

PhD Research Article / Doktora Çalışması Araştırma Makalesi
**TRANSFORMATION OF A UNIT PUMP EQUIPPED SINGLE CYLINDER
DIESEL ENGINE TO A PLC CONTROLLED HIGH PRESSURE FUEL
INJECTED RESEARCH ENGINE**

Alp Tekin ERGENÇ*, İrfan YAVAŞLIOL

Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yıldız-İSTANBUL

Received/Geliş: 27.10.2009 Accepted/Kabul: 16.08.2010

ABSTRACT

In diesel engines, combustion efficiency depends on the mixture formation. At this point, injection system has an important role on mixture formation. In alternative fuel studies, the injection system parameters like pressure, injection advance, and injection character must be controllable. In general, single cylinder diesel engines have mechanical unit pump systems and this system have no changeable parameters. From this point of view, the mechanic injector must be change with an electromagnetic injector to control the injection parameters. For this reason, a programmable logic controller was chosen to control injector. Before the adaptation, performance and emission (CO, CO₂, HC, O₂, NO_x, and λ) test were done with mechanical system. After along research and development period, a single cylinder Lombardini LDA 450 type diesel engine was modified to a high pressured (600–1600 bar), plc controlled engine.

Keywords: Diesel engine, lombardini, injection, advance, plc.

**ÜNİTE POMPALI TEK SİLİNDİRLİ DİZEL MOTORUNUN PLC KONTROLLÜ YÜKSEK BASINÇ
YAKIT PÜSKÜRTME SİSTEM İLE ARAŞTIRMA MOTORUNA DÖNÜŞTÜRÜLMESİ**

ÖZET

Dizel motorlarında yanmanın iyileştirilebilmesi doğrudan karışımın teşkili ile ilgilidir. Bu bağlamda yakıt püskürtme sistemlerinin karışım teşkilindeki önemi de göz önüne alındığında, alternatif yakıt çalışmalarında ancak yakıt sevkinin kumanda edilebildiği bir motor kullanılabilir. Bu tip çalışmalarda kullanılan tek silindri dizel motorunun mekanik yakıt püskürtme sistemi yerine püskürtme avansı, basıncı, faz sayısı gibi parametrelerin değiştirilebildiği yapıda olması gerekir. Bu amaçla bir elektromanyetik enjektörün motorun çalışma parametrelerine bağlı kontrol edilmesi çalışmanın parametrik değerlerinin değiştirilebilmesi için gerekmektedir. Yapılan araştırmada bu tip bir sistemin programlanabilir lojik kontrollere ile kontrol edilebileceği belirlenmiştir. Sistemin PLC ile kontrol edilebilmesi için deney motorunun performans ile egzoz (CO, CO₂, HC, O₂, NO_x ve lambda) emisyonlarındaki değişimler incelenmiştir. Uzun bir ar-ge ve uygulama dönemini takiben, Lombardini LDA 450 tipi klasik dizel püskürtme sistemli bir motor farklı yakıtların optimum çalışma noktalarının belirlenmesi imkan sağlayacak, püskürtme avansı, süresi, adedi ve basıncı (600–1600 bar) değiştirilebilen bir ar-ge motoruna dönüştürülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Dizel motor, lombardini, püskürtme, avans, plc.

*Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: aergenc@yildiz.edu.tr, tel: (212) 383 28 35

1. GİRİŞ

Dizel motorlarında karışımın teşkili; yakıtın zerrelere ayrılarak, silindirdeki hava ile iyi bir yanma sağlayacak şekilde karışması ile sağlanmaktadır.[1]. Motorlarda hava yakıt karışım oluşumu yakıt tüketimini, egzoz gaz kompozisyonunu ve yanma gürültüsünü direkt olarak etkilemektedir.

Bu bağlamda, yakıt püskürtme sistemleri karışım oluşumunda önemli rol oynamaktadır. Bununla birlikte, püskürtmenin başlangıcı-bitişi, püskürtme süresi, püskürtme basıncı, püskürtme demeti sayısı gibi püskürtme sistemi parametreleri yanma prosesini ve karışım oluşumunu etkilemektedir[2,3]. Yakıt püskürtme süresi krank açısı olarak yanmanın başlama süresini belirler. Yakıt püskürtme süresi içeri alınan havanın durumunun değişimini ve tutuşma gecikmesi süresinin değişimini etkilemektedir.

Dizel motorlarında mekanik püskürtme pompasına göre, ortak hat püskürtme sistemleri yakıt püskürtme miktarını ve püskürtme zamanını daha etkili biçimde kontrol etmektedir. Ortak hat püskürtme sistemlerinde kullanılan motor kontrol ünitesi, çeşitli sensörlerden gelen verileri işleyerek, enjektörlere uygulanacak olan akımın süresi ile zamanını kontrol eder ve en uygun püskürtme işlemini ve bu işlemin zamanlamasını oluşturur.

Püskürtme miktarı ayarında temel kontrol parametreleri, motor hızı ve gaz pedalı konumudur. Püskürtme miktarı, gaz pedalı stroku arttığında(gaza basıldığında) ve motor hızı sabit kaldığında yükselmektedir [4].

Yüksek basınç yakıt püskürtme uygulaması ile krank açısı başına püskürtme miktarı artarken, tutuşma gecikmesi süresi kısalmaktadır. Ancak bu değer belirli bir değer altına düşmemektedir. Bunun sonucunda, tutuşma başlangıcına kadar ki sürede enjekte edilen yakıt miktarı artmaktadır. Bu yüksek yakıt sevki tutuşma gecikmesi süresinde yanmaya katılan yakıt miktarında artışa neden olmaktadır. Bu durum hem NOx oranını hem de gürültüyü arttırmaktadır. Bu nedenle, ortak hat püskürtme sistemlerinde daha az yakıt sevkini gerçekleştirildiği ön püskürtme yapılmaktadır. Bu ön püskürtme motor gürültüsünü ve NOx seviyesi azaltmaktadır [4,5,6]. Bununla birlikte yüksek basınçlı püskürtme, özgül yakıt tüketiminde iyileşme ve partikül emisyonunda azalma sağlamaktadır[7].

Dizel motorlarında kontrol stratejisinin temeli, egzoz ve gürültü emisyonu standartlarının öngördüğü sınırlar dahilinde gereken torkun minimum özgül yakıt sarfiyatı değerinde elde edilmesine dayanır. Egzoz emisyonu sınır değerlerinin her geçen gün düşürülmesi, optimum püskürtme koşulları, aşırı doldurma ve EGR sistemleri gibi emisyon düşürülmesine yönelik çalışmaların yapılmasını gerektirmiştir. Kontrol açısından bakıldığında bu gereksinimler yakıt sevk parametreleri, dolgu basıncı ve EGR kontrolünü gündeme getirmektedir. Bu bağlamda dizel motorunda yakıt sevk kontrolünün hıza bağlı değişimi, tork, motor hızı ve egzoz emisyonlarını etkilemektedir. Dolayısıyla, yakıt sevki ile bu parametrelerin değişimi kapalı döngü şeklinde olmaktadır. Kontrol stratejisinde temel parametre motor hızıdır. Hız kontrolüne etki eden girdiler ise püskürtme başlangıcı, püskürtme süresi ve basıncıdır.[7].

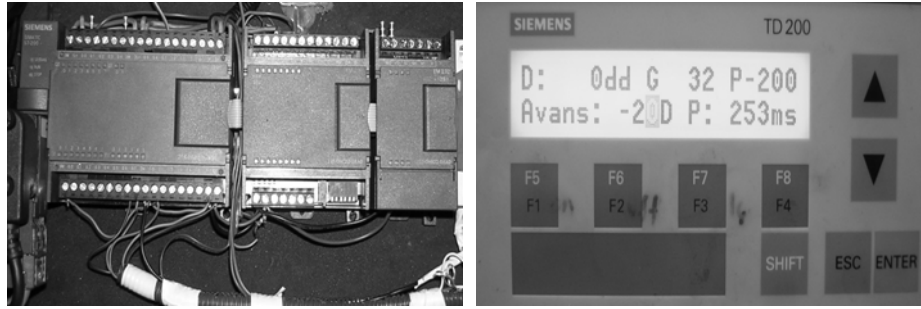
Yeni nesil araçlarda kullanılan ortak hat püskürtme sistemleri ile püskürtme avansı, basıncı, süresi ve faz sayısına müdahale edilebilmesi, optimum çalışma noktalarının yakalanabilmesine olanak sağlamaktadır. Klasik dizel püskürtme sistemleri ile karşılaştırıldığında aşırı doldurma ile birlikte yapılan fazlı yüksek basınçlı püskürtme, başta motor hızı artışı olmak üzere torkta da ciddi artış sağlamaktadır. Bu bağlamda, alternatif yakıt çalışmaları ile yanmaya dayalı optimizasyon çalışmalarında tek silindirli bir dizel motorunun, çalışma parametrelerinin elektronik kontrolü gerekmektedir. Yapılan araştırmada bu tip Ar-Ge amaçlı tek silindirli bir dizel motorunun bu alanda üretim yapan uluslar arası firmalara tarafından minimum donanım ile satış bedelinin 350.000 € olduğu belirlenmiştir. Mevcut durumda, aynı işlevleri yerine getiren ve donanımının büyük oranda yerli kaynaklardan sağlandığı bir sistemin kurulması çalışmanın önemini artırmaktadır.

2. PLC KONTROLLU YAKIT PÜSKÜRTME SİSTEMİ TASARIMI

Tek silindirli dizel motorunun mevcut mekanik yakıt püskürtme sistemi püskürtme avansı ve basıncı gibi parametrelerin değişimine ve bu parametrelerin değişiminin etkisinin gözlenmesine imkan vermemektedir. Bu amaçla, motorun püskürtme başlangıcı ve püskürtme süresinin kontrolü gerekmektedir. Bunu sağlamak için bir elektromanyetik enjektörün motorun çalışma parametrelerine (motor hızı, gaz konumu vb.) bağlı kontrol edilmesi gerekmektedir. Yapılan araştırmada bu tip bir sistemin programlanabilir lojik kontroller kullanılarak kontrol edilebileceği belirlenmiştir. Bu noktada PLC'nin görevi, tarafımızdan yazılan programa uygun olarak belirlenmiş çalışma şartında enjektör püskürtme sinyalini oluşturmaktır. PLC seçimi için yapılan araştırmada, Siemens S7-200 tipi 14 dijital girişli, 10 dijital çıkışlı bir işlemci ünitesi ile 4 adet analog girişi olan ek bir modülün (gaz konumu vb analog girişlerin sisteme girilebilmesi için) yeterli olacağı belirlenmiştir. [8]. Şekil-1 de tasarlanan deney düzeneğinde kullanılan PLC sistemi görülmektedir.

Motorun hızının ve pistonun konumunun belirlenebilmesi için IVO marka devir başına 360 puls üreten bir artımsal kodlayıcı düzeneğe monte edilmiştir. Montajda piston üst ölü noktada iken kodlayıcı sıfır konum sinyali noktasına getirilerek bağlantı gerçekleştirilmiştir. Bu konumlandırma dizel motorunda önem arz eden püskürtme sinyalinin, avansının ve süresinin krank açısına bağlı belirlenmesine olanak sağlamıştır.

Ortak hat püskürtme sisteminde gerekli yüksek basıncı elde edebilmek için, 3 radyal pistonlu bir yüksek basınç pompası kullanılmaktadır. Bu pompa mevcut deney düzeneğinde kullanılmak amacıyla dışarıdan 3 BG lik bir elektrik motoru ile şekil-3'te görüldüğü gibi tahrik edilmiştir. Yüksek basınç pompasının giriş hattı için gerekli olan minimum 0,5 bar'lık , 0,5 l/dk debili yakıt akışını sağlayabilmek için yakıt tankının içine otomobillerde kullanılan standart elektrikli bir yakıt pompası yerleştirilmiştir[9,10].



Şekil 1. Siemens S7-200 CPU-224 işlemci EM-231 analog modül ile TD200 ekranı

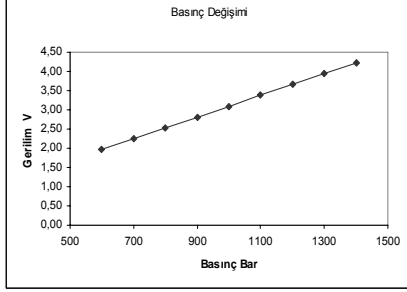
2.1. Basınç Kontrol Devresi Tasarımı

Püskürtme basınç değerinin çalışma şartlarına bağlı 20 bar hassasiyetle (200-1600 bar arasında) değiştirilebilmesi için kontrol kartı yapılması gerekmiştir. Şekil-3'te [11] verilen devre temelde PWM tipi bir DC motor sürücü devresi olup yüksek basınç pompasının basınç kontrol valfinin bobinin kontrolü için kullanılmıştır. Bu devrede PIC 16F84 tipi bir kontrolör kullanılmış ve gerekli yazılım yüklenmiştir. Bu sistemle oluşturulan kare dalga sinyali ile yüksek basınç pompasının basınç kontrol valfinin açık kalma süresi değiştirilmiş, dolayısıyla hattaki basıncın değiştirilebilmesi sağlanmıştır.

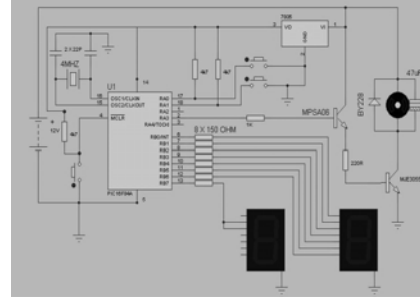
Ortak hat sisteminde yer alan rampa basınç sensörü verisinin PLC sistemine aktarılabilmesi için çeşitli basınç şartlarında ölçümler yapılmış ve bir sensör modeli oluşturulmuştur. Örneğin mekanik manometrede ölçülen 900 bar değerine karşılık, sensörden

gelen 2.81 volt değeri not edilmiş ve basınç değiştirilerek gerilim değişimi gözlenmiştir. Çizelge 1'de yapılan ölçümler ve basınç değişiminde sensörün uçları arası gerilim değişimi görülmektedir. Denklem 1'de basınç değişimi için oluşturulmuş eşitlik görülmektedir.

$$P = 600 + \frac{(V - 1.96)}{0.28} * 100 \quad (1)$$



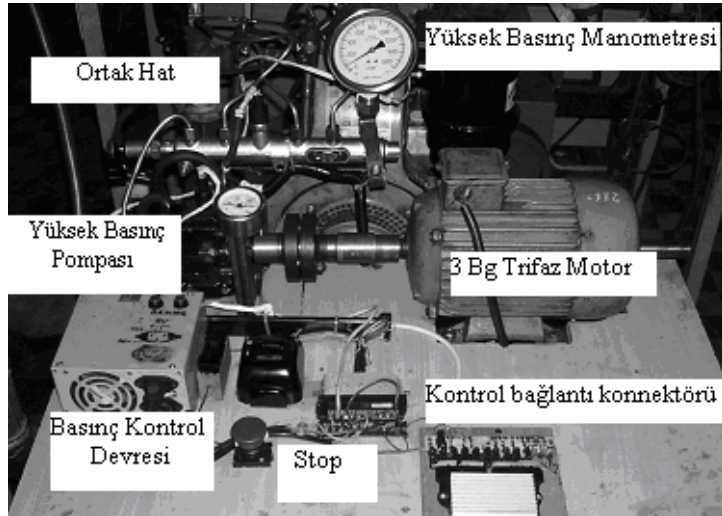
Şekil 2. Rampa basınç sensörü gerilim değişim grafiği



Şekil 3. Basınç kontrol devresi [11]

Çizelge 1. Rampa basınç sensörünün basınç altında gerilim değişimi

	Basınç Bar	Gerilim Volt		Basınç Bar	Gerilim Volt
1	600	1,96	6	1100	3,38
2	700	2,25	7	1200	3,67
3	800	2,52	8	1300	3,95
4	900	2,81	9	1400	4,22
5	1000	3,08			



Şekil 4. Yüksek basınç düzeneği yapısı

3. KONTROL PROGRAMININ HAZIRLANMASI

Mekanik pompa ile yakıt sevk sisteminin, ortak hat püskürtme sistemine dönüştürülebilmesi için, mekanik yakıt sevki ile çalışan dizel motorunda çalışma şartlarına bağlı yakıt tüketim değerlerinin değişimleri gözlenmelidir. Elektronik kontrollü sistem, mekanik kontrollü sisteme göre daha hassas yakıt sevki gerçekleştirdiğinden bu gözlenen noktalar, farklı motor yüklerinde izin verilen maksimum yakıt püskürtme miktarlarını ifade etmektedir. Bu bağlamda elektronik sisteme geçilmeden önce, mekanik sistemin kullanıldığı deneylerle motorun, moment(tork), hız ve belirli bir miktar yakıtı tüketim süresi ölçülmeli, güç(Ne) ve özgül yakıt tüketim(be) değerleri hesaplanmalıdır. Ölçülen bu değerler ile elde edilen performans eğrilerinin elektronik kontrollü sistem ile de sağlanabilmesi için, çevrim başına püskürttüğü yakıt miktarı ölçülen bir enjektörün açık kalma süresinin elektronik olarak kontrolü gerekmektedir. Bununla birlikte, her hız kademesi için püskürtülmesi gereken maksimum yakıt miktarının tespitinde temel parametre ise is oluşumu başlangıcıdır. Bu bağlamda her hız şartı için bu noktanın tespiti gerekmektedir.

3.1. Deneyin Yapılışı

Çalışmanın bu aşamasında yakıt olarak motorin kullanılan tek silindri bir dizel motorun performansı ile egzoz emisyonlarındaki değişimler incelenmiştir. Motor üzerine uygulanan yük miktarı kontrol paneli üzerinden ayarlandıktan ve okunduktan sonra takometre vasıtasıyla dizel motorunun ve elektrik motorunun devri ölçülmüştür. Bu esnada silindir kafasına yerleştirilen basınç sensörü ile silindir içi basınç dataları sinyal yükselticiye oradan da osiloskoba aktarılmış ve kaydedilmiştir. Bu işlemler gerçekleştirilirken diğer yandan kontrol paneli üzerindeki egzoz valfi kumanda düğmesi ile egzoz emiş valfi açılıp emisyon değerleri (CO, CO₂, HC, O₂, NO_x ve lambda) okunmuştur. Kontrol paneli üzerindeki 50 ml'lik balon vasıtasıyla da bu motorun mevcut çalışma şartında 50 ml'lik yakıtı kaç saniyede tükettiği tespit edilmiştir.

Bu işlemler gerçekleştirildikten sonra motora uygulanan yükleme değerleri artırılarak aynı işlemler ve ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde toplam on farklı yük kademesindeki veriler toplanmış ve kaydedilmiştir.

3.2. Deney Bulguları

Yukarıda anlatıldığı şekilde gerçekleştirilen testler sonucunda elde edilen ve hesaplanan bulgular çizelge-1 de gösterilmiştir. Bu tabloda yer alan güç değerleri ekte verilen denklem 1'e göre, tork değerleri denklem 2'ye göre, özgül yakıt sarfiyatı değerleri denklem 3'e göre ve termik verim değerleri denklem 4'de göre hesaplanmıştır[12].

Çizelge 1. On farklı yük durumunda toplanmış ön deney verileri

	Devir d/d	Yük kg	Tork Nm	Güç kW	be g/kWh	ηe %	Ortam Sıc. °C	Nem %
1	3230	3,8	6,52	2,21	422,55	18,64	23	70
2	2986	13,2	22,66	7,08	284,45	27,69	23	70
3	2737	13,7	23,52	6,74	274,76	28,67	23	70
4	2590	14	24,03	6,51	269,56	29,22	23	70
5	2288	14,35	24,64	5,90	266,90	29,51	23	70
6	2125	14,4	24,72	5,50	273,79	28,77	23	70
7	1920	14,5	24,89	5,00	282,32	27,90	23	70
8	1759	14,25	24,46	4,50	289,67	27,19	23	70
9	1532	14,1	24,21	3,88	329,85	23,88	23	70
10	1216	13,2	22,66	2,88	365,37	21,56	23	70

3.3. Kontrol Algoritması İçin Veri Sayısının Genişletilmesi

Çalışmada kullanılacak yüksek basınçlı enjektörün yakıt sevk süresi, dolayısıyla sevk edilen yakıt miktarını tüm çalışma şartında belirleyebilmek için ön deney çalışmalarında elde edilen güç ve devir değerleri enterpolasyon ile artırılarak çevrim başına sevk edilmesi gereken yakıt miktarı değerleri detaylandırılmıştır. Bu bağlamda ölçülen maksimum ve minimum hız değeri arasındaki her hız, güç ve tork değeri deneylerde alınmamıştır. 3200d/d hız değerinden başlayarak, 50 devir aralıkla hız azaltılarak, bu hızlara karşılık gelen değerler enterpolasyon ile hesaplanmıştır. Ekte verilen Çizelge 3 te bu yöntemle elde edilmiş değerler görülmektedir.

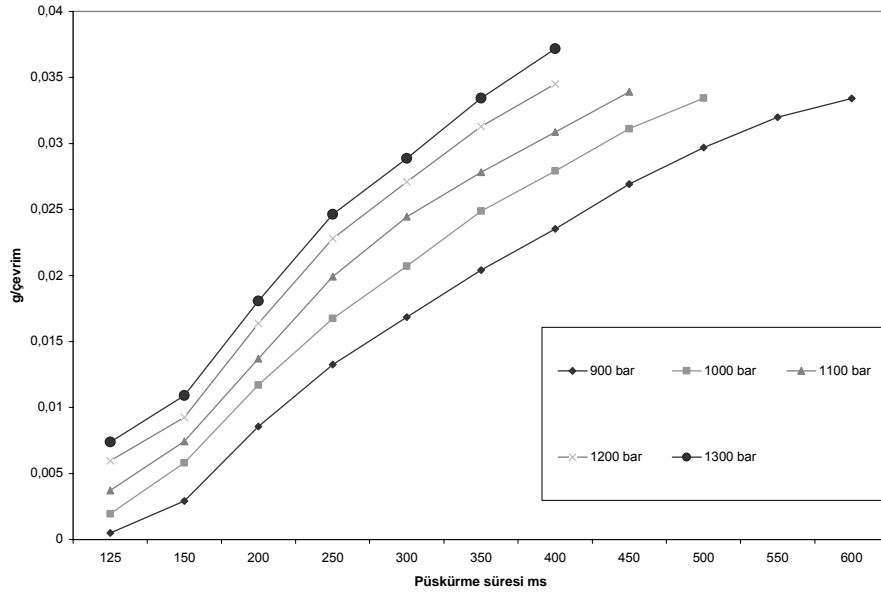
3.4. Enjektör Kalibrasyonu

Performans deneylerinde elde edilen sonuçlar ile hesaplanan çevrim başına püskürtülmesi gerekli yakıt miktarının, elektronik kontrollü sistem ile yakalanabilmesi için, elektromanyetik enjektörün farklı basınç değerleri altında, farklı açık kalma sürelerinde püskürttüğü yakıt miktarlarının bilinmesi gerekmektedir.

Bu amaçla, 900–1000–1100–1200–1300 bar çalışma basınçları için değişik açık kalma sürelerinde enjektör yakıt püskürtme miktarları tespit edilmiştir. Deneylerde sıcaklığın zamana bağlı hızla artış gösterdiği ve bu durumun püskürtme karakterini değiştirdiği saptanmıştır. Bu nedenle yakıt sistemine fanlı bir soğutucu ilave edilmiş ve yakıt sıcaklığının 40°C geçmesi engellenmiştir. Deneylerde Sartorius marka hassas terazi ile darası alınan ağız kapalı metal enjeksiyon kabına farklı basınç değerinde, değişik açık kalma süreleri için 1000 adet püskürtme yapılmış ve kaptaki ağırlık değişimi gözlenmiştir. Çizelge 2 de farklı basınç değerleri için, püskürtme süresine bağlı çevrim başına hesaplanan yakıt miktarı değişimleri verilmektedir. Bu ölçümler ile çizelge 3’de verilen mekanik püskürtmeli motorun yakıt tüketim değerleri eşleştirilmiş ve aynı çalışma şartının yakalanabilmesi için enjektörün kaç µs açık kalması gerektiği hesaplanmıştır. Şekil-4 püskürtme süresine bağlı, çevrim başına püskürtülen yakıt miktarı değişimi grafiksel olarak verilmiştir.

Çizelge 2. Enjektör püskürtme sonuçları

Püskürtme süre µs	Püskürtme Adedi						Miktar
		900	1000	1100	1200	1300	
125	1000	0,000496	0,001945	0,003723	0,005952	0,007378	g/cevrim
150	1000	0,002924	0,005823	0,007442	0,009256	0,010912	g/cevrim
200	1000	0,008566	0,011714	0,013690	0,016364	0,018068	g/cevrim
250	1000	0,013262	0,016738	0,019902	0,022798	0,024627	g/cevrim
300	1000	0,016853	0,020700	0,024456	0,027091	0,028866	g/cevrim
350	1000	0,020407	0,024872	0,027833	0,031279	0,033433	g/cevrim
400	1000	0,023531	0,027913	0,030869	0,034514	0,037184	g/cevrim
450	1000	0,026913	0,031106	0,033910			g/cevrim
500	1000	0,029687	0,033449				g/cevrim
550	1000	0,031992					g/cevrim
600	1000	0,033401					g/cevrim



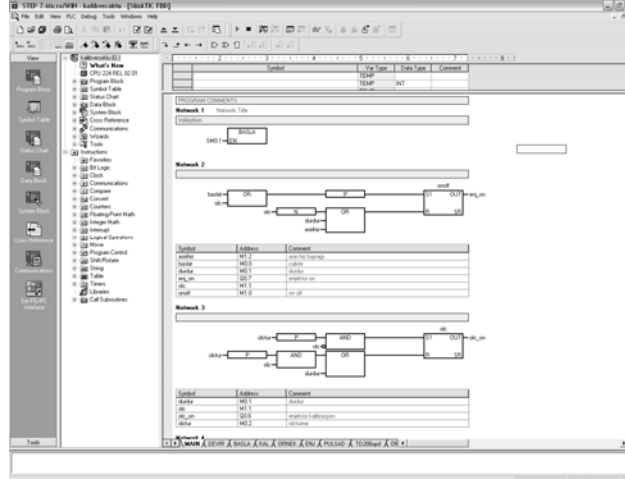
Şekil 4. Enjektör kalibrasyon eğrisi

Çizelge 3. Maksimum ve minimum devirler arasında enterpolasyonla elde edilen değerler

	Devir d/d	Çevrim/s	be g/kWh	Güç kW	g/sn	g/çevrim	cm ³ /çevrim	ms/çevrim
1	3200	26,667	359,974	3,105	0,31045	0,0116	0,0140	37,5000
2	3100	25,833	290,995	6,684	0,54026	0,0209	0,0251	38,7097
3	3050	25,417	299,690	6,859	0,57096	0,0225	0,0270	39,3443
4	3000	25,000	308,757	7,033	0,60320	0,0241	0,0290	40,0000
5	2900	24,167	306,677	6,963	0,59315	0,0245	0,0295	41,3793
6	2800	23,333	303,135	6,824	0,57463	0,0246	0,0296	42,8571
7	2700	22,500	298,574	6,681	0,55411	0,0246	0,0296	44,4444
8	2650	22,083	296,394	6,606	0,54385	0,0246	0,0296	45,2830
9	2600	21,667	295,158	6,530	0,53539	0,0247	0,0297	46,1538
10	2550	21,250	292,594	6,439	0,52333	0,0246	0,0296	47,0588
11	2500	20,833	291,157	6,344	0,51307	0,0246	0,0296	48,0000
12	2447	20,392	289,014	6,243	0,50120	0,0246	0,0295	49,0396
13	2400	20,000	289,702	6,141	0,49421	0,0247	0,0297	50,0000
14	2350	19,583	290,699	6,033	0,48717	0,0249	0,0299	51,0638
15	2300	19,167	291,642	5,925	0,47999	0,0250	0,0301	52,1739
16	2250	18,750	293,110	5,806	0,47268	0,0252	0,0303	53,3333
17	2200	18,333	295,699	5,683	0,46675	0,0255	0,0306	54,5455
18	2125	17,708	299,334	5,498	0,45714	0,0258	0,0310	56,4706
19	2100	17,500	299,795	5,438	0,45282	0,0259	0,0311	57,1429
20	2050	17,083	302,205	5,317	0,44630	0,0261	0,0314	58,5366
21	2000	16,667	304,578	5,196	0,43957	0,0264	0,0317	60,0000
22	1950	16,250	306,922	5,075	0,43264	0,0266	0,0320	61,5385
23	1900	15,833	309,114	4,940	0,42418	0,0268	0,0322	63,1579
24	1850	15,417	311,667	4,786	0,41430	0,0269	0,0323	64,8649
25	1800	15,000	314,345	4,631	0,40435	0,0270	0,0324	66,6667
26	1759	14,658	316,701	4,504	0,39619	0,0270	0,0325	68,2206
27	1700	14,167	328,347	4,342	0,39603	0,0280	0,0336	70,5882
28	1650	13,750	337,903	4,205	0,39468	0,0287	0,0345	72,7273
29	1600	13,333	347,560	4,068	0,39270	0,0295	0,0354	75,0000
30	1550	12,917	357,311	3,930	0,39010	0,0302	0,0363	77,4194
31	1500	12,500	363,505	3,780	0,38168	0,0305	0,0367	80,0000
32	1450	12,083	369,683	3,622	0,37197	0,0308	0,0370	82,7586
33	1400	11,667	375,211	3,465	0,36109	0,0310	0,0372	85,7143
34	1350	11,250	381,809	3,301	0,35006	0,0311	0,0374	88,8889
35	1300	10,833	387,439	3,149	0,33890	0,0313	0,0376	92,3077
36	1250	10,417	394,263	2,991	0,32760	0,0314	0,0378	96,0000

3.5. PLC Kontrol Programı

Çalışmada kullanılan siemens S7-200 tipi PLC, bu marka için geliştirilmiş Step7-Micro/WIN yazılımı ile FBD yapısında programlanmıştır[8]. Bu program püskürtme süresi, zamanlaması ve faz yapısı değiştirilebilecek şekilde oluşturulmuştur. Şekil -5'te bu programın, program bloğunun yapısı görülmektedir.



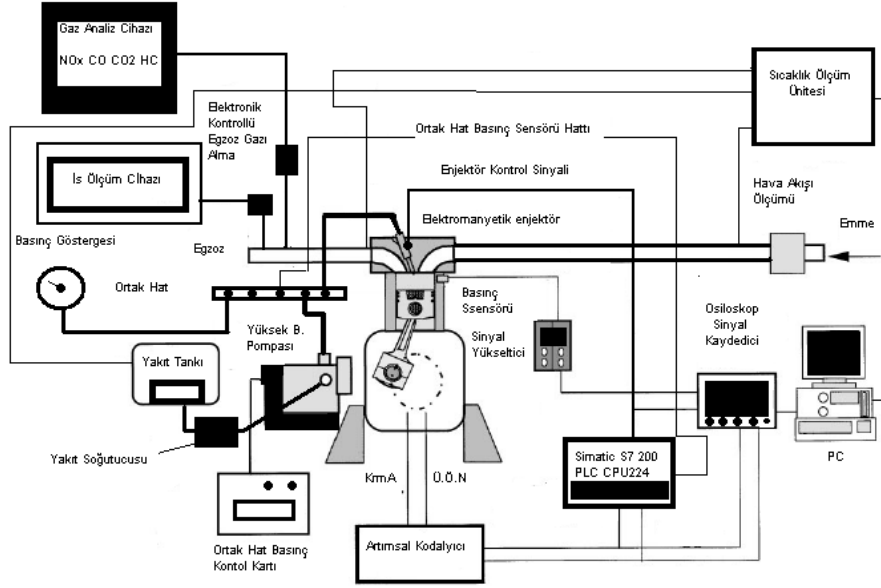
Şekil 3. 20 Step7-Micro/WIN yazılımı program bloğunun yapısı

4. SONUÇ

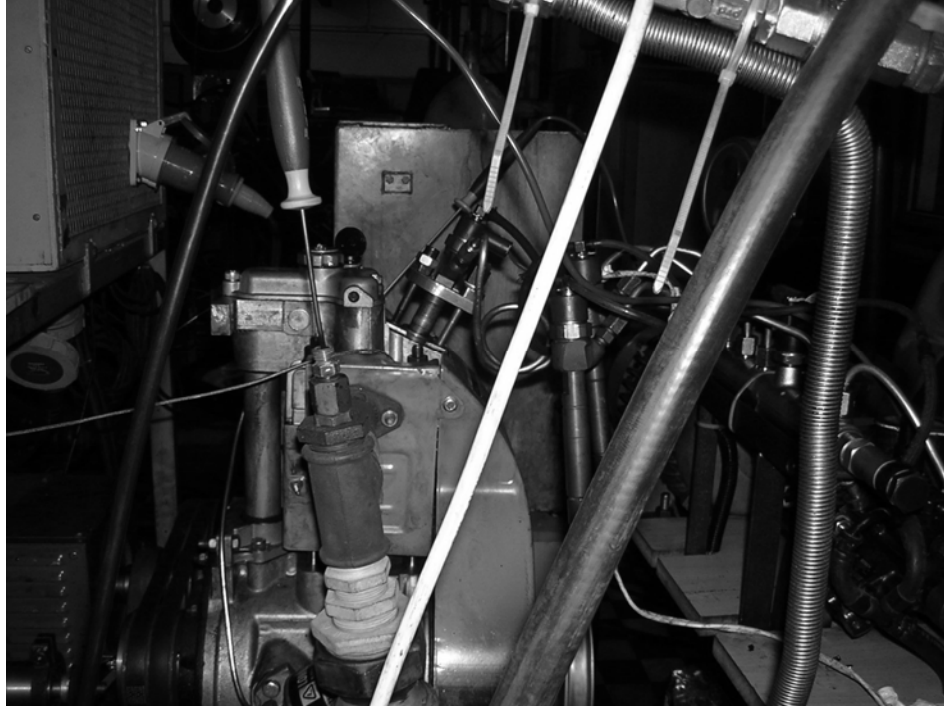
Dizel motorlarında yapılacak yanmaya dayalı optimizasyon ve farklı yakıt çalışmalarında motorda kullanılan yakıtın çevrim başına püskürtme süresi, faz adedi, zamanlaması ve basıncı, optimum sonuçların hedeflendiği araştırmalarda önem taşımaktadır. Petrol fiyatlarının hızla artış gösterdiği dikkate alındığında, günümüzde ve gelecekte alternatif yakıt çalışmalarının daha da önem kazanacağı üzerinde önemle durulması gereken bir konudur.

Yeni nesil araçlarda kullanılan ortak hat püskürtme sisteminin, tek silindirli motora uygulanmış yapısının deneyseti şeması şekil-5'te ve genel görüntüsü şekil-6'da görülmektedir. Uzun bir ar-ge ve uygulama dönemini takiben, Lombardini LDA 450 tipi klasik dizel püskürtme sistemli bir motor, farklı yakıtların optimum çalışma noktalarının belirlenmesi olarak sağlayacak, püskürtme avansı, süresi, faz adedi ve basıncı (600–1600 bar) değiştirilebilen bir ar-ge motoruna dönüştürülmüştür. Enjektörün çalışma şartı(900–1300 bar) için kalibre edilmesi ile daha önce sitemde yer alan manüel yakıt debisi ölçüm sistemi ortadan kalkmıştır. Püskürtme süresi ve basıncına bağlı olarak çevrim başına püskürtülen yakıt hesaplanabilmektedir. Kurulan test düzeneğine, aşırı doldurma, EGR vb. donanımların eklenmesi ile dolgu basıncı ve art gaz miktarının etkilerinin de incelenmesi mümkün olacaktır.

Bu tip Ar-Ge amaçlı tek silindirli bir dizel motorunun bu alanda üretim yapan uluslararası firmalara tarafından minimum donanım ile satış bedelinin 350.000 € olduğu göz önünde bulundurulduğunda, aynı işlevleri yerine getiren ve donanımının büyük oranda yerli kaynaklardan sağlandığı bir sistemin 30.000 € mertebesinde bir maliyetle kurulmuş olması, çalışmanın önemini yansıtan diğer bir husustur.



Şekil 5. PLC kontrollü yüksek basınç püskürtmeli Lombardini LDA450 tipi dizel motor seti



Şekil 6. PLC kontrollü Lombardini LDA450 tipi dizel motor seti resmi

REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Yavaşlıol İ., "İçten Yanmalı Motorlar" Eğitim Yayınları A.Ş. 1988.
 [2] Bauer H., (1999) "Diesel-engine managment" Robert Bosch GmbH, Stuttgart.
 [3] Bauer H., (1999) "Diesel Accumulaor fuel-injection system Common Rail", Robert Bosch GmbH, Stuttgart.
 [4] Denso Corporation, "Opel 4EE2 tipi motor için Commonrail sistemi", İstanbul, 2003.
 [5] Desantes J.M., Benajes J., (2004) Molina S., C.A. Gonzalez., "The modification of the fuel injection rate in heavy-duty diesel engines" Part 1: Effects on engine performance and emissions, Applied Thermal Engineering, 2701–2714.
 [6] Heywood JB (1988) Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw-Hill, Newyork.
 [7] Guzella L., Amstutz., (1998)., "Control of Diesel Engines" IEEE,0272-1708/98 :53-71.
 [8] Siemens Simatic S7-200 Programmable Controller System Manual, 2005.
 [9] Buruk S., Özçelik U., "Common Rail enjeksiyon sistemi" http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/comman_rail/cdi2.htm
 [10] İleri, E. ve Atay C., (2006) "Commonrail Püskürtme Sistemi Simülörünün Kurulması", Bitirme Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü.
 [11] <http://www.mekatronikkulubu.org/eklenti/active/0/picmotordevresi3.jpg>
 [12] Adler, U., "Automotive Handbook", Robert Bosch GmbH, Stuttgart, 406-407, 1996.

EKLER

$$P = \frac{M_d \cdot n}{9549} \quad (1)$$

$$\tau(\text{Tork}) = \frac{F.L}{2} \cdot \eta k \quad (2)$$

$$be = \frac{V \cdot \rho \cdot 3600}{T \cdot P} \quad (3)$$

$$\eta_e = \frac{3600}{be \cdot H_u} \quad (4)$$

F: Kuvvet (N)	L: Kuvvet kolu (m)	Md(τ):döndürme momenti (N.m)
ηk : Kasnak verimi	n: Motor devri (d/d)	V: Hacim (cm ³)
ρ : Özgül ağırlık (g/cm ³)	T: Süre (sn)	P: Güç (kW)
η_e : Termik verim	be: Özgül yakıt sarfiyatı (g/kWh)	H _u : Alt ısı değer (MJ/kg)