

ÇEVİRİM ATLATMALI BİR BENZİN MOTORUNUN ATEŞLEME VE PÜSKÜRTME ÜNİTELERİNİN BİLGİSAYARDAN ESNEK OLARAK KONTROLÜ

Özgür Tekeli¹

Mak. Müh.,
ozgurtekeli@gmail.com

Barış Doğru^{*1}

Arş. Gör.,
dogru@itu.edu.tr

Cemal Baykara¹

Doç. Dr.,
baykaracem@itu.edu.tr

Osman Akın Kutlar¹

Yrd. Doç. Dr.,
kutlar@itu.edu.tr

Hikmet Arslan¹

Dr.,
arslanh@itu.edu.tr

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi,
Makina Fakültesi, Güneşsuyu-İstanbul

ÖZET

Bu çalışmada, tek silindirli bir araştırma motorunun püskürtme ve ateşleme zamanlamaları ile püskürtme süresi ve bobin primer sargısının açık kalma süresi (dwell süresi) bilgisayar destekli bir elektronik üniteden kontrol edilmiştir. Doğru zamanlama ve süreyi tespit etmek için motor krank milinin sıkıştırma üst ölü noktası, artımsal enkoderin tetikleyici sinyaline denk getirilmiştir. Kontrol sistemi, yük ve motor hızındaki değişimlere uyum sağlayacak şekilde hazırlanmıştır. Kontrol sisteminin kullanımı ile çevrim atlatma mekanizmalı bir benzin motorunda gerçek zamanlı deneyler, bazı değişkenleri sabit tutup diğerlerini değiştirmek suretiyle gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çevrim atlatma mekanizması, bilgisayar destekli kontrol, ateşleme, püskürtme

Flexible Computer Based Control of Ignition and Injection Units of a Gasoline Engine with Skip Cycle Mechanism

ABSTRACT

In this study, timing of injection and ignition also duration of injection and dwell time of a single cylinder research engine were controlled with a computer based electronic unit. To determine the valid timing and duration, the compression top dead center of engine crankshaft was become equivalent to the trigger signal of incremental encoder and the control system was able to design for adapting the conversions at load and engine speed. By using the control system, the real time tests were carried out in a gasoline engine with skip cycle mechanism depending upon permitted certain parameters constant and others changed.

Keywords: Skip cycle mechanism, computer based control, ignition, injection

* İletişim yazarı

Geliş tarihi : 16.04.2013

Kabul tarihi : 05.07.2013

Tekeli, Ö., Doğru, B., Baykara, C., Kutlar, O. A., Arslan, H. 2013. "Çevrim Atlı Bir Benzin Motorunun Ateşleme ve Püskürtme Ünitelerinin Bilgisayardan Esnek Olarak Kontrolü," Mühendis ve Makina, cilt 54, sayı 643, s. 24-35.

1. GİRİŞ

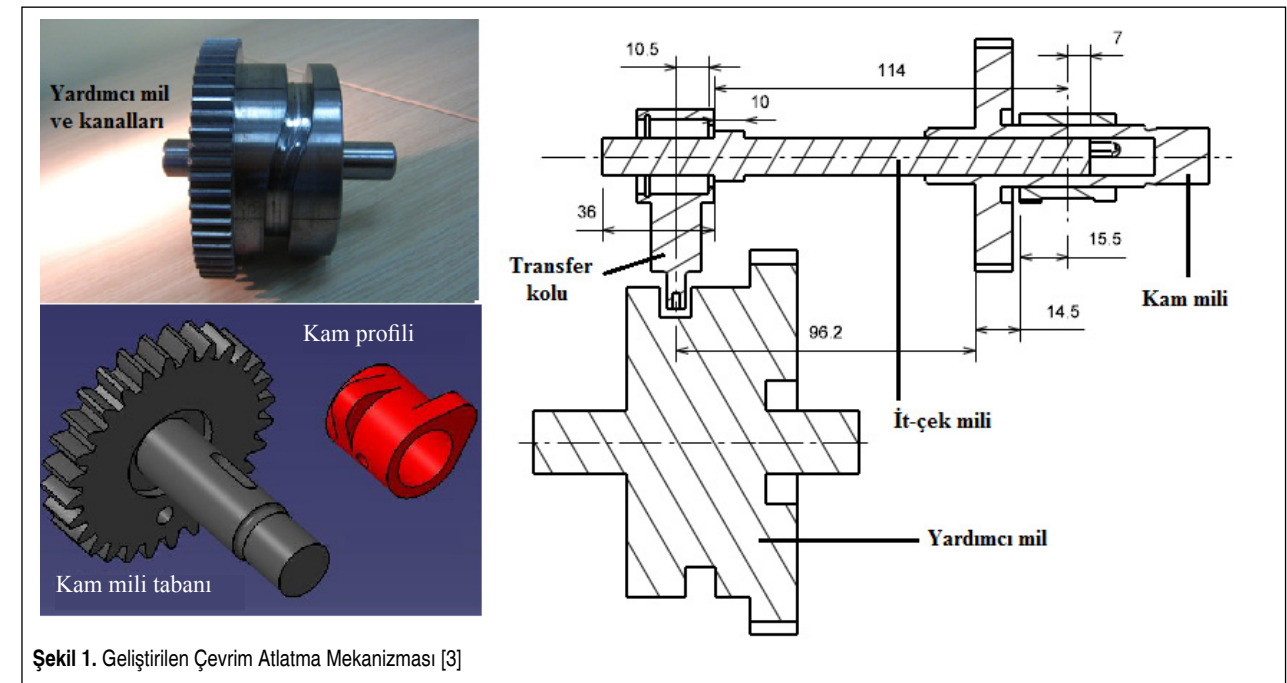
Çevrim atlatma stratejisi, buji ateşlemeli motorlarda kısmi yüklerde pompalama kayıplarını ve yakıt tüketimini azaltmaya yönelik yöntemlerden biridir. Yöntemin amacı, birbirini takip eden dört zamanlı çevrimlerin bazılarında emme ve egzoz subaplarını da kumanda ederek yakıtı kesmek ve yanma odası içerisine olan hava girişini durdurmak (S : Atlatılmış çevrim modu), yakıt – hava dolgununu normal çevrimlerde artırmaktır (N : Normal çevrim modu) [1]. Tanımlanan çevrim atlatma stratejileri motorun yüküne ve hızına bağlı olarak genişletilebilir. Böylece çevrim atlatma işlemine geçişte, atlatılan çevrim / iş çevrimi çok küçük oranlardan başlatılarak motor yükü azaldıkça büyük oranlara doğru çıkarılabilir. Örneğin 12 stroklu NSS stratejisi; bir normal gerçekleşen çevrim ve bunu takip eden iki adet atlatılmış çevrimden oluşmaktadır.

Çevrim atlatma sistemi kısmi yüklerde motorun efektif strok hacmini kontrol ederek geleneksel gaz keleşli kontrolünün olumsuz etkisini azalmaktadır. Bu etki, silindirlerin bir kısmını devre dışı bırakan değişken strok hacmi yöntemine benzemektedir. Fakat silindirlerin bir kısmını tamamen devre dışı bırakan bu yöntemin tek silindirli bir motora uygulanma ihtimali yoktur. Ayrıca; çevrim atlatma sistemi, ilgili silindirin çalışma koşullarını değiştirme potansiyeline de sahiptir. Bu durum motorun bir çalışma modundan diğerine daha yavaş bir şekilde geçmesini ve geçişin daha düzgün olmasını sağlar. Böylece motor momentindeki ani değişimler engellenmiş olur [2].

Bu çalışma için tasarlanan çevrim atlatma mekanizmasında; orijinal emme ve egzoz profillerinde çok küçük değişiklikler yapmak suretiyle onları istenen zamanda devreye alıp istenen zamanda devreden çıkaran bir sistem geliştirilmiştir. Normal olarak çalışan subap tahrik sisteminde; hareket krank mili dişlisi üzerinden kam mili dişlisine geçer. Oradan emme ve egzoz profil loblarına (çıkıntılara) ve sonrasında itici kadeh tekerleği (izleyici) üzerinden itici çubuğa, külbütöre ve sonunda da subaba ulaşır. Bu mekanizmada ise; kam mili eksenel yönde hareket ettirilip, bazı çevrimlerde izleyicilerin kam mili lobları üzerinden hiç geçmemesini sağlayıp, subaplar hareketsiz bırakılarak çevrim atlatılmıştır.

Kam mili tabanı, motor bloğuna ve motor kapağına yataklanmıştır ve eksenel bir hareket yapmamaktadır. Kam mili tabanı ve kam profil mili ayrı iki parçadır. Yardımcı mil hareketini krank mili ucuna bağlı bir tahrik pinyonundan almaktadır ve üzerindeki yön değiştiren 3 farklı kanal sayesinde kam profil milinin istenen şekilde devreye alınmasını sağlamaktadır. Eksenel hareket, yardımcı milin üzerinde açılan kanalları takip eden transfer kolunun uç kısmıyla itici mile ve oradan da kam profillerine ulaştırılmaktadır. (Şekil 1)

Motor araştırma ve geliştirmesi çoğu zaman pahalı, zaman alan karmaşık bir işdir. Bu alandaki deneysel araştırmalar, bir çok farklı konstrüksiyon ve ölçüm içermektedir. Araştırmaların en önemli ve gerekli parçası deney motorlarıdır. Deney masraflarını azaltması, geliştirme zamanlarını en aza indirmesi ve büyük bir esnekliği olmasından dolayı tek silindirli motorlar araştırma motoru olarak kullanılmaktadırlar.



Şekil 1. Geliştirilen Çevrim Atlama Mekanizması [3]

Literatürde ateşleme ve püskürtmenin kontrol edildiği bir çok farklı çalışma bulunmaktadır. Kutlar ve arkadaşlarının çalışmasında, tek silindirli dört zamanlı bir benzin motorunda ateşleme ve püskürtmenin kontrolü standart bir bilgisayar üzerinden gerekli yazılım ve donanımın araştırma motoru üzerine adaptasyonu ile sağlanmıştır. Çalışmada kullanılan artımsal enkoderin hassasiyetine göre avans ve süre değerleri istenilen şekilde ayarlanmış, gaz keleşinin pozisyonu da değiştirilerek motor optimizasyonu sağlanmıştır [4].

Diğer bir çalışmada ise dört zamanlı, 2 silindirli bir motorsiklet motoru mikroişlemci tabanlı bir ünite ile kontrol edilmiştir. Seri olarak haberleşilen arayüz programı sayesinde motor krank mili açısına göre gaz kolu pozisyonu, emme havası sıcaklığı, püskürtme avansı ve dwell açısı gibi parametrelerin değiştirilmesine imkan tanınmıştır [5].

Yakın zamanda yapılan bir çalışmada ise yine dört zamanlı bir motorsiklet motoruna ait püskürtme süresi, püskürtme açısı, ateşleme açısı ve dwell açısı motor haritasına göre motor hız ve yük değerleri baz olarak kontrol edilmiştir [6].

Bu çalışmada ise; çevrim atlama mekanizmalı tek silindirli bir benzin motorunun ateşleme ve püskürtme üniteleri; bobin ve enjektör sürücülerini çalıştıran bir mikrokontrolcü ile bilgisayar arayüzü üzerinden esnek olarak kontrol edilmiştir.

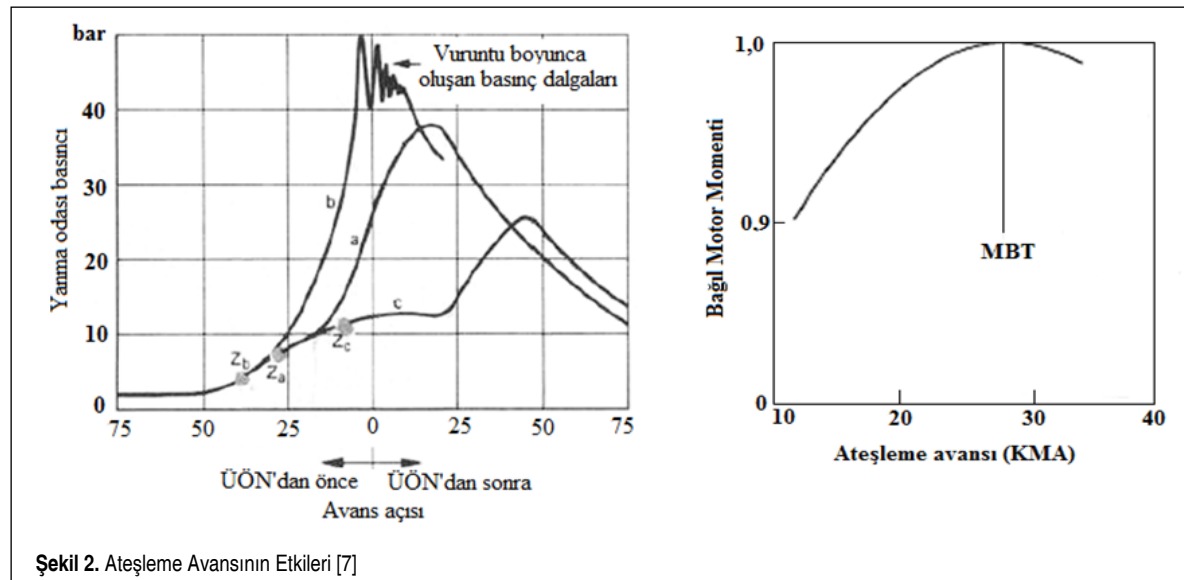
2. ÇEVİRİM ATLATMA VE MOTOR PERFORMANSI İÇİN ATEŞLEME VE PÜSKÜRTMENİN ÖNEMİ

Subapların kontrolü yanında enjektörden püskürtmenin ve bujiden ateşlemenin kesilmesinin tam bir çevrim atlama üzerinde önemli etkileri vardır. Atlatılan çevrim boyunca püskürtme devam ederse, yakıt emme portu önünde toplanacaktır ve normal çevrime geçildiğinde manifold duvarlarına ve su-

baba sıvanarak yanma odası içine yönlenecektir. Bu durum, atlatılan çevrimdeki manifold ve silindir arasındaki hava akışı eksikliğinden ötürü yakıt tüketimini artıracaktır. Ateşlemenin kesilmesi ise atlatılan çevrimde subaplardan taze dolgu kaçacağı ihtimaline karşı uygulanır.

Enjektörden yakıtın püskürtülme süresi ile püskürtme ve ateşleme avanslarının motor performansı üzerinde önemli etkileri vardır. Motor optimizasyonu için tüm bunların kontrol edilebilir olması gerekir. Buji ateşlemeli motorlarda normal koşullar altında karışım, bir buji tarafından ateşlenir ve yanma sıkıştırma zamanının sonuna doğru başlar. Yanmanın üst ölü noktaya göre bağlı konumu en yüksek güç veya motor momenti değerini belirlemektedir. Ateşleme avansı, daha çok vuruş ihtimali ve en yüksek motor moment değeri üzerinde etkilidir.

Şekil 2’de ateşleme avansının etkilerini gösteren grafikler yer almaktadır. (a) durumunda; ateşleme avansı en uygun değerindedir. $P - \alpha$ eğrisinin altında kalan alan, çevrim boyunca yapılan işi göstermektedir ve bu durumda yapılan iş en yüksek değerindedir. Yani çevrim verimi en yüksektir. En küçük ateşleme avansı ile en yüksek motor momenti değerine ulaşılmıştır (MBT : En yüksek motor momenti için en düşük ateşleme avansı). (b) durumunda; ateşleme avansı gereğinden büyüktür, silindir içi basınç ve sıcaklıklar büyük değerlere ulaşır ve piston üzerinde değişkenliği büyük ve ani kuvvetler oluşur (Vuruş durumu). Ayrıca pistondan silindir içi gazlarına olan sıkıştırma zamanı iş transferi de artacaktır. (c) durumunda ise; ateşleme avansı gereğinden küçüktür. Yanma, genişleme zamanına kaydığından göreceli olarak basınç artışı azaldığı gibi en büyük basınç değeri de genişleme zamanına kayar. $P - \alpha$ eğrisinin altındaki alan azaldığından çevrim verimi de azalır. Bu değişimler silindir gazlarından pistonu olan genişleme zamanı iş transferini azaltır. Erken ya da geç ateşleme durumlarında motor momenti de azalmaktadır.



Ateşlemede kontrol edilmesi gereken diğer parametre ise bobin primer sargısının açık kalma süresi olan dwell süresidir. Bu süre içerisinde transistör tarafından kapalı tutulan birincil devreden akım geçmektedir. Daha sonra bu akım, transistör tarafından kesilmekte ve bobinin dış tarafında sarım sayısı çok daha fazla olan ikincil devreye geçmektedir. Burada oluşturulan yüksek voltaj bujiye ulaştırılmaktadır. Öte yandan motor devri arttıkça ateşleme avansı değeri de artmakta ve birincil sargıdan geçen akımın akma süresi azalmaktadır. Bu yüzden ikincil sargıda oluşan yüksek voltaj değeri düşmekte ve bobin verimi azalmaktadır. Bu durumu engellemek için ateşleme kontrolü sırasında arayüz programından dwell süresi sabit bir değerde tutulmalı (4 ms) yani hızdan bağımsız hâle getirilmelidir. Bu şekilde krank mili açısından bakıldığında; motor hızı arttıkça hem dwell açısı hem de ateşleme avansı artmaktadır.

Püskürtmeyi kontrol eden ünite; püskürtme avansını ve püskürtme süresini tayin etmekle görevlidir. Kontrol ünitesi püskürtmenin ister tamamının emme subabı açılmadan önce, isterse bir kısmı emme subabı açıkken gerçekleşmesine olanak sağlar. Emme manifolduna püskürtme yapılan benzin motorlarında, hava ile yakıt silindire girmeden önce emme kanalında homojen bir şekilde karıştığından püskürtme basıncı ve demeti bu tip püskürtme sistemlerinde fazla önem taşımaz. Püskürtme zamanlamasını çok hassas olarak kontrol etmenin motor performansı ve yanma üzerinde önemli bir etkisi yoktur [8]. Yakıt püskürtme süresi; enjektörün solenoidi tarafından tetiklenme ve açık kalma süresi ile çevrim başına püskürtülen yakıt miktarını belirler. Püskürtülen yakıt miktarını belirleyen ana etmenler; motor yükü, hızı ve kullanılan enjektörün akış karakteristiğidir. Emme subabı açılma açısından yani üst ölü noktadan 16 KMA önce tüm püskürtmenin bitmiş ve bittikten hemen sonra da subapların açılıyor olması tercih edilen bir durumdur. Çünkü, yakıt subap açılmadan çok önce püskürtülürse yakıtın subap ve manifold cidarlarına sıvanarak kalması yakıt tüketimini olumsuz etkileyecektir. Silindir kafasındaki yüksek sıcaklıklardan dolayı yanma odasına girmeden yakıtın buharlaşma ihtimali de vardır. Ayrıca, püskürtülen yakıtın kısa süreli tetiklemelerle püskürtülerek beklemeden yanma odasına alınması da önemlidir.

3. ARAŞTIRMA MOTORUNUN SEÇİMİ VE ÜZERİNDE YAPILAN KONSTRÜKTİF DEĞİŞİKLİKLER

Deneyisel çalışmaları yürütebilmek için gereksinim duyduğumuz ana malzeme olan motorun seçiminde, aşağıda belirtilen kriterler göz önüne alınmıştır.

- Tek silindirli bir benzin motoru olmalıdır.
- Motor sıcaklığını hassas bir şekilde kontrol edebilmek için

soğutma, su ile olmalıdır.

- İndike özellikleri ön plana çıkarabilmek için, yardımcı üniteler (alternatör, su pompası, yağ pompası vs.) motor tarafından tahrik edilmemelidir.
- Yakıt – hava karışımının hassas ayarı için, karışım püskürtme ile sağlanmalıdır.
- Motorun geometrik özellikleri (çap, strok, sıkıştırma oranı, yanma odası geometrisi vs.) güncel motorlara benzemelidir.
- Motor üzerinde kolay değişiklik yapılabilirliği.
- Ölçüm elemanları için yeterli ve uygun yer olmalıdır.

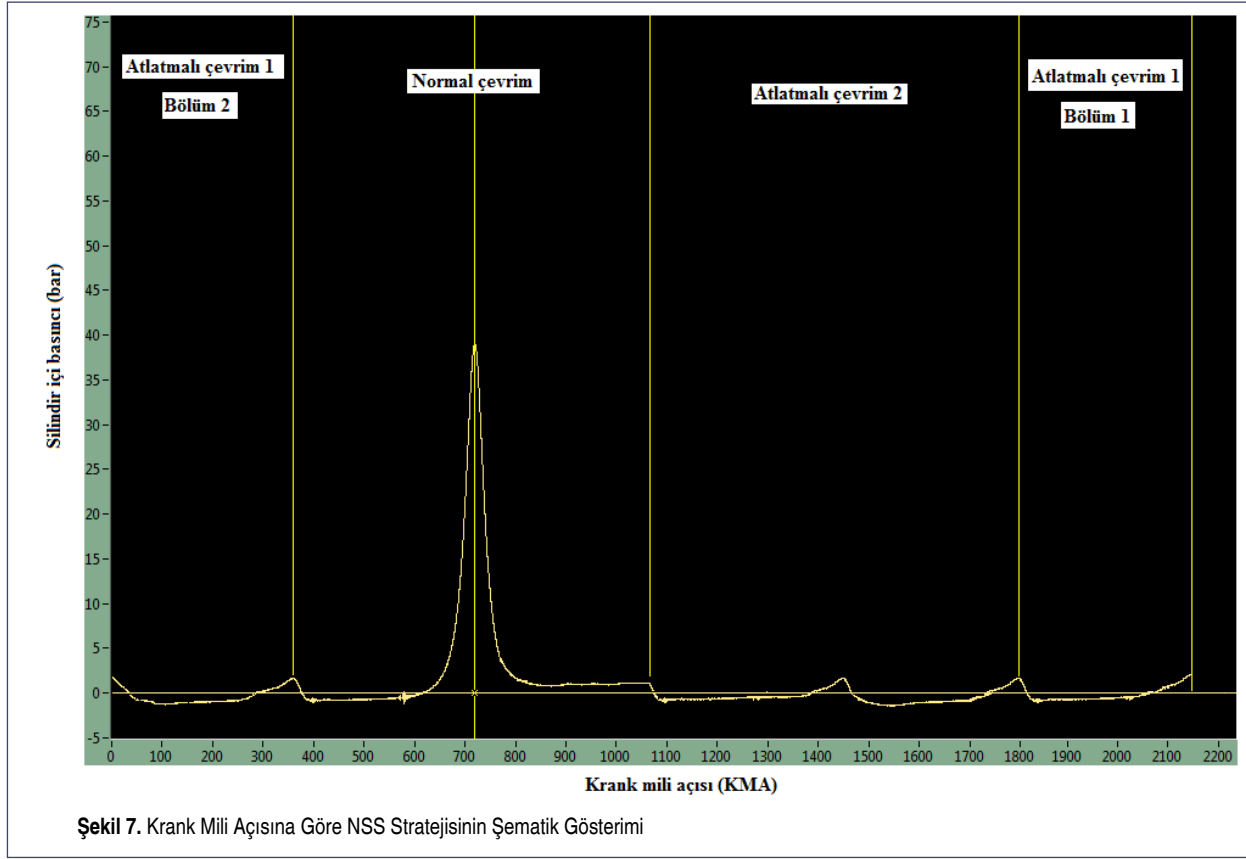
Aşağıdaki Tabloda belirtilen kısıtlamalar göz önüne alınarak piyasadan tek silindirli bir dizel motoru olan Lombardini firmasının 3LD450 motoru seçilmiştir (Tablo 1). Bu motorun, üzerinde gerekli modifikasyonlar yapılarak benzin motoru haline getirilmesine karar verilmiştir. Bu motorun; su soğutmalı ve direkt püskürtmeli olması nedeniyle gerek strok hacmi, gerekse diğer geometrik özellikleri açısından iyi bir çözüm olacağı kararlaştırılmıştır.

Gerek sıkıştırma oranının, gerekse yanma odası geometrisinin benzin motoru için en uygun hâle dönüştürülmesi, büyük oranda piston üzerinde yapılan değişikliklerle sağlanmıştır. Orijinal piston üzerindeki oyuk silindir merkezinde olmayıp, enjektör merkez alınarak yerleştirilmiştir.

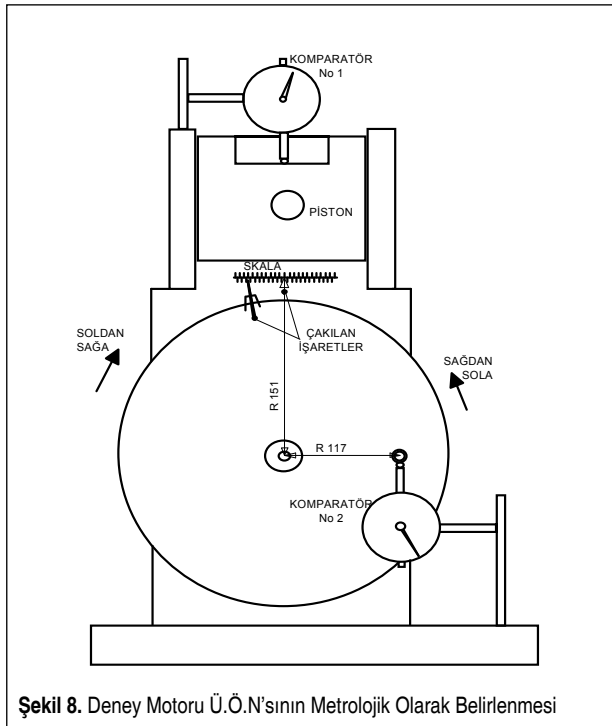
Sıkıştırma oranını ayarlamak için, piston üzerindeki oyuk merkeze taşınarak çapı 56 mm’ye genişletilmiştir. Oyuğun derinliği ise 14 mm’den 19 mm’ye çıkarılmıştır. Ayrıca piston üst kenarı, silindir cidarını zedelememesi için pah kırılmıştır

Tablo 1. Lombardini 3LD450 Motorunun Özellikleri

Silindir sayısı	1
Strok hacmi	454 cm ³
Çap x strok	85 x 80 mm
Sıkıştırma oranı	17,5:1
Emme subabı çapı	32 mm
Egzoz subabı çapı	27 mm
Emme subabı kalkış yüksekliği	10 mm
Egzoz subabı kalkış yüksekliği	10 mm
Emme subabı açılma zamanı	16° KMA ÜÖN’ndan önce
Emme subabı kapanma zamanı	40° KMA AÖN’ndan sonra
Egzoz subabı açılma zamanı	40° KMA AÖN’ndan önce
Egzoz subabı kapanma zamanı	16° KMA ÜÖN’ndan sonra
Subap bindirme süresi	32° KMA simetrik
İtici çubuk uzunluğu	145 mm
Soğuk motordaki subap açıklığı	0,2 mm (Emme ve egzoz)



Şekil 7. Krank Mili Açısına Göre NSS Stratejisinin Şematik Gösterimi



Şekil 8. Deney Motoru Ü.Ö.N'sinin Metrolojik Olarak Belirlenmesi

koder, her dönüşünde 7200 tane sinyal üreterek, 0,050 kam mili açısı aralıklarıyla ölçüm yapma olanağı sağlamaktadır.

Tetikleyici sinyalin doğru konumlandırılması için ilk olarak motorun üst ölü noktasının belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla önce motorun kafası sökülmesi ve piston üzerindeki segmanlar çıkarılmıştır. Daha sonra pistonun orta noktasından ölçüm yapılacak şekilde silindir üzerine bir komparatör bağlanmıştır (Şekil 8). Motorun volan tarafındaki silindir yüzeyine 0,5 mm aralıkla ölçüm yapılabilecek bir skala yapıştırılmıştır. Bu skala sayesinde motorun açılal konumu volan çevresi üzerinde 0,20 hassasiyetle okunmaktadır. ÜÖN'nin tespiti için motor volanı sağa – sola döndürülür ve piston aşağı yukarı hareket ederken ÜÖN civarında silindir kafasına yerleştirilen komparatöre değmeye başlar. Temas, belli bir açı devam eder. Bu aralık ÜÖN'nin bir miktar öncesi ve bir miktar sonrasında kayar ki, ÜÖN da hemen hemen bu temas aralığının ortası olarak alınabilir. Bu noktaya kadar sadece piston ve krank milinin senkronizasyonu söz konusudur. Bunun dışında mekanizma ve elektronik kontrol ünitesinin de motorla uyumlu hâle getirilmesi gerekmektedir.

Normal çevrime göre çalışan motorda volan üzerinde işaretlenen nokta, subap bindirmesinin olmadığı yani iki subabın da kapalı olduğu ÜÖN ise doğru nokta bulunmuş demektir. Aksi takdirde emme başlangıcı ÜÖN üzerindedir ve volan 360 derece daha döndürülerek sıkıştırma sonu ÜÖN'na gelinir. Atlımalı çevrime göre çalışan motorda ise volan üzerine işa-

retlenen nokta, atlatılmış çevrimin sıkıştırma ÜÖN'na denk getirilir. Bunun için çevrim atlatma mekanizması motora bağlanırken itici kadeh, itici çubuk ya da külbütörün hareketinden atlatılan çevrimin sıkıştırma ÜÖN tespit edilebilir.

Enkoder milinden gelen tetikleyici sinyal, orijinal enkoder gövdesi üzerinde imalat sırasında markalanmıştır. Mekanizma doğru pozisyonda motora bağlandıktan sonra volan döndürülür ve atlatılan çevrimin ÜÖN'na gelindiğinde enkoderin tetikleyici sinyali mümkün olduğunca ÜÖN'yı gösterecek şekilde elle ayarlanır ve enkoder mekanizmaya monte edilir. ÜÖN ile tetikleyici sinyal arasındaki açı farkı; verilen bir ateşleme avansına göre avans sinyalinin tetikleyici sinyalden ne kadar kaçık olduğu belirlenerek ortaya çıkarılır. Bunun için avans tabancası kullanılır ya da motor elle yavaşça döndürülürken bujinin dışarda çakması sağlanarak çakma noktası tespit edilir. Tetikleyici sinyal ile tahmini ÜÖN arasındaki açı farkı (kaçıklık), bilgisayar arayüzünden sıfırlanır. Böylece tetikleyici sinyal ile sıkıştırma ÜÖN denk getirilmiş olur. Tespit edilen bu nokta; motor, çevrim atlatma ve kontrol ünitelerinin başlangıç (sıfır) noktalarıdır.

Bu işlem yapıldıktan sonra, enkoder sökülmediği veya üzerinde bağıl kayma olmadığı sürece ÜÖN tespiti yapmaya gerek yoktur. Mikrokontrolcü, ateşleme ve püskürtmeyi aynı (birinci) enkoder mili çevriminde yapmak zorunda olduğundan Şekil 7'deki gibi bir çevrim sırası seçilmiştir.

NSS stratejisi için yukarıda anlatılan durum örnek bir numuneleme üzerinde şu şekilde açıklanabilir (motor hızı : 2000 d/d, püskürtme süresi : 10 ms, dwell süresi : 4 ms);

Enkoder, bir devrinde 3600 adet sinyal saymaktadır. Ancak her turda iki adet TTL sinyali gönderdiğinden toplamda 7200 sinyal üretmektedir. Yani 1 enkoder mili (kam mili) açısında $(7200/360)=20$ adet sinyal gelmektedir. Bu durumda ateşleme ve püskürtme avansları ile püskürtme süresini $(1/20)=0,05$ kam mili açısı = 0,1 krank mili açısı derece hassasiyetle ayarlanabilmektedir.

Emme subabı, ÜÖN'dan 16 krank mili açısı öncesinde açılmaktadır. Söz konusu motor hızında, 10 ms püskürtme süresince enjektörden yakıtın püskürtülmesi 120 KMA'lık bir periyoda denk gelmektedir. Bunun için emme başlangıcı ÜÖN'dan 136 krank mili açı öncesinde püskürtme başlayacak ve emme subabı açılana kadar da sürecektir. Şekil 7'den de takip edilebileceği üzere 224. krank mili açısında yani 112. kam mili açısında (112. enkoder mili açısı) püskürtme başlamaktadır.

Bujiden çıkan kıvılcım ise, sıkıştırma sonu ÜÖN'sından 10 krank mili öncesine denk gelmektedir (Ateşleme avansı). Yani 5 kam mili açısı (5 enkoder mili açısı) sıkıştırma sonu ÜÖN'ndan önce ateşleme olmaktadır. Sonuçta, ateşleme anı ile püskürtme başlangıcı arasında 486

krank mili açısı yani 243 kam mili açısı (243 enkoder mili açısı) fark vardır.

Birincil bobin sargısının açık kalma süresi 4ms'ye sabitlenmiştir. Söz konusu motor hızında bu süre 48 krank mili açısına karşılık gelmektedir. Bu durumda, 662. ila 710. krank mili açıları arası dwell açısı olarak tanımlanabilir.

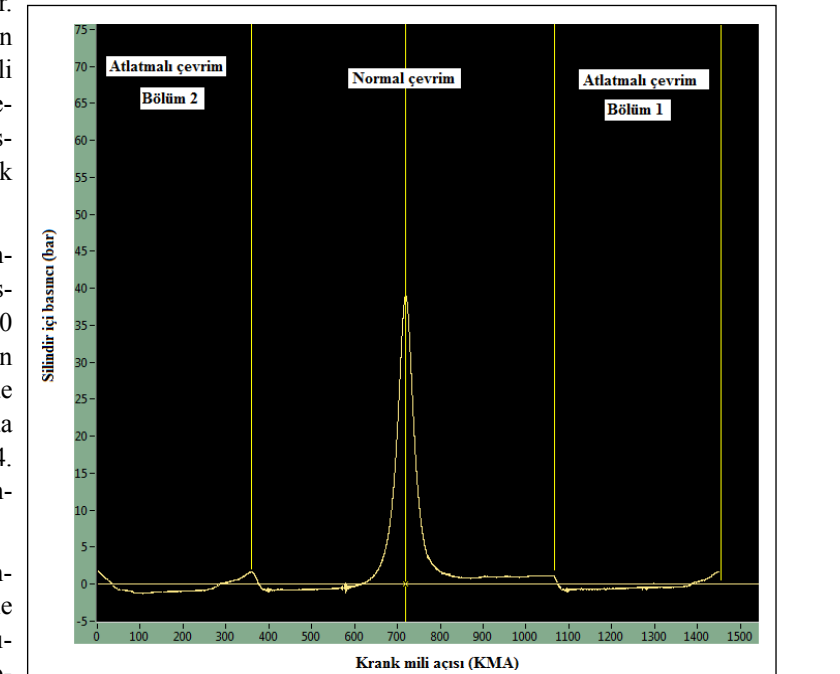
Trigger sinyali ile sıkıştırma sonu ÜÖN denk getirildiğinde;

- * Tetikleyici sinyalden $(2242) \times 20 = 2240$ sinyal sonra püskürtme başlangıcıdır.
- * Tetikleyici sinyalden $(7102) \times 20 = 7100$ sinyal sonra ateşleme olur.
- * Tetikleyici sinyalden $(6622) \times 20 = 6620$ sinyal sonra dwell başlangıcıdır.
- * Püskürtme süresi : $((344-224)/2) \times 20 = 1200$ sinyale denk gelmektedir.

NS stratejisinin krank mili açısına göre çevrim sırası aşağıdaki şekildedir (Şekil 9):

- 0 – 360 KMA (krank mili açısı aralığı) : Atlımalı çevrim – Bölüm 2
- 360 – 1080 KMA (krank mili açısı aralığı) : Normal çevrim
- 1080 – 1440 KMA (krank mili açısı aralığı) : Atlımalı çevrim – Bölüm 1

NS stratejisinde krank mili 4, kam mili ise toplam 2 kez döner. Kam milinin 1. turunda (0 – 720 krank mili açısı aralığı) egzoz subabı kapalı, emme subabı açıktır. Kam milinin 2. turunda (720 – 1440 krank mili açısı aralığı) egzoz subabı açık, emme subabı kapalıdır.



Şekil 9. Krank Mili Açısına Göre NS Stratejisinin Şematik Gösterimi

4.3 Kontrol Ünitesinin Temel Elektronik Elemanları

Motorun ateşleme ve püskürtme sistemlerini kumanda eden ünitenin başlıca önemli parçalarına ait detaylar aşağıda anlatılmıştır. Bunlar; kesici pin, sayıcı pin, sayısal giriş/çıkış pinleri, güç kaynağı, enjektör sürücüsü ve bobin sürücüsüdür. Tüm elemanlar doğrudan veya dolaylı olarak birbirinden sinyal alıp vermektedirler.

Kesici pin; mikrokontrolcü başka bir işlemle meşgul iken kesme sinyali gelirse, o işlemi bırakır ve kesme fonksiyonunu uygular. Arduino Mega, 3 tane donanımsal kesme pinine sahiptir. Deney motorumuz 6000 d/d'da çalışırsa, 1 turda 7200 sinyal geldiğinden 360 kHz sinyal frekansına ulaşılmaktadır. Bir kesme fonksiyonunda yapılan işlemleri düşünersek bu frekansın çok üstünde bir çalışma hızına ihtiyacımız vardır. Bu açıdan 16MHz'lik Atmega 2560 işlemcisi ilk denemeler için uygun görülmüştür.

Sayıcı pin olarak Arduino Mega, 5 tane donanımsal zaman sayıcı ve sayaca sahiptir. Bunlardan 1. zaman sayıcı işlemcinin süre işlemleri için kullanıldığından, kalan dördü değerlendirilmiştir. Her çevrimde 7200 sinyal sayıldığından, en yüksek sinyal sayısını elde edeceğimiz NSS çevrimlerinde bu sayı 21.600'a ulaşmaktadır. Fabrika ayarına göre 8 bit sayan 5. zaman sayıcı, $2^8=256$ sinyal sayabildiğinden yetersiz kalmaktadır. 5.zaman sayıcı pini mikrokontrolcü ayarlarıyla 16 bit olarak da tanımlanabildiğinden $2^{16}=65.536$ çözünürlüğe sahiptir. Bu da bizim ihtiyacımız olan 21.600 sinyal sayısını geçmiştir.

Sayısal giriş/çıkış pinleri; enjektör ve ateşleme çıkışları için mikrokontrolcüde literatürdeki çalışmalarda da kullanıldığı gibi darbe genişlik modülasyonu çıkışı (PWM) olarak da kullanılabilen 12. ve 11. pinler, sayısal çıkış olarak tanımlanmıştır.

Güç kaynağı açısından deneyler taşıt şartlarını tamamen karşılaması için akü kullanılarak yapılmıştır. Ancak alternatörün krank kasnağından çektiği güç, ölçümleri etkileyeceğinden alternatör kullanılmamış, akü dışarıdan şarj takviyesiyle kullanılmıştır. Sürücü kartı ile mikrokontrolcü kartı aynı hattan beslendiğinden ve bujinin yarattığı yüksek gerilim mikrokontrolcü kartını ve enkoder verilerini olumsuz etkileyeceğinden iki sistemin besleme gerilimlerinin ayrılması uygun görülmüştür. Bunun için gecikme problemi yaratmayacak olan ışınsal bağlayıcı (oktokupler) kullanılmıştır. Enkoder 5 voltta 120mA akım çektiğinden ve Arduino Mega aynı voltajda 800mA (teoride 1A) gerçekçi değerlerde desteklediğinden aynı hattan beslenmesi uygun görülmüştür. Arduino Mega'da tüm güç gereksinimleri için 9V ve 1A besleme yapılmıştır.

Enjektör sürücüsü, enjektör için çok hızlı anahtarlama görevini üstlenir. Günümüzde kullanılan enjektörler arasından seçti-

ğimiz deney enjektörleri ortalama 700mA akım çekmektedir. İleride daha hızlı açılıp kapanabilecek enjektör kullanımına izin vermesi ve enjektör sürücüsünün ısınmaması amacıyla 14 voltta 4 ampere kadar anahtarlama kapasitesi olabilecek bir anahtarlama gerekmektedir. 30 voltta 4 ampere kadar destekleyen 3-4 mikrosaniye mertebelerinde gecikme hassasiyetli IRFZ44N mosfet kullanılması uygun görülmüştür. Enjektör solenoidinde manyetik alanda depolanan potansiyelin geri dönüşte mosfeti bozmaması için diyotla ters akım koruma önlemi alınmıştır. Mosfet, mikrokontrolcü kartından gelen sinyalle tetiklenen ışınsal bağlayıcı ile sürülmektedir.

Bobin sürücüsünün beslemeleri, enjektör sürücüsünde olduğu gibi ışınsal bağlayıcı ile ayrılmıştır. Işınsal bağlayıcıda anahtarlama akım DR100 modülünü sürmektedir. DR100 modülünün; içerisinde Motorola'nın MC3334 yüksek voltaj anahtarlatabilen bir transistör içerdiği, kendinden soğutucusu olması, birincil sargıda 5,5 amper akım sınırlaması olması, bobin sürücüsünde transistörden ötürü oluşabilecek bir problemde çok çabuk değiştirilebilmesi, birincil sargı direnci 2,5 ohm'a kadar olan yüksek güçlü bobinlerin de sürülmesine olanak tanınması sebepleriyle kullanılması uygun görülmüştür. Ayrıca bobin sürücüsü güncel kıvılcım ateşlemeli motorların kullandığı kalem tip bobinleri de sürülebilecek şekilde tasarlanmıştır.

5. ATEŞLEME VE PÜSKÜRTME SİSTEM ELEMANLARININ SEÇİMİ VE KONTROLÜ

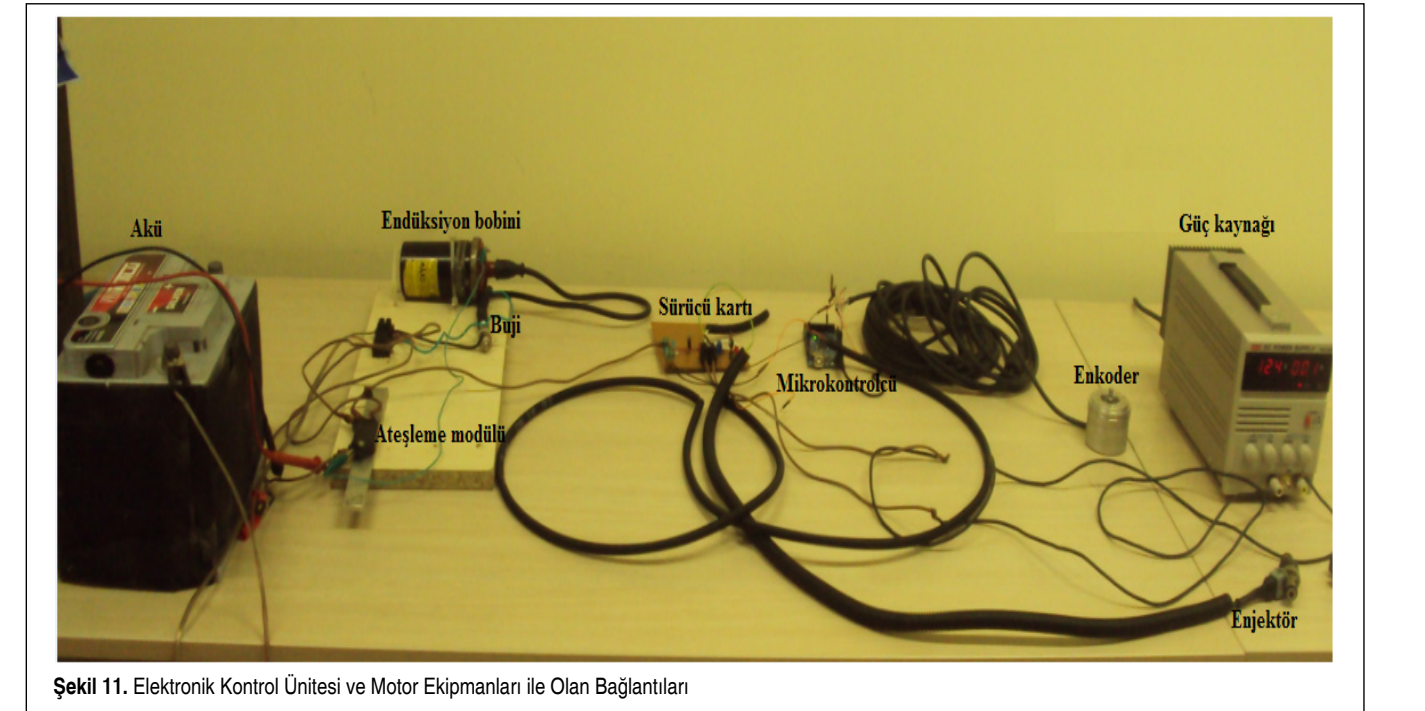
Çevrim atlatma mekanizmasında yapılacak olan deneylerde ateşleme ve püskürtme sistemlerini kontrol edebilmek kurulan elektronik kontrol ünitesi için ateşleme sistemine uygun buji, ateşleme modülü, endüksiyon bobini seçimleri ile püskürtme sistemine uygun enjektör ve pompa seçimleri yapılmıştır. Seçilen ateşleme ve püskürtme sistemine ait elemanlar Şekil 10'da görülmektedir.

Mikrokontrolcü, enkoderden aldığı kam mili açısı bilgisine ve arayüz programından ateşleme avansını belirleyecek şekilde gönderilen sinyale göre ateşleme modülüne bir ateşleme sinyali gönderir (Şekil 11). Ateşleme düzeneğinin denendiği sistemde ateşleme sinyali "Hall sensörü" tarafından distribütör mili hareketine bağlı olarak gönderilmektedir; ancak deneyler sırasında bu sinyal mikrokontrolcüden alınmaktadır. Alınan sinyal, voltaj olarak ateşleme modülünde işlenir ve modül içindeki transistörü bir anahtarlama elemanı olarak kullanmak suretiyle endüksiyon bobinindeki primer devreyi kontrol eder.

Ateşleme modülünün dedektör devresi, mikrokontrolcüden gelen milivolt mertebesindeki sinyali algılayan elemandır. Güçlendirici birimi, bu voltajı transistörü açıp kapayabilecek şekilde yükseltir.



Şekil 10. Seçilen Ateşleme (a) ve Püskürtme (b) Sistemi Elemanları



Şekil 11. Elektronik Kontrol Ünitesi ve Motor Ekipmanları ile Olan Bağlantıları

Dwell kontrol ünitesi ise yüksek motor devirlerinde primer sargıdaki akımın azalma eğilimine karşı bu akımı sabit tutar. Nihayetinde birincil devresinin kesilmesiyle Tablo 4'te özellikleri verilen endüksiyon bobininin ikincil sargısında yüksek voltaj oluşturulur ve bujiden kıvılcım çıkar.

Motor devri arttıkça, ateşleme avans değeri artmakta ve birincil sargıdan geçen akımın akma süresi azalmaktadır. Bu yüzden ikincil sargıda oluşan yüksek voltaj değeri de düşmekte ve bobin verimi azalmaktadır. Bu durumu engellemek için ateşleme kontrolü sırasında arayüz programından dwell süresi

4 ms olarak girilerek sabit bir değerde tutulmuş ve hızdan bağımsız hâle getirilmiştir. Ateşleme için Tablo 5'te özellikleri verilen Acdelco marka R4602 tipi buji kullanılmıştır.

Tablo 4. Seçilen Endüksiyon Bobininin Özellikleri

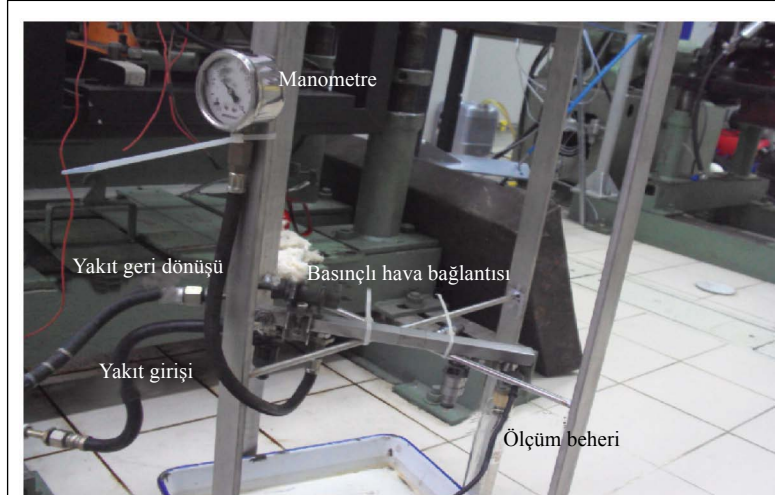
Birincil direnç (m Ω)	712
İkincil direnç (k Ω)	10,33
Birincil endüktans	3,23 mili Henry
İkincil endüktans	54,4 Henry

Tablo 5. Seçilen Bujinin Özellikleri

Bujinin vida dış çapı	14 mm
Oturma yüzeyi	Düz
Bujinin vida dış uzunluğu (paso)	17,5 mm=(11/16)"
Altıgen somun çapı	(5/8)"
Bujinin ısı yayma özelliği	4
Direnç	Var
Tırnak aralığı	0,8 mm
Elektrot tipi	J1 tipi
Şasi elektrotu	Nikel (Ni)
Merkez elektrot	Bakır (Cu)
Düşük voltaj direnci (LVR)	3 Ω
Yüksek voltaj direnci (HVR)	9 Ω

Tablo 6. Kullanılan Enjektörlerin Debi Karakteristiği

Püskürtme süresi [ms]	Püskürtme miktarı [g] (1000 püskürmenin kümülatif toplamı)		Birim zamandaki püskürtme miktarı [g/s]	
	Tempra&Bmw	Tempra	Bmw	Tempra
2		9,69	9,69	4,84
3		13,41	13,04	4,47
4		16,39	16,76	4,19
5		18,63	19,37	3,73
6		20,86	22,35	3,48
7		23,84	25,33	3,41
10		32,04	33,90	3,20
12		36,51	40,23	3,04
15		43,96	49,92	2,93
18		52,15	57,37	2,90

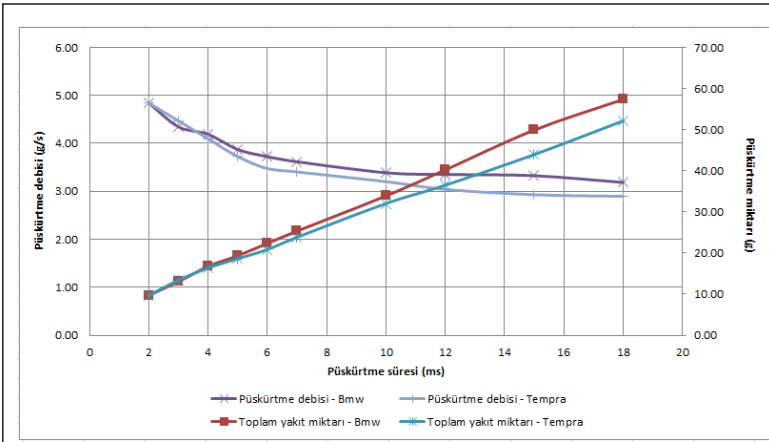


Şekil 12. Debi Test Düzenegi

Deneysel çalışmalar için Tofaş Tempra 2.0i ve Bmw 3.0i motorlarında kullanılan yakıt püskürtme elemanları kullanılmıştır. Bu elemanlar sözü geçen motorda her bir silindirin strok hacminin (500 cm³) deney motorumuzun strok hacmine (454 cm³) yakın olmasından dolayı seçilmiştir. Ayrıca seçilen enjektörlerin debi karakteristikleri deneysel olarak belirlenmiştir. Püskürtme sistemine ait elemanlar ve debi testleri için kurulan düzenek Şekil 12'de görülmektedir.

Püskürtme sıvısı olarak yoğunluğu 0,745 g/cm³ olan benzin kullanılmıştır. Yakıt hattı sürekli olarak 3 bar basınçta tutulmuştur. Yakıt hattında yer alan dört enjektörden üçü durdurulmuş ve sadece denek enjektör mikrokontrolcü tarafından kontrol edilmiştir. Program üzerinden enjektörün açık kalma süresi ve püskürtme sayısı verilmiş ve püskürtülen yakıt bir beherde toplanarak hassas teraziyile tartılmıştır. Püskürtmenin yapıldığı ölçüm beherinin yüzey alanının çok küçük olmasından dolayı ölçüm sırasında zamana bağlı kayda değer bir yakıt buharlaşması olmamıştır. En yüksek hata oranı düşük püskürtme süreleri için %3,85 civarındadır.

Enjektörün açık kalma yani yakıt püskürtme süresi olarak 2,3,4,5,6,7,8,10,12,15 ve 18 ms için deneyler yapılmıştır. Motor hızının ise 2000 d/d'da sabit kaldığı farzedilerek her deneyde mikrokontrolcünden dakikada 1000 adet püskürtme sinyali gönderilmiştir. Deney sonuçları Tablo 6'da ve Şekil 13'te verilmiştir.



Şekil 13. Test Enjektörlerinin Debi Karakteristiği

6. SONUÇ

Motor araştırma ve geliştirme çok pahalı, zaman alan ve karmaşık bir işidir. Test masraflarını azalttığı, harcanan zamanı en aza indirdiği ve büyük bir kontrol esnekliği tanıdığından tek silindirli motorlar araştırma motorları olarak tercih edilirler. Araştırma motor ve yan donanımlarını üreten ve satan birçok motor üreticisi vardır ancak bunlar genelde çok pahalı ürünlerdir. Bunun yerine kendi araştırma ve veri toplama sistemimizi kurmak daha esnek bir çalışma olanağı sağladığından uygun görülmüştür.

Üzerine çevrim atlatma mekanizması adapte edilen motor, otomotive uygunluğu ve parça temininin kolaylığı açısından akademik çalışmalar için oldukça elverişlidir. Aynı zamanda göreceli olarak çok ucuz ve esnek bir yapıya sahiptir. Bu çalışmada; tek silindirli bu araştırma motorunun püskürtme ve ateşleme avansları ile enjektör açık kalma ve bobin birincil sargısının açık kalma süreleri bir bilgisayar üzerinden mikrokontrolcü yardımıyla kumanda edilmiştir. Böylece hem mekanizma, hem de motor performansı açısından en uygun çalışma koşullarını tespit etmek çok kolaylaşmıştır. Bu çalışmanın daha da ilerletilmesi açısından motor hızı ve yük durumuna göre oluşturulan geniş kapsamlı motor haritasına göre ateşleme ve püskürtmeye ait en uygun parametrelerin belirlenmesi büyük önem kazanmaktadır. Aynı zamanda eldeki mevcut ve çalışan mekanizmalarla kısmi yükte çevrim atlatmaya ait performans, emisyon ve silindir içi basınç deneyleri tamamlanarak söz konusu stratejilerin amacına ulaştığı kanıtlanmış olacaktır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, 110M568 numaralı TÜBİTAK Projesi kapsamında yapılan bu çalışmanın deneysel hazırlık aşamasında verdiği destek ve aktardığı tecrübeler için Yrd. Doç. Dr. Aytac Gören ve Müh. Mustafa Kavitaş'a teşekkürlerini sunarlar.

SEMBOLLER

A	Amper
g	Gram
ms	Mili saniye
N	Normal çevrim
P	Silindir içi basıncı
S	Atlmalı çevrim
s	Saniye
V	Volt

α	Krank mili açısı
Ω	Ohm

Kısaltmalar

AÖN	Alt ölü nokta
KMA	Krank mili açısı
MBT	En yüksek motor momenti
PWM	Darbe genişlik modülasyonu
ÜÖN	Üst ölü nokta

KAYNAKÇA

1. Kutlar, O.A., Arslan, H., Çalık, A.T. 2007. "Skip Cycle System for Spark Ignition Engines: an Experimental Investigation of a New Type Working Strategy," Energy Conversion and Management, no.48, p.370-379.
2. Kutlar, O.A., Arslan, H. 2007. Skip-cycle System for Combustion Engines, Istanbul Technical University, Faculty of Mechanical Engineering, s. 15.
3. Yıldırım, T. 2010. "Dört Zamanlı Tek Silindirli Benzinli Bir Motor İçin Çevrim Atlama Mekanizmasının Tasarlanması, İmalatı ve Motora Adapte Edilmesi," Yüksek Lisans Tezi, Makina Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
4. Kutlar, O.A., Arslan, H., Çalık, A.T., Akın, A. 2001. "Design and Development of a Low Cost Light Duty Single Cylinder Research Engine With Native Technology," Motauto Conference/17 - 19 October 2001, Varna-Bulgary.
5. Robert, T.P., Tervin, T., Seng, H. 2005. "Motorcycle Engine Management System with Microcontroller and Smart Drivers," SAE papers, no.26, p.362.
6. Tagliatela, F.S., Pirozzi, F., Carpenteri, F. 2007. "A Smart Engine Management System for Low Emissions Motorcycle Engines," SAE papers, no.24, p.53.
7. Heywood, J.B. 1988. Internal Combustion Engines Fundamentals, p.371 - 375, McGraw-Hill Book Company, USA.
8. Yavaşol, İ. 2008. İçten Yanmalı Motorlar Ders Notları&Benzin Püskürtme Sistemleri, Yıldız Teknik Üniversitesi Otomotiv A.B.D., s.3.
9. Kammerer, R. 1991. "Untersuchung Eines BMW-403 Isetta-Motors Hinsichtlich Druckverlauf und Abgasverhalten bei Variation der Brennraumform und der Zündkerzenposition," Studienarbeit, Institut für Kolbenmaschinen - Universitaet Karlsruhe (TH), s. 44 - 45.