verilmiş en uygun bir hedefe erişebilmek için (örnek maksimum dayanılabilir HC ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında minimum özgül yakıt tüketimi)



Şekil 3.15 Kademeli yanma modunda bir motor çalışma noktası için kalibrasyon parametreleri.

motor davranışı hakkında bütün bilgilere sahip olmak için basamak basamak bütün parametrelerin değiştirilmesi gerekir. Her bir parametrenin değişme basamaklarının tipik miktarı düşünülünce, 57600 gibi çok büyük çalışma noktası tek bir rev/yükleme noktası için ayarlanmış ve ölçülmüş olacaktır. Bu bir sebebe dayanır ki bu, bütün mümkün parametre kombinasyonları ayarlanan ve ölçülen bu kalibrasyon prosedürü hızlı ve efektif maliyetli bir motor aplikasyonunun gereksinimlerini karşılamaz.

Kalibrasyon gereksinimlerinin belirlenmesi– Mühendislik hedefi çok yüksek bir seviyede kalibrasyon kalitesini muhafaza ederek, motor kalibrasyonunda harcanan zamanı azaltmak için ölçüm noktalarının miktarını azaltmaktır. Bu hedefi karşılamamanın bir imkanı motor davranışını modellemek ve Deneylelerin Dizaynı ve Analizindeki methodu kullanmaktır. Bu prosedür bir GDI motorun kademeli yanma modunun kalibrasyon prosesi esnasında başarılı bir şekilde geliştirildi ve test edildi. Bu yöntem Şekil 3.16' da gösterilmiştir. 1. basamak tur/yükleme harita çıkarma noktalarının belirlenmesi ve makul sabitlenmiş değerlere bütün diğer parametreleri set ederken ateşleme zamanını ve püskürtmeyi aşağı yukarı kalibre ederek bu noktalarda sabit bir motor çalışmasını (örneğin IMEP\_COV < %2) sağlama almaktadır. Bu kalibrasyon bir dino optimizasyon yazılımı ile otomatik olarak yapılır.



Şekil 3.16 Kademeli yanma modunda dino optimizasyonu

2. basamak 1. basamağın dışında optimize edilmiş noktanın yanında etkileşimlerle lokal bir dördüncü dereceden model yaratıyor. Lokal bir model daha fazla tam bir yanıt ve matematiksel tanımların avantajına sahip olmak için seçilmiştir.

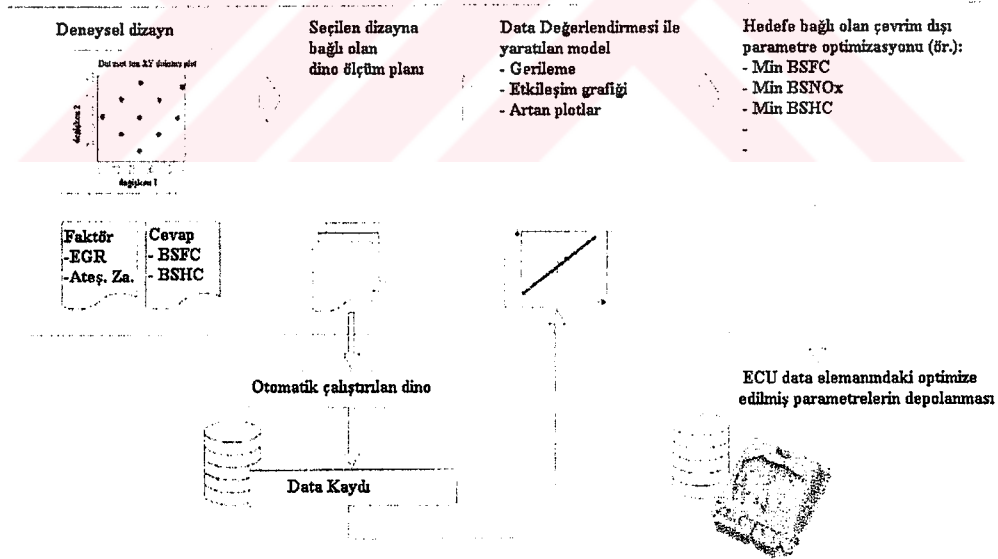
Modelin dışında motor yanıtlarının hesaplanması– Dino ölçüm tasarlanması seçilmiş deneysel model dizaynı ve bu dizaynın belirlenmiş faktörler ve yanıtların dışında hesaplanır (Şekil 3.17).

Ölçüm tasarlaması otomatik olarak sürülen motor yanıtlarını veren bir dino üstünde çalışır. Sonra, bir motor modeli ölçülmüş motor yanıtlarının değerlendirilmesi ile yaratılır. Bir hat dışı data optimizasyon aleti kullanarak, kademeli yanma prosesini kontrol eden ECU içindeki bütün gerekli data motor modeli dışında hesaplanabilir. Hesaplanmış data direkt olarak ECU içine depolanabilir.

Kalibrasyon sonuçları seçilmiş kalibrasyon prosedürü bir motor çalışma noktası için yaklaşık 100 ölçüme kadar önemli bir şekilde çabayı azaltır. Hemde, motor faktörleri ve yanıtları arasında bütün ilgili etkileşimler kompleks motor davranışını daha iyi anlama için grafiksel bir şekilde değerlendirilebilir (Şekil 3.18).

Dino üstünde tekrar ölçümlerle kontrol edilen modelin doğruluğu, en önemli motor yanıtlarına yeterlidir (Kuesell, 1999).

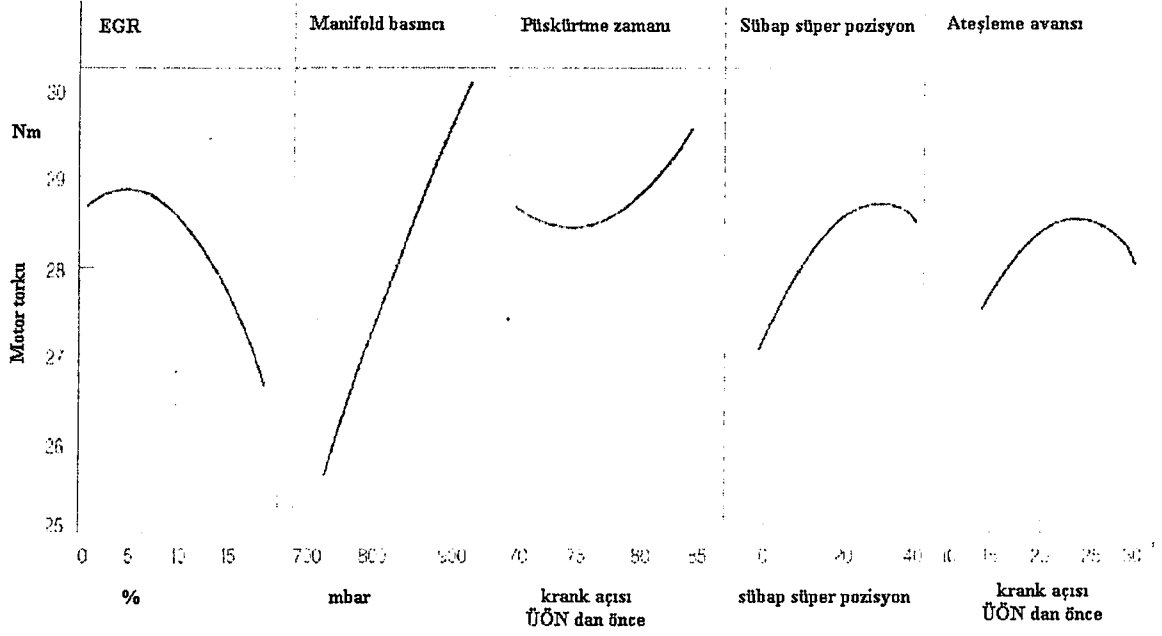
- . BSFC: +-%2
- . Tork: +-%2
- . BSHC: +-%8
- . BSNO<sub>x</sub>: +-%8



Şekil 3.17 Kademeli yanma modunda motor yanıtlarının modellenmesi

### 3.10 Sonuç Ve Öneriler

Benzini direkt püskürtme, benzinli motorlar için püskürtme teknolojisinin gelişmesinde önemli bir basamaktır. Motor kontrolündeki yüksek gereksinimler mikro elektronik ve yazılım tekniklerindeki ilerleme ile gerçekleştirilebilir.



Şekil 3.18 Etkileşim diyagramları

Gelecekte çok sıkı egzoz emisyon standartlarına Avrupa'da başvurulacaktır. Fakir çalıştırmalı direkt püskürtme motorunun üretimi için kilit bu yüzden fakir egzoz gazı içindeki NOx iyileştirmesinin katalist teknolojisi gelişimi ile yapılmasıdır. Yakında, umut verici gelişim bu alanda gözlenebilir. Bu gibi bir katalistin kullanımı için ön şart, benzin içindeki sülfür bileşiğinin belirgin azaltılmasıdır.

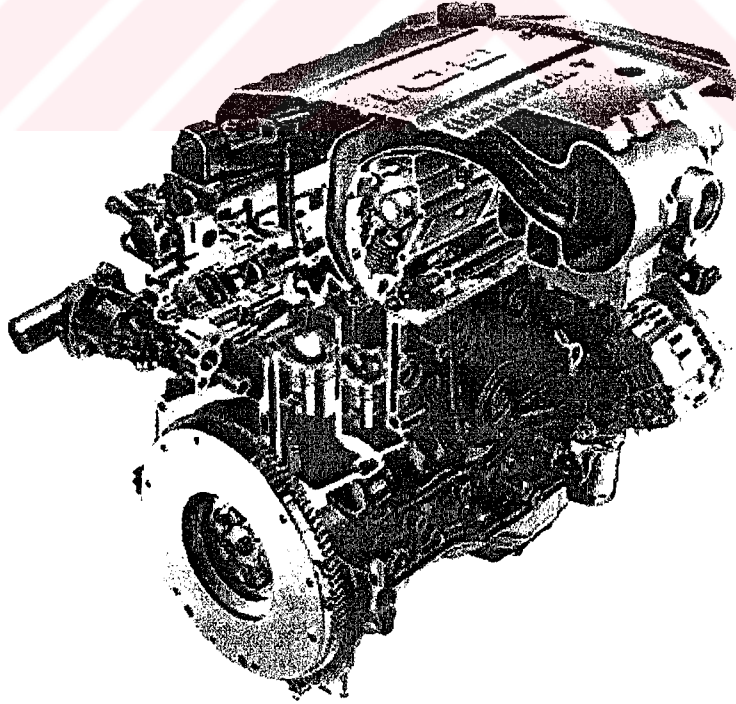
Birçok değişken çalışma parametreleri bütün çalışma şartları altında sistemin optimizasyonu ve uygulaması hakkında büyük bir mücadeleye davet çıkarır. Deneylerin Dizaynı ve Analizi'ne dayalı bir kalibrasyon prosedürü önemli bir şekilde kalibrasyon zamanını azaltabilir ve kalibrasyon kalitesini düzeltebilir. Modern direkt püskürtmeli benzinli motorların gelişimi henüz çok yenidir. İlk basamakta, yakıt ekonomisindeki %15-20 lik bir ilerlemeye erişilebilir. Daha ileri bir gelişme motor geliştiricilerin,EMS imalatçıların ve katalist üreticilerin ortak çabasıyla mümkündür.

#### 4. MITSUBISHI GDI SİSTEMİNİN ÖZETİ VE MPI MOTORLA KIYASLANMASI

##### 4.1 GDI Sistemi

Bilindiği gibi eğer dizel gibi çalışan benzinli bir motor yapılırsa bir başka deyişle, benzinin direkt olarak silindirin içine enjekte edilmesi ve yoğun karışımın bujinin hemen yanında tutuşması sağlansa hem dizel motorun yakıt verimine hem de geleneksel benzinli bir motorun yüksek verimine ulaşılabilir. Her nasılsa böyle bir gelişim benzinin zayıf yanabilirliğiyle engellendi. Dizel motorlar termodinamik bir ateşleme düzeninde çalışırlar, bu da yeterli ısıya ulaşıldığında hava-yakıt karışımının durumu ne olursa olsun eksiksiz bir tutuşma olacaktır demektir. Benzinle yanmayı sağlamak için, buharlaşmış yakıtın ve havanın doğru yakıt / hava formunda karışması gereklidir ve buji elektrodları arasındaki kısıtlı alana doğru dağılımın ateşlemenin zamanında olmasını kesinleştirmek için hava / yakıt karışımının pozisyonunun ve zamanlamasının tam kontrolü gerekmektedir.

Mitsubishi Motors'un Mayıs 1996'da ilk defa satışa sunulduğu Mitsubishi Gasoline Direct Injection GDI Engine adı verdiği silindir içerisine direkt benzin püskürtmeli motoru bu beklentilere ulaşmak amacıyla geliştirildi. Bu motor üzerinde uygulanan birçok yenilikle yakıt / hava oranını 1/40'a kadar indirilmiştir.



Şekil 4.1 Mitsubishi GDI motoru

Yeni motora düşük yakıt tüketimi ve yüksek güç sağlayan yenilikler arasında silindire giden hava akışını kontrol eden dik ve düz emme manifoldu, yanma davranışını kontrol eden eğimli

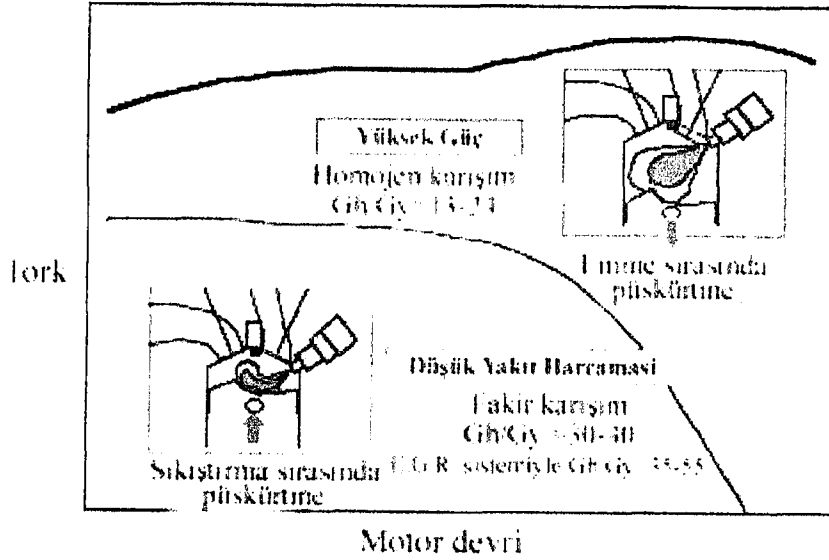
piston başı, en uygun yalın yanma özelliklerine ulaşmak için yakıtı gerekli yüksek basınçta doğrudan silindirlerin içine püskürten yüksek basınçlı yakıt pompası, silindir içerisindeki yakıtı döndürme hareketi veren yüksek basınçlı enjektörleri sayabiliriz. Püskürtme işlemi silindir içerisine olacağından püskürtme basıncının çok yüksek olması gerekiyor. Bu özellik GDI motorunun dizel motorlara benzemesine sebep oluyor. Ancak benzin dizel motorlarda kullanılan yakıttan daha ince olduğundan, yüksek basınçlı enjektörler yakıt hüzmesi etkili ve verimli bir şekilde atomize olmasını ve yayılmasını sağlıyor.

#### 4.1.1 Sistemin Ana Kuramları

##### 4.1.1.1 İki Tip Yakıt Karışımının Sağlanması

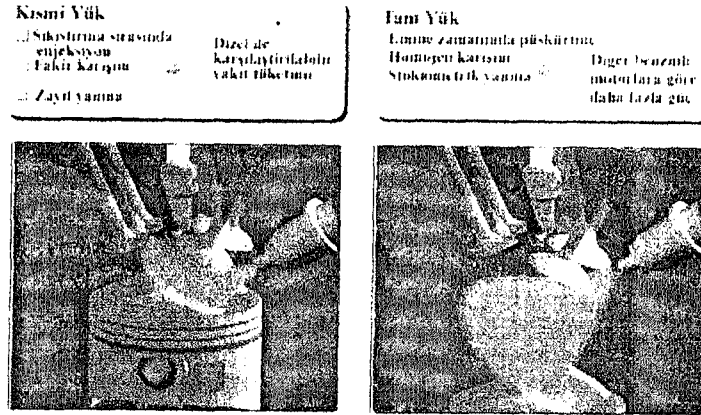
Sürüş koşulları sonucunda, GDI motor iki alternatif özel yanma şekli arasında yakıt püskürtme zamanlamasını değiştirir. Bunlar; ekonomikleştirilmiş dolgu (fakir karışım) ve homojen dolgudur (yüksek performanslı yanma).

Normal sürüş koşullarında hız sabitken, ani bir hızlanmaya gerek yokken GDI motoru aşırı fakir karışım modunu kullanır. Bu stratejisini araç 120 km/h hızına ulaşmaya kadar sürdürür. Motor ani hızlanmalara adapte olarak stratejisini değiştirebilir. Sıkıştırma stroğunda püskürtülmüş benzin piston üst yüzeyine püskürtülüyor, tam bujilerin altında en iyi derecede ekonomik hava/yakıt karışımıyla sonuçlanıyor. Bu mod zayıf yanmayı ve dizel motorlarla karşılaştırılabilir bir yanma verimi sağlıyor.



Şekil 4.2 Karışım tiplerine göre elde edilen torklar

Araç hızlandığı zaman GDI motoru daha fazla güce ihtiyaç duyduğundan otomatik olarak yüksek performans moduna geçiyor. Benzin homojen karışım yapmak üzere karıştığı silindirin içine piston emme stroğundayken enjekte ediliyor. Homojen karışım geleneksel MPI motordakine benziyor, ama GDI'ın kendine özgü özelliklerini sayesinde geleneksel benzinli motorunkinden daha iyi bir güç elde etmesini sağlıyor (Preussner, 1998).

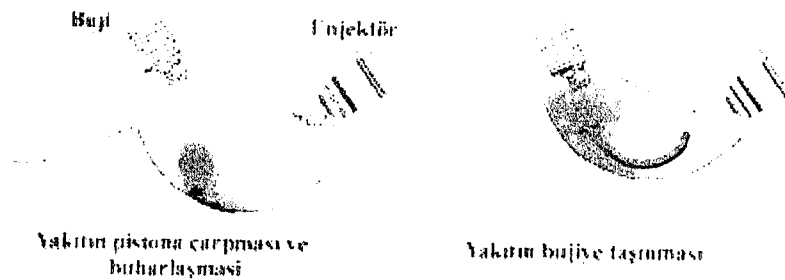


Şekil 4.3 Karışım tiplerinin oluşumundaki yakıt hüzmeleri

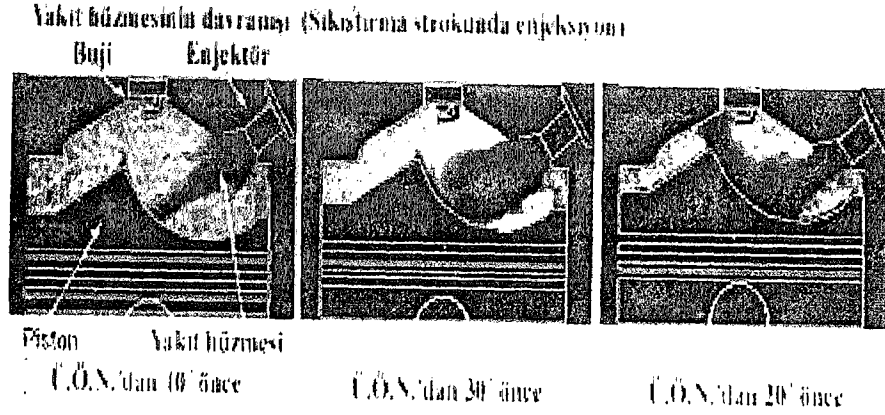
#### 4.1.1.2 Hassas Hava-Yakıt Karışımı

GDI motorun hava/yakıt karışımını tam olarak kontrol etmesi “geniş alan” adındaki yeni bir kavram sayesinde oluyor, öyle ki püskürtme sonucu oluşan yakıt hüzmeleri geleneksel bir benzinli motordan daha uzakta meydana geliyor, bu da buharlaşmış yakıtın ve havanın optimum karışımını sağlamak için geniş bir alan sağlıyor.

Fakir karışım modunda, sıkıştırma stroğunun son safhasında bujilerden çok piston üst yüzeyine doğru benzin püskürtülür. Yakıt hüzmelerinin hareketi, hüzmelerin piston üst yüzeyinden sapmasına ve silindirin içindeki hava akımı yakıt hüzmelerinin buharlaşmasına ve dağılmasına neden oluyor. Bu karışım olayından sonra hava ve buharlaşan yakıt karışımı ateşleme için bujilere taşınıyor. Bu sistemin en büyük avantajı yanma sırasında bujilerde hava-yakıt oranının tam olarak kontrol edilmesini olanaklı kılmak.

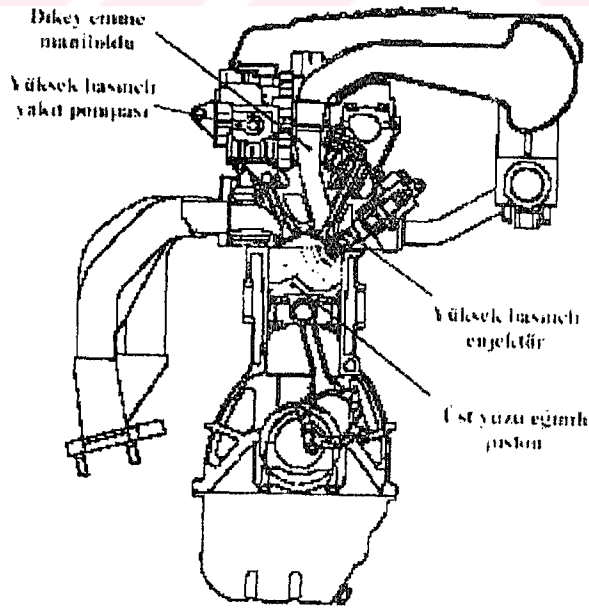


Şekil 4.4 Yakıtın buharlaşması ve buji önüne taşınması



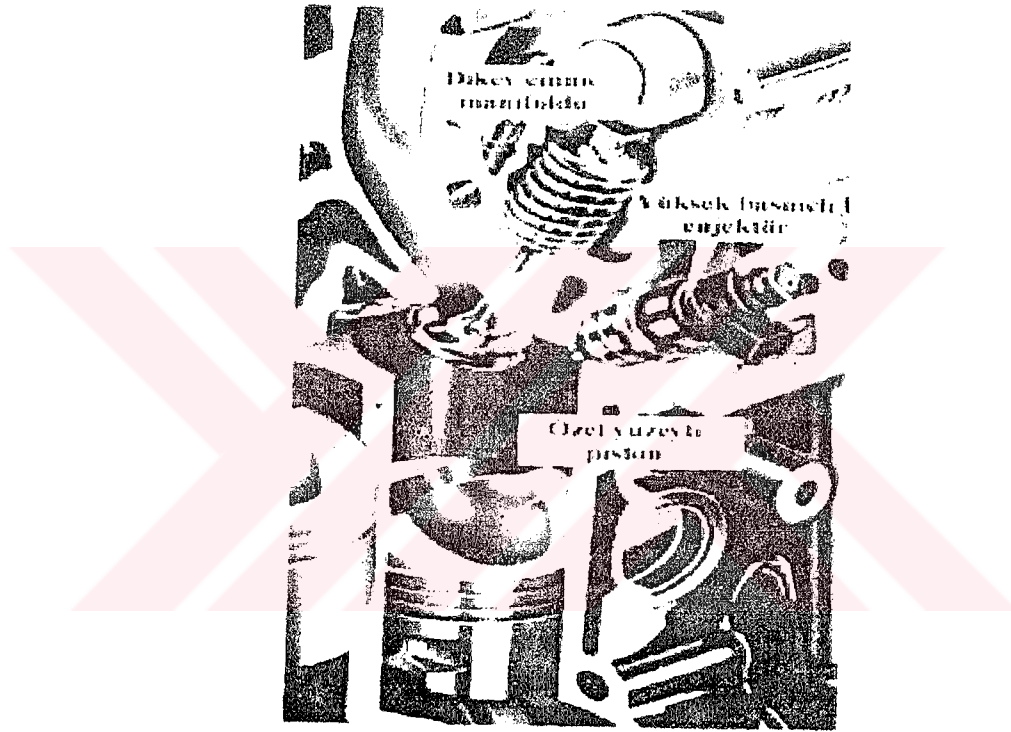
Şekil 4.5 Schlieren fotoğraf metoduyla çekilen yakıt hareketi

Hava/yakıt karışımını bujilere taşımak için üç yeni teknik özellik geliştirilmiştir. GDI motorun emme manifoldu hava ve yakıtın karışımını kolaylaştıran güçlü giriş için düz ve dik yapılmıştır. Günümüzde kullanılan püskürtmeli motorlarda hava yakıt ile karışmış olarak girmektedir ve silindir içerisinde homojen bir karışım olmaz. Çünkü püskürtme süresi ile emme süresi aynı değildir. Böyle bir durumda emme kesitinden geçen karışımın bir kısmında saf hava bir kısmında yoğun yakıt içeren hava olur. İyi bir yanmanın sağlanabilmesi için ise homojen bir karışım elde edilmelidir. Bu ateşleme esnasında buji önünde iyi kalite bir karışım olmasını garanti eder. Kullanılan bir çok motorda emme manifoldu yatay yada yataya yakındır. Silindir içerisinde hava akımı yaratılması için manifoldda bazı stratejik dizaynlara ihtiyaç vardır. Bu dizayn silindir içerisinde silindir eksenine göre bir akım yaratır.



Şekil 4.6 Dikey emme manifoldunun görüldüğü motor diyagramı

GDI motorunda bu tür bir türbülansa ihtiyaç yoktur. Çünkü yakıt hava ile silindir içerisinde karışır. Ancak iyi bir karışım için yine hava akımına ihtiyaç vardır. Bu motorda hava hareketi piston üst yüzeyinin dizaynı ile sağlanır. Böylece manifold düz yapılabilmektedir. Hava manifoldta çok az dönüşle silindire ulaşır. Boru içinde akan bir akışkan dönüşlerle karşılaştıkça akışkanın bünyesinde türbülans oluşmaya başlar. Türbülanslı akışkana enerji kaybettirir. Yani akışa karşı direnç oluşur. Artan sürtünmeler akışkanı yavaşlatır. Akışkan hızı arttıkça sürtünmeler hızın karesi ile doğru orantılı artar. Bu durumda volümetrik verim düşecektir. Volümetrik verimin düşük olması silindire alınabilecek dolguyu azaltır. Dolayısı ile motorun gücünde düşecektir.

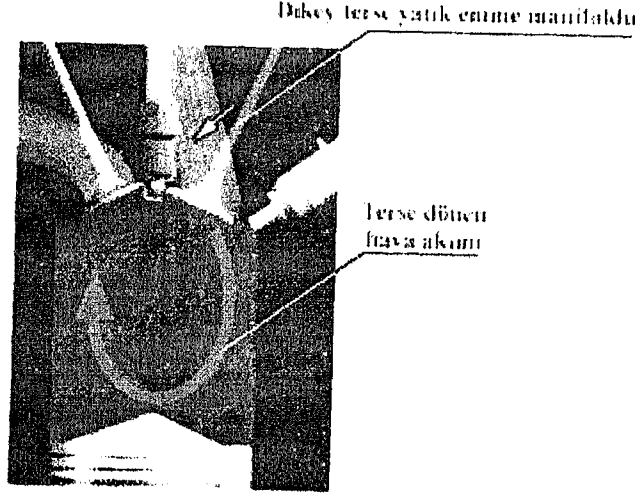


Şekil 4.7 Silindir üst kısmı ve elemanları

Hava yumuşak bir şekilde ve direk emme manifoldundan silindire akıyor, piston üst yüzü onu tekrar yönlendiriyor ters ve dikey yuvarlanan bir akıma zorluyor. Bu silindir içi hareket hava ve yakıtı karıştırma ve karışımı bujilere yönlendirmede etkili oluyor.

GDI motor pistonlarının en önemli özelliği eğik üst yüzeyleri. Emme manifoldundan silindire eksene dik olarak giren hava silindir çeperine çarpar ve piston üst yüzeyinin oyuğundan girdiği tarafın tersine doğru hareketlenir. Bu durum havada yatay merkezli bir dönüş hareketi başlatır. Böylece karışım için gerekli hava akımı dirençsiz bir şekilde yaratılmış olur. Püskürtmeden sonra buharlaşan yakıtı bujilere taşıyan bir türbülans oluşur.

Yüksek basınçlı türbülanslı enjektörler, yakıt hüzmesine yüksek hızda dönen bir hareket vermek için, yüksek bir püskürtme açısına sahip, yayılmış, iyi bir biçimde atomize olmuş yakıt hüzmeleri için kullanılırlar. Dönen havayla eksiksiz olarak karışma kabiliyetine ek



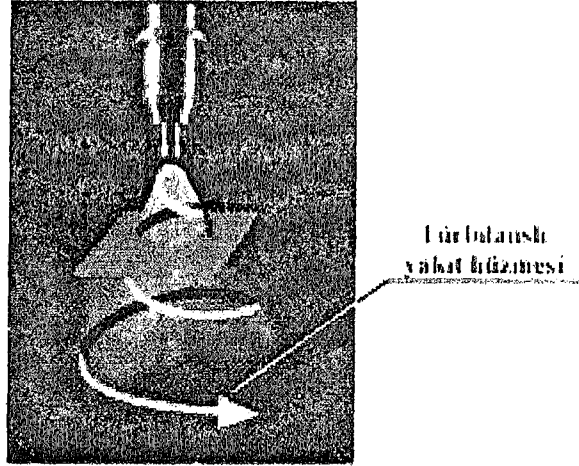
Şekil 4.8 Silindir içi hava akımı

olarak, yakıt hüzmeleri kolaylıkla silindir duvarını ve piston üst yüzeyini ıslatmaz. Homojen yanmada, yakıt, piston A.Ö.N'ya doğru aşağı inerken; emme stroğunda püskürtülüyor, hava akımına doğru buharlaşarak pistonu aşağı doğru izliyor. Bu durumda önemli olan püskürtme zamanlamasıdır. Püskürtme için optimum zamanlamayı seçerek benzin hüzmeleri pistonun hareketini izliyor ama piston üst yüzeyine çarpmıyor. Bu durumda, piston aşağı doğru hareket ettiğinde ve silindirin iç hacmi genişlediğinde benzin hüzmeleri genişçe yayılır ve homojen olarak karışımı sağlar.



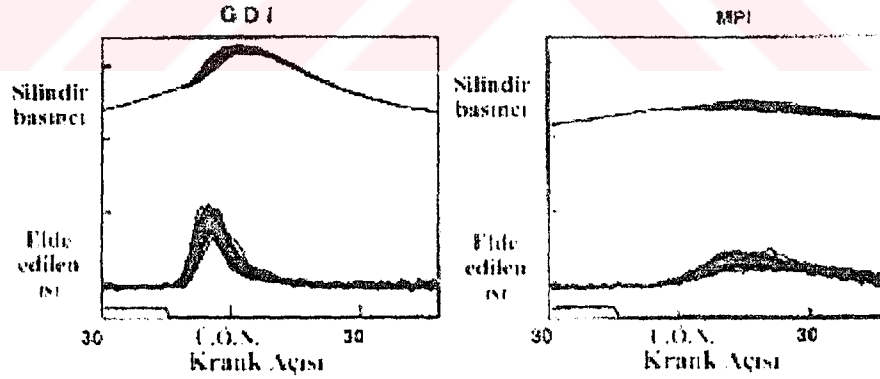
Şekil 4.9 Özel şekillendirilmiş piston üst yüzeyi

GDI motorun aşırı fakir karışımın yakabilmesi yukarıda açıklanan faktörlerin bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır. Genelde kullanılan MPI motorlarda, yanma karakteristiğindeki büyük değişimlerden dolayı karışım fakirliğini kısıtlıdır. Bununla birlikte GDI motorun stratejik karışımı sayesinde yanma kalitesini bozmadan aşırı fakir karışımlara ulaşılmaktadır.



Şekil 4.10 Yüksek basınçlı türbülanslı püskürtme

Örneğin rölanti devrinde yanma çok zayıf ve kararsızken GDI motoru kararlı ve 1/40 gibi aşırı derecede fakir karışıma rağmen hızlı bir yanma elde edebilmektedir. EGR sistemi ile silindir içerisine alınan egzoz gazları da göz önünde bulundurulduğunda yakıt miktarı toplam hacmin 1/55'i seviyelerine ulaşabilmektedir (Moser, 1999).



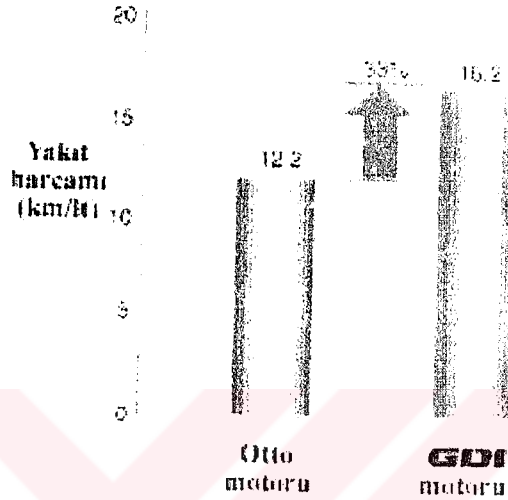
Şekil 4.11 Elde edilen ısı ve silindir içi basınç

#### 4.1.2 Yakıt Ekonomisi

Geniş alan düşüncesi ekonomikleştirilmiş karışımın başarılmasını sağlıyor ve GDI motorun sabit, aşırı fakir karışım sağlamasına imkan tanıyor. Buda yakıt ekonomisindeki önemli bir gelişmeye izin veriyor. Aşırı fakir karışıma ek olarak, GDI motor vuruntu engelleme karakteristiğinden ve püskürtme zamanlamasının tam kontrolünden dolayı yüksek sıkıştırma oranını başarıyor. Yakıtın sıkıştırma zamanının sonlarına doğru çok ince bir şekilde atomize

olmuş olması havayı soğutuyor ve vuruntu yapma eğilimini azaltıyor. Bu sayede yüksek 12:1 sıkıştırma oranı kullanılabilir ve çok iyi yanma verimliliği elde edilebiliyor. Bu nitelikler etkili bir yakıt ekonomisine katkıda bulunuyor. GDI benzin tasarrufunu, şehir içi kullanımda %33 geliştirmiş durumdadır.

Ayrıca yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı ateşlemenin gerçekleştirilebilmesi için yeterince zengin bir karışım sadece silindirin bir bölümünde oluşturulmuş oluyor ve yakıt



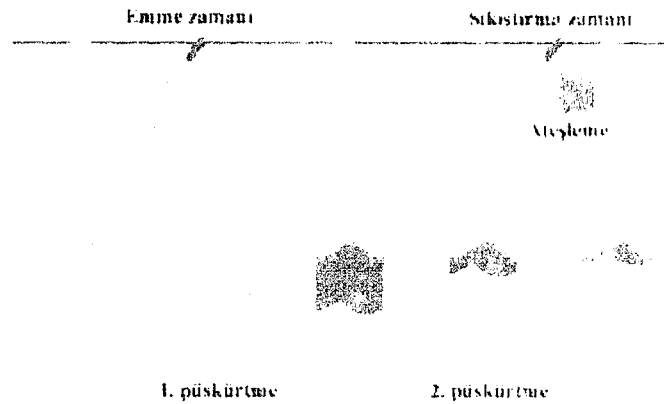
Şekil 4.12 Litre başına kat edilen yol cinsinden motorların yakıt harcaması.

tüketimi azaltılıyor. Ayrıca GDI motoru diğer motorlardan daha düşük devirlerde çalışabiliyor. Rölanti devri 600 d/d mertebesindedir. Düşük yakıt tüketimi ile yüksek performansı birleştirmek için motor iki farklı çalışma biçimine sahiptir. Düşük yakıt tüketimi modunda, yani 120 km/h 'ye kadar hızlarda motor 30:1 ve 40:1 gibi hava/yakıt karışımı oranlarında çalışıyor. Güç modunda ise özel tasarlanan bir emme manifoldu ek performansa sağlıyor. Yeni 1.8 litrelik GDI motorunun gücü Mitsubishi GDI motorunun gücü aynı hacimdeki normal motoruna göre düşük devirlerde (600-2500 d/d) %10 daha yüksek (Moser, 1999).

#### 4.1.3 Güç Artırımı

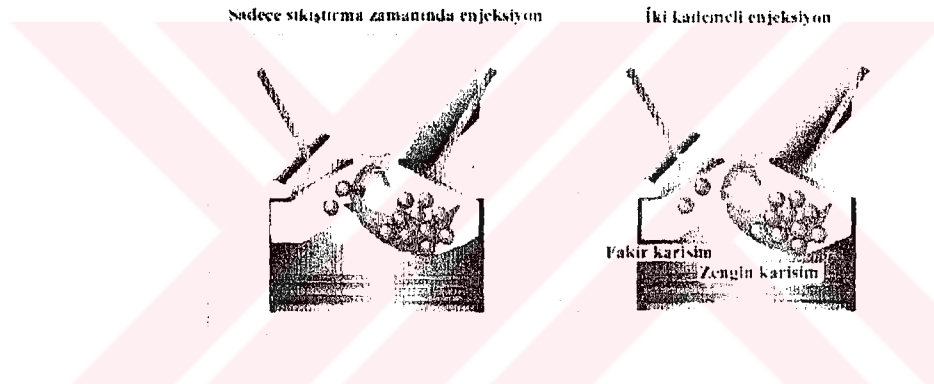
Yüksek yük ihtiyacı durumunda homojen karışım oluşturulur. Fazla güç gerektiğinde GDI otomatik olarak yüksek performans moduna geçer. Böylece motor homojen karışımı oluşturma stratejisi uygular, GDI motor MPI motor gibi çalışır. Bununla birlikte, teknik niteliklerini en yüksek değerlere çıkarmasıyla, GDI motor geleneksel bir motordan çok daha yüksek bir gücü ulaşabilir. Bunun en öncelikli nedeni iyi bir benzin hüzmesinin anında hava akımına karışarak buharlaştığı silindire geniş bir koni şeklinde direk püskürtülmesidir. Buharlaştırma sırasında yakıt havadan ısı çeker. Bu havanın soğumasına ve

hacminin azalmasına neden olur. Böylece daha fazla havanın içeri akmasına izin verir ve volümetrik verimi yükseltir. İçeri giren havanın soğuması vuruntuyuda engelliyor. Bu durum yüksek güç çıkışı olarak sonuçlanıyor. GDI motorun yüksek güç sunma kabiliyeti olmasının diğer bir nedeni de vuruntuyu engellemesi. İvmelenme esnasında geleneksel MPI motorda güçlü vuruuntu olur. Bu emme manifoldu yüzeyine yapışan benzinden dolayı olur. Düşük oktan sayılı benzin silindir içine , havayla karışıp silindir içine hemen girmeye zorlanır ve bu da karışım ve hazırlık süresinin çok ani olmasına, yanmanın homojenliğinin bozulmasına ve bunların sonucu olarak vuruntuya neden olur. GDI motorla benzin direkt silindir içine püskürtülür ve tamamen yakılır, bu da geçici vuruntunun sindirilmesini sağlar. Bu durum gücün en fazla gerektiği zaman, ivmelenmenin ilk safhalarında yüksek çıkış gücü sağlar. GDI teknolojisinin yakıt ölçüm başarısı yeni bir vuruuntu engelleme teknolojisi olan iki safhalı karışımı sağlanmasını da beraberinde getirmiş durumdadır. Yüksek yüklenmelerde fazla miktarlarda yakıt gerektiğinde, homojen hava-benzin karışımı bölgesel olarak yoğunlaşmış karışımları önlemek için kullanılır. Bölgesel yakıt yoğunlaşması ve yanmanın homojenliğinin bozulması vuruntunun nedenlerindedir. Bu durumu engellemek için bir çevrimde gerekli olan yakıt miktarı iki ayrı püskürtmede sağlanır. İki aşamalı püskürtmede, emme stroğunda çevrime gerekli yakıtın  $\frac{1}{4}$ 'ü püskürtülür. Bu normal koşullarda yanması beklenmeyecek kadar fakir bir karışım oluşturur. Kalan yakıt miktarı sıkıştırma stroğunun son zamanlarında püskürtülür. Esas olay, hava-benzin karışımının, zayıf hava-yakıt karışımına ve zengin hava-yakıt karışımına bölünmüş olmasıdır. Vuruuntu stokiometrik karışımında sıklıkla meydana gelir ama zengin ya da zayıf karışımında daha az meydana gelir. Çünkü zengin karışım yanmadan hemen önce oluşur vuruntuya neden olan kimyasal bir reaksiyon için zaman yoktur. Buda vuruntuyu önleyen bir başka faktördür.



Şekil 4.13 İki kademedeki yakıt püskürtme

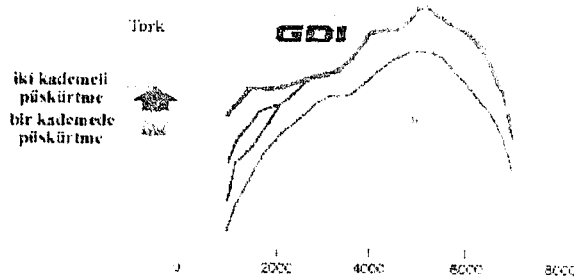
Yoğun hava-yakıt karışımı oluştuğunda ve hava fazlalık katsayısı  $\lambda = 1$  seviyesinin altına düştüğünde bile is oluşumunun önlemediğinde de önemli bir konudur. Eğer hava yanış çemberindeki sıradan bir dizel motorda olduğu gibi tek gaz olsaydı zenginleştirilmiş dolgu soğurdu ve bu durumda is oluştururdu. İki aşamalı dolgu elde edilmesiyle, çemberin yoğun hava-yakıt karışımı olan yerde oluşmuş zenginleştirilmiş dolgu, karışımının daha zayıf olduğu yere, çemberin diğer tarafına doğru yönelir ve yanar. Bu noktada zenginleştirilmiş dolgu, normal koşullarda yanmayacak olan aşırı fakir karışımın yanmasına neden olur. Aşırı fakir karışımın yanması zenginleştirilmiş dolgunun tekrar yanmasına neden olur. Bu süreç isin oluşumunu engeller. Bu uzun benzinli motorlar tarihinde ilk kez yanmanın direkt kontrolü ile vuruntuyu bastırmak için kullanılmıştır. Vuruntunun oluşumunu engellemek hava-yakıt karışımının kontrolünün sağlanması önemini artırmış durumdadır. Günümüzde kullanılan motorlar vuruntu oluşuktan sonra belli tedbirler almaktadır. Bu sistemde ise vuruntunun ortaya çıkma olasılığı azaltılmaktadır (Kuesell, 1999).



Şekil 4.14 Sadece sıkıştırma stroğunda ve iki kademede püskürtmeyle oluşan karışım durumu.

#### 4.1.4 Mitsubishi GDI ve MPI Motorunun Karşılaştırılması

Yapılmış olan karşılaştırmalar, aşağıdaki tabloda özellikleri verilen motorlar örnek alınarak yapılmıştır. Motorlarda motor bloğu ve sübap sistemi aynı olmasına karşın, GDI motorunda sistemin gereği getirdiği farklılıklar görülmektedir.



Şekil 4.15 MPI , GDI tek kademeli ve GDI iki kademeli motorun karşılaştırılması.

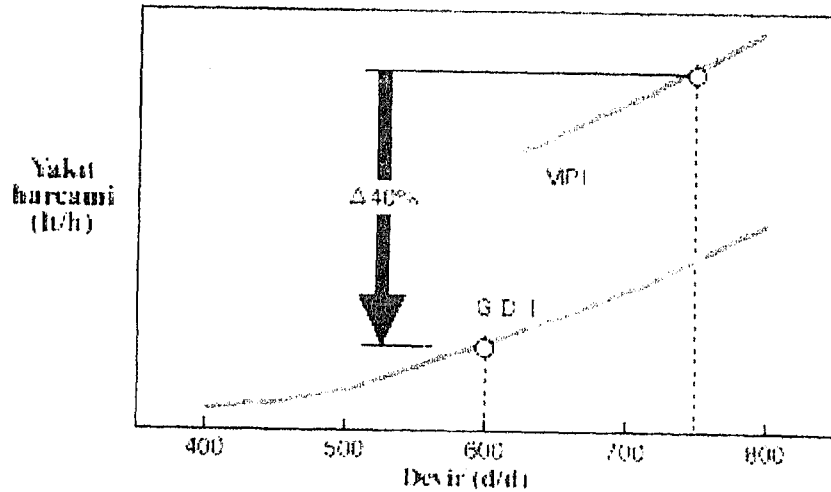
Günümüz motorlarında sıkıştırma oranı 9-11 değerleri arasında değişmektedir. Üstten çift kam milli, silindir başına 4 sübap ve MPI yakıt sistemi artık hemen hemen her motorda kullanılmaktadır. Bu yüzden tablodaki MPI sistemli motor günümüz araçlarında kullanılan motorlara baz alınabilecek bir motordur.

Motor Özellikleri	4G93 - G.D.I.	4G93 - M.P.I.
Silindir Çapı (mm)	81.0	81.0
Strok (mm)	89.0	89.0
Motor hacmi (cm <sup>3</sup> )	1834	1834
Silindir Sayısı	Sıralı - 4	Sıralı - 4
Sübap düzeni	DOHC-üstten çift eksantrikli	DOHC-üstten çift eksantrikli
Sübap sayısı	Emme: 2, Egzos:2	Emme: 2, Egzos:2
Sıkıştırma Oranı	12.0	10.5
Yanma Odası	Eğimli piston başı	Düz piston başı
Emme manifoldu	Dik ve düz	Standart
Yakıt Sistemi	Silindir içine Direk Püskürtme	Emme Manifolduna Püskürtme
Yakıt Basıncı (kg/cm <sup>2</sup> )	50	3.3

Şekil 4.15 Karşılaştırılan GDI ve MPI motorlarının özellikleri

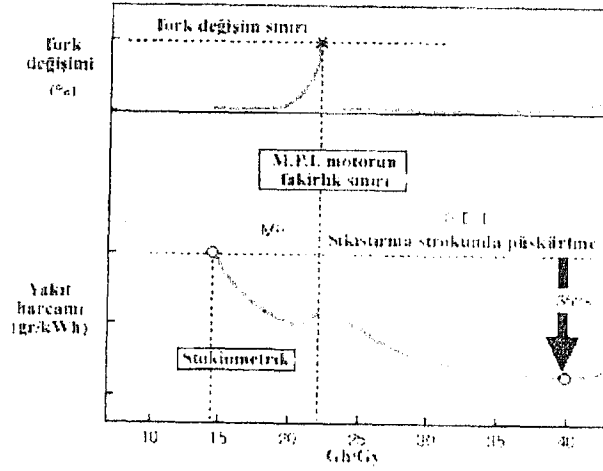
#### 4.1.4.1 Araç Üzerinde Yakıt Ekonomisi Açısından Karşılaştırılması

GDI motoru çok düşük rölanti devirlerinde bile yanmayı kararlı tutabildiğinden rölanti devirlerinde yakıt tüketimi oldukça düşüktür. Üstelik oldukça stabil bir rölanti hızı sağlamaktadır. Geleneksel motorlarla karşılaştırıldığında rölanti devrinde yakıt harcamı %40 daha azdır.



Şekil 4.16 MPI ve GDI motorun rölanti devrinde yakıt tüketimi

Ortalama 40 km/h gibi bir hızda GDI motoru incelendiğinde kendine eş değer geleneksel bir motordan %35 daha az yakıt kullandığı ortaya çıkıyor.



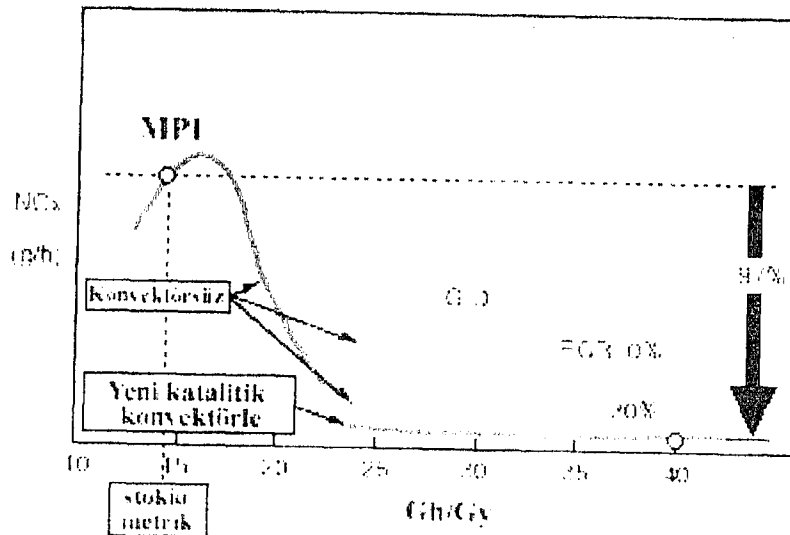
Şekil 4.17 MPI ve GDI motorun ortalama bir hızda yakıt tüketimi

Yapılan şehir içi testine göre GDI motor kendine eşdeğer geleneksel bir motordan %35 daha az yakıt tüketiyor. Bu sonuç bu motorun dizel motorlardan bile az yakıtı gösteriyor.

Motor		(km/l)
1.8L	GDI	35%
	MPI	
2.0L V/C T/C Diesel		

Şekil 4.18 MPI, GDI ve dizel motorun şehir içi yakıt tüketimi

Emisyon kontrolü açısından da GDI motorunun başarılı olduğu görülmektedir. 1/40 değerine kadar fakirleşen karışımda NOx emisyonu çok yüksek değerlere ulaşır ancak diğer emisyonlar sorun yaratmamaktadır. GDI la geliştirilen yeni bir katalitik konvertörle bu değer normal benzinli motorlara göre %97 daha aza indirgenmesi başarılmıştır.



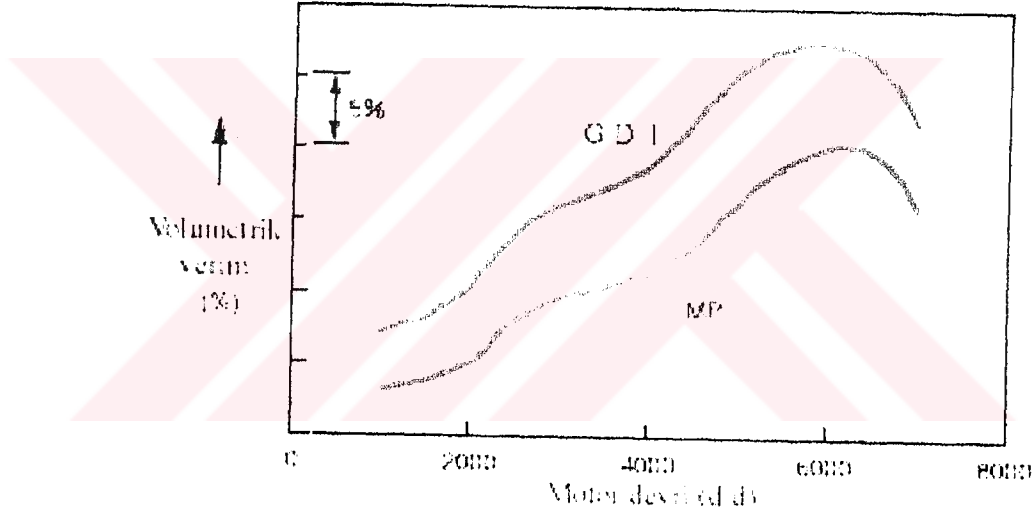
Şekil 4.19 MPI ve GDI motorun emisyon oranları

#### 4.1.4.2 Araç Üzerinde Elde Edilen Güç Açısından Karşılaştırılması

##### 4.1.4.2.1 Gücü Etkileyen Faktörler

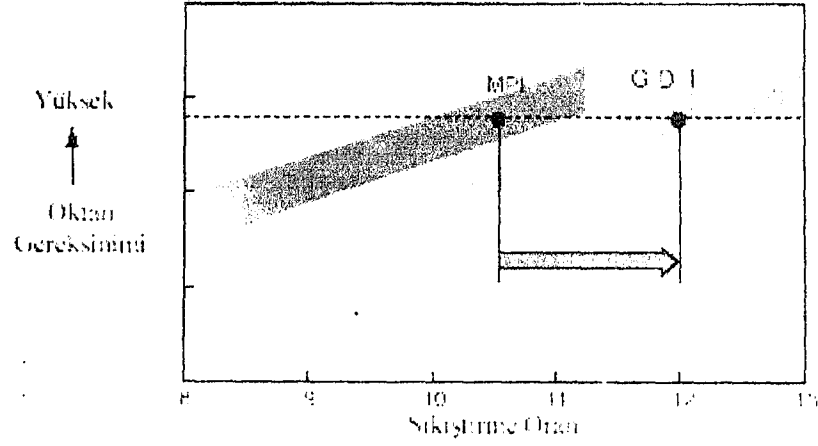
Günümüzde kullanılan motorlardan daha fazla güç elde etmek için GDI motorunda 1:12 oranında sıkıştırma oranı kullanılmıştır. Bunun yanında motor çok iyi çalışan bir emme sistemine sahiptir. Bunların sonucu olarak volümetrik verim yükseltilmiştir.

Daha önce güç artırımından bahsederken volümetrik verimin artışının gücü artırmanın bir yolu olduğundan ve hangi parametreleri nasıl etkilediğinden bahsedilmişti. Normal motorlarla karşılaştırıldığında GDI motoru çok daha iyi bir volümetrik verim sağlar. Tersine eğik dik yerleştirilmiş emme manifoldu havanın rahatlıkla silindir içersine alınmasını sağlıyor. Sıkıştırma prosesinde püskürtülen yakıtın buharlaşması havayı soğutarak hacminin küçülmesine ve volümetrik verimin artmasına sebep oluyor.



Şekil 4.20 MPI ve GDI motorun devirlere göre volümetrik verimi

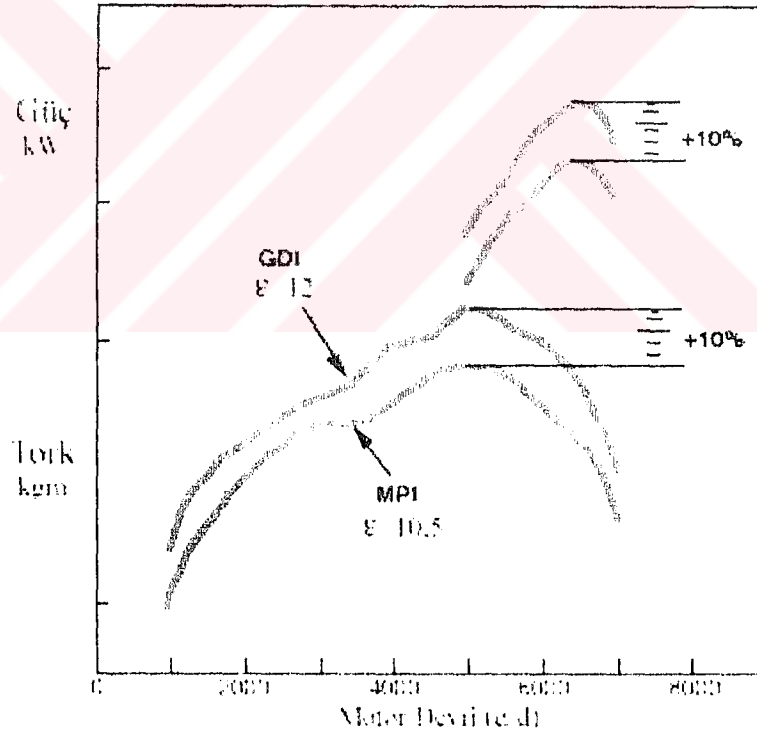
Bilindiği gibi sıkıştırma oranının artırılması motordan yüksek güç alınabilmesini sağlar. Ancak sıkıştırma oranının artırılmasının belli sınırları vardır. Bu sınırlayıcı etkilerden en önemlisi vuruntudur. Sıkıştırma oranı yükseltildikçe karışımın sıkıştırma sonu sıcaklığında artmaktadır. Ancak bu motorda düşük devirlerde, sıkıştırma sonunda yakıt silindire girdiğinden ısınması söz konusu değildir. Yüksek devirlerde ise zaten vuruntu riski azalır. Yakıtın buharlaşırken havadan ısı çekmesi ve havayı soğutmasının başka bir yararı daha vardır. Bu olay sayesinde karışım soğuduğu için vuruntu riski azalır. Vuruntu riskinin azalması motorda 1:12 'e varan sıkıştırma oranını sağlarken yanma veriminide yükseltir.



Şekil 4.21 MPI ve GDI motorun sıkıştırma oranına bağlı gereken yakıt oktan sayısı

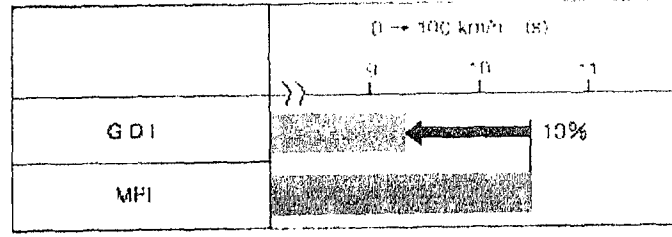
#### 4.1.4.2.2 Motor Performans Değerlerinin Karşılaştırılması

GDI motor kendine eş büyüklükte MPI bir motorla karşılaştırıldığında, her devirde tork ve çıkış gücünde yaklaşık %10 daha yüksek değerlere ulaşmaktadır.



Şekil 4.22 MPI ve GDI motorun çıkış gücü ve torku

Yüksek güç çıkışıyla GDI motoru sınıfındaki diğer MPI motorlarından çok daha iyi bir hızlanmaya sahiptir. Bu durum motorun esnekliğini göstermektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi arada %10'luk bir fark vardır.

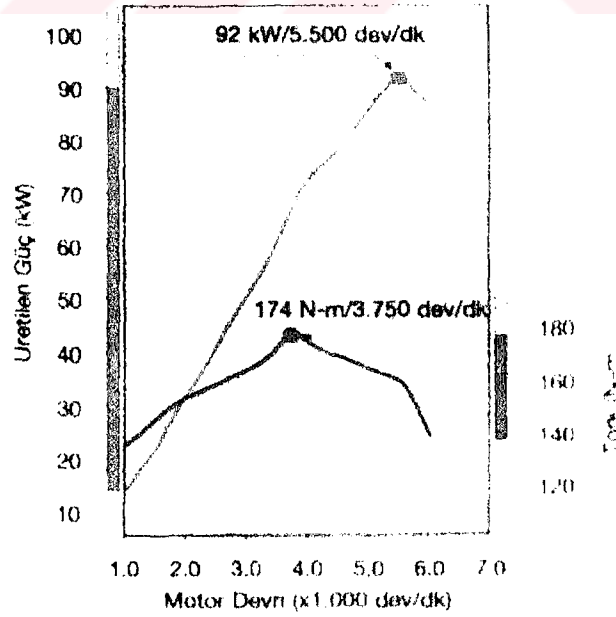


Şekil 4.23 MPI ve GDI motorun araç üzerinde sağladıkları hızlanma

#### 4.1.5 Bu Motorun Kullanıldığı Aracın Teknik Verileri

Marka	Mitsubishi
Tip	Carisma 1.8
Sınıfı	2ve 3 hacimli
Araç ağırlığı (kg)	1160
Motor tipi	4G93 (16 subap DOHC)
Silindir hacmi (lt)	1,834
Silindir çapı (mm)	81,0
Strok (mm)	89,0
Sıkıştırma oranı	12,0
Max. güç (kW-d/d)	92-5500
Max.tork (Nm-d/d)	174-3750
Max. hız (km/h)	200
0-100 km/h hızlanma (s)	10,4
Yakıt besleme sistemi	G.D.I.
Yakıt cinsi	95 Oktan krşumsuz benzin
Şehir içi yakıt tüketimi (lt/100 km)	9,0
Şehir dışı yakıt tüketimi (lt/100 km)	5,4
Şehir içi CO <sub>2</sub> emisyonu (gr/100 km)	216
Şehir dışı CO <sub>2</sub> emisyonu (gr/100 km)	130

Şekil 4.24 Araç özellikleri



Şekil 4.25 Mitsubishi 4G93 GDI motorunun performans eğrileri

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu araştırma ve geliştirme programının sonucu olarak, yazarlar benzinli direkt püskürtmeli motordaki sorunları özetlemek istemişlerdir. Bunlar, gerçek hayatta pratik motorlara bu teknolojiyi uygulamasını önleyen sorunlar ve Mitsubishi GDI motoru ile getirilen çözümlerdir. Çözülmesi gereken önemli sorunlar aşağıdadır:

Kademeli dolgu şartları altında, yanmayı tamamlamak zordu. Bu suretle, önemli bir miktar hidrokarbon açığa çıkıyordu.

Çok sınırlandırılmış şartlar altında kararlı yanma gerçekleştirilebiliyordu.

Bujilerde bozukluk görülüyordu.

Homojen bir yanma altında is açığa çıkıyordu.

Homojen bir yanma altında güç artış kazancı yoktu.

Erken püskürtme ile homojen yanma ve geç püskürtme ile kademeli yanma modu arasında hızlı geçişi sağlayan yakıt püskürtme ekipmanı yoktu.

Silindir cidarındaki yağlama yağı püskürtülen yakıt ile seyreliyordu.

Mitsubishi GDI motor ile bu sorunların çözümleri aşağıdadır:

1- Kademeli dolgu şartları altında, yanmayı tamamlamak zordu. Bu suretle, önemli bir miktar hidrokarbon açığa çıkıyordu.

Buji etrafında orta şiddette karışım hazırlamadaki başarısızlık buna sebebiyet veriyordu. Klasik bir yaklaşımla, buji yanında dar aralıklı yapıya kurulan yakıt spreyi kullanılmıştır. Böyle bir yapı kullanıldığı zaman, sıvı yakıt veya aşırı zengin karışım buharlaşma ve karışım için zamansızlıktan dolayı bujide sağlanır. Karışım bölgesi damlacık çevresinde zengin karışım tabakaları arasında tutuşur aşırı fakir karışımlara bölündüğü için yayılan alev sönmüştür. Her bir dizel yakıt damlacığı etrafında bağımsız olarak kendiliğinden ateşleme oluşmasına rağmen, alevin önünden izole edilmiş benzin damlacıkları ateşlenemez ve motordan yollanamaz.

Bu problemi çözmek için, temel bir hedef buji etrafında yeterli bir şekilde buharlaşmış ve yayılmış gaz hacimleri sağlama zorunluluğudur. Bu hedef geniş aralıklı yapı ile ki bu bujiden ayrı enjektöre yerleştirilerek gerçekleştirilir. Yakıt pistonu doğru püskürtülür ve çevre havası ile karışım ve buharlaşmadan sonra bujiye taşınır.

Yukarı doğru emme portu, piston üstündeki gaz karışımını bujiye nakil eden geriye doğru yuvarlanma hareketini oluşturmak için kullanılır. Buna ilaveten piston oyuğunun şekli

öylesine dikkatli bir şekilde dizayn edilir ki böylece piston yüzeyine çarpan gaz yakıtı kolaylıkla bujiye doğru dönebilir. Bunun yanında, geç püskürtme modu esnasında, yakıt pistonun yukarı doğru hareketinin tersi yönünde püskürtülür. Bu anda, silindir içindeki hava zaten yukarı doğru bir hareket oluşturmuştur ki o karışımı bujiye taşımaya yardım eder. Böylece bunların hepsi; geriye yuvarlanma hareketi, piston yüzeyine yakıt damlacığı yansması ve piston hareketi kararlı yanma yayılmayı gerçekleştiren sürekli bir gaz karışım hacmi oluşturmak ve yukarı doğru gaz karışımını döndürmek için bir diğeri ile beraber çalışırlar.

2- Çok sınırlandırılmış şartlar altında kararlı yanma gerçekleştirilebiliyordu.

Klasik bir yaklaşımla, girdap hareketi hava-yakıt karışımını ilerletmek için kullanılır. Yakıt spreynin momentumu motor devrine bağlı değil iken girdap hareketi yapan havanın momentumu motor devri ile doğru orantılıdır. Bu yüzden, yeterli hava-yakıt karışımının gerçekleştiği motor devir aralığı sınırlandırılmıştır. Karışımı kontrol eden temel faktör yakıt sprejidir veya motor devri ile etkilenmeyen oyuk duvarındaki gaz karışımı yansmasıdır. Bu, geniş devir aralığında yeterli karışımı garanti eder. Birçok durumda, yakıt spreyi piston yüzeyine doğru yöneltilir. Pistonu hareket ettiğini hesaba katarak, pistonun üstündeki bir oyuk içine sabitlenen sprej için püskürtme zaman aralığı sınırlandırılmış olmalıdır. Püskürtme zamanı aynı zamanda buharlaşmayı ve karışımı ilerletmek için yeterli zamanı bulması bir gereksinimi karşılamak gerekir. Krank açısında püskürtme süresi yüksek hız ve yüksek yük şartlarında esas daha uzun olur. Bu şu anlama geliyor ki yukarıda bahsedilen gereksinimle uyuşması zordur. Bununla birlikte eğer silindir ekseni sprej yönüyle rastlaşmalı seçilirse, sprej püskürtme zamanı ne olursa olsun oyuk içersinde tutulur. Bu görüşten bakıldığında, olabildiğince yukarı doğru pozisyonda enjektör yerleştirilmesi istenilir. Bu, emme portunun altında enjektör için geniş bir alan bırakan yukarıya doğru dik emme port yapısıyla gerçekleştirilir.

3- Bujilerde bozukluk görülüyordu.

Buji pislenmesi direkt püskürtmeli motorun pratik uygulanmasını önleyen en ciddi problemlerden biri olmuştur. Bu problem buji etrafına yerleşen aşırı zengin karışımı veya sıvı yakıtı önlemek için geniş alanlı /bir enjektör ve buji yapısı ile çözülmüştür.

4- Homojen bir yanma altında is açığa çıkıyordu.

İs emisyonu neredeyse erken püskürtme durumunda gözlemlenmiştir. İsin kaynağı pistonun üstündeki sıvı yakıt tabakasıdır. Püskürtme geliştirme işi esnasında, sprej uç penetrasyonu saklı tutma öncelikle düşünülür. Yakıt girdap yoğunluğunu çoğaltarak ve püskürtme basıncını

düşürerek gerçekleştirilir. Piston yüzeyi üstüne yakıt sprey çarpmasını minimize ederek, is emisyonu saklı tutulabilir.

5- Homojen bir yanma altında güç artış kazancı yoktu.

Güç çıktısını artırmak için, emme havasını soğutma etkisini kullanmak zorunludur. Bu açıdan baktığımızda, yakıt damlacıklarını silindir üzerine serpmenin ve yakıt atomizasyonunu ilerletmenin yararlı olacağı beklenmiştir. Bu yeni geliştirilen girdap enjektörle gerçekleştirilir.

Klasik bir bakışla, hava girdap hareketi karışım ve yanmaya destek için seçilmiştir. Çoğunlukla konuşulan, girdap hareketini arttırma için uygun olan emme portunun akış katsayısı düşüktür. Buna zıt olarak, yukarı doğru dik emme portu yüksek dereceli akış katsayısı özelliğine sahiptir. En yüksek devir bölgesinde güç çıktısındaki artışa büyük bir miktarda katkıda bulunur.

6- Erken püskürtme ile homojen yanma ve geç püskürtme ile kademeli yanma modu arasında hızlı geçişi sağlayan yakıt püskürtme ekipmanı yoktu.

Klasik bir yaklaşımla, dizel nozülüne benzer bir dizaynli mekanik enjektörler kullanılmıştır. Emme ve sıkıştırma strok püskürtmelerinin anlık geçiş gereksinimlerini karşılamak oldukça zordur.

MPI motorlar için elektromanyetik bir enjektör dizel püskürtme uygulaması için modifiye edilmiştir. Orijinal enjektör, birkaç barlık yakıt basıncı kullanılacak gibi dizayn edilmesine rağmen küçük modifikasyonlar ile yüksek basınç yakıt enjektörüne dönüştürülmüştür. Ayrıntılı çalışmalar yakıt spreyine girdap hareket momentumunu vermek için yapılmıştır. Geliştirme çalışma sonucu bununla birlikte çok basittir. Yivli ve teğetsel yarıklı basit bir girdap ucu vasıtasıyla penetrasyonu ve yayılımı kontrol edilmeli iyi atomize edilmiş yakıt spreyi gerçekleştirilebilir.

7- Silindir cidarındaki yağlama yağı püskürtülen yakıt ile seyreliyordu.

Püskürtülmüş benzindeki yağlama yağı seyrelmesi ciddi bir problem olarak düşünülmüştür. Bununla birlikte, daha öncede bahsedildiği gibi geliştirilmiş enjektörün sprey uç penetrasyonu saklı tutulmuştur. Bu nedenle, yağlama problemi Mitsubishi GDI motorunun gelişiminde tecrübe edilmemiştir.

Bu çözümler ile Mitsubishi GDI motoru aşağıdaki karakteristikleri gerçekleştirmiştir.

1- Dizel motorlarına denk yakıt ekonomisi,

2- Porta püskürtmeli SI motorlarına göre daha iyi performans

3- Porta püskürtmeli SI motorlara göre daha temiz egzoz gazı.

<b>Motor hacmi</b>	<b>1834</b>
<b>Çap x Strok</b>	<b>81.0x89</b>
<b>Silindir sayısı</b>	<b>sıralı 4</b>
<b>Valfler</b>	<b>4-valf DOHC</b>
<b>Emme portu</b>	<b>yukarı doğru dik port</b>
<b>Yanma odası</b>	<b>küresel piston oyuğu</b>
<b>Sıkıştırma oranı</b>	<b>12:1</b>
<b>Yakıt</b>	<b>süper/normal (RON: 100/92)</b>
<b>Pompa</b>	<b>eksenel piston pompa</b>
<b>Basınç MPa</b>	<b>5.0</b>
<b>Enjektör</b>	<b>elektromanyetik girdap enjektör</b>
<b>Hava Kontrolü</b>	<b>elektronik bypass valfli gaz kelebeği</b>
<b>Ateşleme enerjisi</b>	<b>60 mJoule</b>
<b>Buji</b>	<b>Dar aralıklı Platinyum buji</b>
<b>Egzoz emisyon Kontrol sistemi</b>	<b>Elektrikli EGR Sistemi ve fakir-NOx katalist</b>

Çizelge 5.1 Mitsubishi GDI motorun spesifikasyonları

Benzini direkt püskürtme, benzinli motorlar için püskürtme teknolojisinin gelişmesinde önemli bir basamaktır. Motor kontrolündeki yüksek gereksinimler mikro elektronik ve yazılım tekniklerindeki ilerleme ile gerçekleştirilebilir.

Gelecekte çok sıkı egzoz emisyon standartlarına Avrupa'da başvurulacaktır. Fakir çalıştırmalı direkt püskürtme motorunun üretimi için kilit bu yüzden fakir egzoz gazı içindeki NOx iyileştirmesinin katalist teknolojisi gelişimi ile yapılmasıdır. Yakında, umut verici gelişim bu alanda gözlenebilir. Bu gibi bir katalistin kullanımı için ön şart, benzin içindeki sülfür bileşiğinin belirgin azaltılmasıdır.

Birçok değişken çalışma parametreleri bütün çalışma şartları altında sistemin optimizasyonu ve uygulaması hakkında büyük bir mücadeleye davet çıkarır. Deneylerin Dizaynı ve Analizi'ne dayalı bir kalibrasyon prosedürü önemli bir şekilde kalibrasyon zamanını azaltabilir ve kalibrasyon kalitesini düzeltebilir. Modern direkt püskürtmeli benzinli motorların gelişimi henüz çok yenidir. İlk basamakta, yakıt ekonomisindeki %15-20 lik bir ilerlemeye erişilebilir. Daha ileri bir gelişme motor geliştiricilerin,EMS imalatçıların ve katalist üreticilerin ortak çabasıyla mümkündür.

**KAYNAKLAR**

Iwamoto, Y., Noma, K., Nakoyama, O., Yamauchi, T., Ando, H., (1997), "Development of Gasoline Direct Injection SI Engine Technology", Mitsubishi Motors Corp., SAE 970541.

Kuesell Matthias, Moser Winfried, Philipp Matthias, (1999), "Motronic MED7 for Gasoline Direct Injection Engines: Engine Management System and Calibration Procedures", Robert Bosch GmbH, SAE 1999-01-1284.

Kume, T., Iwamoto, Y., Lida, K., Murakami, M., Akishino, K., Ando, H., (1996), "Combustion Control Technologies for Direct Injection SI Engine", Mitsubishi Motors Corp., SAE 960600.

Preussner, C., Doering, C., Fehler, S., Kampmann, S., (1998), "GDI: Interaction Between Mixture Preparation, Combustion System and Injector Performance", Robert Bosch GmbH, SAE 980498.

Winfried Moser, Dirk Mentgen, Helmut Remnbold, (1997), "Bosch Gasoline Direct Injection: System and component development, Reprint from MTZ Motortechnische Zeitschrift 58 Heft 9/10 Friedrich Vieweg&Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Wiesbaden.

[1]...<http://web1.mitsubishi-motors.co.jp/inter/technology/GDI/page1.htm>

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi	24.09.1973	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1987-1991	Maçka Anadolu Gazetecilik Meslek Lisesi
Lisans	1992-1996	Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak. Makina Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans Programı	1996- Devam ediyor	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Müh. Anabilim Dalı, Enerji Makinaları

**Çalıştığı kurumlar**

1997- Devam ediyor Ford Otosan Ürün Geliştirme Sistem Mühendisi

