

DİREKT PÜSKÜRTMELİ BENZİN MOTORLARI VE MİTSubİSHİ METODU

*M. İhsan KARAMANGİL**

Özet: Daha düşük yakıt tüketimi, daha yüksek güç ve daha fazla performansa olan talep, gelişen teknoloji ile birlikte araştırmacıları direkt püskürtmeli (DP) benzin motorlarına daha fazla ilgi duymalarına yönlendirmiştir. Bu çalışmada, ilk olarak, DP kavramı klasik yakıt püskürtme sistemleri ile karşılaştırılmış ve her iki sistemin üstünlükleri ve sakıncaları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Tipik bir DP uygulaması olarak “Mitsubishi Metod” izah edilmiş ve kendine özgü özellikleri vurgulanmıştır. Bu sistemin bazı problemlerine çözüm getirmek kaydıyla, gelecekte klasik yakıt püskürtme sistemlerinin yerini alması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Direkt Püskürtme, Mitsubishi Metod, Benzin Motorları.

Direct Injection Gasoline Engines and the Mitsubishi Method

Abstract: Increasing demand for lower consumption, higher power and superior performance directed the researchers to devote more interest to the concept of gasoline direct injection (GDI) engine in the guidance of developing technology. In this study, first, GDI concept is compared with conventional fuel injection system and then advantages and disadvantages of both method are given in a comparative form. “Mitsubishi Technique”, as a typical GDI approach, is described and its special features are underlined. This system is hoped replacing conventional fuel injection systems in the future, provided that some problems with it are solved.

Keywords: Direct Injection, Mitsubishi Method, Gasoline Engines.

1. GİRİŞ

Daha düşük yakıt tüketimi, daha yüksek performans, daha az kirlenici egzoz emisyonları ve daha iyi sürüş konforu otomobil üreticisi firmaların, üniversitelerin ve araştırma kurumlarının en önemli çalışma konularıdır. Şu anki yapılan çalışmalar ve tecrübeler bize bu hedefleri gerçekleştirebilecek en iyi çözüm yöntemlerinden biri olarak direkt püskürtmeli benzin motorlarını göstermektedir.

Geriye baktığımızda ilk benzinli motorun icat edilmesinden günümüze kadar benzinli motorların gelişiminde yakıt-hava karışımının silindirin dışında bir yerde oluşturulması (external mixture formation) fikrinin hakim olduğunu görürüz. Bu zaman diliminin büyük bir kısmında görev karbüratörlerce yerine getirilmiş son 20 yıllık kısmında ise elektronik kontrol sistemleri yardımıyla manifolda düşük basınçta yakıt püskürtme metodu kullanılmıştır. Her iki metodda da yakıt ile hava silindirin dışında bir araya getirilmektedir.

Benzinli ve dizel motorların avantajlarının bir araya getirildiği direkt püskürtmeli bir benzin motoru bir dizel motoru ile karşılaştırıldığında, kısmi yüklerde daha fazla yakıt ekonomisi ve emme portuna püskürtmeli bir benzinli motorla karşılaştırıldığında ise, tam yükte daha iyi bir performans sağlamaktadır. Dizel motorundan daha verimli kılan sebep daha fakir karışımlarda çalışması, klasik çok noktadan püskürtmeli (ÇNP) motorlardan daha üstün kılan sebep ise çok daha verimli bir emme sistemine ve izafi olarak daha yüksek sıkıştırma oranına sahip olmasıdır (Cornel, 1999), (Kume ve diğ., 1996), (Iwamoto ve diğ., 1997), (Zhao ve diğ., 1997).

Karışımın silindir içinde oluşumu –direkt benzin püskürtme sistemiyle- ilk defa uçak motorlarında Bosch tarafından 1937 yılında uygulanmıştır. Daha üstün sistemler 1952 yılında Gutbrod tarafından ilk önce 2-zamanlı motorlar üzerinde, daha sonra da 1956 da 4-zamanlı motorlardan Mercedes 300 SL motoruna uygulanmıştır. 1990 lı yıllara kadar devam ettirilen çalışmalar bu yıllarda daha da yoğunlaşmış ve ilk

* U.Ü., Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Görükle, 16059 Bursa.

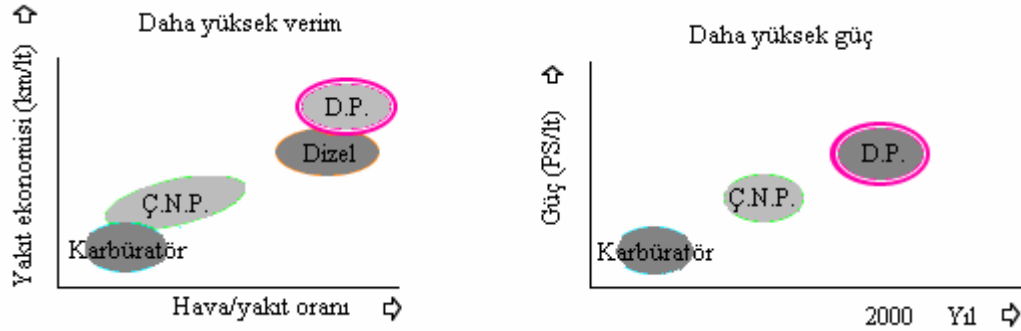
- Supap bindirmesi esnasındaki dolgu kayıpları yakıtı da içerir. Bu dezavantaj özellikle 2-zamanlı motorlarda daha da önem kazanır.
- Karışımın homojenliği korunmak kaydıyla tam yükten kısmi yüke geçiş, gaz kelebeği vasıtasıyla karışımı kısmakla sağlanır. Bu durum termik verimi azaltarak daha yüksek özgül yakıt sarfiyatına sebep olur.

2.2. Silindir içinde karışım teşkili

Silindir içinde karışım teşkili silindir dışında karışım teşkilinde bahsedilen dezavantajları giderir ve aşağıdaki avantajları sağlar:

- Kısmi yükte karışımı iki farklı bölgeye ayırmak suretiyle havanın gaz kelebeğiyle kısılmasından kaçınılır. Buji çevresinde stokyometrik oranda homojen karışımın bulunduğu bölge birinci bölge, bu bölgenin etrafını saran ve sadece havanın bulunduğu bölge de ikinci bölge diye isimlendirilir.
- Daha yüksek sıkıştırma oranlarına çıkılır. Yüke bağlı olarak stokyometrik karışım konsantrasyonu bazı bölgelerde daha fazla, bazı bölgelerde daha az ve daha kısa sürelerde elde edilerek vuruntu sınırında çalışılabilir. Daha yüksek vuruntu sınırı sıkıştırma oranının artırılmasına müsaade eder.
- Ateşlemenin başlangıcına kadar karışımın kontrol imkanı vardır. Püskürtme miktarı, püskürtme oranı, püskürtme zamanı ve ateşleme zamanı arasındaki ilişkiler yanmanın ve karışımın tam kontrolüyle sağlanır. Dışarıda karışım teşkilinde, emme supabının kapanmasıyla birlikte karışımın kontrolü biter. Sıkıştırma süresince de karışım karakterini değişen şartlara uygulamak ve düzenlemek mümkün olmaz.
- Yanma odası içindeki değişik bölgelerde değişik konsantrasyonlarda karışım oluşumu sağlanarak kirletici emisyon miktarları azaltılır.

Şekil 2 de yakıt ekonomisi ve güç çıkışı yönünden sistemler karşılaştırılmıştır.



Şekil 2:
Yakıt ekonomisi ve güç çıkışı yönünden değişik yakıt besleme sistemlerine sahip motorların karşılaştırılması

3. DİREKT PÜSKÜRTMELİ MOTORLARDA KARIŞIM TEŞKİLİ VE ETKİ EDEN PARAMETRELER

Motorun her çalışma şartında, püskürtme işlemi optimum püskürtme karakteristikleri (nüfuz derinliği, damlacık boyutu ve hızı) sağlanacak şekilde yapılmalıdır. Direkt püskürtülen sıvı benzinin maksimum basınç bandı; yanma odasının şekline, silindir çapı/strok oranına, sıkıştırma oranına ve ayrıca karışım teşkiline bağlı olarak 4-10 MPa arasında olmalıdır. Yakıt damlacıklarının hızı genellikle 30-70 m/s, damlacık boyutu 20-30 μm arasında olup böyle bir yakıt demeti 80 mm'nin üstünde bir nüfuz derinliğine sahiptir. Uzun nüfuz derinliği ve yüksek damlacık hızı, püskürtülen yakıt demetinin silindir cidarlarına çarpma riskinden ötürü istenmediği gibi, kısa nüfuz derinliği ve düşük damlacık hızı da kötü atomizasyon nedeniyle istenmez. Yüksek püskürtme basınçlarında, yakıt demetinin silindir cidarına çarpmasını engellemek için

enjektör eksenine etrafında silindirik içi hava hareketlerinden yararlanılarak güçlü bir türbülans oluşturulur. Bu durumda yüksek basınçta püskürtülen yakıtın artan kinetik enerjisi daha yüksek bir türbülans yoğunluğuna dönüştürülmüş olur.

Otomobil ve motosiklet motorlarının alışlagelmiş devir aralıklarındaki püskürtme süresi 0,2-2 ms arasında değişir.

Yakıtın yanma odasına sevinde aşağıdaki püskürtme karakteristikleri önemlidir:

- Püskürtme hızı
- Yakıt demetinin nüfuz etme uzunluğu
- Püskürtme geometrisi
- Damlacık büyüklüğü ve dağılımı

Yine bu karakteristiklerin geniş bir yük ve devir bandında devam ettirilmesi gerekir.

Tablo 1 de karışım teşkiline etki eden parametreler ve nasıl etki ettikleri belirtilmiştir.

Tablo 1:
Silindir içi karışım oluşumuna etki eden parametreler (Cornel, 1999).

Yakıt	Hava
<ul style="list-style-type: none">- Püskürtme miktarı ve püskürtme oranının değişimi- Enjektör konumu ve meme şekli, püskürtme geometrisinin tespiti- Püskürtme zamanı- Püskürtme süresi	<ul style="list-style-type: none">- Emme manifoldu pozisyonu ve şekli, kütleli hava debisi ve hız gradyentinin belirlenmesi- Değişken supap zamanlaması yardımıyla silindir içi dağılımın kontrolü, her yük ve devir kombinasyonu için volumetrik verimin tespiti- Emme manifoldundaki basınç dalgalarının pozitif etkisinden yararlanma
Yanma odası tasarımı	Buji
<ul style="list-style-type: none">- Özel şekillendirilmiş piston yüzeyi formu ve silindir geometrisi- Buji konumu	<ul style="list-style-type: none">- Ateşleme başlangıcı veya zamanı- Ateşleme süresi

Karışım teşkilini destekleyen ve katkıda bulunan bu faktörlerin herbiri, her değişken için ilişkilendirilip ayarlanmalıdır. Bu şartlar şunlardır:

- Yük
- Devir
- Hava ile yakıtın konumu
- Yanma odasına komşu çevre şartları (örneğin duvar sıcaklığı gradyenti)
- Geçiş şartları

Karışım teşkilini belirleyen tüm bu parametreler iki farklı çalışma modunda iki farklı tip karışım modeli oluştururlar. Birincisi; daha düşük yakıt tüketimine imkan tanıyan ultra-fakir karışımında çalışma modu; bu modda yakıt püskürtme işlemi sıkıştırma strokunun sonlarına doğru yapılır ve ateşlenen karışım çok fakir bir karışım olup H/Y oranı 30-40 kg hava/kg yakıt (35-55 kg hava/kg yakıt EGR dahil) gibi çok düşük mertebelere düşer. Araç yaklaşık 120 km/h hıza kadar bu modda çalışır (www.mits.-motor.co.jp, 2000). İkincisi daha yüksek güç çıkışı sağlayan tam yükte çalışma modu; bu modda yakıt enjeksiyonu klasik ÇNP li motorlarda olduğu gibi emme periyodu süresince gerçekleştirilir ve ateşlenen karışım stokyometrik orandadır. Ayrıca silindire içine alınan karışım ÇNP li motorlara göre daha soğuktur. Bu da vuruntu riskini azaltır. Yüksek performans gerektiren sürüş şartlarında araç bu modda çalışır.

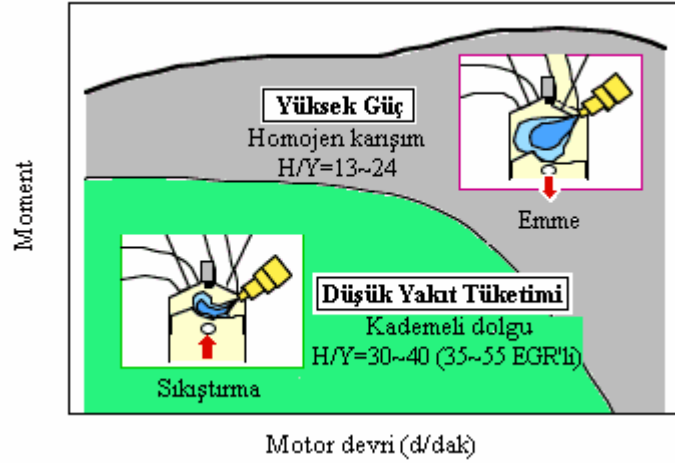
Kısmi yükte, ultra-fakir karışımında çalışmada, silindir içi karışım için ideal model aşağıda belirtildiği gibi iki farklı bölge baz alınarak açıklanabilir:

i) Yanma odası içerisindeki birinci bölge –buji ile direkt temas halinde olan bölge- stokyometrik karışım, yeterli yakıt atomizasyonu ve homojen dağılım ile karakterize edilir.

ii) Saf hava veya hava ve yanmış gaz bölgesini içine alan ve birinci bölgeyi çepeçevre saran ikinci bölge. Bu bölge birinci bölgedeki karışımın yanma odası cidarlarıyla direkt temasını engellemek için bir

örtü gibi birinci bölgeyi kaplar. Bu suretle, lokal oksijen eksikliğinden veya düşük sıcaklıktan doğabilecek eksik yanmadan kaçınılmış olur.

Tam yükte çalışmada ise homojen karışımın maksimum hacme ulaşması gereklidir. İkinci bölgenin hacmi ise teorik olarak sıfıra yakın olmalıdır. Her iki çalışma modu Şekil 3 te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3:
Daha yüksek güç çıkışına ve ultra-fakir karışımda GDI motoruna ait çalışma modları

DP benzin motorlarında püskürtme ve ateşleme zamanlarının başlangıç anlarının optimizasyonu yüke ve devre bağlı olarak ayarlanır. Silindir içi karışım oluşumunu sağlayan süre püskürtme başlangıcı ile ateşleme başlangıcı arasındaki zaman dilimidir. Püskürtme zamanı ile ateşleme zamanı arasındaki fark krank açısı ile ilişkilendirilmeyip zaman ile temsil edildiği zaman karışım teşkili sürecinin analizi daha kesin bir doğrulukta hesaplanır. Her iki çalışma modundaki karışım oluşum süreci aşağıda izah edilmiştir.

• Tam yükte çalışma

Hava üzerine gönderilen ve atomize edilen yakıt miktarı maksimum seviyededir, karışım teşkilinin süresi ise minimumdur. Bu durum, püskürtme başlangıcının mümkün olduğu kadar erken yapılmasını gerektirir. Daha önce bahsedildiği üzere püskürtme süresi çok kısadır. Diğer taraftan karışım teşkili için mümkün olduğunca fazla bir zaman elde etmek için ateşleme başlangıcı ÜÖN'ya doğru taşınmalıdır; tam yükte kayıp ısı oranındaki büyüme genelde kısa bir ateşleme gecikmesine tekabül eder ve kısmen böyle bir ısı kaybına göz yumulur.

• Kısmi yükte çalışma

Hava üzerine gönderilen ve atomize edilen yakıt miktarı minimumdur, karışım teşkili süresi ise – teorik olarak müsaade edilen en alt nokta- maksimumdur. Püskürtmenin başlangıcı ÜÖN'dan uzaklaştırılabilir. Diğer taraftan bu işlem şiddetli bir şekilde tavsiye edilir. Çünkü karışımın bujiye mümkün olduğu kadar yakın bir civarda şekillendirilmesi zorunludur. Aksi taktirde kısmi yükte az püskürtülen bir yakıtın gideceği uzun mesafe tam ateşleme anında buji bölgesine ulaşma ihtimalini azaltacaktır. Teorik olarak bu olasılık daha uzun süre püskürtmeyle aşılabılır, örneğin düşük devirde plancırları kam mili ile sürülen pompaların kullanılması durumunda olduğu gibi. Bununla birlikte bir de uzatılmış bir püskürtme süresi ile aynı miktarda yakıt hacminin püskürtülmesi düşünülebilir. Aynı efektif akış kesitine sahip bir enjektör kullanmak suretiyle daha düşük bir püskürtme hızıyla bu işlem sağlanır. Bu durumda damlacık boyutu artar ve püskürtmenin nüfuz derinliği azalır: böylece karışım teşkilinin kontrolü son derece zorlaşır. Bu durum plancırları kam mili ile tahrik edilen pompalara sahip GDI uygulamalarının dezavantajlı olmalarının ana sebebidir.

Sonuç olarak, püskürtme oranını direkt motor devrinden bağımsız hale getirmek daha mantıklı görünmektedir.

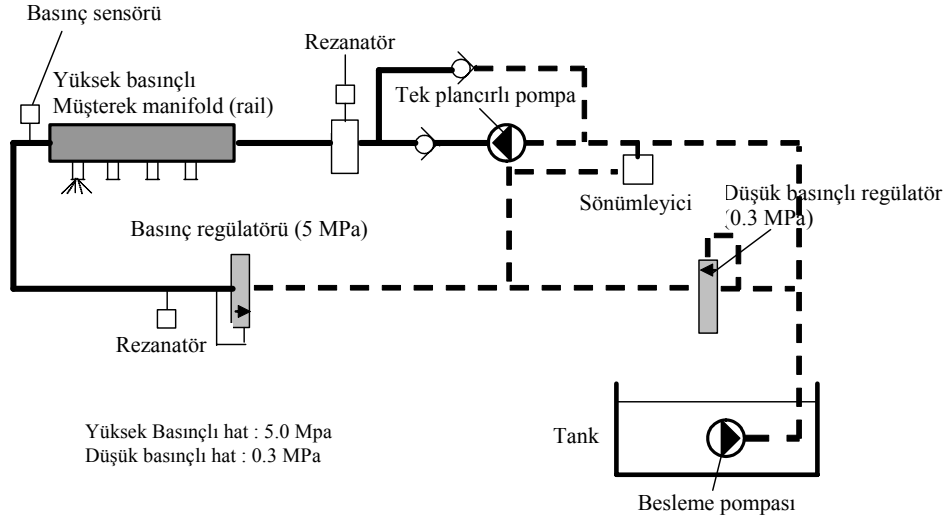
4. MITSUBİSHİ METOD

4.1. Enjeksiyon sisteminin yapısı ve fonksiyonel özellikleri

Mitsubishi firmasının DP motoru tamamen yeni modüllerle, ÇNP li motorlarda kullanılan bazı parçaların birleştirilmesine dayanır. Yüksek basınç üretimi klasik sistemlerde olduğu gibi ya kam tablası ile sürülen çok plancırlı yakıt pompasıyla ya da bir kam mili ile tahrik edilen tek plancırlı pompayla sağlanır.

Tek plancırlı pompalarda üretilen basıncın titreşim genliği motor devrine bağlı olarak değişim gösterir. Halbuki çok plancırlı pompalarda motor devrine bağımlılık söz konusu değildir. Özellikle tek plancırlı yakıt pompalarının kullanılması durumunda, yüksek basınç hattında oluşması muhtemel basınç titreşimlerini bertaraf etmek için sisteme bir sönümleyici-rezanatör ilavesi yapılır. Çok plancırlı pompalarda ise böyle bir sisteme ihtiyaç yoktur. Ayrıca düşük basınç hattına konan ek bir sönümleyiciyle birlikte bu etki daha makul bir seviyeye çekilir. Bu sistemin yapısı Şekil 4 te gösterilmiştir.

Yüksek basınç modülüne yakıt temini bir alçak basınç modülüyle sağlanır. Bu modül yakıt pompası, basınç regülatörü ve filtreden oluşur. Üretilen yüksek basınç tüm silindirlerin ortak kullanıldığı bir müşterek manifoldun (rail) içerisine gönderilir. Böyle bir çözüm, yüksek basıncın kendisinden bağımsız olarak her enjektör girişinde sabit veya sanki sabit bir basınç oluşturarak enjektör memesinin kontrolünü mümkün kılar.

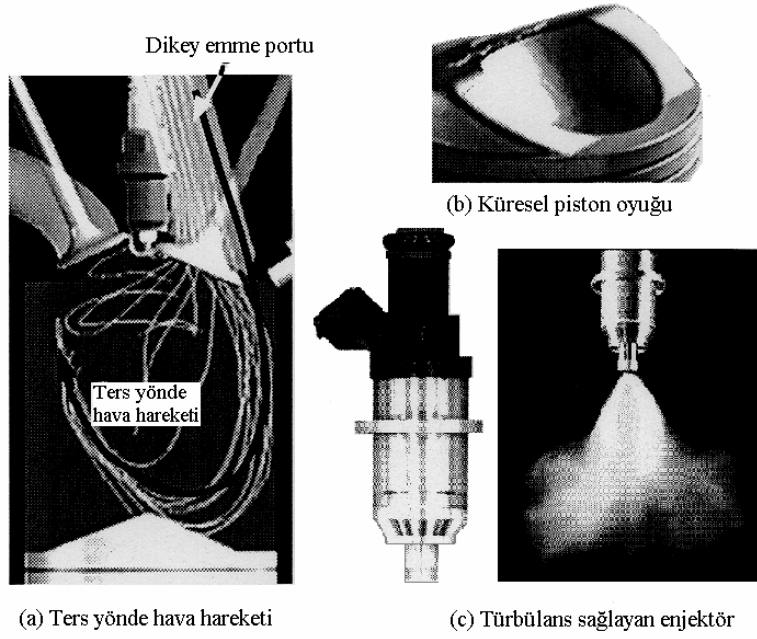


Şekil 4:
Sönümlemeli direkt yakıt enjeksiyon sistemi

Püskürtülen yakıt miktarının tam kontrolü için sistemin yüksek basınç devresine bir basınç sensörü yerleştirilir. Bu sistem için yüksek basıncın ortalama değeri 5 MPa'ya sabitlenir.

Sisteme ait teknolojik yenilikler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Silindir içine en iyi hava akışını temin eden düşey emme portları (upright straight) ve daha yüksek yanma verimi için özel şekillendirilmiş pistonlar (curved piston) ve en iyi yakıt-hava karışımını sağlayan yüksek basınçlı türbülans enjektörleri (high-pressure turbulence injector) kullanılır, Şekil 5. Yakıt enjektör çıkışında türbülanslı bir akış oluşumunu sağlayan iğne eksenine etrafındaki teğetsel yarıklara doğru hareket ettirir (Iwamoto ve diğ., 1997).
- Püskürtme karakteristiklerine göre yanma odasının içerisinde sınırlı bir püskürtme derinliği arzu edilir ve bu her yük ve devir değişiminde sürdürülmek istenir. Diğer taraftan türbülans, karışım oluşum süresini kısaltmak suretiyle yakıt atomizasyonunu artırır.
- Tam yükte çalışmada erken püskürtme yapılır. O devir için gerekli olan maksimum yakıt püskürtülür. Erken püskürtmede, piston AÖN ya yakın olduğu için karışım hacmi izafi olarak daha büyüktür ve geniş püskürtme açısı homojen bir karışım oluşumu için bir avantaj oluşturur.



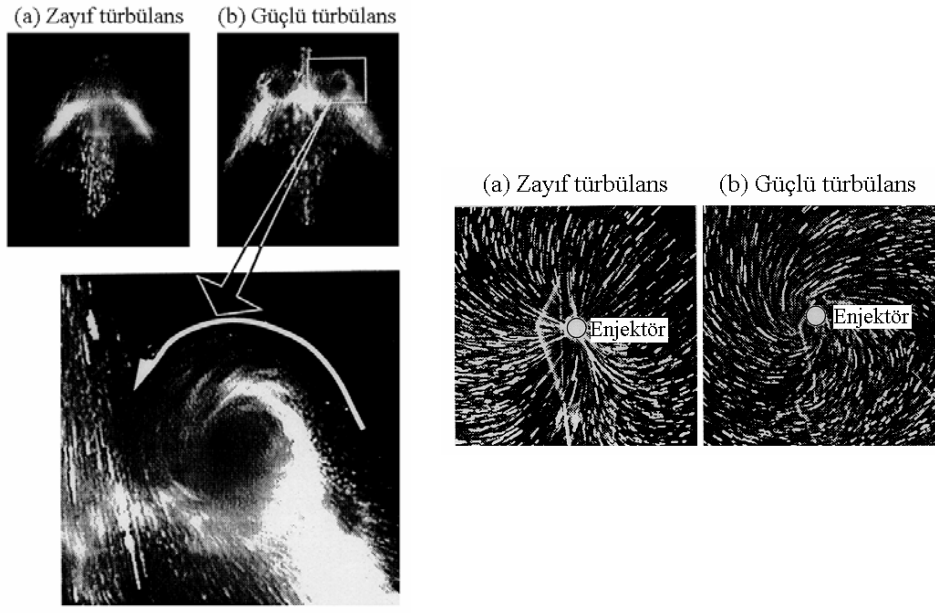
Şekil 5:
Direkt püskürtmeli Mitsubishi motorunun temel teknolojileri

- Kısmi yükte çalışmada ise geç püskürtme yapılır. Püskürtülen yakıt miktarı düşürülür. Bu durumda, ateşlemenin başlangıcında buji bölgesinde stokyometrik bir karışım oluşturulmalıdır. Bu küçük dağıtım açılı kompakt bir püskürtme için daha büyük bir avantajdır.
- Yukarıda ifade edilen iki durum için özellikle kısmi yükte sadece yeterli bir atomizasyona ihtiyaç olmayıp ayrıca püskürtülen yakıt demetinin yanma odası cidarlarıyla temasından da kaçınılmalıdır. Aksi taktirde HC emisyonları arttırılmış olur.
- İçeride karışım oluşumu için geliştirilen bu metod erken püskürtme için geniş bir püskürtme açısı, geç püskürtme için ise dar bir püskürtme açısı gerektirir, Şekil 6.

	Erken püskürtme	Geç püskürtme
Prensip		
Püskürtme	Cidarı ıslatmaksızın geniş bir dağılım	Kompakt atomizasyon
Karışım	Homojen	Kademeli
Hedef	Yüksek performans	Yakıt ekonomisi

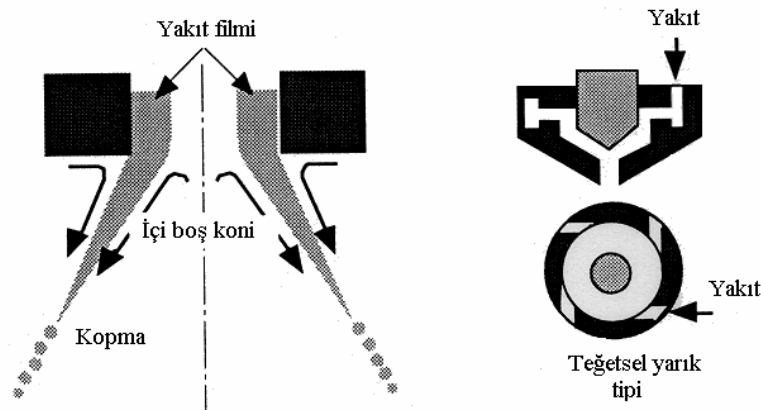
Şekil 6:
Karışım teşkili prensibi

Püskürtülen yakıt demetinde kontrollü bir türbülans üretmenin bir takım faydaları vardır. Bunlardan bir tanesi, oluşturulan türbülansın, yakıt damlacıklarının kinetik enerjisini meme eksenine boyunca doğrusal hareketten dönme hareketine dönüştürülmesine imkan tanınmasıdır. Bu yüzden farklı devir ve yüklerdeki değişken püskürtme derinliği uzunluğu, değişken bir türbülans yoğunluğuna dönüşür. Şekil 7 de silindirik içindeki hava hareketleriyle sağlanan zayıf ve güçlü türbülansın fotoğrafları verilmiştir (Kume ve diğ., 1996).



Şekil 7:
Zayıf ve güçlü türbülans halinde yakıt demetinin yapısı

Mitsubishi enjektörlerinin kullanılması durumunda teğetsel yarıklar tarafından üretilen bu türbülans Şekil 8 de gösterildiği gibi damlacıkları yönlendirir (Iwamoto ve diğ., 1997).

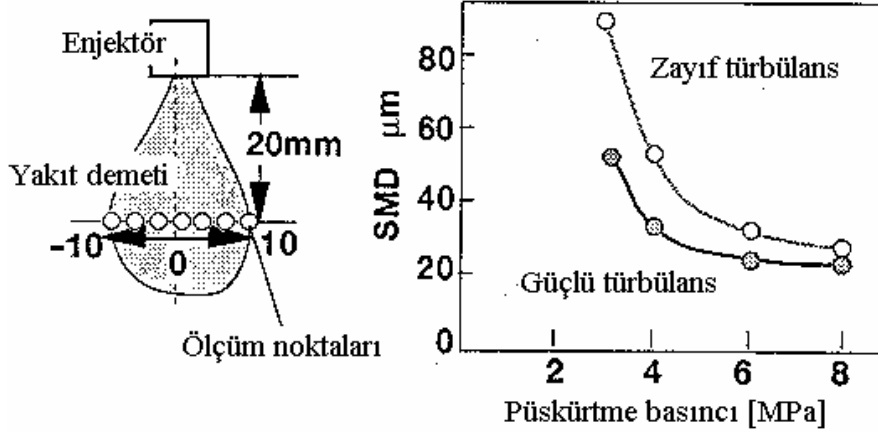


Şekil 8:
Türbülans enjektörünün temel çalışma prensibi

Türbülanslı yakıt iğne etrafında çok ince bir film gibi şekillenir. Meme çıkışında, püskürtme, sıvı iç çekirdeği olmaksızın içi boş bir koni şeklini alır.

Delikli tip enjektörlerin kullanılması durumunda yakıt demetinin formu daha farklı olur. Püskürtmenin formu içi boş bir yüzey yerine sıvı şeritler halini alır. Bu yüzden aynı atomizasyon seviyesi için püskürtme basıncı 10 MPa'a kadar yükseltilmelidir. Şekil 9 da kısıcı-meme (iğneli meme) kullanılması durumunda farklı türbülans yoğunlukları için püskürtme basıncının bir fonksiyonu olarak ölçülen Sauter

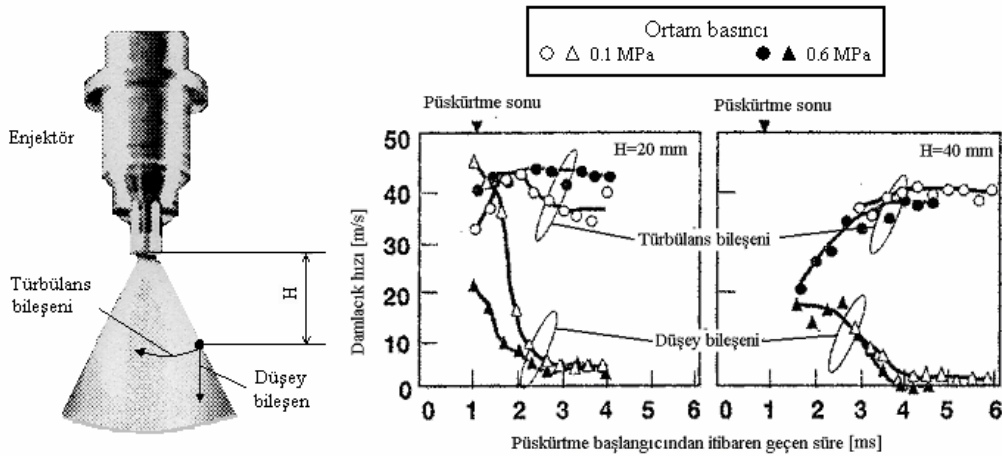
ortalama çapı (SMD) gösterilmiştir. 4 MPa'ın altındaki püskürtme basınçlarında oluşan damlacık çapları iyi bir yanma için gerekenden daha büyüktür. Bununla birlikte, 5 MPa'ın üstündeki basınç değerlerinde atomizasyon ciddi bir artış göstermez. Şekil 9 da gösterildiği gibi bu eğilim daha yüksek bir türbülans yoğunluğu için karşımıza çıkar. O yüzden bu uygulama için optimum püskürtme basıncı 5 MPa olarak düşünülmüştür.



Şekil 9:
Damlacık boyutu ve dağılımı

Şekil 10 da püskürtme süresince yakıt demeti hızının radyal ve aksel bileşenleri gösterilmiştir.

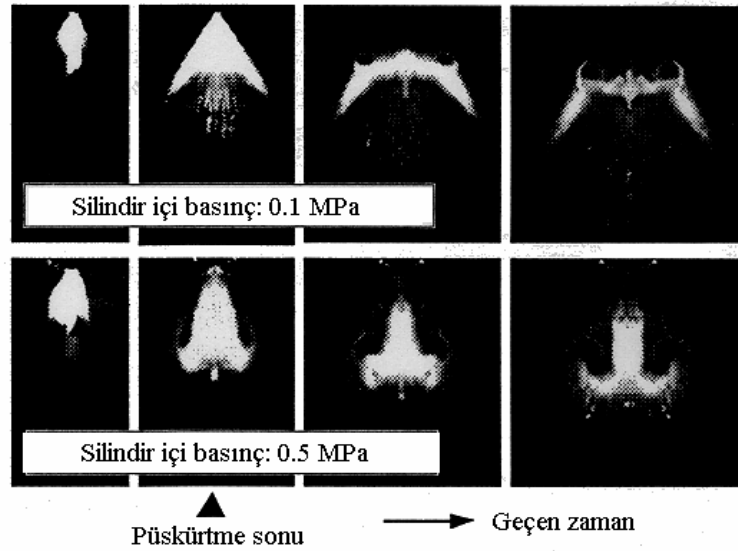
Hızın aksel bileşeni hızlı bir şekilde sönümlenmesine karşın radyal bileşeni tüm püskürtme süresince hemen hemen aynı seviyede kalır. Bu eğilim tüm noktalar için söz konusudur.



Şekil 10:
Damlacık hızının yatay ve düşey bileşenleri

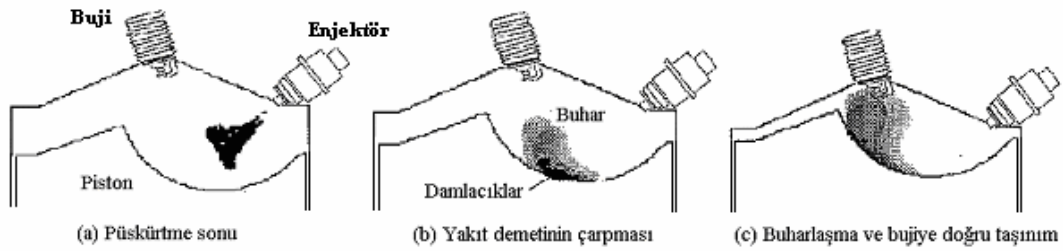
Bu davranışın sebeplerinden bir tanesi, radyal yöndeki hava benzer bir türbülans hareketine sebep olabilir, halbuki aksel yönde nüfuz derinliğine karşı havanın bir direnci söz konusudur. Ortam basıncında, aksel bileşen başlangıçta yüksek olup daha sonra hızlı bir şekilde sönümlenmektedir. Daha yüksek hava basınçlarında aksel bileşen orantılı olarak daha da düşmektedir. Radyal bileşen üzerinde ise pratik olarak herhangi bir etki söz konusu değildir.

Şekil 11 de farklı hava basınçları için yakıt demeti boyunca dikey yönde yerleştirilmiş lazer kesicilerden elde edilen görüntüler gösterilmiştir. Düşük hava basınçlarında koni açısı daha geniş ve aksel hızda daha düşüktür. Bu eğilim tam ve kısmi yükte çalışmada içeride karışım teşkili için bir avantaj teşkil eder.



Şekil 11:
Farklı silindir içi basınç değerlerinde yakıt demetinin aldığı formlar.

Şekil 12 de yanma odasındaki enjektör ve buji konumu ile pistonun hareketi süresince karışım oluşum sırası gösterilmiştir.



Şekil 12:
Karışım oluşum kademeleri

5. SONUÇ

Yakıt tüketiminde sağlanan büyük avantajlar ve seri üretimle gelen maliyet düşüşü, önümüzdeki yıllarda DP benzin motorlarının daha da yaygınlaşacağını göstermektedir. Özellikle kısmi yükte çalışmada 40'ı aşan H/Y oranlarında bile dengeli bir yanma gerçekleştirilebilmektedir. Bu, yakıt ekonomisinde önemli bir artış sağlar. Hemen hemen bir çok firma kendine ait direkt püskürtmeli benzin motorunu geliştirerek seri üretim aşamasına gelmiş durumdadır. Sistemin getirdiği en önemli üstünlükler; motorda ilk hareket kolaylığı, motorun hızlı cevap verme yeteneğinin sağlanması, düşük CO₂ emisyonları, vuruntu direncinin artması (daha yüksek sıkıştırma oranlarına çıkılabilmesi) ve yüksek volumetrik verim şeklinde sıralanabilir.

DP benzin motorlarının yukarıda sayılan avantajlarına karşın karışım oluşturma sisteminin ileri teknoloji gerektirmesi, yüksek basınçlı yakıt donanımında aşınmalar, egzoz emisyonlarına ilişkin bazı problemler gibi çözüm bekleyen bazı sakıncaları mevcuttur. Bahsedilen problemlere yönelik sürdürülen çalışmalar bu sıkıntıların kısa süre içerisinde giderileceğini göstermektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Cornel S. (1999) "Direct Injection Systems from Spark-Ignition and Compression-Ignition Engines", SAE Publication, ISBN: 0-7680-0610-4, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
2. <http://web1.mitsubishi-motors.co.jp/inter/technology/GDI/>, 2000.

3. Iwamoto Y., Noma K., Nakayama O., Yamauchi T., Ando H. (1997) "Development of Gasoline Direct Injection Engine, SAE Paper No: 970541.
4. Kume T., Iwamoto Y., Lida K., Murakami M., Akishino K., Ando H. (1996) "Combustion Control Technologies for Direct Injection SI Engine", SAE Paper No: 960600.
5. Soruřbay C. (2000) "Direkt Puskürtmeli Benzin Motorları", Otomotiv Dergisi, ISOD, Mart-Nisan 2000, Sayı: 73, sayfa 16-19.
6. Zhao F.Q., Lai M.C., Harrington D.L. (1997) "A Rewiew of Mixture Preparation and Combustion Control Strategies for Spark-Ignited Direct-Injection Gasoline Engines", SAE Paper No: 970627.