



# **Biyodizel Yakıtlarda Alevin Ötelenme (Lift-Off) Mesafesi Ve Atesleme Gecikmesinin Çalışılması**

**Program Kodu: 3501**

**Proje No: 213M258**

**Proje Yürütücüsü:  
Dr. Alvaro DIEZ**

**Bursiyerler:**

**Veysel Egemen Ağakay  
Arman Kocaoğlu**

**EYLÜL 2016  
İZMİR**



Bu projede dizel ve biyodizel yakıtların alev ötelenme mesafesi ve tutuşma gecikmesi sabit hacimli bir yanma odasında Schlieren optik tekniği ile deneysel olarak incelenmiştir. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'a bu projeye verdiği destekten dolayı teşekkür ediyorum. Bu proje, 213M258 referans numarasıyla TÜBİTAK 3501 araştırma programı kapsamında desteklenmiştir.

Son yirmi iki aydır çok sıkı çalışmalarının karşılığı olarak doktora öğrencim Egemen Ağakay'a teşekkür ediyorum.

## ÖZET

Bu araştırma projesi kapsamında, biyodizel yakıtların alev ötelenme mesafesi ve tutuşma gecikmesi, optik erişimi olan sabit hacimli bir yanma odası içerisinde incelenmiştir. Alev ötelenme uzunluğu ve tutuşma gecikmesi ölçümleri için Schlieren tekniği kullanılmıştır. Yakıt spreylelerinin testi için sabit hacimli bir yanma odasının kurulumu gerçekleştirilmiştir. Çevre hava koşullarının benzetimi için sabit hacimli bir yanma odası içerisinde argon, oksijen, azot ve asetilen gazlarından oluşturulan karışımın ön yanma işlemiyle yanma ortam koşulları oluşturulmuştur. Ön yanma işlemi için gerekli olan gaz karışımı oransal valflerin PID kontrolü ile gerçekleştirilmiştir. Tek delikli bir yakıt enjektörü, yakıt spreylelerinin yanma odası içerisinde oluşturulması için kullanılmıştır. Farklı biyodizel yakıtların alev ötelenme mesafesi ile otomatik ateşleme arasındaki ilişkileri açıklamak üzere testler yapılmıştır.



## **ABSTRACT**

In the scope of this research project, flame lift-off length and ignition delay of different biodiesel fuels were investigated in a constant volume combustion chamber by means of Schlieren technique. Schlieren technique was utilized for measurement of flame lift-off length and ignition delay. The establishment of a constant volume combustion chamber for fuel sprays has been done. To simulate engine-like conditions, precombustion process of mixture of argon, oxygen, nitrogen, and acetylene gases takes place in the constant volume combustion chamber. The required gas mixture for the precombustion process was obtained by PID controlling of proportional valves. A single-hole fuel injector was utilized to create fuel spray inside the chamber. Tests were performed to reveal the relation between flame lift-off length and ignition delay of different biodiesel fuels.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	iv
TABLO LİSTESİ .....	vii
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ .....	2
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	7
3.1. Deneysel Kurulum İçin Gereklilikler.....	7
3.2. Tasarım .....	7
3.3. Deney Düzenegi .....	8
3.3.1. Sabit Hacimli Yanma Odası .....	9
3.3.2 Yüksek Basınç Yakıt Sistemi .....	11
3.3.3. Ateşleme Sistemi.....	15
3.3.4. Isıtma Sistemi.....	16
3.3.5. Gaz Giriş-Çıkış Sistemi.....	17
3.3.6. Schlieren Optik Sistemi.....	19
3.4. Ön Yanma İşlemi .....	21
3.5. Oransal Elektronik Valf Kontrolü .....	24
3.6. Deney Programları.....	26
3.6.1. Gaz Doldurma Programı.....	26
3.6.2. Ön Yanma ve Püskürtme Programı .....	29
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	31
4.1 Ön Yanma İşlemi .....	31
4.2 Alev ötelenme mesafesi (AÖM).....	39
4.3 Reaktif olmayan sprey deney sonuçları.....	43
4.4 Reaktif sprey deney sonuçları .....	47
5. SONUÇLAR .....	58
KAYNAKLAR.....	59

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Serbest reaksiyon halindeki dizel yakıt jeti üzerindeki kurum konsantrasyonu, Musculus vd. (2002)	3
Şekil 2. Üst: Enjeksiyon basıncı $\Delta P_{inj}=50$ MPa, nozul çapı $d_o=138$ $\mu\text{m}$ , yığın sıcaklığı=826 K, yoğunluk=21.2 kg/m <sup>3</sup> koşulları altında reaktif olmayan (sarı kesik çizgiler) ve reaktif olan (kırmızı çizgiler) dizel spreyleyen alev ötelenme mesafelerinin karşılaştırılması. Alt: Tespit edilen kontur ve ötelenme mesafesinin Schlieren görsellerinden karşılaştırılması (Desantes vd., 2014)	5
Şekil 3. Yanma odasının kesit görünümü	8
Şekil 4. Deney düzeneğinin tam görünümü	8
Şekil 5. Bağlantı yuvaları: (2-8) ateşleme bujileri, (5) temokupl, (6-7) basınç duyargaları, (1-4) yedek bağlantı yuvaları	9
Şekil 6. Cam tutucu flanşların ilk tasarımı	10
Şekil 7. Sabit hacimli yanma odası son hali	10
Şekil 8. Flanş ve tutucu kapak	11
Şekil 9. Yakıt pompası ve elektrik motoru	11
Şekil 10. Yüksek basınçlı dizel yakıt bağlantı borusu ile BKV ve basınç duyargası	12
Şekil 11. PWM sürücüleri	12
Şekil 12. Yakıt tankı ve düşük basınç hortumları	13
Şekil 13. Titreşim takozları	13
Şekil 14. Piezo enjektör sürücü	14
Şekil 15. Piezo enjektör	14
Şekil 16. Enjektörün yanma odasına bağlantısı	15
Şekil 17. Ateşleme bujisi	15
Şekil 18. Isıtıcı rezistanslar (kırmızı-beyaz kablolu)	16
Şekil 19. Sıcaklık kontrol cihazı	17
Şekil 20. Gaz giriş sistemi	17
Şekil 21. Asetilen (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> ), azot (N <sub>2</sub> ), argon (Ar) ve oksijen (O <sub>2</sub> ) gaz tüpleri	18
Şekil 22. Oransal elektronik valfler	19
Şekil 23. Noktasal ışık kaynaklı Schlieren deney düzeneği	19

Şekil 24. Schlieren deney düzeneği tasarımı	20
Şekil 25. Schlieren optik deney düzeneği uygulaması	21
Şekil 26. Tüm deney düzeneğinin şematik gösterimi	21
Şekil 27. Ön yanma işlemi prensibi	22
Şekil 28. Gaz doldurma programı akış diyagramı	27
Şekil 29. Gaz doldurma programı kullanıcı arayüzü	28
Şekil 30. Ön yanma ve püskürtme programı kullanıcı arayüzü	30
Şekil 31. 5 kg/m <sup>3</sup> , %5 giren asetilen, %0 ürün oksijen gaz bileşimi ön yanma sonuçları	31
Şekil 32. 5 kg/m <sup>3</sup> , %5 giren asetilen, %0 ürün oksijen gaz bileşimi dolum sonuçları	32
Şekil 33. 5 kg/m <sup>3</sup> , %5 giren asetilen, %21 ürün oksijen gaz bileşimi ön yanma sonuçları	33
Şekil 34. 5 kg/m <sup>3</sup> , %5 giren asetilen, %21 ürün oksijen gaz bileşimi dolum sonuçları	34
Şekil 35. 5 kg/m <sup>3</sup> , %5 giren asetilen, %21 ürün oksijen gaz bileşimi ön yanma işlemi tekrarlanabilirlik testleri	35
Şekil 36. Egzoz gaz devridaimi 5 kg/m <sup>3</sup> , %5 asetilen, %15 oksijen ön yanma testleri tekrarlanabilirlik sonuçları	36
Şekil 37. 10 kg/m <sup>3</sup> , %5 asetilen, %0 ürün oksijen gaz bileşimi ön yanma işlemi sonuçları	37
Şekil 38 Sprey gelişimini gösteren Schlieren görselleri, toplam süre 1 ms	38
Şekil 39 Basınç-zaman grafiği, tutuşma ve enjeksiyon sinyalleriyle birlikte	40
Şekil 40 Sprey görüntü işlem adımları: a) ham görüntü, b) siyah-beyaz görüntü işlem sonucu, c) arka planın çıkarılma sonucu, d) sprej çevresinin işleme sonucu ve parametre ölçümlerinin tanımı	41
Şekil 41 Sprey ve alev gelişimini gösteren Schlieren görselleri, toplam süre 1.2 ms	42
Şekil 42 Reaktif olmayan dizel yakıt sprejinin farklı basınçlar altında gelişimi	43
Şekil 43 Reaktif olmayan dizel yakıt sprejlerin farklı basınç koşulları altındaki penetrasyon değerleri	44
Şekil 44 Reaktif olmayan mısırdan elde edilen yağ ile üretilen biyodizel yakıt sprejinin farklı basınçlar altında gelişimi	45
Şekil 45 Reaktif olmayan mısır bitkisinden üretilen biyodizel yakıt sprejlerin farklı basınç koşulları altındaki penetrasyon değerleri	46

Şekil 46 Dizel ve biyodizel (mısır) yakıtların sprey penetrasyon uzunluklarının karşılaştırılması, sol-üst 5 bar, sağ-üst 10 bar, sol-alt 15 bar, sağ-alt 20 bar ortam basıncında	46
Şekil 47 5 kg/m <sup>3</sup> , %10 O <sub>2</sub> , ön yanma işlemi basınç-zaman grafiği, buji ateşleme ve yakıt enjeksiyon sinyalleri	47
Şekil 48 5 kg/m <sup>3</sup> , %10 O <sub>2</sub> , ön yanma işlemi ham görüntüleri ve alev ilerlemesi	48
Şekil 49 5 kg/m <sup>3</sup> , %10 O <sub>2</sub> içeren ortamda dizel yakıt enjeksiyonu ve yanma ham görüntüleri	49
Şekil 50 5 kg/m <sup>3</sup> , %15 O <sub>2</sub> içeren ortamda dizel yakıt enjeksiyonu ve yanma ham görüntüleri	50
Şekil 51 5 kg/m <sup>3</sup> , %21 O <sub>2</sub> içeren ortamda dizel yakıt enjeksiyonu ve yanma ham görüntüleri	51
Şekil 52 Görüntü işleme sonucu %10, %15 ve %21 O <sub>2</sub> içeren ortamlardaki yanma sonucu elde edilen AÖM değerleri	52
Şekil 53 AÖM ve hacimsel oksijen içeriği arasındaki ilişki	52
Şekil 54 5 kg/m <sup>3</sup> , 10% O <sub>2</sub> , biyodizel ön yanma işlemi basınç-zaman grafiği, buji ateşleme ve yakıt enjeksiyon sinyalleri	53
Şekil 55 5 kg/m <sup>3</sup> , %10 O <sub>2</sub> içeren ortamda biyodizel yakıt enjeksiyonu ve yanma ham görüntüleri	54
Şekil 56 5 kg/m <sup>3</sup> , %15 O <sub>2</sub> içeren ortamda biyodizel yakıt enjeksiyonu ve yanma ham görüntüleri	55
Şekil 57 5 kg/m <sup>3</sup> , %21 O <sub>2</sub> içeren ortamda biyodizel yakıt enjeksiyonu ve yanma ham görüntüleri	56
Şekil 58 Görüntü işleme sonucu %10, %15 ve %21 O <sub>2</sub> içeren ortamlardaki biyodizelin yanması sonucu elde edilen AÖM değerleri	57
Şekil 59 Dizel ve biyodizel yakıtlardaki AÖM değerlerinin karşılaştırılması	57



## TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Optik araç-gereçler .....	20
Tablo 2. 5 kg/m <sup>3</sup> gaz karışım yoğunluğu için bulunan PID katsayıları .....	25





## 1. GİRİŞ

Tüm dünyada enerji tüketimi her geçen gün yükselerek artmaktadır ve bu yüzden sınırlı enerji kaynaklarının kullanımı hayati bir önem taşımaktadır. Yüksek enerji tüketimi, küresel ısınmaya sebep olan yüksek gaz salınımlarını da beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda sürücülerin talep ettiği artan performans ihtiyacını karşılamak ve aynı esnada daha verimli ve çevreye duyarlı içten yanmalı motorlar geliştirmek tüm dünyada zorunlu bir ihtiyaç haline gelmiştir. Bunu başarmak için araştırmacılar, içten yanmalı motorların icadından bu yana 120 yılı aşkın bir süredir yanma olayı üzerine çalışmaktadır.

Doğrudan püskürtmeli sıkıştırma ateşlemeli içten yanmalı motorlar, mekanik enerjinin gerektiği hemen hemen her alanda çoğunlukla kullanılan, dizel yakıtın yüksek basınç altında yakıldığı yanma motorlarıdır. Son araştırmalar göstermiştir ki alev ötelenme mesafesi, dizel yakıtların yanmasında ve gaz salınımlarının oluşmasında çok etkin bir öneme sahiptir (Larsson, 1999; Higgins ve Siebers, 2001; Siebers ve Higgins, 2001; Siebers vd., 2002; Ito vd., 2003; Pickett vd., 2005; Venugopal ve Abraham, 2007; Diez ve Zhao, 2010). Alev ötelenme mesafesinin etkisinin araştırılması için araştırmacılar optik erişime imkân sunan optik yanma motorları geliştirmişlerdir. Böylece optik tanılama yöntemleri ile alev ötelenme mesafesi ile ilişkili sprey karakterizasyonu üzerine çalışmak mümkün kılınmıştır.

Bu projede, farklı biyodizel yakıtların tutuşma gecikmesinin alev ötelenme mesafesi parametresi ölçümü aracılığıyla incelenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla optik erişime imkan sunan sabit hacimli bir yanma odası kullanılmıştır. Alev ötelenme mesafesinin ölçümü için Schlieren optik tekniğinden faydalanılmıştır.



## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

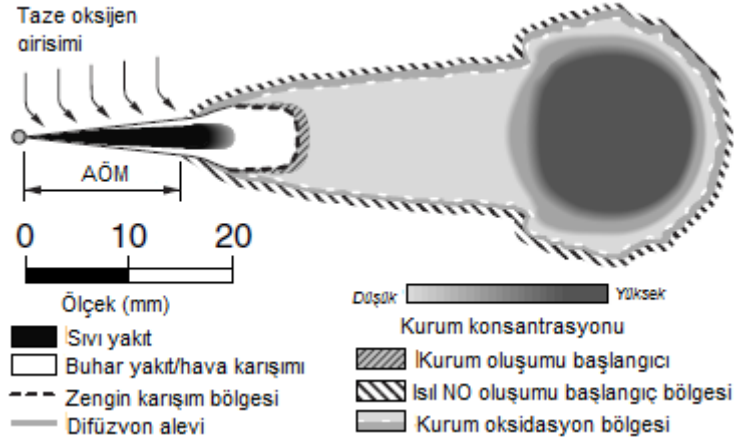
Yanma bir asırdan fazla bir süredir insanoğlunun hayatında yer almaktadır fakat alev ötelenme mesafesi (AÖM) ile ilgili çalışmaların kökeni 2000'li yıllara dayanmaktadır. Son araştırmalar göstermiştir ki AÖM ile tutuşma gecikmesi arasında kuvvetli bir ilişki vardır.

Higgins ve Siebers (2001), doğrudan püskürtmeli dizel spreyleyen AÖM'ünü sabit hacimli bir yanma odası içerisinde OH\* alevi kaynaklı kimyasal ışımaya görselleştirmesi yöntemi ile ölçmüşlerdir. Bu çalışmada, sıcaklığı 800K ile 1300K, oksijen konsantrasyonu da %15 ile %21 arasında değişen birçok farklı ortam koşullarında AÖM ölçümleri sunulmuştur. AÖM ölçümleri için en iyi görüntülerin OH\* alevinin spreyleyen enjektörden çıkış kısmındaki tarafında çokca bulunduğu 310nm dalga boyundaki ışık salımının olduğu bölgelerden alındığı belirtilmiştir. 310nm dalga boyundan daha fazla ışık salımının olduğu bölgelerde isten dolayı AÖM ölçümlerinin tutarlı olmadığı raporlanmıştır. AÖM'ün düzgün alev hızı ve ısı yayınlıya bağlı olarak ortam koşullarındaki gaz yoğunluğu ile ters orantılı olduğu belirtilmiştir. AÖM'ün ayrıca artan enjeksiyon basıncı ve enjektör nozul çıkış çapıyla birlikte azaldığı gösterilmiştir.

Siebers vd. (2002), doğrudan püskürtmeli dizel yakıt jetlerinde çevre koşullarındaki oksijen konsantrasyonunun, sıcaklığın, yoğunluğun ve enjektör nozul çapının AÖM üzerindeki etkilerini optik erişimi olan sabit hacimli bir yanma odasında araştırmışlardır. AÖM'nin ortam koşullarındaki oksijenin artmasıyla beraber azaldığı bu çalışmada belirtilmiştir. Yanma sonucunda oluşan ürünlerin içerisindeki kurum miktarının gaz karışım oranının artmasıyla azaldığı tespit edilmiştir. Musculus vd. (2002), yakıt bileşenlerinin ve AÖM'nin kurum oluşumu üzerine etkilerini OH\* alevi kaynaklı kimyasal ışımaya teşhis yöntemi ile incelemişlerdir. Bu çalışmada iki ticari tip ve beş parafin kökenli dizel yakıttan oluşan yedi farklı çeşitteki dizel yakıt bu çalışmada incelenmiştir. Olefin ve aroma içeren dizel yakıtların, oksijen konsantrasyonu sıfır olan parafin yakıtlara göre %60-110 daha fazla kurum ürettiği gözlemlenmiştir. Ito vd. (2003), kurum oluşumu ve AÖM arasındaki ilişkiyi inceleyen bir çalışma yayınlamışlardır. Bu çalışmada, enjekte edilen yakıtın türünden bağımsız olarak kurum oluşumunun AÖM ve alev sıcaklığı ile doğrudan ilişkili olduğu belirtilmiştir. Yüksek oranda oksijen içeren yakıtların daha az miktarda kurum ürettiği yapılan gözlemler arasında yer almaktadır.

Payri vd. (2005), modelleme amaçlı uygun muadil dizel yakıt geliştirmek için OH\* alevi kaynaklı kimyasal ışımaya görselleştirmesi ile alev ötelenme mesafesi ve Schlieren tekniği ile n-dodekan ve m-ksilen içeren iki bileşenli yakıt için ateşleme gecikmesi çalışmaları yapmışlardır. Taskiran ve Ergeneman'ın yaptığı bir başka çalışmada nozul boyutu ve yakıtın alev ötelenme mesafesi üzerine etkisi n-heptan ve heksadekan- heptametilnonan karışımı kullanılarak araştırılmıştır. Bu çalışmada, farklı setan sayısına sahip farklı yakıtların benzer

alev ötelenme mesafesi gösterdiği bulunmuştur. Bunun sebebi olarak da yakıtların benzer ısı değere sahip olması gösterilmiştir. Bu bulgunun bu proje üzerinde etkisi vardır çünkü setan sayısı, ısı değeri, buharlaşma noktası ve oksijen içeriği farklı değerler farklı biyodizellerin farklı özelliklerde olmasını sağlamaktadır.



Şekil 1. Serbest reaksiyon halindeki dizel yakıt jeti üzerindeki kurum konsantrasyonu, Musculus vd. (2002)

Çevre koşullarındaki sıcaklığın biyodizel yakıtlardaki AÖM ve kurum oluşumu üzerine etkileri Wu vd. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada ele alınmıştır. Bu çalışmada saf dizel (B0) ve biyodizel (B100) referans yakıtları sabit hacimli bir yanma odasında 800-1200K arasında değişen ortam sıcaklıklarında test edilmiştir. Artan ortam sıcaklığı ile beraber AÖM'ün azaldığı belirtilmiştir. Tüm ortam sıcaklıklarında, biyodizelin daha düşük ısı değerinden dolayı, biyodizelin yanması sonucu yanma odasında oluşan en yüksek basınç, dizel yakıtın yanmasında oluşankinden daha düşük olarak gözlenmiştir. Yüksek ortam sıcaklıklarında biyodizel yakıtın tutuşma gecikmesinin dizel yakıtı göre daha kısa sürdüğü tespit edilmiştir. Tüm deneyler biyodizel yanmasının tüm ortam sıcaklıklarında dikkate değer miktarda daha az kurum oluşturduğunu göstermiştir.

Pickett vd. (2005) yürüttüğü bir çalışmada AÖM ve tutuşma gecikmesi arasındaki ilişki dizel yakıt jetleri için OH\* kimyasal alev ışıltaması yöntemi ile incelenmiştir. Bu çalışmada yakıtın tutuşma kalitesinin AÖM'yi etkilediği ve kısa tutuşma gecikmesine sahip olan yakıtların (setan numarası yüksek olanların) genellikle daha kısa AÖM oluşturdukları belirtilmiştir. Donkerbroek vd. (2011), stokiometrik ve egzoz gaz devridaimi koşullarının tutuşma gecikmesi ve AÖM üzerindeki etkileri üzerine yaptıkları bir çalışmada AÖM'ün ve tutuşma gecikmesinin oksijenize olan yakıtlarda her iki ortam koşulu için de arttığı gözlemlenmiştir.

Çok geniş bir veritabanına dayalı olarak Sieber vd. (2001, 2002) birçok parametrenin yer aldığı güç ilişkisine dayalı olarak AÖM'ü aşağıdaki gibi formüle etmişlerdir.

$$S = CT_a^{-3.74} \rho_a^{-0.85} d^{0.34} U^1 Z_{st}^{-1} \quad 1$$

Bu denklemde,  $S$  [mm] AÖM,  $C$  oransal sabit,  $T_a$  [K] yanma ortamındaki gaz sıcaklığı,  $\rho_a$  [kg/m<sup>3</sup>] ortam gaz yoğunluğu,  $d$  [µm] enjektör nozul çapı,  $U$  [m/s] enjeksiyon hızı ve  $Z_{st}$  stokiometrik karışım oranını ifade etmektedir.  $Z_{st}$  terimi ortamdaki oksijen konsantrasyonunun etkisini yansıtmaktadır. Bu denklemdeki ilişkiye göre enjeksiyon hızı ile AÖM arasında doğrusal fakat diğer parametrelerle ters bir ilişki olduğu görülmektedir. Enjeksiyon hızı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır (Naber vd., 1996).

$$U = \frac{C_d}{C_a} \sqrt{\frac{2\Delta P_{inj}}{\rho_f}} \quad 2$$

Bu denklemde,  $C_d$  boşaltım katsayısı,  $C_a$  alan katsayısı,  $\Delta P_{inj}$  enjektör nozulu boyunca oluşan basınç düşümü,  $\rho_f$  ise yakıt yoğunluğunu ifade etmektedir. AÖM'ün teorik hesaplanmasında bir başka çalışma da Musculus vd. (2003) aittir. Bu çalışmada hacimsel olarak %32 heptametilnonan ve %68 n-heksadekandan oluşan bir dizel yakıtın AÖM'ü en küçük karelerle eğri uydurma yöntemi kullanılarak aşağıdaki gibi denklem edilmiştir.

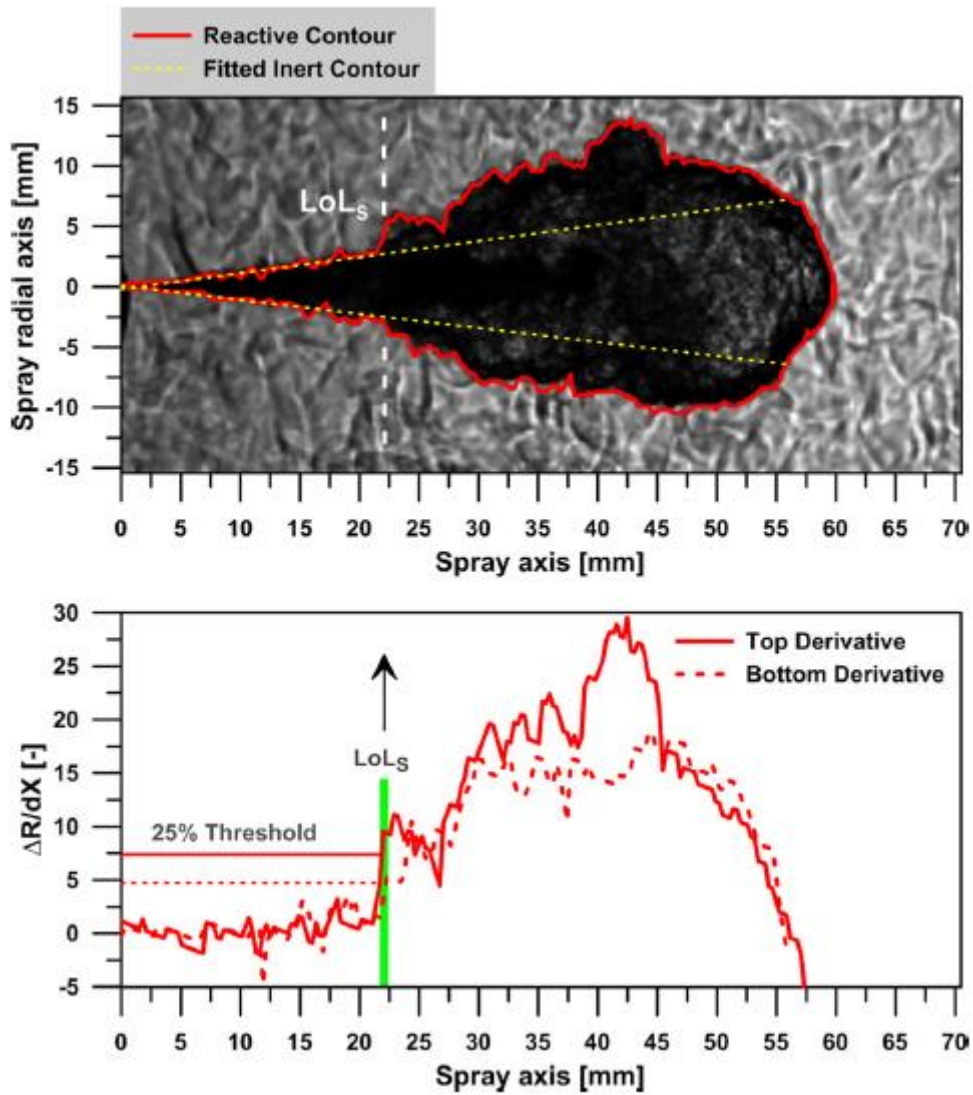
$$S = A \left( \frac{T}{950 K} \right)^\alpha \left( \frac{\rho}{22.4 \text{ kg/m}^3} \right)^\beta \quad 3$$

Bu denklemde  $A$ ,  $\alpha$  ve  $\beta$  terimleri eğri uydurma katsayılarını,  $T$  [K] ve  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] terimleri ise sırasıyla sıkıştırılmış havanın sıcaklığını ve yoğunluğunu temsil etmektedir. Denklem, deneysel verilerden elde edilen ortalama ortam sıcaklık ve yoğunluk değerleri olan 950K ve 22.4 kg/m<sup>3</sup> değerleri ile normalize edilmiştir.

Dizel yakıtların sprej karakteristiklerinin araştırılması için literatürde OH\* kimyasal alev ışıldaması, Mie saçılımı ve lazer etkili aydınlatma optik yöntemleri ile gerçekleştirilen çok sayıda çalışma yer almaktadır. Buna rağmen Schlieren tekniği ile dizel yakıt sprejlerin AÖM ölçümü bu yöntemlere kıyasla daha yeni bir yöntemdir (Kadota vd., 1990; Münch ve Leipertz, 1992; Siebers, 1998; Higgins ve Siebers, 2001; Cárdenas, vd., 2009; Desantes vd., 2014; Pasto vd., 2013).

Desantes vd. (2014), reaktif dizel yakıt sprejlerin uç giriminin süresiz gelişimini inceleyen bir çalışma yayınlamıştır. Bu çalışmada nozul çapı, ortam sıcaklığı ve basıncı, enjeksiyon

basıncı değişkenlerinin dizel yakıt spreyinin uç giriminin üzerine etkileri sabit basınçlı yanma odasında Schlieren tekniği kullanılarak incelenmiştir. AÖM ölçümleri için Schlieren tekniği ile elde edilen görüntüler Sandia Ulusal Laboratuvarı tarafından sağlanan açık kaynak kodlu bir yazılım tarafından elde edilmiştir. Schlieren görselleştirme tekniği ile elde edilen görüntüler, Sandia National Laboratories tarafından sağlanan açık kaynak kodu ile işlenmektedir. AÖM (LoL<sub>s</sub> kısaltması ile aşağıdaki şekilde gösterilmiştir), nozul ile boyutsuz spray ekseninin ( $\Delta R/\Delta X$ ) maksimum değerinin %25'ine denk gelen bölge arasındaki mesafe olarak tanımlanmıştır. Reaktif bir spray koşulunda yapılan alev ötelenme mesafesi ölçümü Şekil 2' de gösterilmiştir.



Şekil 2. Üst: Enjeksiyon basıncı  $\Delta P_{inj}=50$  MPa, nozul çapı  $d_o=138$   $\mu\text{m}$ , yığın sıcaklığı=826 K, yoğunluk=21.2  $\text{kg}/\text{m}^3$  koşulları altında reaktif olmayan (sarı kesik çizgiler) ve reaktif olan (kırmızı çizgiler) dizel spreyle alev ötelenme mesafelerinin karşılaştırılması. Alt: Tespit



edilen kontur ve ötelenme mesafesinin Schlieren görsellerinden karşılaştırılması (Desantes vd., 2014)

### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

Biyodizel yakıtların performans testleri, optik erişime olanak sunan sabit hacimli bir yanma odası deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Bu testler biyodizel yakıtların alev ötelenme mesafesinin ve ateşleme gecikmesinin Schlieren optik tekniği ile ölçülmesine dayanmaktadır. Performans testlerinde motorlardaki yanma koşulları benzetimi, sabit hacimli yanma odasında, asetilen ( $C_2H_2$ ), argon (Ar), azot ( $N_2$ ) ve oksijen ( $O_2$ ) gazlarının karışımının yakılması ile gerçekleştirilmiştir. Bu işlem, raporda “ön yanma” işlemi olarak tanımlanmaktadır. Ön yanma işlemi ile sabit hacimli yanma odası içerisinde, biyodizel enjeksiyonu öncesinde, bu dört gaz istenilen oranlarda karıştırılıp yakılarak stokiometrik, fazla ya da eksik hava koşulları sağlanabilmektedir.

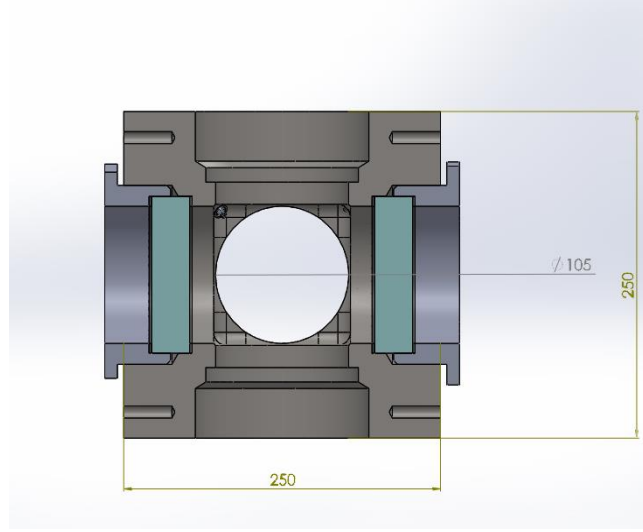
#### 3.1. Deneysel Kurulum İçin Gereklilikler

Bugün hala kullanılan ve kullanılmış farklı tiplerdeki deney düzeneklerine bakıldığı zaman, bu test düzeneklerinin basınç, sıcaklık vb. özelliklere karşı benzer limitlerde tasarlandığını görüyoruz. Test düzeneği aşağıdaki özellikleri taşımalıdır;

- İlgili yüzeylerden görsel olarak yanma gözlenebilmelidir. Tercihen 3 yönden görsel erişim olmalıdır.
- Yanma odası 15 MPa basınca dayanıklı olmalıdır ve daha ileri araştırmalar için maksimum tasarım basıncı 35 MPa olarak belirlenmiştir.
- Yanma odası 100°C sıcaklığa kadar ısıtılabilmesi başlangıçta uygun yanma koşullarının yaratılabilmesi için.
- Yüksek sıcaklık ve basıncın elde edilebilmesi için bir ön-yanma sistemi gerekmektedir. Böylece dizel kendi kendine yanabilecektir.

#### 3.2. Tasarım

Resim-1’de görüldüğü üzere, yanma odasının pencereleri en fazla 105 mm çapında optik erişime imkan sağlamaktadır ve iç hacmi 2.05 litredir. Yanma odası ana gövdesi, sekizi köşelerde ve altısı yüzeylerde olmak üzere dış açılmış bağlantı açıklıkları bulunmaktadır. Yanma odasının tasarımı Şekil 3’te görüldüğü gibidir. Çapı 105 mm olan altı açıklıktan biri gaz girişi ve çıkışı için, iki karşılıklı açıklık camlar için, enjektör bağlantısı için bir adet ve kalan iki adet çap 105 delik için kapak yapıp tıkanacaktır. Boş kapaklar ileride ihtiyaç duyulursa kullanılmak üzere duyurga, cam veya ısıtıcı rezistans için ayrılmıştır. Gövdenin köşelerindeki sekiz açıklık için farklı duyurgalar ve donanımlar için yer ayrılmıştır. Bunlardan bazıları termokupl, basınç duyurgaları ve ateşleme bujilerdir. Ön yanmayı başlatmak için iki delik ateşleme bujileri için ayrılmıştır; diğer iki köşe delik karışımı zamanında ateşlemek için basınç sensörleri için ve bir adet termokupl için alt köşede yer ayrılmıştır.



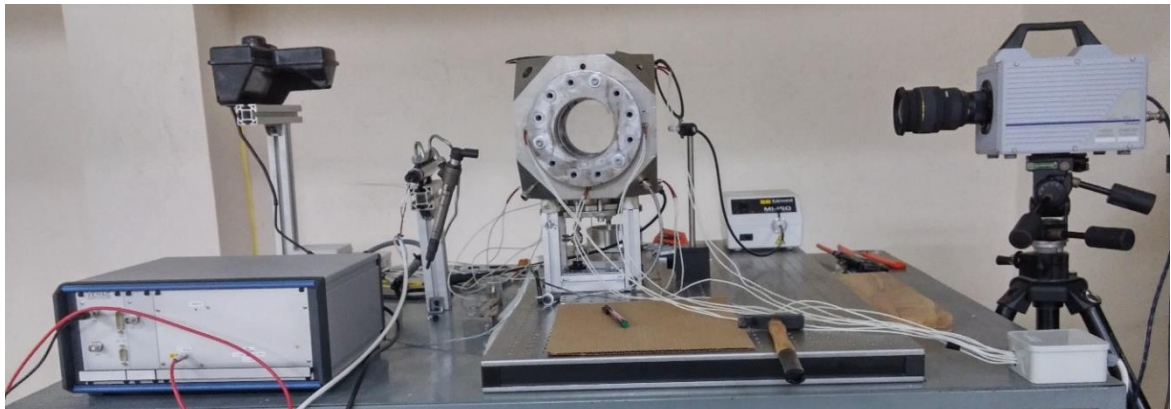
Şekil 3. Yanma odasının kesit görünümü

### 3.3. Deney Düzeneği

Deney düzeneği 7 alt sistemden oluşmaktadır bunlar:

- Sabit hacimli yanma odası,
- Yakıt basınçlandırma ve enjeksiyon sistemi,
- Gaz dolun sistemi,
- Ateşleme sistemi,
- Egzost sistemi,
- Schlieren görüntüleme sistemi ve
- Kontrol sistemi.

Deney düzeneğinin genel görünüşü Şekil 4'teki gibidir. Malzeme özellikleri, bileşenler ve tasarım şartları bu bölümde ele alınmıştır.



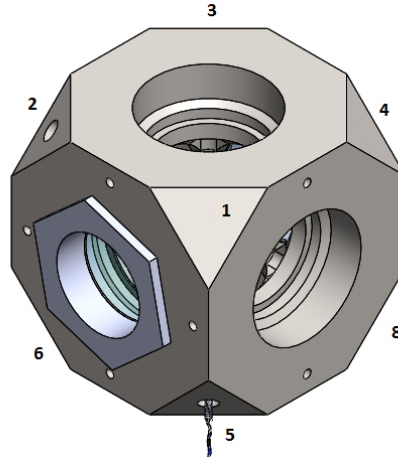
Şekil 4. Deney düzeneğinin tam görünümü



### 3.3.1. Sabit Hacimli Yanma Odası

Yanma odası, başlangıç basıncı 20 bar ve başlangıç sıcaklığı 450 Kelvin'e kadar olan yanma testleri için tasarlanmıştır. Yanma odası tek parça paslanmaz çelik (SS-304) döküm malzemeden işlenmiştir. Böylece kaynak ve yanlış montajdan dolayı ortaya çıkabilecek zayıflıklar önlenmiş olmaktadır. Küp şeklindeki yanma odasının her kenarı 250 mm uzunluğundadır ve toplam iç hacmi 2.05 litredir. Paslanmaz metalin başlıca kullanılma sebebi bu metalin kimyasal açıdan tepkimesizliği, yapısal sertliği ve dayanıklılığıdır.

Yanma odası köşelerinde 8 bağlantı yuvası (Şekil 5'te gösterildiği gibi) vardır. Bu bağlantı delikleri için NPT tipi diş açılmıştır; bu sayede, Swagelok bağlantı elemanları ve paslanmaz borularla yardımcı sistemelerin ana gövdeye bağlantısı sağlanmaktadır.



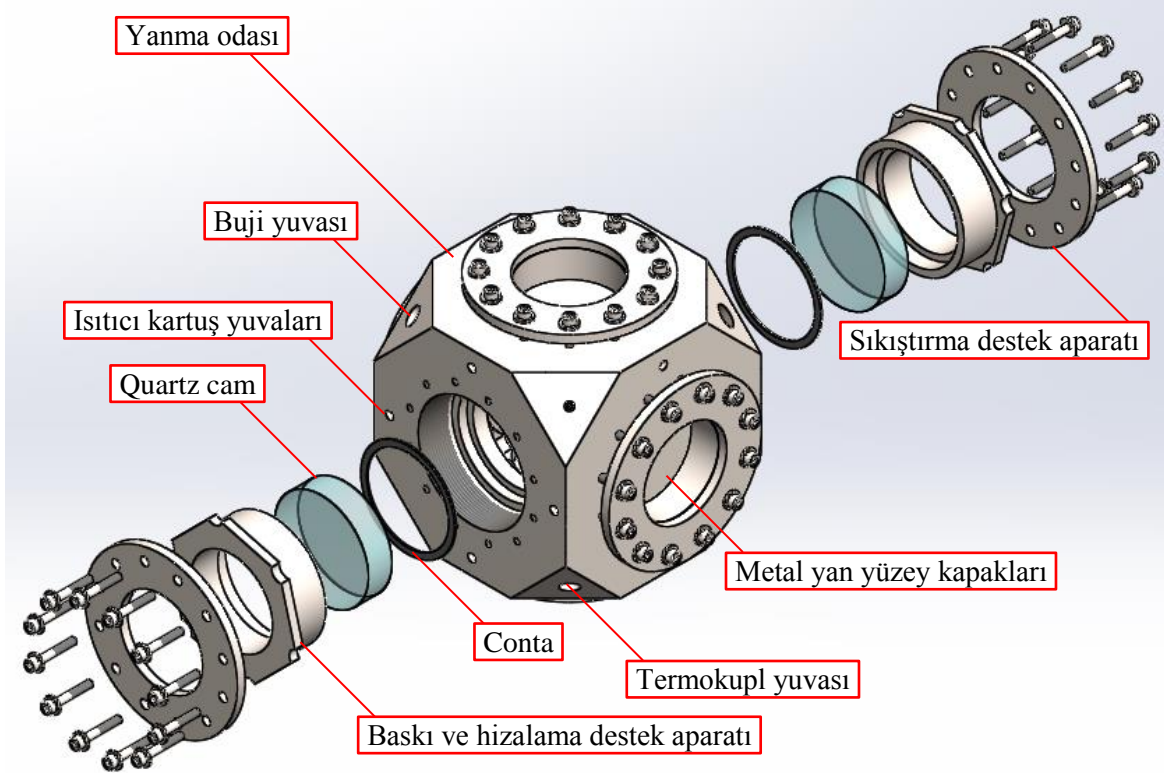
Şekil 5. Bağlantı yuvaları: (2-8) ateşleme bujileri, (5) temokupl, (6-7) basınç duyargaları, (1-4) yedek bağlantı yuvaları

İki adet 120 mm çapında ve 30 mm kalınlığında quartz camlar karşılıklı olarak ana gövdenin üzerine flanşlar yardımıyla monte edilmiştir. Camlar, görülebilir spektrumda yüksek ışık geçirgenliğine sahiptir. Quartz camın fiziksel özelliklerinden dolayı, yüksek sıcaklıklarda metal yüzeylere temas etmesi uygun değildir. Cam üzerinde olası bir çatlamayı önlemek için cam ile paslanmaz gövde arasına ve cam ile flanş arasına Viton dikdörtgen kesitli düz contalar yerleştirilmiştir. Flanşlar 200 mm çapında paslanmaz çelik malzemeden işlenmiştir. Bu parça camı gövdeye sabitlemektedir ve Cam ve gövde arasındaki contayı sıkıştırmaktadır. Cam tutucular için yapılan ilk tasarımda gövde üzerinde ve tutucular üzerinde paso vardı; fakat ilerleyen zamanlarda sızdırmazlıkla ilgili sorunlar ortaya çıktı. Bu sorunun tutucu kapakların yeterli basıncı uygulayamadığından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Açılan pasoların NPT tipi diş olması gerekirken tedarikçi firmanın teknik yetersizliğinden dolayı metrik diş olarak işlenmesi gerekmiştir. Bu yüzden, gövdenin ve tutucu kapakların tekrar işlenmesi gerekmiştir.



Şekil 6. Cam tutucu flanşların ilk tasarımı

Tutucu kapak ve gövde üzerindeki dişler tamamıyla silinerek, civatalar ve flanş yardımıyla kapaklar sabitlenmektedir. Daha önceki ilerleme raporunda da ele alındığı üzere, oda tasarımı flanşlı tipe çevrilmiş ve sızdırmazlık bu sayede sağlanmıştır. Tasarımın son ve uygulanmış hali Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterilmiştir.



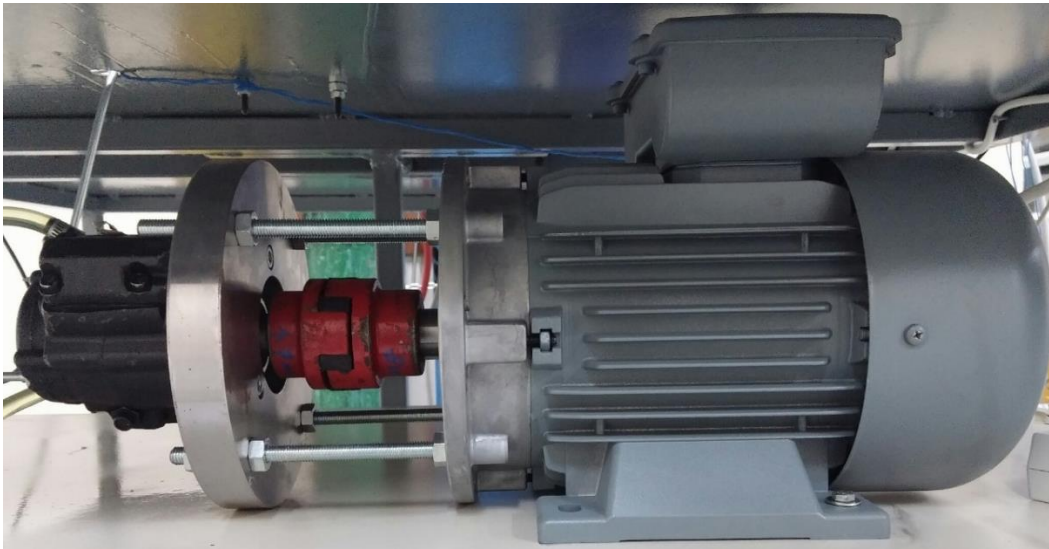
Şekil 7. Sabit hacimli yanma odası son hali



Şekil 8. Flanş ve tutucu kapak

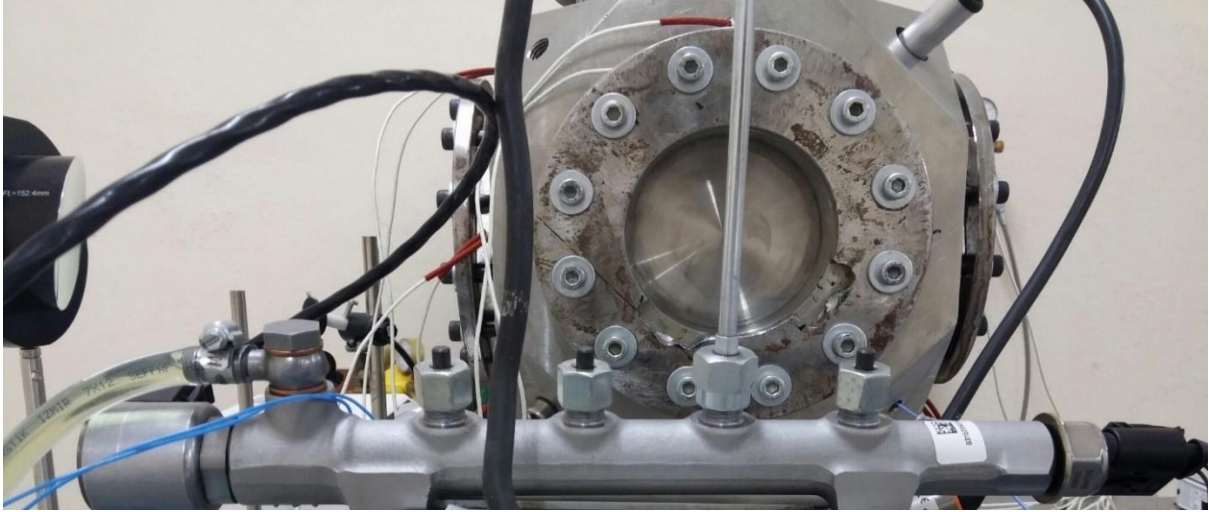
### 3.3.2 Yüksek Basınç Yakıt Sistemi

Yakıt pompası, 2.2 kW elektrik motorundan gücünü almaktadır. Yakıt 2200 barlık yüksek basınçlı dizel bağlantı borusu ile taşınmaktadır ve yüksek basınçlı bağlantı borusu üzerindeki dört bağlantı noktasından üçü iptal edilmiş, yakıt enjektörün bağlı olduğu bağlantı noktasına yönlendirilmiştir. Yakıt basıncı iki elektronik valf tarafından kontrol edilmektedir. Bunlar hacim kontrol valfi (HKV) ve basınç kontrol valfidir (BKV). HKV pompanın girişinde, BKV ise yüksek basınçlı dizel yakıt bağlantı borusu üzerinde bulunmaktadır. Valfler iki adet darbe genişlik modülasyonu (PWM), sinyal güçlendirici ve National Instrument veri aktarım cihazı tarafından sürülmektedir.



Şekil 9. Yakıt pompası ve elektrik motoru

Dizel yakıtı belirli bir basınç aralığında tutmak için BKV kullanılır. Bu bölümde HKV'den çok BKV'nin kontrolüne odaklanmamızın sebebi ise yanma testi sırasında sadece bir adet püskürtme yapılacak olmasıdır. Bu yüzden HKV'yi en düşük yakıt debisini sağlayacak değerde çalıştırarak ve BKV ile istenilen basınç ayarlanabilecektir. Yüksek basınçlı dizel yakıt bağlantı borusu üzerindeki basıncı ise basınç duyargasından okunan voltaj değeri ile hesaplanmaktadır.

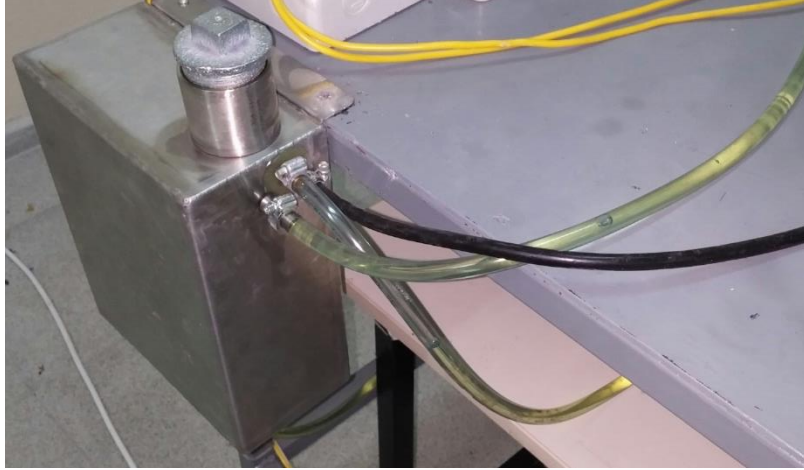


Şekil 10. Yüksek basınçlı dizel yakıt bağlantı borusu ile BKV ve basınç duyargası PWM sinyali Labview yazılımı tarafından NI USB X 6353 veri aktarım cihazı aracılığı ile yakıt pompası üzerindeki valflere aktarılmaktadır. Valflerin çalışma frekansları 400 Hz olarak belirlenmiştir. Her valf bir PWM sinyal yükseltici ve üretici cihaz tarafından çalıştırılmaktadır. PWM cihazları DELPHI firması tarafından sağlanmıştır. Bu cihazlar sayesinde sinyal en az bozulmaya maruz kalarak gerekli seviyelere yükseltilmektedir. Bu sürücüler Şekil 11'de gösterilmektedir.



Şekil 11. PWM sürücüler

Yüksek basınçlı dizel yakıt bağlantı borusuna yakıt pompalanması sırasında, yakıt sıcaklığının 140-150 °C'ye kadar çıktığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden yakıt tankı ve bağlantı boruları yenilenmek zorunda kalmıştır. İlk olarak eski plastik yakıt tankı paslanmaz çelik bir tank ile değiştirilmiş ve hacmi 5 litreye çıkarılmıştır. Böylece deney süresince test aralarında yakıtın soğuması daha hızlı sağlanabilmektedir. Sistemin uzun süreli olarak yakıt ve ısıya dayanabilmesi için geri dönüş ve düşük basınç borularının hepsi Teflon hortum ile değiştirilmiştir.



Şekil 12. Yakıt tankı ve düşük basınç hortumları

Yakıt pompalama sistemi aktifken titreşim ve gürültü rahatsız edici seviyelere çıkmıştır. Bu yüzden sesi azaltmak için titreşim takozları pompa sistemi ve taşıyıcı şase arasına yerleştirilmiştir.



Şekil 13. Titreşim takozları

Püskürtme ön-yanmadan belirli bir süre sonra, önceki deneylerle belirlenen bir gecikme süresinden sonra yapılır. Piezo enjektör sürücüsüne gönderilen bir titreşim sinyali ile enjektör tetiklenir ve püskürtme tamamlanır. İlk testlerde sürücüyü 1ms süresince DC 5V sinyal gönderilmiştir. Enjektör, 1-2 ms arasında püskürtme işlemi yapmaktadır.

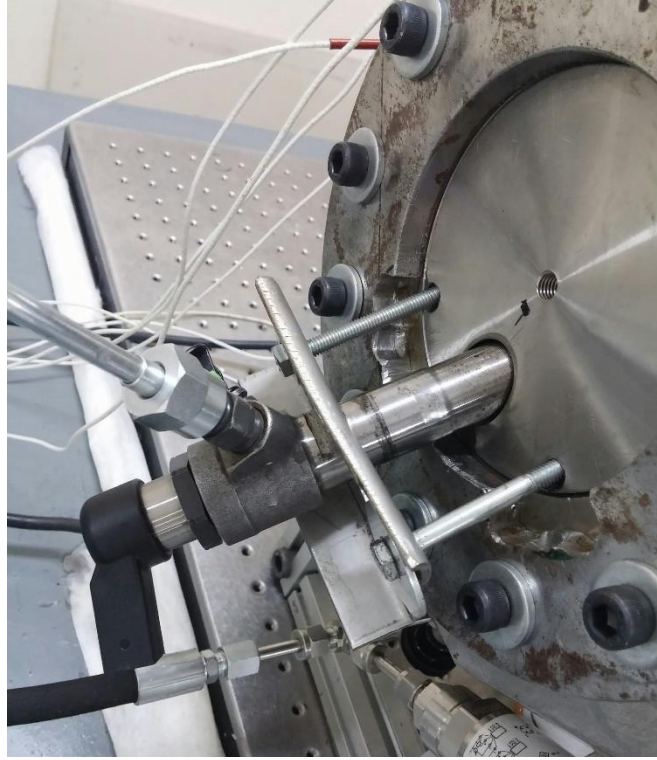


Şekil 14. Piezo enjektör sürücü

Enjektör ucunda 8 delik bulunmaktadır ama sadece bir spray formunun gözlenmesi gerektiği için bir delik belirlenmiş ve kalan yedisi lazer kaynak ile kapatılmıştır. Enjektörün bağlantı yönü optik donanımların, kameranın ve pencerelerin pozisyonları göz önüne alınarak belirlenmiştir.



Şekil 15. Piezo enjektör



Şekil 16. Enjektörün yanma odasına bağlantısı

### 3.3.3. Ateşleme Sistemi

Gövde içindeki ön yanma işlemi için oluşturulan gaz karışımını yakmak için iki ateşleme bujisi çapraz karşılıklı köşelere yerleştirilmiştir. İki adet buji kullanılmasının sebebi yanmanın tamamen karışımın her noktasında eşit olarak sağlanmasıdır. M12 x 1.25 iridium BOSCH ateşleme bujisi Magnet-Marelli ateşleme bobini tarafından tetiklenmektedir. Ateşleme zamanı ve süresi NI USB-X 6353 üzerinden Labview ile kontrol edilmektedir.



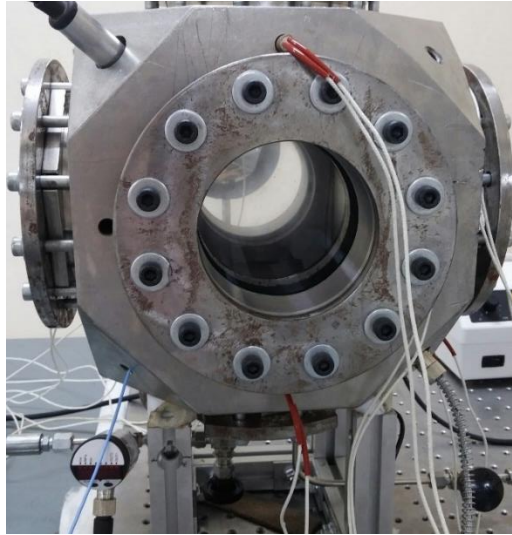
Şekil 17. Ateşleme bujisi

Normalde, ateşleme zamanlaması araçlarda "motor kontrol ünitesi" tarafından belirlenir. Güç transistörleri anahtar veya röle olarak kullanılarak yüksek akım çeken ateşleme bobininin birincil sargısı enerjilendirilir ve ateşleme gerçekleşir. Bizim yanma testimizde ise ön-yanma sürecinin hemen ardından gelen püskürtme işleminin gecikme süresi, ateşleme anına göre belirlenmektedir ve bu alt sistemlerin hepsi belirli bir sıralama ile tek kaynaktan

çalıştırılmaktadır. Diğer birçok alt sistemler gibi, ateşlemede de NI USB-X 6353 veri aktarım cihazı tarafından kontrol edilmektedir.

### 3.3.4. Isıtma Sistemi

Isıtma sisteminin amacı ana gövdeyi sabit bir sıcaklıkta tutmaktır. Bunun ana nedeni yanma odası içerisinde içten yanmalı motor koşullarının benzerini yaratmaktır ve deneyler sırasında yanma odasından çevreye doğru olan ısı transferini azaltmaktır. Bunun yanında iç yüzeylerde ve camlarda oluşabilecek ön yanma işlemi sonrası meydana gelecek olan suyun olası yoğuşmasını önlenme de ısıtma işlemi yapılmasının bir diğer nedenidir. Sistem 12 adet kartuş ısıtıcı rezistans, K-tipi termokupl ve oransal, integral, türevsel denetleyici (PID) sıcaklık kontrol cihazından oluşmaktadır. Her ısıtıcı silindirik rezistans 125 W gücünde, 9 mm çapındadır ve gövde üzerinde eşit aralıklarda açılmış deliklere takılmıştır.



Şekil 18. Isıtıcı rezistanslar (kırmızı-beyaz kablolu)

PID kontrol sistemi, aç-kapa sistemlere göre daha dengeli ve verimli bir kontrol sağlamaktadır. Deney sisteminde PID kontrol seçilmesinin ana nedenleri hedef sıcaklık değerini aşmadan ulaşmak, sıcaklığı istenilen değerde en az seviyede dalgalanma ve daha az elektrik tüketimi ile tutmaktır. PID katsayıları ağırlıklı olarak, ısıtıcıların gücüne, gövdenin başlangıç ve çevrenin sıcaklığına, gövdenin malzeme türüne ve kütlesine bağlıdır. Doğru katsayıları belirtilen koşullarda hesaplama yoluyla bulmak imkânsız derecede zor olabilir bu yüzden sıcaklık kontrol cihazının otomatik olarak PID algoritmasını belirleme özelliği kullanılmaktadır.

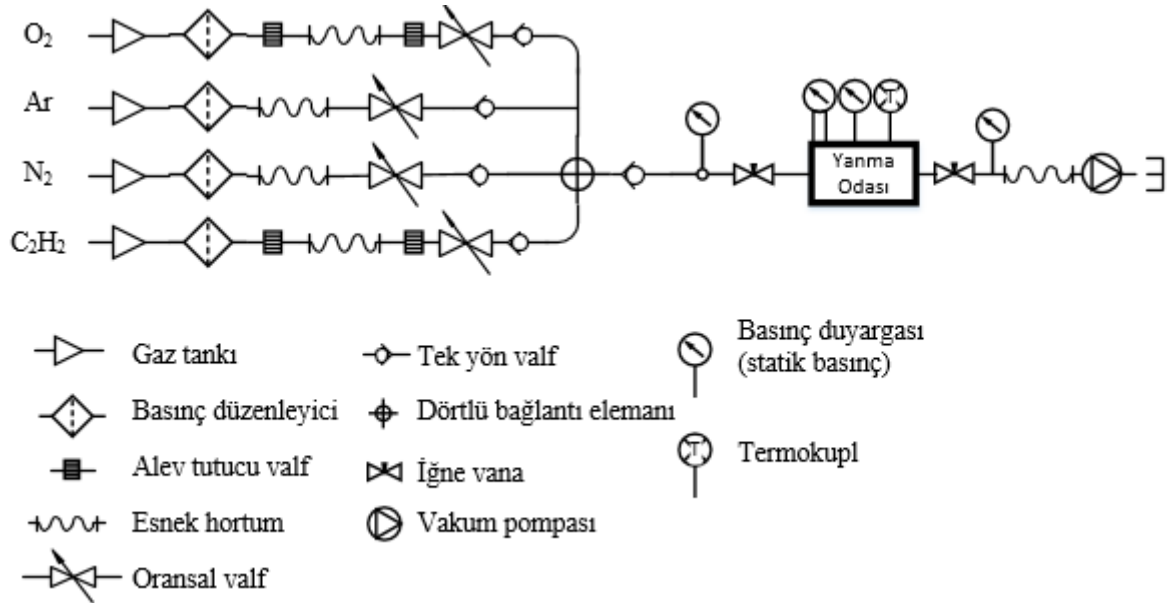




Şekil 19. Sıcaklık kontrol cihazı

### 3.3.5. Gaz Giriş-Çıkış Sistemi

Ön yanma işlemi için yanma odası içerisine gönderilmek üzere dört farklı gaz kullanılmaktadır. Bu gazlar; asetilen, argon, azot ve oksijen gazlarıdır. Bu gazların yanma odasına dolumunu sağlamak için bir gaz giriş sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan gaz sisteminin şematik bir gösterimi Şekil 20'de gösterilmiştir.



Şekil 20. Gaz giriş sistemi

Bu sistemde her bir gaz sanayi tipi basınçlı gaz tüplerinden sağlanmaktadır. Her bir tüpe basıncı ayarlamak için basınç düzenleyiciler bağlanmıştır. Asetilen ve oksijen gazları yanıcı ve tehlikeli gazlar olduğundan asetilen ve oksijen basınç düzenleyicilerinden sonra çift kademe alev tutucu emniyet valfi kullanılmıştır. Bu valfler alev geri tepme gibi bir durum söz

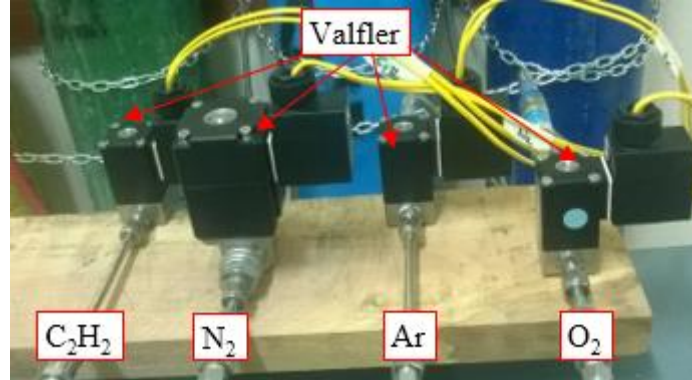
konusu olduğunda içerilerindeki sinterli bir yapı ile bu alevin sönmelerini ve bu gazların tüplerine ulaşmasını engelleyerek patlama önleyici olarak kullanılmaktadır. Bu gazlar basınç düzenleyicilerden sonra esnek hortumlar aracılığıyla oransal elektronik valflere gönderilirler. Her bir oransal valften sonra gazın yanma odasından geri dönmesini engellemek amaçlı tek yönlü valfler kullanılmıştır. Tek yönlü valflerden sonra dört koldan gelen gazlar bağlantı elemanları aracılığıyla yanma odasına giden tek bir kola bağlanmıştır. Bu bağlantıdan sonra sisteme tek yönlü ve yüksek basınca dayanıklı bir valf daha ön yanma işlemi sırasında oluşabilecek yüksek basınç ile gazın besleme hattına girişini önlemek amacıyla kullanılmıştır. Bu valften sonra yanma odasını doldurma işlemi sırasında oransal elektronik valflerin kontrolü için kullanılan piezodirençli bir statik basınç duyargası (Kistler 4075A50V200S, 50 bara kadar) monte edilmiştir. Bu duyargadan sonra tüm gazların dolun işlemi tamamlandıktan sonra ön yanma işlemi öncesinde odayı mühürlemek amaçlı iğne uçlu bir aç-kapa vana bağlanmıştır. Giriş sisteminde kullanılan gaz borularının hepsi Swagelok firmasının 6 mm dış çapında 1.5 mm et kalınlığında paslanmaz 316 çelik borularıdır.



Şekil 21. Asetilen ( $C_2H_2$ ), azot ( $N_2$ ), argon (Ar) ve oksijen ( $O_2$ ) gaz tüpleri

Gaz giriş sisteminde iki farklı tip oransal elektronik valf kullanılmıştır. Asetilen, argon ve oksijen gazları Bürket 2873 marka ve model en yüksek 16 bar basınç farklarında çalışabilen, azot gazı ise Bürkert 2875 marka ve model en yüksek 20 bar basınç farkında çalışabilen valfler aracılığıyla yanma odasına doldurulmuştur. Bu valfler, Bürkert 8605 marka ve model elektronik valf kontrolcülerini ile kontrol edilmektedir. Bu kontrolcüler oransal valflerin kapısını istenilen oranda açabilmek için kontrolcüye gönderilen kontrol sinyaline göre darbe genişlik modülasyonu oluşturarak valflerin kontrolüne yardımcı olur. Bu kontrolcülere, Labview programında hazırlanan oransal, integral, türevsel bir kontrolcü programı aracılığıyla

oluşturulan kontrol sinyalleri gönderilerek yanma odası içerisine istenilen miktarda gazın dolumu sağlanır.

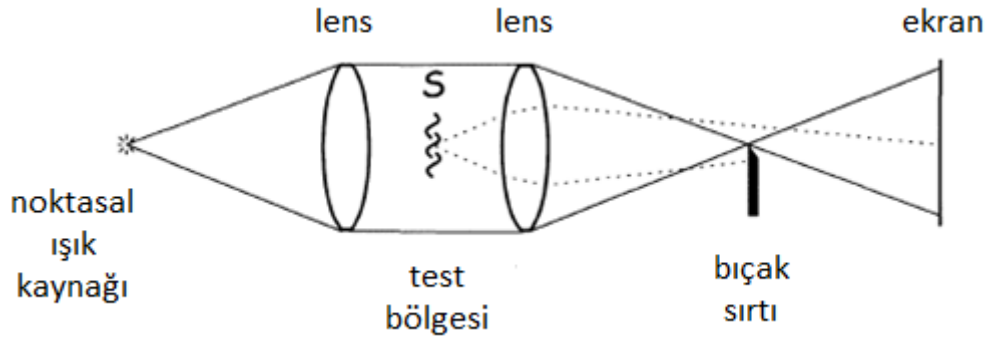


Şekil 22. Oransal elektronik valfler

Yanma odasının çıkışına yüksek basınca dayanıklı iğne uçlu bir vana monte edilmiştir. Ön yanma işlemi ve deney sonrası yanma odası içerisindeki gazı dışarı çıkarmak için bu vana açılır ve bir adet 0.75 kW güce sahip yağlı bir vakum pompası kullanılarak atık gazlar yanma odası dışarısına çekilir. Vakum pompası öncesinde bir adet piezodirençli statik basınç ölçer (ifm P2024, -1 – 10 bar arası) vakum basıncını ölçmek için kullanılmaktadır.

### 3.3.6. Schlieren Optik Sistemi

Schlieren tekniği, gözlem altındaki ortamda değişen ışık yoğunluğunun gözlenmesine dayanan optik bir görüntüleme tekniğidir. Bu araştırmada kullanılan Schlieren deney düzeneği tipi Şekil 23'te gösterilmiştir. Işık kaynağından oluşan görüntü ikinci lensin odak noktasında bulunan bıçak sırtı düzleminde oluşur. Bıçak sırtı bu görüntünün yarısı kadarının ekrana geçmesine izin verir. Böylece ekranda oluşan görüntünün parlaklığı yarısına kadar azaltılarak konsantrasyonu artırılmış olur.



Şekil 23. Noktasal ışık kaynaklı Schlieren deney düzeneği

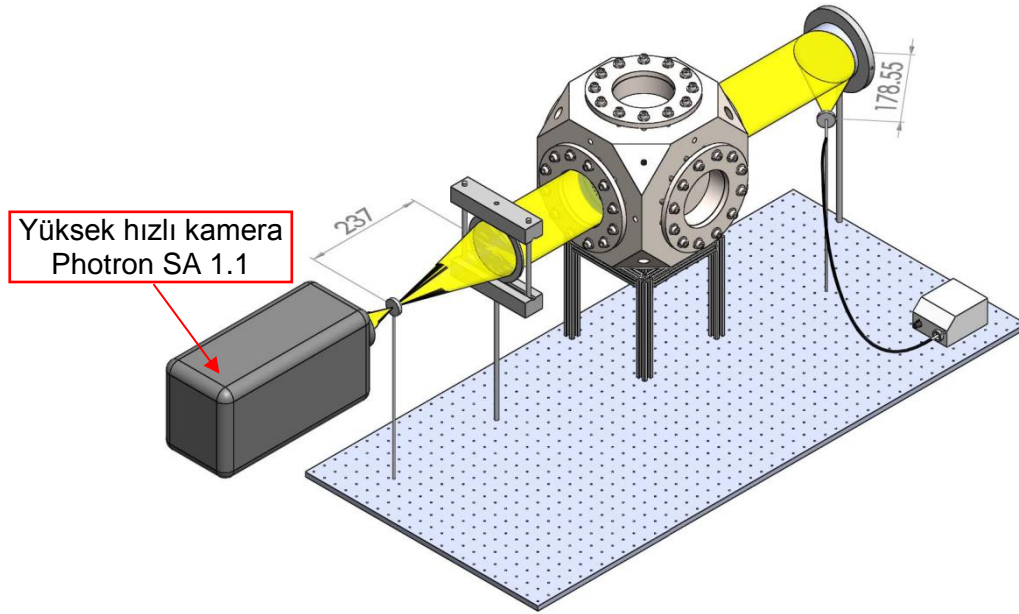
Deney düzeneğinde kullanılan optik araç-gereçler Tablo 1'de gösterilmiştir. Optik deney düzeneğinin oluşturulmasında karşılaşılan en büyük sorunların başında optik araç ve gereçlerin tabla üzerinde yanma odası içerisini görebilmek için hizalanması olmuştur. Optik

tabla kullanılmasına rağmen eksen dışı parabolik aynanın ve küresel lensin odak noktalarının optik tabladaki hizalama deliklerine yerleştirilen diyaframlar üzerine tam olarak düşmemesi yüzünden bu sorunla karşılaşmıştır. Hizalamayı gerçekleştirmek için sistem manyetik tutucularla desteklenmiştir.

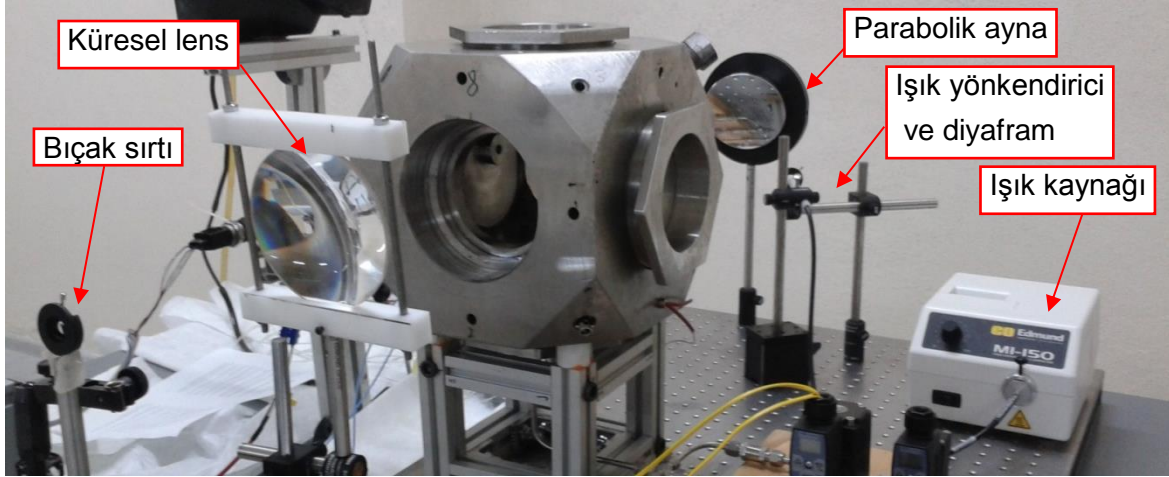
Tablo 1. Optik araç-gereçler

No	Tip	Model
1	Işık kaynağı	Edmund Optics MI-150 fiber optik ışık, 150 W quartz halojen
2	Işık yönlendirici	1/8" x 24" esnek optik fiber ışık yönlendirici
3	Diyafram	30.8 mm diyafram, açıklık: 0.8 – 12 mm
4	Eksen dışı ayna	101.6 x 152.4 mm PFL 45° eksen dışı parabolik ayna
5	Ayna tablası	101.6mm çapında parabolik ayna tablası
6	Küresel lens	Ø125 mm x 250 mm odak uzaklığı
7	Optik tabla	600 x 1200 mm metrik optik tabla

Optik sistemin tasarımı ve deney düzeneği üzerinde uygulaması Şekil 24 ve Şekil 25'te gösterilmiştir. Küresel lensin ve eksen dışı paralel aynanın odak noktaları, düzlemlerinden 237 ve 178.55 mm uzaklıkta bulunmaktadır.

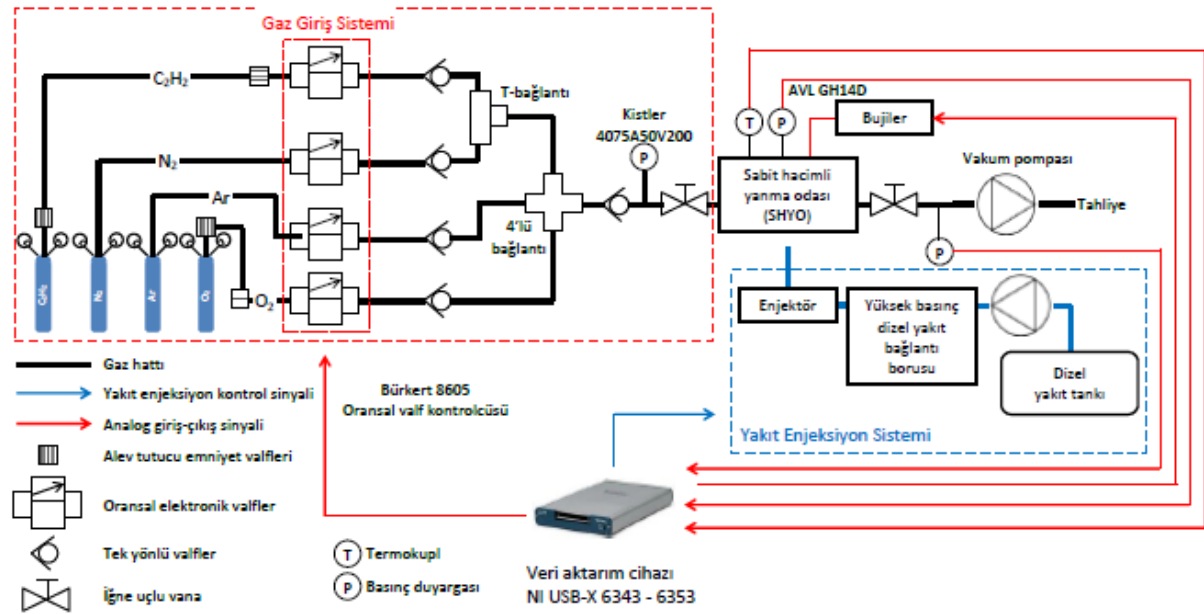


Şekil 24. Schlieren deney düzeneği tasarımı



Şekil 25. Schlieren optik deney düzeneği uygulaması

Optik deney düzeneği hariç tüm deney düzeneğinin şematik bir görünümü Şekil 26'da verilmiştir.

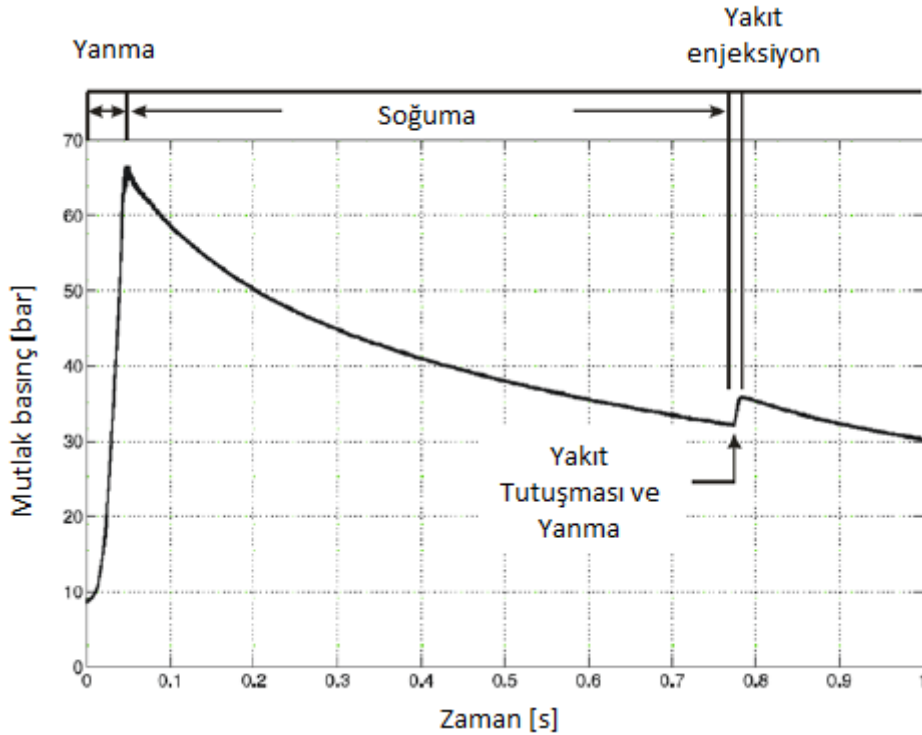


Şekil 26. Tüm deney düzeneğinin şematik gösterimi

### 3.4. Ön Yanma İşlemi

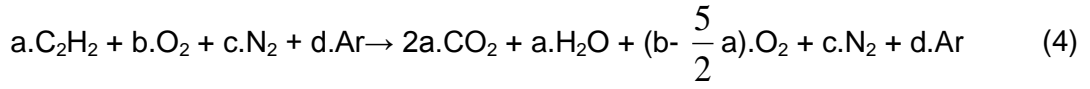
Dizel yakıtın yanması için gerekli olan yüksek sıcaklık ve basıncı ortami hazırlayabilmek için sabit hacimli bir yanma odası içerisinde belli bir gaz karışımının yanma reaksiyonu sonucu ortamda yakıtın yanması için yeterli miktarda oksijen oluşturan yanma işlemi ön yanma işlemi olarak adlandırılır. Sabit hacimli yanma odası içerisindeki gaz karışımını piston-silindir düzeneğinin yaptığı gibi sıkıştırma imkanı olmadığından bu yöntem ile yanma odası içerisinde yakıtın yanması için gerekli olan yüksek sıcaklık ve basınç ortamı sağlanmış olur. Yakıtın normalde motorlarda olduğu gibi hava ile yanması benzetimi için ön yanma işlemi

sonucunda oluşan ürünlerin arasında yakıtın yanması için gerekli olan oksijen oluşmalıdır. Ön yanma işlemi prensibi Şekil 27'deki basınç-zaman grafiğinde ele alınmıştır. Bu işlemde yanma odası içerisinde oluşturulan karışım önce yakılır ve oda içerisindeki basınç ve sıcaklık çok hızlı bir şekilde yükselir. Bu basınç ve sıcaklık genelde dizel yakıtın yanması için motor koşullarında gerçekleşenden daha yüksek olduğundan, istenilen basınç ve sıcaklık değerine gelinene kadar ortamın soğuması beklenir. İstenilen basınç ve sıcaklık yanma odası içerisine yakıt püskürtülür ve yanma işlemi gerçekleşir. Ön yanma işleminde en zor kısım ön yanma için gerekli gaz karışımını oluşturmak ve yakıtın ne zaman püskürtüleceğine karar vermektir. Şekil 27'deki grafikten de görüleceği üzere tüm işlemler yanma koşullarına göre değişse de ortalama 1 saniyenin altında gerçekleşmektedir ve yakıtın yanma işlemi sonrasındaki soğuma esansında ne zaman püskürtüleceği yakıtın yanması açısından çok büyük önem teşkil etmektedir.



Şekil 27. Ön yanma işlemi prensibi

Bu projede, ön yanma işlemi ile gerekli ortamın oluşturulması için asetilen ( $C_2H_2$ ), argon (Ar), azot ( $N_2$ ) ve oksijen ( $O_2$ ) gazları karışımı kullanılmıştır. Argon ve azot gazlarının kullanımı ile ön yanma işlemi sonucunda oluşan ürün içerisindeki gaz karışımının havanın kimyasal bileşimine benzetimi amaçlanmıştır. Yüksek sıcaklık ve basınç asetilenin oksijen ile yanması sonucu oluşur. Bu gazlar yanma odası içerisine asetilen, argon, azot ve oksijen sırasında gönderilir. Oksijenin en son gönderilmesinin sebebi gaz dolumu esnasında diğer gazların tüm gazlar dolmadan yanmasını önlemektir. Belirtilen gazlarla ön yanma işlemi ile istenilen yanma ortamının oluşturulması için karışım aşağıda belirtilen yanma reaksiyonuna girmelidir.



Bu kimyasal denklemde, a, b, c ve d katsayıları mol sayılarını (veya hacimsel yüzdeleri) belirtmektedir. Yanmanın stokiometrik koşullarda gerçekleştirilmesi isteniyorsa, bu tepkimeye göre ön yanma sonucunda oluşan O<sub>2</sub>'nin toplam ürünler içerisinde %21'lik bir hacimsel değere sahip olması gerekmektedir. Yakıtın yanma öncesinde istenilen ortamın kimyasal bileşimi bu katsayıların ayarlanması ile mümkündür. Bu çalışmada bu katsayıların ayarlanmasında ilk olarak yanma odası içerisindeki gaz karışımının yoğunluğu tanımlanarak işlemlere devam edilmiştir. Gaz karışımının yoğunluk hesabı, Denk. 5'te gösterildiği gibi yapılmıştır.

$$\rho = \frac{f \sum_i N_i MW_i}{V_{chamber}} \quad 5$$

Bu denklemde,  $\rho$ ,  $f$ ,  $i$ ,  $N_i$ ,  $MW_i$ ,  $V_{chamber}$  terimleri sırasıyla; gaz karışımının yoğunluğunu (kg/m<sup>3</sup>), ölçekleme katsayısını, gaz türünü, mol sayısını (kmol), moleküler ağırlığı (kg/kmol) ve yanma odasının hacmini temsil eder. Ölçekleme katsayısı, kimyasal tepkimeye giren bileşenlerin toplam mol sayısı 100 olacak şekilde hesaplanan bir bileşim ile istenilen yoğunluğa göre gerekli olan toplam mol sayısı arasındaki orandır. İstenilen bir gaz karışımı yoğunluğu için ölçekleme katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$f = \frac{\rho V_{chamber}}{\sum_i N_i MW_i} \quad 6$$

Denk. 6'da bulunan bu değer ile tanımlanan yoğunluğu yanma odası içerisinde oluşturabilmek için her bir gaz için gerekli olan mol sayısı hesaplanabilir.

$$N_{i,real} = f N_i \quad 7$$

Her bir gaz için mol oranları takip eden denkleme göre hesaplanmıştır.

$$x_{i,real} = \frac{N_{i,real}}{N_{tot}} \quad 8$$

Bu denklemde,  $x_{i,real}$  her bir gazın molar oranını,  $N_{tot}$  ise gaz karışımının toplam mol sayısını ifade etmektedir.

İstenilen miktarda gaz hesaplandıktan sonra bu gazlar, yanma odasına oransal elektronik valfler ve statik basınç duyargası yardımıyla gönderileceği için her bir gazın yanma odası içerisinde oluşturacağı kısmi basınç değerlerini hesaplamak gerekmektedir. Her bir gaz için kısmi basınç Denk. 9'da gösterildiği gibi hesaplanır.

$$P_i = \frac{N_i RT}{V_{chamber}} \quad 9$$

Burada  $P_i$ ,  $N_i$ ,  $R$ , ve  $T$  terimleri sırasıyla kısmi basıncı, mol sayısını, gaz sabitini ve ortam koşullarındaki sıcaklığı temsil eder. Basınç duyargası oransal elektronik valflerin kontrolünde geri besleme sağlayacağından her bir gaz yanma odasına aşağıda hesaplanan basınç ayar noktasına ulaşana kadar gönderilir.

$$(P_{C_2H_2})_{ayar} = \frac{N_{C_2H_2} RT}{V_{chamber}} \quad 10$$

$$(P_{Ar})_{ayar} = (P_{C_2H_2})_{ayar} + \frac{N_{Ar} RT}{V_{chamber}} \quad 11$$

$$(P_{N_2})_{ayar} = (P_{Ar})_{ayar} + \frac{N_{N_2} RT}{V_{chamber}} \quad 12$$

$$(P_{O_2})_{ayar} = (P_{N_2})_{ayar} + \frac{N_{O_2} RT}{V_{chamber}} \quad 13$$

Bu çalışmada 5 kg/m<sup>3</sup> ve 10 kg/m<sup>3</sup> gaz karışım yoğunluğuna sahip koşullarda ön yanma işlemi gerçekleştirilmiştir.

### 3.5. Oransal Elektronik Valf Kontrolü

Deney düzeneği anlatımında belirtildiği üzere yanma odasına gaz girişi oransal elektronik valfler ile yapılmaktadır. Bu valflerin doğru bir şekilde kontrolü tüm deney için çok önemlidir. Bu valflerin kontrolünün hatalı olması durumunda yanma odası içerisinde istenilen yanma ortamı oluşturulamamaktadır ve bu da yanlış sonuçlara sebep olabilir. Literatürde yanma odasına gaz dolun işlemlerinin iki farklı şekilde gerçekleştiği belirtilmiştir (Baert vd., 2009; Elegeert ve Verhelst, 2014; Galle vd., 2013). Bunlardan biri kütle ölçer bir cihaz ile yanma odası dışarısında istenilen gaz miktarı bu cihaz ile beslemeden çekilerek yanma odasına gönderilir. Bir diğer yöntem ise gazların yanma odasına oransal elektronik valfler aracılığıyla sırayla statik basınç duyargasından gelen geri besleme verisi ile gönderilmesi işlemidir. İlk belirtilen yöntem daha hassastır fakat bu cihazların maliyeti çok yüksektir. İkinci yöntem ise görece daha ucuz fakat doğruluğu ilk yöntemle göre daha azdır. Bu projede, yanma odasına gazların gönderilmesinde daha az maliyetli olduğu için ikinci yöntem kullanılmıştır.

Oransal valflerin kontrolü için oransal, integral, türevsel kontrol (PID) yöntemi kullanılmıştır. PID yöntemi geri besleme kontrol mekanizmasına dayanan birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılan kontrol yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde “ayar değeri” (AD) ile “ölçüm değeri”



(ÖD) olmak üzere iki ana değişken vardır ve bu değişkenler arasındaki farka göre PID kontrolcü sistemi kontrol eder. AD kontrolcünün ulaşması istenilen fiziksel büyüklüğü, ÖD ise işlem sırasında kontrol edilen fiziksel büyüklüğün değerini belirtir. PID kontrolcü ilk olarak bu iki değer arasındaki farkı hesaplar. Bu değer hata,  $e$ , olarak adlandırılır.

$$e = AD - \ddot{O}D \quad 14$$

Bu değerlerin hesaplanmasının ardından kontrolcü, kontrol sinyalini,  $u(t)$ , aşağıda belirtilen denkleme göre oluşturur.

$$u(t) = K_c \left( e + \frac{1}{T_i} \int_0^t edt + T_d \frac{de}{dt} \right) \quad 15$$

Bu denklemde  $K_c$ ,  $T_i$ ,  $T_d$ , ve  $t$  terimleri sırasıyla kontrol kazancı, integral zamanı, türevsel zamanı ve zamanı temsil eder.  $K_c$  katsayısı birimsiz olup  $T_i$  ve  $T_d$  katsayılarının bu çalışmada kullanılan birimleri dakikadır. Denk. 15'e göre aşağıda belirtilen denklemler sırasıyla oransal,  $u_P(t)$ , integral,  $u_I(t)$ , ve türevsel,  $u_D(t)$ , kontrol işlemlerini gösterir.

$$u_P(t) = K_c e \quad 16$$

$$u_I(t) = \frac{K_c}{T_i} \int_0^t edt \quad 17$$

$$u_D(t) = K_c T_d \frac{de}{dt} \quad 18$$

PID kontrol programında kazanç, integral zamanı ve türevsel zaman katsayılarını belirlemek çok önemli bir işlemdir. Bu katsayıların belirlenmesi için çeşitli yöntemler literatürde mevcuttur. Bu katsayıların belirlenmesi için sistem tanımlama yönteminden yararlanan Matlab programının PID Ayar eklentisinden yararlanılmıştır. Bu programa her bir gaz valfine gönderilen basamak fonksiyonu cevabına sistemin vermiş olduğu tepki (yanma odası içerisindeki basınç değişimi) değerleri girilmiştir. Bu değerlere göre sistemin tanımlaması yapıp her bir gaz valfinin PID ile kontrolü için  $K_c$ ,  $T_i$  ve  $T_d$  katsayıları ayrı ayrı bulunmuştur. Tablo 2'de bu değerler gösterilmiştir.

Tablo 2. 5 kg/m<sup>3</sup> gaz karışım yoğunluğu için bulunan PID katsayıları

	<b>C<sub>2</sub>H<sub>2</sub></b>	<b>Ar</b>	<b>N<sub>2</sub></b>	<b>O<sub>2</sub></b>
<b>Kc</b>	0.20645000	1.10620000	0.22008	2.1656
<b>Ti [min]</b>	0.5998700	0.5544930	0.36993	0.18496

Td [min]	0.0001558	0.0000285	0.000020773	0.0000103860
----------	-----------	-----------	-------------	--------------

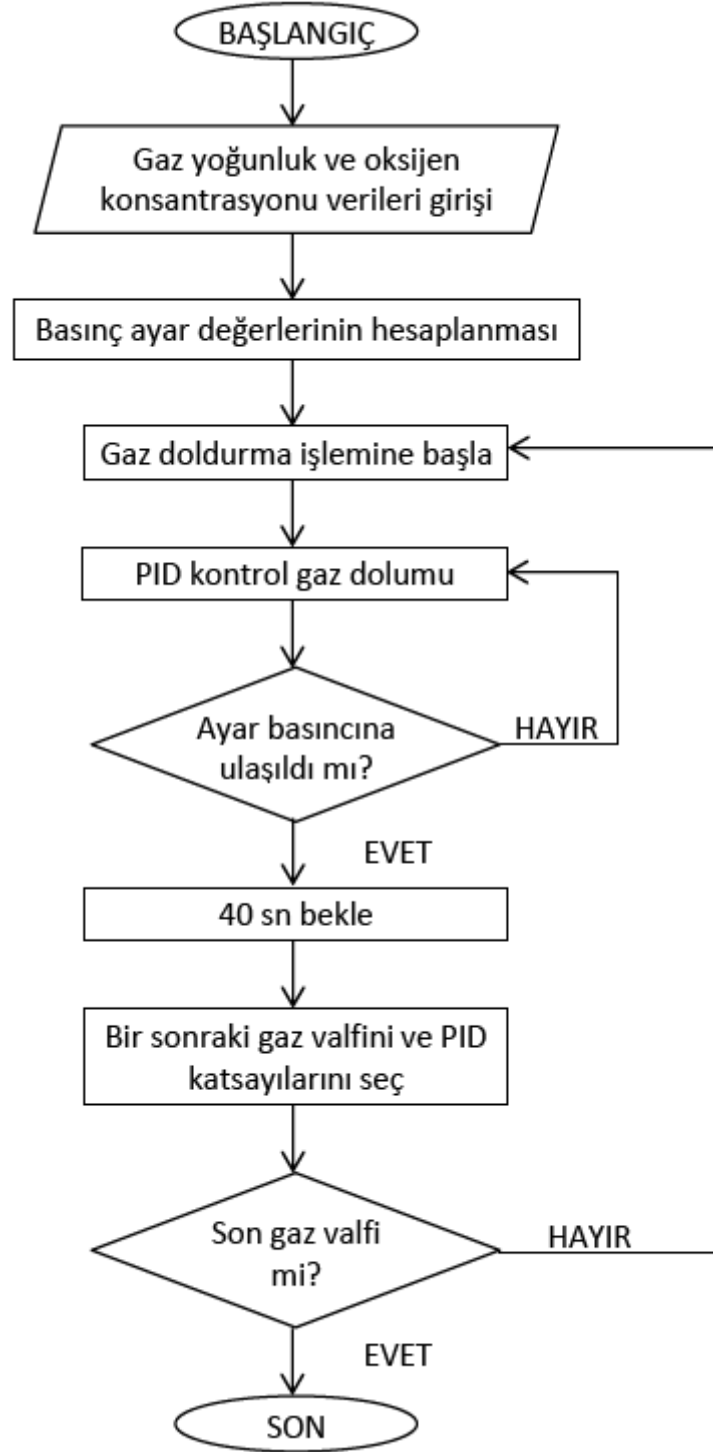
### 3.6. DeneY Programları

Veri aktarımı, eşleme ve deney düzeneğinde kullanılan donanımın kontrolü grafik programlama tabanlı Labview programında yazılan programlarla sağlanmıştır. Deneylerin yürütülmesi için iki ana program oluşturulmuştur. Bunlar:

1. Gaz doldurma programı
2. Ön yanma ve püskürtme program

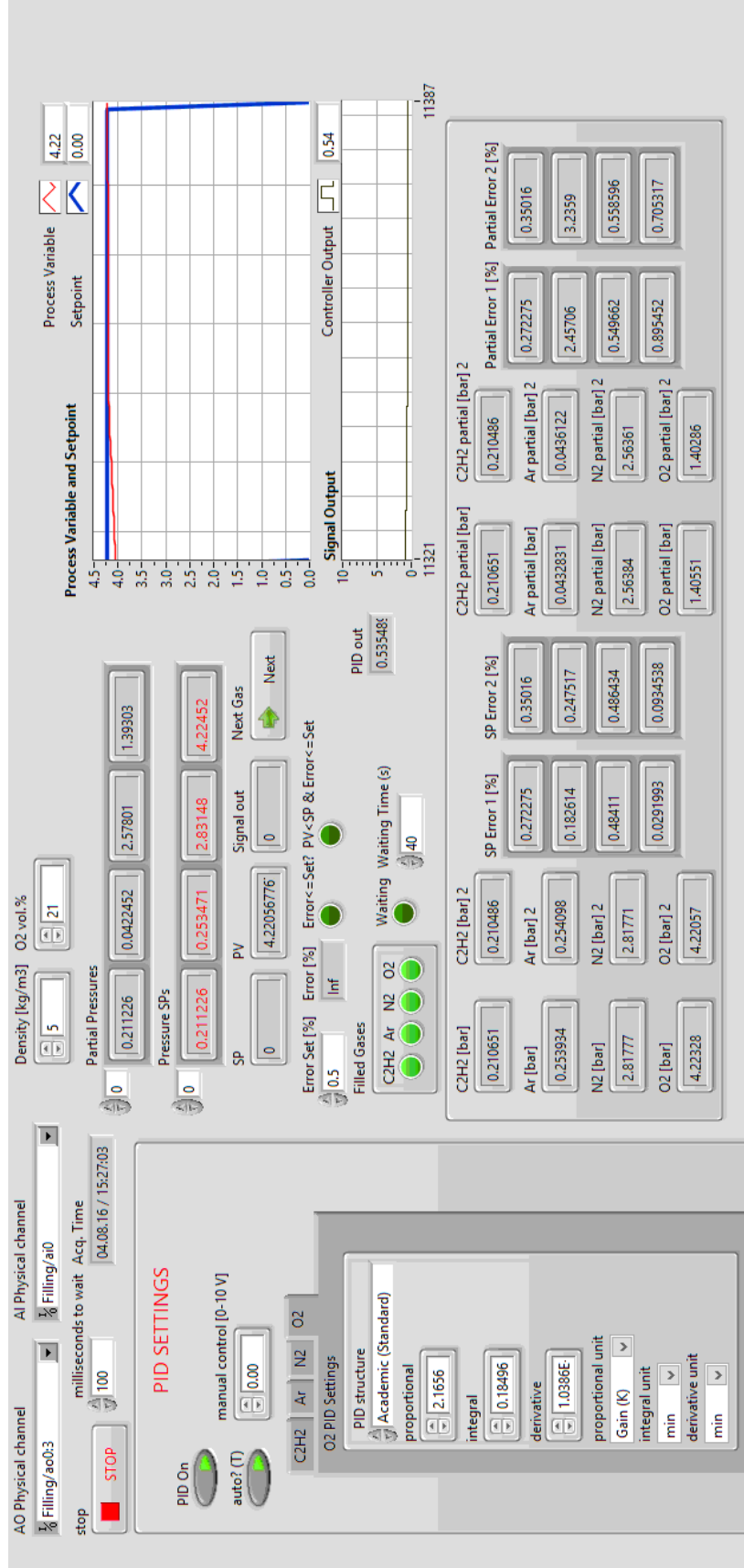
#### 3.6.1. Gaz Doldurma Programı

Gaz doldurma programı, yanma odası içerisine gönderilen gazların miktarını ayarlayarak odanın dolumundan sorumlu olan deney programıdır. Bu program, sırasıyla asetilen, argon, azot ve oksijen gazlarını oransal valfleri PID ile kontrol ederek yanma odasına gönderir. Program çalıştırılmadan önce yanma odasının içerisindeki hava vakum yapılarak odanın içerisindeki mutlak basınç 0.05 barın altına indirilir. Program çalıştırdıktan sonra ilk olarak yanma odası içerisinde istenilen yoğunluk ve ön yanma sonucu oluşacak oksijen konsantrasyonu girdilerine göre her bir gaz için basınç ayar noktasını hesaplar. Bu işlemden sonra ilk olarak asetilen gazı gönderimi için asetilen oransal valfi kontrolü başlar. Bu esnada diğer üç valf kapalı konumda beklemektedir. Yanma odası gaz dolum hattı üzerindeki basınç duyargasından alınan yanma odası basıncı verisi ile program içerisinde hazırlanan PID kontrolcüsüne geri besleme yapılarak bu valfin kontrolü için gerekli analog voltaj sinyalini üretip valfe gönderilir. Bu program NI USB-X 6343 veri aktarım cihazı ile analog veri okuyup üretmiştir. Asetilen gazının oda içerisindeki basıncı ayar basıncına geldiğinde, asetilen gazı oransal valfi kapatılır ve program gazın yanma odası içerisinde dağılımı için 40 s kadar bekler. Bekleme süresi geçtikten sonra bir sonraki gaz olan argon gazının dolum işlemi başlar. Asetilen gazında olduğu gibi bu ve diğer gazların dolumunda da aynı işlemler devam eder ve oksijen gazı dolumu bittikten sonra program sonlanır. Program çalışma esnasında tüm verileri bir dosyaya kaydetmektedir. Şekil 28'de bu deney programının akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 28. Gaz doldurma programı akış diyagramı

Program bitiminde her bir gaz için ayar değerinden sapması yüzde olarak hesaplanmıştır. Bu hataların %1'in altında olması garanti altına alınmıştır. Programın kullanıcı arayüzü Şekil 29'da verilmiştir.



Şekil 29. Gaz doldurma programı kullanıcı arayüzü

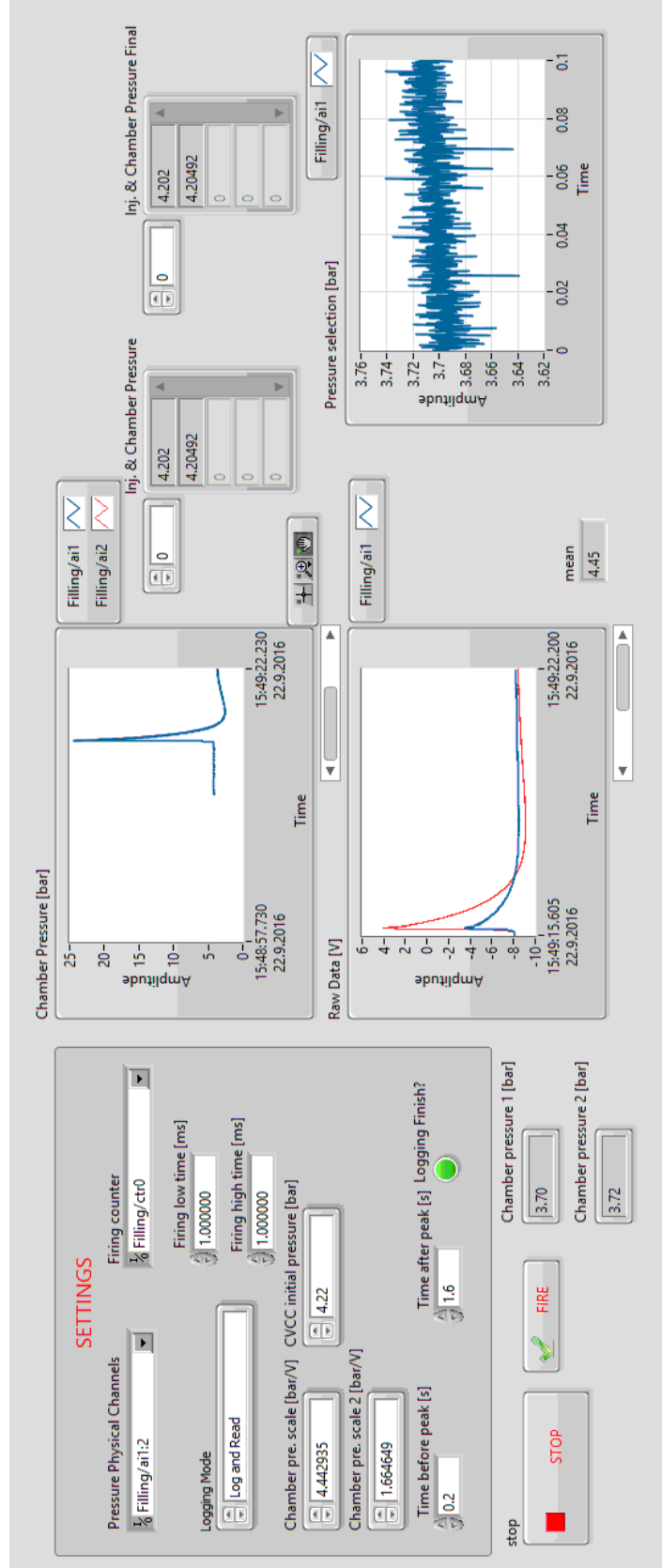
### 3.6.2. Ön Yanma ve Püskürtme Programı

Ön yanma ve püskürtme programı, gaz doldurma programı yanma odasını doldurduktan sonra çalışmaya başlar. Bu program, yanma odası üzerinde bulunan iki adet ateşleme bujisini, yakıt pompası üzerinde bulunan valfleri ve bunların PWM sürücülerini kontrol etmek ve ön yanma esnasında yanma odası içerisindeki basıncı ölçmekle görevlidir. Bu program NI USB-X 6353 veri aktarım cihazını kullanır.

Programın çalışmasından sonra yakıt pompası ve yüksek basınçlı dizel bağlantı borusu üzerindeki valflerin sürülmesi için bu valflerin PWM sürücülerine püskürtme öncesinde yakıtın basınç miktarı ayarı için darbe genişlik kiplenim sinyalleri gönderilerek gerekli ayarlar yapılır. Aynı esnada ateşlemenin kullanıcı arayüzünden tetikleme sinyali komutuna hazırlıklı olarak bekleme işlemi yapılır. Yakıtın istenilen basınca gelmesinin ardından kullanıcı arayüzünden ateşleme tetiklemesi yapılır. Tetikleme işlemi bujilerin ateşleme süresine bağlı olarak veri cihazından ateşleme bobininin anahtarına ateşleme sinyalini gönderir. Ateşleme tetiklemesinin yapılması ile belirtilen gecikme süresi kadar bekleme yaptıktan sonra program veri cihazına enjektörün püskürtme tetikleme sinyalini gönderme komutunu gönderir. Püskürtme tetikleme sinyali enjektöre sürücüsünü tetikler ve yanma odası içerisine yakıtın püskürtülmesi sağlanır.

Bu programdaki kritik nokta, püskürtmenin ateşlemeden bir süre sonra, gecikmeli olarak başlatılmasıdır. Bu gecikme süresi çok kısa bir süre olduğundan, cihazın sinyalleri eş zamanlaması ve istenilen gecikmede göndermesi zorlaşmaktadır. NI USB-X veri cihazları gerçek zamanlı veri aktarım cihazları (kendi işletim sistemi üzerine gömülü olan veri aktarım cihazları) olmadığından ve Labview programının cihaz ile haberleşmesinin işletim sistemi üzerinden gerçekleşmesinden dolayı bu gecikme 1 ms değerinin altında ise bu gecikme tutarlı olarak sağlanamamaktadır. 1 ms değerinin üzerindeki gecikmeler ise cihaz ile sorunsuzca gerçekleştirilebilmektedir.

Programın kullanıcı arayüzü Şekil 30'da verilmiştir.

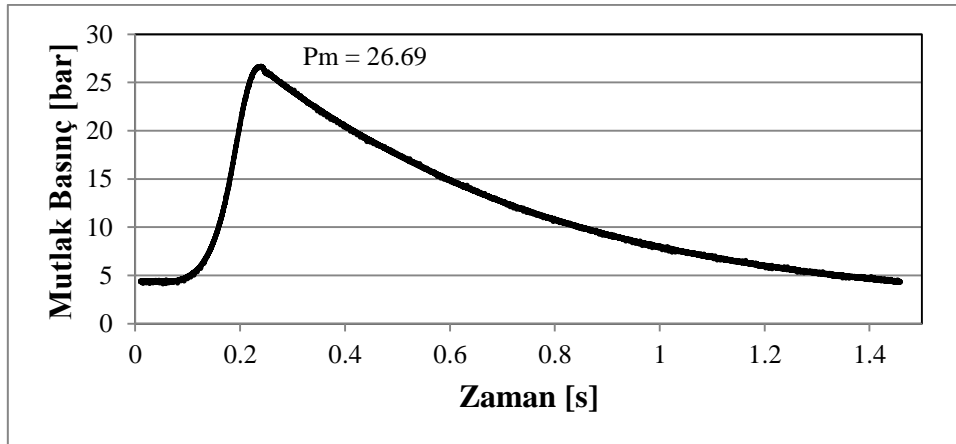


Şekil 30. Ön yanma ve püskürtme programı kullanıcı arayüzü

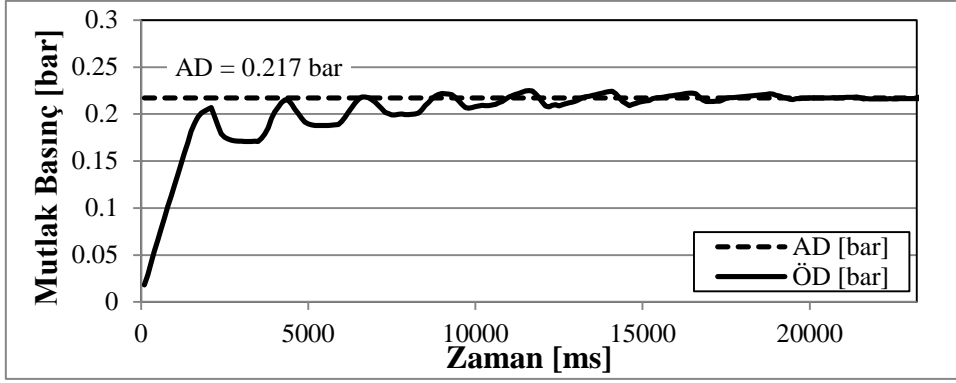
## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1 Ön Yanma İşlemi

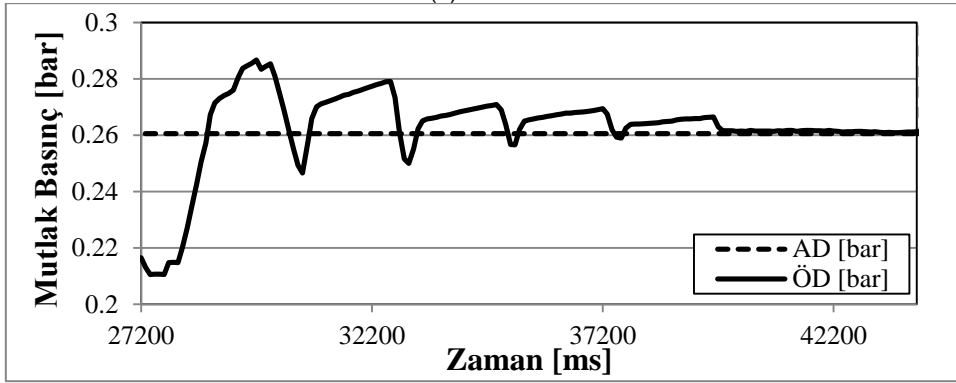
Sabit hacimli yanma odası üzerinde yapılan değişikliklerden sonra, sistemi deneme amaçlı gaz doldurma deney programı üzerine çalışılmıştır. Yanma odasına ilk gaz doldurma işlemi içerideki gaz karışımının yoğunluğu  $5 \text{ kg/m}^3$ , giren asetilen konsantrasyonu %3 ve ürün oksijen konsantrasyonu %0 (asetilenin stokiyometrik koşullarda yanması) olacak şekilde gerçekleştirildi. Asetilen hacimsel konsantrasyonunun %3 seçilmesinin sebebi asetilenin en düşük tutuşma değerinin hacimsel olarak %2 ile %2.5 arasında olmasıdır. Yüksek miktarda asetilenin yanması daha yüksek basınç üreteceğinden asetilenin hacimsel tutuşma alt değerinin çok az üzerinde asetilen ile yanma işlemi denenmiştir. İlk denemede yanma odasındaki gaz karışımı tutuşturulamamıştır. Bunun sebebi olarak da yanma odasına gönderilen %3 asetilen miktarının yeterli olmaması öngörülmüştür. Ayrıca yanma odası içerisinde gaz karışımının içeriye homojen olarak dağılımını sağlayabilecek bir fan sistemi de olmadığından tutuşmanın sağlanamaması gaz bileşenlerinin içeriye düzgün dağılmamış olmasından da kaynaklanabileceği sonucuna varılmıştır. Ön yanma işlemi için tutuşmanın sağlanabilmesi için ürün asetilen konsantrasyonu %5'e çıkarılarak tekrar dolum işlemine geçilmiştir. %5 giren asetilen, %0 ürün oksijen konsantrasyonu ve  $5 \text{ kg/m}^3$  gaz karışım yoğunluğu için gerçekleştirilen ilk ön yanma işlemi deneyinde ön yanma işlemi gerçekleşmemiştir. Gazların yanma odası içerisinde homojen olarak dağılımını sağlamak için her bir gazın yanma odasına dolumundan sonra bir sonraki gaz dolumuna geçmeden bir bekleme süresi gaz doldurma programına eklenmiştir. İlk olarak bu süre 20 sn olarak belirlenmiş ve iki deneme yapılmıştır. Her iki denemede de tutuşma sağlanamamıştır. Bu süre daha sonra 40 saniyeye çıkarılmıştır. Bu denemede gaz karışımının yanma odası içerisinde ön yanma işlemi gerçekleşmiştir. Bu ön yanma işleminin mutlak basınç – zaman grafiği Şekil 31'de gösterilmiştir. Ulaşılan en yüksek basınç değeri 26.69 bardır.



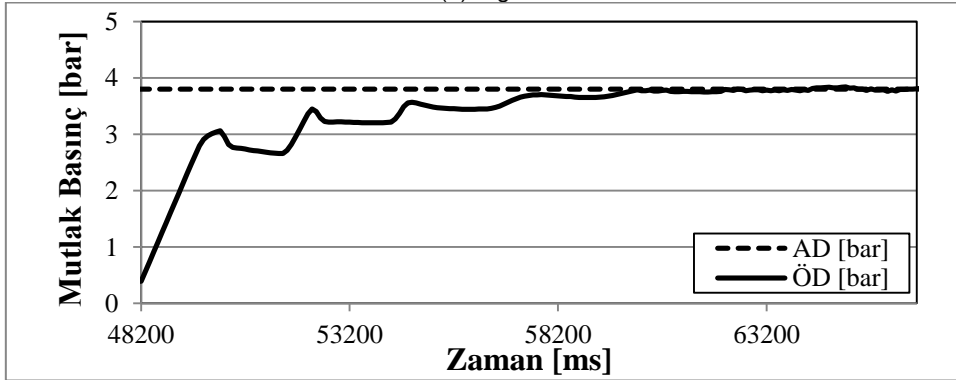
Şekil 31.  $5 \text{ kg/m}^3$ , %5 giren asetilen, %0 ürün oksijen gaz bileşimi ön yanma sonuçları



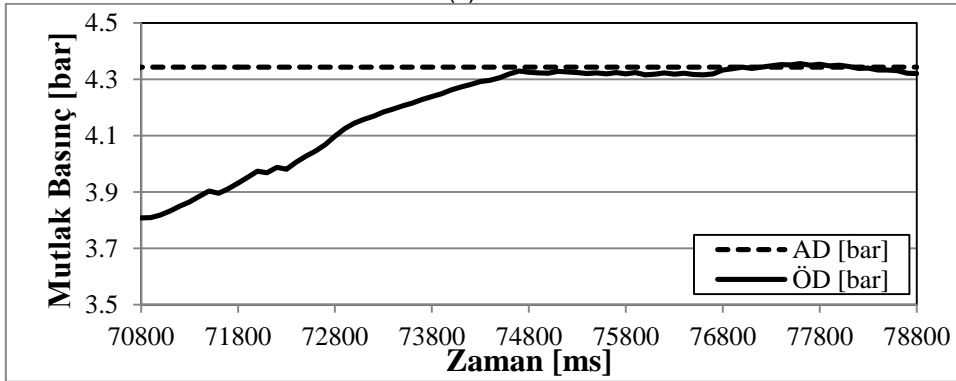
(a) asetilen



(b) argon



(c) azot



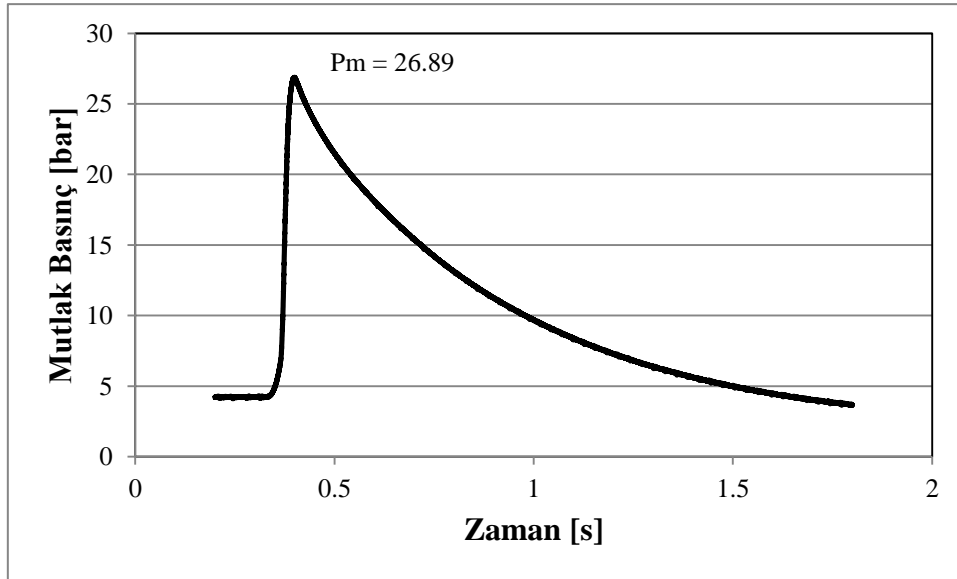
(d) oksijen

Şekil 32. 5 kg/m<sup>3</sup>, %5 giren asetilen, %0 ürün oksijen gaz bileşimi dolmuş sonuçları

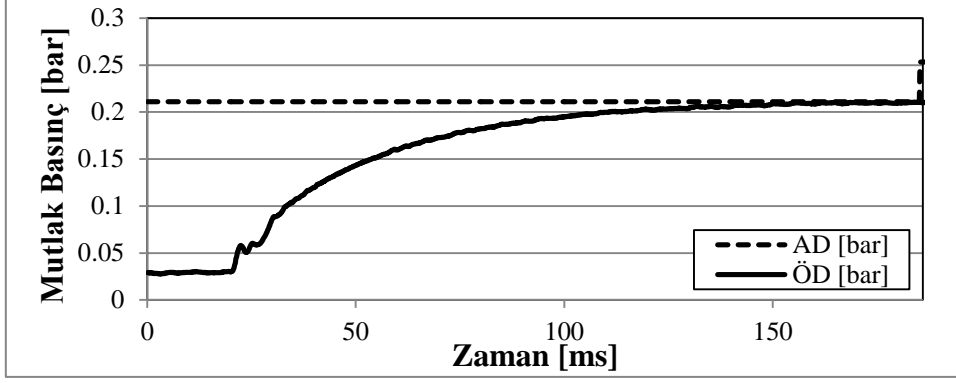


Bu gaz karışımının dolun sonuçları Şekil 32'de gösterildiği gibidir. Bu denemede gaz dolun programında PID kontrolü için kullanılan katsayılar deneme-yanılma yoluyla bulunmuştur. Grafiklerden de görüleceği üzere özellikle argon gazı için AD işlem sırasında genellikle aŐılmıŐtır. Asetilen ve oksijen gazlarının D değerlerinde de dalgalanmalar mevcuttur. Daha iyi bir kontrol sağlamak amacıyla PID katsayılarını bulmak için basamak fonksiyonu ile elde edilen sistem cevabı verileri Matlab programında iŐlenerek yeni PID katsayıları bulunmuştur. PID katsayıları gaz karışımı için çok önemlidir ve bu katsayılar valf ve basınç düzenleyicilerin ayar özellikleri ile doğrudan bağlantılıdır. Bu katsayılar bulunduktan sonra ilk olarak %5 giren asetilen, %21 ürün oksijen konsantrasyonu ve 5 kg/m<sup>3</sup> gaz karışım yoğunluğu için ön yanma işleminde denenmiştir. Yeni katsayılarla gerçekleştirilen gaz dolun sonuçları Şekil 34'te verilmiştir. Grafiklerden de görüleceği üzere bir önceki doldurma işlemi sonuçları ile karşılaştırıldığında tüm gazların dolununda iyileŐme vardır. AD'den sapmalar %1'lerden %0.5 değerinin altına kadar bu yeni katsayılarla indirilebilmiŐtir.

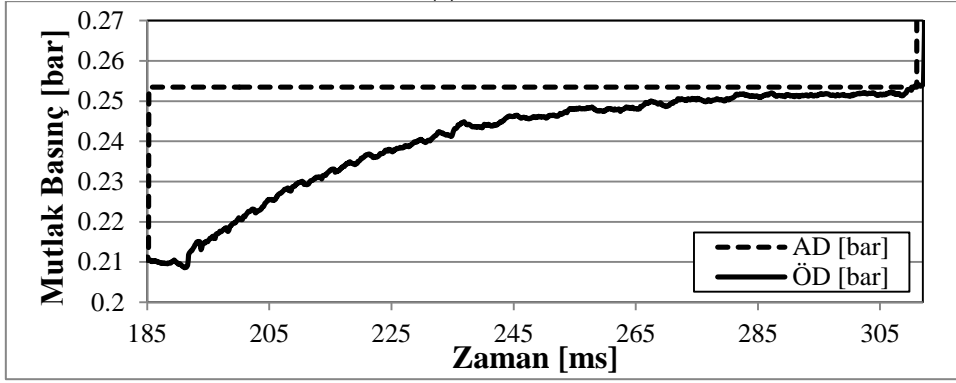
Şekil 33'te bu ön yanma işleminin sonucu görülmektedir.



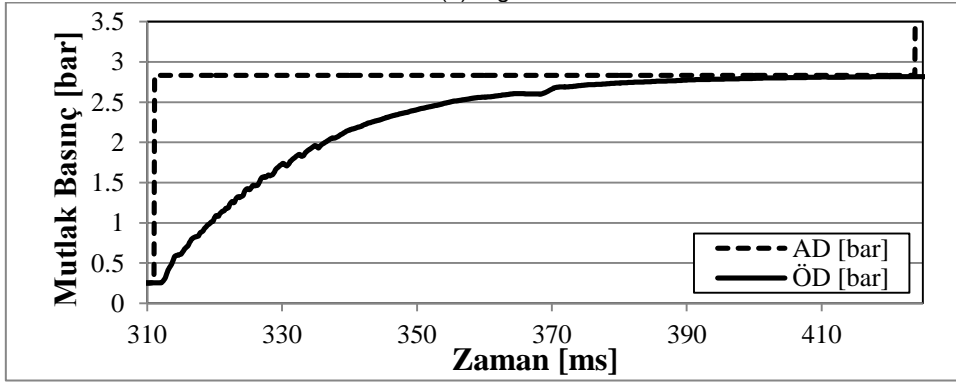
Şekil 33. 5 kg/m<sup>3</sup>, %5 giren asetilen, %21 ürün oksijen gaz bileşimi n yanma sonuçları



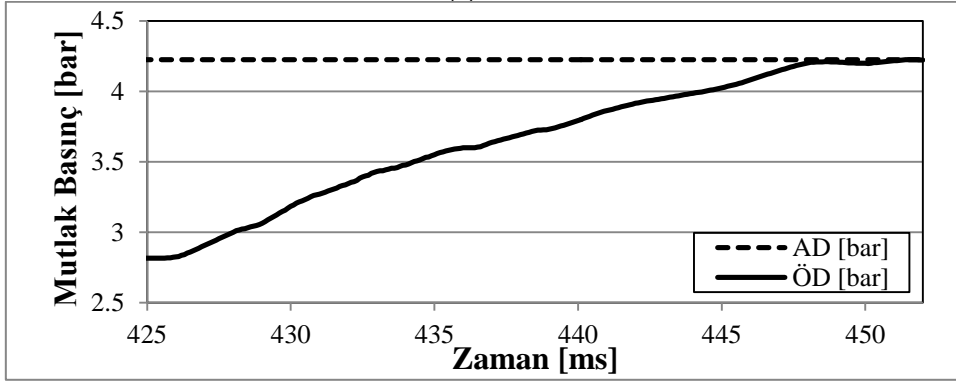
(a) asetilen



(b) argon



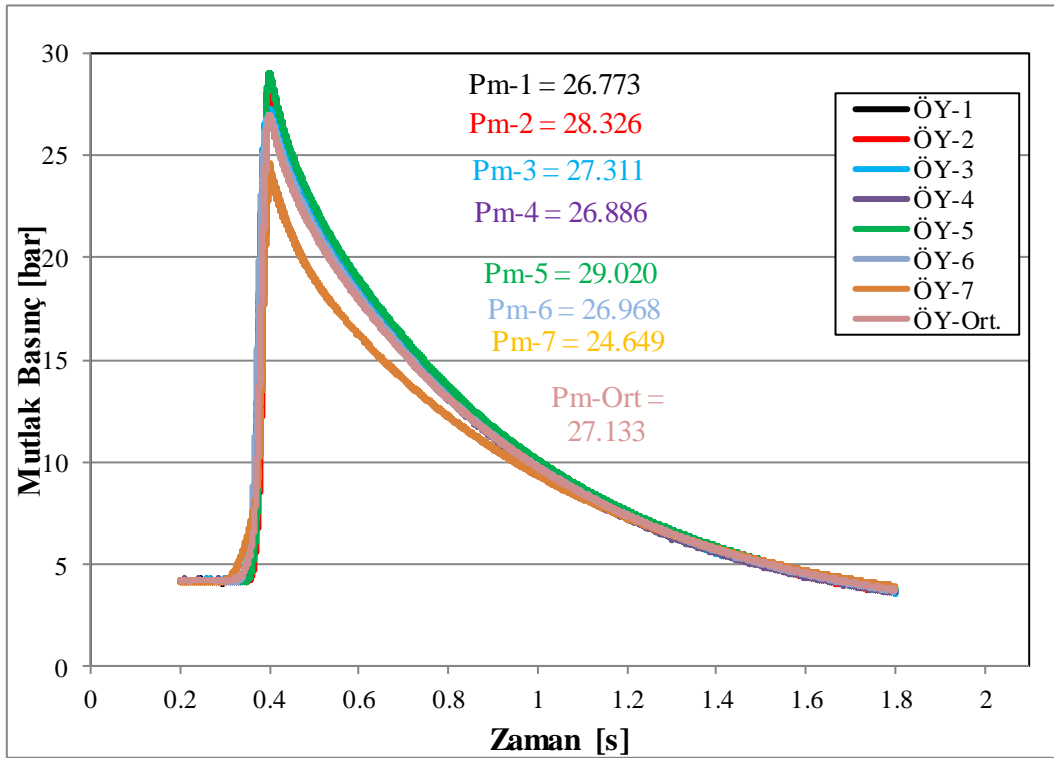
(a) azot



(a) oksijen

Şekil 34. 5 kg/m<sup>3</sup>, %5 giren asetilen, %21 ürün oksijen gaz bileşimi dolum sonuçları

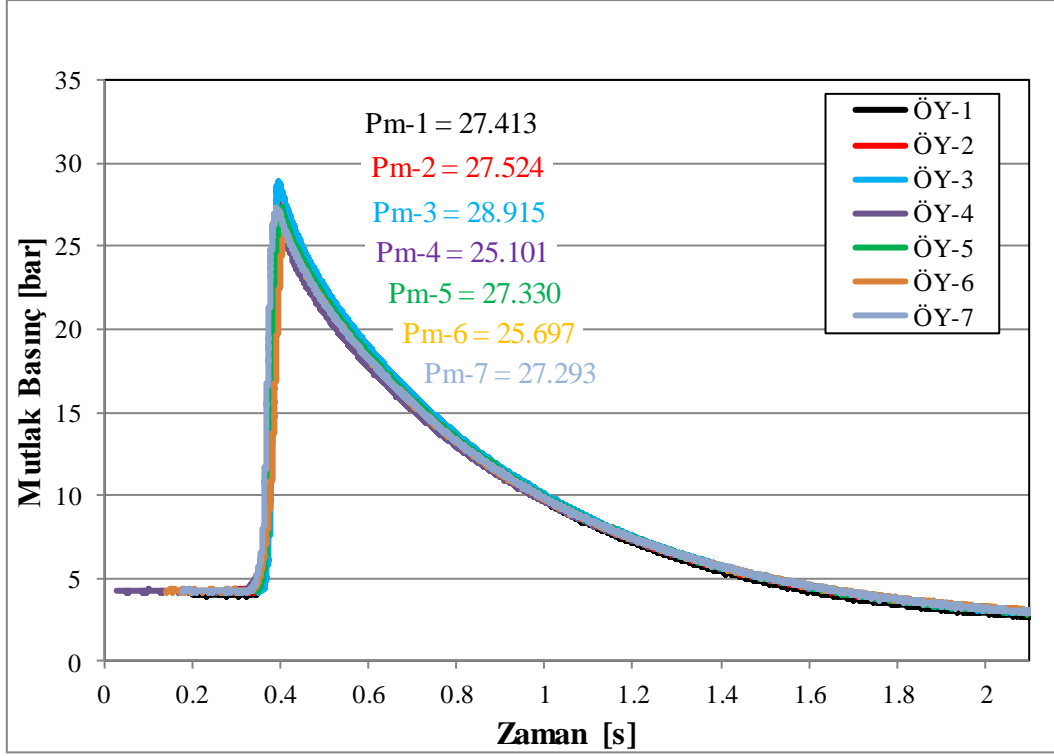
Ön yanma deneylerinin tekrarlanabilirliğini kanıtlamak adına yedi adet ön yanma işlemi 5 kg/m<sup>3</sup>, %5 giren asetilen, %21 ürün oksijen gaz bileşimi ile gerçekleştirilmiştir. Deneylerin tutarlı bir şekilde gerçekleşmesi için ön yanma işleminin tekrarlanabilir olması çok önemlidir. Yapılan deneylerde gözlemlene en yüksek ortalama basınç değeri 27.133 bardır. Şekil 35'te ön yanma işleminin tekrarlanabilirlik test sonuçları gösterilmiştir. Bu testlerin sonuçlarına göre en yüksek basınç değeri sapması %8 değerini aşmamıştır. Bu değer ön yanma işleminin tekrarlanabilirliği için oldukça iyi bir değerdir. Bu sapmayı etkileyen birkaç sebep vardır. Bunlardan en önemlisi yanma odasının duvarlarından çevreye olan ısı transferidir. Yanma odası her ne kadar aynı koşullarda testlere tabi tutulsa da çevre değişen sıcaklığı gibi çevre koşulları mevcuttur. Bir başka sebep ise zamanla yüksek sıcaklık ve basınç gören conta malzemesinin zamanla işlevini yavaş da olsa kaybetmesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Yapılan tüm tekrarlanabilirlik testlerinde sistem üzerinde aynı contalar kullanılmıştır. Bu yüzden sızdırmazlık elemanları belli miktarda testten sonra yenilenmiş ve sızdırmazlık testleri tekrarlanmıştır.



Şekil 35. 5 kg/m<sup>3</sup>, %5 giren asetilen, %21 ürün oksijen gaz bileşimi ön yanma işlemi tekrarlanabilirlik testleri

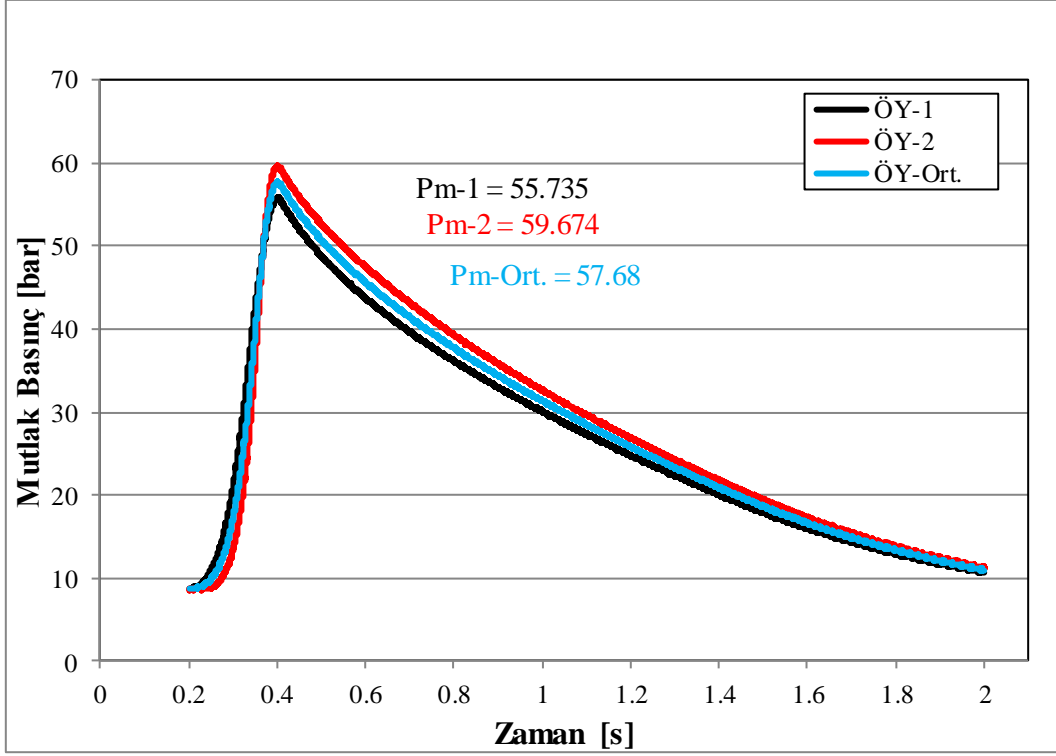
Tekrarlanabilirlik testlerinden sonra egzoz gaz devridaimi koşulları için ön yanma işlemi testleri gerçekleştirilmiştir. Bu testlerin sonuçları Şekil 36'da verilmiştir. Bu sonuçlara göre en

yüksek basınç değerleri arasındaki sapma en fazla %5.4 olarak bulunmuştur. Egzoz gaz devridaimi koşullarının benzetimi için de bu değer oldukça iyi bir değerdir.



Şekil 36. Egzoz gaz devridaimi 5 kg/m<sup>3</sup>, %5 asetilen, %15 oksijen ön yanma testleri tekrarlanabilirlik sonuçları

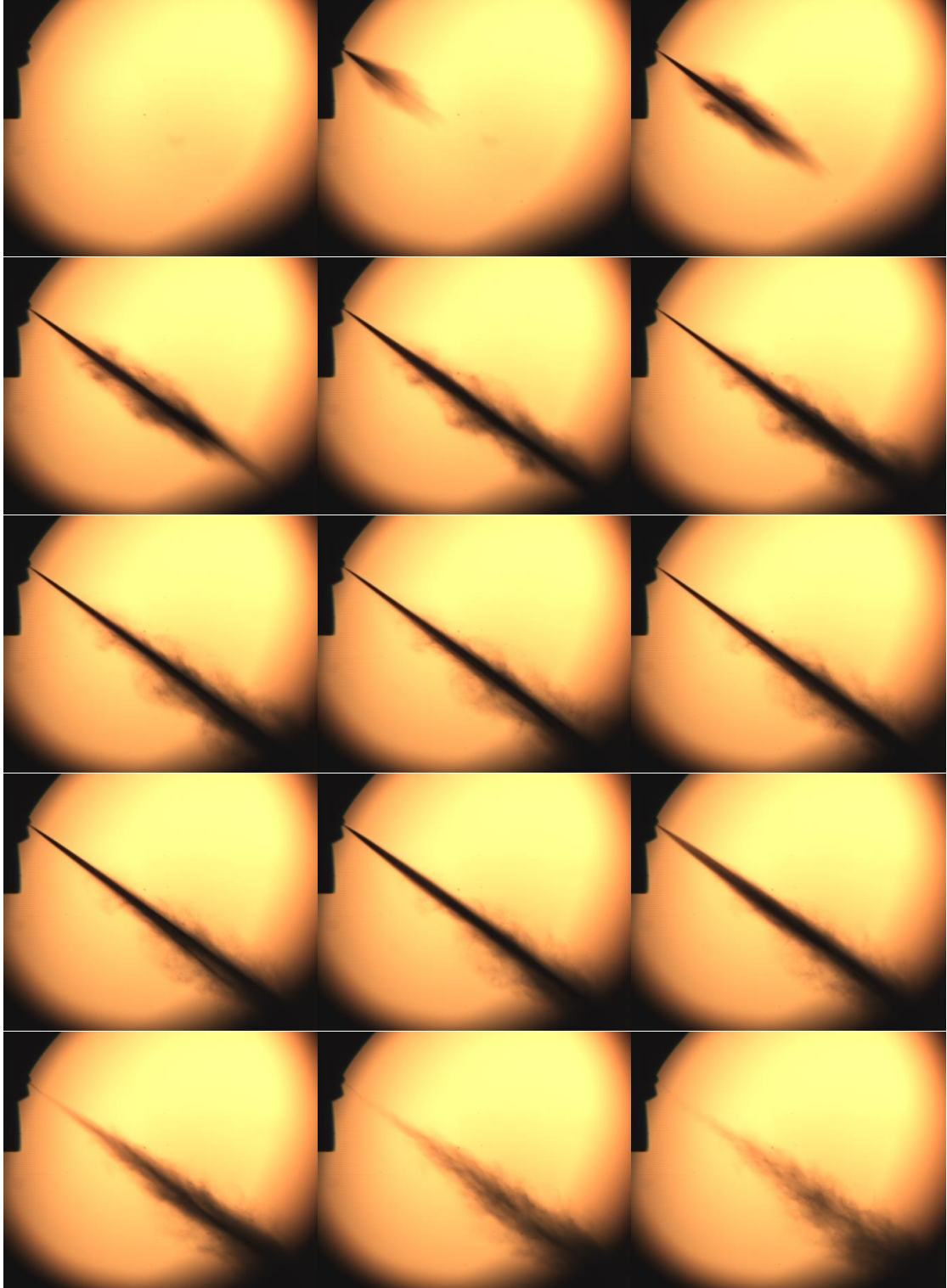
Farklı yanma atmosferi oluşturmak amacıyla 10 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğunda, %5 giren asetilen gaz karışımı ön yanma işlemine tabi tutuldu. Bu koşullarda iki tane test yapıldı ve bu karışımı tutuşturmanın çok zor olduğu gözlemlendi. Bunun sebebi çok yoğun olan gaz karışımının yanma odası içerisinde çok iyi karışamaması ve daha az yoğun durumlara göre gazların daha hareketsiz kalmasıydı. Gaz karışımını yakmak için uzun bir süre beklemek ve birçok defa ateşleme sistemini çalıştırmak gerekti. Her bir ateşleme tetiklemesinden sonra yakıtın da tetiklenmesi gerektiğinden bu ve üzeri yoğunlukta gaz karışımı ile çalışmanın deney düzeneğinin mevcut hali ile çalışılması sağlıklı sonuçlar vermeyeceğinden 5 kg/m<sup>3</sup> yoğunluktaki gaz karışımları ile çalışılmaya odaklanıldı. Şekil 37’de bu testlerin sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara göre ortalama en yüksek basınç değerinin 57.68 bar olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 37. 10 kg/m<sup>3</sup>, %5 asetilen, %0 ürün oksijen gaz bileşimi ön yanma işlemi sonuçları

Ön yanma testlerinin tekrarlanabilirliğinin gözlenmesinin ardından yakıt enjeksiyon sisteminin deney düzeneği ve test programları ile olan iletişimi üzerine çalışılmıştır. Deney düzeneğine kurulan ilk yakıt enjeksiyon sisteminde istenilen yakıt basınç değeri tutarlı olarak ayarlanamamıştır. Bunun üzerine Delphi İzmir firmasından destek alınmıştır. Eski yakıt püskürtme sisteminin yerine firma tarafından sağlanan yeni yakıt enjeksiyon sistemi sağlanmıştır.

Görsellemede en sık karşılaşılan ve zaman kaybettiren problem optik sistemlerin hizalanması ve yüksek hızlı kamera üzerinde görüntünün odaklanarak netleştirilmesi problemleridir. Bu açıdan bakıldığında sistemin geliştirilmesi daha iyi sonuçlar verebilecektir. Dizel yakıt için ilk Schlieren görselleri Şekil 38'de gösterilmiştir. Enjeksiyon basıncı 1000 bar, enjeksiyon toplam süresi 1 ms ve görüntüleme hızı 10000 kare/s'dir. Burada yanma işlemini görüntülerken kullanılacak olan 510nm dalga boyu ışık geçirme filtresi kullanılmamıştır. Bu filtre yanma deneylerinde sistem üzerinde kullanılacaktır.



Şekil 38. Sprey gelişimini gösteren Schlieren görselleri, toplam süre 1 ms

Tüm sistemin kurulması ve devreye alınmasında iş planı dışında karşılaşılan beklenmedik birçok sorundan dolayı sistemin tam olarak kurulumu çok geciktiğinden yakıt enjeksiyon deneylerine çok geç başlanabildiği. Bu aşamada sistem üzerinde bir çok elektronik

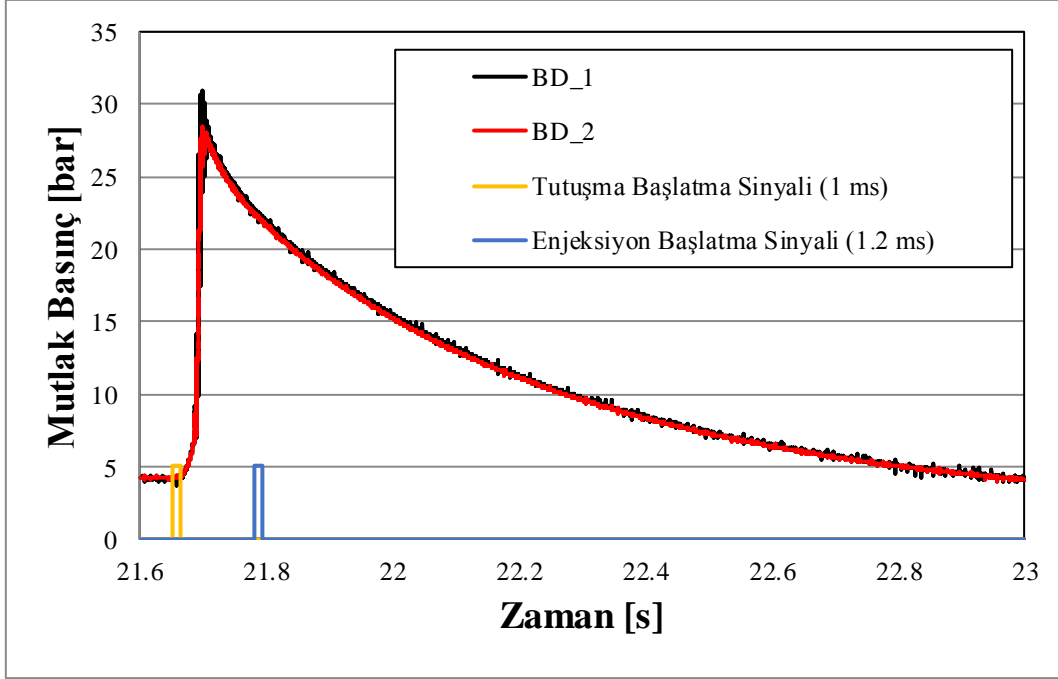
ekipman ve kablolama olduğundan özellikle enjektör sürücüsünde ve yüksek hızlı kameranın sinyalizasyon işlemlerinde gürültü çok büyük bir problem teşkil etmiştir. Kameranın sinyalizasyon problemi giderilmiştir. Enjektör sürücüsünde gürültüden dolayı tek bir ateşleme yerine sistem iki defa ateşleme yapma probleminden dolayı yanma odası içerisine zamanından önce yakıtın gönderilmesi çok fazla ışık yayılımına sebep olmakta ve optik sistem ile yakıt spreyinin yüksek hızlı kamerada görüntülenmesini önlemiştir. Bu problemi gidermek üzerine çalışmalarımız devam etmektedir. Bu problemden dolayı AÖM ve tutuşma gecikmesi ölçümleri henüz gerçekleştirilememiştir.

Avrupa'da sadece Eindhoven Teknik ve Ghent Üniversitelerinde bulunan sabit hacimli yanma odalarının üçüncüsünün İYTE'de geliştirilmesinin ve yakıt sprey çalışmalarına olanak sağlamasının ülkemiz ve enstitümüz adına büyük bir başarı sağlayacağını düşünüyoruz. Avrupa'daki bu iki üniversitede kurulan sabit hacimli yanma odalarının kurulum tarihçelerine bakıldığında üç senede sadece yanma odası kurulum aşamasının bitirilmesine (Galle, 2014) kıyasla bu projede çok kısa bir sürede yanma odası kurulumu gerçekleştirilmiş ve sızdırmazlık testleri bitirilmiştir. Bu sayede enstitümüzde birçok farklı ortam koşullarında hem reaktif hem de reaktif olmayan yakıt spreylerinin incelenmesi imkanı elde edilmiştir. Geliştirilen yüksek hızlı Schlieren görüntüleme tekniği ile yüksek hızlı UV bir görüntüleme sistemi olmadan spreylerin incelenmesi mümkün olmuştur. Bu proje kapsamında bazı yakıt enjeksiyon firmalarından (Delphi – İzmir, Bosch – Manisa) laboratuvarımıza gerçekleştirilen ziyaretlerde yapılan gösterimler sayesinde şu anda geliştirilme aşamasında olan ortak projelerin önü açılmıştır. Bu projeye doğrudan ilgili olan öğrencilerin dışında bu deney düzeneği ile ilgili ilerde çalışma yapacak olan öğrencilere deneyim sağlanmış oldu.

## **4.2 Alev ötelenme mesafesi (AÖM)**

Son gönderilen rapordan sonra dizel yakıtın alev ötelenme mesafesi ölçüm işlemleri yapılmıştır. Şekil 39, dizel yakıt için gerçekleştirilen ön yanma işleminin basınç-zaman grafiği ile ön yanma ateşleme ve yakıt püskürtme sinyallerini göstermektedir.

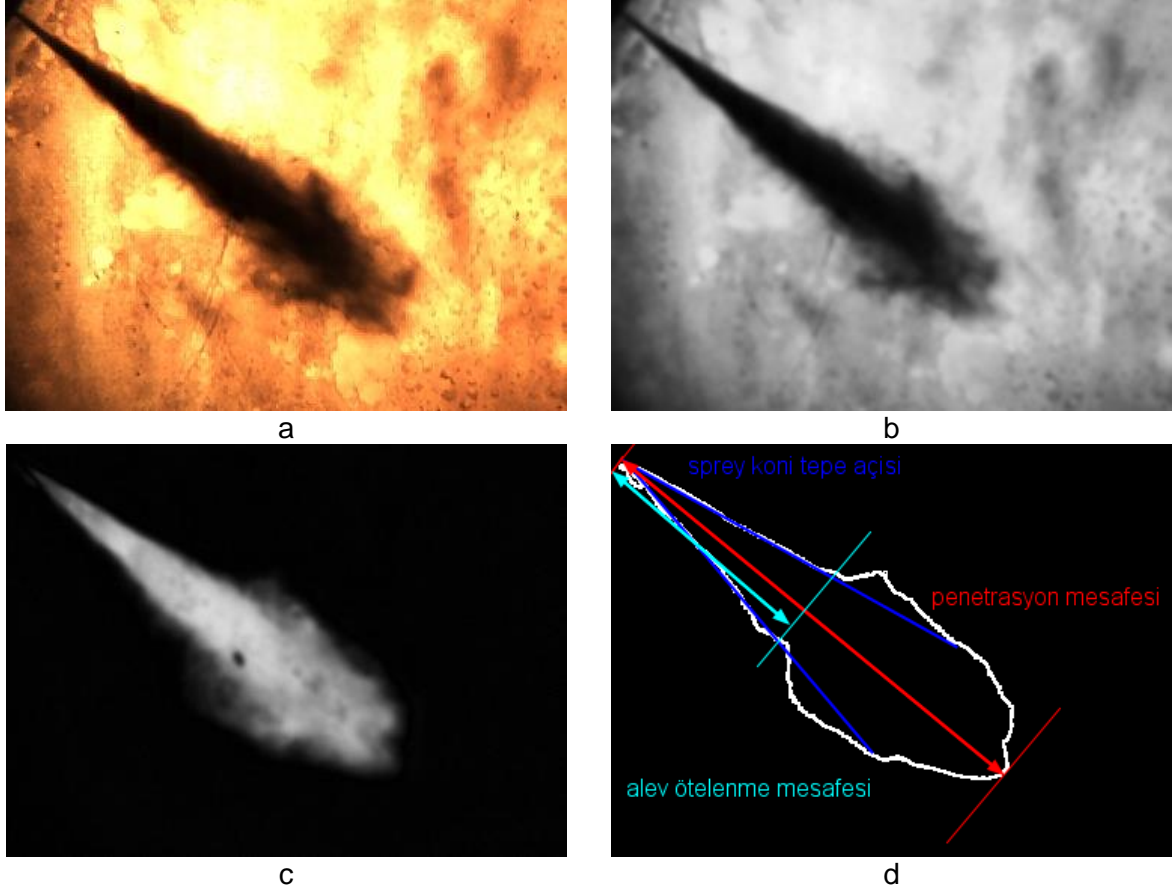
Enjeksiyon, ön yanma işleminin başlaması için gerekli olan tutuşma sinyalinin başlangıcından 130 ms sonra 1.2 ms boyunca gerçekleştirilmiştir. Ön yanma işlemi için gerekli olan tutuşma sinyali 1 ms boyunca gönderilmiştir. Ön yanma işlemi sonucunda ortamda hacimce %21 oranında  $O_2$  gazı kalacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Böylece yakıtın sitokiyometrik koşullarda yanması sağlanmıştır



Şekil 39. Basınç-zaman grafiği, tutuşma ve enjeksiyon sinyalleriyle birlikte

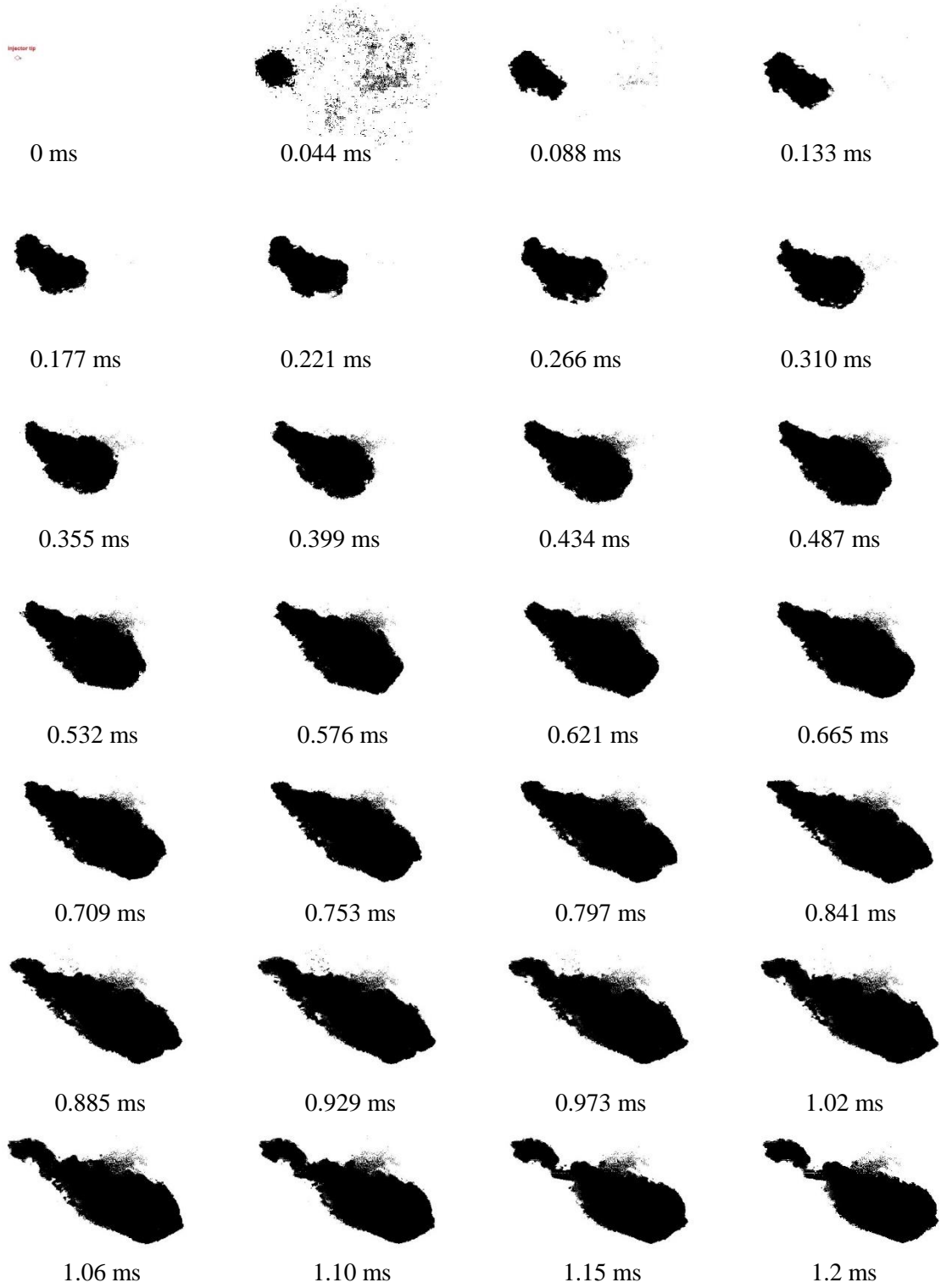
Deney düzeneğinden elde edilen ham görüntü, bu görüntünün işleme adımları ve ölçüm parametrelerinin tanımı Şekil 40' da verilmiştir. Şekil 40 a'da gösterilen spreynin ham görüntüsü ilk olarak işlenmek üzere siyah-beyaz renklere çevrilmiştir. Şekil 40 c'de görüldüğü üzere bu görüntünün arka planı temizlenerek Otsu methoduyla spreyi teşkil eden alan ön plana çıkarılmıştır. Spreyin çevresi konturlarla çizilmiş ve bu halinden alev ötelenme mesafesi, spreynin koni açısı ve spreynin penetrasyon parametrelerinin ölçümü gerçekleştirilmiştir. Şekil 40 d'de bu parametreler spreynin üzerinde gösterilmiştir. Tüm görüntü işlemlerinde ImageJ adlı açık kaynaklı bir görüntü işleme programı kullanılmıştır.





Şekil 40. Sprey görüntü işlem adımları: a) ham görüntü, b) siyah-beyaz görüntü işlem sonucu, c) arka planın çıkarılma sonucu, d) sprey çevresinin işleme sonucu ve parametre ölçülerinin tanımı

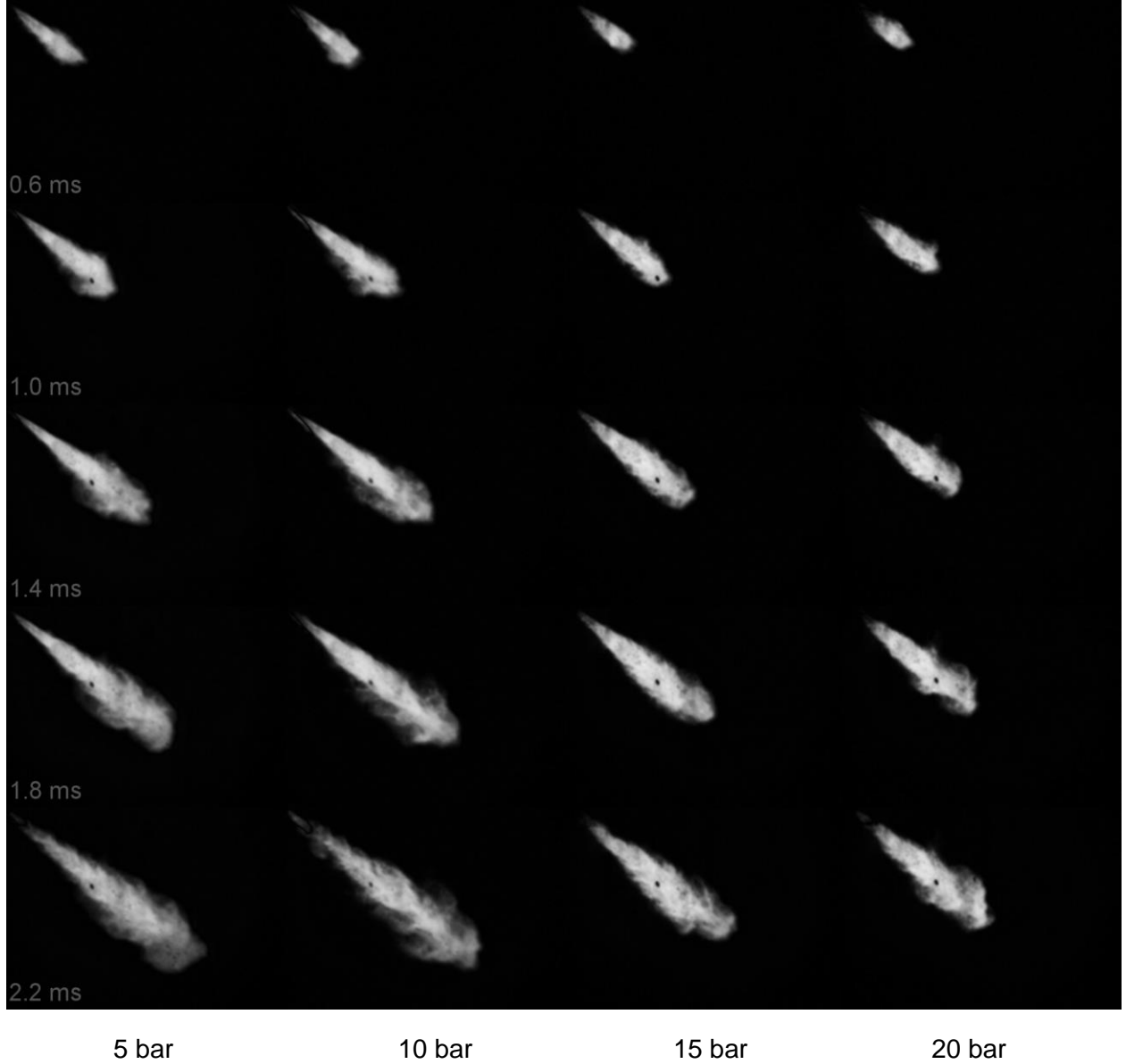
İçeriğinde %21 O<sub>2</sub> bulunan, 5 kg/m<sup>3</sup> yoğunluğa sahip sitokiyometrik yanma atmosferi içerisine 1000 bar püskürtme basıncında gönderilen dizel yakıt spreynin yanma görüntüleri Şekil 41' de gösterilmiştir.



Şekil 41. Sprey ve alev gelişimini gösteren Schlieren görselleri, toplam süre 1.2 ms

### 4.3 Reaktif olmayan sprej deney sonuçları

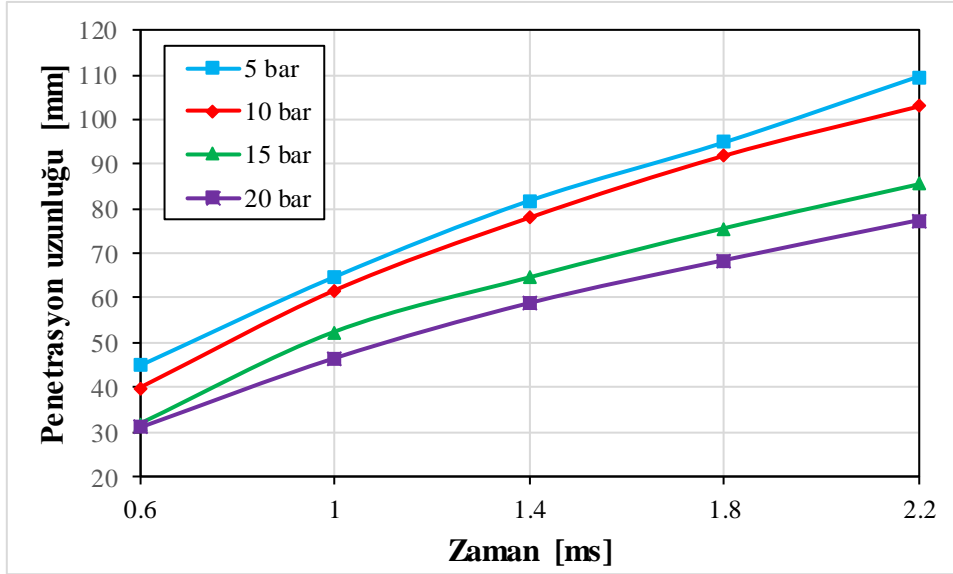
Reaktif olmayan sprejler için püskürtüldüğü ortamın basınç etkisini incelemek adına yanma odasına 5, 10, 15 ve 20 bar basınç değerlerinde N<sub>2</sub> gazı doldurularak, 1000 bar püskürtme basıncında 1.2 ms süresince dizel yakıt püskürtülerek görüntüleri kaydedilmiştir. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 42’de gösterilmiştir. Bu şekildeki her bir kolon farklı basınçlar altındaki gelişimi göstermektedir.



Şekil 42. Reaktif olmayan dizel yakıt sprejinin farklı basınçlar altında gelişimi

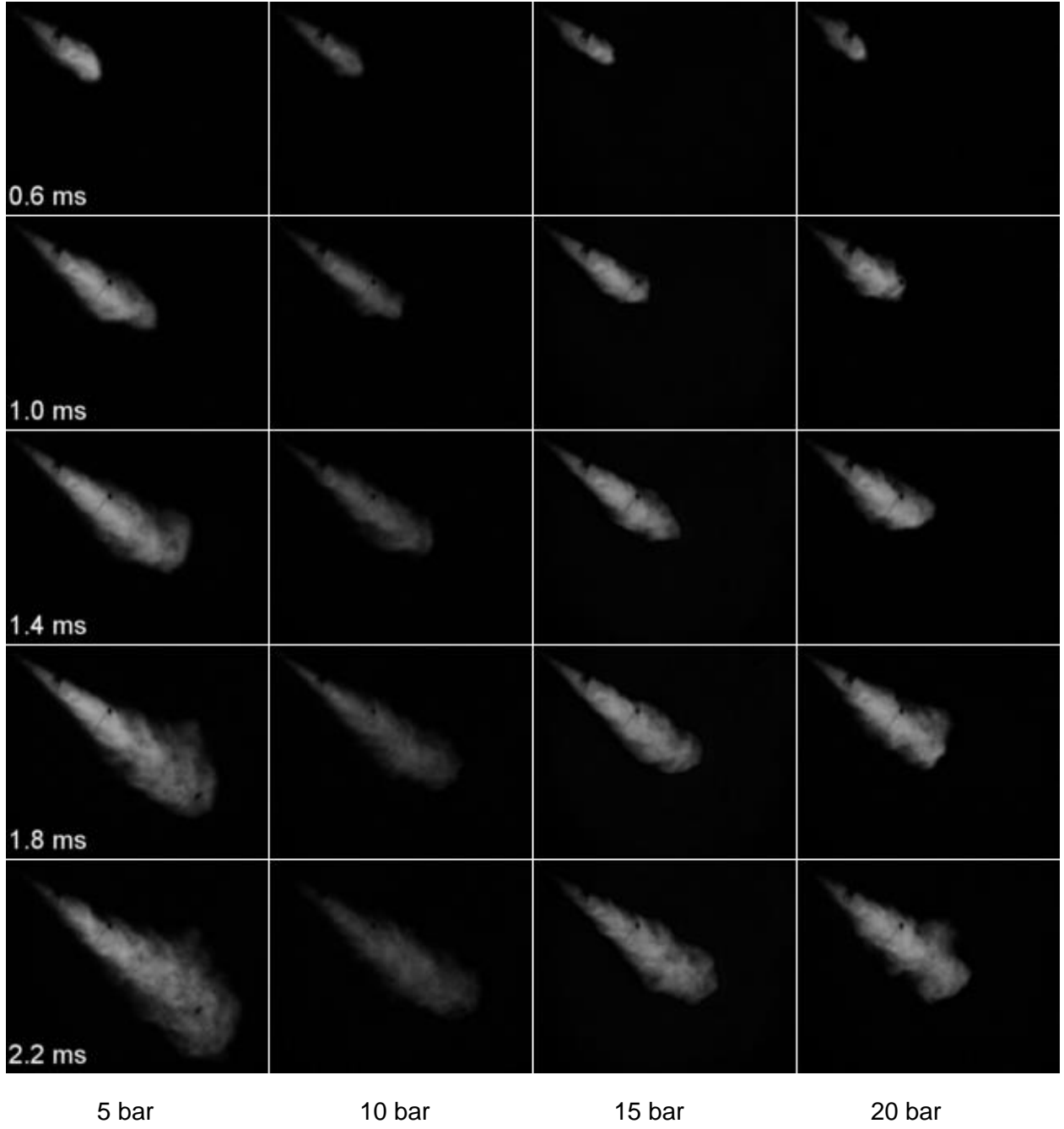
Şekil 43’de reaktif olmayan sprejlerin penetrasyon uzunluğunun ortam basıncı ile olan ilişkisi grafik üzerinde gösterilmiştir. Bu grafikten de anlaşılacağı üzere artan ortam basıncıyla

birlikte sprej penetrasyon uzunluğu ters orantılı olarak değişmektedir. Bu bulgu basınçtan kaynaklanan yakıt üzerine etki eden kuvvetlerin artmasının penetrasyon uzunluğunu azalttığını işaret etmektedir.

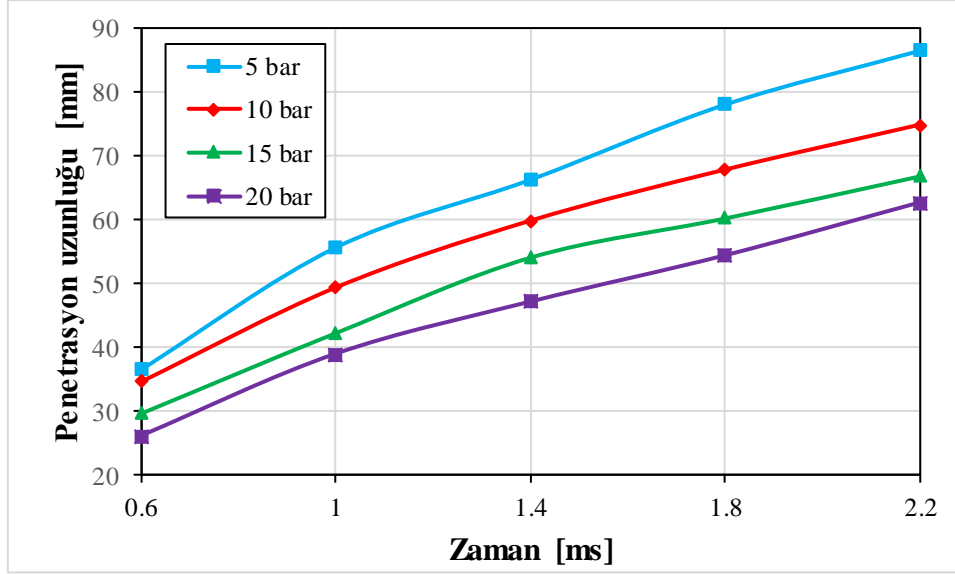


Şekil 43. Reaktif olmayan dizel yakıt sprejlerin farklı basınç koşulları altındaki penetrasyon değerleri

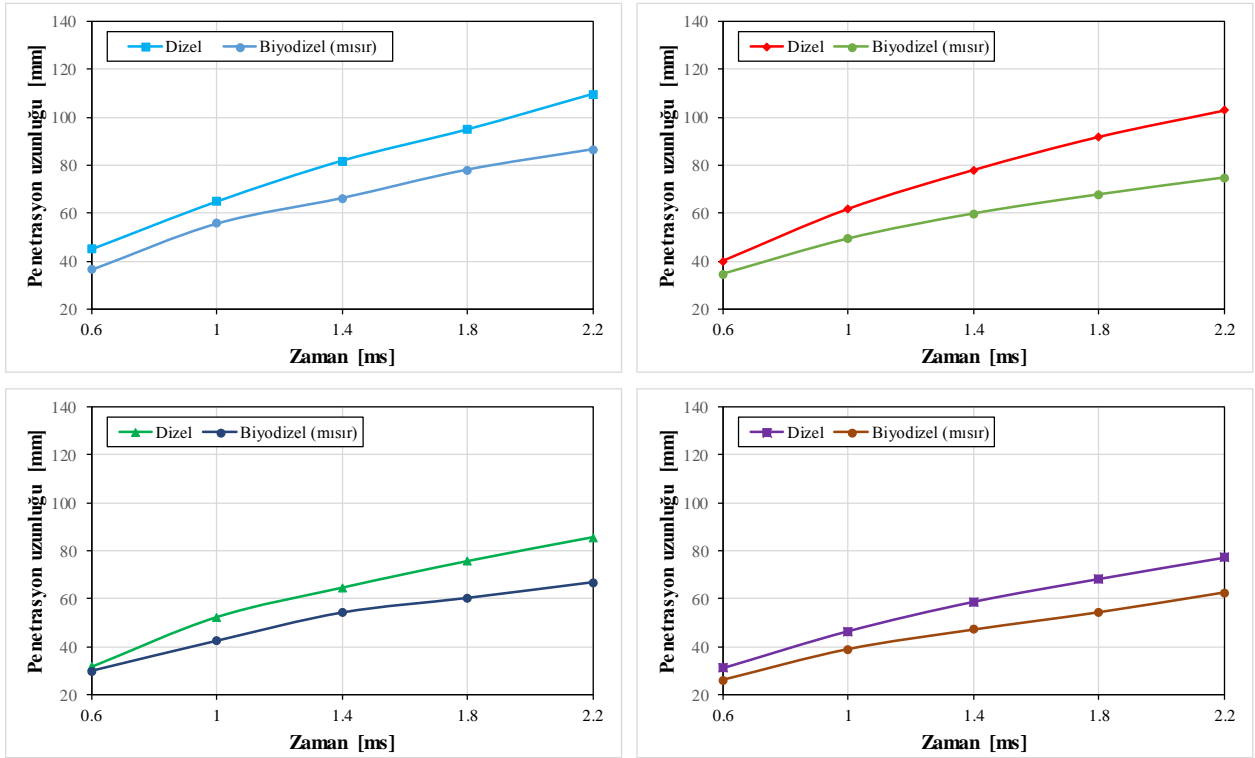
Benzer şekilde aynı işlemler mısır bitkisinin yağından üretilen biyodizel yakıtının farklı basınçlardaki reaktif olmayan sprejinin gelişimini göstermek için yapılmıştır. Bu yakıt için elde edilen sonuçlar Şekil 44'de verilmiştir. Bu görüntülerden elde edilen penetrasyon uzunlukları da Şekil 45 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 44. Reaktif olmayan mısırdan elde edilen yağ ile üretilen biyodizel yakıt spreynin farklı basınçlar altında gelişimi



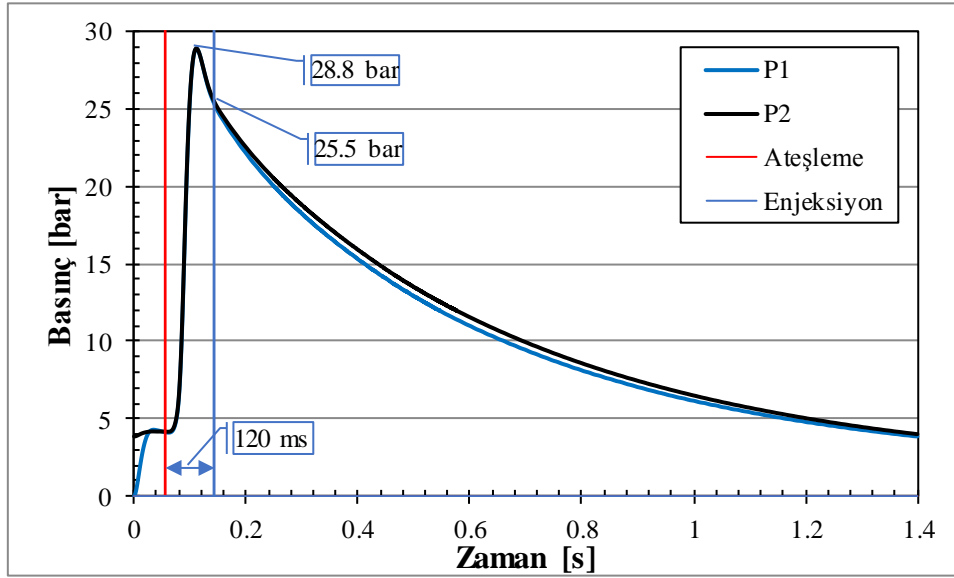
Şekil 45. Reaktif olmayan mısır bitkisinden üretilen biyodizel yakıt spreylerin farklı basınç koşulları altındaki penetrasyon değerleri



Şekil 46. Dizel ve biyodizel (mısır) yakıtların spray penetrasyon uzunluklarının karşılaştırılması, sol-üst 5 bar, sağ-üst 10 bar, sol-alt 15 bar, sağ-alt 20 bar ortam basıncında

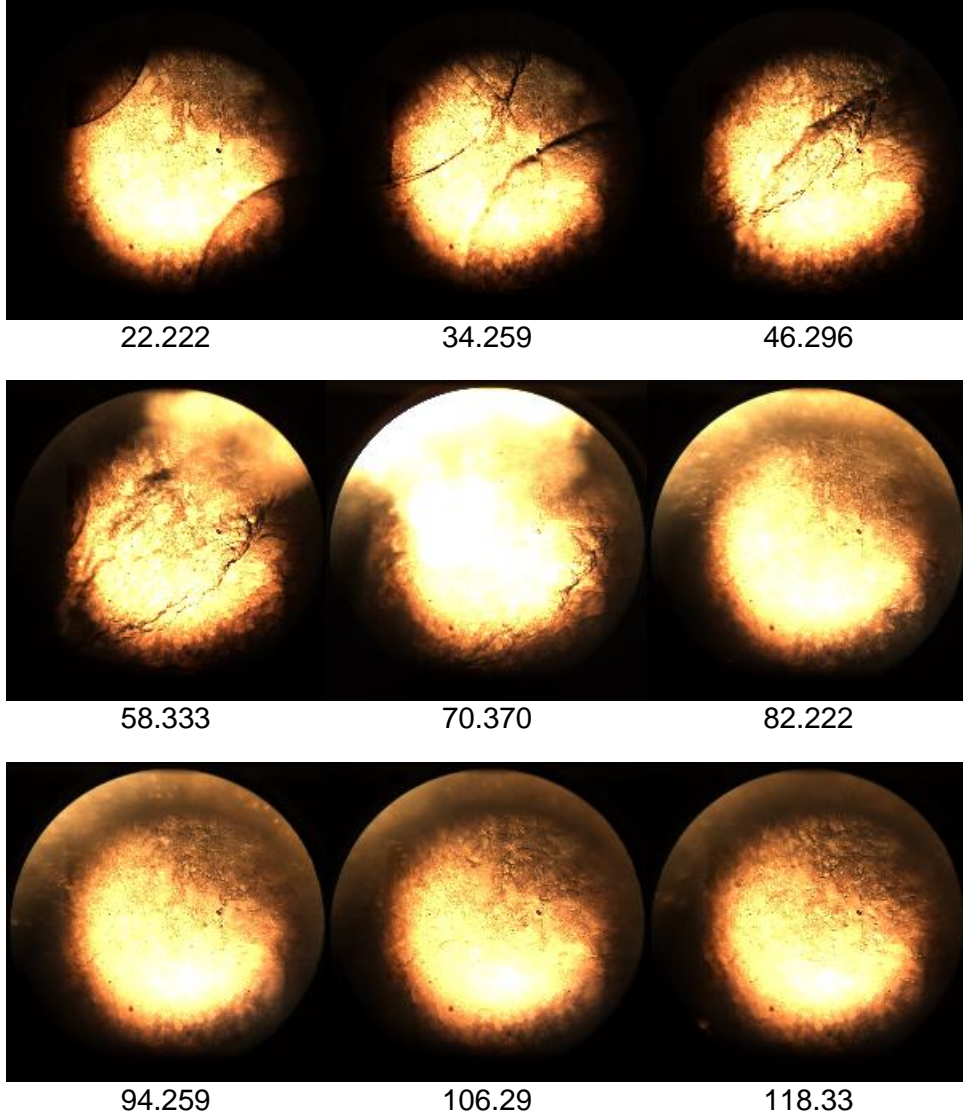
#### 4.4 Reaktif sprey deney sonuçları

Reaktif sprey deneyleri ateşleme ve enjeksiyon işlemleri arasında 120 ms gecikme olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Ateşleme komutu programla verildikten 120 ms sonra enjeksiyon sinyali enjektör sürücüsüne gönderilmiştir. Enjeksiyon yapıldığı andaki iç ortam basıncı 25.5 bar olarak ölçülmüştür. Şekil 47’de ön yanma işlemi öncesi iç ortam yoğunluğu  $5 \text{ kg/m}^3$ , sıcaklık ve mutlak basıncı ise sırasıyla  $25^\circ\text{C}$  ve 4.23 bar olan koşulların basınç-zaman grafiği üzerinde ateşleme ve enjeksiyon zamanlamaları gösterilmiştir.



Şekil 47.  $5 \text{ kg/m}^3$ , %10  $\text{O}_2$ , ön yanma işlemi basınç-zaman grafiği, buji ateşleme ve yakıt enjeksiyon sinyalleri

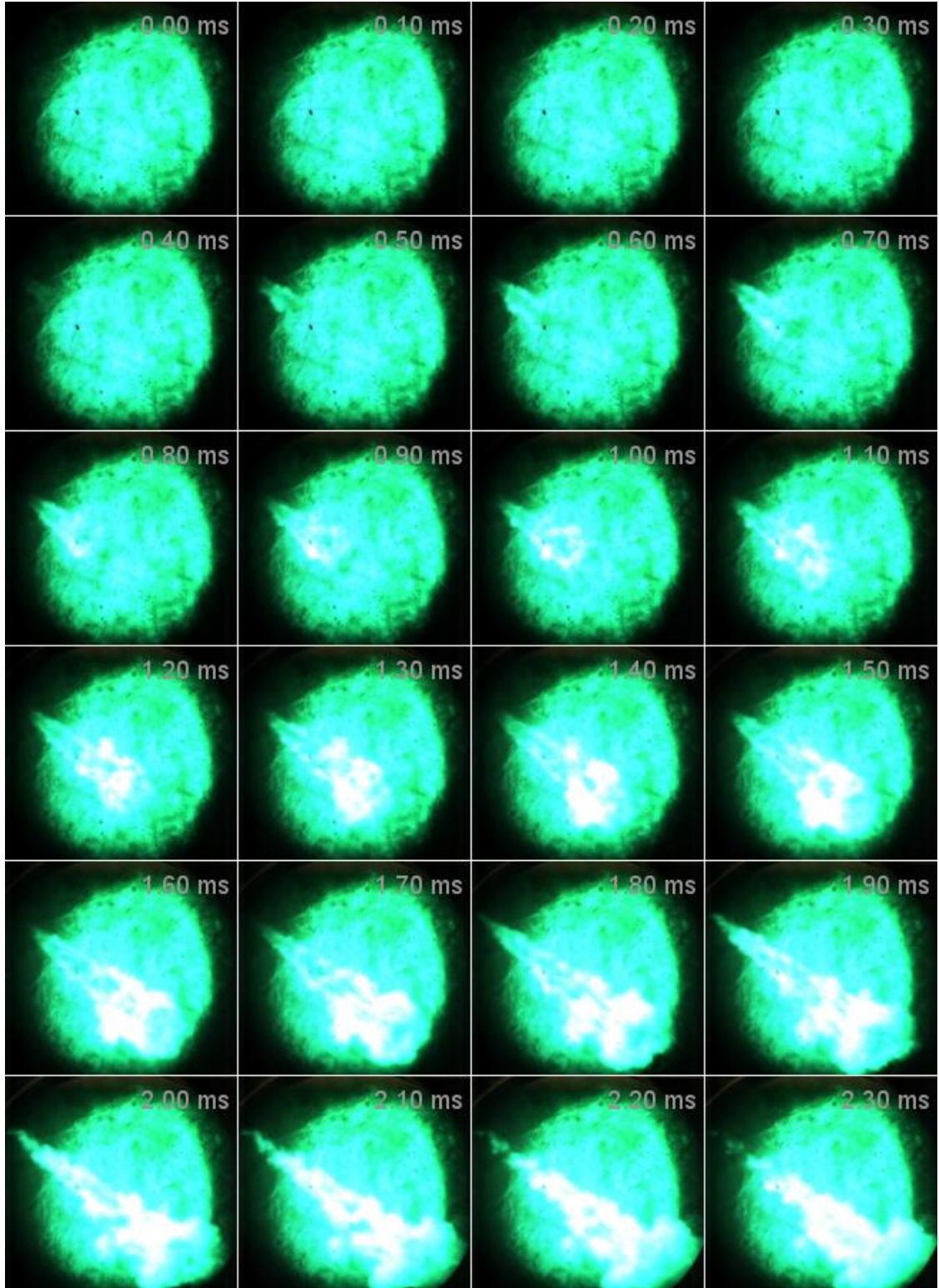
$5 \text{ kg/m}^3$ , 10%  $\text{O}_2$  egzoz gaz devridaimi koşulunda gerçekleştirilen deneylerin ön yanma işleminin ham görüntüleri Şekil 48’de gösterilmiştir. Bu görüntüler ön yanma işlemini başlatmak için gönderilen ateşleme sinyali ile enjeksiyonu başlatmak için gönderilen sinyal arasında kalan süredeki (120 ms) alev ilerlemesini göstermektedir. Alınan görüntülerden de görüleceği üzere diagonal yerleştirilmiş bujilerden başlayan iki alev ilerlemesi ortada birbirleriyle buluşmaktadır.



Şekil 48.  $5 \text{ kg/m}^3$ , %10  $\text{O}_2$ , ön yanma işlemi ham görüntüleri ve alev ilerlemesi

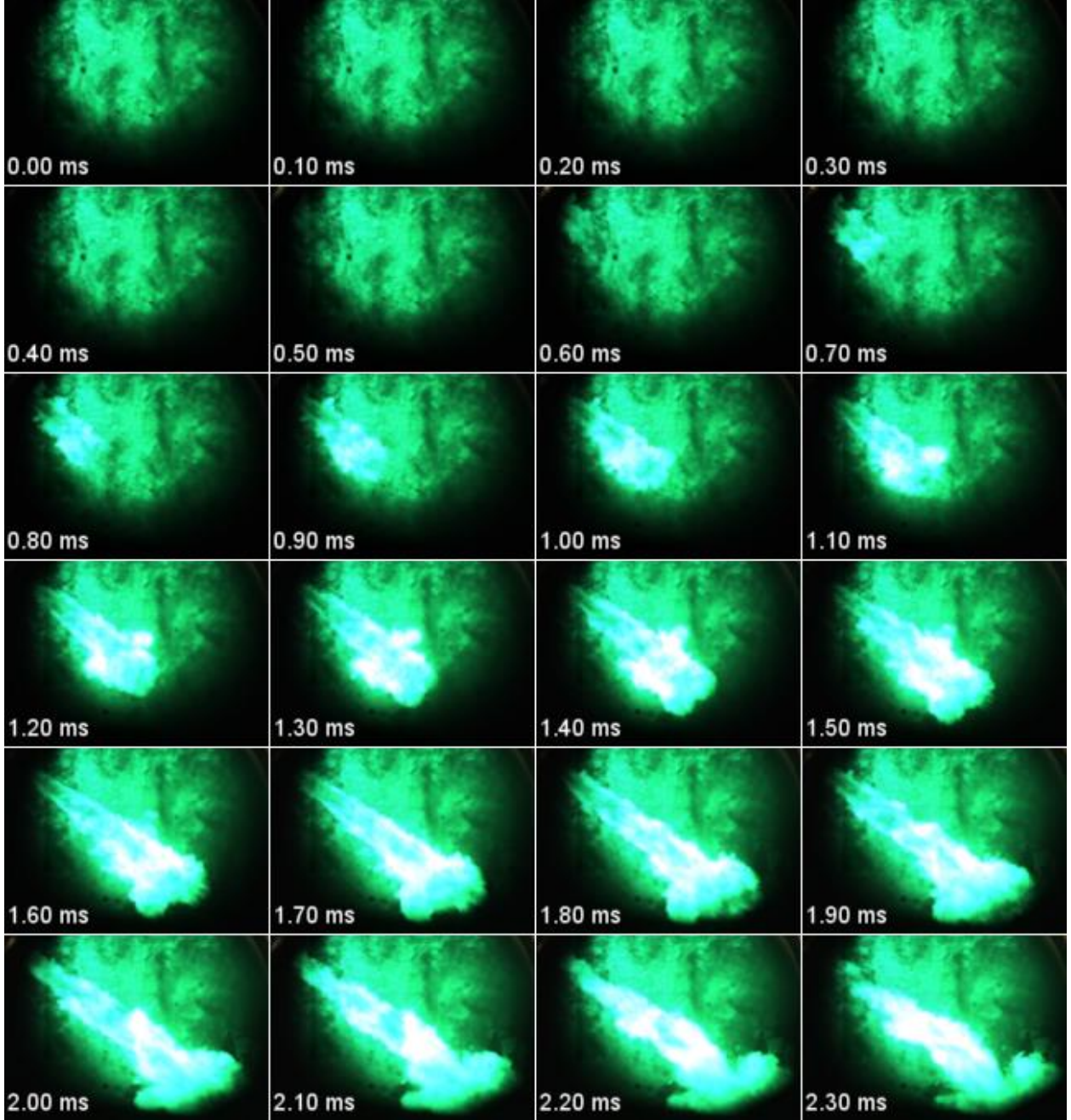
Yanmanın daha sağlıklı görünmesi için merkez dalga boyu 525nm, 25nm yarı-doruk genişliğinde 12.5 mm çapında bir optik filtre (Edmund Optics, #87-777) kullanılmıştır. Bu filtre sayesinde yanmanın görüntülenmesini önleyen yüksek ve alçak dalga boylarındaki ışığın kamera lensine ulaşmasını engellemektedir. Şekil 49'da  $5 \text{ kg/m}^3$ , 10%  $\text{O}_2$  içeren egzoz gaz devridaimi koşulunda gerçekleştirilen yanma işleminin ham görüntüleri verilmiştir.





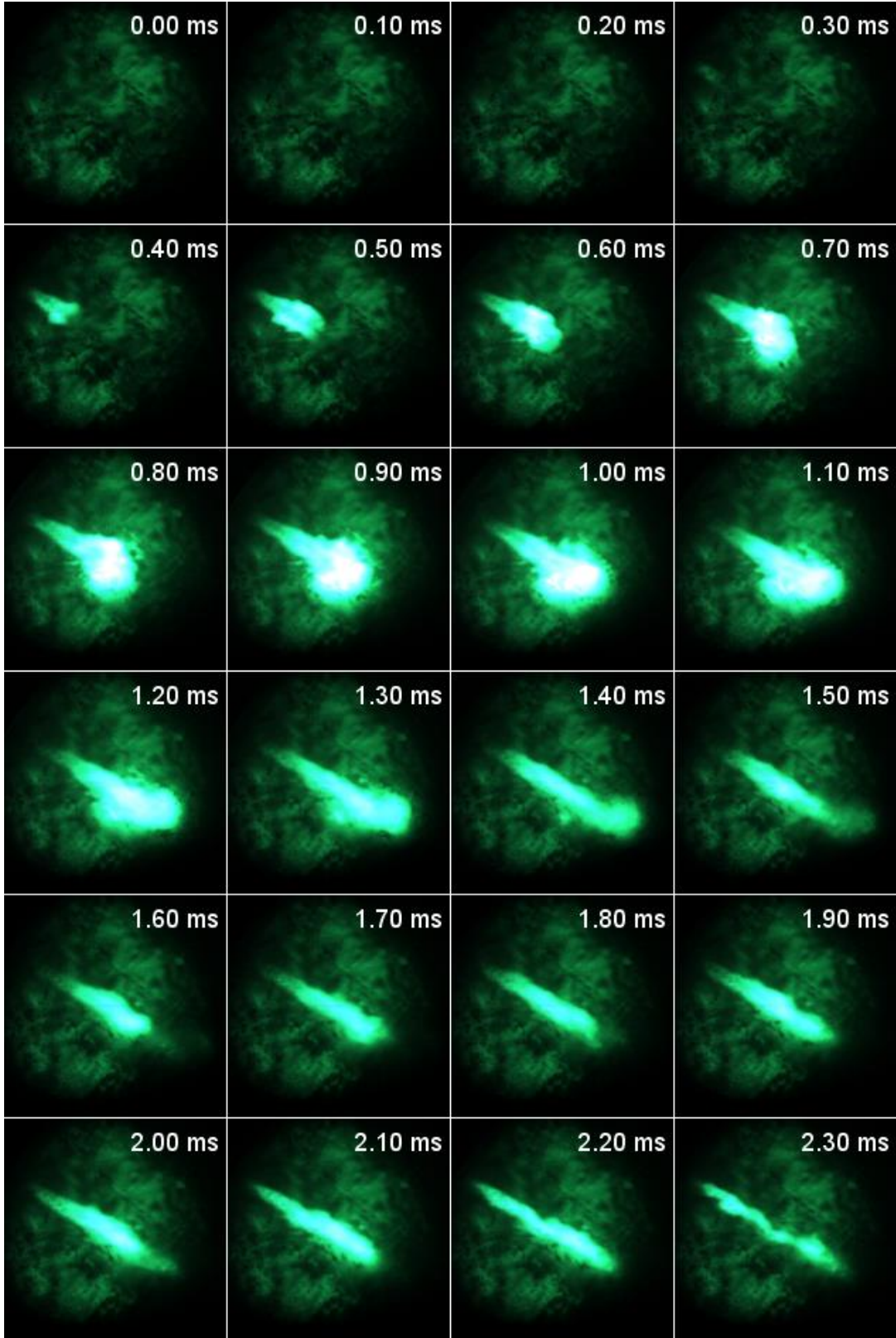
Şekil 49. 5 kg/m<sup>3</sup>, %10 O<sub>2</sub> içeren ortamda dizel yakıt enjeksiyonu ve yanma ham görüntüleri

Şekil 50'de 5 kg/m<sup>3</sup>, 15% O<sub>2</sub> içeren egzoz gaz devridaimi koşulunda gerçekleştirilen yanma işleminin ham görüntüleri gösterilmektedir.

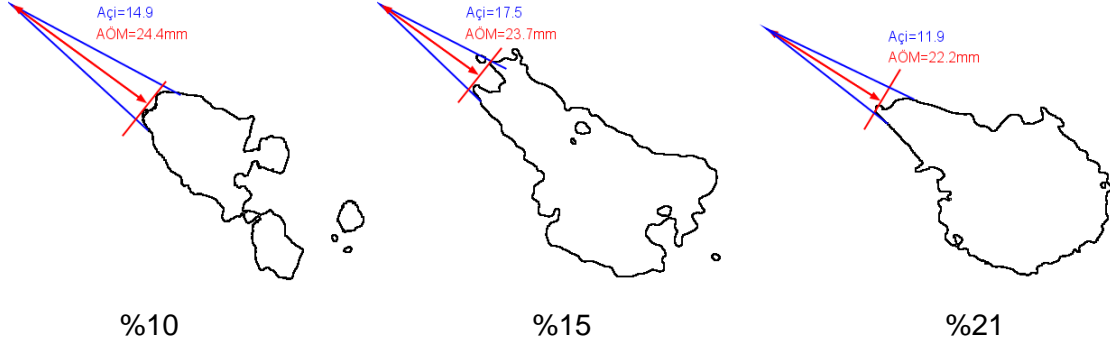


Şekil 50. 5 kg/m<sup>3</sup>, %15 O<sub>2</sub> içeren ortamda dizel yakıt enjeksiyonu ve yanma ham görüntüleri

Şekil 51'de 5 kg/m<sup>3</sup>, 21% O<sub>2</sub> içeren sitokiyometrik koşulda gerçekleştirilen yanma işleminin ham görüntüleri verilmiştir.

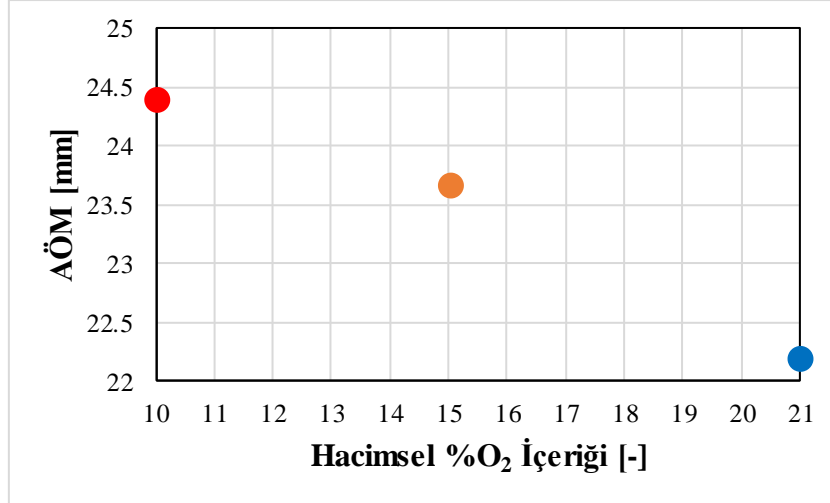


Şekil 51.  $5 \text{ kg/m}^3$ , %21  $\text{O}_2$  içeren ortamda dizel yakıt enjeksiyonu ve yanma ham görüntüleri Yanma sonucu elde edilen görüntülerin işlenmesi ile alev ötelenme mesafesi ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler sonucu elde edilen sonuçlar sprey görüntülerinin üzerinde Şekil 52'de verilmiştir.



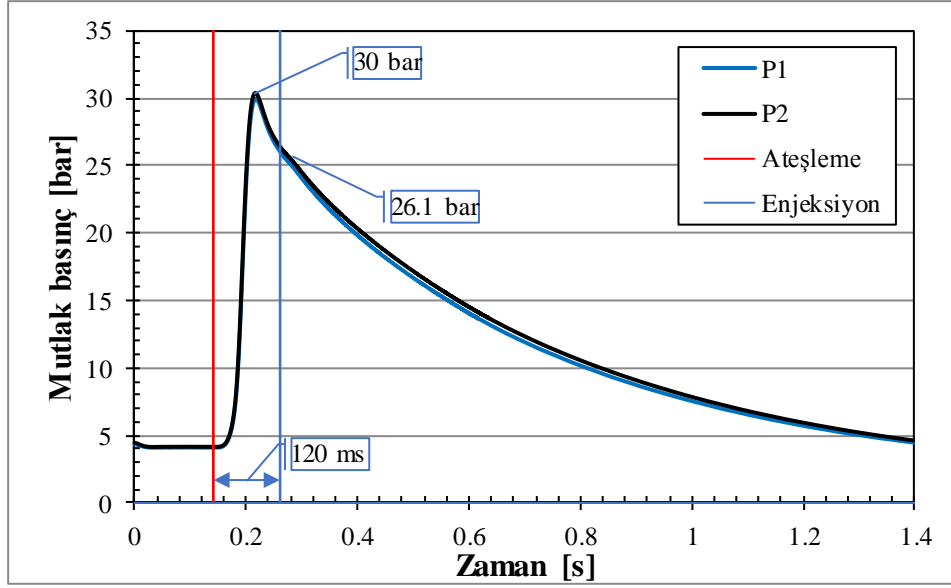
Şekil 52. Görüntü işleme sonucu %10, %15 ve %21 O<sub>2</sub> içeren ortamlardaki yanma sonucu elde edilen AÖM değerleri

AÖM ve yanma ortamındaki hacimsel oksijen içeriği değerleri arasındaki ilişki Şekil 53'de açıklanmıştır. Bu sonuçlara göre yanma ortamındaki hacimsel O<sub>2</sub> miktarı arttıkça AÖM'de ters orantılı olarak bir azalma eğilimi gözlenmiştir. Bu eğilim yakıt spreynin daha yüksek oksijen içeren ortamlarda enjektör ucuna daha yakın mesafede yanmaya başladığının göstergesidir.



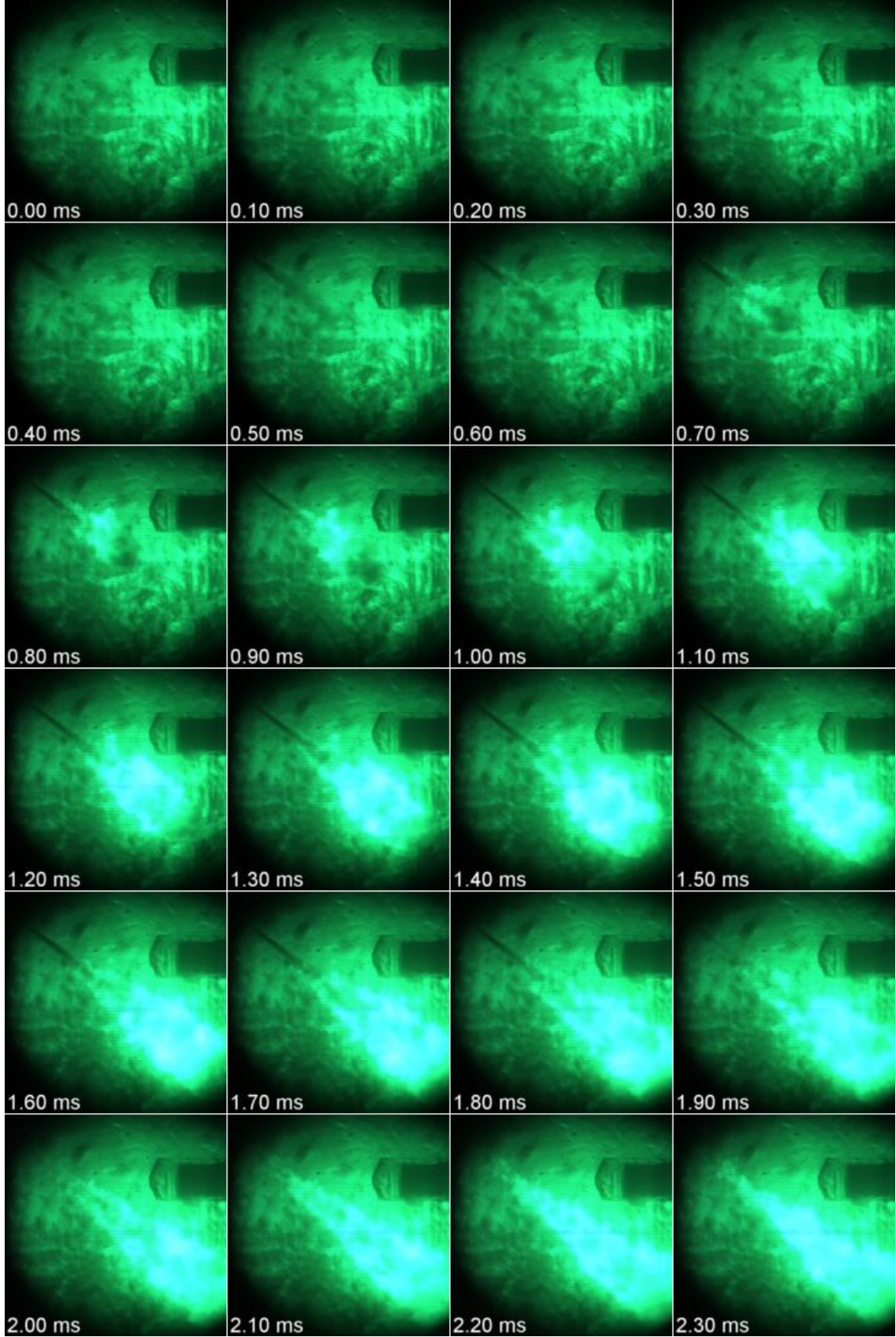
Şekil 53. AÖM ve hacimsel oksijen içeriği arasındaki ilişki

Biyodizel yakıt deneyleri de dizel yakıt ile gerçekleştirilen deneylerdeki aynı metotla gerçekleştirilmiştir. Şekil 54'de 5 kg/m<sup>3</sup> ve %10 hacimsel olarak oksijen içeriği olan yanma ortamında gerçekleştirilen deneyin mutlak basınç – zaman grafiği verilmiştir. Tüm deneysel parametreler dizel yakıt deneylerindeki ile aynı olup tek fark, yakıt olarak mısır bitkisinden elde edilen biyodizel yakıt kullanımındır.

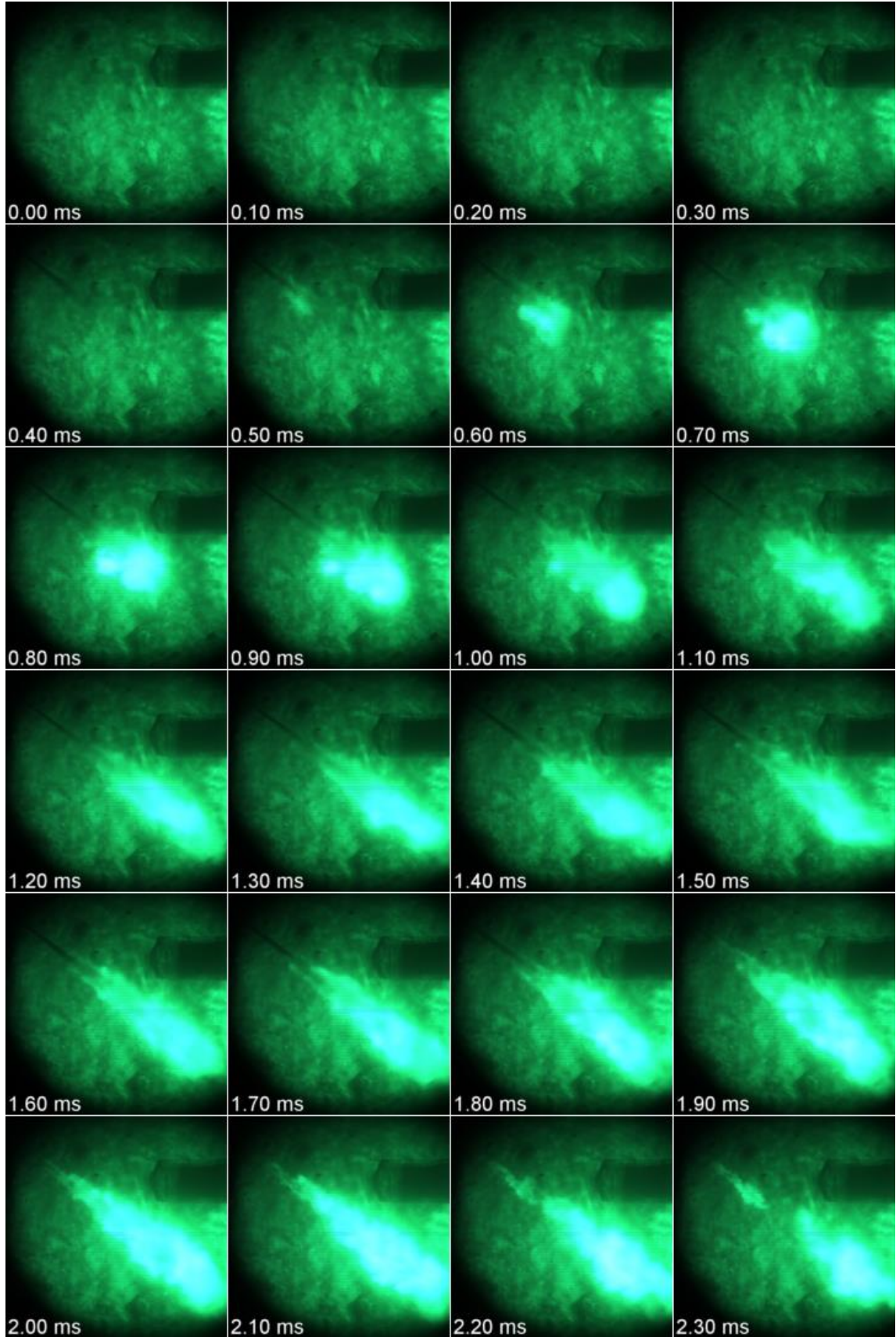


Şekil 54. 5 kg/m<sup>3</sup>, 10% O<sub>2</sub>, biyodizel ön yanma işlemi basınç-zaman grafiği, buji ateşleme ve yakıt enjeksiyon sinyalleri

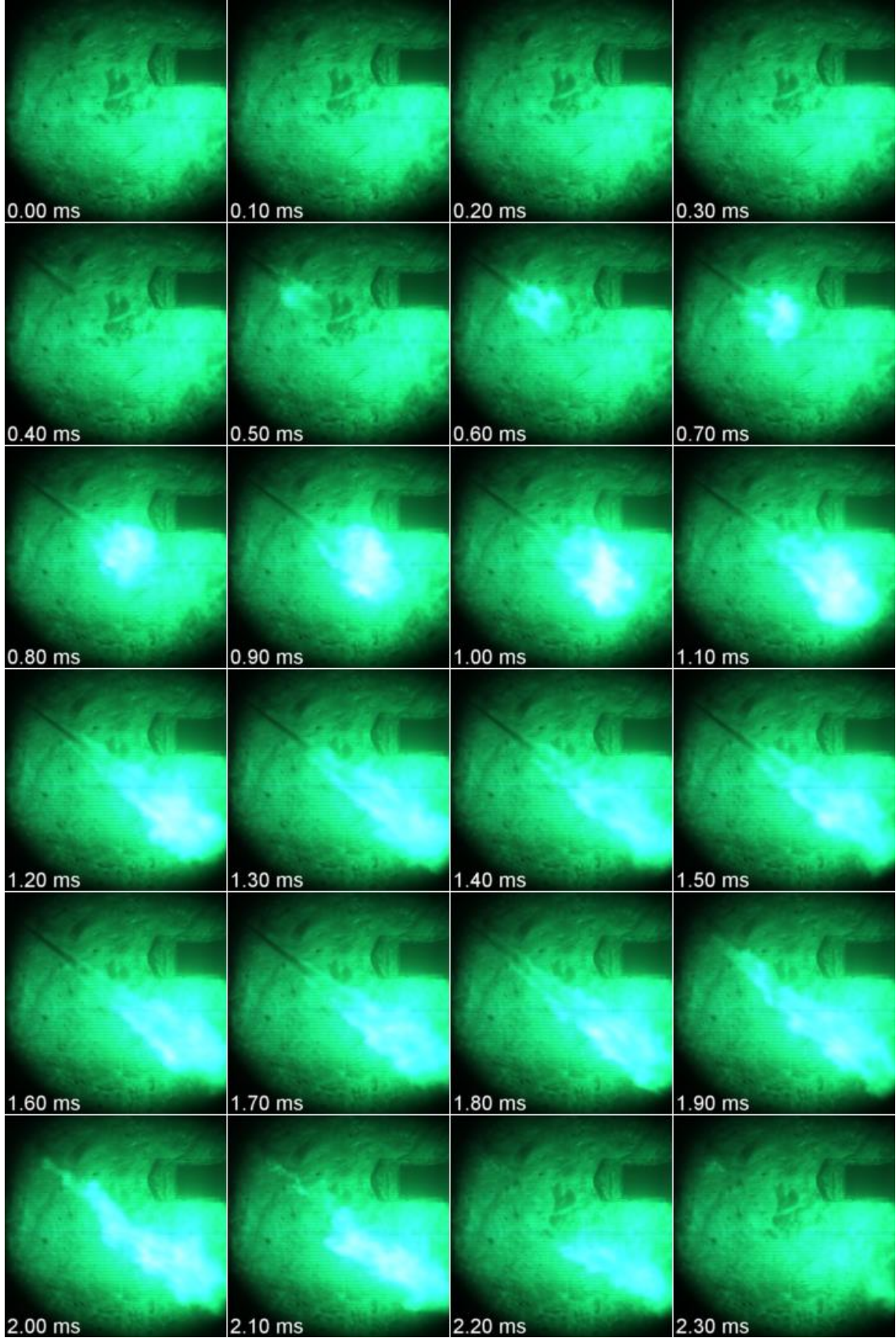
Şekil 55, Şekil 56 ve Şekil 57'de biyodizel yakıtın 5 kg/m<sup>3</sup> yoğunlukta, %10, %15 ve %21 O<sub>2</sub> içeren ortamlarda yanma deneylerinden alınan ham görüntüleri sırasıyla verilmiştir.



Şekil 55. 5 kg/m<sup>3</sup>, %10 O<sub>2</sub> içeren ortamda biyodizel yakıt enjeksiyonu ve yanma ham görüntüleri



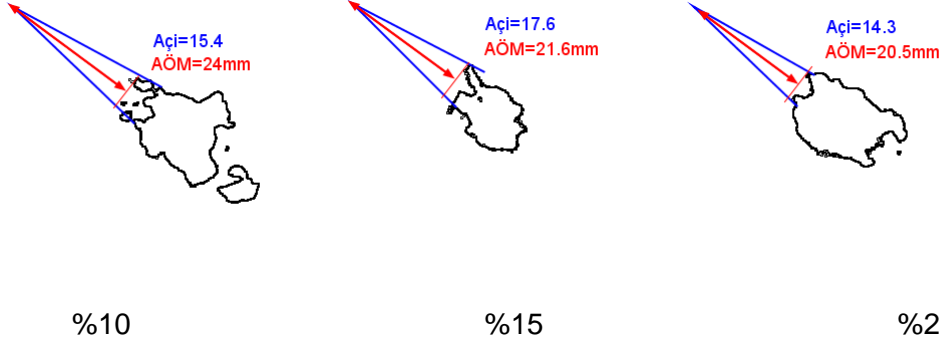
Şekil 56. 5 kg/m<sup>3</sup>, %15 O<sub>2</sub> içeren ortamda biyodizel yakıt enjeksiyonu ve yanma ham görüntüleri



Şekil 57. 5 kg/m<sup>3</sup>, %21 O<sub>2</sub> içeren ortamda biyodizel yakıt enjeksiyonu ve yanma ham görüntüleri

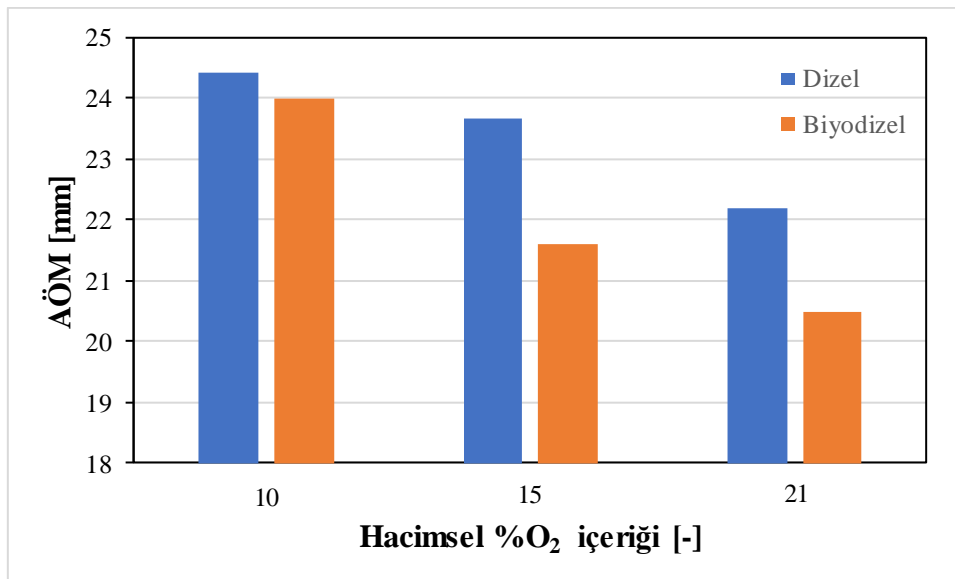


Dizel yakıt deneylerinde gözlemlendiği gibi biyodizel yakıt deneylerinde de AÖM ölçümlerinin yanma ortamında bulunan oksijen miktarı ile ters orantılı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Şekil 58'de ham görüntülerin işlenmesi sonucu elde edilen AÖM sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 58. Görüntü işleme sonucu %10, %15 ve %21 O<sub>2</sub> içeren ortamlardaki biyodizelin yanması sonucu elde edilen AÖM değerleri

Dizel ve biyodizel yakıtların AÖM'leri karşılaştırıldığında biyodizel yakıtın AÖM'lerinin dizelinkilere göre daha uzun olduğu görülmektedir. Şekil 59'da bu yakıtlar için AÖM değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Biyodizel yakıtın uçuculuğunun dizelinkine göre daha fazla olması ve viskozitesinin dizelinkinden daha düşük olması bu yakıtta AÖM'lerin daha kısa olmasına yol açmaktadır. Dizel yakıtın buharlaşması biyodizelinkine göre daha gecikmeli olduğundan bu yakıt spreyinde yanma enjektör ucundan biyodizelinkine göre daha uzak bir mesafede gerçekleşmektedir.



Şekil 59. Dizel ve biyodizel yakıtlardaki AÖM değerlerinin karşılaştırılması

## 5. SONUÇLAR

Bu projenin esas amacı ilk olarak sabit hacimli bir yanma odası imal etmek ve ardından setan sayısının çeşitli biyodizel yakıtlar için alev ötelenme mesafesi üzerindeki etkilerini gözlemlemektir.

Proje süresince, sabit hacimli bir yanma odası imal edilmiş, test edilmiş ve işlem yapmaya hazır hale getirilmiştir.

Bu yanma odasının karakteristik özelliklerini vurgulamakta fayda vardır çünkü dizel ve benzin sprelerinin yanma koşullarına ek olarak buharlaştırıcı ve buharlaştırıcı olmayan ortam koşulları altında da incelenmesine imkan sağlamaktadır.

Yanma işlemi gerçekleştirilmeden, reaktif olmayan koşullardaki dizel ve biyodizel yakıtın sprej penetrasyon uzunlukları farklı basınçlar altında hesaplanmıştır. Yakıtın uçuculuk değerinin artmasının sprej penetrasyon uzunluğu ile ters orantılı olduğu gözlenmiştir. Uçuculuk değeri daha yüksek olan biyodizel yakıtta sprej penetrasyon uzunluğunun dizelinkine göre daha kısa olduğu deney sonuçlarında elde edilmiştir.

Yanma işlemi gerçekleştirilerek yapılan, reaktif koşullardaki deneylerde dizel ve biyodizel yakıt sprelerinin farklı oksijen miktarı içeren yanma ortamlarındaki davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular dizel ve biyodizel yakıtların AÖM değerlerinin yakıtın uçuculuğuna göre ve yanma ortamındaki oksijen miktarına göre değiştiğini göstermektedir. Her iki yakıt deneylerinde de yanma ortamında bulunan oksijen içeriğinin artması AÖM değerinin kılmasına yol açmaktadır. Egzoz gaz devirdaimi koşullarında yakıt sprejinin enjektör ucundan daha uzak bir mesafede yani daha uzun AÖM'de yanmaya başladığını göstermektedir.



## KAYNAKLAR

- Baert, R. S. G., Frijters, P. J. M., Somers, B., Luijten, C. C. M., & de Boer, W. (2009). "Design and Operation of a High Pressure, High Temperature Cell for HD Diesel Spray Diagnostics: Guidelines and Results"., SAE Int., 2009-01-0649
- Cárdenas, M., Hottenbach, P., Kneer, R., & Grünefeld, G. (2009). "Investigations of Clusted Diesel Jets under Quiescent High-Pressure and High-Temperature Conditions using Mie, Schlieren and Chemiluminescence Imaging". *SAE Int. J. Engines*, 2(2), 272-286.
- Desantes, J. M., Pastor, J. V., García-Oliver, J. M., & Briceño, F. J. (2014). "An experimental analysis on the evolution of the transient tip penetration in reacting Diesel sprays". *Combustion and Flame*, 161(8), 2137-2150.
- Diez, A., Zhao, H., "Investigation of Split Injection in a Single Cylinder Optical Diesel". Society of Automotive Engineers (SAE Paper 2010-01-0605), 2010.
- Donkerbroek, A. J., Boot, M. D., Luijten, C. C. M., Dam, N. J., & ter Meulen, J. J. (2011). "Flame lift-off length and soot production of oxygenated fuels in relation with ignition delay in a DI heavy-duty diesel engine". *Combustion and Flame*, 158(3), 525-538.
- Elegeert, W., & Verhelst, S. p. (2014). "The visualization of vaporizing fuel sprays on the GUCCI setup": 2014, Ghent University
- Galle, J., Van De Maele, C., Defruyt, S., Verhelst, S., & Verschaeren, R. (2013). "Evaluation of Some Important Boundary Conditions for Spray Measurements in a Constant Volume Combustion Chamber", 2013-01-01610
- Galle, J., (2014), "Spray Atomization of Alternative Fuels in Medium Speed Diesel Engines", Ghent University
- Higgins, B., & Siebers, D. L. (2001). "Measurement of the Flame Lift-Off Location on DI Diesel Sprays Using OH Chemiluminescence". , SAE Int., 2001-01-0918
- Ito, T., Kitamura, T., Ueda, M., Matsumoto, T., Senda, J., & Fujimoto, H. (2003). "Effects of Flame Lift-Off and Flame Temperature on Soot Formation in Oxygenated Fuel Sprays"., SAE Int., 2003-01-0073



Kadota, T., Mizutani, S., Wu, C.-Y., & Hoshino, M. (1990). "Fuel Droplet Size Measurements in the Combustion Chamber of a Motored SI Engine via Laser Mie Scattering"., SAE Int., 900477

Larsson, A. (1999). *Optical Studies in a DI Diesel Engine.*, SAE Int., 199-01-3650

Musculus, M. P. B. (2003). "Effects of the In-Cylinder Environment on Diffusion Flame Lift-Off in a DI Diesel Engine", SAE International, 2003-01-0074

Münch, K.-U., & Leipertz, A. (1992). "Investigation of Spray Penetration and Fuel Distribution Inside the Piston Bowl of a 1.9 l DI Diesel Engine Using Two-Dimensional Mie Scattering", SAE Int., 922204

Naber, J., & Siebers, D. L. (1996). "Effects of Gas Density and Vaporization on Penetration and Dispersion of Diesel Sprays" *SAE Paper 960034*.

Pastor, J. V., Payri, R., Garcia-Oliver, J. M., & Briceño, F. J. (2013). Schlieren Methodology for the Analysis of Transient Diesel Flame Evolution. *SAE Int. J. Engines*, 6(3), 1661-1676.

Pickett, L. M., Siebers, D. L., & Idicheria, C. A. (2005). *Relationship Between Ignition Processes and the Lift-Off Length of Diesel Fuel Jets.*, SAE Int., 2005-01-3843

Siebers, D. L. (1998)., "Liquid-Phase Fuel Penetration in Diesel Sprays", *SAE Int*, 980809

Siebers, D. L., & Higgins, B. (2001). "Flame Lift-Off on Direct-Injection Diesel Sprays Under Quiescent Conditions.", 2001-01-0530

Siebers, D. L., Higgins, B., & Pickett, L. (2002). "Flame Lift-Off on Direct-Injection Diesel Fuel Jets: Oxygen Concentration Effects". 2002-01-0890

Venugopal, R., & Abraham, J. (2007). "A Review of Fundamental Studies Relevant to Flame Lift-off in Diesel Jets"., 2007-01-0134

Wu, Y., Huang, R., Liu, Y., Leick, M., & Lee, C.-f. F. (2010). "Effect of Ambient Temperature on Flame Lift-off and Soot Formation of Biodiesel Sprays"., SAE Int., 2010-01-0606

**TÜBİTAK  
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU**

Proje Yürütücüsü:	Yrd. Doç. Dr. ALVARO DIEZ
Proje No:	213M258
Proje Başlığı:	Biyodizel Yakıtlarda Alev Ötelenme (Lift-Off) Mesafesi Ve Ateşleme Gecikmesinin Çalışılması
Proje Türü:	3501 - Kariyer
Proje Süresi:	30
Araştırmacılar:	
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	İZMİR YÜKSEK TEKNOLOJİ ENS. MÜHENDİSLİK F. MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	01/04/2014 - 01/10/2016
Onaylanan Bütçe:	223797.0
Harcanan Bütçe:	132177.34
Öz:	<p>Bu araştırma projesi kapsamında, biyodizel yakıtların alev ötelenme mesafesi ve tutuşma gecikmesi, optik erişimi olan sabit hacimli bir yanma odası içerisinde incelenmiştir. Alev ötelenme uzunluğu ve tutuşma gecikmesi ölçümleri için Schlieren tekniği kullanılmıştır. Yakıt sprelerinin testi için sabit hacimli bir yanma odasının kurulumu ve testleri gerçekleştirilmiştir. Çevre hava koşullarının benzetimi için sabit hacimli bir yanma odası içerisinde argon, oksijen, azot ve asetilen gazlarından oluşturulan karışımın ön yanma işlemiyle yanma ortam koşulları oluşturulmuştur. Ön yanma işlemi için gerekli olan gaz karışımı oransal valflerin PID kontrolü ile gerçekleştirilmiştir. Tek delikli bir yakıt enjektörü, yakıt sprelerinin yanma odası içerisinde oluşturulması için kullanılmıştır. Farklı biyodizel yakıtların alev ötelenme mesafesi ile otomatik ateşleme arasındaki ilişkileri açıklamak üzere testler yapılmıştır.</p>
Anahtar Kelimeler:	Yanma odası, alev ötelenme mesafesi, tutuşma gecikmesi, yakıt spreyi, yakıt enjeksiyonu, biyodizel
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Evet