

DÜŞÜK EMİSYONLU ve YÜKSEK VERİMLİ YENİ BİR KADEMELİ DOLGULU BENZİN MOTORU

R. MEHDİYEV*, D. BAYKA**, H. ARSLAN***, T. GÜDÜ****

Avrupa ülkelerinde 2005 yılından itibaren yürürlüğe giren Euro 4 emisyon standardı otomobillerin egzoz gazlarındaki NO_x , HC ve CO gibi zararlı bileşen miktarlarının Euro 3 standartlarına göre yaklaşık 2 kat daha azaltılmasını zorunlu hale getirmektedir. NO_x , HC ve CO bileşenlerinin yanı sıra CO_2 miktarının büyük bir oranda düşürülmesi, dizel motorlarda olduğu gibi benzin motorlarda da fakir yakıt-hava karışımının ($\lambda=1,2-2,5$) tüm yük rejimlerinde verimli yanmasıyla mümkündür. Bu da benzinli motorların fakir karışımlarla çalışmasını sağlayan "kademeli dolgu" prensibini yeniden gündeme getirmiştir. 70 ve 80'li yıllarda, otomobillerden kaynaklanan hava kirliliği problemini çözmek için gündeme önemli yer tutan bu prensip, 3 yollu katalitik dönüştürücülerin etkin olarak kullanılmaya başlamasıyla birlikte önemini yitirmiş ancak emisyon seviyelerinin azaltılması konusunda meydana gelen son gelişmelere karşı katalizör teknolojisindeki gelişmelerin yetersiz kalması, CO_2 'nin zararlı gaz bileşenleri içine dahil edilmesiyle birlikte, benzin motorlarının güncel emisyon seviyelerine uydurulması için yapılan çalışmalarda yeniden önem kazanmıştır. Bu makalede, iki aşamalı yanma mekanizmasını gerçekleştirmek için ODTÜ, İTÜ ve TOFAŞ'ta yapılan ve TÜBİTAK tarafından desteklenen çalışmalar sonunda geliştirilmiş "Çift Döngülü Yanma Odası" olarak adlandırılan yeni bir yanma mekanizması hakkında bilgi verilmektedir. Ayrıca makalede konu çift döngülü yanma odasının uygulandığı 1.6 litre 8 valf tek noktadan püskürtmeli prototip benzinli bir motorun TOFAŞ'ta gerçekleştirilen motor bankosu ve laboratuvar test sonuçları sunulmuştur. Adı geçen bu yeni yöntem, motorun seri üretimi için mevcut üretim teknolojisini büyük ölçüde değiştirmeden mevcut motorlar üzerinde uygulanmasına imkan sağlamaktadır.

Anahtar sözcükler: Kademeli dolgulu motorlar, iki aşamalı yanma mekanizması, egzoz emisyonları, yakıt tüketimi.

In European countries, NO_x , HC and CO exhaust gases emitted from automobiles have been forced to reduce approximately two times by Euro 4 emission regulations according to Euro 3 regulations since 2005. CO_2 gas levels can be reduced simultaneously together with NO_x , HC and CO emissions by efficient combustion of lean air-fuel mixtures ($\lambda=1,5-2,5$) in all loading regimes as in diesel engines and this becomes stratified charge combustion principle again popular. Because it provides lean mixture combustion in gasoline engines. In 70's and 80's, while stratified charge principle had been occupied an important role in the reduction of air pollutant gasses emitted from automobiles, it has been lost its importance with introduction of three-way catalytic converters. But nowadays, since development of catalytic converter technologies has not been enough to satisfy request standards and including of CO_2 among other hazardous emission gasses, stratified charge principle has become again popular. In this study, a new combustion mechanism called as "Twin Swirl Combustion Chamber" developed by METU, İTÜ and TOFAŞ collaboration with support of TÜBİTAK to satisfy two-stage combustion is presented. Also, engine bench and emission laboratory test results of prototype 1.6 liter 8 valves single point injection (SPI) gasoline engine that has been produced with twin swirl combustion chamber cylinder head are explained.

Keywords: Stratified charge engines, two-stage combustion mechanism, emissions, fuel consumption

* Prof. Dr. İTÜ, Makina Fakültesi

** Prof. Dr. ODTÜ, Mühendislik Fakültesi, Makina Müh. Bölümü

*** Dr. İTÜ Makina Fakültesi

**** TOFAŞ

GİRİŞ

Benzinli motorlarda yakıt tüketiminin daha fazla olması, sıkıştırma oranının optimum değerlerinden düşük olmasından ve kısmi yük rejimlerinde dizelerde olduğu gibi çok fakir karışımların kullanılmamasından kaynaklanmaktadır. Bu problemin en önemli çözüm yollarından biri benzinli motorların fakir karışımlarla çalışmasını sağlayan "kademeli dolgu" (Stratified Charge) prensibidir. Birçok otomobil firması (GM, Ford, Texaco, Volkswagen, BMW, Fiat, Honda, Mitsubishi, Toyota vb.) bu prensiple çalışan farklı motor örnekleri üretmelerine rağmen, günümüze dek klasik motorlar gibi yaygın olarak üretilmemiştir.

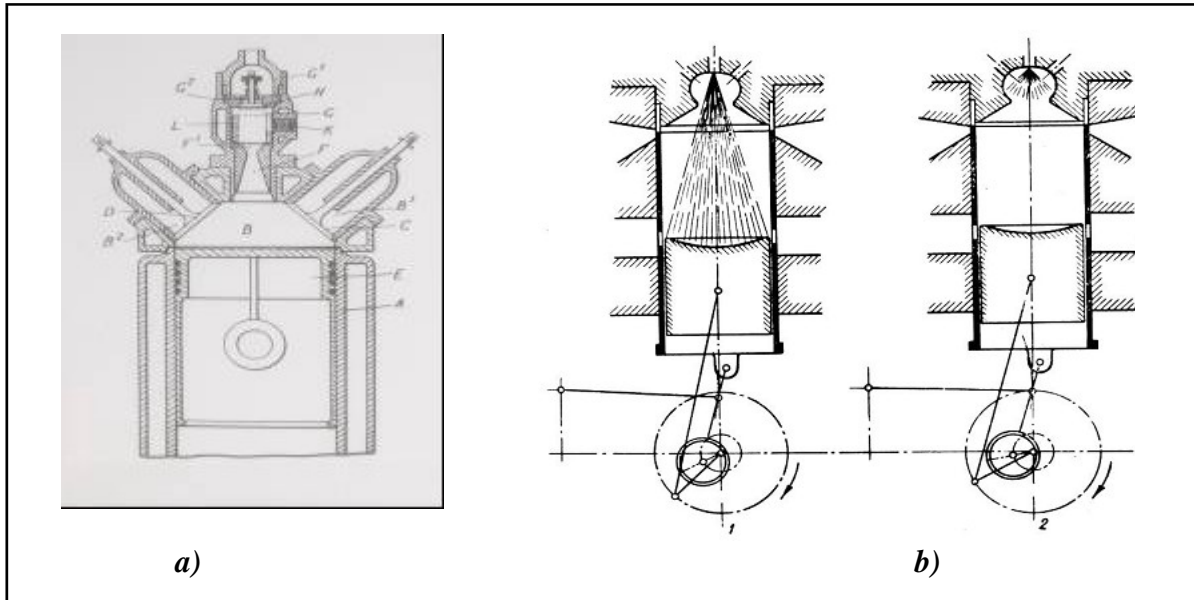
Kyoto protokolüne esasen Avrupa Birliği ülkelerinin aldığı karar gereğince yürürlüğe girmiş olan Euro 4 standardı ile birlikte, karbondioksit (CO_2) gazı da kirleticiler arasına dahil edilmiş ve 2008 yılına dek bu gazın %25-30 oranında azaltılması öngörülmüştür. NO_x , HC ve CO bileşenlerinin yanı sıra CO_2 miktarının büyük bir oranda düşürülmesi, dizel motorlarında olduğu gibi, benzinli motorlarda da fakir yakıt-hava karışımlarının ($\lambda=1,2-2,5$) kullanılmasını sağlayan "kademeli dolgu" prensibini, 20. yüzyılın 70 ve 80'li yıllarında olduğu gibi, yeniden gündeme getirmektedir. Bellidir ki, otomobillerden kaynaklanan hava kirliliği ve yakıt tasarrufu problemini çözmede gündemde önemli yer tutan bu prensip, 3 yollu katalitik dönüştürücülerin etkin olarak kullanılmaya başlamasıyla birlikte önemini yitirmiş, ancak emisyon seviyelerinin azaltılması konusunda meydana gelen son gelişmelere karşı katalizör teknolojisindeki gelişmelerin yetersiz kalması, CO_2 'nin zararlı gaz bileşenleri içine dahil edilmesiyle birlikte, benzinli motorların güncel emisyon seviyelerine getirilmesi için yapılan çalışmalarda yeniden önem kazanmıştır. 40 yılı aşkın bir süredir, motordaki kademeleştirilmiş yakıt-hava karışımının "iki aşamalı yanma mekanizması" ile yakılması konusunda AzTÜ'de Prof. Dr. R. MEHDİYEV'in yönetiminde eski Sovyetler Birliği'nin çeşitli bilimsel ve sanayi merkezleri ile işbirliği kapsamında yapılmış pek çok teorik ve deneysel çalışmalar sonrasında, bu yöntemin hem yanma verimliliğinin yükseltilmesi, hem de kirletici gaz emisyonların azaltılması açısından önemli avantajlara sahip olduğu açıklanmıştır. İki aşamalı yanma mekanizmasını gerçekleştirmek için MİSAG G-33 Nolu TÜBİTAK projesi olarak (proje yürütücüsü Prof. Dr. A.D.BAYKA) ODTÜ, İTÜ ve TOFAŞ'ta yapılan çalışmalar sonucunda "Çift Döngülü Yanma Odası"

olarak adlandırılan yeni bir yanma oda konstrüksiyonu geliştirilmiş ve TOFAŞ adına Uluslararası patent başvurusu yapılmıştır. Söz konusu çift döngülü yanma odasının uygulandığı 1,6 litre 8 supaplı tek noktadan enjeksiyonlu ilk prototip benzinli bir motorun TOFAŞ'ta gerçekleştirilen dinamometre-deney sonuçları performans ve verimlilik açısından olumlu olmuş ve adı geçen bu yeni yöntem, motorun seri üretimi için mevcut üretim teknolojisinde az bir değişiklikle mevcut motorlar üzerinde uygulanmasına imkan verdiği tespit edilmiştir. Aşağıda "kademeli dolgu" prensibini gerçekleştirmiş birkaç önemli örnek, çift döngülü iki aşamada yanma mekanizması ve TOFAŞ'ta motorun dinamometredeki deneyleri yapılmış ilk prototip kademeli dolgulu motor hakkında bilgiler sunulmaktadır.

KADEMELİ DOLGULU MOTORLARIN BAZI ÖRNEKLERİ

Kademeli dolgu prensibi ilk kez Ricardo tarafından uygulanmıştır (Ricardo, 1922). Kademeli dolgu uygulamasında mevcut motorlardan farklı olarak ateşleme bujisi etrafında zengin, yanma odasının diğer bölgelerinde ise fakir yakıt-hava karışımı sağlanmalıdır. Bu amaçla Rikardo tarafından iki tip kademeli dolgulu motor şeması

(Şekil 1.) önerilmiştir; 1918 yılında yakıt-hava karışımı, klasik buji ateşlemeli motorlarında olduğu gibi, silindirin dışında (emme manifoldunda) oluşan ve alev demetiyle ateşlemeli kademeli dolgulu motor (Pre-chamber Torch Ignition Stratified Charge Engine), 1940 yılında ise hava-yakıt karışımı, dizel motorlarında olduğu gibi, silindirin içinde oluşan veya yakıtı direkt yanma odasına püskürtmeli motor (Direct Injection SI Engine - GDI). Her iki şemada buji etrafında zengin karışım oluşturmak için küçük hacimli yardımcı bir ön yanma odacığı mevcuttur. Günümüze dek çeşitli otomobil üreticileri (GM, Ford, Texaco, Wolkswagen, BMW, Fiat, Honda, Mitsubishi, Toyota vb.) tarafından ağırlıklı olarak GDI tipli birçok örneklerinin geliştirilmesine rağmen, klasik motorlar gibi kademeli dolgulu motorların seri üretimleri yapılmamıştır. Bunun sebebi tüm yük ve hız rejimlerinde ön yanma odacığındaki buji etrafında kolaylıkla tutuşabilen zengin karışım oluşturulamaması ve fakir karışımı güvenilir bir biçimde yakılamamasıdır. Bu sorunları belli bir biçimde çözmek için 1970-80 yıllarında AzTÜ'de Gorki Otomotiv Fabrikası (GAZ) ile üniversite - sanayi işbirliği kapsamında yapılmış çalışmalar sonucu olarak GDI tipli yeni bir motor önerilmiştir (Kerimov ve Mehdiyev, 1978; Kerimov ve Mektiyev, 1981). Şeması ve fotoğrafı Şekil 2'de gösterilen AzTÜ-GAZ motorun farklı ayırt edici özelliği



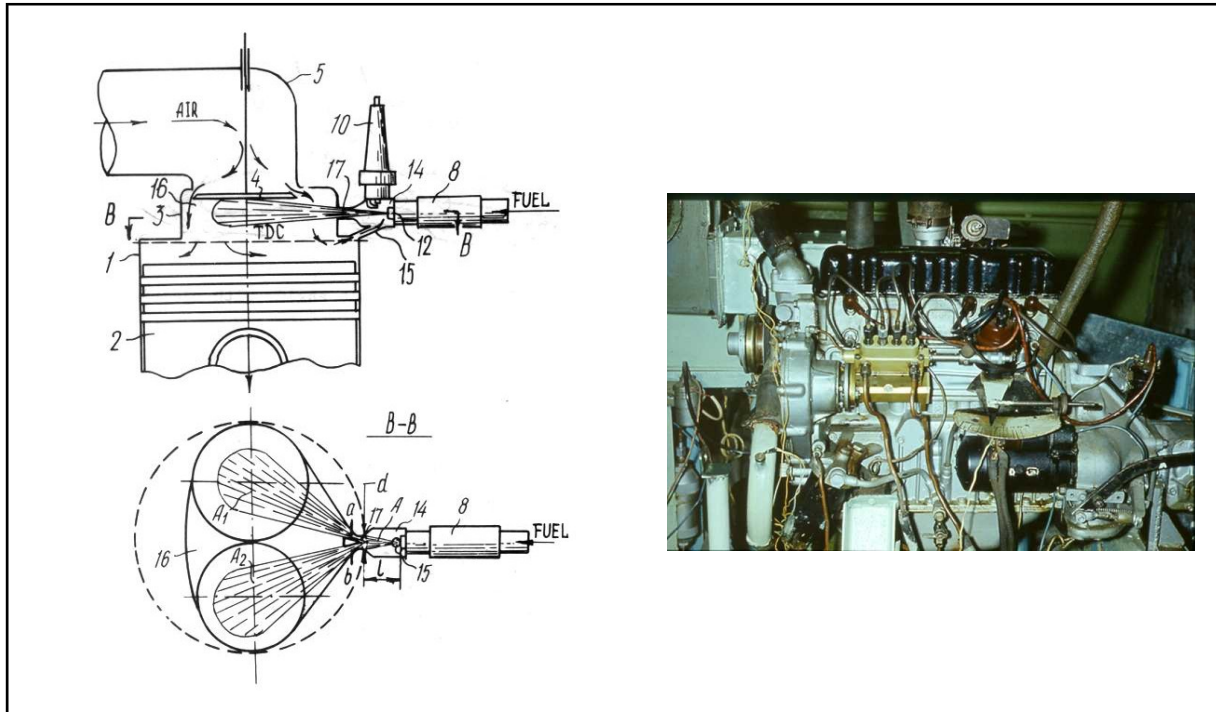
Şekil 1. Yakıt-Hava Karışımı Silindirin Dışında (a, 1918 Yılı) ve İçinde (b, 1940 Yılı) Oluşturulan Kademeli Dolgulu H.R.Rikardo Motorları

ön yanma oda hacmini takip ederek direkt ana yanma odasına püskürtülen benzinin kinetik enerjisi ek bir kanaldan (Şekil 2'de 15) belli bir miktar havanın silindirden ön odacığına geçmesinin sağlanmasıdır. Püskürtülen yakıt miktarı arttıkça ön yanma odacığına silindirden emilen hava miktarı da artmaktadır. Bu durum ek bir yardımcı sistem (örneğin, birçok kademeli dolgulu motorlarda olduğu gibi ek emme supapı) kullanılmadan ana yanma odasının %3-5'i kadar hacmi olan ön odacığın artık gazlarının süpürülmesine ve bileşimi tüm yük rejimlerinde yaklaşık $\lambda_1=0,6-0,7$ aralığında değişen zengin karışımla doldurulmasına imkan vermektedir. Bu konstrüksiyonla benzinin püskürtülme zamanına bağlı olarak ana yanma odasındaki yakıt-hava karışımın istenilen kademeleştirilme derecesini elde etmek mümkündür.

Şekil 3'te strok hacmi 2,4 Litre 4 silindirli ilk prototip AzTÜ-GAZ motorun yük karakteristiği gösterilmiştir. Karşılaştırmak için burada 70'li yıllarda Honda firması tarafından piyasaya sürülmüş karbüratörlü ön ateşleme odacığı olan 4 silindirli bir "1200-CVCC" motorun da yük karakteristiği verilmiştir. Her iki motorda sıkıştırma oranı $\varepsilon=7,7$. Karışımı ön odacığının alev huzmesiyle ateşlenen

her iki motorun birbirinden farkı, ateşleme anında "1200-CVCC" motorunda silindirde karışım tam homojen durumunda (karbüratör homojen karışım oluşturur), AzTÜ-GAZ motorunda ise ön odacıktan çıkan alev huzmesi boyunca karışımın kısmen kademeleştirilmiş durumunda (benzin emme sürecinin ikinci yarısında püskürtüldüğü için) olmasındadır. Bu durum yanma sürecinin etkinliğini artırarak, motorun tüm yük rejimlerinde daha fakir karışımlarla çalışmasına imkan vermiştir. Örneğin, "1200-CVCC" motorunda maksimum fakirleşme $\lambda=1,2$ olduğu halde, AzTÜ-GAZ motorunda $\lambda=1,4$ 'e ulaşmıştır. Bunun neticesinde AzTÜ-GAZ motoru daha verimli çalışarak özgül yakıt tüketimi $(b_e)_{\min}=200$ g/BG Saat seviyesine dek düşmüştür ("1200-CVCC" motorunda $(b_e)_{\min}=225$ g/BG Saat olmuştur).

Yakıt direkt olarak silindire püskürtüldüğü için gaz kelebeğinin tam açık durumunda motorun emme manifoldunda vakumun (Δp_k mmHg) bir miktar düşmesi AzTÜ-GAZ motorun volümetrik veriminin artmasına, motor performansının - ortalama efektif basıncının ise $p_{me}=7,3$ 'ten 9,2 bara dek yükselmesine (%20) sebep olmuştur.

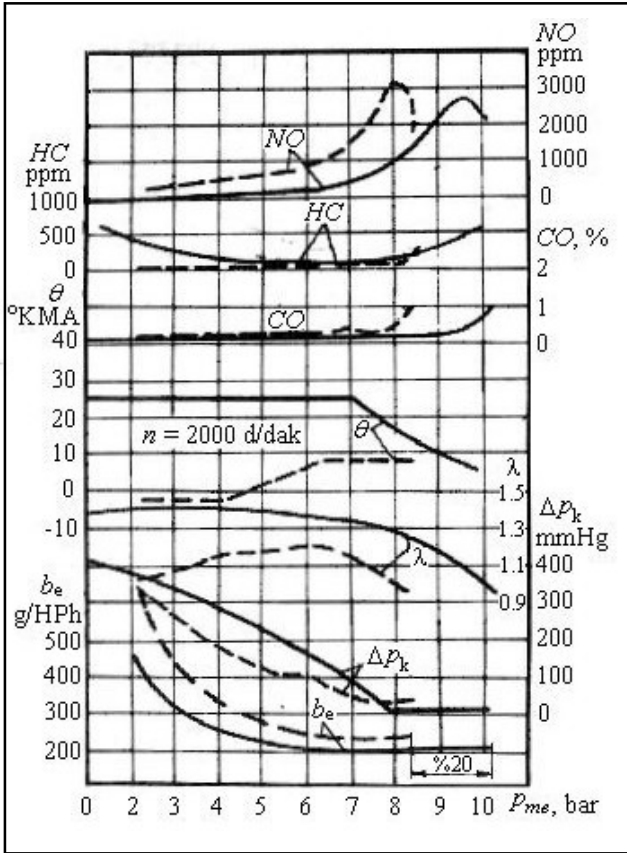


Şekil 2. GDI tipli AzTÜ-GAZ Motoru.

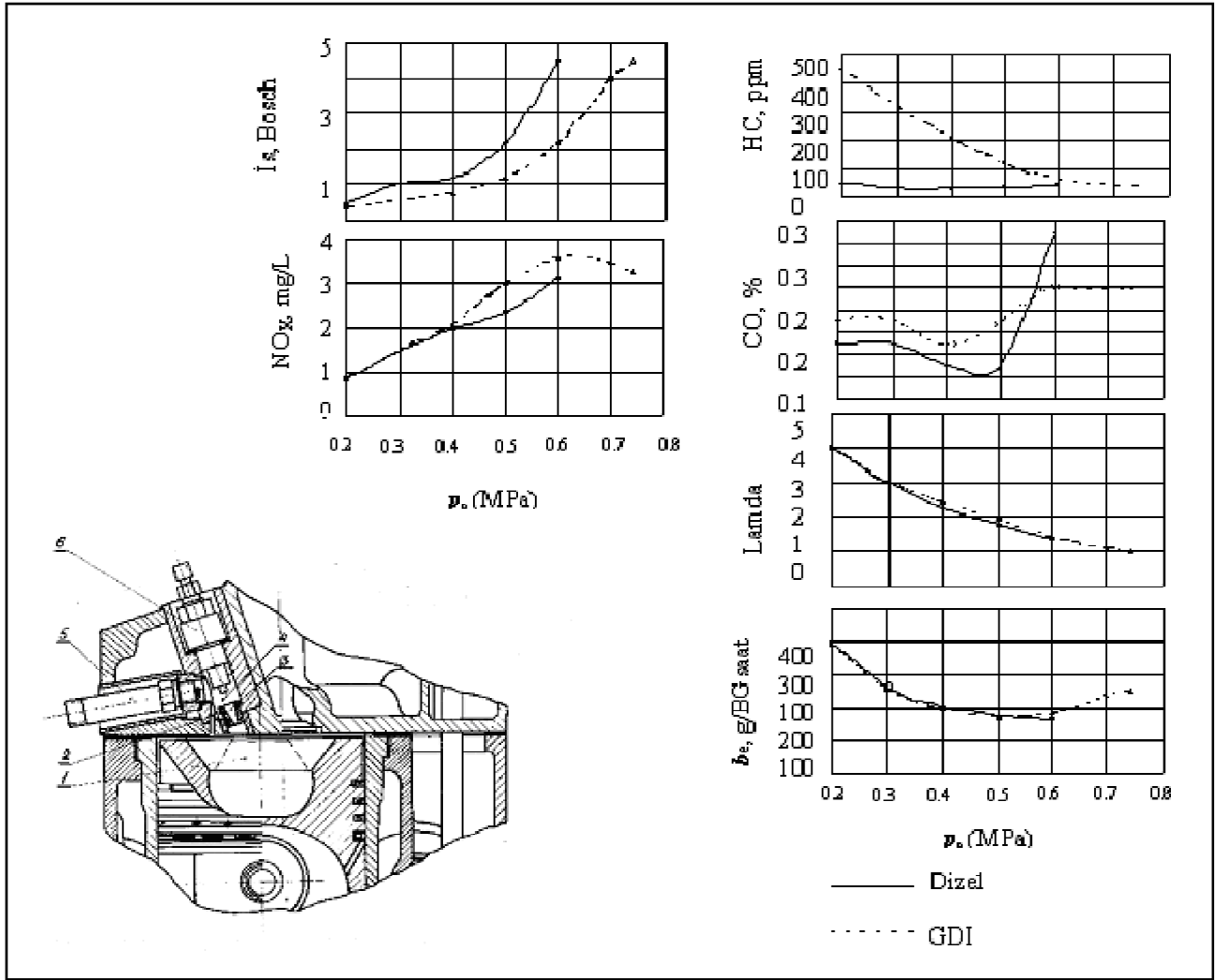
Söz konusu AzTÜ-GAZ konstrüksiyonunda benzinin sıkıştırma strokunda püskürtülmesiyle yakıt-hava karışımının maksimum kademeleştirilmesinin etkinliği de, dizel motoru ile karşılaştırılarak, incelenmiştir. Bu deneylerle tespit edilmiştir ki, benzini sıkıştırma strokunda yanma odasına püskürtürerek hem ana yanma odasında karışımının maksimum kademeleştirilmesi, hem de benzinin ısınarak kimyasal aktif hale gelmesine yeterince zaman kalmadığından dolayı yüksek sıkıştırma oranında vuruntu olayının önlenmesi mümkündür. Deneylerde normal benzin kullanılması (oktan sayısı 93) rağmen, motorun sıkıştırma oranı $\epsilon=11,7$ dek artırılabilmiştir.

Şekil 4'te temel boyutları $S/D = 140/125$ mm olan tek silindri bir dizel motorun hem dizel ($\epsilon=15$), hem de kademeli dolgu (GDI, $\epsilon=11,7$) prensibi ile çalışmasından elde edilmiş yük karakteristiği gösterilmiştir (Kerimov ve Mektiyev, 1978). Şekilden görüldüğü gibi, yakıt-hava karışımının maksimum kademeleştirilmesi ve sıkıştırma

oranının yükseltilmesiyle GDI motorun tüm yük rejimlerinin kontrolü, dizel çevriminde olduğu gibi, HFK'nın geniş sınırlarda değişmesiyle ($\lambda=1,1...4,1$), başka bir deyişle çok fakir karışımlar kullanılarak mümkün olmuştur. Bunun yanı sıra motorun gücü de aynı is koyuluğu ($D = 4,5$ Bosch ölçeği) şartında %20'ye kadar artmıştır (ortalama efektif basınç $p_{me}=0,60$ tan $0,74$ MPa'la kadar artmış). CO emisyonu %0,2...0,25 ten fazla olmamakta, fakat NO_x emisyonu dizel çevrimindekinden bir miktar daha fazla olmaktadır ($NO_x = 0,85...3,6$ mg/l). Kısmi yüklerde ($p_{me} < 0,6$ MPa) HC emisyonu da GDI motorunda dizel'e göre yüksek olmaktadır ($p_{me} = 0,2$ MPa yüke karşılık HC = 450 ppm değerine ulaşmaktadır). Tam yük rejiminde ise her iki motor için HC yaklaşık aynı (40 ppm) seviyededir. Yani GDI motorun en önemli eksikliği, egzoz gazlarındaki HC ve NO_x emisyonlarının fazla olmasıdır. HC emisyonunu fazla olmasının sebebi, sıkıştırma işleminde silindire püskürtülen (püskürtme avansı ÜÖN'dan 90° KMA önce) yakıt damlacıklarının tam olarak buharlaşıp hava ile karışmaması ve çok fakir karışımlarda ($\lambda > 2,0$) alev cephesinin soğuk cidara yakın bölgelerde sönmesidir. Motorun kısmi yüklerde çok fakir karışımlarda çalışmasına rağmen, egzoz gazlarında dizel motorlarında olduğu gibi NO_x emisyonlarının fazla olması ilginçtir. Bu durum, homojen karışımlarla çalışan motorlarda NO_x oluşum teorisiyle izah edilememektedir. Çünkü $\lambda > 1,35$ olan homojen karışımın yanma sonu sıcaklığı azotun oksitlenmesi için yetersiz olduğundan sadece NO_x nun meydana gelmemesi gerekir. GDI halinde NO_x emisyonunun fazla olma sebebini Y.Zeldovich' in difüzyonlu yanma üzerine yaptığı teorik çalışmalara (Zeldoviç, 1984) dayanarak açıklamak mümkündür. Bu çalışmalara göre, önceden birbirlerine karışmamış yakıt buharlarıyla hava, sadece yanma zamanı karışırsa yanma sonu sıcaklığı ve yanma ürünleri stokiyometrik homojen karışımın ($\lambda = 1$) yanması sonucunda oluşan sıcaklık ve yanma ürünleriyle aynı olur. GDI motorlarında, dizel motorlarında olduğu gibi karışımın oluşumu ve yanması arasında çok az bir zaman farkı olduğundan yanma prosesi difüzyonlu yanma kanunlarına uymaktadır. Buna göre de çok fakir karışımlar kullanıldığında bile yanma bölgesinde yerel sıcaklığın, stokiyometrik karışımın yanmasında



Şekil 3. AzTÜ-GAZ (_____) ve "Honda-1200-CVCC" (-----) Motorların Yük Karakteristiklerinin Karşılaştırılması



Şekil 4. Benzini Sıkıştırma Sürecinde Püskürtülen AzTÜ-GAZ ve Dizel Motorların Yük Karakteristiklerinin Karşılaştırılması

olduğu gibi, yüksek olmasından dolayı NO_x emisyonu artar ve sıcaklık daha sonra düşse bile NO_x 'ler donduğu seviyede kalır.

Bilindiği gibi, Mitsubishi firması 1996 yılından itibaren GDI tipli yeni motorunu piyasaya sürmüştür [5]. Bu motorda zengin karışımla beslenmesi zor olduğu için ön yanma odacığı kaldırılmış ve piston içerisindeki yanma odası öyle şekillendirilmiştir ki, yüksek basınçla silindire püskürtülen yakıt damlacıkları tüm yük rejimlerinde ateşleme bujisi tarafına yönlendirilerek zengin karışım oluşmasını sağlamaktadır. Yakıtın silindire püskürtüldüğü an yük rejimine bağlı olarak elektronik kontrollü enjektörün

yardımı ile değişir. Tam yüklerde silindirde homojen karışım oluşturmak için yakıt emme zamanında, kısmi yüklerde ise kademeli dolgu oluşturmak için sıkıştırma zamanında püskürtülmektedir. Yüke bağlı olarak HFK $\lambda = 1,0...3,5$ arasında değişir, böylece motor yüksek performanslı ve ekonomik olmaktadır. Fakat AzTÜ-GAZ motorunda olduğu gibi, Mitsubishi motorunda da egzoz gazlarındaki HC ve NO_x emisyonları yüksektir. Bu kirleticilerin standart değerlerini aşmamak için firma iki tip katalizatör (NO_x için absorpsiyon uygulaması ve katalizatör ile parçalanma, HC ve CO için ise katalizatörlü oksidasyon) kullanmak zorunda kalmıştır. Bu durum ve

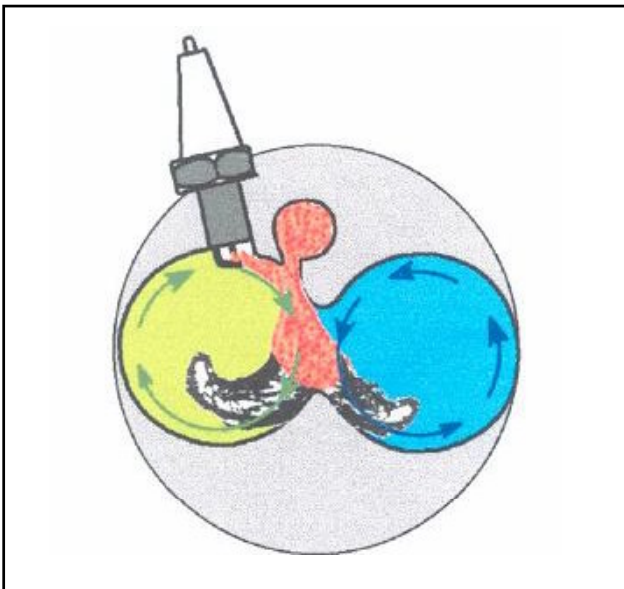
dizel motorlarındaki Common Rail sistemine benzer elektronik donanım ve yazılımlı yakıt püskürtme sisteminin kullanılması motorun maliyetini önemli derecede artırdığından dolayı yaygınlaşmamaktadır.

ÇİFT DÖNGÜLÜ KADEMELİ DOLGULU YANMA MEKANİZMASI

Yukarıda esas sonuçları özetle anlatılan 40 yılı aşkın bir süre içerisinde AzTU'da kademeli dolgulu motor konusu ile ilgili yapılmış bilimsel çalışmalarla verimli ve ultra düşük emisyonlu benzin motorun geliştirilmesi için yakıt-hava karışım oluşumu ve yakılmasının temel şartları belirlenmiştir:

1) Bujinin yerleştirildiği ve YO hacminin yaklaşık %50'ni kapsayan bölgesinde buharlaşmış yakıtla havanın oluşturduğu zengin ($\lambda=0,6-0,8$) karışımın, diğer bölgesinde ise sadece havanın yer almasıyla karışımı en yüksek kademeleştirilme durumuna getirmek ve bu karışımın İki Aşamada Yanma Mekanizması ile yakılmasını gerçekleştirmek;

2) Yakıtın sıvı fazıyla silindirin veya YO'sunun nispeten soğuk cidarlarının yanmadan önce temasta bulunmasını ve alev cephesinin YO cidarlara yakın bölgelerde sönmelerini önlemek.



Şekil 5. Çift Döngülü Yanma Odasında İki Aşamalı Yanma Mekanizmasının Şeması

Bu şartları sağlamak için "Çift Döngülü Yanma Odası" ("MR-Proses") adlanan yeni bir yöntem önerilmiştir (Mehdiyev, 1979; Mehdiyev ve Wolanski, 2000). Şeması Şekil 5'te gösterilmiş bu yöntemin özelliği YO geometrisinin "8"e benzeyen iki eşit bölgeye ayrılmasıdır. Emme ve sıkıştırma süreçlerinde yanma odasının bu bölgelerinde birbirinin tersine aynı hızda dönen iki türbülanslı hareket oluşturulur. Yanma odasının buji yerleşen bölgesinde bileşimi $\lambda=0,6..0,8$ arasında değişen zengin karışım, diğer bölgesinde ise sadece hava yer almaktadır. Her iki döngü aynı hız ve momentumla döndüklerinden ateşleme anına dek birbirleriyle karışmamaktadır. Dolayısıyla motorun tüm çalışma rejimlerinde yakıt-hava karışımının kademeleştirilme derecesi en yüksektir. Döngüler emme zamanından itibaren gerçekleştirildiği için yakıt-hava karışımını da bu süreçte silindirin dışında (manifolttan) oluşturmak, böylece günümüzde seri üretimi yaygınlaşmış elektronik püskürtme sisteminden (hatta karbüratörden) yararlanmak mümkündür. Böylece bir taraftan GDI tipli motorlarda uygulanan çok pahalı ve özel yakıt püskürtme sistemine burada gerek kalmamakta, diğer taraftan ise benzin silindire değil, manifoldta veya emme kanalına püskürtüldüğü için yakıtın sıvı fazıyla silindirin soğuk cidarlarının teması önlenmektedir. Bu ise önemli bir faktör olarak İki Döngülü Yanma Odasıyla çalışacak kademeli dolgulu motorun maliyetini ve HC emisyonunu düşüren önemli bir avantajdır.

İki Döngülü Yanma Odasının diğer bir avantajı, benzin direkt olarak silindire püskürtülmesi de, sıkıştırma oranını vuruntu oluşmadan optimum seviyelerine dek ($\epsilon=11..12$) artırılabilmesidir. Birinci aşamada zengin karışımın ($\lambda=0,6-0,8$) yakılması ile oluşan eksik yanma ürünlerin (CO ve H_2), ikinci aşamada hızla dönen türbülanslı ortamda yanabilmesi nedeniyle vuruntu olayı önlenmektedir.

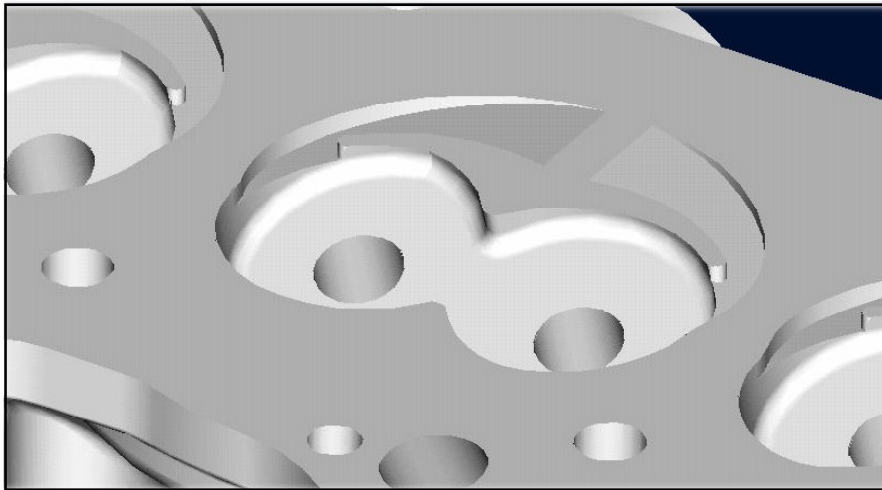
Yanma sürecinin iki aşamada gerçekleştirilmesi NO_x emisyonunu düşürmek için de avantajlıdır. Birinci aşamada zengin karışım yakıldığı için yeterli oksijenin olmaması, sıcaklığın ise düşük olması NO_x oluşumunu engeller. İkinci aşamada ise eksik yanma ürünleri olan CO ve H_2 'nin aşırı hızlı yanabilmesi sebebinden azotun oksitleşmesi için

yeterli zaman kalamadığından NO_x düşük miktarda oluşabilmektedir. Bu yöntemin diğer bir avantajı, alışılmış YO'da soğuk cidarlarda kaçınılmaz olan alev cephesinin sönme olayının burada önlenbilmesidir. Bunun sebebi, Şekil 5'ten de görüldüğü gibi, yanma olayının birbirinin tersine dönen türbülanslı ortamda gerçekleştirilmesiyle alev cephesi YO'nun sağ ve sol cidarlarından yanmamış karışımı sıyırıp odanın merkezine - en sıcak bölgeye sürükleyerek oksitlenme reaksiyonların sönmeden devam edebilmesidir. Böylece, "MR-Proses" yöntemi, bir taraftan motorun tüm yük rejimlerinde genel bileşimi fakir olan ($\lambda > 1,1 \dots 2,5$) en yüksek derecede kademeleştirilmiş yakıt-hava karışımının İki Aşamada Yanma Mekanizması ile yakılması, diğer taraftan ise yüksek sıkıştırma oranının ($\epsilon = 11 \dots 12$) kullanılabilmesi ve alev cephesinin sönme olayının önlenmesi gibi temel şartların yerine getirilmesi ile verimli ve ultra düşük emisyonlu motor geliştirme imkanı sağlamaktadır.

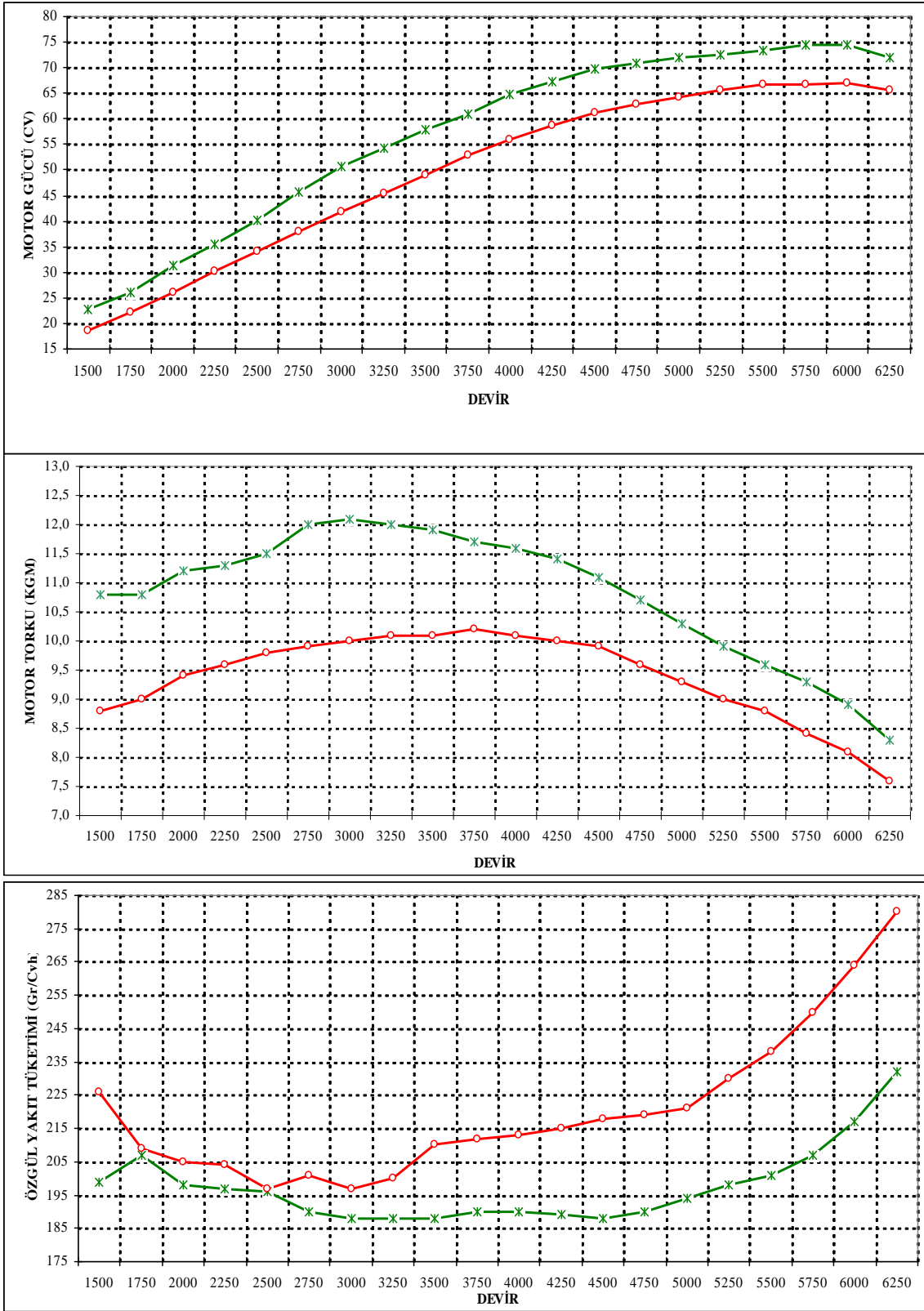
İki aşamalı yanma mekanizmasını gerçekleştirmek için MİSAG G-33 Nolu TÜBİTAK projesi olarak (proje yürütücüsü Prof. Dr. A.D.BAYKA) ODTÜ, İTÜ ve TOFAŞ'ta yapılan çalışmalar sonunda "Çift Döngülü Yanma Odası" olarak adlandırılan yeni bir yanma oda konstrüksiyonu geliştirilmiş ve TOFAŞ adına Uluslararası patent başvurusu yapılmıştır. Şekil 6'da Çift Döngülü YO'nun şekili gösterilmiştir. İlk prototip olarak kademeli dolgulu TOFAŞ 1,6 litre 8 supaplı motorun mevcut tek

noktadan enjeksiyonlu yakıt besleme sistemi muhafaza edilmiş, sıkıştırma oran ise sadece 1 birim ($\epsilon = 9,2$ den 10,2 dek) artırılmıştır. Şekil 7'de bu motorun TOFAŞ'ta gerçekleştirilmiş banko test sonuçları gösterilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi, testler performans ve verimlilik açısından olumlu sonuçlanmıştır; Motor Gücü 67 den 75 BG dek (%12) ve Maksimum Momenti 10' dan 12 kgm dek (%20) artmış, Özgül Yakıt Tüketiminin minimum değeri ise 210 'dan 187 g/BGh dek (%12) azalmıştır. Adı geçen bu yeni yöntem, motorun seri üretimi için mevcut üretim teknolojisinde küçük bir değişiklikle mevcut motorlar üzerinde uygulanmasına imkan sağlayacağı da tespit edilmiştir.

Yapılmış testlerle ilk prototip olarak üretilmiş motorda yanma odasının iyi soğutulmaması, volumetrik veriminin bir miktar düşüklüğü, yakıt-hava karışımının kademeleştirilmemesi gibi bir takım kusurların açıklanmasının yanı sıra, motorun performans ve emisyon değerlerini daha da iyileştirmek için büyük bir potansiyelin olduğu kanaatine de varılmıştır. Bu amaçla silindirler kapağının yeni versiyonunun tasarlanması ve motorun otomobil üzerinde sık-sık karşılaştığı geçici rejimlerinde Tek Noktadan Enjeksiyonlu sistemin yakıt tüketimi ve egzoz gaz emisyon değerlerine negatif etkisini aradan kaldırmak için günümüzde yaygın olarak kullanılan Çok Noktadan Enjeksiyonlu sistemin uygulanması öngörülmüştür.



Şekil 6. Çift Döngülü Yanma Odası



Şekil 7. TOFAŞ Motorun Güç, Moment ve Yakıt Tüketimi Grafikleri.

o Standart YO , x Çift Döngülü YO

SONUÇ

1. 40 yılı aşkın bir süre içinde kademeli dolgulu motorlar konusunda AzTÜ'de elde edilmiş deneyime dayanarak, MİSAG G-33 Nolu TÜBİTAK projesi çerçevesinde ODTÜ, İTÜ ve TOFAŞ'ta yapılmış motor modernizasyon çalışmaları sonucunda "Çift Döngülü Yanma Odası" olarak adlandırılan yeni bir yanma oda konstrüksiyonu geliştirilmiş ve TOFAŞ adına Uluslararası patent başvurusu yapılmıştır.

2. Söz konusu çift döngülü yanma odasının uygulandığı 1,6 litre 8 supaplı tek noktadan enjeksiyonlu ilk prototip benzinli bir motorun TOFAŞ'ta gerçekleştirilen motor dinamometresi deneyleri performans ve verimlilik açısından olumlu sonuçlanmış ve adı geçen bu yeni yöntem, motorun seri üretimi için mevcut üretim teknolojisinde küçük bir değişiklik ile üretilmekte olan motorlarda uygulanmasına imkan sağlayacağı tespit edilmiştir.

3. Motorun performans ve yakıt tüketiminde %10-15'e varan iyileştirmeler sağlayarak egzoz gaz emisyon değerlerini EURO - 4 standardı seviyesine ulaştırmak amacıyla modernizasyon çalışmalarının sürdürülmesi kanaatine varılmıştır.

KAYNAKÇA

1. **Iwamoto, Y., Noma, K., Nakayama, O., Yamauchi, T. and Ando, H.**, 1997, Development of Gasoline Direct Injection Engine, SAE Paper 970541, Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pa..
2. **Kerimov, N. A. and Mektiyev, R. I.**, 1978. Engines with Stratified Charge, SAE Technical Paper No. 780342, Society of Automotive Engineers, Warrendale, Pennsylvania 15096, p.15.
3. **Kerimov, N. A., Mehdiyev, R. I.** 1981, Fuel Injection ICE with Prechamber Torch Ignition, United States Patent No: 4, 250, 850, Feb. 17.
4. **Mehdiyev R.I.**, 1979, On design of non-toxic stratified engine. "Archives of Thermodynamics and Combustion", Vol.10, No.4, Warszawa, p.p.561-588
5. **Mehdiyev, R.I., Wolanski, P.**, 2000, Bi-Modal Combustion Chamber for a Stratified Charge Engine, // "Advances in Combustion", SAE-2000-01-0196, p.p.53-61.
6. **Ricardo, H. R.**, 1922, Recent Work on Internal Combustion Engine, SAE Jurnal, 10, May, 305-36.
7. **Zeldoviç, Y. B. (ed.)**, 1984, Kimyasal Fizik ve Hidrodinamik (Rusça), "Nauka" yayınevi, Moskova.