

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BENZİNLİ BİR MOTORDA ULTRASONİK ATOMİZER KULLANIMININ MOTOR
PERFORMANS VE EGZOZ EMİSYONLARI ÜZERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL
İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

BURAK TANYERİ

(101119202)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14 OCAK 2015

Tezin Savunulduğu Tarih : 23 ŞUBAT 2015

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Cengiz ÖNER (F.Ü)



Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Mustafa ÇANAKCI (K.Ü)



Prof. Dr. Mehmet KAPLAN(F.Ü)



Doç. Dr. Cumali İLKILIÇ (F.Ü)



Yrd. Doç. Dr. Halit L. YÜCEL (F.Ü)



ŞUBAT-2015

ÖNSÖZ

Doktora Tezi olarak hazırlamış olduğum bu çalışma İçten Yanmalı Motorlarda Ultrasonik Atomizer Kullanımının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonları üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Çalışmanın, gelişimi yavaşlamış otomotiv teknolojileri alanından yeni ufuklar açmasını ve yapılacak olan çalışmalara temel oluşturmasını temenni ederim.

Çalışma konusunun belirlenmesi, araştırmaların yürütülmesi ve incelenmesi, doktora tezimin yazımı ve tamamlanmasında büyük emekleri olan değerli danışmanım Doç. Dr. Cengiz ÖNER'e, çalışmaların elektrik-elektronikle ilgili bölümlerinde her türlü tecrübe ve bilgilerini esirgemeyen Doç. Dr. Mehmet GEDİKPINAR'a, çalışmanın görüntü işleme bölümünde büyük emekleri olan Arş.Gör. Orhan ATİLA'ya, çalışmanın deneyleri esnasında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Dr. Müjdat FIRAT ve Arş. Gör. Mutlu OKCU'ya, Mekatronik Mühendisleri Mehmet Tuğrul İSPİR ve Onur EROĞLU'na, değerli yönlendirmeleri ile Tez İzleme Komitesi Üyelerine teşekkür ederim.

Ayrıca doktora ders döneminden tezimin tamamlanmasına kadar olan meşakkatli süreçte, zaman zaman ihmal ettiğim eşime, oğluma ve aileme fedakârlıklarından ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ II

İÇİNDEKİLER III

ÖZET VII

SUMMARY VIII

ŞEKİLLER LİSTESİ..... IX

TABLolar LİSTESİ.....XII

SEMBOLLER VE KISALTMALAR..... XIII

1. GİRİŞ1

1.1. Sıkıştırma Oranı.....5

1.2. Hava/Yakıt Karışım Oranı5

1.3. Yanma Süresi7

1.4. Yanma Zamanı (Ateşleme Avansı)9

1.5. Mekanik Kayıplar10

1.6. Benzinli Motorlarda Yakıt Atomizasyon Yöntemleri.....11

1.6.1. Karbüratör Sistemi11

1.6.2. Benzin Püskürtme Sistemleri.....11

1.6.2.1. Karışım Teşkili.....12

1.6.2.2. Tek Nokta Yakıt Püskürtme.....14

1.6.2.3. Çok Nokta Yakıt Püskürtme15

1.6.2.4. Sürekli Püskürtme Sistemleri15

1.6.2.5. Püskürtme Sisteminin Karbüratör Sistemine Göre Avantajları.....15

1.6.2.6. Benzin Püskürtmede Yük Ayarı ve Karışım Kontrolü.....17

1.6.2.7. Elektronik Kontrollü Yakıt Püskürtme Sistemi18

1.6.2.8. Benzinli Motorlarda Direkt Püskürtme Teknikleri.....19

1.6.2.9.	Benzin Direkt Enjektörü Teknik Verileri	20
1.6.2.9.1.	Yüksek Basıncılı Direkt Püskürtme Enjektörü (HEDV5)	20
1.6.2.9.2.	HEDV5 Enjektörünün Fonksiyonları	20
1.6.2.9.3.	HEDV5 Enjektörünün Teknik Verileri.....	21
1.6.2.10.	Kademeli Dolgu.....	21
1.7.	Yakıt Parçalanması.....	22
1.7.1.	Ultrasonik Ses Üretimi ve Kullanım Alanları	25
1.7.2.	Ultrasonik Sesin Üretilmesinde Kullanılan Transdüserler	26
1.7.2.1.	Tranduser Çeşitleri	26
1.7.2.2.	Kullanım Çeşitlerine Göre Transducerler	28
1.7.2.3.	Ultrasonik Teknolojisinin Kullanım Alanları	29
1.7.2.4.	Ultrasonik Kaviteasyon	30
1.7.2.5.	Ultrasonik Kaviteasyon Yoğunluğuna Etki Eden Faktörler	32
1.8.	Damlacık Boyutu Ölçme Yöntemi	37
1.8.1.	Direkt Olmayan Damla Çapı Ölçüm Yöntemleri	39
1.8.1.1.	Kaplamalı Lamlar.....	39
1.8.1.2.	Kaplamalı Filmler	40
1.8.1.3.	Duyarlı Kağıtlar	40
1.8.1.4.	Damlaları Bir Sıvı İçine Düşürerek Ölçme	41
1.8.1.5.	Lifli Ortamlar.....	41
1.8.2.	Direkt Damla Çapı Ölçüm Yöntemleri	42
1.8.2.1.	Fotoğrafik Ölçüm Yöntemleri	42
1.8.2.2.	Lazer Esaslı Ölçüm Yöntemleri.....	43
2.	MATERYAL VE METOT	47
2.1.	Ultrasonik Ses Üretici Dizaynı ve Elemanları	47
2.1.1.	Anahtarlama Devresi	48
2.1.2.	Yükselteç Devresi (boost tipi dc-dc konvertör)	50

2.1.3.	Frekans Devresi.....	50
2.1.4.	Piezoelektrik seramik sensör	52
2.1.4.1.	Piezoelektrik Rezonans	53
2.1.4.2.	Piezoelektrik Seramiğin Özellikleri.....	54
2.2.	Ultrasonik Ses Üreticinin Çalışma Prensibi	54
2.3.	Deney Düzenğinde Kullanılan Damlacık Boyutu Ölçme Yöntemi	55
2.3.1.	Deneyde Kullanılan Dijital Mikroskopik USB Kamera ve Teknik Özellikleri	56
2.3.2.	Görüntüleme Deney Düzeninin Şematik Görüntüsü ve Çalışma Prensibi	58
2.3.3.	Görüntü İşleme Programı ve Görüntünün İşlenmesi	58
2.3.3.1.	Başlangıç.....	61
2.3.3.2.	Filtreleme ve Görüntü İyileştirme	61
2.3.3.3.	Kenar Çıkartma ve Morfolojik İşlemler	63
2.3.3.4.	Damlacık Etiketleme	63
2.3.3.5.	Daire Uydurma İle Damlacık Çapı Hesaplanması.....	65
2.3.3.6.	Raporlama ve Grafikselleştirme	66
2.4.	Taşıt Deneyleri ve Deney Düzenine	66
2.4.1.	Deneyde Kullanılan Taşıt.....	67
2.4.2.	Deneyde Kullanılan Şasi Dinamometresi	68
2.4.3.	Egzoz Emisyon Test Cihazı.....	69
2.4.4.	Yakıtmetre.....	71
2.4.5.	Eğik Manometre.....	71
2.4.6.	LPG Mikseri.....	72
2.4.7.	Hassas Terazisi	73
2.4.8.	Ultrasonik Atomizerin Deney Motoruna Bağlanması	74
2.5.	Taşıt Performans Deneylerinin Yapılışı	75

2.5.1.	Belirlenen Deney Şartları.....	75
3.	BULGULAR.....	76
3.1.	Damlacık Boyutu Bulguları	76
3.2.	Motor Performans Bulguları	81
3.3.	Hava Fazlalık Katsayısı Bulguları.....	86
3.4.	Egzoz Emisyonu Bulguları.....	88
3.4.1.	Karbon Monoksit (CO) Emisyonu	88
3.4.2.	Karbon Dioksit Emisyonu (CO ₂).....	89
3.4.3.	Hidrokarbon Emisyonu (HC).....	90
3.5.	Özgöl Yakıt Tüketimi	92
4.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	95
5.	ÖNERİLER.....	97
	KAYNAKLAR.....	98
	ÖZGEÇMİŞ	102
	EKLER	103
	KONTROL KARTI MİKRO İŞLEMCİ PROGRAMI.....	103
	GÖRÜNTÜ İŞLEME PROGRAMI.....	106

ÖZET

Bu çalışma, buji ile ateşlemeli motorların hava yakıt karışımı hazırlama sistemlerine alternatif yeni bir yöntem olarak ultrasonik atomizer kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkilerini belirlemek üzere yapılmıştır. Yakıt, yüksek frekanslı ses dalgası ile atomize edilerek, atomizasyon performansı belirlenip, günümüzde en son teknolojiye sahip benzin direk püskürtme sistemi olan GDI (Gasoline Direct Injection) sisteminin literatürü ile karşılaştırılması yapılmıştır. Aynı şekilde Ultrasonik Yakıt Sistemi (USYS)'ne sahip motor ile Orijinal Yakıt Sistemi (OYS)' ne sahip motor, motor performans ve egzoz emisyonları yönünden kıyaslanmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde konuya giriş yapılarak konu ile ilgili mevcut literatür çalışmaları incelenmiştir. İkinci bölümde, deneysel yöntem tanıtılmış, üçüncü bölümde elde edilen veriler sunulmuştur. Dördüncü bölümde, elde edilen sonuçlar tartışılarak yorumlanmış ve ilgili literatür ile ilişkilendirilmiştir. Beşinci ve son bölümde öneriler verilerek çalışma tamamlanmıştır.

Sonuç olarak USYS sahip motorun, GDI sistemine benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Ortalama damlacık çapı GDI enjektöründe 15 μm iken, Ultrasonik atomizerde 12 μm olarak ölçülmüştür. Efektif güçte OYS'e sahip motora göre bir değişim görülmezken, Motor torkunda bir miktar azalma olmuştur. Özgül yakıt tüketiminde OYS'ne göre %30 civarında azalma olduğu gözlenmiştir. Egzoz emisyonların tamamında ciddi miktarda iyileşme olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ultrasonik Atomizer, Yakıt Atomizasyon, Yakıt Püskürtme Sistemi

SUMMARY

The Experimental Investigation of Ultrasonic Atomizer Effect on Engine Performance and Exhaust Emissions in A Spark Ignition Engine

This study was made for to determine that the effect of ultrasonic atomizer, which is an alternative to prepare of air/fuel mixture, on engine performance and exhaust emission at spark ignition engine. The fuel was atomized with high frequency sound wave instead of high pressure, and the atomization performance was comparison with literature of gasoline direct injection (GDI) system that is latest technology in this area. At the same way the engine of USFS was compared with the engine of OFS in terms of engine performance and exhaust emission.

In the first chapter of the study, the subject was introduced and novel literature samples with relation to the subject were given. In the second chapter, the experimental method was described while the third chapter tells us the experimental findings. In the fourth chapter, the gathered experimental results were discussed deeply and associated with literature. In the fifth and final chapter, the study was completed with giving the recommendations.

As a result, the engine of USFS was found to give similar result with the engine of GDI. While the droplet diameter is 15 microns at the GDI injector, at the USFS is 12 microns. According to there was no change at the effective power. At the engine torque was a little decrease. The specific fuel consumption has decreased % 30 at the USFS. At the all exhaust emission have seen significant improvement

Key Word: Ultrasonic Atomizer, Fuel Atomization, Method of Fuel Spray

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. İçten Yanmalı Motorlarda Enerji Dengesi	4
Şekil 1.2. Buji ile ateşlemeli bir motorda Hava/Yakıt oranının egzoz emisyonları ve motor gücüne etkisi	7
Şekil 1.3. Silindir Basıncının KMA' na Bağlı Olarak Değişimi	8
Şekil 1.4. Ateşleme Avansının Motor Momentine Etkisi	9
Şekil 1.5. İçten Yanmalı Motorlarda Sürtünme Kayıpları	10
Şekil 1.6. Püskürtme Yeriine Göre Enjeksiyon Sistemleri	13
Şekil 1.7. Tek Nokta Yakıt Püskürtme Sistemi	14
Şekil 1.8. Çok Nokta Yakıt Püskürtme Sistemi	15
Şekil 1.9. EFI (Elektronik Yakıt Enjeksiyon Sistemi).	18
Şekil 1.10. Benzin Direkt Püskürtme Enjektörü ve Ölçüleri	20
Şekil 1.11. KH-RT yakıt demeti parçalanma modeli	23
Şekil 1.12. Piezoelektrik Transduser	26
Şekil 1.13. Magnetostrictive Transduser	27
Şekil 1.14. Elektromanyetik transduser	27
Şekil 1.15. Elektrostatik Transduser	27
Şekil 1.16. Sıvılı Transduserler	28
Şekil 1.17. Ultrasonik Kaviteasyon Bulutu	30
Şekil 1.18. Kabarcık Gelişimi ve Patlaması	31
Şekil 1.19. Ultrasonik Kaviteasyon Oluşum Aşamaları	32
Şekil 1.20. Frekans ve Kaviteasyon Enerjisi İlişkisi	33
Şekil 1.21. Statik Basıncın 40°C (□), 70°C (○) ve 120°C (Δ) sıcaklıkta ultrasonik çıkış gücüne etkisi	35
Şekil 1.22. 0 (■) ve 200 kPa (●) basınçta başlangıç sıcaklığının ultrasonik (120 kHz) çıkış gücüne etkisi	35
Şekil 1.23. 20 Khz Frekans 0 Pa V-Basınçta Viskozitenin Ultrasonik Çıkış Gücüne Etkisi.	36
Şekil 1.24. VMD çapının şematik gösterimi	38
Şekil 1.25. Suyu Duyarlı Kartlar	41

Şekil 1.26. Kızgın Telli Damla Sensörü.....	42
Şekil 1.27. Malvern Parçacık Analiz Sistemi.....	44
Şekil 1.28. Lazer Doppler Parçacık Analiz Sistemi.....	45
Şekil 1.29. Fotodetektörlü Parçacık Analiz Sistemi	46
Şekil 2.1. Ultraosnik Ses Üreteci Devre Elemanları.....	47
Şekil 2.2. Anahtarlama Devresi	48
Şekil 2.3. Kontrol Kartı Devresi ARES Çizimi.....	49
Şekil 2.4. Yükselteç Devresi	50
Şekil 2.5. Frekans Devresi.....	51
Şekil 2.6. Piezoelektrik Seramik Sensör	52
Şekil 2.7. Bir Piezoelektrik Kristalin Akım Uygulanması Halinde Değişimi.	53
Şekil 2.8. Ultrasonik Atomizasyon Başlamadan Önce ve Başladıktan Sonraki Görüntüsü	55
Şekil 2.9. Deneyde Kullanılan Dijital Mikroskopik Kamera	56
Şekil 2.10. Görüntüleme Deney Düzeneği Şematik Görüntüsü	58
Şekil. 2.11. Görüntü İşleme Programı Akış Diyagramı	60
Şekil 2.12. Program Çalışma Başlangıcı ve Görüntü Alma	61
Şekil 2.13. Deneylerden Elde Edilen Orijinal Görüntü	62
Şekil 2.14. Filtrelenmiş Görüntü	62
Şekil 2.15. Kenar Bulma ve Morfolojik İşlemlerden Sonraki Görüntü.....	63
Şekil 2.16. Damlacık Etiketleme İşlemi Sonrası Görüntüsü	64
Şekil 2.17. Şekil 2.16.'daki Görüntünün Büyütülmüş Görüntüsü.....	64
Şekil 2.18. Daire Uydurma İle Damlacık Çapı Hesaplanması	65
Şekil 2.19. Raporlama ve Grafik Oluşturma	66
Şekil 2.20. Şasi Dinamometresi.....	69
Şekil 2.21. Bosch BEA 350 Egzoz Emisyon Analiz Cihazı	70
Şekil 2.22. Deneyde Kullanılan Yakıtmetre ve Giriş Çıkış Sensörleri	71
Şekil 2.23. Deneyde Kullanılan Eğik Manometre	72
Şekil 2.24. LPG Mikseri.....	72
Şekil 2.25. Hassas Terazî	73
Şekil 2.26. Ultrasonik Atomizerin Deney motoruna Bağlanması	74
Şekil 3.1. Ultrasonik Atomizerde Oluşturulan Damlacıkların Çapı ve Dağılımı	76
Şekil 3.2. Ultrasonik Ses Frekans Aralıklarının İşlevi.....	77
Şekil 3.3. Frekansa Bağlı Olarak Damlacık Boyutu Değişimi	78

Şekil 3.4. Farklı Sıvıların Ultrasonik Atomizer ile Atomizasyonunun Karşılaştırılması	78
Şekil 3.5. Ultrasonik Nozul Damlacık Çapı ve Dağılımı	79
Şekil 3.6. Değişik Basınçlarda GDI Enjektörü Damlacık Boyutu Dağılımı.	80
Şekil 3.7. Orijinal Yakıt Sistemine Sahip Motorun Performans Değerleri	81
Şekil 3.8. Ultrasonik Atomizer Kullanılan Motorun Performans Değerleri	83
Şekil 3.9. Orijinal Yakıt Sistemi ve Ultrasonik Yakıt Sisteminde Hava Fazlalık Katsayısının Devre Bağlı Olarak Değişimi	86
Şekil 3.10. OYS ve USYS' e Sahip Motorlarda CO Emisyonlarının Değişimi	88
Şekil 3.11. OYS ve USYS' e Sahip Motorlarda CO ₂ Emisyonlarının Değişimi	89
Şekil 3.12. OYS ve USYS' e Sahip Motorlarda HC Emisyonlarının Değişimi	91
Şekil 3.13. OYS ve USYS'e Ait Özgül Yakıt Tüketimi Değişimi	93
Şekil 3.14. OYS ve USYS Efektif Verim Karşılaştırması	94

TABLÖLER LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1. AB Emisyon Standartları (Binek otomobiller) Kategori gr/km.....	1
Tablo 1.2. Püskürtme Sistemlerinin Sınıflandırılması.	13
Tablo 1.3. HEDV5 Enjektör Teknik Verileri	21
Tablo 1.4. Ultrasonik Kaviteasyon Enerjisinin Bazı Değişkenlerle Fonksiyonel İlişkisi	37
Tablo 1.5. Damla Karakteristik Çaplarına Göre Pülverizasyonların Sınıflandırılması	39
Tablo 2.1. Ultrasonik Ses Üreticinin Teknik Verileri	54
Tablo 2.2. Dino-Lite Mikaroskopik Dijital Kamera Teknik Özellikleri.....	56
Tablo 2.3. Mikroskopik Kamera Çalışma Verileri	57
Tablo 2.4. Deneyde Kullanılan Taşıtın Teknik Verileri	67
Tablo 2.5. Şasi Dinamometresi Teknik Özellikleri	69
Tablo 2.6. Bosch BAE 350 Benzin Modu Emisyon Değerleri Ve Hassasiyeti.....	70
Tablo 3.1. Sıvıların Yüzey Gerilimi ve Yoğunlukları.	79

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

f: Frekans (Hz)

p: Basınç (bar)

r: Yarıçap

ρ : Yoğunluk

λ : Hava Fazlalık Katsayısı

PM: Partikül Madde

NO_x: Azot Oksitler

HC: Hidrokarbon

CO: karbon monoksit

CO₂: Karbon Dioksit

DPF: Dizel Partikül Filtresi

ECU: Elektronik Kontrol Ünitesi

HFK: Hava Fazlalık Katsayısı

EFI: Elektronik Yakıt Enjeksiyon Sistemi

HEDEV5: Yüksek Basıncılı Direkt Püskürtme Enjektörü

MHI: Çok Delikli Enjektör

SMD: Sauter Ortalama Çap

OYS: Orijinal Yakıt Sistemi

USYS: Ultrasonik Yakıt Sistemi

1. GİRİŞ

Motorlu taşıtlar yaşıntımızın bir parçası ve aynı zamanda vazgeçilmez bir unsuru haline gelmiştir. Ancak, yaşıntımıza getirdiği çok büyük kolaylıkların yanı sıra birçok probleminde ortaya çıkmasına neden olmuştur. Motorlu taşıtların fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri için gerekli olan enerji bugün için büyük ölçüde petrole bağlıdır. Bundan dolayı yakıt tüketimindeki hızlı artışa bağlı olarak yakıt temininde karşılaşılan güçlükler de giderek artmaktadır. Ayrıca motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliği ve gürültü düzeyi ciddi bir problem olarak insan sağlığını tehdit edecek boyutlara ulaşmıştır [1]. Bu nedenle başta Avrupa Birliği ABD ve Japonya olmak üzere ülkeler önlemler almaya başlamakta, emisyon standartlarını yükseltmek zorunda kalmaktadır. Bu standartlar çerçevesinde otomotiv firmalarından, motor üreticilerinden ve yakıt sistemi aksamı üreten yan sanayilerden, otomotiv kaynaklı atık gazların çevresel etkilerini azaltmaya yönelik çözümler, beklentilerin ötesinde uyulması gereken seviyeler (Euro 5, Tier 2 gibi) belirtilerek zorunluluk haline getirilmektedir [2].

Tablo 1.1. AB Emisyon Standartları (Binek otomobiller) Kategori gr/km

Seviyeler	Tarih	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
Diesel						
Euro 1†	07.1992	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	0.14 (0.18)
Euro 2, IDI	01.1996	1.0	-	0.7	-	0.08
Euro 2, DI	01.1996 ^a	1.0	-	0.9	-	0.10
Euro 3	01.2000	0.64	-	0.56	0.50	0.05
Euro 4	01.2005	0.50	-	0.30	0.25	0.025
Euro 5‡	09.2009 ^b	0.50	-	0.23	0.18	0.005
Euro 6‡	09.2014	0.50	-	0.17	0.08	0.005
Petrol (Benzin)						
Euro 1†	07.1992	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	-
Euro 2	01.1996	2.2	-	0.5	-	-
Euro 3	01.2000	2.30	0.20	-	0.15	-
Euro 4	01.2005	1.0	0.10	-	0.08	-
Euro 5‡	09.2009 ^b	1.0	0.10 ^c	-	0.06	0.005 ^d
Euro 6‡	09.2014	1.0	0.10 ^c	-	0.06	0.005 ^d

*Euro 1..4 seviyelerinde, binek araçlar > 2,500 kg kategori N₁ araçlar olarak kabul edildi
† Parantez içindeki değerler üretime uyma sınırları
‡ Önerilen
a - 30.09.1999'a kadar (sonrasında DI motorlar IDI sınırlarına uymak zorunda)
b - araçlar > 2,500 kg için 09.2010
c - ve NMHC = 0.068 g/km
d - sadece DI motorları kullanan araçlara uygulanabilir

Zararlı etkileri kısıtlanmaya çalışılan emisyonların Avrupa Birliği tarafından konulan sınır değerleri Tablo 1.1’de gösterilmiştir. Çevre kirliliğine yönelik kaygıların başladığı 60’lı yıllara ve öncesine göre araç emisyonları ciddi iyileşme göstermesine rağmen denge, kirlenme yönünde hızla bozulmaya, hatta yavaşlatabilmenin ötesinde, artan ivmeyle devam etmektedir [2].

Başlangıçta motor üreticileri emisyon sınırlamalarının yakalanmasında maliyet açısından çok da zorlanmıyorlar ve şikayetçi olmuyorlardı. Ancak 90’lı yılların ortasından itibaren emisyon seviyeleri üretim, malzeme ve yakıt teknolojilerinin sınırlarını zorlayacak şekilde düşürüldü. Motor üreticileri HC emisyonlarını düşürmede oldukça başarılı olurken NO_x ve PM (partikül madde) emisyonlarının zıt yönlü davranışı dolayısıyla aynı başarıyı gösterememektedirler. Bu nedenle NO_x ve PM üzerine yoğunlaşarak, daha duyarlı motor tasarımları, yanma ve yakıt teknolojilerine yöneldiler. İlk olarak yanma odası tasarımı, yakıt ve katkı madde teknolojilerinin geliştirilmesi, atık gazların yeniden kullanımı çalışmalarının yoğunlaştığı noktalar olarak belirlendi.

Emisyon kontrol teknolojileri içerisinde etkili emisyon düşüşleri motorda en iyi yanmayı sağlayacak hava yakıt karışımları ile mümkün olabilmektedir. Bu durum, silindir içerisine giren havanın hareketi, yakıtın püskürme geometrisi ve atomizasyonu ile sağlanmaktadır. Emisyonların azaltılmasında NO_x kontrol teknolojileri içerisinde sayılabilecek bir yöntem içeriye gönderilen havanın soğutulmasıdır (intercoller). İntercoller yöntemiyle motorun yanma odasına giren hava arttırılarak daha fazla yakıtın kullanılabilmesi ve daha fazla güç elde edilmesi sağlanır. Eğer sıcaklık düşüşü belli seviyelerde tutulabilirse PM artışının da önüne geçilebilir.

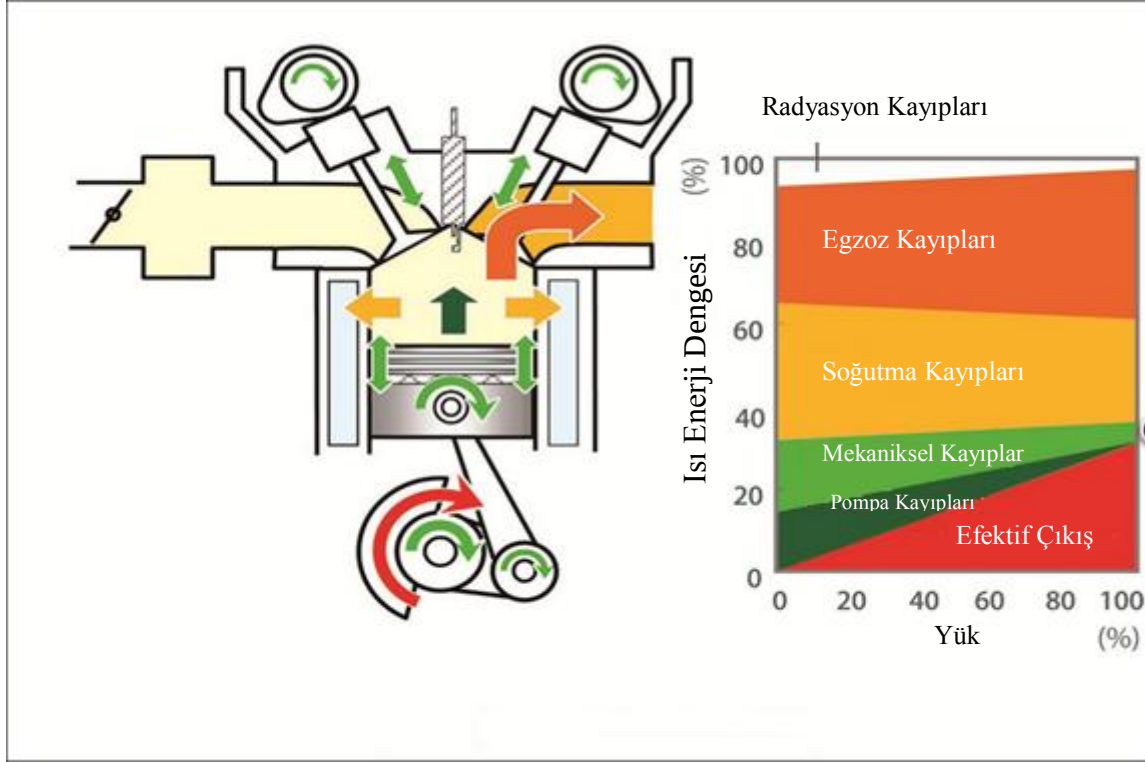
Yanma odasının tasarımı, emisyonlar için diğer bir önemli tasarım parametresidir. Yanma odasının şekli, enjektörün konumu, sıkıştırma oranları egzoz emisyonları üzerinde ciddi rol oynamaktadır. Bunların yanında birçok dizel motorda kullanılan atık gaz geri dönüşüm sistemleri (exhaust gas recirculation), NO_x emici katalizörler, kimyasal işlem, su ekleme gibi yöntemler NO_x düşürmede etkin olarak kullanılmakta, fakat diğer yandan yakıt tüketimine, PM ve HC emisyonlarına yönelik olumsuz yan etkileri de doğurabilmektedir.

Benzer şekilde PM kontrol teknolojileri içerisinde yanma odasının tasarımı, hava şarj sistemleri, dizel oksidasyon katalizörleri ve gittikçe artan Almanya’dan başlayarak kullanımı zorunlu tutulmaya başlanılan dizel partikül filtreleri (DPF) sayılabilir.

Emisyon seviyelerinin düşürülmesinde diğer önemli etken yakıt kalitesinin iyileştirilmesidir. Setan sayısının yükseltilmesi, kinematik viskozitenin yükseltilmesi, aromatik içeriğin düşürülmesi, katkı maddeleri üzerindeki geliştirilmeler yakıt özelliklerinin emisyonlara etkisini gösterir. NO_x katalizörleri ve DPF gibi teknolojiler de sülfür oranına duyarlı olduklarından, son yıllardaki sülfür oranlarının düşürülmesine yönelik iyileştirmeler bu teknolojilerin uygulanabilirliğini arttırmıştır. Ayrıca petrol kaynaklarının sınırlılığı, kaynakların belli bölgelere dağılmış olması ve yükselen fiyatları dolayısıyla alternatif yakıtların geliştirilmesine yönelik çalışmalar önemli bir rol oynamaya başlamıştır. Biodizel üretimi, geliştirilmesi, ve kullanımı yaygınlaşmaktadır. AB Komisyonu, Avrupa Birliği'nin enerji ve iklim değişikliği stratejisi doğrultusunda sera etkisi yaratan gazların emisyonunun 2020 yılına kadar en az %20 oranında azaltılmasını karara bağlamıştır. Bu değere ulaşabilmek için en etkin yöntemlerden birinin biyoyakıt kullanımı olduğu belirlenip, biyoyakıt kullanımının %10 seviyesine çıkarılması planlanmıştır [3].

Benzin motorlu araçlarda yakıt tüketiminde maksimum ekonomiklik ve dolayısıyla emisyonları azaltma stratejisine bağlı olarak üreticiler 2010 ile 2015 yılları arasındaki süreçte; turbo-direk benzin enjeksiyonu, değişken supap zamanlaması, entegre marş-alternator ünitesi ve ECO Routing gibi teknolojiler üzerine çalışılmaktadır. 2015 ile 2020'li yıllarda ise ultra fakir karışımlı direk enjeksiyonlu benzinli motorlar, değişken silindir oranı, silindirlerin devre dışı bırakılması, ağırlık azaltma, araçta uzman/akıllı ısı yönetimi ve egzoz ısı kazanım yönetimleri gibi konularda yoğun çalışmaların olması beklenmektedir. 2020 ile 2025 yılları arasında ise; kontrollü otomatik ateşleme, elektro-mekanik supap yönetimi, motorlarda ve taşıtlarda hibrid ve türevleri gibi konular önem taşıyacaktır [4].

Her ne kadar günümüz teknolojilerinde yakıt tasarrufu ve egzoz emisyonlarının iyileştirilmesinde yüksek başarı elde edilse de, kullanılan yakıtların enerjilerinin tamamından faydalanılamamaktadır.



Şekil 1.1. İçten Yanmalı Motorlarda Enerji Dengesi.

Şekil 1.1.'de enerji balansı verilen taşıtta, yakıtla sağlanan enerjinin %65 kadarı çeşitli nedenlerle (zorunlu olarak) kaybedilmekte, ancak % 35 kadarından tahrik enerjisi olarak faydalanılabilmektedir[5]. Elde edilen tahrik enerjisini arttırabilmenin 6 yolu vardır.

Bunlar;

Sıkıştırma oranı

Hava yakıt karışımı oranı

Yanma zamanlaması

Yanma süresi

Pompalama kayıplarını giderme

Mekanik kayıpları giderme

Gibi etmenlerin iyileştirilmesi ile mümkün olmaktadır.

1.1. Sıkıştırma Oranı

Sıkıştırma oranı içten yanmalı motorlarda motor performans ve verimini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Artan sıkıştırma oranıyla sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklıkları yükselmekte, dolayısıyla yanma sonu hızı artarak ortalama efektif basınç yükselmektedir. Sıkıştırma oranının vurutuya neden olmayacak kadar yükseltilmesiyle motor termik verimi artmaktadır [6]. Genişleme kursunun son kısmındaki düşük sıcaklıklar sonucu soğutma kayıpların azalmasıyla artan termal verimden dolayı soğutucuya olan ısı kaybı, sıkıştırma oranı artışı ile azalmaktadır [7]. Sıkıştırma oranının artışı silindir sıcaklığını arttırırken tutuşma gecikmesini azaltmaktadır. Maksimum basıncın oluşma yeri üst ölü nokta (ÜÖN)'ya yaklaşmakta, basınç yükselme hızı ise sıkıştırma oranı ile birlikte artmaktadır. Fakat yanma ve basınç yükselme hızı, yanma odasında vurutunun oluşmaması için belirleyici parametreler olup sıkıştırma oranının artışı sınırlandırmaktadır. Sıkıştırma oranının artışı ile oluşacak vurutu, belirli bir noktaya kadar ateşleme avansı değişimi ile kontrol edilebilir. Artan sıkıştırma oranından maksimum verimi elde edebilmek için ateşleme avansının bir miktar azaltılması gerekmektedir [8]. Sıkıştırma oranının artışı yanma verimini arttırdığından CO emisyonlarını azaltmaktadır. Yanma odası yüzey/hacim ilişkisi sıkıştırma oranı artışı ile lineer olarak artmakta ve HC emisyonlarının artmasına neden olmaktadır. Yanma odası içinde alev yüzeye yakın bölgelerde soğur ve söner. Bu, yanmamış hidrokarbon tabakası bırakır ve bu tabaka yanmış gazlarla birlikte egzozdan atılır [9]. Sıkıştırma oranı artışının istenmeyen etkilerinden biri de piston- segman ile silindir duvarı arasındaki sürtünme kayıplarının artması dolayısıyla mekanik verimi azaltmasıdır [10].

1.2. Hava/Yakıt Karışım Oranı

İçten yanmalı motorlarda Hava/Yakıt oranı yanmanın teşkilinde önemli rol oynamaktadır. Yanma reaksiyonun tam olabilmesi ve buna bağlı olarak kirletici emisyonların miktarı, yanma sürecine katılan hava ve yakıt miktarına bağlıdır. Bu nedenle günümüz teknolojisinde hava yakıt oranı, taşıtların yol şartlarına bağlı olarak duyargalarla algılanıp elektronik kontrol ünitesi (ECU) tarafından kontrol altında tutulmaktadır.

Motorlarda en ekonomik çalışma fakir karışımla sağlanmaktadır. Maksimum güç alınması için ise zengin karışıma ihtiyaç vardır. Motorlarda ekonomik çalışmanın ölçümü, birim güç için birim zamanda harcanan yakıt miktarını veren, efektif yakıt sarfiyatıdır.

Motorun değişik çalışma koşullarında hava/yakıt oranının, iyi bir şekilde sağlanması, değişimin minimum düzeyde kalması gerekmektedir. Karışım oranı, hız değişimlerindeki ivmelenmelerden dolayı zengin karışıma doğru yönelir.

Hava/ yakıt oranı;

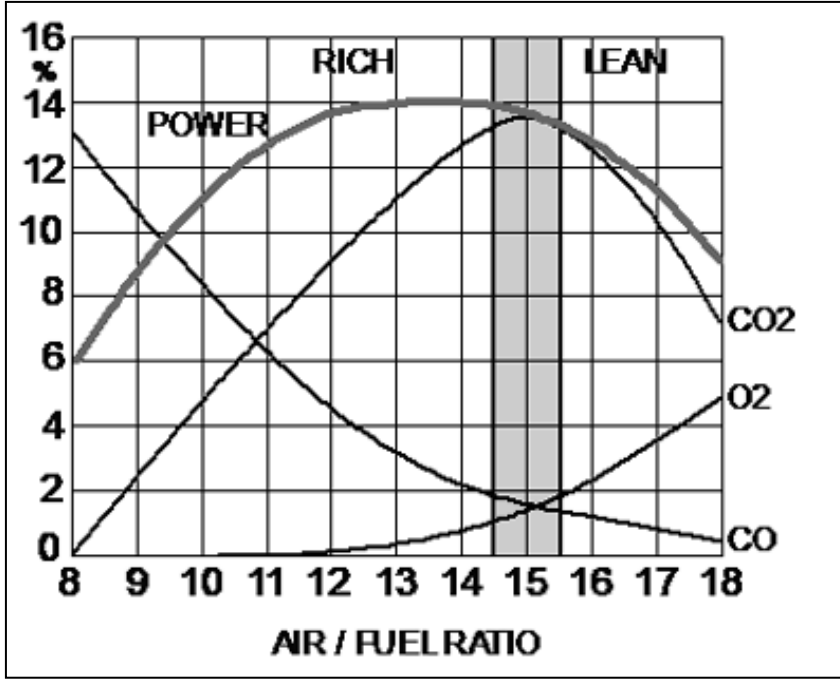
$$\frac{Hava}{Yakıt} = \frac{Havanın Kütlesi}{Yakıtın Kütlesi} = \frac{m_{hava}}{m_{yakıt}} \quad (1)$$

Formülü ile belirlenebilmektedir. Birim miktardaki yakıt için kullanılan gerçek hava miktarının teorik tam yanma için gerekli minimum hava miktarına oranına ise Hava Fazlalık Katsayısı denilmektedir. HFK olarak isimlendirilir ve λ ile gösterilir.

$$HFK(\lambda) = \frac{\left(\frac{H}{Y}\right)_{gerçek}}{\left(\frac{H}{Y}\right)_{teorik}} \quad (2)$$

Formülü ile belirlenebilmektedir. İngilizce literatürde Hava Fazlalık Katsayısının (HFK) tersi olan Eřdeęerlik oranı (EO) kullanılır ve ϕ ile gösterilir. Bunu yakıt fazlalık katsayısı şeklinde de dūřünmek mümkündür [11].

Hava fazlalık katsayısı (λ) yanma hızını, dolayısıyla açığa çıkan ısı miktarını, basınç ve sıcaklığı etkilemektedir. HFK 0.9-0.95 değerleri arasında yanma hızı maksimumdur. HFK 0,7 gibi bir değerin altına dūřürüldüğünde çalışma şartlarına bağlı olarak kolaylıkla tutuşma sınırı dışına çıkmaktadır. HFK' nın 0,8-0,9 gibi değerlerinde birinci ve ikinci safha süresi kısalmakta ve basınç artma hızı büyümektedir. Fakir karışımlarda ($\lambda=1,1-1,2$) ise, tutuşabilmenin üst sınırına yaklaşıldığından motorun yapısına bağlı olarak ateşleme ve yanma, çevrimden çevrime değişim gösterir. Karışım fakirleştikçe ateşlemenin sağlanamadığı çevrimlerin sayısı giderek artar. şekil 1.2.'de buji ile ateşlemeli bir motorun Hava/Yakıt Oranına bağlı olarak egzoz emisyonları ve güç değişim grafiği görölmektedir [11].



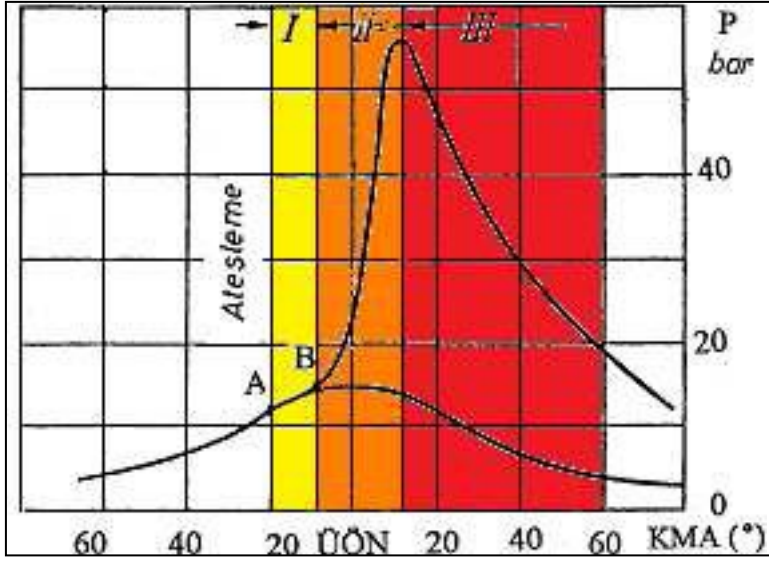
Şekil 1.2. Buji ile ateşlemeli bir motorda Hava/Yakıt oranının egzoz emisyonları ve motor gücüne etkisi

Şekil 1.2.'de görüldüğü gibi Hava/Yakıt oranının (14,5-15,5):1 oranında ayarlanması ve tüm çalışma koşullarında bu oranın korunması hem motor gücü açısından hem de egzoz emisyonları açısından elzemdir [12].

1.3. Yanma Süresi

Buji ile ateşlemeli motorlardaki gerçek yanma olayı ile teorik yanma olayı arasında çok yönden farklılıklar vardır. Teorik olarak sabit hacimde olması gereken yanma, ideal olmayan sebeplerden dolayı sabit hacimde gerçekleşemez. Çünkü yanma için belirli bir zamana mutlaka ihtiyaç vardır. Bu zaman karışımın homojenliğine, uygun oran da olmasına, ateşlemenin ideal olmasına, motor hızına, ateşleme avansına, motor sıcaklığına bağlıdır. Bütün bu etkenler yanma hızını doğrudan ya da dolaylı etkilediklerinden tam ve ideal yanma gerçekleşemez.

Buji ile ateşlemeli motorlarda yanma işlemi, indikatör diyagramı üzerinde krank mili açısına (KMA) göre silindir basıncının değişimi Şekil 1.3.'de görülmektedir. Ancak safhalar çok belirgin bir şekilde birbirinden ayrılamazlar [13].



Şekil 1.3. Silindir Basıncının KMA' na Bağlı Olarak Değişimi

Birinci safha, buji çakma anı ile bir alev çekirdeğinin oluşma anı arasında geçen süredir. Diğer bir ifade ile tutuşma gecikmesi safhasıdır. Tutuşma gecikmesi süresi; buji kıvılcım enerjisine, kıvılcımın uygulanma süresine, buji elektronları arasındaki ısınan bölgenin hacmine, karışım oranına ve buji önündeki akış hızına bağlıdır. Bu safhada yanan karışım miktarı az olup, toplam miktarın %1'i kadardır. Bu nedenle diyagram üzerinde fazla bir basınç artışı görülmez.

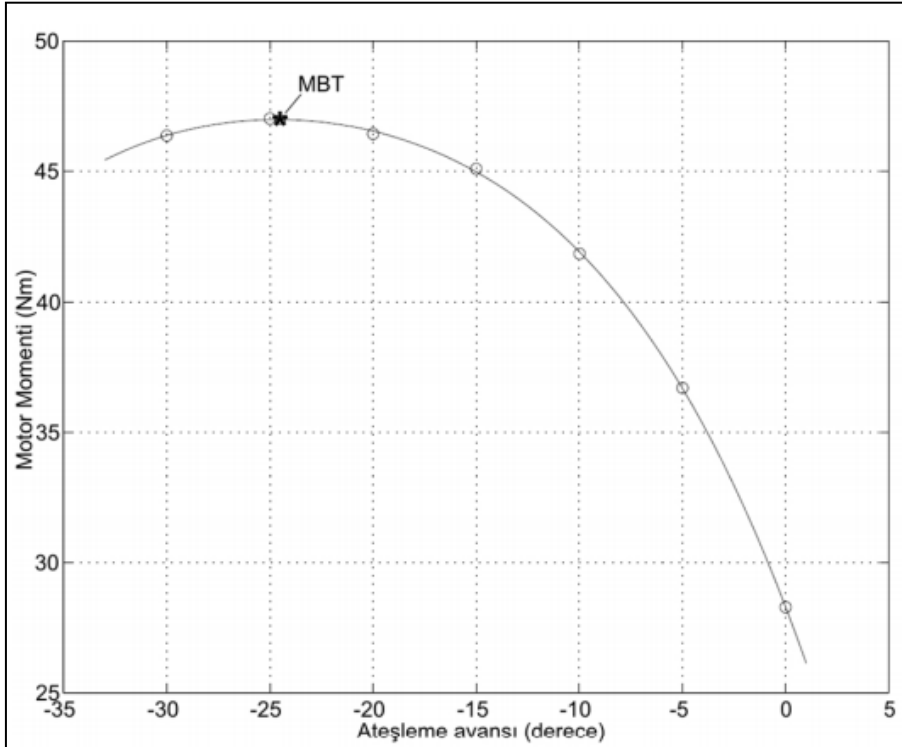
İkinci safha, alev cephesinin başlangıcı ve basıncın yükselmeye başlamasından sonra kuvvetli bir alev cephesinin silindir duvarına yayılarak silindir basıncın maksimum olduğu noktaya ulaşana kadar geçen süredir. Genişleyen alev cephesinin yanma odası hacmindeki karışımı yakması ile enerjinin açığa çıktığı periyottur. Basınç yükselmesinin hızı; yanma odasının şekli ve bujinin konumu, silindire alınan hava yakıt karışımının homojenliği, silindirdeki hava yakıt karışımının oranı, ve yanma odasındaki türbülans şiddetine bağlıdır.

Üçüncü safha, maksimum silindir basıncından genişleme (iş) zamanı esnasında başlayıp, egzoz supabı açılıncaya kadar devam eden yanma süresidir. Bu periyotta alev cephesi en uzak silindir duvarına kadar ulaşır, fakat silindirdeki taze karışımın %25'i hala yanmamış olarak bulunabilir. Bu faz esnasında açığa çıkan enerjinin büyük bir kısmı silindir duvarından, silindir kapağından ve piston tepesinden kaybedilir ve eş zamanlı olarak, piston alt ölü noktaya (AÖN) doğru ilerledikçe hacim artacağından yanma hızı da yavaşlar ve silindirdeki basınç hızla azalmaya başlar [14].

1.4. Yanma Zamanı (Ateşleme Avansı)

Buji ile ateşlemeli motorlarda ateşleme avansı, en yüksek gücün elde edilmesi, düşük yakıt tüketimi, vuruntusuz çalışma ve emisyonların azaltılması amaçlanarak belirlenmektedir. Yakıtın enerjisinden en yüksek verimi alabilmek için, maksimum basıncın piston üst ölü nokta (ÜÖN)'yı 10-15 derece geçtikten sonra oluşması istenir. Bunun için ateşlemenin piston Ü.Ö.N.'ya gelmeden gerekmektedir. Bu işleme ateşleme avansı denilmektedir [13]. Diğer bir tanımlama ile piston üst ölü nokta (ÜÖN)' ya geldiğinde karışımın en az yarısının yanmış olması gerekmektedir. Ateşleme avansı başlıca motor devir sayısı ve motor yüküne bağlı olsa da, birçok parametre de ateşleme avansını etkilemektedir. Ateşleme avansı değişim karakteristiği motor tasarımına göre farklılık gösterir. Burada temel amaç motor tork ve gücünün tasarımda belirlenen değerinin elde edilmesidir.

Şekil 1.4'de ateşleme avansına bağlı olarak motor momentini değişimi verilmiş olup, maksimum torkun 25° ateşleme avansı ile gerçekleştiği görülmektedir.

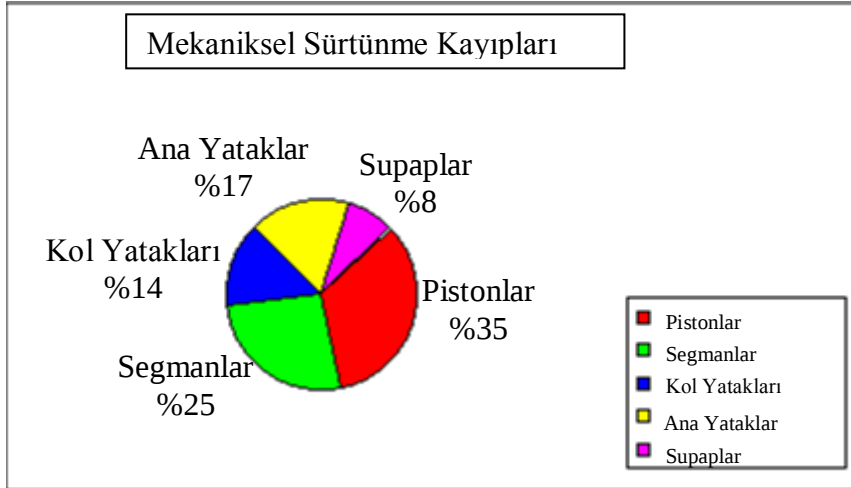


Şekil 1.4. Ateşleme Avansının Motor Momentine Etkisi

1.5. Mekanik Kayıplar

Motorlarda iç sürtünme, balans, yatak yuvası dizaynı ve pistonlar dikkate alınarak düşürülmeye çalışılmaktadır. Sürtünme kuvvetindeki artma, lineer hız artışından fazla olacağından dolayı yüksek hızlarda mekanik verimde önemli ölçüde düşüş olacaktır. Bunun için motor hızını sınırlamak zorunlu hale gelmiştir.

Son yıllarda önemli bir gelişme de pistonlardaki sürtünmenin azaltılmasıdır. Motorlarda aşırı sürtünme, piston ile silindir arasında gerçekleşmektedir. Sürtünme yüzeyleri azaltılmış pistonların motorlarda kullanılmasıyla, sürtünme kayıplarında %10 azalma olduğu ve bu azalmanın maksimum güçte %2 artma ve yakıt tüketiminde %3 azalma sağladığı belirlenmiştir (Şekil 1.5.).



Şekil 1.5. İçten Yanmalı Motorlarda Sürtünme Kayıpları.

Yukarıda bahsi geçen alanlar, içten yanmalı motorların verimlerini artırmak, yakıt tüketimlerini düşürmek ve egzoz emisyonlarını azaltmak için geliştirilmesi gereken alanlardır.

Yapılan bu çalışmada benzinli motorlarda hava-yakıt karışımını tüm çalışma şartlarında stkiometrik oranda tutabilmek ve dolgu karışımının homojen olabilmesini sağlayabilmek için yeni bir yöntem geliştirilmesi düşünülmüştür. Bu yöntemle benzinli motorlarda yakıt atomizasyonu iyileştirilerek yanmanın daha verimli olması amaçlanmıştır.

1.6. Benzinli Motorlarda Yakıt Atomizasyon Yöntemleri

1.6.1. Karbüratör Sistemi

Benzin motorlarında benzin ile havayı birbiriyle karıştıran tertibata karbüratör denir. Karbüratörün vazifesi motora her çalışma durumunda en uygun karışımı hazırlamaktır. Benzin buharı ile hava karışımından meydana gelen homojen bir dolgunun tutuşabilmesi için hava fazlalık katsayısının 0,6-1,2 arasında olması gerekmektedir. Yanma hızı hava fazlalık katsayısının 0,9 değeri civarında en büyüktür. Hava fazlalık kat sayısı 0,8 den küçük, 1,2 den büyük olduğu zaman motorda istenilen verimde bir yanma olmaz. Yanma hızı ne kadar fazla olursa motorun termik verimi o kadar yüksek olur. Yanma hızı düşük ise, yanma ya ayrılan sürenin uzatılması için ateşleme avansının artırılması gerekmektedir. Fakat avansın fazla olması ise diğer taraftan vuruntunun meydana gelmesine neden olur.

Bu nedenle karbüratörden istenilen özellikler şöyle sıralanabilir:

- Kolay bir şekilde motorun ilk harekete geçmesini sağlamak,
- Motorun rölanti halinde kendi kendine ve minimum hızda sarsıntısız çalışmasını sağlamak,
- Geçici rejimde motorun sürekli bir şekilde çalışmasını sağlamak,
- Nominal güç civarında çalışırken en üst düzeyde ekonomiklik sağlamak,
- Azami güçte çalışırken vuruntuyu ve yanma odasını sınırlayan cidarların aşırı termik zorlanmasını önlemek,
- Her türlü şartta (uçak motorlarında ters dönüş şartları dahil) motorun çalışmasını sağlamak.

Günümüzde karbüratörle karışım hazırlama tekniği yeni üretilen motorlarda kullanılmamaktadır. Bunun yerine benzin enjeksiyon teknikleri kullanılmaktadır.

1.6.2. Benzin Püskürtme Sistemleri

Karbüratörün özellikle uçak motorları için uygun olmaması ve bazı sakıncalar yaratması benzinin püskürtme yoluyla havaya karıştırılması fikrini yaratmıştır. 1912 yılında Robert Bosch ve ardından aynı yolda Alman Pallas firması benzin püskürtme çalışmalarını başlatmış, 1925 yılında Amerika'da Bendix-Stromberg sistemi geliştirilmiştir. Taşıt motorlarına benzin püskürtmenin uygulanışı Bosch firması tarafından

1935-1939 yılları arasında gerçekleştirilmiştir. Bosch yakıt püskürtme sistemli 1200 BG'lik ilk uçak motoru 1937 yılında seri üretime başlamıştır. 1955-56 yıllarında Amerika'da birçok aracın benzin püskürtmeli modelleri piyasaya sürülmüş ancak sistemden sağlanan güç artışı yanında maliyet yüksekliği ve servis zorluğu gibi olumsuzlukların etkisiyle araştırmalar karbüratörler üzerine yönelmiştir. 1970'lerde başlayan petrol krizi ve elektronik alanında sağlanan gelişmeler. Daha tasarruflu çalışmayı hassas ölçme ve kontrol ile elde etme olanağı yaratmıştır. Günümüzde de benzin püskürtmenin otomotiv alanına uygulanışı giderek artan bir seyirle yaygınlaşmaktadır. Benzin püskürtme sistemlerindeki gelişimin karbüratörlü sistemler ile rekabet edememesi Otto motorlarında gerekli olan karışımı oluşturmak için uzun yıllar karbüratör kullanılmasıyla sonuçlanmıştır. 90'lı yıllarda, hava kirliliğinin artması ve hükümetlerin egzoz emisyon değerlerini sınırlayıcı kanunları çıkarmasıyla benzin püskürtme sistemleri atılım göstermiştir. Otto motorlarında sıkıştırma oranı, tork üretimi, güç üretimi, yakıt ekonomisi ve kirlenici emisyonlar için önemli bir faktördür. Sıkıştırma oranı dizayn şartlarına ve yakıt püskürtme sisteminin yapısına göre değişkendir. Emme portuna yada direkt püskürtme sistemlerinde sıkıştırma oranı 13'e kadar çıkabilmektedir. Daha yüksek sıkıştırma oranları, yakıtın vuruntuya karşı direnci sınırlı olduğundan benzinli motorlar için uygun değildir. Benzinli motorlarda hava yakıt karışımının tam yanmasının sağlanması stokiometrik karışım oranına bağlıdır. Stokiometrik oran, benzin için 1 kg yakıt 14.7 kg hava dır. Otto motorlarında yanma, ateşleme olayı ve ardından alev cephesinin oluşumuyla izlenir. Alev cephesinin yayılım hızı yanma basıncının fonksiyonu olarak artar. Ortalama alev hızı yaklaşık olarak 15~25 m/s arasındadır. Alev cephesinin yayılım hızını etkileyen önemli faktörlerden biri de hava fazlalık katsayısı λ dır. $\lambda=0.8\sim0.9$ gibi az zengin karışımlarda maksimum yanma hızına ulaşılırken ideal sabit hacim yanma prosesine yaklaşılmış olur. Bu şartlarda motordan en yüksek güç alınır. En iyi termik verim, $\lambda=1.05\sim1.1$ şartlarında yanma sıcaklığının en yüksek olduğu durumlarda elde edilmektedir. Bununla birlikte, yüksek yanma sıcaklıkları ve fakir karışım NOx lerin artmasına yol açmaktadır.

1.6.2.1. Karışım Teşkili

Silindir içerisinde yanmanın oluşabilmesi için yakıt ve havanın tutuşabilirlik sınırları içerisinde karıştırılması gerekir. Bu karışım oluşturma işlemine karışım teşkili denir. Sistemlerde, karışımın oluşturulmasında gözetilen temel ilke, yakıtın atomize olarak

hızlı bir şekilde buharlaşması ve hava ile homojen bir şekilde karışmasıdır. İki tür karışım teşkili sağlanmaktadır. Bunlar, karışımın yanma odası dışında oluşturulduğu sistemler ve karışımın yanma odası içerisinde oluşturulduğu sistemlerdir. Yanma odası dışında oluşturulmaya çok noktadan püskürtme ve yanma odası içerisinde oluşturulan sisteme de direkt püskürtmeli sistemler örnek olarak verilebilir.

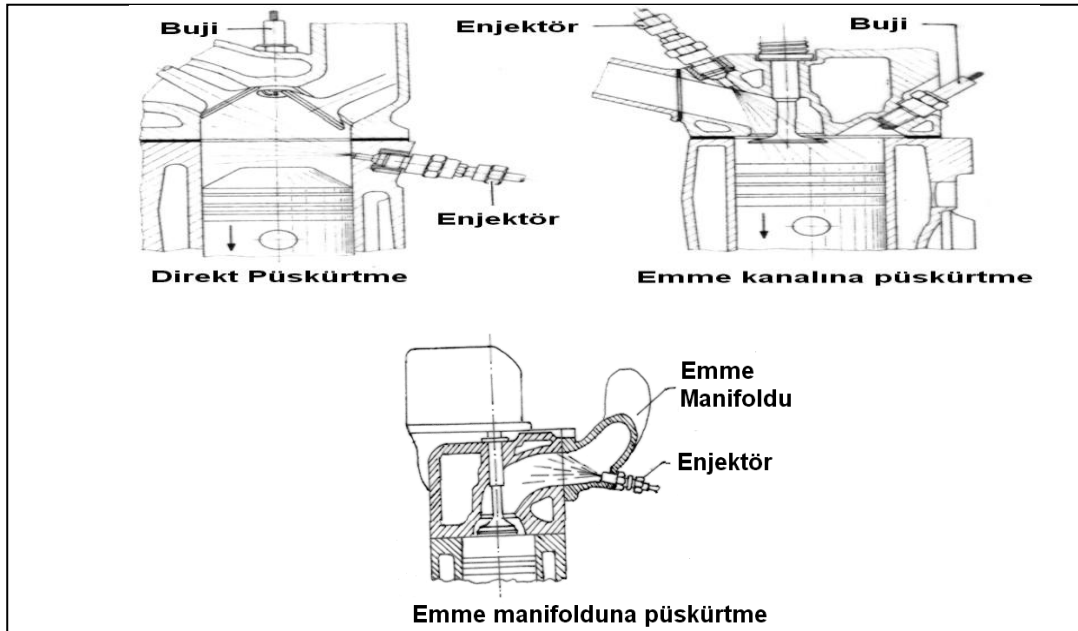
Yakıt püskürtme sistemleri karışımın oluşturulduğu yere göre,

- 1- Direkt püskürtme
- 2- Emme kanalına püskürtme
- 3- Emme manifolduna püskürtme

olarak sınıflandırılabilirler. Püskürtme sistemlerinin karışımın oluşturulduğu yere göre sınıflandırılması Tablo 1.2.' de görülmektedir.

Tablo 1.2. Püskürtme Sistemlerinin Sınıflandırılması.

KARIŞIM TEŞKİLİ					
Yanma Odası Dışında			Yanma Odası İçerisinde		
Tek Noktadan püskürtme	Çok Noktadan Püskürtme				
Mono-Jetronik	Mekanik	Kombine	Elektronik	MED-Motronik	
	K-Jetronik	KE-Jetronik	D-Jetronik L-Jetronik L3-Jetronik LH-Jetronik		
Ateşleme ve Püskürtme Kombine					
Mono-Motronik		KE-Motronik	M-Motronik ME-Motronik		



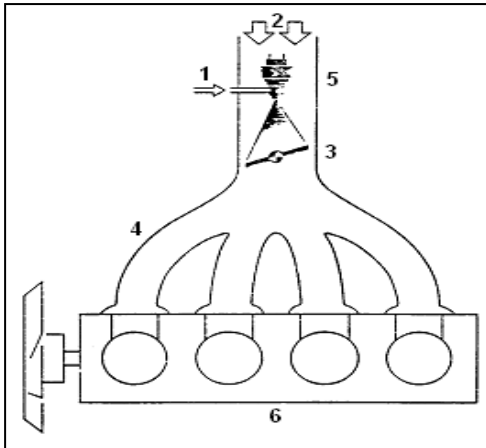
Şekil 1.6. Püskürtme Yerine Göre Enjeksiyon Sistemleri

Yakıt püskürtme, sürekli ya da aralıklı (kesikli) olarak yapılabilir. Sürekli püskürtmede açık enjektör kullanılır. Püskürtmenin yaklaşık $\frac{3}{4}$ 'ü supap kapalı iken yapılır. Hava ile yakıt silindire girmeden önce emme kanalında homojen bir şekilde karıştığından püskürtme basıncı ve demeti bu tip püskürtme sistemlerinde fazla önem taşımaz. Püskürtme zamanının kontrolü gerekmediğinden sistem basit ve ucuzdur.

Kesikli püskürtme yapan sistemlerde püskürtme supap açıkken yapıldığı gibi kapalıyken de yapılabilir. Yakıt püskürtme miktarı enjektörlerin açık kalma süreleri belirlenerek ayarlanır.

1.6.2.2. Tek Nokta Yakıt Püskürtme

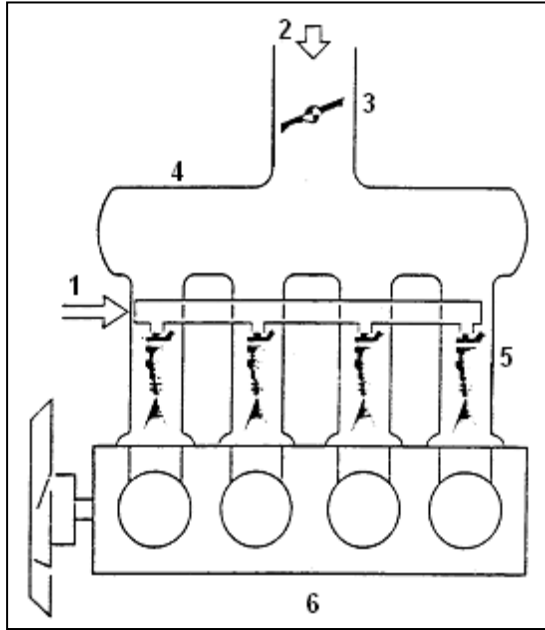
Tek nokta püskürtme, elektromanyetik enjektörlü, elektronik kontrollü püskürtme ünitesinin gaz kelebeği üzerine yerleştirilmesi ile oluşur. Bu enjektör yakıtı emme manifolduna kesintili bir şekilde püskürtür. Mono-Jetronic, Bosch tek nokta püskürtme sisteminin adıdır.



1. Yakıt Girişi
2. Hava Girişi
3. Gaz kelebeği
4. Emme Manifoldu
5. Enjektör
6. Motor Bloğu

Şekil 1.7. Tek Nokta Yakıt Püskürtme Sistemi

1.6.2.3. Çok Nokta Yakıt Püskürtme



1. Yakıt Girişi
2. Hava Girişi
3. Gaz Kelebeği
4. Emme Manifoldu
5. Enjektörler
6. Motor Bloğu

Şekil 1.8. Çok Nokta Yakıt Püskürtme Sistemi

Çok nokta püskürtme sisteminde, her silindirin emme kanalına yakıtı direkt püskürtecek ayrı enjektör kullanılır. Bu sisteme örnek olarak KE-Jetronic ve L-Jetronic ve bunların değişik konfigürasyonları verilebilir.

1.6.2.4. Sürekli Püskürtme Sistemleri

Bu yöntemde yakıt, emme kanalı içerisine sürekli olarak püskürtülür. Uygun karışım ünitesi ile birlikte kullanılması halinde en ucuz benzin püskürtme sistemidir. Püskürtme basıncı tam yükte 12 bar seviyesindedir.

1.6.2.5. Püskürtme Sisteminin Karbüratör Sistemine Göre Avantajları

Karbüratör sisteminde karışım teşkili emme zamanında yakıt ve havanın emilmesi ile meydana gelirken, benzin püskürtme sistemlerinde yakıt, basınçlı bir şekilde emme kanalına, emme manifolduna, veya doğrudan silindir içerisine emme periyodunun sadece belirli bir kısmında püskürtülür. Yakıt püskürtme sistemlerinin karbüratör sistemlerine göre avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Volümetrik verimdeki artıştan dolayı motorun güç ve momentinde artış olur. Yakıt püskürtme sisteminde dolgu silindire daha geniş manifoldtan emilir, dolayısıyla manifoldtaki basınç kayıpları daha düşük olur. Ventüri olmadığı için ventüri basınç

kayıpları da yoktur. Sistem karbüratörlü sistemde olduğu gibi manifoldun ısıtılması gereği duymaz. Püskürtme ile yakıt daha iyi atomize olduğundan buharlaşma hızlı ve yeterli durumdadır. Daha homojen ve tutuşmaya elverişli bir karışım sağlanır. Tüm bunların sonucunda yanma daha iyi olur ve motor gücünde %5-10 oranında bir artış sağlanır.

- Yakıt silindire doğrudan ya da emme kanalına direkt püskürtüldüğünden silindirler arasında dengeli bir karışım oranı sağlanır. Soğukta ilk harekette yoğunlaşma kayıpları az olduğundan ilk harekete geçme daha kolay olur. Uçuculuk oranı yüksek yakıtlara ihtiyaç duyulmaz.
- Püskürtme sisteminin yakıtı karşı duyarlılığı azdır. Yakıt genellikle silindir içerisinde buharlaştığından, karışımın sıcaklığı düşer ve erken ateşleme olasılığı azalır. Dolayısıyla yüksek oktanlı benzine gereksinim duyulmaz. Düşük oktanlı yakıtlar ya da yüksek sıkıştırma oranları kullanılabilir.
- Sistemde püskürtülen yakıt miktarı, silindire alınan hava miktarına göre hassas olarak belirlendiğinden yakıt tüketimi ve hava kirliliği belirli oranda azaltılabilir.
- Emme manifoldu içerisinde tutuşabilir karışım bulunmadığından alev tepmesine eğilim azdır, dolayısıyla yangına karşı güvenilirliği fazladır.
- Sistemde yakıt, belirli bir basınç altında püskürtüldüğünden, motorun değişik çalışma koşullarına uyumu daha iyidir. Püskürtülen yakıtın kat ettiği yol daha az olduğu için ivmelenmelere daha hızlı tepki verir.
- Püskürtme sistemiyle karışımın kademeli dolgulandırılması daha rahat yapılır ve motor daha ekonomik çalışır.
- Yavaşlama anında araç seyir halinde gaz pedalına basılmadığı durumlarda, yakıt püskürtülmesi yapılmadığı için yanmamış HC emisyonları daha düşüktür.
- Supap bindirmesinin fazla olması durumunda püskürtme, egzoz supabı kapandıktan sonra başlatılarak taze dolgunun dışarı atılması önlenir. Silindir içerisindeki artık egzoz gazları daha iyi süpürülebilir.
- Sistemde ventüri olmadığı için buzlanma ve sıcak havalarda buhar tıkaçı, rölantide düzensiz çalışma, sıcak motorun ilk harekete geçme zorluğu gibi sorunlara rastlanmaz.
- Sistem aşırı doldurma ve EGR'ye daha uygundur.

Püskürtme sisteminin avantajlarına karşın karbüratörlü sistemlere göre dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar;

- Sistem karbüratörlere göre daha karmaşık ve hassastır.
- Servis gereksinimi daha fazla hassasiyet gerektirir.
- Karbüratöre göre benzin püskürtme sisteminin maliyeti daha yüksektir.

1.6.2.6. Benzin Püskürtmede Yük Ayarı ve Karışım Kontrolü

Karbüratör sisteminde olduğu gibi, benzin püskürtme sistemiyle karışım teşkilinde de güç ayarı silindire giren hava miktarını değiştiren gaz kelebeği yardımıyla sağlanır. Çalışma şartına uygun yakıt sevki ise elektronik ya da mekanik olarak gerçekleşir. Farklı püskürtme sistemlerinde, farklı tasarıma rağmen regülasyon sisteminin çalışma şekli aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Motorun çalıştırıldığı şarta bağlı olarak değişen değerlerde karışım oranının sağlanması zorunludur. Bu nedenle herhangi bir çalışma şartı için sadece silindire giden hava miktarını kontrol ederek motor gücünü kontrol etmek uygun değildir. Silindire giren hava miktarıyla birlikte püskürtülen yakıt miktarının da değiştirilmesi zorunludur. Bu şartlar altında regülasyon sistemi; değişen hava miktarına uygun olarak yakıt miktarını değiştirmek ve ayrıca çalışma şartının gerektirdiği karışım oranını sağlamak görevlerini yerine getirmelidir.

Silindire giren hava miktarının konumuna bağlı olarak, gaz kelebeği ile silindirler arasındaki emme sisteminin basıncı değişir. Emme manifoldundaki basınç değişimi giren hava miktarını etkileyeceğinden püskürtülen yakıt miktarının da uygun olarak değişimini sağlayabilmek için, manifold basıncı yakıt sistemine kumanda ettirilir.

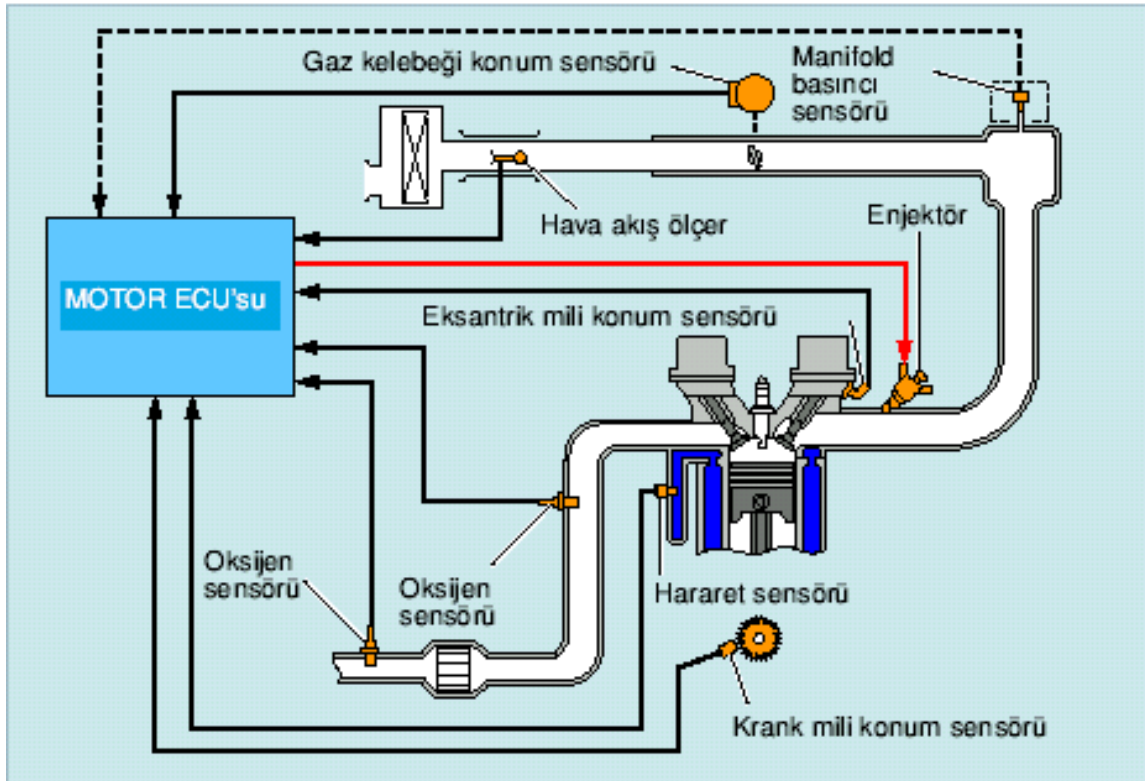
Silindire giren hava miktarı, havanın sıcaklığında da etkileneceği için, manifold basıncının yanında, manifoldtan geçen havanın sıcaklık değişimi de yakıt sistemine etki ettirilerek her bir çevrimde püskürtülmesi gereken yakıt miktarı ayarlanır.

Benzin püskürtme sistemlerinde, motorun ilk harekete geçirilmesinde, tam yükte çalışmada, boşta çalışmada ve motorun ivmelenmesinde gerekli olan karışım oranlarının sağlanabilmesi için yukarıda belirtilen, silindire giren havanın basınç ve sıcaklığı, motor soğutma suyunun sıcaklığı, motorun çalıştırıldığı devir sayısı gibi çalışma şartlarına bağlı olarak değişen parametrelerin değişim oranlarından yararlanılır. Belirtilen çalışma

şartlarında gerekli karışım oranları bazı sistemlerde tek enjektörle gerçekleştirilirken, bazılarında ise ikinci bir enjektörün uygun zamanda devreye girmesi veya çıkmasıyla sağlanmaktadır.

1.6.2.7. Elektronik Kontrollü Yakıt Püskürtme Sistemi

Püskürtme sistemi, motor durumunu ve araç çalışma şartlarını tespit için çeşitli sensörler kullanır. Püskürtme sistemi; yakıt besleme sistemi, sensörler, aktüatörler ve elektronik kontrol ünitesinden oluşur. Yakıt besleme sistemi; elektrik yakıt pompası, yakıt filtresi, basınç regülatörü, soğukta ilk hareket enjektörü ve yakıt pompasını kontrol rölesinden oluşur. Hava akış sensörü, kontrol ünitesini içeri giren hava hacminden elde edilen bilgilerle destekler. Ölçüm sensörleri yakıt dağıtımı için gereken bütün değerleri belirler ve bunları kontrol ünitesine yollar. ECU; hava hacmi, sıcaklığı, gaz keleşği pozisyonu, motor hareket ve çalışma hızının bilgilerini toplar. Bu bilgiler işleme tutulur ve püskürtme periyodunun uzunluğu hesaplanır ve enjektörlere elektrik sinyali olarak yollanır.



Şekil 1.9. EFI (Elektronik Yakıt Enjeksiyon Sistemi).

1.6.2.8. Benzinli Motorlarda Direkt Püskürtme Teknikleri

Klasik çok noktadan püskürtme sistemlerine göre ek bazı donanımlar gerektiren direkt püskürtme teknikleri son 40- 50 yıllık bir süre içerisinde farklı şekillerde geliştikten sonra iki temel kavram içerisinde toplanmışlardır:

1. Sıvı yakıtın direkt püskürtülmesi
2. Yakıt-hava ön karışımının direkt püskürtülmesi

Bu şekildeki püskürtme tekniğinin gelişmesinin nedeni her iki tekniğin de silindir içi karışım oluşumunda sağladıkları farklı üstünlük ve sakıncalardan ötürüdür. Sıvı yakıtın direkt püskürtülmesi için bugüne kadar geliştirilmiş birçok sistem, genellikle yüksek yakıt basıncının üretilmesi ve püskürtme süresinin kısa oluşuyla karakterize edilir. Bu her iki parametrenin de motor devrine bağlı olması sistemle motorun tam uyum içinde olmasını sağlar. Direkt püskürtülen sıvı benzinin maksimum basınç genliği yanma odasının şekline, silindir çap/strok oranına, sıkıştırma oranına ve ayrıca karışım oluşumuna bağlı olarak 4-10 MPa arasında değişir. Yakıt damlacıklarının hızı genellikle 30-70 m/s, damlacık boyutu 20-30 μm arasında olup böyle bir yakıt demeti 80 mm'nin üstünde bir nüfuz derinliğine sahiptir. Yukarıda belirtilen değerlerin alandaki maksimum basınç değerleri, politropik olarak sıkıştırılan havanın oluşturduğu karşı basınç nedeniyle daha düşük damlacık atomizasyonuna ve yerel konsantrasyonlara sebep olur. Bunun sonucunda da daha büyük damlacıklar ve eksik yanma meydana gelir. Diğer taraftan 10 MPa dan daha yüksek bir yakıt basıncı genelde daha büyük bir nüfuz derinliği demektir. Bu da 50-500 cm^3 arasında süpürme hacmine sahip silindirlerde yakıt demetinin silindir cidarına çarpmasına neden olur. Damlacık boyutu ile nüfuz derinliği arasındaki ilişkinin neden olduğu bu çelişki, jetin herhangi bir duvara çarpması engellenerek ortadan kaldırılabilir. Bu yüzden pimin eksenine etrafında kontrollü bir türbülans oluşturma veya jetin yönünü yanma odası cidarlarına teğetsel yönlendirme gibi değişik çözümler önerilerek bu problem giderilmeye çalışılır [18,19,20].

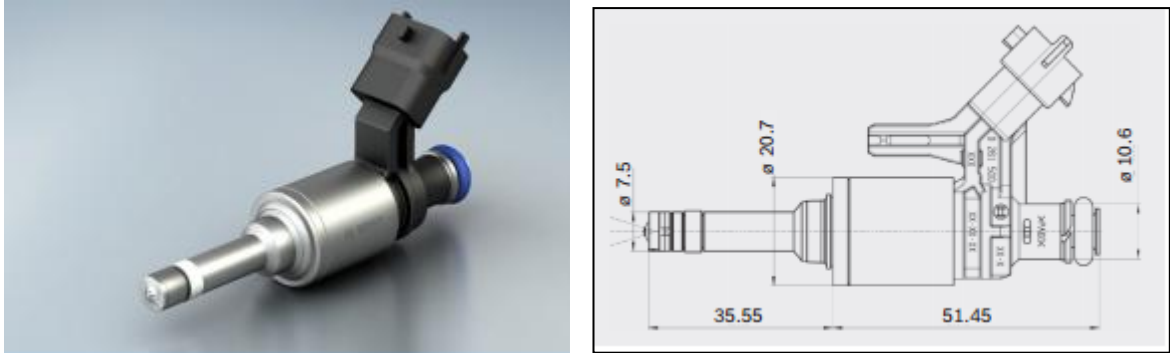
Sıvı yakıt enjeksiyonu için diğer bir alternatif direkt enjeksiyon öncesi bir ön karışım oluşturmaktır. Bu yöntemin prensibi, karışım oluşumunu kısmi olarak yanma odasının dışına taşımaktır. Bu durum karışım işlemini tamamlayabilmek için karışım süresini uzatarak elde edilmiş bir çözüm olarak düşünülebilir. Ön karışımındaki hava ve yakıtın belli basınçlara yükseltilebilmesi için bazı sistem modülleri gereklidir. Bununla birlikte yanma odasının içine püskürtülecek ön karışımın toplam basıncı, direkt sıvı püskürtme sisteminden çok daha düşüktür. Ön karışımın yanma odasındaki hava içerisine

dağılabilmesi için enjeksiyon sistemi ile yanma odası arasındaki basınç farkından daha fazla bir ön karışım püskürtme hızına ihtiyaç vardır. 0.6-1.0 MPa'lık bir maksimum basınç iyi bir karışım oluşumu için yeterlidir. Sıvı yakıtın püskürtülmesinde ise püskürtme hızının önemli bir kısmı yakıtın atomizasyonu için harcanır, bu durumda daha yüksek bir hız seviyesi gerekir [20,21,22,23].

1.6.2.9. Benzin Direkt Enjektörü Teknik Verileri

1.6.2.9.1. Yüksek Basınçlı Direkt Püskürtme Enjektörü (HEDV5)

Benzinli motorlarda yakıt-hava karışımını yanma odasına direk olarak püskürtmede kullanılan enjektör çeşididir. Emme zamanında silindir içerisine sadece temiz hava emilir. Yakıt yanma odasına yüksek basınç enjektörleri ile direkt olarak gönderilir. Bu durum sıkıştırma oranını artırılması, yanma odasının soğuması için imkan tanınması ve yüksek motor verimleri için önem arz etmektedir. Sonuç olarak kullanılan bu enjektörler yakıt tüketiminde ve torkta önemli artışlar sağlamaktadır.



Şekil 1.10. Benzin Direkt Püskürtme Enjektörü ve Ölçüleri

1.6.2.9.2. HEDV5 Enjektörünün Fonksiyonları

- İçe açılır selenoid enjektör
- Sprey açısı ve spre yayılımı ile ilgili çok çeşitlilik sağlayan çok delikli enjektör (MHI)
- Çeşitli sistem basınçları için nominal 20 MP basınç,
- Üzerine entegre güç kademesi (65 volt' güçlendirici)
- Silindir kafası merkezine veya yanal olarak kolay kurulum

1.6.2.9.3. HEDV5 Enjektörünün Teknik Verileri

Tablo 1.3. HEDV5 Enjektör Teknik Verileri

Sistem basıncı	≤ 20 MPa
Akış Oranı	≤ 22.5 cm ³ /s 10 MPa'da
Sızıntı	≤ 2.5 mm ³ /min 10 MPa'da
Yakıt	Dünya çapında geçerli tüm kaliteleri
Damlacık Çapı Sauter Mean Diametrers (SMD)	15µm
Sprey Yapısı	Sprey deliklerine ve açısına göre farklı şekillerdedir.
Enjektör Montajı	Silindir Kafası merkezine veya yandan montaj imkânı

1.6.2.10. Kademeli Dolgu

Homojen dolgulu motorlarda optimum ayarlamalar yapılsa da benzinli motorların yakıt tüketimleri belirli seviyelerin altına düşürülememektedir. Bunun başlıca sebebi buji ile ateşlemeli motorlarda sıkıştırma oranının yakıt ile havanın birlikte sıkıştırılmasından dolayı sınırlandırılmış olması ve benzinli motorların dizel motorlarda olduğu gibi aşırı fakir karışımlar ile çalıştırılmamasından kaynaklanmaktadır. Bu problemin en önemli çözüm yollarından biri benzinli motorların fakir karışımlarla çalışmasını sağlayan kademeli dolgu prensibidir[25]. Kademeli dolgu prensibi ilk kez 1918 yılında Ricardo tarafından uygulanmıştır. Bu prensip ile çalışan motorlara, kademeli dolgulu motorlar denir [26]. Verimdeki artışın nedeni kademeli dolgu uygulamasında mevcut motorlardan farklı olarak ateşleme bujisi etrafında zengin, yanma odasının diğer bölgelerinde ise fakir hava-yakıt karışımı elde edilerek motorun aşırı fakir karışımlarla çalıştırılmasıdır. Oysaki homojen dolgulu benzin motorlarında karışımdaki fakirleşme belirli değerlerin üzerine çıkartılması sonucu motorun efektif gücünde belirgin azalmalar görülür.

Birinci grupta belirtilen kademeli dolgulu benzin motorunun ilk öncülerinden biri 1920'li yılların başında yapılan Ricardo motorudur [27]. Bunun devamı olarak da ikinci uygulama 1960'ların başında Rusya da geliştirilen GAZ-52 motorudur. 1960'lı yılların sonunda ve 70'li yıllarda kademeli dolgulu motorlar yeniden gündeme gelmiştir. Aynı dönemde yeni bir buluş olan, Wankel motoru kademeli dolgu prensibi için yeni bir uygulama alanı yaratmıştır. Wankel motorunun yanma odası geometrisi homojen karışıma çok elverişli olmamakla birlikte yapısından kaynaklanan yanma odası içindeki hava

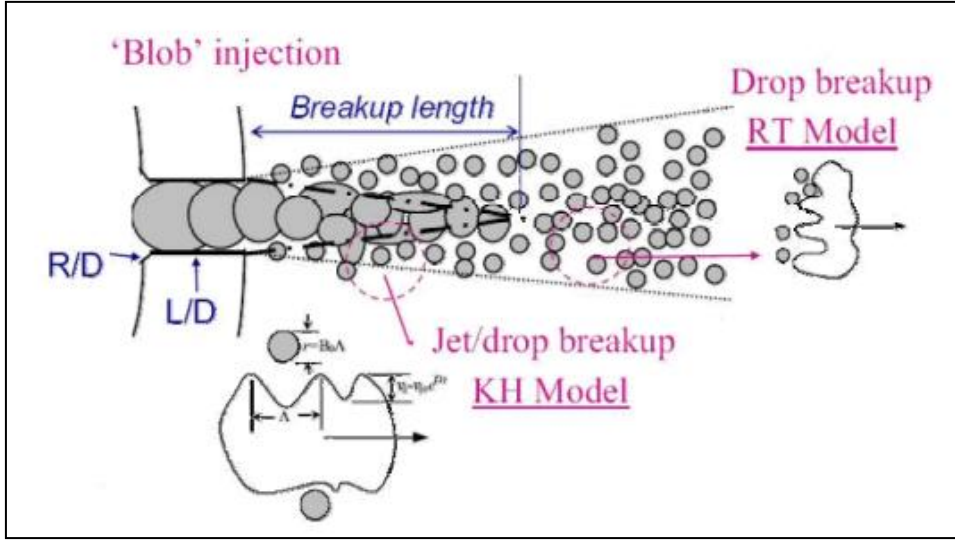
hareketleri kademeli dolgu için uygun bir zemin oluşturmaktadır. Wankel motorunda kademeli dolgu konusunda yapılan ilk çalışmalar Curtis Wright ve Mercedes tarafından yürütülmüştür ve bu çalışmalar ikinci tip kademeli motorlar sınıfına girmektedir[28].

Günümüzde kademeli dolgulu benzin motorlarının geliştirilmesi için çalışmalar aralıksız devam etmektedir. Yukarıda belirtilen ve son on yılda direkt püskürtmeli benzinli motorlar üzerine yapılan çalışmaların hemen hepsi direkt püskürtmeli Dizel motorlarından türetilmiştir. Ancak bu konudaki en büyük gelişme Wolkswagen tarafından tasarlanan FSI ve Mitsubishi tarafından tasarlanan GDI motorlarının seri üretimle piyasaya sunulmasıdır [29]. Bu motorların çalışması tamamen farklı bir felsefeye dayanmaktadır şekil 2.1’de görüldüğü gibi iki bölgeyi yanma odası oluşturan piston geometrisi ile iki aşamalı püskürtme stratejisi uygulanmıştır [30].

Dört supaplı, sıkıştırma oranı 12 olan ve 50 bar basınç ile püskürtme yapılan bu motor ile 40 km/saat sabit hızda eşdeğer stokiyometrik bir benzinli motora göre % 35 daha az yakıt tüketilmektedir. Öte yandan bu motor eş hacimli stokiyometrik benzinli motoru performans yönünden de yakalamaktadır. Hava fazlalık katsayısı olarak 4 değerine kadar düzgün çalışma sağlandığı belirtilmektedir. Bu motor, 1997 yılından itibaren seri üretimi yapılan direkt püskürtmeli benzinli motor örneğidir [31].

1.7. Yakıt Parçalanması

Karışım oluşumunda yakıt demetinin parçalanması ve yanma odası içerisindeki davranışlarının önemi büyüktür. Yakıtın yüksek basınç ile silindir içerisine püskürtülmesindeki amaç, sıvının atomizasyonu sonucunda çok sayıda damlacığın oluşması ve yakıtın hava ile temas eden yüzey alanının artması ile daha kısa sürede buharlaşma ve karışım oluşumunun sağlanmasıdır. Ancak yakıt demetinin çok boyutlu modellenmesinde, sıvının parçalanması sonucu oluşan damlacıklar, stokastik damlacık (çap) grupları ile temsil edilmektedir. Bu yöntemde yöneten denklemler Lagranigan bakış açısıyla türetildiğinden yakıt demeti modeli ağ yapısına, bağımlı olmaktadır. Dolayısıyla, deneylerle model katsayılarının kalibre edilmesi gerekmektedir[32,33,34].



Şekil 1.11. KH-RT yakıt demeti parçalanma modeli

Modelde ilk parçalanmanın türbülans ve kavitasyon nedeniyle nozul içerisinde gerçekleştiğini ve dolayısıyla enjektör delik çapı büyüklüğüne bağlı olarak büyük damlaların püskürtülebileceği kabul edilmektedir. KH modeli ile kararsız yüzey tedirginliklerinin büyümesiyle yüzeyden kopacak olan küçük damlacıklar simule edilmektedir. Püskürtmenin başlamasıyla aerodinamik kuvvetlerin etkisi altında sıvı jeti üzerindeki yüzey tedirginlikleri artmaya başlamaktadır. Bu tedirginliklerden en kararsız olanı yüzeyden kopmakta ve

$$r_c = B_0 \Lambda$$

Yarıçapında yeni damlacık grubu oluşmaktadır. Burada $B_0 = 0.61$ model kat sayısı, Λ ise en kararsız tedirginliğin dalga boyudur. Ana damlacık grubunun yarıçapı ise τ_{kh} parçalanma süresi boyunca kopan damlacıkların ana damladan çıkarılması ile elde edilir.

$$\frac{dr}{dt} = \frac{r - r_c}{\tau_{kh}}, \quad \tau_{kh} = \frac{3.788 B_1 r}{\Omega \Lambda}$$

Burada B_1 1,73 ile 30 arasında ayarlanabilir model katsayısı [26], Ω en kararsız tedirginliğin büyüme hızı, Λ ise dalga boyudur.

$$\Omega = \frac{0.34 + 0.38 W_e^{1.5}}{(1 + Oh)(1 + T^{0.6})} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_d r^3}}$$

$$\Lambda = 0.02r \frac{(1 + 0.45\sqrt{Oh})(1 + 0.47T^{0.7})}{(1 + 0.86We^{1.67})^{0.6}}$$

Weber, Ohnesorge, Taylor ve Reynolds boyutsuz sayıları aşağıda verilmiştir.

$$We = \frac{\rho|U_{rel}|^2 r}{\sigma}, Oh = \frac{\sqrt{We_1}}{Re_1}, T = Oh\sqrt{We}, Re_1 = \frac{\rho|U_{rel}|r}{\mu}$$

RT modeli ise damlacıkların yüksek göreceli hızları nedeniyle aerodinamik kuvvetler etkisi altında parçalanmasını temsil etmektedir. Bu modelde aerodinamik direnç kuvveti etkisiyle damlacık ivmesini kaybetmekte ve RT kararsızlıkları oluşmaktadır. Parçalanma sonrası yeni damlacıkların boyu (Λ_t) RT dalga boyuna göre belirlenmektedir.

$$\Lambda_t = C_{rt} \frac{\pi}{K}$$

$$K = \sqrt{\frac{|g_1(\rho_1 - \rho)|}{3\sigma}}, g_1 = \left(g + \frac{du_d}{dt}\right) \cdot \frac{u_d}{|u_d|}$$

Burada KH modelindeki gibi 1 ve 5,33 arasında ayarlanabilir model katsayısıdır (BAUMGARTEN, 2006). $\tau_t = 1/\Omega$, parçalanma süresi ise en hızlı büyüyen kararsızlığın frekansına (Ω_f) göre belirlenmektedir.

$$\Omega_t = \sqrt{\frac{2}{\sqrt{27}\sigma} \frac{|g_t(p_1 - \rho)|^{3/2}}{p_1 + \rho}}$$

Ayrıca, atomizasyon rejiminde sıvıca yoğun parçalanmamış bir çekirdek bölgenin varlığı deneylerle tespit edilmiştir [35,36]. Bu bölgenin uzunluğu ampirik olarak

$$L_b = C.D. \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_g}}$$

Şeklinde verilmektedir. Burada D enjektör memesinin çapını temsil etmektedir. C ise 3,3 ile 11 arasında değişen ve enjektör tipine (L/D oranı vb.) bağlı olan bir katsayıdır. Modelde parçalanma uzunluğu boyunca sadece KH modeli aktif (ana damla yüzeyinden ufak damlacıklar kopmakta) olup parçalanma uzunluğundan sonra ise RT modeli devreye girerek KH modeli ile dalga boyları kıyaslanıp hangi mekanizmanın parçalanmayı sürdüreceği belirlenmektedir. Damlacıklar yavaşladıkça aerodinamik kuvvetler azalmakta

ve KH modeli baskın hale gelmektedir. KH ve RT dalgalarının birbirleriyle kıyaslandığı bu model literatürde yer alan birçok çalışmada iyi sonuçlar vermiştir [36]. Fakat her enjektör için model katsayılarının deneylerle kalibre edilmesi gerekmektedir.

1.7.1. Ultrasonik Ses Üretimi ve Kullanım Alanları

Ses atmosferde kulağımız tarafından algılanabilen periyodik basınç değişimleridir. Fiziksel boyutta ses ise, hava, sıvı, gaz ortamlarında oluşan basit bir mekanik düzensizlikler ve bir maddedeki moleküllerin titreşmesi sonucu oluşur. Ses kaynaktan aldığı enerjilerle titreşerek yayılır. Titreşen cisimler esnek olduğundan dolayı ses dalgalarını meydana getirirler ve ses dalgalarını iletebilirler.

Ses mekanik bir dalga olduğundan yayılması için bir ortama ihtiyaç duymaktadır. Ses dalgaları ortamlarda sıkışma ve genleşme şeklinde boyuna ilerleyen dalgalardır. Sesin bir frekansı, boyu, periyodu ve hızı bulunmaktadır. Bir saniye içerisindeki sesin titreşim sayısına sesin frekansı denir. Birimi ise Hertz (Hz) dir. Dalga boyu bir ses dalgasının oluşması için sesin aldığı yoldur. Sesin hızı normal koşullarda havada 340, tahtada 4000-6000, suda 3000-5000, çelikte ise 8000 m/s' dir [37].

Sesin frekans sayısına göre adlandırılması aşağıdaki gibidir.

- Alçak Frekanslı Ses (Infrasonic): Ses beri ya da infrases olarak nitelendirilen ses frekansları, 16 ile 20 Hz arasında olurlar. Böylece insan kulağının duyamayacağı kadar düşük, fakat hava basıncı değişiklikleriyle oluşan ses dalga frekanslarından daha yüksektir. İnsan kulağının teorik olarak 20 Hz ile 20000Hz arasını duyduğu söylene de, en iyi 250 Hz ile 3000 Hz arasındaki konuşma frekansı bölgesini duyar.
- Yüksek Frekanslı Ses (Ultrasonic) : Ses Öte ya da Ultra Ses, insan kulağının duyamayacağı yüksek frekanstaki seslere verilen addır. Frekansı 20 kHz'in üzerindedir.
- Çok Yüksek Frekanslı Ses (Megasonic): Mega Ses ya da megasonik 800 kHz' ten büyük olan MHz mertebesinde ölçülen çok yüksek frekanslı seslere denir.

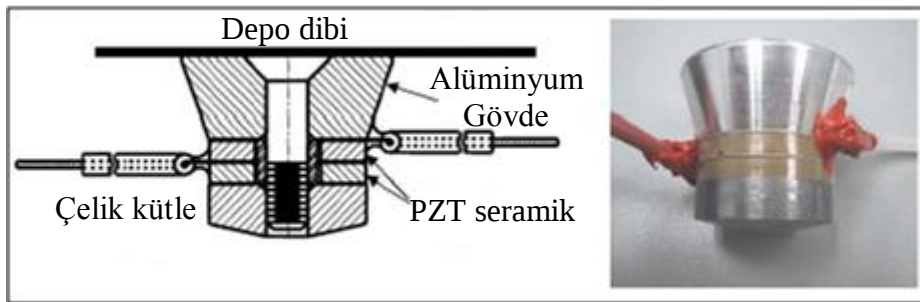
1.7.2. Ultrasonik Sesin Üretilmesinde Kullanılan Transdüsörler

Sıvı ortamda ultrasonik kavitasyon oluşturmak için kullanılan ultrasonik transdüsörler elektrik enerjisini mekanik titreşimlere dönüştüren ve tam tersi şekilde mekanik titreşimleri elektrik enerjisine çeviren güç dönüştürücüleridir. Transdüsörün içindeki en önemli aktif element elektrik enerjisini akustik enerjiye, akustik enerjiyi de elektrik enerjisine çevirir. Bu aktif element en basit şekliyle, karşılıklı iki yüzüne elektrot yerleştirilmiş polarize bir malzeme parçasıdır. Polarize malzeme ise bazı molekülleri pozitif yüklü, diğer moleküllerle de negatif yüklü olan malzemelerdir.

1.7.2.1. Transdüsör Çeşitleri

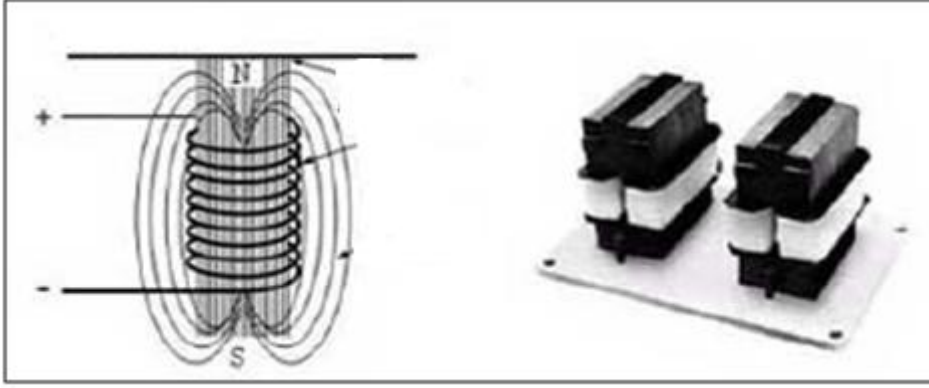
Ultrasonik transdüsörler çalışma prensibi itibarıyla birkaç çeşitten oluşmaktadır.

Piezoelektrik Transdüsör: Malzemeye elektrik alanı uygulandığında polarize molekülleri elektrik alanına göre kendilerini sıralarlar. Bu durum malzemenin moleküller ya da kristal yapısında uyarılmış ikiz kutuplar olmasına neden olur. Moleküllerin sıralanması malzemenin boyutunu değiştirir ve bu olguya da *Electrostriction* denir. Ayrıca kalıcı olarak polarize edilmiş *Quartz* (SiO_2) ya da baryum titan (BaTiO_3) gibi malzemeler, mekanik bir kuvvet etkisiyle boyut değiştirdiğinde elektrik alanı oluşturur. Bu olgu da piezoelektrik etki olarak bilinir.



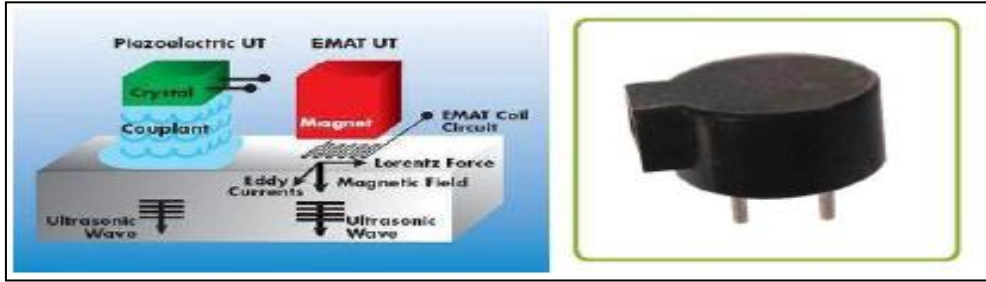
Şekil 1.12. Piezoelektrik Transdüsör

Magnetostrictive Transdüsör: Büyük miktarda nikel ya da diğer manyetik malzeme plakaların etrafına bir tel bobini yerleştirilir ve bobinden akım geçirildiğinde manyetik alan oluşur. Bu manyetik alan da malzemenin daralmasını ve uzamasını sağlar böylece ses dalgası oluşur. Tam tersi şekilde de dışarıdan bir kuvvet uygulandığında manyetik alanda değişimler gözlenir.



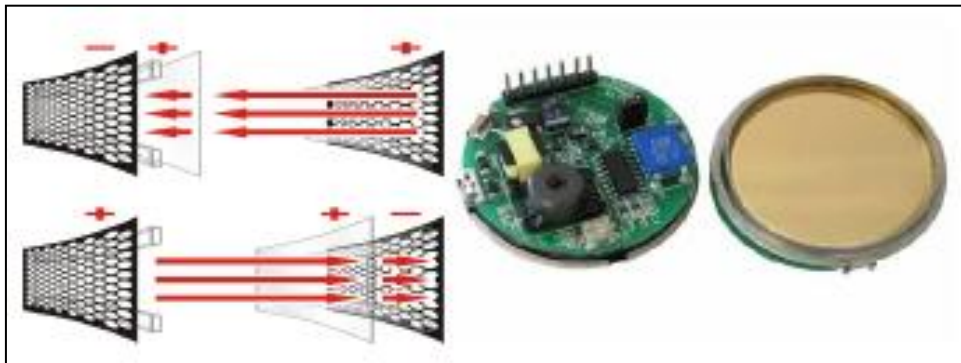
Şekil 1.13. Magnetostrictive Transducer

Elektromanyetik transduser: Bu transduser mikrofon ve hoparlör zarında da kullanılan katı armatürden yapılır, elektrik ve manyetik alanın birlikte varlığında titreşimler yaratır.



Şekil 1.14. Elektromanyetik transduser

Elektrostatik transduser: Özel tasarımı olan bir elektrik kapasitöründe periyodik yük değişimleriyle mekanik titreşimler oluşur.



Şekil 1.15. Elektrostatik Transduser

Sıvılı Transduser: Sıvının kinetik enerjisi sistemin içindeki hareket edebilir bir parçayı titreştirdiğinde akustik dalgalar oluşturulur.



Şekil 1.16. Sıvılı Transduserler

1.7.2.2. Kullanım Çeşitlerine Göre Transducerler

Temashlı transduser: Temizlenecek yüzeye doğrudan temas ettirilerek kullanılır. Yani yıkama tankının herhangi bir bölgesinin dış yüzeyine monte edilir. Bunun için ısıya dayanıklı yapıştırıcı ya da özel vidalar kullanılır.

Daldırmalı transduser: Sıvı içerisine daldırılarak ses dalgalarının yayılımı sağlanır. Daldırma tipi ve temas tipli transduserlerin en büyük farkı içine konuldukları hazne yani kasalarıdır. Daldırma olanları su geçirmeyecek şekilde özel kalıplara yerleştirilir. Genellikle daldırma tipli transduserler çoklu ve sıralı biçimde bir hazneye monte edilir ve bu kapalı kutu suyun içine yıkama tankının duvarlarına ya da tabanına olmak yerleştirilerek kullanılır. Endüstriyel ultrasonik temizleme banyolarında daha fazla ultrasonik güç gerektiği için bu kullanım oldukça uygundur. Laboratuvar uygulamalarında ise çoğunlukla kalem tipinde olan daldırmalı ultrasonik transduser tercih edilmektedir.

Yüksek Yoğunluklu Odaklı Ultrasonik Transduser: Genelde medikal operasyonlarda kullanılan yüksek frekanslı ses dalgalarını bir noktaya odaklayarak ileten cihazdır. Yüksek yoğunluklu odaklı transduserler ise adından da anlaşılacağı gibi ses dalgalarını belirli bir mesafede odaklar. Odaklama mesafesi kullanılan lense göre ayarlanabilir.

Odaklı transduserler çok yüksek mertebelerde enerji açığa çıkarabilirler bu nedenle kullanım sırasında özen gösterilmelidir. Odak noktasına kadar olan bölge içerisine zarar görmesi istenmeyen maddeler yerleştirilmemelidir. Yüksek kavitasyon etkisini odaklaması

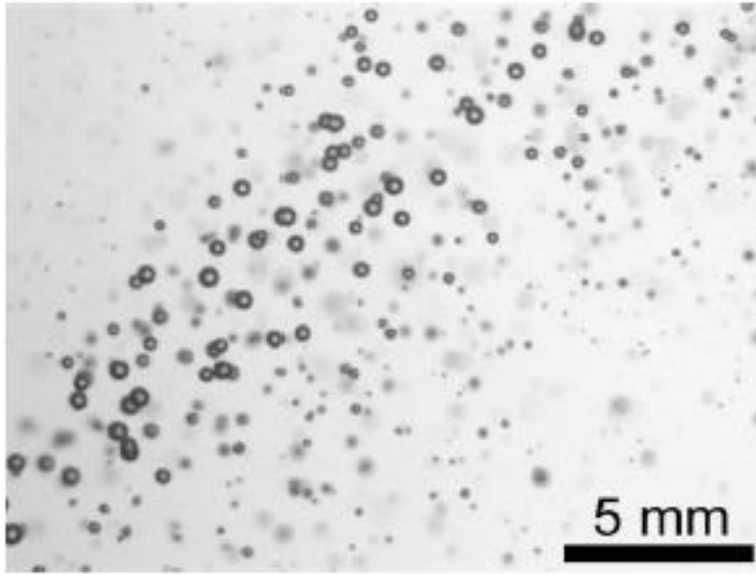
sayesinde kanser tedavisinde noktasal olarak kanserli doku tahribatında kullanılmaktadır [38].

1.7.2.3. Ultrasonik Teknolojisinin Kullanım Alanları

- Metalleri ince toz haline getirmek.
- Çok ince tanecikli fotoğraf emülsiyonları hazırlamak.
- Cıva, altın, vs'i gaz ve sıvılarda süspansiyon haline getirmek.
- Özel metal alaşımları yapmak.
- Gaz karışımlarından gazları ayırmak.
- Fabrikaların kirli gaz ve suları içinde süspansiyon halinde bulunan maddeleri çöktürerek kurtarmak.
- Fabrika bacalarından çıkan gazları temizleyerek çevre havasının kirlenmesini önlemek.
- Tekstil, metal kaplama, saatçilik gibi aşırı temizlik isteyen sanayi kollarında temizleme işlemini yapmak.
- Meşrubat sanayinde şarabı eskitmek, birayı yabancı mayalardan arıtmak, şuruplarda enzimleri glikoz gibi diğer ürünlere dönüştürmek, sütü sterilize etmek.
- Sert maddeleri delmek ve işlemek üzere ultrasesli matkaplar yapmak.
- Elektrik ve elektrik sanayisinde ultrasesli kaynak makineleri, elektronik geciktirme kanalları yapmak.
- Dökümcülükte erimiş metalleri gazdan arıtmak, kristal büyümesini kontrol etmek.
- Ultrasesli hızölçerleri yapmak.
- Ultrasonik çamaşır ve bulaşık makineleri.
- Deniz dibi haritalarını çıkarmakta kullanılan Sonar Cihazları ve Denizaltı gemilerin çevrelerini kontrol etmek için kullandıkları aletler ultrasonik dalgalarla çalışan bir cins radardır.
- Deniz yolu ile ihracat esnasında uzun süreli depolamalarda meyve ve sebzelerin olgunluğu, tahribatsız olarak, ultrases ile yapılır.

1.7.2.4. Ultrasonik Kavitasyon

Ultrasonik Kavitasyon sıvı içerisinde çoğunlukla gözle görülemeyecek kadar küçük kabarcıkların oluşması demektir. Yüksek yoğunluklu ultra ses kavitasyon, mikro salınımlar ve ısıtma gibi bazı özel etkiler yaratabilir. Kabarcıklar belli bir sıcaklıktaki gaz, buhar ya da bu ikisinin karışımıyla doludur ve belirli koşullar altında patlamaktadır. Ultrasonik kavitasyon, bir titreşim kaynağından ya da transduserden yayılan ses dalgalarının sıvı içerisinde oluşturduğu negatif ve pozitif basınç bölgelerinin salınım etkisi altında oluşur ve büyür.



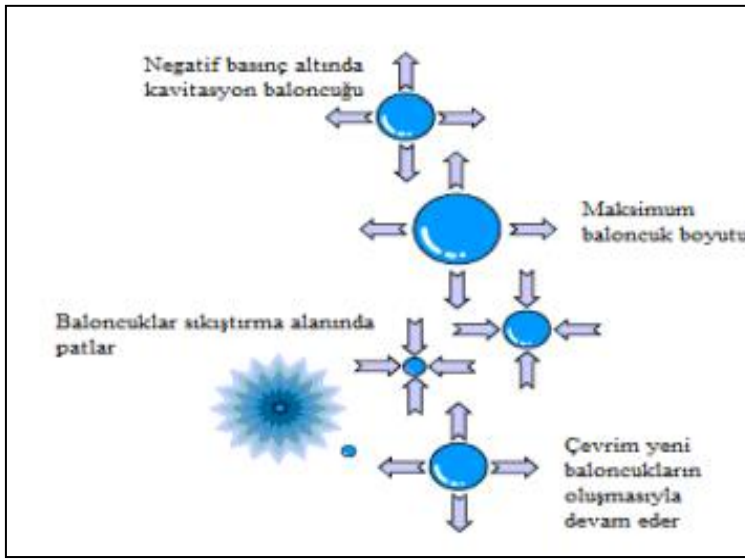
Şekil 1.17. Ultrasonik Kavitasyon Bulutu

Suslick [37], 1994 yılında yayımlanan çalışmasında kavitasyonu sadece sıvıların içerisinde, kabarcıkların biçimlenme, büyüme ve ani patlaması aşamalarından oluştuğunu tanımlamıştır. Boşluğun gelişmesi ve patlaması fark edilebilecek şekilde çevre şartlarına bağlıdır. Boşluğun homojen bir sıvıda çökmesiyle bir katı-sıvı ara yüzüne yakın noktada çökmesi arasında oldukça fark vardır. Ultrases sıvı içerisinde geçerken, genleşme dalgaları sıvı üzerine molekülleri birbirlerinden uzaklaştıracak negatif basınç uygular. Eğer bu ultrases yeterince yoğunsa genleşme dalgaları sıvı içerisinde boşluklar yaratır.

Bu olay negatif basınç, sıvının tipine ve saflığına bağlı olarak değişen yerel gerilme direncini aştığı zaman olur. Ultrasonik Kavitasyon çekirdeklenme süreci, gaz içeren küçük parçacıklar ya da önceki kavitasyon olayında kalan geçici mikro kabarcıklar gibi sıvı

içerisinde önceden var olan zayıf noktalarında başlar. Çoğu sıvıya, kavitasyon daha orta dereceli negatif basınçlarda başlarsın diye küçük parçacıklar eklenir.

Ultra sesle oluşan küçük gaz kabarcıkları ses dalgalarından enerji çeker ve büyür. Boşluk gelişimi sesin yoğunluğuna bağlıdır. Yüksek yoğunluklarda küçük bir boşluk aniden büyüyebilir. Eğer ses dalgasının genleşme yarı çevriminde boşluk genişlemesi yeterince hızlıysa, sıkıştırma yarı çevrimi boyunca tekrar sıkışmaya zaman bulamaz. Daha az akustik yoğunluk altında boşluklar, düzeltilmiş difüzyon denilen daha yavaş bir süreçle büyür. Bu koşullar altında boşluk birçok genleşme ve sıkıştırma çevrimi boyunca salınacaktır. Salınımlar sırasında yüzey alanına bağlı olarak boşluktan içeri ya da dışarı geçen gaz ve buhar miktarı, genleşme sırasında sıkıştırmaya göre oldukça fazladır. Buna göre her bir genleşmede boşluk büyümesi, sıkıştırmada büzülmesinden daha fazla olacaktır. Böylece devam eden akustik dalgalar boyunca boşluk büyüyecektir.



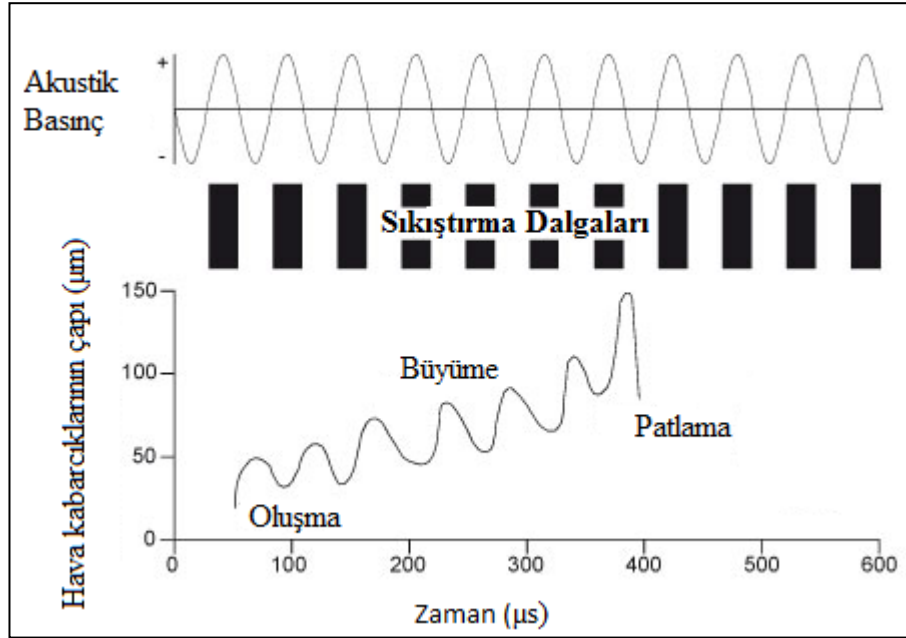
Şekil 1.18. Kabarcık Gelişimi ve Patlaması

Şekil 1.18.' de boşluğun farklı basınç alanları altında genişlemesi, ufalarak salınımına devam etmesi veya kritik boyuta gelince patlaması gösterilmiştir.

Boşluğun büyümesi yeterli miktarda ultra ses yayılımından enerji çektikten sonra kritik noktaya ulaşır. Bu kritik boyuta, rezonans boyutu denir ve sıvının özellikleri ile sesin frekansına bağlıdır. Örneğin; 20 kHz frekansta, boşluk boyutu yaklaşık 170 mikrometredir. Tam bu kritik noktada boşluk tek bir ses dalgası boyunca aniden büyür.

Boşluk bu çok büyümüş haliyle artık yüksek ya da düşük ses yoğunluğu altında daha fazla enerji absorbe edemez. Enerji girişi olmadan da boşluk kendini koruyamaz ve çevreleyen sıvı içeri dolmaya başlayarak boşluğun yıkılma patlamasına neden olur. Bu patlamalar genellikle ultra ses dalgalarının yoğunluğu, akustik kavitasyonel eşiği aştığı zaman meydana gelir. Örneğin; bu eşik değer 20 kHz' e maruz kalan sıradan bir sıvı için birkaç W/cm²'dir [39].

Ses dalgasının sıkıştırma ve genleşme dalgaları, oluşan pozitif ve negatif basınç bölgelerinin etkisi altında oluşan bir boşluğun oluşma, büyüme ve patlama evreleri süresince boyutunda meydana gelen değişimler Şekil 1.19.'da gösterilmiştir.



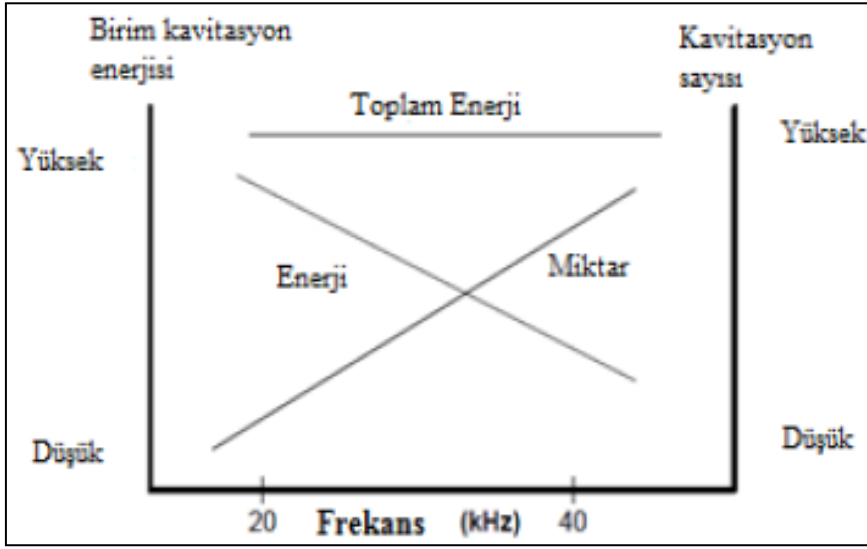
Şekil 1.19. Ultrasonik Kavitasyon Oluşum Aşamaları

Kavitasyon doğanın bilinen en etkili ve en etkileyici enerji yoğunluğunu yükselticidir. Her kabarcık patlaması, yerel sıcaklığın 5000°C ve basıncın 1000 atmosfer değerini aşmasına neden olur. Fakat ömrü 0.1 saniyeden kısadır, ısıtma ve soğutma oranları saniyede 10 milyar°C' den fazladır [40, 41].

1.7.2.5. Ultrasonik Kavitasyon Yoğunluğuna Etki Eden Faktörler

Kavitasyon yoğunluğu, şiddeti, kabarcık sayısı değişik parametreler tarafından etkilenir. Kabarcığın patlamasıyla oluşan şok dalgasının şiddeti doğrudan kabarcık boyutuyla alakalıdır. Daha büyük boyuttaki kabarcık daha güçlü şok dalgası üretir. Boyutu ise frekans belirler. Bu ikisi arasında ters bir orantı vardır, düşük frekansta daha büyük

boyutlu kabarcık oluşurken yüksek frekansta kabarcık boyutları küçüktür. Bunun nedeni düşük frekanslarda kabarcığın gelişmesi için daha fazla zaman aralığı bulunmasıdır. Fakat yüksek frekansta daha çok sayıda kabarcık oluşurken, düşük frekansta bu sayı oldukça azdır. Buradan bir yaklaşımla az sayıda ama büyük boyutundan dolayı yüksek enerjili kabarcıklar içeren bir düşük frekanslı sistemle, çok sayıda düşük enerjili küçük kabarcıklar içeren başka bir sistemin aynı enerjiyi sağlayabileceğini söyleyebiliriz. Şekil 1.20.'de düşük ve yüksek frekanstaki transduserlerin oluşturduğu kavitasyonun toplam enerji miktarının bir noktada kesişebileceği gösterilmiştir [42].



Şekil 1.20. Frekans ve Kaviteasyon Enerjisi İlişkisi

Patlamanın şiddetini belirleyen etkenlerden biri her bir kabarcığın içerisindeki gaz ya da buhar miktarıdır. Eğer kabarcığın içerisinde daha az gaz ya da buhar varsa patlama daha güçlü olur. Oldukça fazla miktarda oluşan kabarcıklar ve bunların patlaması, yüzeyde şiddetli yerel gerilmeler oluşturur ve zarar görmesine neden olur.

Sıcaklık kaviteasyon miktarını arttırmak için en önemli parametredir. Sıcaklıktaki değişimler viskozite, gaz çözünürlüğü, difüzyon hızı, buhar basıncı gibi kaviteasyonu etkileyen parametreleri de değiştirir.

Kaviteasyon yoğunluğunu arttırmak için viskozite değeri minimum olmalıdır çünkü viskoz sıvılar kabarcıkların çabuk oluşmasına izin vermez ve patlamalar şiddetli olmaz. Çoğu sıvının viskozitesi sıcaklık arttıkça düşer.

Ayrıca sıvı içerisinde çözünmüş gazlar, kavitasyonun kabarcık gelişme evresinde ayrışır ve patlamanın şiddetli olmasını önler. Çözünmüş gaz miktarı sıvı sıcaklığı artmasıyla azalır. Yüksek sıcaklıklarda çözünmüş gazların difüzyon hızında artış olur. Buharlı kavitasyon, kabarcıkların ortam sıvısının buharıyla dolu olduğu ve en etkili kavitasyondur. Ancak kaynama sıcaklığına ulaşıldığında, kavitasyon yoğunluğu sıvı kaynamaya başlayınca azalır. Enerji, kavitasyon eşiğinin üzerine çıkartılırsa kavitasyon sabitlenir ve ancak odaklama teknikleri kullanarak arttırılabilir [42].

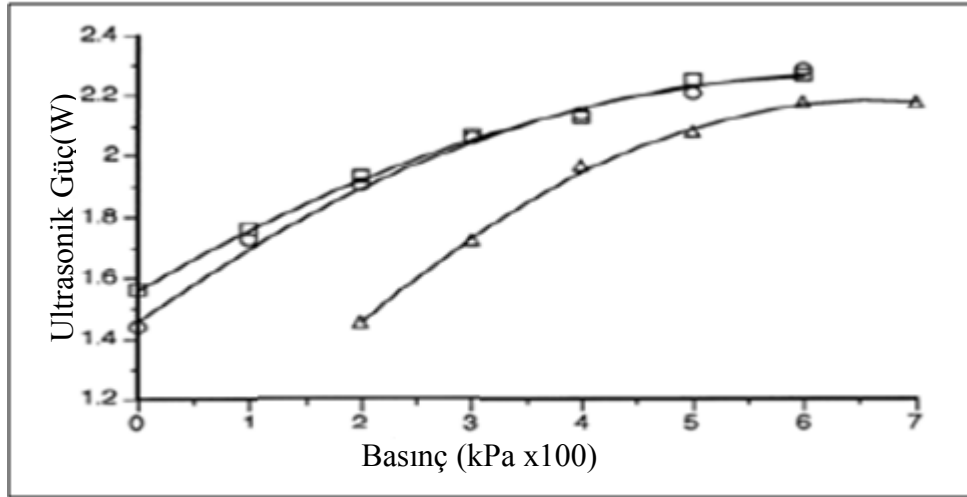
Frekans: Kavitasyon üzerine en etkili parametrenin frekans olduğunu söyleyebiliriz. Düşük frekansta genleşme ve sıkıştırma çevrimleri arasında geçen sürenin boşluğun büyümesi için daha fazla olduğu bilinirken, yüksek frekansta tam tersine daha küçük ama daha fazla sayıda kabarcık oluşmaktadır [43].

Güç: Kavitasyon eşiği için minimum bir güç gerekmektedir. Enerji çok düşükse çok az oluşabilir ya da bu eşiğe hiç ulaşamayabilir. Kavitasyon eşiğinin üzerindeyken daha fazla güç vermenin tek etkisi, aynı kavitasyonel enerjiye sahip daha fazla kabarcık üretmektir. Genellikle güç artışı ultrasonik etkinin de artmasına neden olur fakat bir noktada üretilen kavitasyon kabarcıkları güç aktarım verimini düşürmeye başlar bu nedenle güç her durumda optimize edilmelidir [43].

40°C' de değişik basınç aralıklarında yapılan deneylere göre genliğin artmasının çıkış gücünü üssel olarak arttırdığı görülmüştür. Aynı şekilde farklı sıcaklık değerlerinde aynı basınç altında da yine üssel olarak arttırdığı gözlemlenmiştir. Böylece genellikle beraber çıkış gücünün artmasının sıcaklıkla ya da basınçla ilgili olmadığı, genliğin her koşulda gücü arttırdığı sonucuna varılmıştır [43].

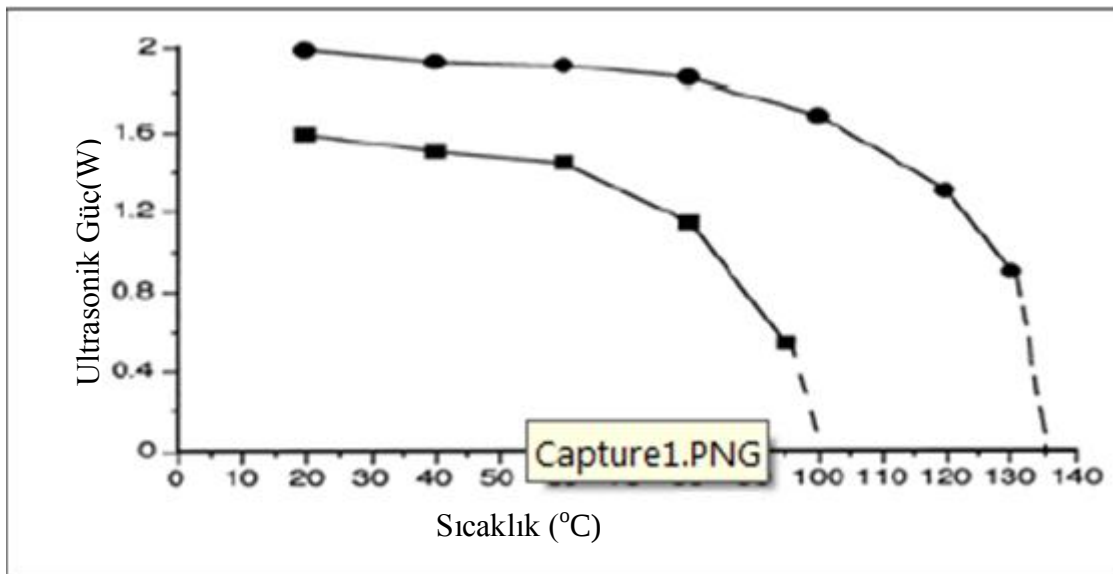
Basınç: Sıvı buhar basıncı uçucu sıvılar düşük akustik güçlerde kavitasyonu güçlendirir ve buhar dolu kabarcıklar üretir. Ancak bu kabarcıkların patlaması buharla tamponlandığı için daha az enerji verir [43]. Dış basıncın artması kavitasyonun başlaması için daha seyrek basınç gerekmesi demektir. Bundan daha önemli bir nokta dış basıncı arttırarak kavitasyonel patlamanın şiddeti artar ve böylece ultrasonik etkide artış görülür [43]. Basınç artışının, ultrasonik güç artışına etkisi vardır ama bu etki sınırlıdır ve bu sınır işlem sıcaklığına bağlıdır.

Şekil 1.21.' de görüldüğü gibi hidrostatik basınç arttıkça çıkış gücü de artar. Ama bu artış bir basınç aralığına ve işlem sıcaklığına bağlıdır. Çünkü basınç çok arttıkça güç artışının azaldığı hatta durduğu görülmüştür [43].



Şekil 1.21. Statik Basıncın 40°C (□), 70°C (○) ve 120°C (Δ) sıcaklıkta ultrasonik çıkış gücüne etkisi

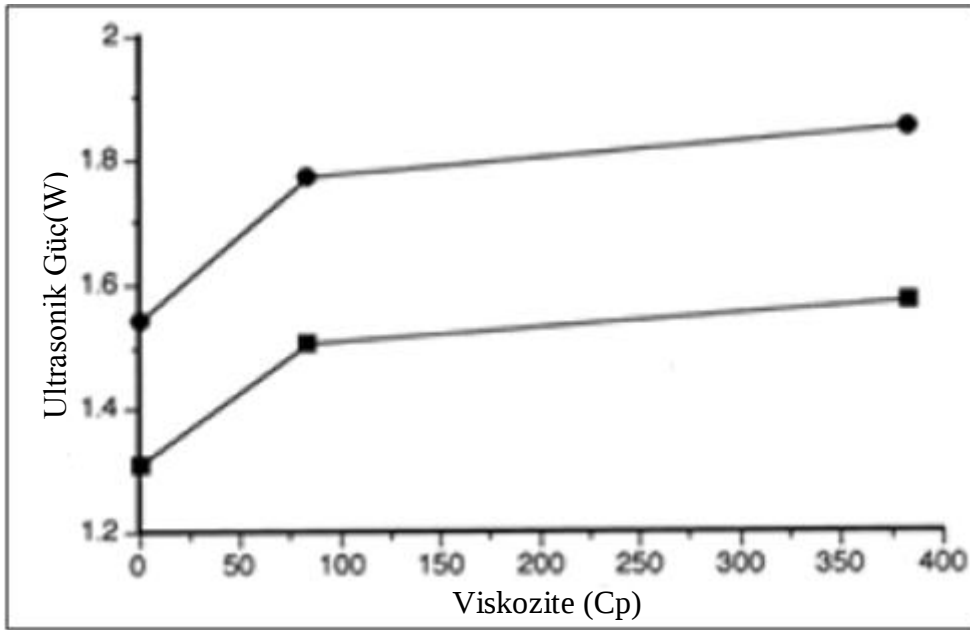
Sıcaklık: Sıcaklık arttırılınca sıvının buhar basıncı da artar ve kabarcıkların içine daha fazla buhar girerek patlamanın şiddetini düşürür. Sıvının sıcaklığı arttığında kabarcık sayısı da çoğalır ve kavitasyon daha da yoğunlaşır. Diğer bir taraftan, sıcaklık yükselirken kabarcıkların içerisindeki gaz içeriği de yükselir böylece kabarcıkların patlama şiddeti azalır. Sıcaklığın bu zıt etkilerini düşünürsek optimum bir sıcaklık değerinde kavitasyonun en yoğun olabileceği çıkarımı yapılır [43].



Şekil 1.22. 0 (■) ve 200 kPa (●) basınçta başlangıç sıcaklığının ultrasonik (120 kHz) çıkış gücüne etkisi.

Sıvı Viskozitesi ve Yüzey Gerilmesi: Viskozite kesme kuvvetlerine karşı direnç demektir ve viskoz sıvılarda kavitasyon oluşumu daha zordur. Yüksek viskozite değerlerinde kavitasyonun daha zor oluşması, daha çok giriş gücü gerektirmektedir. Aynı zamanda baloncukların birim hacim başına daha az sayıda olmasına rağmen patlamaları daha etkilidir. Sıvı ortamın yüzey gerilimlerinin, konsantrasyonun yani viskozitenin ultra sese etkisi olduğu bilinmektedir. Kavitasyon sıvı-gaz ara yüz üretimi gerektirir, bu nedenle düşük yüzey gerilmeleri kavitasyon eşiğini düşürür [44].

Şekil 1.23.' de görüldüğü gibi ortamın viskozitesinin artmasıyla çıkan güç artmıştır ama bu lineer değildir. Aynı şekilde farklı basınçlarda, aynı genlikte ultra ses uygulanan farklı viskoziteli ortamlarda çıkan gücün aynı olabileceği görülmüştür. Viskozite etkisi basınca bağlı olarak değişmektedir, basınç yükseldikçe etki azalır hatta basınç 400 kPa üzerine çıktığında bu etkinin neredeyse sıfır olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan viskozite etkisi genlikten bağımsızdır [44].



Şekil 1.23. 20 Khz Frekans 0 Pa V-Basınçta Viskozitenin Ultrasonik Çıkış Gücüne Etkisi.

Tablo 1.4. Ultrasonik Kavıtasyon Enerjisinin Bazı Değişkenlerle Fonksiyonel İlişkisi

DEĞİŞKEN	SEMBOL	KABARCİK ENERJİSİNE ETKİSİ
Frekans	f	f^2
Basınç Genliği	p	$p^{5/3}$
Yüzey Gerilimi	σ	$\sigma^{1/3}$
Yoğunluk	ρ	$\rho^{-1/2}$
Kabarcık Çapı	R	R^2

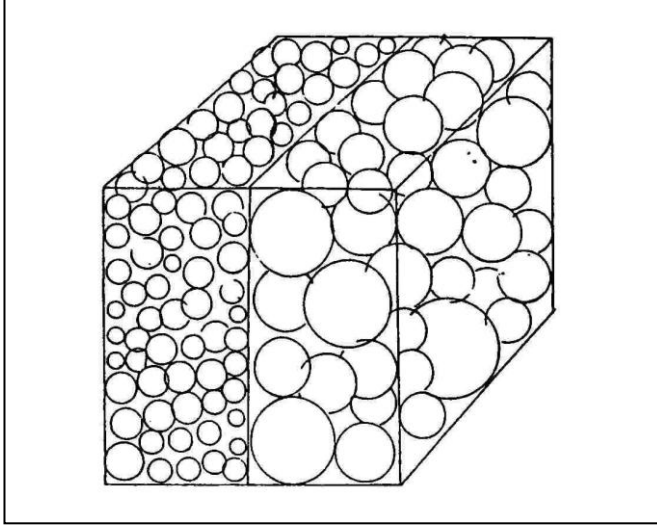
1.8. Damlacık Boyutu Ölçme Yöntemi

İçten yanmalı motorların yanı sıra sanayide, tarımda, tıp alanında damlacık boyutlarının önemli olduğu sahalar mevcuttur. Sanayide kaplama teknolojisinde, tarımda ilaçlama teknolojisinde, tıpta ise sprey ilaçlarının kalitesinin belirlenmesinde damlacık boyutunun önemi büyüktür. Atomizasyonu oluşturan damlalar, çaplarına göre geniş bir dağılım spektrumu gösterirler. Bu damla kümesine bir anma ismi verilebilmesi ve atomizasyon kalitesinin değerlendirilebilmesi için ortalama çaplar ve homojenlik katsayıları kullanılmaktadır [46]. Atomizasyon kalitesinin değerlendirilmesinde en çok kullanılan damla karakteristik çapları şunlardır:

- Hacimsel orta çap (VMD),
- Sayısal orta çap (NMD),
- Aritmetik ortalama çap (d_a),
- Yüzeysel ortalama çap (d_s),
- Hacimsel ortalama çap (d_v),
- Sauter çapı ($d_{v/s}$).

Bu karakteristik çaplardan VMD ve NMD özellikle Amerika ve İngiltere gibi ülkelerde en fazla kullanılan çaplardır. Bu çap değerlerinden başka geometrik ortalama çap ve kütleli orta çap gibi çap değerleri de bazı ülkelerde damla büyüklüğünü tanımlamak için kullanılabilir. Hacimsel orta çap (VMD); püskürtülen damlaların toplam hacmini iki eşit hacme ayıran çaptır. VMD' den daha küçük çaplı damlaların oluşturduğu

hacim ile VMD' den daha büyük çaplı damlaların oluşturduğu hacim birbirine eşittir (Şekil 1.24.). Kısaca, püskürtme hacminin % 50'sinin sahip olduğu çap değeridir. Bu çap değeri $D_{v0.5}$, $D_{0.5}$ ya da $V_{(0.5)}$ gibi farklı sembollerle de ifade edilmektedir [47].



Şekil 1.24. VMD çapının şematik gösterimi

Sayısal orta çap (NMD); pülverizasyon sırasında oluşan damlalar içinde, çapı kendisinden büyük olanların sayısı ile küçük olanların sayısının eşit olduğu sınır çap değeridir. Pülverizasyonda damla çapından başka oluşan damlaların tekdüzeliği de önemli olduğundan, tekdüzelik (homojenlik) katsayısına ilişkin değerlendirmelerin yapılması gerekmektedir. Bu amaçla hacimsel orta çap (VMD) sayısal orta çapa (NMD) oranlanarak bir katsayı (CH) bulunmaktadır. CH, daima 1'den büyük bir değere sahiptir. CH değeri 1'e ne kadar yakın olursa, pülverizasyonu oluşturan damla çaplarının birbirine o oranda yaklaştığını, yani damla tekdüzeliğinin iyileştiğini ifade eder. CH tekdüzelik katsayısından başka, RS olarak bilinen ve $D_{v0.1}$, $D_{v0.5}$ ve $D_{v0.9}$ çap değerlerinden hesaplanan bir tekdüzelik gösterge değeri kullanılabilmektedir. Bu üç karakteristik damla çapı ile 50, 100 ve 200 μm 'den küçük damlaların püskürtme hacmi içerisindeki değerleri kullanılarak uygulamalara ilişkin sürüklenme potansiyelleri de belirlenebilmektedir.

Pülverizasyonda en önemli karakteristik özellik damla çapıdır. Damla çapı; meme tipine, meme orifisi ölçüsüne, çalışma basıncına, püskürtme sıvısının fiziksel özelliklerine ve pülverizasyon şekline bağlı olarak değişmektedir[48].

Tablo 1.5. Damla Karakteristik Çaplarına Göre Pülverizasyonların Sınıflandırılması

VMD (µm)	Pülverizasyonun anma adı
10-30	Sis
31-50	Aeresol
51-100	Çok ince pülverizasyon
101-200	İnce pülverizasyon
201-400	Orta yapılı pülverizasyon
>400	Kaba yapılı pülverizasyon

Damla çapı ölçümünde, direkt olmayan damla toplamalı yöntemler ve direkt damla çapı ölçme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

1.8.1. Direkt Olmayan Damla Çapı Ölçüm Yöntemleri

Damla çapı ölçümünde en basit ve en ucuz yöntem, damlaların bir ortam üzerinde ya da içerisinde yakalanması seklidir. Toplandıktan sonra damla büyüklükleri doğrudan ölçme veya lekelerden dolayı olarak ölçme ile belirlenmektedir. Leke ya da iz bırakma yöntemlerinin kullanılabilmesi için damlanın gerçek çapı ile leke (iz) çapı arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla bir kalibrasyon yapılmaktadır. Örnekleme yüzeylerinde ölçülen leke ya da iz çapları daima damlanın havadaki gerçek çapından daha büyüktür. Çünkü örnekleme yüzeyine düşen damlalar yayılmaktadır. Yayılma faktörü; damla çaplarına, püskürtülen sıvı formülasyonuna ve örnekleme yüzeyinin özelliğine göre değişmektedir. Leke ya da iz bırakma yöntemlerinde, gerçek damla çaplarının elde edilmesi için yayılma faktörü göz önüne alınmalıdır. Direkt olmayan damla çapı ölçme yöntemleri, damla toplama yöntemlerine göre aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

1.8.1.1. Kaplamalı Lamlar

MgO yöntemi en çok kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde kullanılan lamlar, yanan bir magnezyum şeridinden çökelen MgO sayesinde bir mikroskop laminanın MgO filmi ile kaplanmasıyla elde edilir. İstenen kalınlıkta MgO tabakası elde edebilmek için oldukça duyarlı davranılmalıdır. Damla çapları, bir mikroskop ve ışık kaynağı kullanılarak damlaların MgO filmi üzerinde bıraktıkları lekelerin ölçülmesi ile elde edilir. Bu yöntemin en önemli üstünlüğü, yayılma faktörünün damla çapı ve formülasyonu ile değişmemesidir. Buna karşın laboratuvar koşulları dışında uygulanamaması ise olumsuz yanındır. MgO yöntemi dışında, jelatin kaplamalı lamlar ve petrol jölesi kaplamalı lamlar da damla

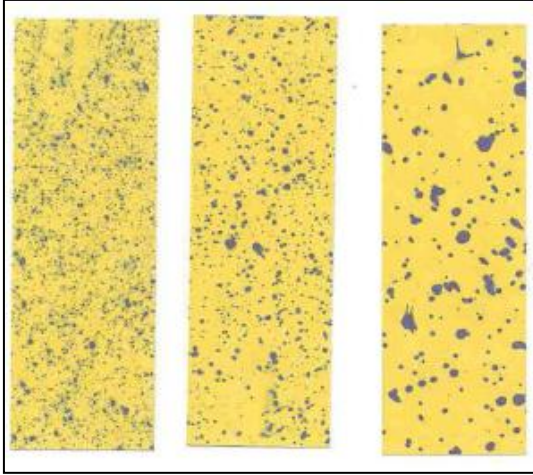
aplarının ölçülmesinde kullanılırlar. Bu tip lamlarda damla çaplarının ölçülmesi için faz farklı mikroskoplar kullanılmaktadır.

1.8.1.2. Kaplamalı Filmler

Kaplamalı filmler suya duyarlı plastik filmlerdir. Bu filmler, ULV formülasyonlarında kullanılan çözücülere duyarlı boya ile kaplanmışlardır. İlaç içerisindeki çözücüler, boyanın asetondan beyazlaşan st tabakasını zer ve alt tabaka ile bir renk farklılığı yaratırlar.

1.8.1.3. Duyarlı Kağıtlar

Bu kartlar, Ph indikatörü brofenol mavisi esaslıdırlar. Kart zerine düşen su damlaları, sarı renkli olan bu kartlar üzerinde kolayca görülebilen mavi lekeler meydana getirmektedir. Bu tip kartlarla çapı 10 m'ye kadar olan damlalar ölçülebilmektedir. Buna karsın, bu kartlar oldukça hassas olduklarından, parmakla dokunulduğunda bile zarar görebilmekte ve bağıl nemin yüksek olduğu ortamlarda kullanımı oldukça zorlaşmaktadır. Daha sonraları bu yöntem Ciba-Geigy tarafından daha da geliştirilerek yüksek bağıl nemlerde bile kullanılabilir duruma getirilmiştir (şekil 1.25.). Suya duyarlı kartlar, ilk olarak imal edilmelerinden bu yana, damla örneklerinin alınarak çaplarının ölçülmesinde çok yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Duyarlı kartlar, yağ esaslı plverizasyonlarda da damla çapı ölçümünde kullanılırlar. Püskürtülen sıvının içindeki çözücüler, beyaz olan kaplamayı zer ve alttaki siyah zemini ortaya çıkarır. Ciba-Geigy, CF1 olarak adlandırılan, yağa duyarlı kartları da geliştirmiş ve üretmiştir. Ancak sıvı formülasyonlarda bulunan çözücülerin tamamı bu kartlar üzerinde leke bırakmamakta ve kullanımları deneyim gerektirmektedir. Yağa duyarlı kart kullanımında hata oranını azaltmak için küçük çaplı plverizasyonlar yapmak, floresan iz maddesi içeren damlaları kullanmak ve bu damlaların kalıntılarını UV ışığı altında izlemek gereklidir.



Şekil 1.25. Suya Duyarlı Kartlar

1.8.1.4. Damlaları Bir Sıvı İçine Düşürerek Ölçme

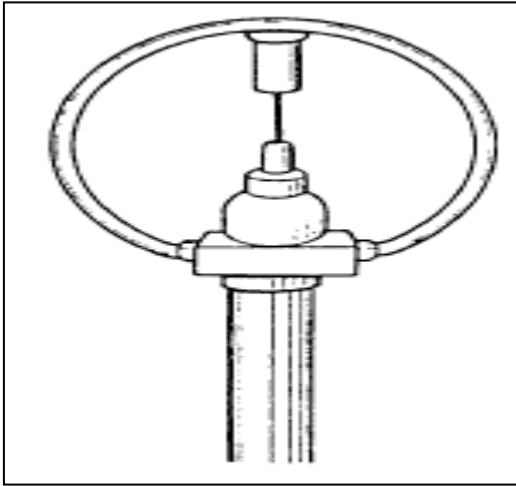
Laboratuvarlarda kullanılmak üzere sıvı ortamlarda damla toplama ve bu damla örneklerinden damla çapı ölçümü amacıyla bir çok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en çok kullanılanı, yağ banyolu yöntemdir. Burada örnekleme yüzeyi olarak, içinde yüksek viskoziteli yağlar bulunan petri kutuları vb. kullanılmaktadır. Pülverizasyon alanına yerleştirilen petri kutuları içine düşen damlalar, yağ içerisine tamamen batarak yüzerler ve küresel şekillerini korurlar. Bu yöntemle herhangi bir kalibrasyona gerek duyulmadan damla çapları doğrudan ölçülebilmektedir. Bu yöntemde en önemli nokta, damlaların düşürüleceği sıvının özellikleridir. Seçilen sıvı;

- Püskürtülen sıvı ile hiçbir şekilde karışmamalı,
- Yoğunluğu, damlaların içine gömülebileceği kadar az ve damla küreselliğini koruyacak düzeyde olmalı,
- Viskozitesi, damlaların dağılmasına neden olmayacak ve buharlaşmasını önleyecek kadar küçük, damlaların hareketini önleyecek kadar büyük olmalı,
- Işık geçirime özelliği iyi olmalıdır.

1.8.1.5. Lifli Ortamlar

Küçük çaplı lifler, çapı 50 μm 'nin altında olan damlaları yakalamak amacıyla kullanılabilir. Lifler üzerinde toplanan damlalar, küresel formlarını korurlar ve kalibrasyona gerek duyulmadan çapları ölçülebilmektedir. Bu yöntemde, örneklemede kullanılan düzenek "harp" örnekçisi olarak tanımlanmaktadır. Harp, bir çatı üzerine tutturulmuş 10 μm çapındaki tellerden oluşmaktadır. Çatının laboratuvara taşınması için özel bir kutu bulunmaktadır. Çatının taşınması sırasında dikkatli olunmalıdır. Bu yöntem,

abuk buharlasan formülasyonlar için uygun değildir. Harp rnekisine benzeyen diğer bir yöntemde ise kızgın telli anemometreye benzer bir teknik kullanılarak ısıtılmış bir tel üzerinde toplanmaktadır. 200  C sıcaklıkta 5  m çaplı bir platin telin üzerindeki damlalar sıcaklık nedeniyle buharlaşmakta ve telin sıcaklığı düşmektedir. Teldeki sıcaklık düşüşü, tel direncinde bir düşüşe neden olmakta ve bir elektronik sinyal meydana getirmektedir. Damlaların büyüklüğü, kalibrasyon yardımıyla bu sinyallerden belirlenmektedir (şekil 1.26).



şekil 1.26. Kızgın Telli Damla Sensörü

1.8.2. Direkt Damla apı lm Yöntemleri

Damla çaplarının direk yöntemlerle ölçümü, hassasiyet ve güvenilirlik açısından oldukça iyi olup, ölçümler doğrudan ve hızlı bir seklide yapılmaktadır. Son yıllarda elektro-optik ve mikrobilgisayarlar üzerindeki önemli gelişmeler, çeşitli doğrudan ölçüm sistemlerinin yaygın olarak kullanılır duruma gelmesini sağlamıştır. Bu yöntemlerden en yaygın kullanılanları aşağıda açıklanmıştır.

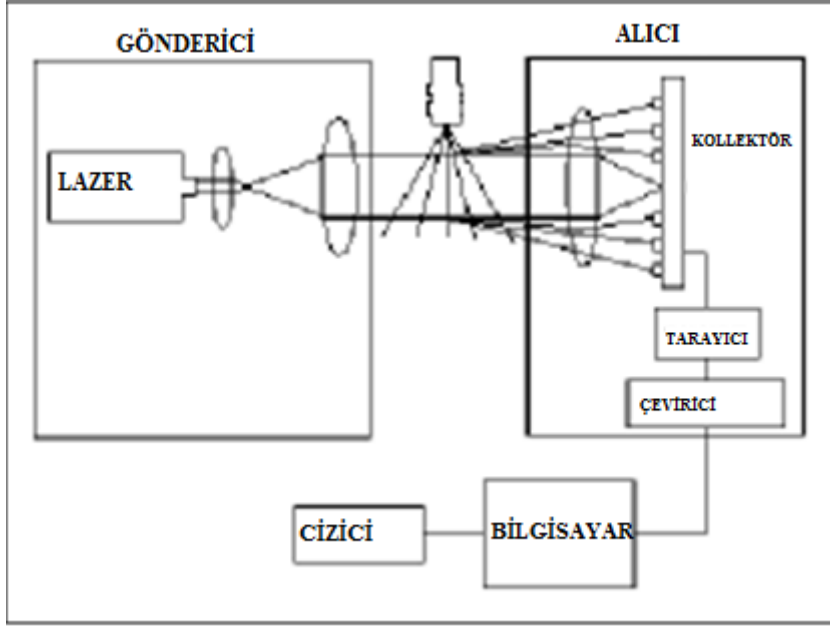
1.8.2.1. Fotoğrafik lm Yöntemleri

Yüksek hızlı fotoğraflama, pülverizasyon işlemine incelemek amacıyla çalışan araştırmacılar tarafından çok uzun zamandır kullanılmaktadır. Ayrıca, havada uçuş halindeki damlaların büyüklüğünü ölçmek amacıyla da kullanılabilir. Bu yöntemde genel olarak "spark" fotoğraflama tekniği kullanılmaktadır. Burada, yüksek bir voltaj boşaltımı (deşarjı) yardımıyla oluşturulan yüksek hızlı flaş kullanımıyla, damla hareketi dondurulmaktadır. Fotoğraf çekildikten sonra, damlaların görüntüleri damla analiz teknikleriyle analiz edilerek, damla çapları ölçülmektedir. Bu yöntemin bazı güçlükleri bulunmaktadır. Bunlar, hareket nedeniyle görüntü sınırlarındaki bozulmalar ve odaklama

sınırlarının derinliğinden dolayı yetersiz tanımlamalardır. Küçük damlaları ölçmek için yüksek büyütme oranlarına gereksinim duyulmaktadır. Bu yöntemle doğru ölçümler yapabilmek için çok sayıda fotoğraf çekilmesi gerekmektedir. Bazı meme üreticileri, ürettikleri memelerin damla spektrumunu analiz etmek için yüksek hızlı fotoğraflamayı kullanmışlardır. Bu sistem, yüksek hızlı bir flaş ve video sistemi ile oluşturulmuştur. Çeşitli araştırmacılar ise çift çekimli flaş kullanarak damla hızını ölçmek için bu yöntemi kullanmışlardır.

1.8.2.2. Lazer Esaslı Ölçüm Yöntemleri

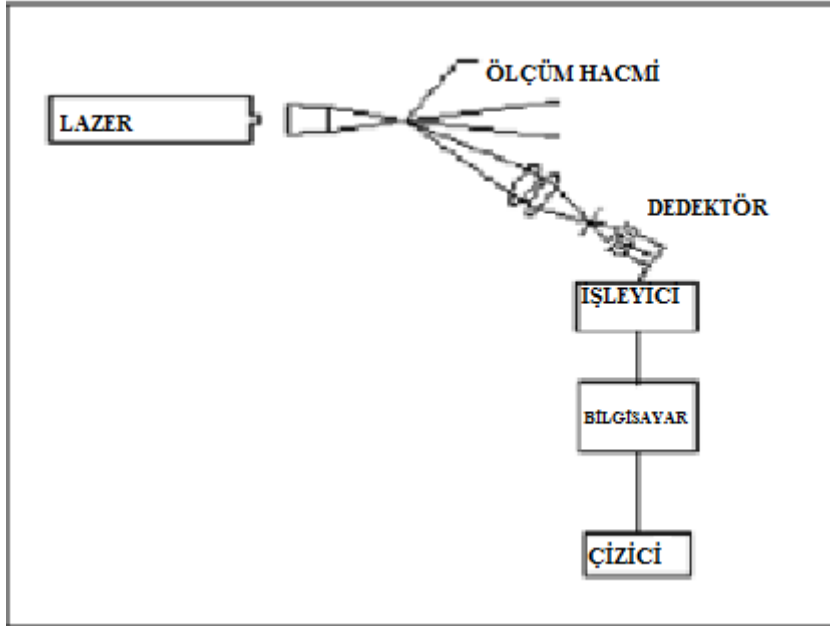
Lazer kırınım yöntemi uzaysal örnekleme yapmakta olup direkt damla çapı ölçüm yöntemleri sınıfına girmektedir. Bu yöntemde kullanılan cihazlar gönderici, alıcı ve bilgisayardan oluşmaktadır. Örnekleme alanından geçen damlalar lazer ışın demetinde açısal ışık dağılımına neden olurlar. Kırılan ışığın yoğunluğu, hacimsel olarak damla konsantrasyonunun bir fonksiyonudur. Dağınık ışığın yoğunluğu alıcı ünitedeki yan yana dizilmiş yarım dairesel fotodedektörlerle ölçülür. Işık yoğunluk dağılımı bir program yardımıyla deneysel tanecik dağılım fonksiyonuna çevrilir. Bu yöntemle göre çalışan sistemlerden biri Malvern damla büyüklüğü ölçüm sistemidir (Sekil 1.27.). İngiltere’de Malvern Instruments tarafından imal edilmiştir. Sistem, bir mikrobilgisayara bağlı ışık detektörünün önündeki optik bir platforma bağlanmış düşük güçlü Helyum-Neon lazerinden oluşmaktadır. Yayılan ışık yoğunluğu dağılımının ölçümü, bir fourier merceği ve 31 elemanlı bir algılayıcı (detektör) kullanılarak yapılmaktadır. Ölçülen ışık yoğunluğu dağılımı, ya varsayılan bir damla çap dağılım fonksiyonu ya da bağımsız bir yazılım modeli kullanılarak en iyi dağılım eğrileri esasına göre hesaplanmış ışık yoğunluğu dağılımı ile karşılaştırılır. En düşük farklar elde edildiği zaman, sonuç mikrobilgisayar tarafından gösterilir. Bazı bilgisayar yazılımları, sadece ışığın kırılma ile yayılmasından oluşan sapmalarını değil, aynı zamanda ışığın damlaların içinden geçtiği ama kırılmadığı kabul edilen ışınları da değerlendirebilmektedir.



Şekil 1.27. Malvern Parçacık Analiz Sistemi

Bu yöntemin en ciddi sınırlaması çoklu yayılma olarak bilinir. Çoklu yayılma püskürtme yoğunluğu çok yüksek olduğu zaman gerçekleşir. Işık detektöre ulaşmadan önce muhtelif damlaların kırılmasına uğrayabilir. Bu da damla çapı dağılımının hesaplanmasında hata oluşturabilir. İlaç damlaları tarafından yayılan ışık, fotodetektöre uygun sinyaller sağlayacak yeterlilikte olmalıdır. Bundan dolayı örnekleme hacmi içerisindeki pülverizasyonun konsantrasyonu, damla büyüklüğünün doğru bir şekilde ölçülmesini sınırlandırır. Lazer esaslı diğer bir yöntem ise lazer doppler damla ölçüm yöntemidir. Bu sistem gönderici, alıcı, sinyal işleyici ve bilgisayardan oluşmaktadır (Şekil 1.27.). Bir ışın dağıtıcı (bölücü) ve lensler kullanılarak iki kesişen ışın elde etmek için sürekli bir lazer kullanılmaktadır. Yaklaşık 5 W'lık Argon-İyon veya Helyum-Neon lazeri kullanılmaktadır. İki ışının kesiştiği ve ışın saçaklarının birbirine girdiği yerde küçük bir örnekleme hacmi oluşmaktadır. Örnekleme hacminden geçen bir damla, modüle edilmiş yayılmış ışık üretir. Bu ışık, bir Doppler kırılma sinyali şeklindedir. Modülasyon frekansı damlanın hızıyla orantılıdır. Damlaları ölçmek için, Doppler kırılma sinyalinin uzaysal frekansı gerekmektedir. Bu sistemde 3 adet fotodetektör kullanılmaktadır. Sinyal ayarlamasından sonra üç detektör arasındaki faz farkı ölçülmektedir. Bu ölçüm, sıfır noktasındaki sinyaller karşılaştırılarak ya da çapraz korelasyon tekniğini kullanarak yapılmaktadır. Uzaysal ayırım nedeniyle 3 kırılmış Doppler sinyali, farklı damla çaplarına karşılık gelen faz farklarına sahip olup, bu faz farkları lineer bir kalibrasyon eğrisi şeklindedir. Damla çapları bu kalibrasyon eğrisinden belirlenmektedir. Sistemde kullanılan

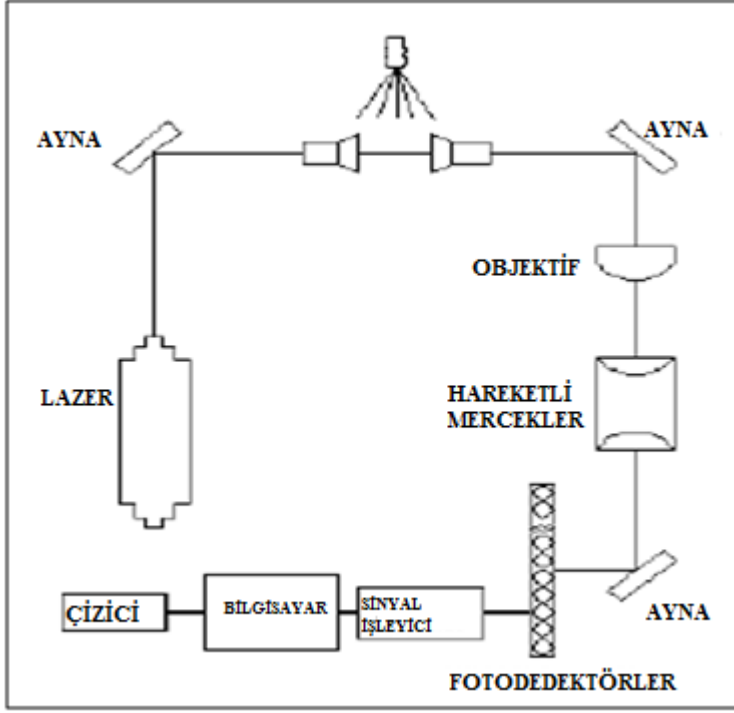
üç detektör, ölçme hatalarından kaçınmak için kullanılmıştır. İki veya daha fazla damlanın aynı anda geçişinden alınan sinyaller değerlendirilmemektedir.



Şekil 1.28. Lazer Doppler Parçacık Analiz Sistemi

Bazı Doppler cihazları frekansı kaydırma özelliğine sahiptir. Bu sistemler ışık saçaklarını modüle ederek Doppler frekansını artırır. Bunun sonucunda, saçak modülasyonu doğrultusundaki örnekleme hacmini geçen damlalar tarafından daha çok ışın saçakları kesiştirilmekte, bundan dolayı ölçülebilen damla hızı aralığı artmaktadır. Lazer Doppler sistemleri, damla spektrumu ve sistem parametrelerini gösteren bir mikrobilgisayar data sistemine sahiptir. Fotodedektörlü Parçacık Analiz Sistemi bir akış örnekleme cihazıdır (Şekil 1.29.). Sistem ışık kaynağı, bir dizin fotodiyotu ve bilgisayardan oluşmaktadır. Damlalar örnekleme düzleminde geçerken boyutlandırılır ve sayılır. Bilgi toplama örnekleme yüzeyinden geçen damlaların gölgelendirdiği lazer ısınlığının miktarının ölçülmesine dayanır. Bu elde edilen bilgilerle damla hızı da hesaplanır. İki boyutlu sistemde damla ölçümü iki aralıkta yapılabilmektedir. Bu aralıklar 100 ile 6200 mikron ve 200 ile 12400 mikrondur. Bu sistem oldukça gelişmiş ve kendi kendini test edebilme yeteneğine sahiptir. Sistem odaklanmamış ya da seçilen testlere uymayan damla görüntülerini otomatik olarak ayıklar. Bu sistemde karşılaşılan problemler, genellikle düzgün yapılmamış kalibrasyon ve bakımdan kaynaklanır. Optik elemanlar kolaylıkla ıslanmaya eğilimlidirler ve temizlenip merkezlemesi deneyim gerektiren işlerdir. Ayrıca yoğun püskürtmede elektronik sisteme fazla yüklenilmekte ve bu da

örnekleme alanının azaltılmasına neden olmaktadır. Örnekleme alanı, düzeltme faktörü ve damla dağılım denklemini analiz yapan operatöre bırakmaktadır [49].

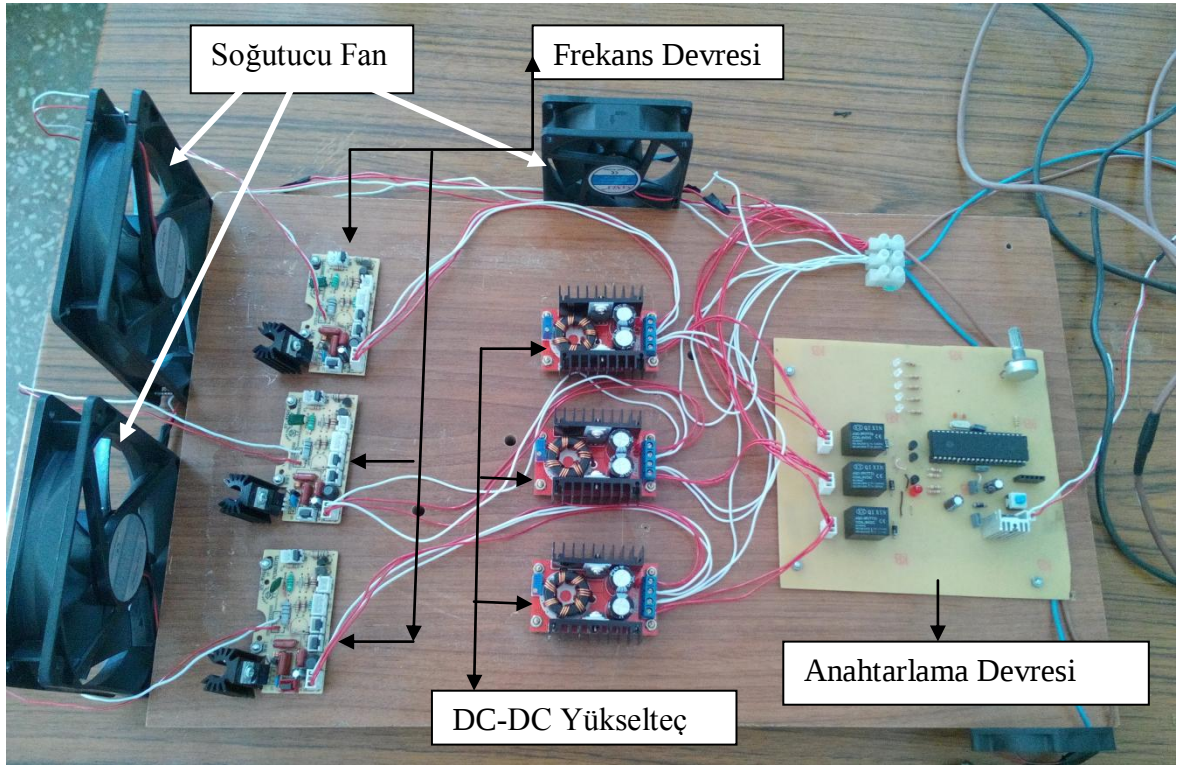


Şekil 1.29. Fotodetektörlü Parçacık Analiz Sistemi

2. MATERYAL VE METOT

Yapılan bu çalışmada benzin yakıtının, yanma verimini yükselterek yakıt tasarrufu sağlamak ve egzoz emisyonlarını azaltmak için ultrasonik atomizasyon yöntemi kullanılmıştır. Öncelikle benzinin atomizasyonunu sağlayabilmek için bir ultrasonik ses üretici dizayn edilmiştir. Daha sonra bu sistemle benzin oda şartlarında atomize edilerek yüksek çözünürlüklü mikroskopik USB kamera ile yakıt zerreciklerinin fotoğrafı çekilip, görüntü işleme yöntemi ile damlacık dağılımları ve ortalama damlacık boyutları hesaplanmıştır. Son olarak cihaz 4 zamanlı, 4 silindirli, karbüratörlü, buji ile ateşlemeli bir motora monte edilerek, yakıt tüketimi, motor performansı, egzoz emisyonları belirlenip literatür ışığında yorumlanmıştır.

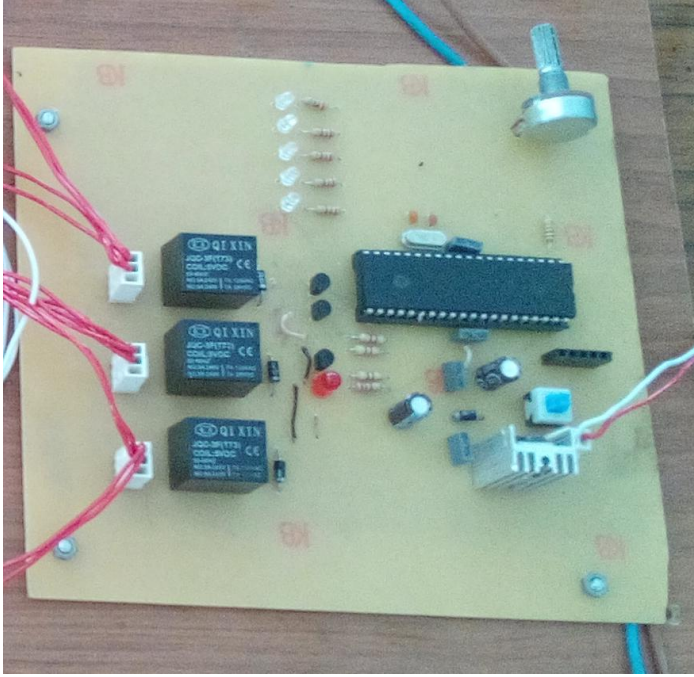
2.1. Ultrasonik Ses Üretici Dizaynı ve Elemanları



Şekil 2.1. Ultraosnik Ses Üreteci Devre Elemanları

Yapılan bu çalışmada üç adet ultrasonik sensör kullanılmıştır. Bu nedenle üç adet elektronik düzenek kurulmuştur. Kullanılan motorun maksimum devri 6000 devir kabul edilip her 2000 devir için bir sensör kullanılmıştır.

2.1.1. Anahtarlama Devresi

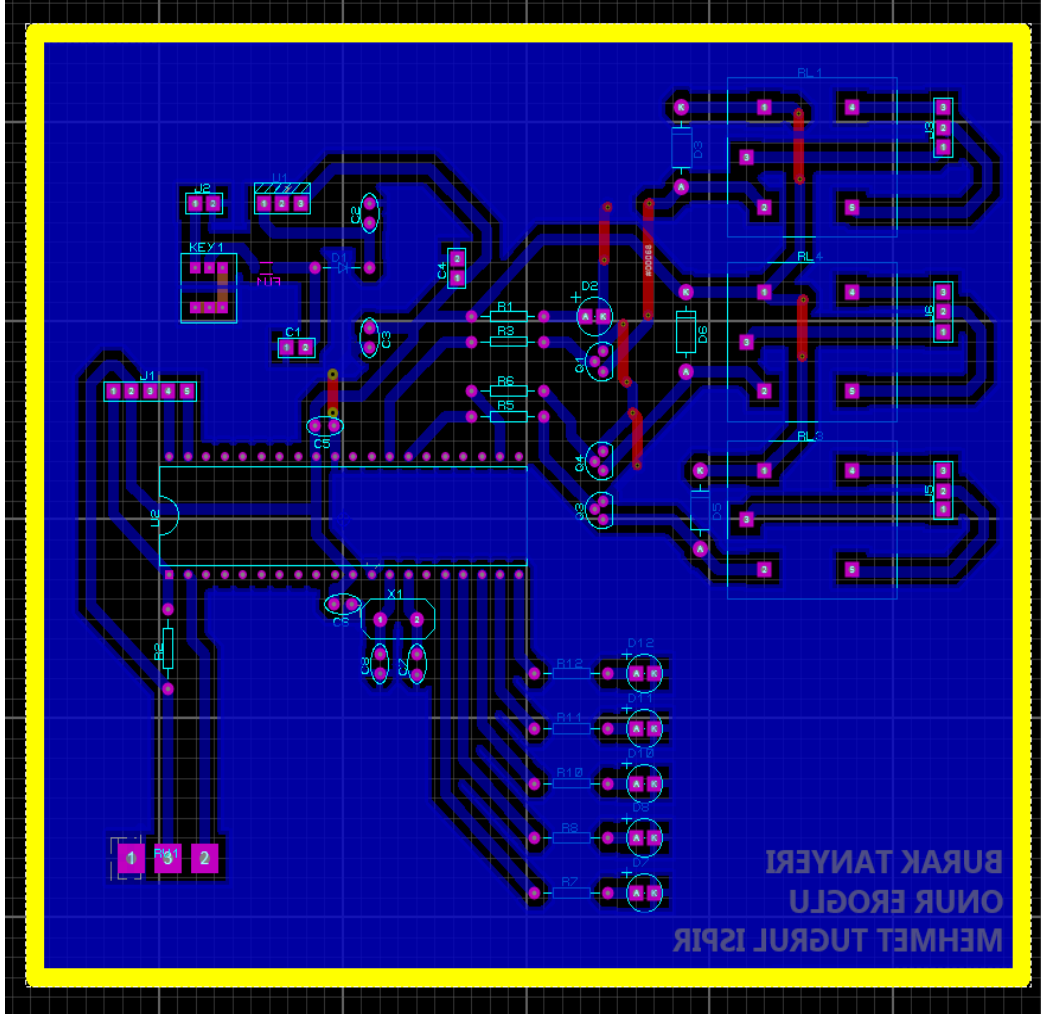


Şekil 2.2. Anahtarlama Devresi

Bu devre taşıtlarda kullanılan elektrik beslemesi olan 12 V DC akü ile frekans devresini sürebilmek için gerçekleştirilmiştir. Devre üzerinde 12 V giriş sağlayabilen bir soket, anahtar, gerekli miktarda direnç, kondansatör, diyot ve transistör, PIC programlama ile programlanabilen mikro işlemci, regülatör, potansiyometre, röleler ve aktif olan röleyi gösteren led lambalar bulunmaktadır. Ayrıca mikro işlemciyi programlayabilmek için de bir soket devre üzerine yerleştirilmiştir. Yapılan bu dizayn sayesinde gaz kelebeği konumuna göre taşıtın ihtiyaç duyduğu yakıt miktarı atomize edilerek motora gönderilebilmektedir. Devre üzerinde bulunan potansiyometre gaz kelebeği konumuna kalibre edilerek, direnç büyüklüğüne göre, önce tek sensör, gaz kelebeği açıklığı arttıkça iki sensör, gaz kelebeği açıklığının daha artması ile de üç sensör birlikte çalışarak gerekli atomizasyonu gerçekleştirmektedirler. Motor deneyleri esnasında motorun çalışma durumu göz önüne alınarak çalışma haritası oluşturulmuş ve C programlama dilinde gerekli program yazılarak mikro işlemci programlanmıştır. Bu programlamaya göre, motor kontak anahtarı marş yapmadan önce açık konuma geldiği anda ilk röle devreye girer ve atomizasyon başlar, gaza basılmaya başlandığı andan itibaren motor hızı 2000 d/d 'ya ulaştığında ikinci röle açılarak ikinci sensörü devreye sokar ve iki sensör birlikte atomizasyona devam ederler. Motor hızı 3500 d/d' yı geçtikten sonra ise üçüncü röle açılarak üçüncü sensörü devreye sokar ve üç sensör aynı anda atomizasyona devam eder.

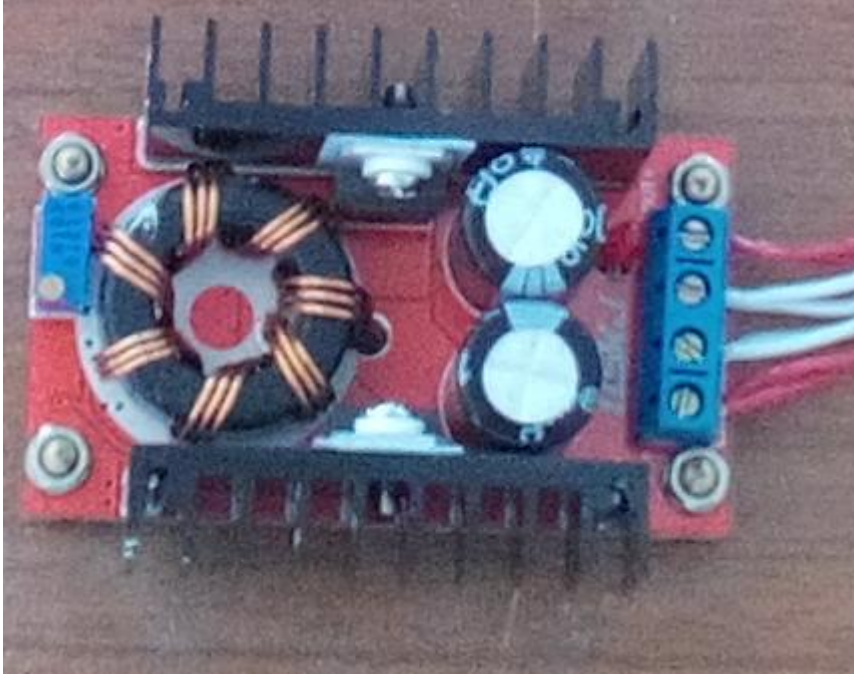
Gaz kelebeği konumuna göre belirtilen devirlerden daha düşük devirlere doğru eğilim olduğunda ise röleler sırası ile kapanarak gerekli yakıt miktarı atomize edilmiş olur.

Mikro işlemcinin çalışmaya gerilimi 5V olduğu için, aküden alınan 12V' luk gerilim regülatör yardımıyla 5V' a düşürülmektedir. Aynı şekilde kullanılan rölelerinde çalışma gerilimi 5V dir ve yükselteç devresine 5V çıkış verirler.



Şekil 2.3. Kontrol Kartı Devresi ARES Çizimi

2.1.2. Yükselteç Devresi (boost tipi dc-dc konvertör)

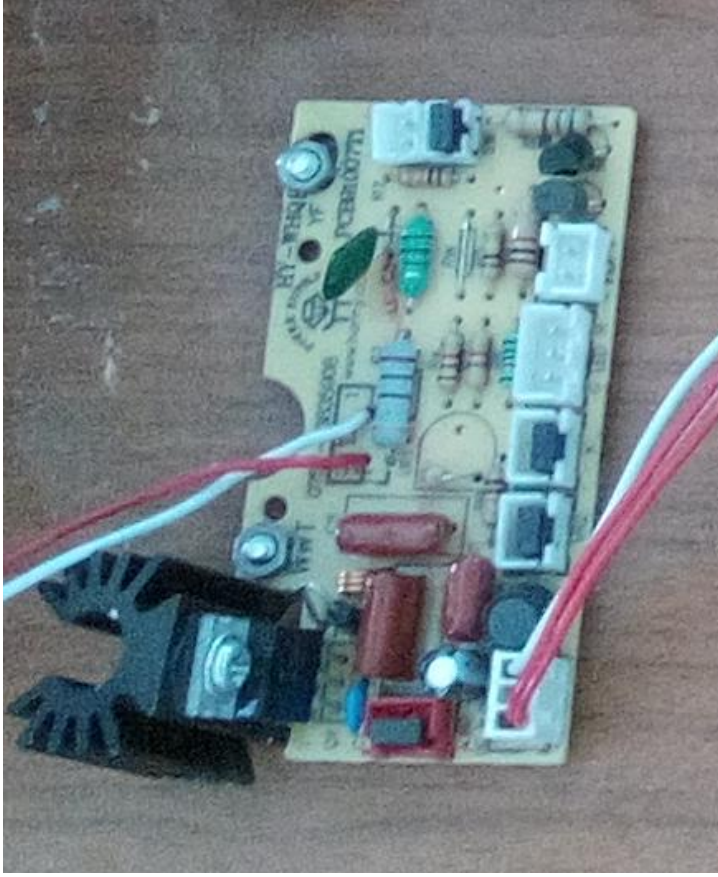


Şekil 2.4. Yükselteç Devresi

Ultrasonik atomizasyonda kullanılan piezoelektrik sensörün maksimum çalışma gerilimi 40V tur. Bu nedenle atomizasyonun sağlanabilmesi için franks devresini besleyen gerilimin 20V-40V aralığında olması gerekmektedir. Yükselteç devresi, rölelerin sürülmesi ile üzerine gelen 5V DC gerilimi 5V ile 40V aralığında ayarlama vidası yardımıyla değiştirebilmektedir. Üzerinde giriş çıkış soketleri, giriş kondansatörleri, bobin, ayarlı direnç, transistör ile kanatçıklı soğutucuları ve çıkış gerilimini belirleyen mikro işlemciler bulunmaktadır. Yapılan bu çalışmada frekans devresinin besleme gerilimi 30 V olarak ayarlanmıştır. Her bir sensör için ayrı bir yükselteç devresi kullanılmıştır.

2.1.3. Frekans Devresi

Yapılan çalışmada kullanılan piezoelektrik sensör seçimi yapılırken en çok sayıda damlacık oluşturabilen en yüksek frekanslı piezoelektrik seramik seçilmiştir. Yani oluşturulan frekans 1.6 MHz mertebesindedir. Tıp alanında kullanılan nebuliztörlerde de benzer frekanslardaki sensörler kullanılmaktadır.



Şekil 2.5. Frekans Devresi

Frekans devresi sistemin en önemli elemanlarından birisidir. Bir piezoelektrik seramik olan sensörün moleküler düzeyde mekanik olarak titreşmesini sağlayacak frekansın üretildiği devredir. Üzerinde yükselteç devresinden gelen gerilimin girişi için soket, gerekli devre elemanları ve frekans olarak çıkış bulunmaktadır. Frekans çıkış kabloları direkt piezoelektrik seramiğe bağlıdır.

2.1.4. Piezoelektrik seramik sensör



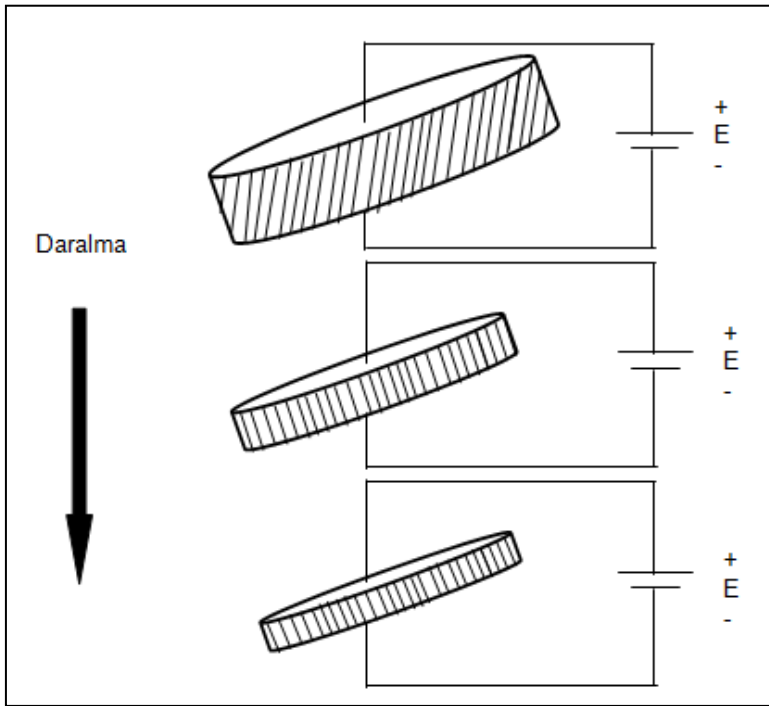
Şekil 2.6. Piezoelektrik Seramik Sensör

Piezo elektrik etkisi, iletken olmayan billurdan yontulmuş bir levhaya belli bir doğrultuda uygulanan bir baskı (çekme ya da sıkıştırma) sonunda, billur levhanın iki yüzünde ters işaretli yüklerin (+q ve -q) ortaya çıkmasıyla nitelendirilen olaydır [50].

Pierre ve Jacques Curie kardeşler 1880'de Fransa'da kristalleri çeşitli yönlerden sıkıştırarak voltaj ürettiklerini keşfettiler ve buna piezoelektrik etki adını verdiler. Daha sonra bu olayın tersinir olduğu kanıtlandı. Tersinir bir olay olan piezoelektrik etki kuvars ve bazı seramiklere (seignette tuzu ya da baryum titanat) özel biçimde duyarlıdır. İki yüzey üzerinde elektrik yüklerinin bulunmasından dolayı bu yüzler üstüne yerleştirilen iki elektrot arasında bir U potansiyel farkı ölçülebilir. Ortaya çıkan elektrik yüklerinin yüzeyesel yoğunluğu, uygulanan basınçla doğru orantılıdır. Oran katsayısına piezoelektrik modül adı verilir. Bu olayın tersinir bir niteliği vardır. Söz konusu iki yüzeyin her biri üstüne +q ve -q yükleri uygulanırsa ya da bu yüzeyler arasına bir U potansiyel farkı uygulanırsa, levhanın belirli bir doğrultuda genleştiği ya da kasıldığı gözlenir. Uygulanan baskı U potansiyel farkı ile orantılıdır. Sonuç olarak piezoelektrik etki ve bunun tersi, bir F mekanik kuvvetin bir elektriksel potansiyel farkına doğrudan dönüşümünün elde edilmesini sağlar [50].

2.1.4.1. Piezoelektrik Rezonans

Bir kuvars levhası bir f_0 mekanik titreşim frekansı olan esnek bir katıdır (genleşme ve sıkışma). Bu frekansın değeri : $f_0 = V/2e$ 'dir. Burada V , titreşimin kuvarsta ilerleme hızı (3500 m/sn) ve e , titreşim dalgasının yarı uzunluğuna eşit olan levha kalınlığıdır (1 mm 'lik kalınlık için: $f_0 = 3500/2 \times 0,001 = 1750000$ hertz). Bir kuvars levhası f_0 frekansında titreşim yaptığında, bu levha üstüne uygun biçimde yerleştirilmiş iki elektrot arasında aynı f_0 frekansında değişen bir gerilim elde edilir. Dolayısıyla kuvars levhası salınan bir elektrik devresine benzetilebilir.



Şekil 2.7. Bir Piezoelektrik Kristalin Akım Uygulanması Halinde Değişimi.

Bir piezoelektrik kristali gerilim uygulandığında, uygulanan voltajın polaritesine, kristalin geometrisine ve ilk polarizasyonuna bağlı olarak boyuna, enine veya radyal olarak çevresine doğru genişler ya da daralır. Şekil 2.7.'da bir kristale uygulanan voltaja göre kristalin genişlemesi veya daralması gösterilmiştir.

Bu daralıp genişleme sonucunda ultrasonik dalgalar meydana gelir. Günümüzde kullanılan probların büyük bir bölümünde PZT (Polycrystalized Tetragonal Zirconia) kristali, polarize edilmiş seramik kristal kullanılmaktadır. İstenilen frekansta ultrason dalgası üretmek için uygun kristal kalınlığı seçilir. Örneğin 3,5 MHz'lik bir probda kullanılacak kristalin kalınlığı, $d=c/2f$ formülüyle hesaplanabilir.

Burada:

c : PZT içinde sesin yayılma hızı (3780 m/s)

f : İstenilen frekans (3,5 MHz olarak alınır)

d : 0,50 mm bulunur

2.1.4.2. Piezoelektrik Seramiğin Özellikleri

Tablo 2.1. Ultrasonik Ses Üreticinin Teknik Verileri

Bileşenleri	Kurşun Zirkonat Titanat (PZT)
Giriş Voltajı(Max)(V)	48±10%
Güç Tüketimi (W)	30 ± 5
Ultrasonik Frekans (kHz)	1600-1750
Harici Potansiyometre (kΩ)	5
Sıvı Sıcaklığı (°C)	0-45
Transduser Ömrü (h)	10000
Paralel Bağlantılı Çalışmalar	Uygun

2.2. Ultrasonik Ses Üreticinin Çalışma Prensipleri

12 V DC gerilim anahtarlama devresinin giriş soketinden sisteme verildiği andan itibaren sistem çalışmaya hazır vaziyettedir. Anahtarlama devresi üzerinde bulunan kontak anahtarı görevi yapan açma kapama anahtarı açık konuma geçtiği anda mikro işlemci tarafından birinci röleye akım gönderilerek röle sürülür. Röle Aküden gelen 12 V' luk gerilimi kontrol etmektedir. Rölenin açık konuma geçmesi ile birlikte 12 V' luk akü gerilimi yükselteç devresinin giriş soketine gelir ve devreye giriş yapar. Yükselteç devresinde gerilim önceden ayarlanmış 30 V'a çıkarılarak frekans devresine gönderilir. Frekans devresine gelen 30 V' luk gerilim 1,6 MHz lik frekansa çevrilerek AC dalga şeklinde piezoelektrik seramik olan transduser üzerine gönderilir. Böylelikle transduser üzerinde mekanik titreşimler oluşturularak ultrasonik ses üretilmiş olur. Yakıtın içerisine daldırılmış olan transducerlerden çıkan ses dalgaları yakıtın içerisinden geçerken sıvı yüzeyinde parçalanmalar başlar ve yakıt ultrasonik kavitasyona uğrayarak atomize edilir.



Şekil 2.8. Ultrasonik Atomizasyon Başlamadan Önce ve Başladıktan Sonraki Görüntüsü

2.3. Deney Düzenğinde Kullanılan Damlacık Boyutu Ölçme Yöntemi

Yapmış olduğumuz deney düzeninde damlacık boyutlarının ölçülmesi için Dino-Lite marka dijital mikroskopik USB kamera kullanılmıştır. Ultraosnik sesi üreten piezoelektrik seramik sensörler atomizasyon kabına yerleştirildikten sonra üzerine 1 litre yakıt konularak atomizasyon kabının kapağı kapatılıp atomizasyon başlatılmıştır. Sıvı yakıtın üzerinde sis bulutu şeklinde yakıt damlacıkları oluştuğundan sonra atomizasyon durdurulmuştur. Atomizasyon kabının kapağında mikroskopik kameranın girebileceği büyüklükte üç adet delik açılıp kamera her birine sırasıyla yerleştirilmiştir. Atomize olmuş yakıt damlacıklarının hava hareketlerinin olmadığı kapalı bir kap içerisindeki havada askıda kaldığı ve çok düşük bir hızda yerçekimi yönünde hareket ettiği görülmüştür. Bu esnada tam tepe noktadan bakan mikroskopik kameranın üzerine entegre Led ışıkları yakılarak karanlık ortam içerisinde bulunan damlacıklar aydınlatılmıştır. Aynı anda video kaydedici başlatılıp kameranın odak noktasındaki damlacıklar kayda alınmıştır. Saniyede 30 kare fotoğraf çekebilen dijital mikroskopik kameranın aldığı görüntüler incelenip MATLAB programı yardımıyla yazılan Görüntü İşleme Programında işlenmiştir.

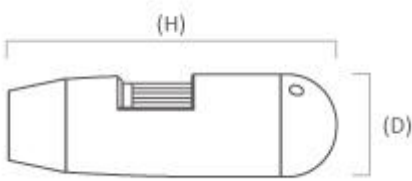
2.3.1. Deneyde Kullanılan Dijital Mikroskopik USB Kamera ve Teknik Özellikleri



Şekil 2.9. Deneyde Kullanılan Dijital Mikroskopik Kamera

Tablo 2.2. Dino-Lite Mikroskopik Dijital Kamera Teknik Özellikleri

Model	AM413T Dino-Lite Pro
Ara Yüz	USB 2.0
Ürün Çözünürlüğü	1.3M pixels (SXGA)
Büyütme Oranı	20x~50x, 200x
Sensör	Color CMOS
Frame Oranı	Up to 30fps
Kayıt Formatı	Image: DinoCapture1.0: BMP, JPG DinoCapture2.0: BMP, GIF, PNG, MNG, TIF, TGA, PCX, WBMP, JP2, JPC, JPG, PGX, RAS, PNM DinoXcope: PNG, JPEG Movie: DinoCapture1.0: AVI DinoCapture2.0: WMV, FLV, SWF DinoXcope: MOV
Mikro dokunma	Resim almak için mikroskop üzerinde hassas dokunma
Aydınlatma	Yazılım tarafından kontrol edilebilen 8 beyaz Led Işık

Ölçme Fonksiyonu	Var
Kalibrasyon Fonksiyonu	Var
Desteklenen Çalışma Sistemleri	Windows8,7,Vista,XP MAC OS 10.4 or later
Toplam Ağırlık	100(g)
Ölçüler	10cm(H)x3.2cm 
Paket Ölçüleri	16cm(L) x 16cm(W) x 6cm (H)

Tablo 2.3. Miroskobik Kamera Çalışma Verileri

M	WD	FOV (x)	FOV (y)
20	51.7	25.1	20.1
30	24.1	16.8	13.4
40	11.0	12.6	10.1
50	3.8	10.1	8.0
60	-0.6	8.4	6.7
200	-0.4	2.5	2.0
210	0.6	2.4	1.9
220	1.7	2.3	1.8
230	2.8	2.2	1.7

M = Büyütme Oranı

WD = Çalışma Mesafesi

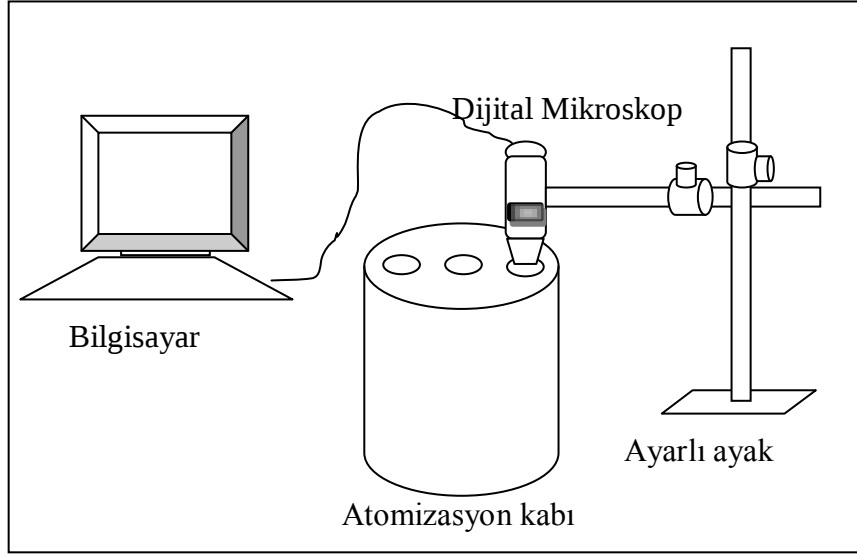
FOV = Görüntü Alanı

Birim = mm



= Seçilen Çalışma Şartları

2.3.2. Görüntüleme Deney Düzenekinin Şematik Görüntüsü ve Çalışma Prensibi



Şekil 2.10. Görüntüleme Deney Düzenek Şematik Görüntüsü

Şekil 2.10. da görüldüğü gibi atomizasyon kabı içersine üç farklı noktadan daldırılan mikroskopik kamera, kap içerisindeki sis halinde bulunan damlacıklardan mikroskopun odağında bulunan damlacıkların görüntülerini kaydetmektedir. Kameranin görüntü alırken odaklanabilmesi ve titrememesi için ayarlı kamera ayağı kullanılmıştır. Bu sayede damlacıkların görüntüleri daha net alınabilmektedir. Görüntüler USB portundan bilgisayara gerçek zamanlı aktarılarak kaydedilmektedir. Alınan görüntüler daha sonra görüntü işleme programı ile işlenerek damlacıkların boyutu ve aynı boyuttaki damlacıkların yüzde dağılımları hesaplanarak grafiğe dönüştürülüp yorumlanmıştır.

2.3.3. Görüntü İşleme Programı ve Görüntünün İşlenmesi

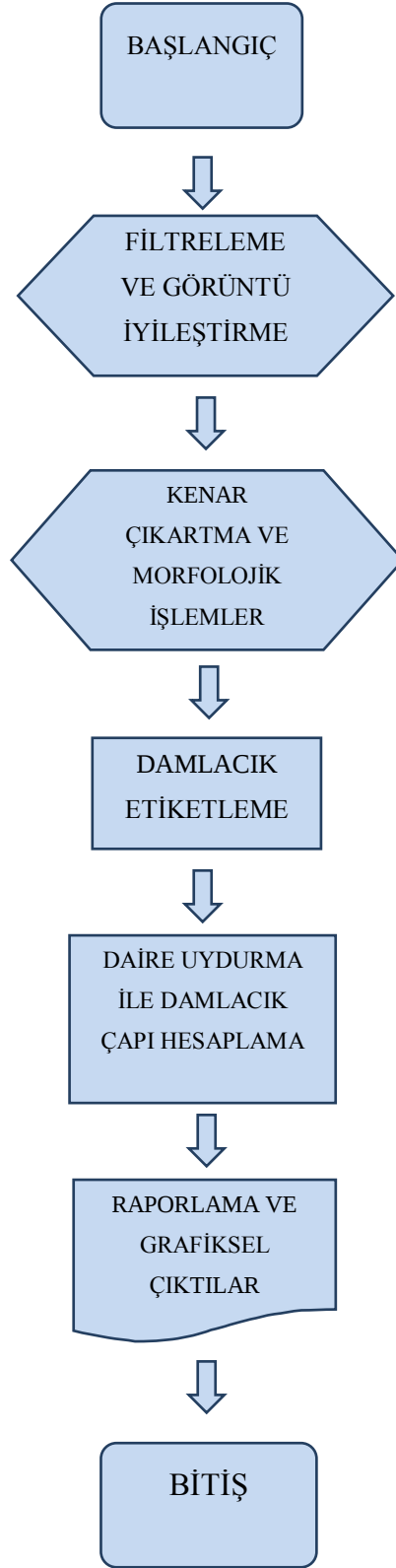
Görüntü işleme bir görüntüyü dijital hale dönüştürmeye ve bu görüntü üzerinde bilgisayarla işlem yapma konularını kapsar. Dijital görüntü işleme yöntemlerinin iki ana amacı vardır.

- Görüntünün daha iyi yorumlanabilmesi için görüntünün iyileştirilebilmesi,
- Bilgisayarın görüntüyü yorumlayabilmesi için görüntünün analizi.

Görüntü iyileştirme tekniklerinin hedefi, görüntüyü özel bir amaç için orijinal görüntüden daha uygun bir biçime getirmektedir. Bir görüntü iyileştirme sisteminin hem girdisi hem de çıktısı dijital resimdir. Kullanılan teknikler genellikle probleme bağlıdır. Dijital görüntü analizi ise görüntünün içeriğini tanıma tanımlandırma konularını kapsar. Burada girdi

dijital bir resimdir. Çıktı ise görüntünün içeriğini anlatmaya yarayan çeşitli semboller veya kodlardır [52].

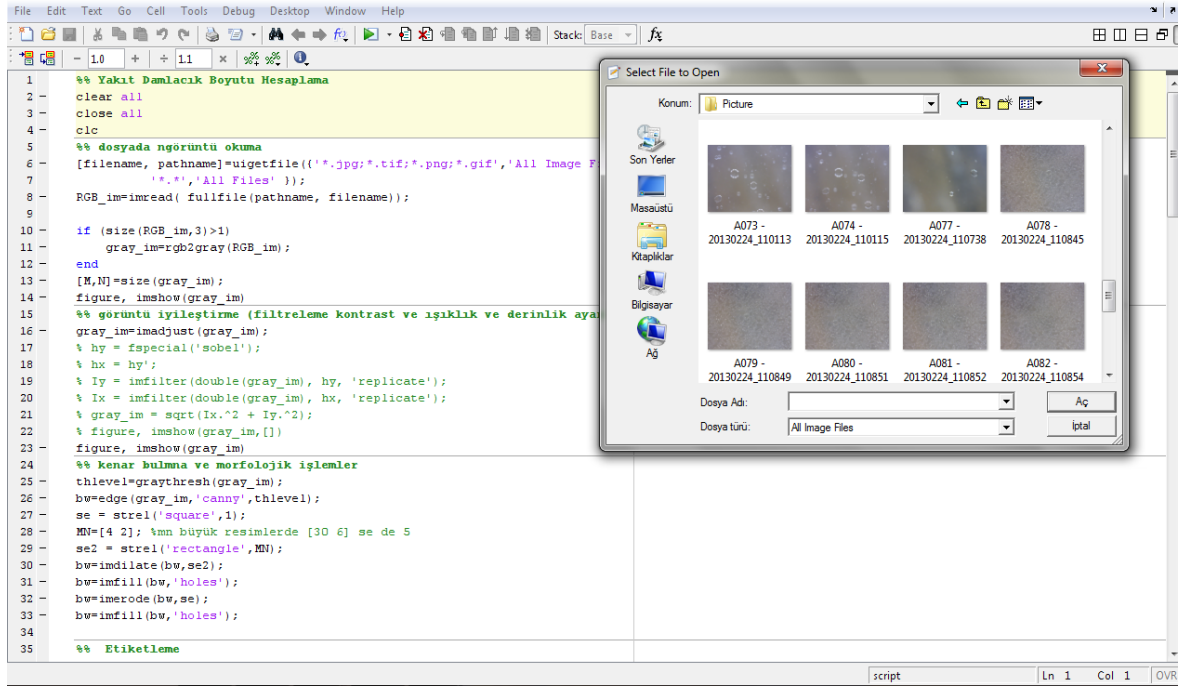
Görüntüleme deney düzeneğinde elde edilen ve bilgisayarda depolanan damlacık görüntülerinin analiz edilmesi için MATLAB programına aktarılması ve analiz sonuçlarının grafiksel olarak alınması sürecidir. Analiz işlemi esnasında aşağıdaki akış diyagramına göre hareket edilmiştir.



Şekil. 2.11. Görüntü İşleme Programı Akış Diyagramı

2.3.3.1. Başlangıç

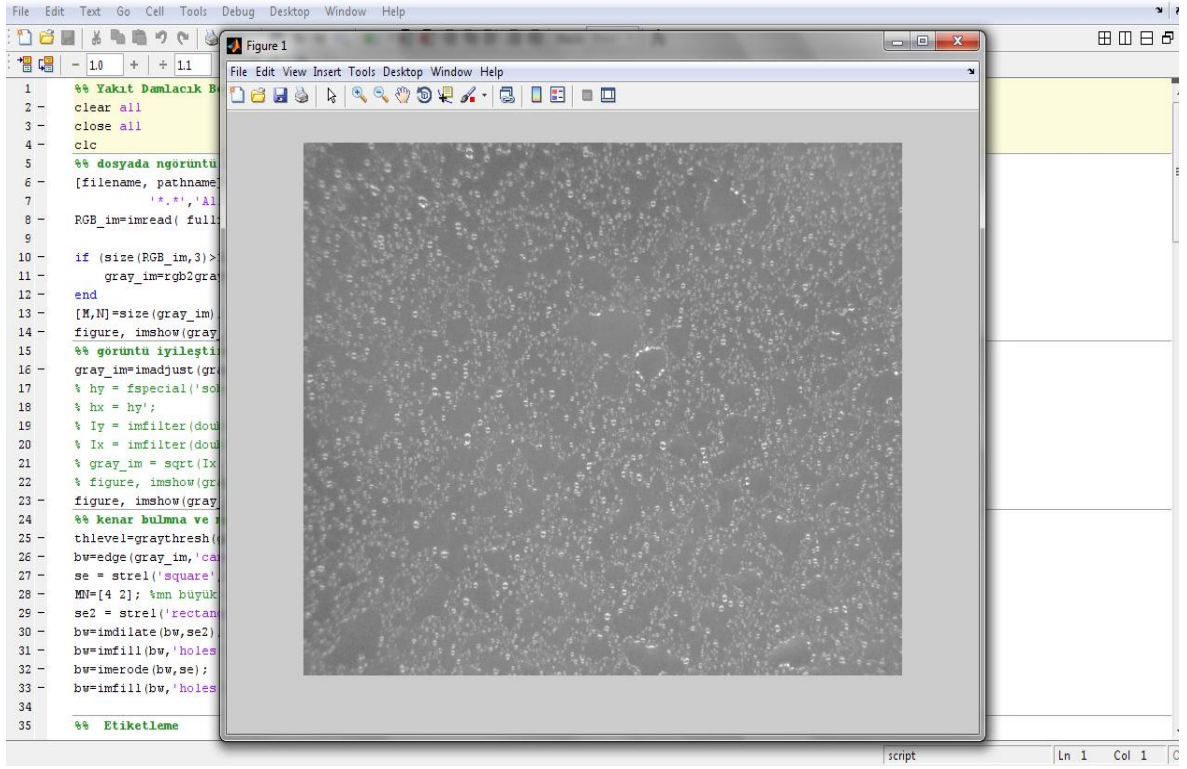
Başlangıç aşamasında kullanılan bilgisayar üzerinde yüklü bulunan MATLAB programı başlatılarak yazılmış olunan program çalıştırılır. Programın ara yüzü dosyadan bir görüntü seçilmesini ister ve görüntü seçildikten sonra, seçilen görüntü analiz için programa aktarılır.



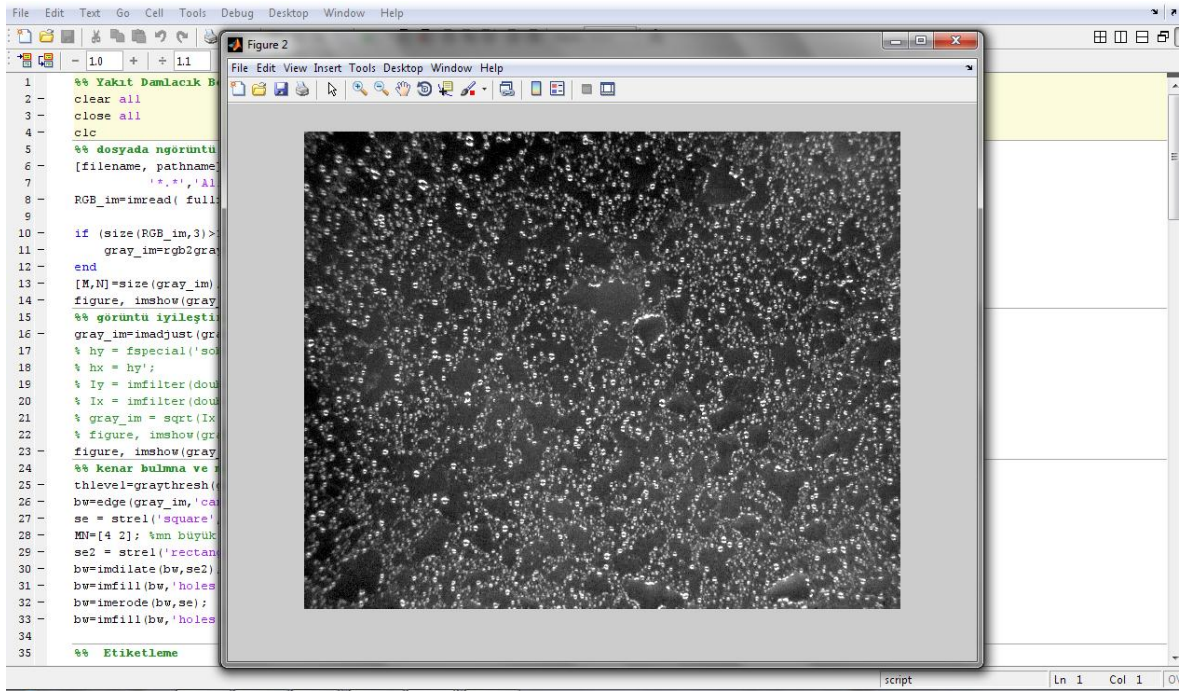
Şekil 2.12. Program Çalışma Başlangıcı ve Görüntü Alma

2.3.3.2. Filtreleme ve Görüntü İyileştirme

Bu aşamada program, görüntü analizinin başarısını arttırmak ve sonuçların gerçeğe yakınlığını daha net belirlemek için orijinal görüntünün bulanıklığı ve kontrast ayarları üzerinde iyileştirme yapar. Ayrıca bir eşik değeri aralığı belirlenip bu aralığın altındaki ve üstündeki değerler silinir. Böylelikle üçboyutlu bir ortamda kaydedilip iki boyutlu bir düzlemde gösterilen görüntüden kaynaklanan üst üste binme, birleşik görünme ve ışık yansımalarından kaynaklı görüntü hataları elenmiş olur.



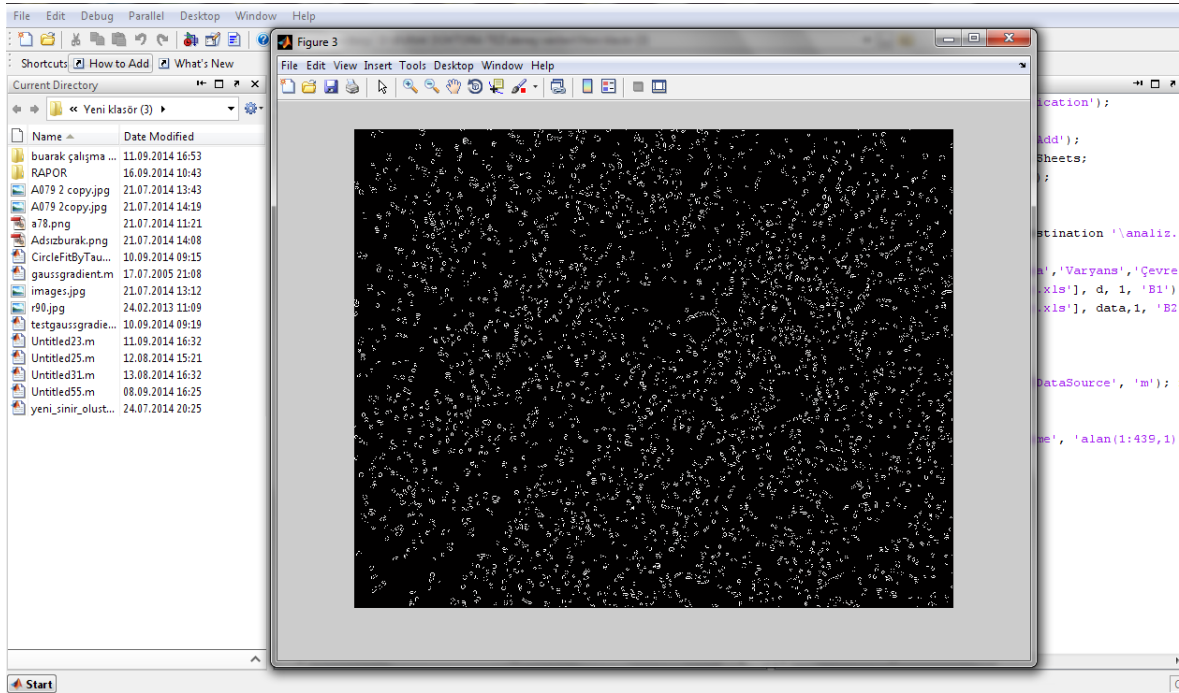
Şekil 2.13. Deneylerden Elde Edilen Orijinal Görüntü



Şekil 2.14. Filtrelenmiş Görüntü

2.3.3.3. Kenar Çıkartma ve Morfolojik İşlemler

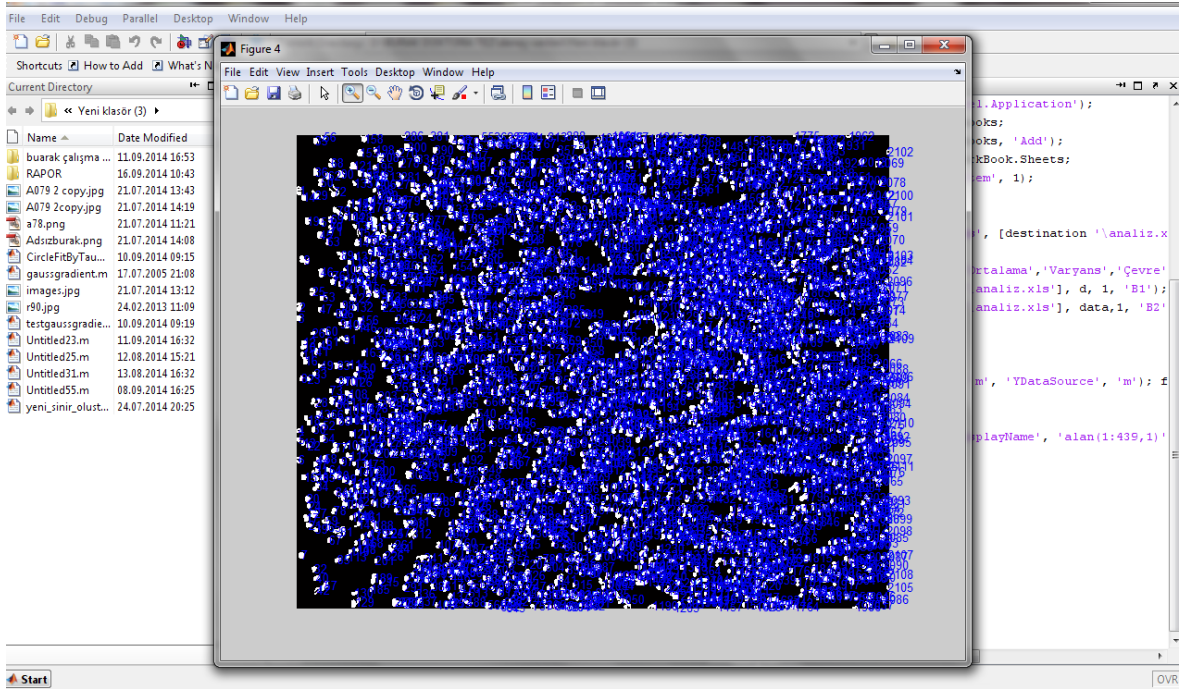
Kenar çıkartma işlemi görüntü işleme programında gerçek sonuçları elde edebilmek için gerekli önemli bir adımdır. Görüntüdeki süreksizlikleri ve keskin tonlama değişikliklerini bulma işlemidir. Bu işlem esnasında görüntü üzerinde bulunan bütün piksellerin renkleri kodlanarak, ani renk değişikliklerinin olduğu koordinatlar belirlenip bu koordinatlar kenar olarak belirlenir. Daha sonra morfolojik işlemlere kenarı belirlenen görüntü üzerine uygulanır. Kenar belirleme işleminden sonra ani renk değişikliğinden kaynaklanan istenmeyen kenarların oluşması veya birleşmeyen kenarların oluşmasını önlemek için açma veya kapama işlemi yapılarak kenarların sadece istenen kısımlarının kalması sağlanır.



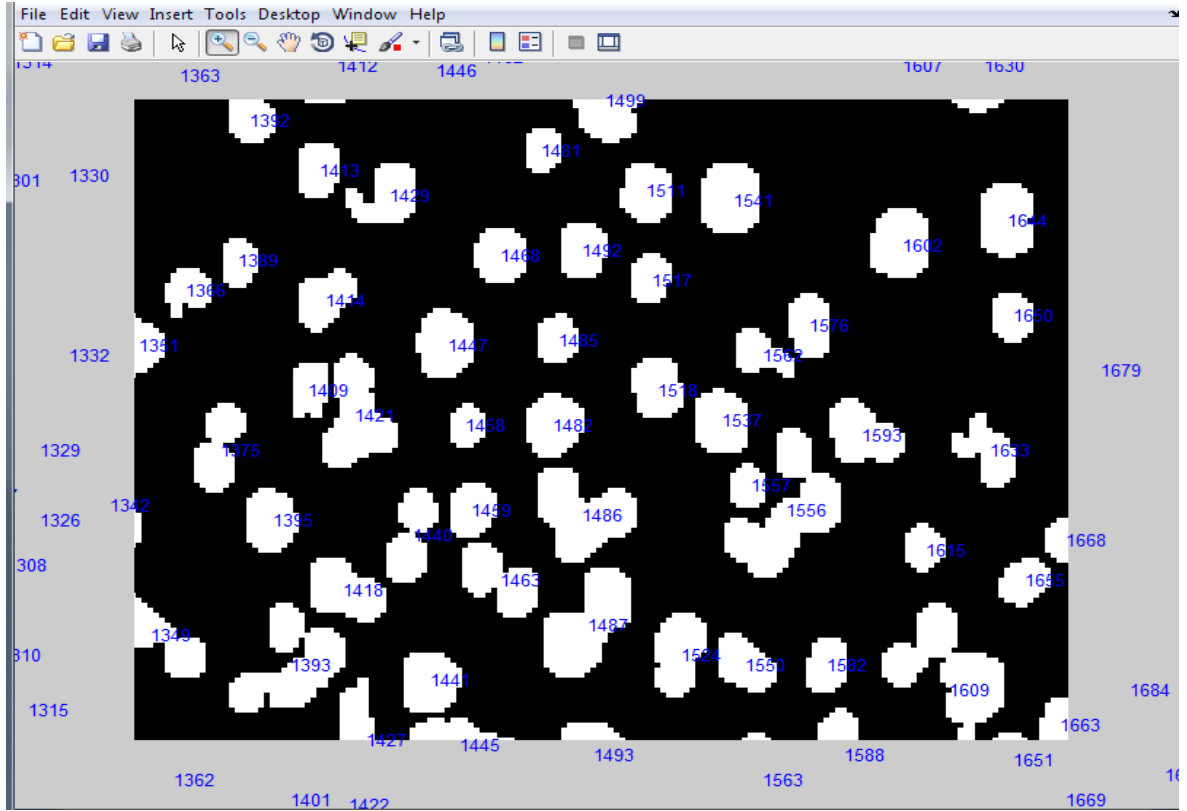
Şekil 2.15. Kenar Bulma ve Morfolojik İşlemlerden Sonraki Görüntü

2.3.3.4. Damlacık Etiketleme

Damlacık etiketleme işleminde görüntü üzerinde bulunan kenarları belli her damlacığa numara vererek bu damlacığa ait bütün boyutsal özellikleri kaydetmek için kullanılan bir adımdır. Bu sayede etiketlenen damlacıkların toplam sayısı, her bir damlacığın çapı, alanı gibi boyutsal özelliklere de istenildiğinde ulaşılabilmektedir.



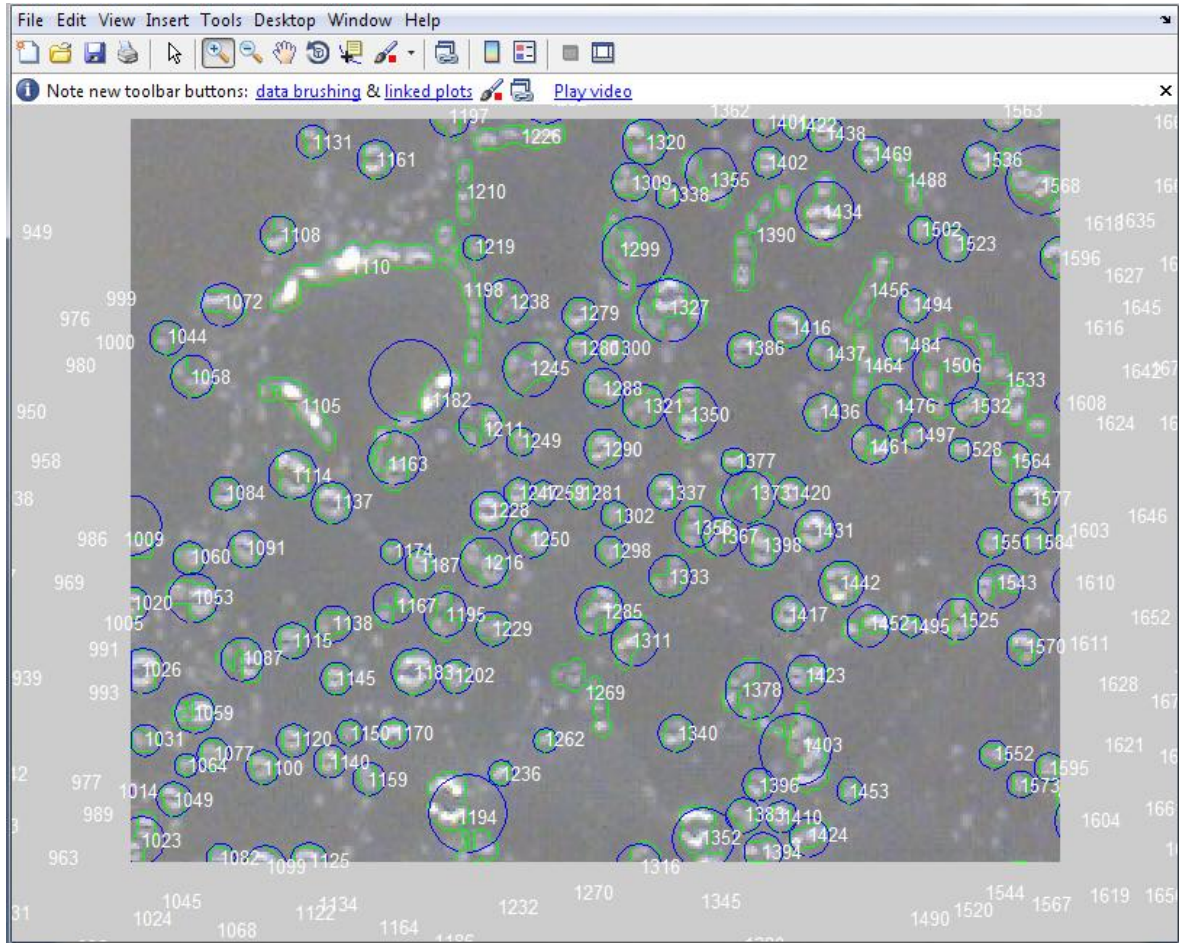
Şekil 2.16. Damlacık Etiketleme İşlemi Sonrası Görüntüsü



Şekil 2.17. Şekil 2.16.'daki Görüntünün Büyütülmüş Görüntüsü

2.3.3.5. Daire Uydurma İle Damlacık Çapı Hesaplanması

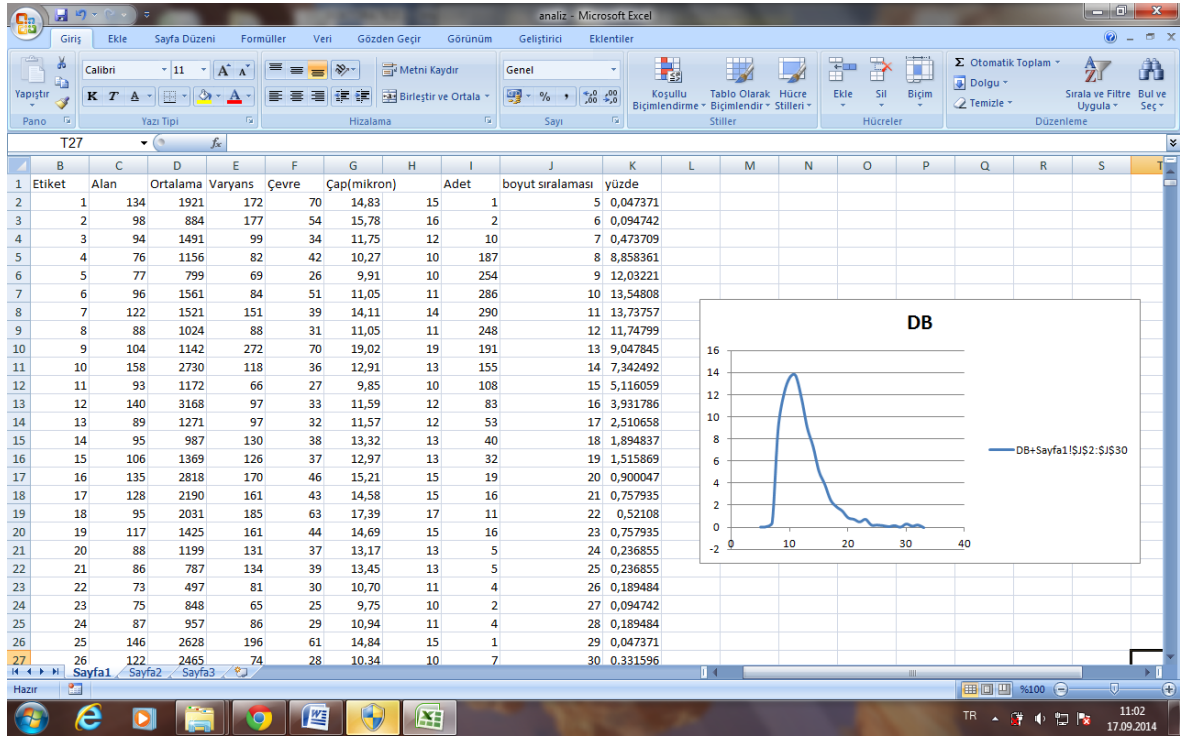
Atomize edilmiş yakıt damlacıklarını su damlası olarak kabul edersek üç boyutlu görüntüsü küre olarak dikkate alınmalıdır. Dijital mikroskop tarafından alınan görüntü ise üç boyutlu görüntünün iki boyutlu düzlem üzerine aktarılmış şeklidir. Bu nedenle kürenin iki boyutlu düzlemdeki görüntüsü dairedir. Alınan görüntüdeki damlacıkların şekli daireye yakın olsa da damlacık yarıçapının tam olarak hesaplanabilmesi için damlacığın tam bir daireye dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu aşamada kenar noktaları belli düzensiz şekil olarak kabul edilen damlacık görüntüsünün kenar noktası üzerindeki pikseller sayılır, aynı piksel sayısına eş değer olan bir daire çizilir. Çizilen bu daire damlacığın düzgün şeklini temsil etmektedir. Bu nedenle dairenin çevre formülünden yararlanılarak damlacığın yarıçapı hesaplanır. Damlacığın yarı çapı belirlendikten sonra damlacığa ait boyutsal özelliklerin tamamı hesaplanabilir.



Şekil 2.18. Daire Uydurma İle Damlacık Çapı Hesaplanması

2.3.3.6. Raporlama ve Grafiksel Çıktılar

Bu aşamada ise hesaplanan her bir damlacığın damlacık boyutları hesaplandıktan sonra Microsoft Office programında Excel sayfasına aktarılarak grafik olarak gösterilir ve kaydedilir. Grafik, görüntüdeki damlacıkların boyutlarının değişimini ve damlacıkların hacim içerisindeki yüzde dağılımlarını vermektedir.



Şekil 2.19. Raporlama ve Grafik Oluşturma

2.4. Taşıt Deneyleri ve Deney Düzeneği

Ultrasonik atomizasyon işleminden sonra atomize edilmiş yakıtın motor performansı üzerindeki etkilerini incelemek için taşıt performans testleri yapılmıştır. Testler özellikle karbüratörlü motora sahip bir taşıt seçilerek yapılmıştır. Bunun nedeni, Ultrasonik atomizasyon sistemi ile mevcut enjektör sisteminin görevinin aynı olması ve birbirlerinin alternatifi olmalarındandır. Fakat Ultrasonik sistemde atomizasyonu gerçekleştirmek için pompa enjektör sistemine ihtiyaç duyulmadığından sistemin maliyeti daha düşüktür.

Performans testlerinde 1994 Model Tofaş Doğan S otomobil, Dımtech Elettronica & Servızı isimli Alman menşeli KCDG serisi şasi dinamometresi, Bosch BEA 350 marka

egzoz emisyon cihazı, Okuda FC-812 markalı yakıt tüketim ölçer, eğik manometre kullanılmıştır.

2.4.1. Deneyde Kullanılan Taşıt

Yapılan bu çalışmada tablo 4.4.'de teknik özellikleri verilen otomobil kullanılmıştır. Otomobilin motoru, deneyden bir süre önce yenilenmiş, bakımları yapılmış, bujileri ve filtreleri değiştirilmiştir. Böylelikle motor performans testlerinde etkili olabilecek performans kayıpları minimuma indirilmiştir.

Benzinli motorların tarihsel gelişiminde karbüratörlü motorlardan enjeksiyonlu motorlara geçişin sebebi olarak, karbüratör sisteminin eksiklikleri gösterilmiştir. Enjeksiyon sisteminde ise, yakıtın her bir silindire ayrı ayrı atomize edilerek gönderilmesi nedeniyle yanma veriminin yüksek olması en önemli üstünlüğü olarak belirlenmiştir. Fakat yakıtın atomize edilebilmesi için bir dizi yeni ekipmana ihtiyaç duyulmuştur. Enjektör, enjektörün elektronik kontrolü için gerekli elektronik devreler ve yazılımlar, gerekli alıcılar ve aktuatörler, atomizasyon için gerekli basıncı üreten basınç pompaları gibi yeni donanımlar motor yakıt sistemine eklenmiştir. Bu donanımlar motorların işletme ve servis maliyetini yükseltmektedir. 2014 yılı itibari ile piyasada bulunan benzin direk püskürtme enjektörlerinin maliyeti 400 \$ civarındadır.

Yapılan ultrasonik atomizasyon sisteminde ise enjeksiyon sisteminde gerekli olan bir çok donanımın olmadığı ve maliyetin yaklaşık onda biri civarında olması Ultrasonik yakıt atomizasyon sisteminin enjeksiyonlu sisteme göre avantajlı olduğu bir yönüdür.

Tablo 2.4. Deneyde Kullanılan Taşıtın Teknik Verileri

Araç Tipi	Otomobil
Markası	Tofaş
Modeli	Doğan S
Model Yılı	1994
Silindir Sayısı	4
Silindir Hacmi (cc)	1600
Sıkıştırma Oranı	9.2
Yakıt Cinsi	Benzin/LPG
Yakıt Sistemi	Karbüratör
Motor Gücü (kW)	70.5

Tork (Nm)	150
-----------	-----

2.4.2. Deneyde Kullanılan Şasi Dinamometresi

Taşıt ve taşıt motorlarında yapılan her çeşit ayar ve düzenlemelerin başarı derecesinin belirlenmesi, gerçek yol koşullarındaki performansının incelenebilmesi amacıyla şasi dinamometreleri geliştirilmiştir. Dinamometreler ile aracın bütün vites ve hız şartlarındaki işletme karakteristiklerinin belirlenmesi mümkün olabilmektedir.

Genel olarak şasi dinamometreleri fren, kontrol ve ölçü elektroniği ile gösterge panellerinden oluşmaktadır. Fren ünitesi aracın çekici tekerleklerinin bindirildiği iki silindirik tamburdan, birinin miline bağlıdır. Bu tamburun dönüşü fren tarafından istenildiği kadar zorlaştırılabilmekte, dolayısıyla araç motoru yüklenebilmektedir. İkinci tambur üzerinde bir zorlanma olmadığından yaklaşık olarak patinajsız hız ölçümü sağlanabilmektedir. Her iki tamburunda devir sayıları takojeneratör veya delikli diskler yardımıyla hassas bir şekilde belirlenmekte ve aracın öngörülen miktardan daha fazla patinaj edilmesine izin verilmemektedir.

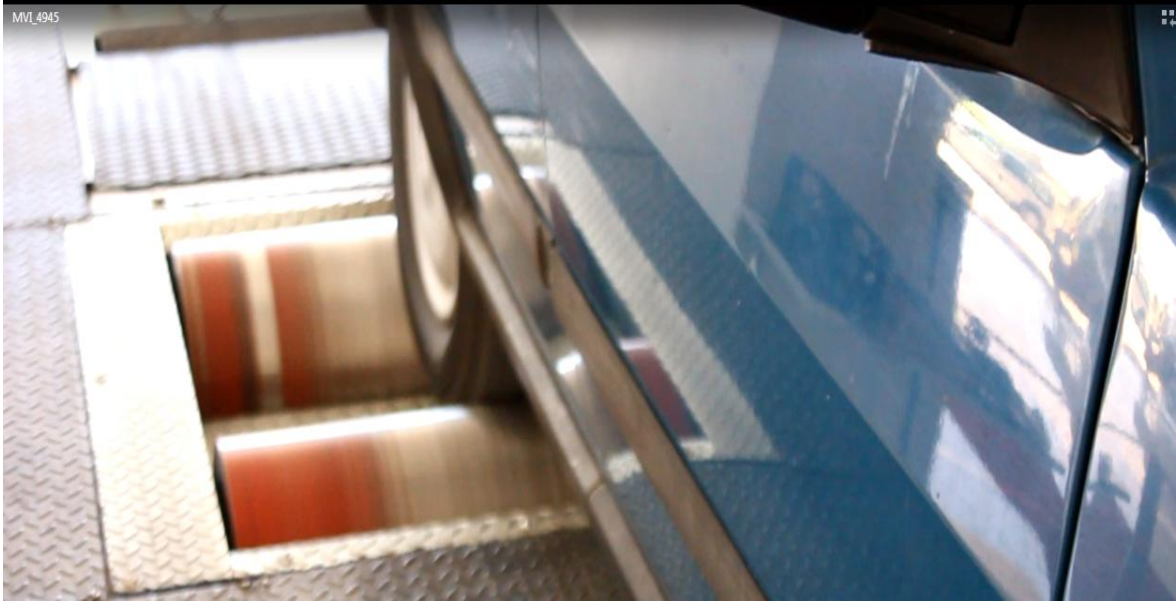
Fren ünitelerinde girdap akımlarının durdurucu etkisinden yararlanılmakta ve çekilen mekanik enerji, ısı enerjisine dönüştürüldüğünden iyi bir hava akımına ihtiyaç olmaktadır. Fren tamburuna bağlı bulunan iki adet disk, aralarında yer alan elektro mıknatıslar tarafından denetimli olarak yaratılan manyetik alanı sürekli olarak kestiklerinden, hareket hızlarına ve manyetik alan şiddetine bağlı olarak frenlemekte, dolayısıyla bu etki araç tekerleğini zorlamaktadır.

Elektro mıknatıslar tarafından yaratılan manyetik alan şiddeti dolayısıyla frenleme etkinliği test yapan tarafından istenilen doğrusal hızlara karşılık gelecek şekilde kontrol edilebilir. Şasi dinamometresi ile aracın performansına ilişkin iki ayrı deney yapılabilmektedir. Bunlar aracın hızlanması yani ivmelenmesi deneyi ve aynı hızda değişik güçlerdeki hareketi deneyidir [53]

KDCG serisi otomobil şasi dinamometresi çeşitli araçların şasi çıkış gücü, hız, hızlanma performansı, kabotaj performansı ve kilometre sayaç doğruluğunu test etmek için kullanılır.

Tablo 2.5. Şasi Dinamometresi Teknik Özellikleri

Model	KDCG-3A
Azami emilebilir güç (kw)	160
Azami test edilebilir tork (N.m)	1600
Azami test edilebilir çekiş (N)	8000
Azami elektromanyetizma gerilim/akım (V/A)	192/18
İzin verilen maksimum aks yükü (t)	3
Silindir boyutu (mm)	Φ218X950
Silindir merkez boyutu (mm)	445
İzin verilen azami hız (km/h)	120
Kaldırma modu	hava ile
Dış boyutlar (uzunluk x genişlik x yükseklik)	4426X960X640mm
Kombine doğruluk	Ulusal standart A



Şekil 2.20. Şasi Dinamometresi

2.4.3. Egzoz Emisyon Test Cihazı

Deneyde Bosch BAE 350 marka egzoz analiz cihazı kullanılmıştır. Hem dizel motor egzoz emisyonu hem de benzinli motor egzoz emisyonu analizlerini hassas bir şekilde ölçebilmektedir. Cihazın benzin ölçüm modunda ölçebildiği emisyonlar ve hassalık derecesi tablo 2.6.'da verilmiştir.

Tablo 2.6. Bosch BAE 350 Benzin Modu Emisyon Değerleri Ve Hassasiyeti

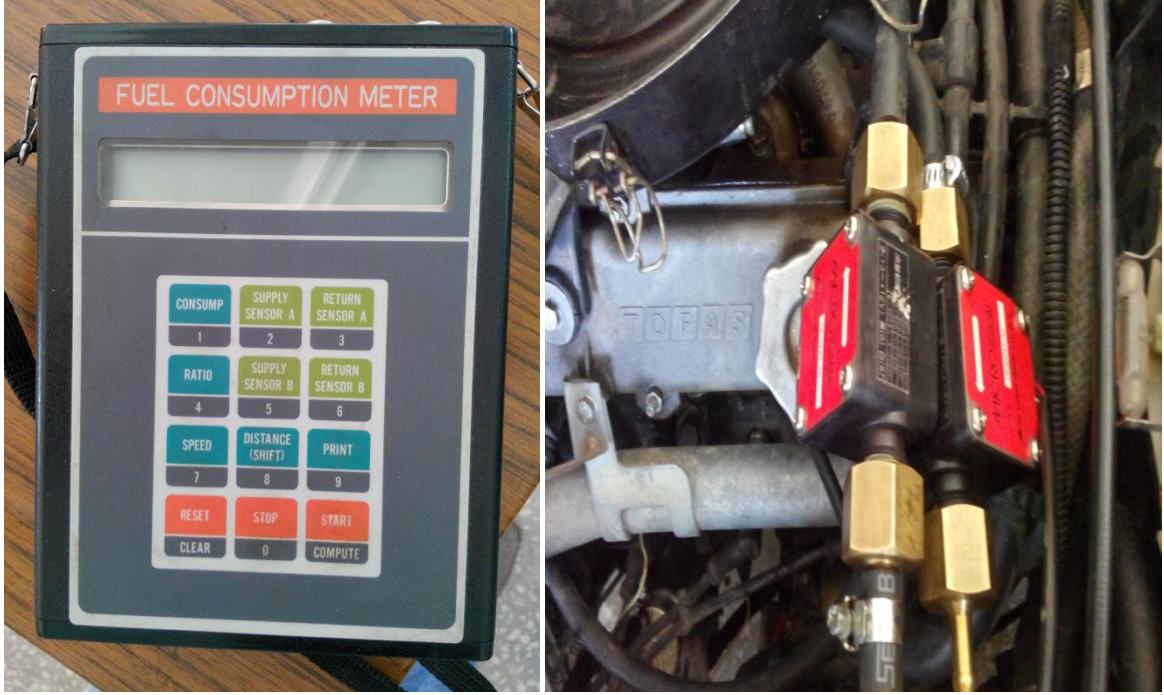
Emisyon	Ölçüm Aralığı	Hasasslık
CO	0.000–10.00 %vol	0.001%vol
CO ₂	0.00–18.00 %vol	0.01 %vol
HC	0–9.999 ppm vol	1 ppm vol
O ₂	0.00–22.00 %vol	0.01 %vol
λ	0.500–9.999	0.001
NO	0–5000 ppm vol	<=1 ppm vol



Şekil 2.21. Bosch BEA 350 Egzoz Emisyon Analiz Cihazı

2.4.4. Yakıtmetre

Okuda FC-812 yakıt metre ile benzin ve dizel motorlu taşıtların yakıt tüketimini ölçmek mümkündür. Yakıtmetrede, dizel ve benzinli araçların yakıt tüketimini ölçmede A ve B tipi akış sensörü kullanılmaktadır. A tipi sensör 2,5cc/1 pulse, B tipi sensörde 0,47 cc/1 pulse'dir. Ölçmede hata oranı %1' den azdır.



Şekil 2.22. Deneyde Kullanılan Yakıtmetre ve Giriş Çıkış Sensörleri

2.4.5. Eğik Manometre

Deney motorunda emilen hava miktarını ölçmek için kullanılmıştır. Silindir içerisine alınan hava ve yakıt miktarına göre hava fazlalık katsayısı (λ) hesaplanmıştır. Hesaplanan değer egzoz emisyon cihazından alınan sonuçla karşılaştırılarak egzoz emisyon cihazının doğruluğu kontrol edilmiştir.



Şekil 2.23. Deneyde Kullanılan Eğik Manometre

2.4.6. LPG Mikseri

Ultrasonik atomizer kullanılarak yapılan motor deneylerinde silindir içerisine gönderilen yakıt sis bulutu şeklinde olduğu için gaz akışkan gibi davranmaktadır. Bu nedenle yakıt hava karışımı teşkilinin homojen olmasını sağlamak için yakıt karbüratörünün tepesine LPG mikseri yerleştirilmiştir.



Şekil 2.24. LPG Mikseri

2.4.7. Hassas Terazi



Şekil 2.25. Hassas Terazi

Ultrasonik Yakıt Sistemine sahip motorun saatteki yakıt tüketimini hesaplamak için Desis marka hassas terazi kullanılmıştır. Terazinin teknik özellikleri aşağıda verilmektedir.

- Beyaz arka ışıklı LCD ekran,
- Üst üste toplama, ağırlık kontrol, otomatik sıfırlama ve örnekleme metodu ile parça sayım özelliği,
- Paslanmaz çelik kefe,
- Şarj edilebilir akü ve AC adaptör,
- (Opsiyonel) RS232 çıkışı ile yazıcı ya da bilgisayara bağlanabilme,
- Kapasite 15kg, Taksimat 1g, sertifika CE.

2.4.8. Ultrasonik Atomizerin Deney Motoruna Bağlanması



Şekil 2.26. Ultrasonik Atomizerin Deney motoruna Bağlanması

Şekil 2.26.' da ultrasonik yakıt sisteminin deney motoruna bağlanması görülmektedir. Ultrasonik atomizer kabının tepesinde bulunan 3 adet hortum girişinden iç çapı 20 mm olan hortumlar geçirilmiştir. Hortumlardan 2 tanesi atomizer kabına hava emişi yaparken diğeri atomize olmuş yakıt ve emilen havanın karbüratöre gönderilmesi için kullanılmaktadır. Hava girişine bir eğik manometre eklenerek emilen havanın debisi hesaplanmıştır. Bunun için 62mm çapındaki orifis ve hava durultma tankının olduğu bir sitem yapılmıştır. Hava emişi eğik manometre sisteminden geçirilerek yapılmıştır. Atomizer kabının altında bulunan hassas terazi sayesinde tüketilen yakıt miktarı ölçülmektedir. Atomizasyon sisteminin sensör bağlantı kabloları atomizer kabı içerisinde bulunan sensörlere bağlanmıştır. Akü besleme kablosu da ultrasonik sisteme bağlanarak elektrik enerjisi verilmektedir.

2.5. Taşıt Performans Deneylerinin Yapılışı

Yapılan ultrasonik atomizer sisteminin mevcut sistemlerle kıyaslanabilmesi için motor performans, egzoz emisyon ve yakıt tüketimi testleri ultrasonik atomizer kullanılmadan ve kullanılarak ayrı ayrı tekrarlanıp sonuçların karşılaştırılması metodu kullanılmıştır.

İlk test, aracın kendi mevcut sistemindeki karakteristiklerinin belirlenmesi olmuştur. Bunun için aracın yakıt sistemi üzerindeki karbüratör giriş ve çıkış boruları üzerine yakıt tüketim ölçerin debimetreleri takılmıştır. Böylelikle aracın mevcut durumdaki yakıt tüketim değerleri ölçülebilmektedir. Şasi dinamometresi üzerinde performans testi yapılmıştır. Ayrıca belirlenen deney koşullarında egzoz emisyon cihazından emisyon değerleri alınarak kaydedilmiştir.

İkinci olarak aynı deney şartları ultrasonik atomizer kullanılarak tekrarlanmıştır. Ultrasonik atomizer kullanılan motorun yakıt tüketimini hesaplamak için hassas terazi kullanılmıştır. Böylelikle tüketim miktarı kütsel olarak ölçülmüştür. Şasi dinamometresi üzerinde benzer şekilde motor performans testi yapılmıştır. Diğer taraftan aynı şekilde egzoz emisyon değerleri alınarak kaydedilmiştir.

2.5.1. Belirlenen Deney Şartları

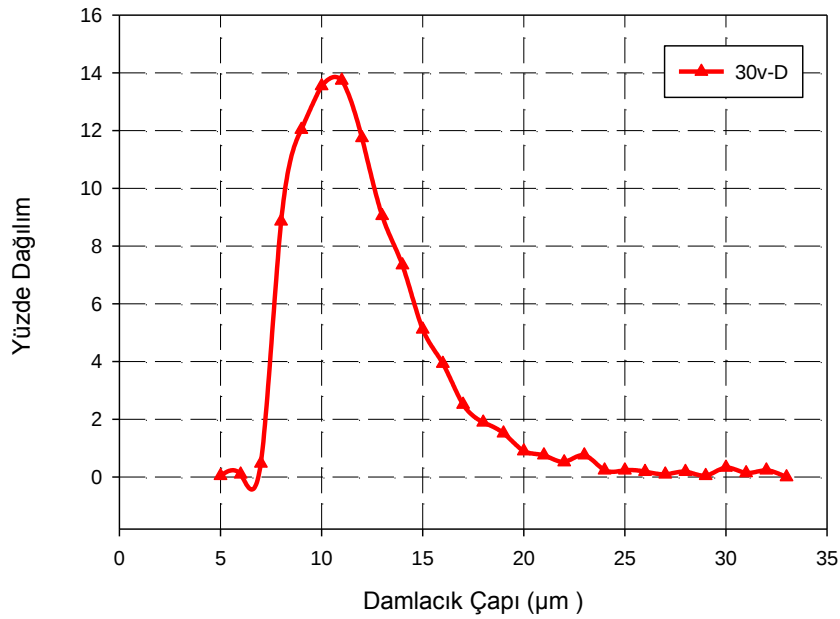
- Araç, mevcut yakıt sisteminde Şasi dinamometresinde en üst vites seviyesinin bir altı olan 4. Viteste sabit gazda seyir halindeyken aniden kapış yapıp maksimum gaz seviyesine ulaşmaya kadar hızlandırılır. Böylelikle şasi dinamometresinin kendi yazılımına göre motor performans eğrisi çizdirilmiş olur. Grafik devre bağlı motor gücündeki değişimi, tekerlek gücündeki değişimi ve motor moment değişimini vermektedir.
- İkinci bir test olarak araç performansının alındığı 4. Viteste 1500, 2500, 3500, 4000 olarak belirlenen motor devirlerinde 3'er dakika çalıştırılarak, ortalama egzoz emisyon değerleri ve yakıt tüketim değerleri belirlenmiştir.

Aynı koşullardaki test her iki yakıt sisteminde de kullanılarak bulgular karşılaştırılmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Damlacık Boyutu Bulguları

Dijital USB mikroskop ile alınan görüntüler görüntü işleme programı ile işlenip damlacık boyutları hesaplandıktan sonra elde edilen sonuçlar bir Microsoft Excel sayfasına kaydedilmiştir. Daha sonra buradaki değerler grafiğe dönüştürülerek yorumlanmıştır.



Şekil 3.1. Ultrasonik Atomizerde Oluşturulan Damlacıkların Çapı ve Dağılımı

Şekil 3.1 incelendiğinde ultrasonik atomizerde oluşturulan damlacıkların çapının 5-33µm aralığında değiştiği, fakat hacimsel dağılım olarak bakıldığında en fazla 11-12µm çapa sahip damlacıkların bulunduğu görülmektedir. Mevcut literatür incelendiğinde tıp alanında kullanılan nebulizerlerin ürettiği damlacık boyutları ve dağılımının benzer bir eğri oluşturduğu gözlemlenmiştir. Yani damlacık boyutunun belirlenmesinde kullanılan yöntemin doğru olduğu kanaatine varılmıştır.

Damlacık boyutunun değişimi frekans, yüzey gerilimi ve yoğunluğun bir fonksiyonu olarak değişim gösterir. Aşağıda verilen denklemle ultrasonik yöntemle oluşturulan damlacıkların ortalama damlacık boyutu hesaplanabilir [54].

$$D = \frac{2\pi^{1/3}}{3} \left(\frac{\gamma}{\rho F^2} \right)^{1/3}$$

Bu formülde;

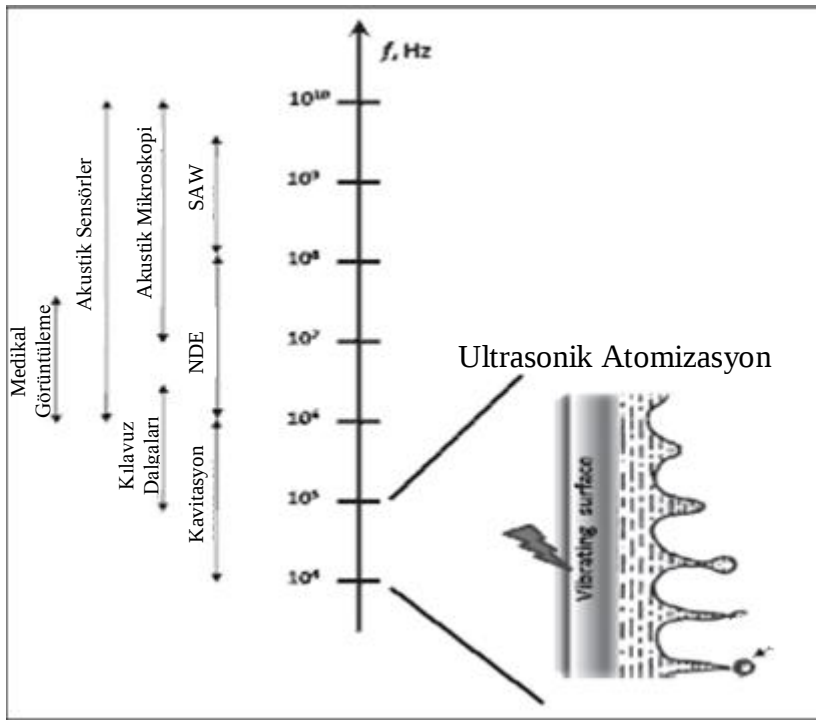
D= Ortalama Damlacık Çapı

γ = Yüzey Gerilimi

ρ = Yoğunluk

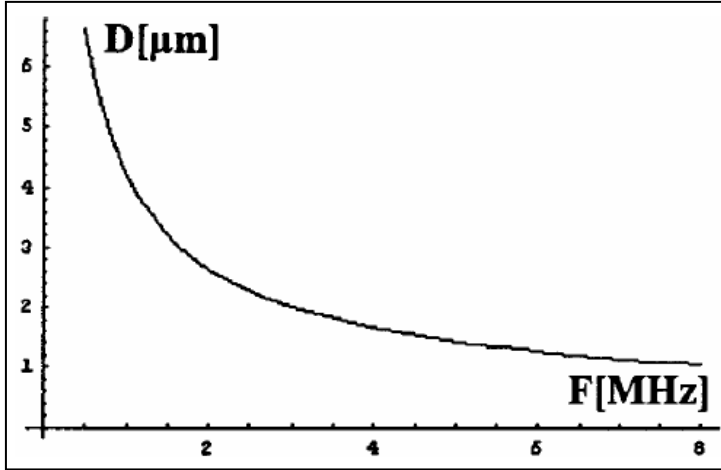
F= Frekans

Ultrasonik atomizasyonun gerçekleşebilmesi için piezo elektrik seramik malzemenin belirli bir frekansta titreşmesi gerekmektedir. Bu frekans değer aralığı şekil 5.2 de görülmektedir.



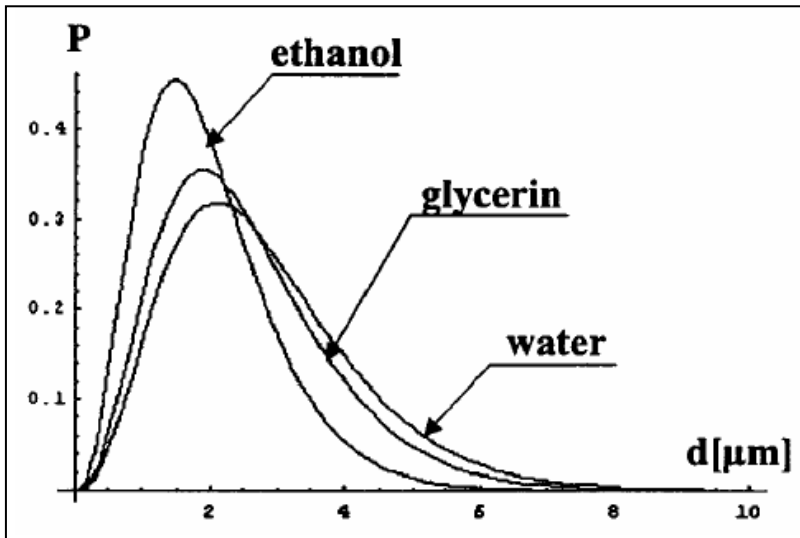
Şekil 3.2. Ultrasonik Ses Frekans Aralıklarının İşlevi

Şekil 3.2 incelendiğinde akustik kavitasyonun 10^4 ile 10^6 arasında gerçekleştiği görülmektedir [53]. Frekansa göre ortalama damlacık boyutunun değişimini gösteren grafik ise şekil 3.3' de verilmektedir.



Şekil 3.3. Frekansa Bağlı Olarak Damlacık Boyutu Değişimi

Farklı sıvıların sabit frekans değerinde yoğunluk ve yüzey geriliminin bir fonksiyonu olarak damlacık boyutu değişiminin ise şekil 5.4 de verilmiştir.



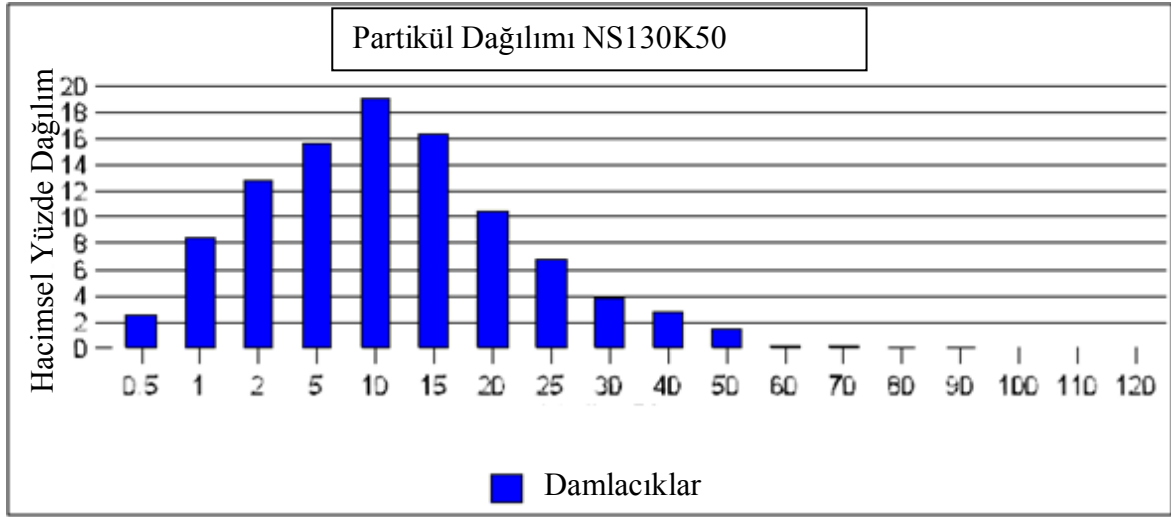
Şekil 3.4. Farklı Sıvıların Ultrasonik Atomizer ile Atomizasyonunun Karşılaştırılması

Şekil 3.4 incelendiğinde farklı sıvıların ultrasonik atomizer ile atomizasyonu karşılaştırılmıştır. P ile gösterilen eksen damlacıkların % olarak dağılımını göstermektedir. Sıvıların yüzey gerilimi ve yoğunlukları ile ilgili tablo 3.1 de verilmiştir [54]. Yüzey gerilimi ve yoğunluk olarak benzene en yakın değerler etanol sıvısının verileridir. 3 MHz sabit frekans değerinde yapılan ölçümlerde Şekil 3.1’ de sonuçlara benzer eğriler görülmektedir. Damlacık çaplarının Şekil 3.1’e göre küçük olmasının frekansın bir sonucu olduğu söylenebilir.

Tablo 3.1. Sıvıların Yüzey Gerilimi ve Yoğunlukları.

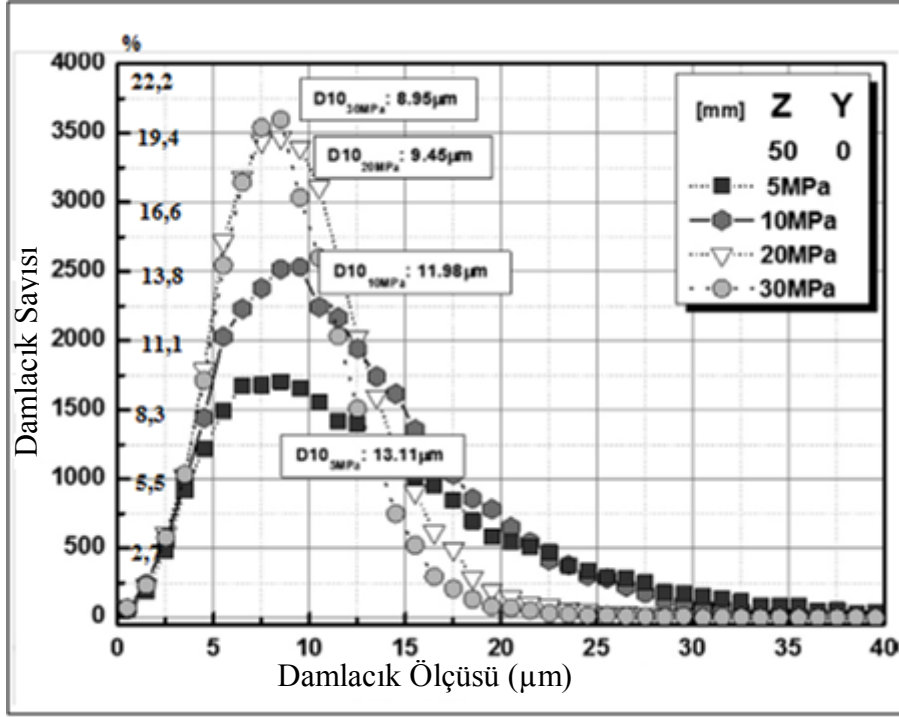
SIVI	YOĞUNLUK (Kg/m ³)	YÜZEY GERİLİMİ(N/m)
SU	1000	0.073
GLİSERİN	1200	0.064
ETENOL	790	0.020
CASTROL YAĞ	900	0.035

Yakıt atomizasyonunun tutuşma gecikmesi periyodu üzerinde oldukça büyük etkisi vardır. Yakıt enjeksiyonunda temel hedef; yakıt nüfuziyeti, yakıtın hava içerisinde homojen dağılımı ve tutuşma gecikmesi periyodunun kısaltılmasıdır.



Şekil 3.5. Ultrasonik Nozul Damlacık Çapı ve Dağılımı

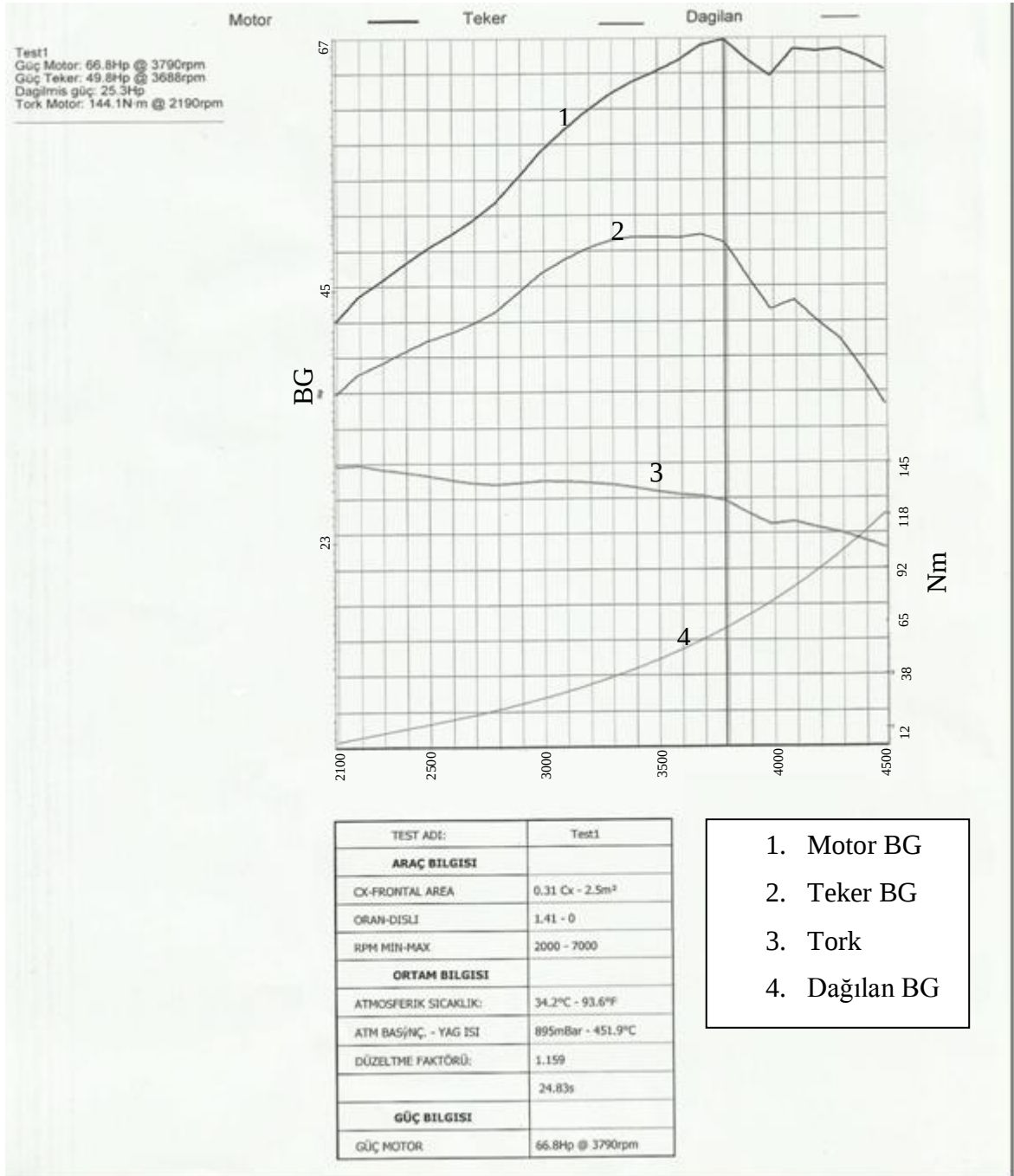
Şekil 3.5.'de ultrasonik nozul kullanılan bir sıvı atomizerinin damlacık çapı ve dağılımı görülmektedir. Bu sistemde oluşturulan damlacıkların boyut ve dağılım analizi, lazer ışık kırınım metoduna dayanan bir sistem tarafından yapılmıştır. Grafik incelendiğinde damlacık dağılımının Şekil 3.1. deki bulgulara benzer olduğu görülmektedir. Farklılıkların ise kullanılan sıvıların özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 3.6. Değişik Basınlarda GDI Enjektörü Damlacık Boyutu Dağılımı.

Şekil 3.6' da enjeksiyon basıncının damlacık boyutu üzerindeki etkileri görülmektedir. Bütün enjeksiyon basınçlarında damlacık boyutu dağılımı trendlerinin benzerlik gösterdiği söylenebilir. Deney Lee, S. ve Park, S. tarafından 5 MPa, 10 MPa, 20 MPa, 30 MPa enjeksiyon basınca damlacık dağılımını ölçmek amacıyla yapılmıştır [55]. Deney sonuçlarının ultrasonik atomizerin sonuçları (Şekil 3.1) ile benzerlik gösterdiği görülmektedir.

3.2. Motor Performans Bulguları



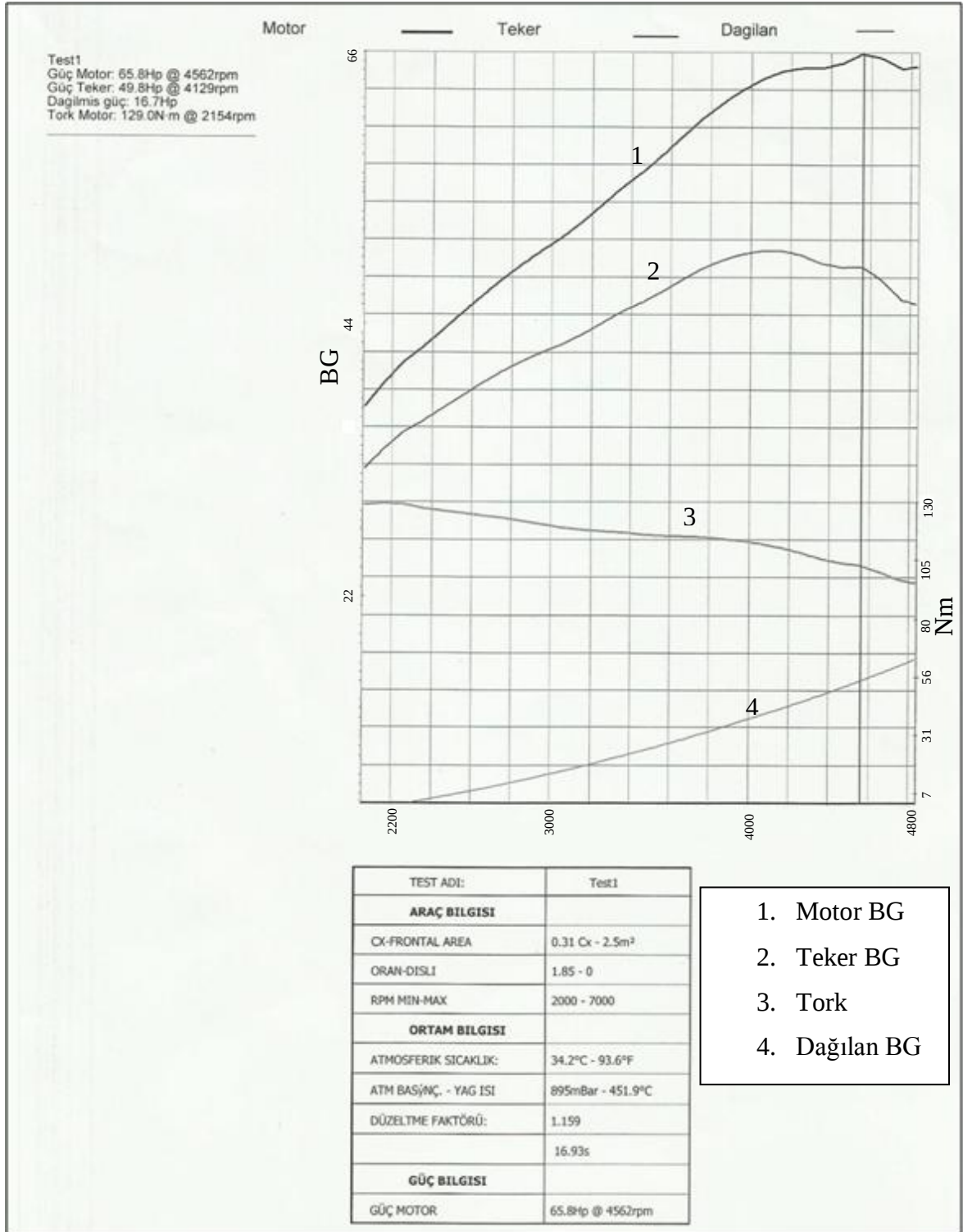
Şekil 3.7. Orijinal Yakıt Sistemine Sahip Motorun Performans Değerleri

Şekil 3.7. 'de Ultrasonik Atomizer kullanmadan orijinal haldeki taşıtın performans grafiği görülmektedir. Grafik incelendiğinde motor devri 2100 -4500 dak⁻¹ devirleri arasında iken taşıtın Beygir Gücü cinsinden, motor gücünü veren eğri, tekerlek gücünü veren eğri ve dağılan gücü veren eğri görülmektedir. Newton Metre cinsinden ise tork eğrisi görülmektedir.

Taşıt 4. Viteste iken motor devri 2000 dak^{-1} de sabit hızda seyir halinde iken şasi dinamometresi kontrol panelinde bulunan operatörün komutu ile aynı anda ani kapış yapılmaktadır. Bu esnada şasi dinamometresinin tamburları frenleme yaparak motora tekerlekler üzerinden yük bindirmektedir. Operatörün bilgisayar ekranından izlediği ara yüz yardımıyla bilgisayardan aldığı komutu şoför'e ilemesiyle test tamamlanır ve sonuçlar yazıcıdan döküm olarak alınır. Alınan grafik eğrisinin maksimum değerleri grafikten okunabildiği gibi, grafiğin sol tarafında tablo halinde de verilmektedir.

Bu sonuçlara göre orijinal motor, motor gücünün 3800 dak^{-1} civarında 66,8 BG ile maksimum olduğu, tekerlek gücünün 3700 dak^{-1} civarında 49,8 BG ile maksimuma ulaştığı, motor torkunun 2200 dak^{-1} civarında 144.1 Nm ile maksimuma ulaştığı görülmektedir.

Dağılan Güç; Deney düzeneğinde aerodinamik simülasyonun olmamasından dolayı, taşıt aerodinamik dirençlere maruz bırakılamamaktadır. Yani aracın yol şartlarında taşıt hızına bağlı olarak maruz kaldığı hava direnci taşıta uygulanamadığı için taşıt hızı ile taşıt ağırlığı oranının kalibrasyon sınırları dışında olmasından maksimumda 25,9 BG olarak görülmektedir. Bu değer motor gücüne eklenerek dikkate alınması gerektiği test operatörü tarafından söylenmektedir. Deney koşulları, orijinal yakıt sistemi ve ultrasonik yakıt sistemi için aynı olduğundan dolayı aralarındaki fark izafi bir farktır. Bu nedenle motor beygir gücü olarak, testlerde çıkan motor beygir gücünün yalın halinin alınmasında bir sakınca olmadığı düşünülmüştür.



Şekil 3.8. Ultrasonik Atomizer Kullanılan Motorun Performans Değerleri

Şekil 3.8. Ultrasonik yakıt sistemine sahip motorun performans eğrilerini göstermektedir. Grafiğe göre Motor Beygir Gücünün 4500 dak^{-1} 'de 65,8 BG olarak maksimuma ulaştığı görülmektedir. Teker Beygir Gücünün 4100 dak^{-1} 'de 49,8 BG olarak maksimum seviyeden geçtiği ve motor torkunun 2100 dak^{-1} 'de 129 Nm olarak maksimum seviyeyi görmektedir. Dağılan Gücün ise 16,7 BG olarak maksimum olduğu görülmektedir.

Ultrasonik atomizer kullanılan yakıt sistemi, orijinal yakıt sistemiyle karşılaştırıldığında Motor Beygir Gücünde aynı performansın yakalandığı görülmektedir. Fakat maksimum beygir gücü devrinin ultrasonik yakıt sisteminde daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Motor torkunda ise bir miktar düşme olduğu gözlenmiştir. Motor performans grafiklerinin trendleri incelendiğinde ise orijinal yakıt sistemine sahip motorun motor gücü artış hızlarının daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır. Aynı zamanda dağılan güç maksimum değerinin orijinal yakıt sistemine sahip motor için daha düşük bir değerde maksimuma ulaştığı görülmektedir. Yani, grafik çizgilerinin eğim açıları, maksimum motor gücü devrinin orijinal yakıt sistemine göre yüksek olması ve dağılan güç maksimum değerinin orijinal yakıt sistemine göre düşük olması, aracın hızlanma ivmesinin ve maksimum çıkılabilen hızın ultrasonik yakıt sistemine sahip motorda düşük olduğunu göstermektedir.

İçten yanmalı motorlarda motor tork ve gücünün ortalama efektif basınç ve motor devrine göre değiştiği bilinmektedir. Düşük devirlerde ortalama efektif basınç düşüktür. Buna bağlı olarak tork ve güç de düşüktür. Devir arttıkça ortalama efektif basınç artmakta sonuçta motorun kullanılan her iki yakıt sisteminde de güç ve torku artmaktadır. Orijinal yakıt sistemi kullanılan (OYS) motorda 2200 dak^{-1} ultrasonik yakıt sistemi kullanılan (USYS) kullanılan motorda ise 2100 dak^{-1} torkların maksimum güçlerin minimum olduğu görülmektedir. (Şekil 3.7, Şekil 3.8) OYS kullanılan motorun maksimum torku, USYS kullanılan motora göre biraz daha yüksek devirde oluştuğu ve daha yüksek değerde olduğu anlaşılmıştır.

Ortalama efektif basıncın değeri yanma şartlarına bağlı olarak değişmektedir. Volumetrik verim, hava yakıt karışım oranı, karışımın homojenliği, motor devri, yakıt özellikleri ve hava hareketleri ortamla efektif basıncı etkileyen önemli parametrelerdir. Benzinli motorlarda karışım oranının stokiyometrik oran civarında olması istenir. Yanma hızının maksimum, toplam yanma süresinin minimum olduğu karışım oranı; stokiyometrik

orandan biraz daha yüksek zengin karışımlarda gerçekleşmektedir. Şekil 3.9' a bakıldığında her iki motorun maksimum torkunun meydana geldiği devir sayısında hava yakıt karışımının stokiyometrik orandan biraz daha fazla zengin karışım olduğu görülmektedir.

Maksimum motor torkunun oluştuğu devir sayısında; her iki yakıt sistemine sahip motorlar için eksik yanma ürünü olan karbon monoksitin (CO) minimum değerinde olması (Şekil 3.10), tam yanma ürünü olan karbon dioksitin oldukça yüksek seviyede olması (Şekil 3.11), yanmamış ürün olan hidrokarbonların (HC) çok düşük seviyelerde olması (Şekil 3.12) yanma şartlarının daha iyi olduğunun bir göstergesi olduğu söylenebilir. Maksimum tork oluştuktan sonra artan devirle torkun düşmesi, yanmanın kötüleşmesi sonucu ortalama efektif basıncın düştüğünün bir göstergesidir.

Maksimum torkun oluştuğu devir sayısında motor gücü maksimum değildir. Artan devirle güç de artmaktadır. Belirli bir devirde güç maksimum olduktan sonra her iki yakıt sistemi için motor gücünün düştüğü görülmektedir. Bu içten yanmalı motorların genel performans karakteristiğini göstermektedir. Aşağıda verilen güç formülüne bakıldığında gücü etkileyen değişkenin, ortalama efektif basınç ve motor devir sayısı olduğu görülmektedir.

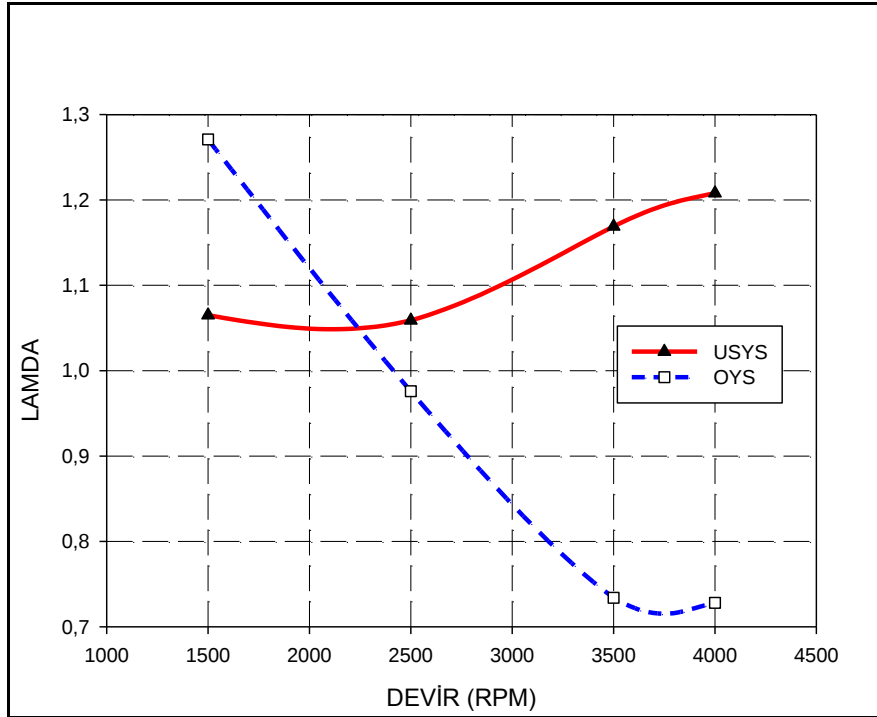
$$P_e = P_{me} \cdot V_H \cdot n \cdot i \quad (3)$$

Burada P_{me} ortalama efektif basınç, V_H toplam silindir hacmi, n motor devir sayısı, i katsayı (dört zamanlı motorlar için 0,5 iki zamanlı motorlar için 1 dir.) torkun maksimum olduğu devirden daha yüksek devirlere çıkıldığında P_{me} ' nin düşmesine rağmen gücün artmaya devam etmesi devir sayısının artışından kaynaklandığı açıkça görülmektedir. Gücün maksimum olduğu devir sayısında, yanma şartlarının çok kötüleşmesi sonucu P_{me} aşırı düşmekte ve bu düşme devir artışı ile karşılanamadığından belirli bir devirden sonra motor gücü de düşmektedir. OYS kullanılan motorda maksimum güç 3800 dak^{-1} , USYS kullanılan motorda ise 4500 dak^{-1} devirde meydana geldiği görülmektedir. Devir arttıkça yanma için gerekli olan zaman azalır. USYS kullanılan motorda daha yüksek devirde maksimum güce ulaşılması; OYS kullanılan motora göre yanma için daha az zamana ihtiyaç duyulduğu ileri sürülebilir. Bu duruma USYS kullanılan motorda yakıtın hızlı bir şekilde buharlaşması ve daha homojen bir karışımın hazırlanmasının yol açtığı söylenebilir.

Buji ile ateşlemeli motorlarda yanma için ayrılan süre (1/200-1/300) saniye civarındadır ve çok kısadır. Yanma süresinin uzamasının motor verimi üzerinde olumsuz etkileri vardır. Yanma süresi uzaması halinde motor gücü azalır ve yakıt sarfiyatı artar. Çünkü bu durumda yanma daha büyük bir hacimde tamamlanır ve çevrimin maksimum basınç değeri düşük kalır. Ayrıca hacmin artması sonucunda ısı transferi yüzey alanının artması nedeniyle soğutmaya giden ısı artarak motorun gücünü ve verimini düşürür [58].

Yanma hızı üzerinde hava fazlalık katsayısı ve motor devrinin büyük önemi vardır. Hava fazlalık katsayısının 0,9-0,95 değerlerinde yanma hızı maksimum değere ulaşır. Karışımın daha zenginleşmesi ve fakirleşmesi durumunda ise yanma hızı düşer. Hatta çok zengin ve fakir karışımlarda yanma meydana gelmez ki bu duruma yanma sınırları denir. Buji ile ateşlemeli motorlarda $\lambda=1,05-1,1$ değerlerinde en iyi çalışma verimi elde edilir.

3.3. Hava Fazlalık Katsayısı Bulguları



Şekil 3.9. Orijinal Yakıt Sistemi ve Ultrasonik Yakıt Sisteminde Hava Fazlalık Katsayısının Devre Bağılı Olarak Değişimi

Şekil 3.9. incelendiğinde Orijinal Yakıt Sistemine sahip motorun verileri “OYS” olarak isimlendirilen kesik çizgi ile gösterilen eğridir. Eğri incelendiğinde düşük devirlerde karışım oranın fakir olduğu artan devir ile birlikte karışımın zenginleştiği görülmektedir.

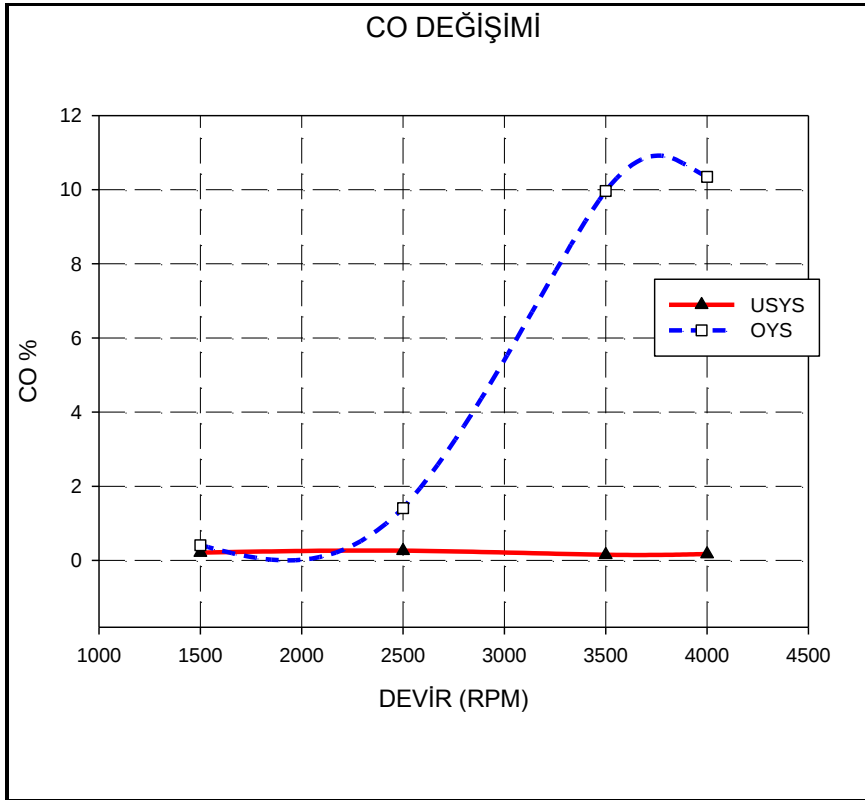
Literatür incelendiğinde, karbüratörlü motorlarda hava fazlalık katsayısının benzer bir eğilim izlediği görülmektedir.

“USYS” olarak isimlendirilen ve düz çizgi ile gösterilen Ultrasonik Yakıt Sistemine sahip motorun verilerinde ise hava fazlalık katsayısının tüm devir değişimlerinde birbirine yakın olarak kaldığı, yüksek devirlerde OYS’ne sahip motorun aksine bir miktar arttığı görülmektedir. Benzinli motorlar için uygun olan stokiyometrik karışım oranı civarındaki karışım oranlarının USYS kullanılan motorda her motor devrinde sağlanabildiği görülmektedir. Bu durum yanma hızını etkilediğinden motor performansı üzerinde de etkili olduğu düşünülmektedir. Nitekim USYS kullanıldığında, motor gücünün OYS kullanılmasına göre daha yüksek devirlerde oluşması kanıt olarak ileri sürülebilir.

USYS’ de silindir içerisine alınan hava- yakıt karışımı ultrasonik atomizerin atomizasyon kabında oluşturulur. Motor devrine bağlı olarak devreye giren piezo elektrik seramik sensörler sayesinde motorun ihtiyaç duyduğu yakıt sürekli olarak atomize edilir. Yanma için gerekli olan hava ise önce atomizasyon kabı içerisine emilir, orada sis bulutu halinde bulunan yakıt damlacıklarını yüklenerek silindir içerisine doğru harekete geçer. Devrin artması ile birlikte emiş gücü değişse de karışım teşkilinin hemen hemen sabit kalmasının nedeni olarak USYS gösterilebilir.

3.4. Egzoz Emisyonu Bulguları

3.4.1. Karbon Monoksit (CO) Emisyonu

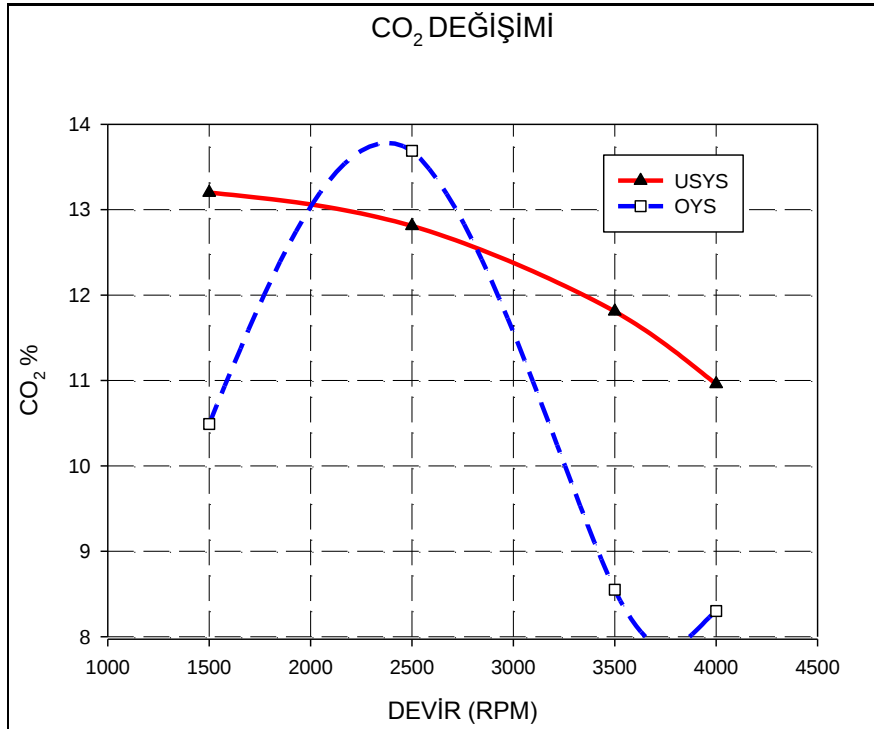


Şekil 3.10. OYS ve USYS’ e Sahip Motorlarda CO Emisyonlarının Değişimi

Şekil 3.10. incelendiğinde egzoz emisyonları içerisinde eksik yanma ürünü olarak ortaya çıkan CO emisyonlarının değişim trendleri görülmektedir. OYS’ e sahip motorun CO emisyon değişiminin düşük devirlerde az olduğu devrin artması ile beraber arttığı görülmüştür. USYS’ e sahip motorda ise CO değişiminin tüm devir aralıklarında hemen hemen minimum değerde ve devirle dikkate değer bir değişim göstermediği görülmektedir. Her iki yakıt sistemi içi CO oluşumunun hava fazlalık katsayısı (λ) nın değişimi ile paralellik gösterdiği gözlenmiştir. Yani OYS’e sahip motorda artan devir ile birlikte karışım teşkilinin de zenginleşmesinin CO emisyonlarının oluşum nedenlerinin başında geldiği söylenebilir. USYS’e sahip motorda ise aynı mantıkla, hava fazlalık katsayısı (λ) nın sabite yakın bir eğilim göstermesi ve ideal karışım teşkili aralığında olması, CO emisyonlarının minimum değerde sabit kalmasının sebebi olarak gösterilebilir.

Ayrıca tablo 1.1 incelendiğinde CO emisyonlarına göre OYS kullanılan motorda EURO 1 emisyon standartlarını sağlayamazken, USYS kullanılan motorda günümüzde yürürlükte olan EURO 6 emisyon standartlarının ileri derece sağlandığı görülmektedir.

3.4.2. Karbon Dioksit Emisyonu (CO₂)



Şekil 3.11. OYS ve USYS' e Sahip Motorlarda CO₂ Emisyonlarının Değişimi

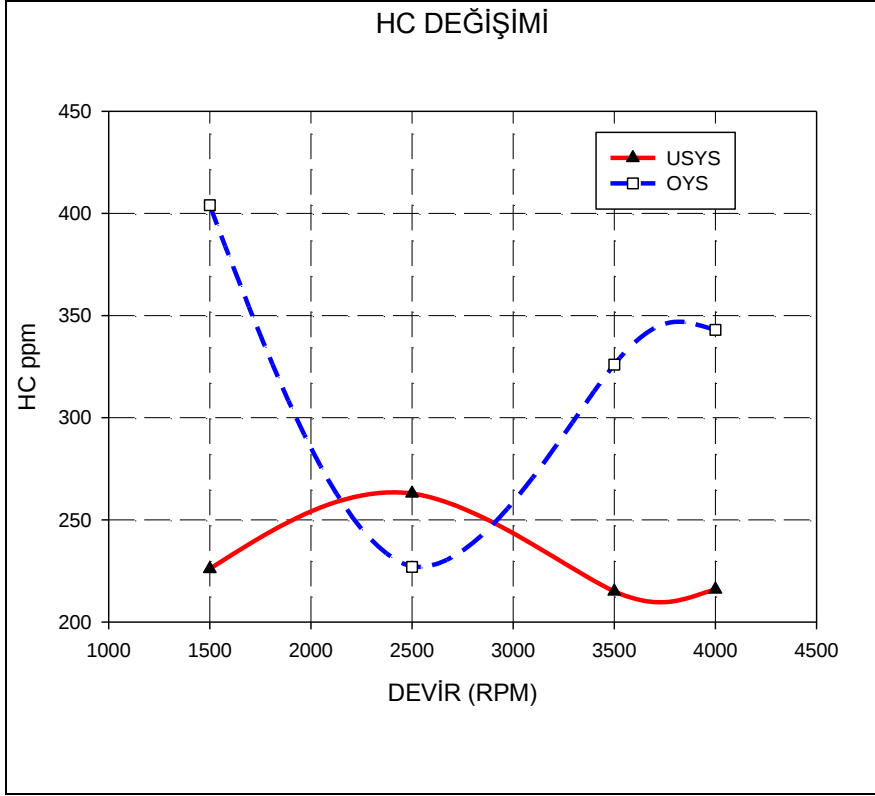
Yanma olaylarında, karbon dioksit (CO₂) tam yanma reaksiyonları sonucunda meydana gelir ve CO₂ seviyesi yanma verimi hakkında bilgi verir. Her ne kadar yanmanın doğal bir sonucu olarak ortaya çıksa da, çevreye zararlı bir gaz olması nedeniyle emisyon kategorisinde yer almaktadır. Yanma verimin arttığı durumlarda CO₂ emisyonlarının da atması bu alana dönük çalışmaların negatif yönünü oluşturmaktadır.

Şekil 3.11. incelendiğinde OYS'e sahip motorun CO₂ emisyonlarının düşük devirlerde %10,5 seviyelerinde olduğu, artan devir ile birlikte artmaya başladığı ve 2500 devir civarında maksimuma ulaştığı görülmektedir. Benzinli motorlarda iyi bir yanma için stokiyometrik karışım hazırlanması istenir. Bu karışımında hava fazlalık katsayısı 1 dir. Hava fazlalık katsayısının yaklaşık 1 olduğu karışımlarda yanma reaksiyon hızının en yüksek değerini aldığı, yanma için gereken sürenin ise minimum olduğu bilinmektedir. OYS kullanılan motorda tam yanma ürünü olan CO₂'nin maksimum olduğu 2500 dak⁻¹ devirde hava fazlalık katsayısının 1 civarında olduğu görülmektedir (Şekil 3.9). Daha yüksek motor devirlerinde CO₂ hızla düşmekte, CO ise artmaktadır. Yüksek devirlerde ve zengin karışımlarda yanma veriminin kötüleştiği, motor devrinin yanma üzerinde etkili olduğu söylenebilir. USYS'e sahip motorda ise düşük devirlerde CO₂ salınımının % 13

seviyelerinde olduğu gör÷lmektedir. Şekil 3.9. deki hava fazlalık katsayısı grafiği incelendiğinde stokiyometrik karışım oranı şartlarına en yakın değerin düşük devirlerde sağlandığı gör÷lmektedir. Ultrasonik atomizerin ürettiği damlacık miktarının yeterli olması, damlacıkların yeterince küçük olması ve hava yakıt karışımının istenilen şekilde sağlanabilmesi nedeniyle düşük devirlerde yanmanın oldukça iyileştiği anlaşılmaktadır. Devrin artması hava yakıt karışım oranını aşırı değiştirmedeğinden CO₂ emisyonlarında OYS kullanılan motora göre daha az düşme gör÷lmektedir. USYS kullanılan motorda CO emisyonlarının çok düşük olduğu ve artan devir sayısı ile değişmediği gör÷lmektedir (Şekil 3.10). CO oluşumunda devir sayısının çok etkili olmadığı, motorun daha fazla fakir karışım ile çalışabileceği anlaşılmaktadır. USYS kullanılan motorun emisyon değeri OYS kullanılan motorun emisyon değeriyle daha iyi olduğu söylenebilir.

3.4.3. Hidrokarbon Emisyonu (HC)

Yakıtın kimyasal yapısını meydana getiren hidrokarbonlar (HC), yanma işlemi sırasında oksijenle reaksiyona girerek ısı enerjisi meydana getirirler. Teorik yanmada yanma sonu ürünleri arasında HC bulunmaz. Bu durum yanmanın %100 verimle gerçekteştiğini göstermektedir. Fakat pratikte yanma verimi %100 olmadığından dolayı yanma sonu ürünleri arasında HC' ye rastlamak mümkündür. Yani yanma odasına giren yakıt moleküllerinin oksijenle reaksiyona girmeden egzozdan atılması HC emisyonlarını oluşturur.



Şekil 3.12. OYS ve USYS' e Sahip Motorlarda HC Emisyonlarının Değişimi

Şekil 3.12. incelendiğinde OYS'e sahip motorun HC emisyonu değerlerinde devre bağlı ciddi bir değişim görülmektedir. 2500 dak^{-1} motor devri ve stokiyometrik karışım oranı civarında HC emisyonları çok düşmekte, farklı devir ve karışım oranlarında aşırı artmaktadır. Bu durum bütün çalışma koşullarında motora stokiyometrik oranda karışım verilmesini ve çalışma devir aralığının sınırlandırılmasını gerektirir. Bunun pratikte uygulanması çok zordur. USYS'e sahip motorda değişim miktarının daha az olduğu görülmektedir. USYS'e sahip motorda yakıtın damlacıklar halinde olması buharlaşma hızını arttırdığı için yanma reaksiyonu dışında kalan HC moleküllerinin miktarının düşük çıktığı söylenebilir. USYS kullanılan motorda devir sayısının değişimi ile HC emisyonlarında aşırı bir değişim olmadığı ve OYS kullanılan motordan daha düşük HC emisyonu ürettiği görülmektedir. USYS kullanılan motorda yanmanın, motor devrinin değişmesinden çok fazla etkilenmediği ileri sürülebilir. HFK ve bütün emisyon komponentlerinin motor devir değişimi ile çok fazla değişim göstermemesi kanıt olarak ileri sürülebilir. HC değerlerinin düşük çıkması motor performansını olumlu etkilemesinin yanında yakıt ekonomisi de sağlamaktadır. Özgül yakıt tüketiminin düşük olması bunun bir göstergesi olarak sunulabilir (Şekil 3.13).

3.5. Özgöl Yakıt Tüketimi

Özgöl yakıt tüketimi birim güç başına harcanan yakıt miktarını gösteren değerdir. Yaptığımız deneylerde özgöl yakıt tüketimini belirlemek için 6 farklı motor devrinde, efektif motor gücü (P_e), zaman (Δt) ve belirlenen zaman içerisinde harcanan yakıt miktarı (m_y) değerlerine bağlı olarak formül (4) ile hesaplanmıştır. Özgöl yakıt tüketiminin tüketilen yakıt miktarı ile doğru orantılı efektif güç ile ters orantılı değişim gösterdiği bilinmektedir. Yapılan ölçümlerin bu karakteristiğe uygun olduğu görülmüştür.

$$be = \frac{3600.m_y}{P_e.\Delta t} \quad (4)$$

Burada;

be = Özgöl yakıt tüketimi (gr/kWh)

P_e = Motor efektif gücü (kW)

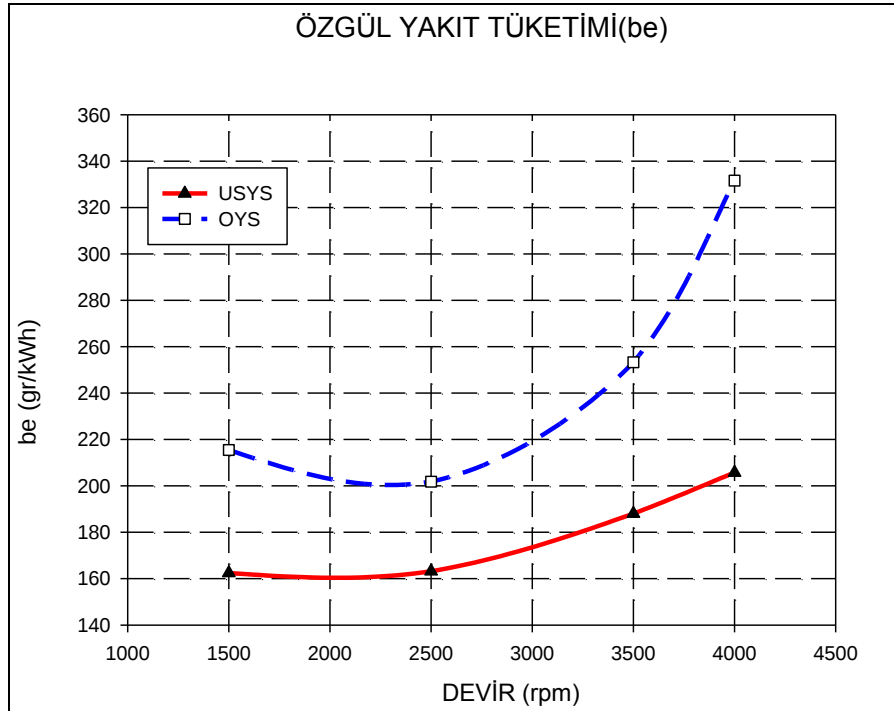
Δt = Ölçüm zaman aralığı (s)

m_y = Yakıt debisi (gr)

Deneyler her iki yakıt sistemi için ayrı ayrı yapılmıştır. OYS' e sahip motorda, motor gücünün belirlenmesinde şasi dinamometresinden alınan motor performans grafiği dikkate alınmıştır. Grafiğe göre, değer alınan her devre karşılık gelen motor gücü belirlenip kW cinsine çevrildikten sonra formülde P_e değeri olarak kullanılmıştır. Her iki yakıt sisteminde de yakıt tüketim kıyasının doğru olarak yapılabilmesi için zaman sabit olarak 180 saniye alınmıştır ve formüldeki Δt değeri yerine kullanılmıştır. Tüketilen yakıt miktarı olarak yakıt hattı üzerine bağlanan yakıtmetre giriş ve çıkış sensörlerinin, belirlenen süre içerisinde verdiği ortalama yakıt tüketim değeri alınmıştır. Bu yakıt tüketim değeri litre cinsinden elde edilip OPET marka benzin istasyonundan alınan benzin verilerinden benzinin yoğunluk değeri 775 kg/m^3 [57] alınarak değerler gram cinsine çevrilmiştir. Alınan değer direkt olarak 180 saniyede ölçülen değerdir.

USYS' e sahip motorda ise efektif motor gücü benzer şekilde motor performans testi grafiğinden elde edilmiştir. Zaman 180 saniye olarak sabit alınmıştır. Yakıt tüketimi ise hassas terazi yardımıyla direkt olarak gram cinsinden ölçülerek özgöl yakıt tüketim

formülünde yerine konulmuştur. Bulunan sonuçlar Şekil 3.13’ de gösterilen grafiğe dönüştürülerek yorumlanmıştır.

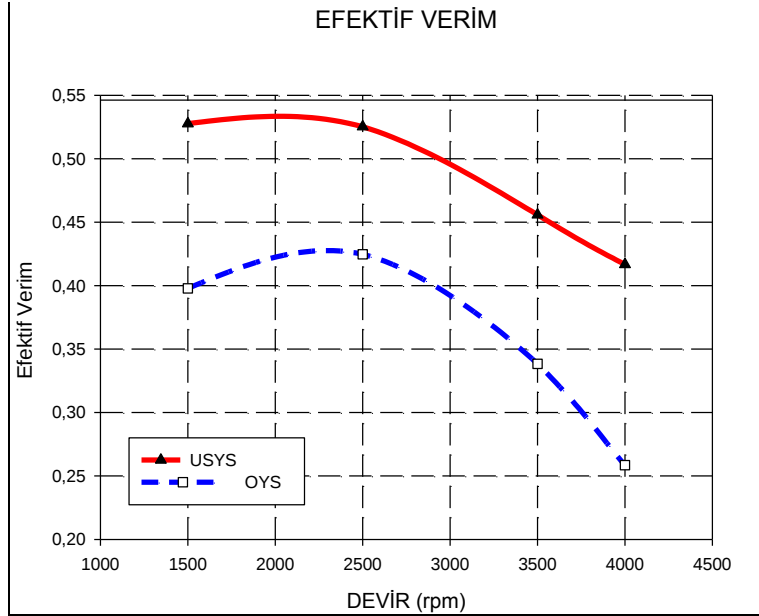


Şekil 3.13. OYS ve USYS'e Ait Özgöl Yakıt Tüketimi Değişimi

Şekil 3.13. incelendiğinde OYS'e sahip motorun özgül yakıt tüketiminin 2000 devirde en düşük noktadan geçtikten sonra, devir artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Bu eğri bilinen bir eğridir. Özgöl yakıt tüketiminin en düşük olduğu devir, motor momentinin (M_d) en yüksek olduğu, hava fazlalık kat sayısının (λ) en ideal olduğu, CO emisyonlarının ve HC emisyonlarının en düşük olduğu, CO₂ emisyonlarının en yüksek olduğu devirdir. Yani bu devirde yanma veriminin en yüksek olduğu söylenebilir. Bu devirden sonraki devirlerde yanma için ayrılan sürenin azalması, volümetrik verimin düşmesi, motor momentinin azalması ve diğer etmenlere bağlı olarak özgül yakıt tüketimindeki artış açıklanabilir.

USYS'e sahip motorun özgül yakıt tüketimindeki değişimde benzer şekilde açıklanabilir. Fakat USYS'e sahip motorda bütün devir aralıklarında özgül yakıt sarfiyatının OYS'e sahip motora göre düşük olması USYS sisteminin avantajlarını göstermektedir.

Deney sonuçlarının tamamı göz önüne alınarak incelendiğinde yanma veriminin öneminin ön plana çıktığı görülmektedir. Bu nedenle USYS sisteminin yanma verimini arttırdığı söylenebilir.



Şekil 3.14. OYS ve USYS Efektif Verim Karşılaştırması

Bilindiği üzere doğada maddeler katı, sıvı ve gaz halinde bulunurlar. Maddelerin molekülleri arası mesafesi maddenin hal durumunu belirler. Moleküller arası mesafeye bağlı olarak çekim gücü yüksek bağların olması maddenin katı halini, çekim gücü biraz daha zayıf olan bağların olması maddenin sıvı halini, çekim gücü en az olan ve moleküller arası mesafenin çok olduğu durum ise maddenin gaz halini oluşturmaktadır. Maddenin molekülleri arasındaki bağ kuvvetinin yanma üzerinde önemli etkileri vardır. Bağ kuvveti ne kadar fazla ise yakıtın oksijenle reaksiyona girerek yanma reaksiyonunu tamamlaması o kadar güçleşir. Bağ kuvveti ne kadar az ise yakıtın yanma reaksiyonu tamamlaması o kadar kolay olur. USYS'e sahip motorda ultrasonik ses ile yakıtın parçalanması, yakıt molekülleri arasındaki bağları kopardığı için yakıtın oksijenle reaksiyona girmesi kolaylaşmaktadır. Bu nedenle yanma verimi arttığı söylenebilir. Motor momentindeki azalmanın nedeni ise moleküller arası bağların zayıflamasından kaynaklı yanma sonucu ısı enerjisinin düşmesine bağlanabilir. Şekil 3.14 incelendiğinde OYS sahip motorun efektif verimi maksimum % 42 iken, USYS sahip motorda maksimum %53 civarında olduğu görülmektedir. Efektif motor güçlerinin her iki motorda da benzer çıkmasına rağmen, yakıt tüketimleri incelendiğinde USYS sahip motorun yakıt tüketimindeki azalma efektif verimde de iyileşmeye sebep olmuştur.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

- Bu çalışmada buji ile ateşlemeli motorların yanma performansını arttırmak amacıyla Ultrasonik Atomizer geliştirilip deneysel çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda geliştirilen Ultrasonik atomizerin, atomizasyon seviyesini belirleyebilmek için oluşturulan damlacıklar ölçülmüştür. Aynı zamanda bu damlacıkların, hâlihazırda kullanılan ve aynı amacı güden yakıt enjeksiyon sistemlerinin oluşturduğu damlacık boyutlarıyla kıyası yapılmıştır. Yapılan sistemin GDI (Gasoline Direct Injection) enjeksiyon sisteminin performans özelliklerine benzer sonuçlar verdiği, fakat sistem gereksinimleri ve maliyetinin GDI sisteminden çok düşük olduğu görülmüştür. Bu nedenle ultrasonik atomizer sisteminin enjeksiyon sisteminin bir alternatifi olduğu söylenebilir.
- Ultrasonik Atomizer sisteminin oluşturduğu ortalama damlacık boyutu, oda şartlarında $12\mu\text{m}$ olarak tespit edilmiştir. GDI yakıt sisteminde ortalama damlacık boyutunun $15\mu\text{m}$ olduğu ise tezin giriş bölümünde belirtilmiştir. Bu durum, benzin püskürtme sistemlerinin en son teknolojisi olan GDI enjeksiyon sisteminin verilerinin yakalandığının bir göstergesidir.
- Taşıt performans deneyleri halen trafikte kullanılan bir karbüratörlü taşıt motoru üzerinde, motor performans testi, emisyon testi, yakıt tüketimi testi yapılarak grafikler eşliğinde yorumlanmıştır. Buna göre;
 - ❖ Motorun efektif gücünde bir değişim olmadığı görülmüştür.
 - ❖ Motor momentinde yaklaşık %10' luk bir azalma gözlenmiştir.
 - ❖ Yanma veriminde önemli rol oynayan hava-yakıt teşkilinin bir göstergesi olan Hava Fazlalık Katsayısı (λ)'nın devre göre değişimi OYS sahip motorda %46 iken, USYS sahip motorda %10 olduğu görülmüştür.
 - ❖ OYS sahip motorun CO emisyonlarının motor devrine bağlı olarak % 0,5 ile %11 arasında değiştiği, USYS sahip motorda ise %0,5 ile % 1 aralığında değiştiği gözlenmiştir.
 - ❖ OYS sahip motorun CO₂ emisyonlarının motor devrine bağlı olarak değişimi %8 ile %14 arasında iken, USYS sahip motorda %11 ile %13,5 arasında olduğu gözlenmiştir.
 - ❖ OYS sahip motorun HC emisyonlarının motor devrine bağlı olarak değişimi 230 ppm ile 400 ppm arasında iken, USYS sahip motorda 220 ppm ile 270 ppm arasında olduğu görülmüştür.

- ❖ OYS sahip motorun özgül yakıt tüketimi 200 gr/kWh ile 340 gr/kWh arasında değişirken, USYS sahip motorda 160 gr/kWh ile 220 gr/kWh aralığında değiştiği gözlenmiştir. Böylelikle özgül yakıt tüketiminde yaklaşık %29.8 lik bir iyileşme olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak USYS kullanılan motorda bütün emisyon komponentlerinde iyileşme görülmüştür. Tablo 1.1 de belirtilen AB emisyon standartlarının USYS kullanılan motorda sağlandığı söylenebilir.

5. ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma içten yanmalı motorlarda kullanılan yakıt püskürtme sistemlerine bir alternatif olarak üretilen ultrasonik atomizerin motor performansı ve egzoz emisyonlarını belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Doktora eğitimi için ayrılan süre ve eldeki imkanlar dahilinde yapılan çalışmanın sonuçları bir tez bütünlüğü halinde sunulmuş olup, konunun geliştirilmesi adına aşağıdaki önerilerde bulunulabilir.

- Ultrasonik ses etkisinin her yakıt türü için oluşturduğu damlacık boyutları belirlenip benzin ve dizel yakıtı için farklı frekanslı devreler oluşturulabilir.
- Piezoelektrik seramiğe gönderilen frekansın büyüklüğü ve çalışma gerilimi motorların gaz keleşbeği konumu ve yük durumuna bağlı olarak eş güdümlü çalışması sağlanabilir.
- Her bir silindir için ayrı ayrı atomize kabı oluşturulup yakıt miktarı belirlenebilir.
- Damlacık boyutları lazerli sistemlerde üç boyutlu belirlenebilir.
- Ayrıca sistem seri üretime geçecek boyutlarda tasarlanabilir.
- Enjeksiyonlu benzinli motorlarda benzer çalışmalar yapılabilir ve buna göre enjektör tasarımı yapılabilir.
- Farklı yakıtların atomizasyonları denenebilir.
- Dizel motorlarda deneyler yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Batmaz, İ.**, 1996 Benzinli motorlarda hız -yakıt ekonomisi ilişkisinin deneysel olarak incelenmesi, *Doktora Tezi*,Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [2] Emissions- Control Technology for Diesel Engines; Robert Bosch GmbH, 2005.
- [3] **Bey,E., Böge, A.C.**, 2007, Dizel Sistemlerde Emisyon, Enjektör Memesi Örneği, Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt:48, Sayı: 568, Sayfa:22-35.
- [4] Anonymous, Sonata Hybrid National Media Launch, October 5 - 8, 2010.
- [5] www.mazda-news.eu20110531introduction-to-skyactiv-technology. 13.08.2014
- [6] **Yamin J.A.A. and Dado M.H.**, 2004“Performance simulation of a four-stroke engine with variablestroke-length and compression ratio”, *AppliedEnergy*, 77(4), 447-463.
- [7] **Ferguson, C.R.**, 1986 Internal Combustion Engines,John Wiley and Sons Inc., USA,.
- [8] **Radwan, M.S.**,1992 “A Study of Knock in Lean Burn Spark Ignition Engines”, *SAE*, Paper No:921668, 1-5.
- [9] **Heisler, H.**, 1995.Advanced Engine Technology,Edward Arnold Press, London, UK.
- [10] **Stone, R.**,1989, Motor Vehicle Fuel Economy,Macmillan Educational Ltd., Houndsmills, UK.
- [11] **Çelik, M.B.**, 1999, Buji ile Ateslemeli Bir Motorun Sıkıştırma Oranının Degisken Hale Dönüştürülmesi ve Performansa Etkisinin Arastırılması, Gazi Üniv. Fen Bil. Enst., *Doktora Tezi*, Ankara.
- [12] www.myclass.peelschools.org/ the importance of the air/fuel ratio, 14.07.2014.
- [13] **Sekmen, Y.**, 2003, Buji ile Ateslemeli Bir Motorda Sıkıştırma Oranının Degistirilebilir Hale Getirilmesi ve Performansa Etkisinin Arastırılması, Gazi Üniv. Fen Bil. Enst., *Doktora Tezi*, Ankara.
- [14] **Özdamar, İ., Yelken, B.**, 1978.Benzinli Motorlar Ders Kitabı, Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, Ankara, 357-362.
- [15] **Can, Ö., Şahin, F., Çınar, C., Yücesu, H.S.**, 2008, “Bir Dizel Motorunda Emme Manifolduna Metanol Enjeksiyonunun Egzoz Emisyonları Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi”, 10. Uluslararası Yanma Sempozyumu, 9,10 Ekim, Sakarya,Türkiye.

- [16] www.synlube.com/SynLube_Magic2.htm, 18.07.2014.
- [17] http://www.yildiz.edu.tr/~yavas/puskurtme_sistemleri.pdf, 20.07.2014.
- [18] **Cornel S.**, 1999 "Direct Injection Systems from Spark-Ignition and Compression-Ignition Engines", SAE Publication, ISBN: 0-7680-0610-4, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [19] <http://webl.mitsubishi-motors.co.jp/inter/technology/GDI/>, 2000.
- [20] **Soruşbay C.** 2000 "Direkt Püskürtmeli Benzin Motorları", Otomotiv Dergisi, ISOD, Mart-Nisan 2000, Sayı: 73, sayfa 16-19.
- [21] **Zhao F.Q., Lai M.C., Harrington D.X.**, 1999 "Automotive Spark-Ignited Direct-Injection Gasoline Engines", Progress in Energy and Combustion Science 25, 437-562.
- [22] **Geiger J., Grigo M., Lang O., Wolters P. and Hupperich P.** 1999 "Direct Injection Gasoline Engines", Combustion and Design 1999-01-0170.
- [23] **Ohsuga M., Shiraishi T., Nogı T., Nakayama Y. And Sukegawa Y.**, 1997 "Mixture Preparation for Direct- Injection SI Engines", SAE Paper No: 970542.
- [24] Gasoline direct injection Key technology for greater efficiency and Dynamics **BOSCH.**
- [25] **R.Mehdiyev, D. Bayka, H.Arslan, T.Güdü,** Düşük Emisyonlu Ve Yüksek Verimli Yeni Bir Kademeli Dolgulu Benzin Motoru, Mühendis ve Makina - Cilt: 46 Say : 549
- [26] **Ricardo, H.R., 1922,** Recent Work on Internal Combustion Engine, SAE Jurnal, 10, May, 305-36.
- [27] **Fisher, C. H., 1966,** Spark - Ignition Engines: Fuel Injection Development, Carburation, Volume II, Fourth edition, Chapman & Hall LTD .
- [28] **Kühn, M., Abthoff, j., Kemmler, R., Kaiser, T., 1996,** Influence of Onlet Port and Combustion Chamber Configuration on the Lean Burn Behaviour of a Spark Ignition Gasoline Engine, SAE Paper 960608.
- [29] **Spigel, L., Spicher, U., 1992,** Mixture Formation and Combustion in a Spark Ignition Engine With Direct Fuel Injection, SAE Paper 920521
- [30] **Automotive Engineering,** 1994 Mitsubish's 1.8 L MVV Lean Burn Engine, Paper 10-11, March.

- [31] **BIANCHI, G.M., Pelloni, P., Corcione, F.E., Allocca, L., Luppino, F.,** Modeling Atomization of High-Pressure Diesel Sprays, ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol:123, 419-427, (2001).
- [32] **STIESCH, G., Merker, G.P., Tan, Z., Reitz, R.D.,** Modeling the Effects of Split Injections on DISI Engine Performance, SAE paper 2001-01-0965, (2001).
- [33] **BAUMGARTEN, C.,** Mixture Formation in Internal Combustion Engines, Springer (2006).
- [34] **CHEHROUDI, B., Chen, S.H., Bracco, F.V., Onuma, V.,** On the Intact Core of Full-Cone Sprays, SAE paper 970641, (1985).
- [35] **HIROYASU, H., Shimuzi, M., Arai, M.,** Breakup Length of a Liquid Jet and Internal Flow in a Nozzle, 5th Int. Conference on Liquid Atomization and Spray Systems-ICLASS-91, Gaithersburg-USA, (1991).
- [36] **Suslick, K.S.,** 1994: The Chemistry of Ultrasound, <http://www.scs.uiuc.edu/~suslick/britannica.html>.
- [37] **Çiçekdağı, F.,** 2011 Ultrasonik Ses Dalgalarının Oluşturduğu Akustik Kaviteasyonu Etkileyen Değişkenler ve Kaviteasyon Enerjisi Ölçümü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [38] **Suslick, K. S.,** 1990. Sonochemistry, Science, 247, 1439-1445.
- [39] **Kıdak, R.,** 2005. Optimization of ultrasonic reactors for bacterial and organic matter decay.
- [40] **Piazza, T., Puskas W.,** 2001. The Ideal Ultrasonic Parameters for Delicate Parts Cleaning.
- [41] **Mason, T. J.,** 1999. Sonochemistry, Oxford University Press Inc., New York.
- [42] **Raso, J., Pagán, R.,** 1999. Influence of different factors on the output power transferred into medium by ultrasound, Ultrasonics Sonochemistry, 157-162.
- [43] **Niemczewski, B.,** 2007. Observations of water cavitation intensity under practical ultrasonic cleaning conditions, Ultrasonics Sonochemistry, 13-18.

- [44] **Dalmora,A., Barba, A.A, Lamberti, G., Amore, M.,** 2012, Ultrasonic atomization as an innovative approach, European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics 2012 471–477.
- [45] www.hasanbalik.com/dersler/anten/03-04Odev/SONAR/anaproje.doc ,10.07.2014.
- [46] **Zeren, Y. ve Bayat, A. 1999.** Tarımsal Savas Mekanizasyonu. Ç.Ü. Zir. Fak., Genel Yayın No:233q, Ders Kitapları Yayın No:A-75, Adana.
- [47] **Wolf, R.E., Gardisser, D.R. and Willams, W.L.,** 1999. Spray droplet analysis of air induction nozzle using WRK DropletScan technology. ASAE Paper No:991026, St. Joseph, Michigan, USA.
- [48] **Matthews, G.A.** 1992. Pesticide Application Methods. 2. Edition, Longman, New York,405p.
- [49] **Schick, R.J.,** 1997. General guidelines on drop size measurement techniques and terminology. Spraying Systems Co. Wheaton, IL USA.
- [50] **Gonzalez, R.C. and Woods, R. E. 1993.** Digital image processing.Addison-Wesley,Reading.
- [51] www.almetithalat.com/tr/urun_detay.asp?id=272 , 15.10.2014.
- [52] **Sarkovic D., Babovic V., 2002** Construction and Functioning of an Efficient Ultrasonic Atomizer, Kragujevac journal SCI., 24, 41-55.
- [53] **Dalmoro A., Barba A., Lamberti G., Amore M., 2012,** Intensifying the microencapsulation process: Ultrasonic atomization as an innovative approach, European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, 80, 471-477.
- [54] **Evans, D.H., Mcdicken., W.N.,** 2000. “Doppler ultrasound physics, instrumentation, and signal processing”,Wiley Corp., England, 27-91.
- [55] **Lee, S., Park, S.,**2014,Experimental study on spray break-up and atomization processes from GDI injector using high injection pressure up to 30 MPa, International journal of Heat and Fluid Flow, 45,14-22.
- [56] **Deniz O.,** 2008, İçten Yanmalı Motorlar Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [57] www.opet.com.tr/en/Icerik.aspx?cat=106&id=152, 15.10.2014.

ÖZGEÇMİŞ

1987 Yılında Elazığ'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Elazığ'da Çeşitli okullarda tamamladı. 2004 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Otomotiv Öğretmenliği Programında lisans eğitimine başladı. 2008 yılında lisans programından mezun oldu. Aynı yıl Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Ana bilim dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2010 yılında Batman Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak atandı. Aynı Yüksek Lisans eğitimini tamamlayıp Doktora eğitimine başladı. 2012 yılında Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak geçiş yaptı. Halen Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Çeşitli dergi ve sempozyumlarda yayınları bulunmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.

EKLER

KONTROL KARTI MİKRO İŞLEMCI PROGRAMI

Fonksiyon Programı

```
void adc_oku()
{
    set_adc_channel(0);
    delay_us(20);
    voltaj=read_adc();
}
```

Çıkış Ayarlama Programı

```
#fuses HS, NOWDT ,NOPROTECT ,NOBROWNOUT, NOLVP ,NOPUT, NOWRT,
NODEBUG, NOCPD
#use delay (clock=20000000)
```

```
#define POTANS PIN_A0
#define LED_1 PIN_D1
#define LED_2 PIN_D0
#define LED_3 PIN_C3
#define LED_4 PIN_C2
#define LED_5 PIN_C1
```

```
#define RELAY_1 PIN_D4
#define RELAY_2 PIN_D2
#define RELAY_3 PIN_D3
unsigned long voltaj=0;
```

Ana Program

```
#include <16F877A.h>
#device ADC=10
#include <otoprodefines.h>
```

```
#include <functions.h>
```

```
void main()
```

```
{
    setup_psp(PSP_DISABLED);
    setup_timer_1(T1_DISABLED);
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
    setup_CCP1(CCP_OFF);
    setup_CCP1(CCP_OFF);
    set_tris_a(0x01);
    set_tris_d(0x00);
    setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_32);
    setup_adc_ports(AN0);
    output_d(0x00);
    output_c(0x00);
    output_b(0x00);
    while(TRUE)
    {
        set_adc_channel(0);
        delay_us(20);
        voltaj=read_adc();
    if(voltaj<170 && voltaj>0)
        {
            output_d(0x00);
            output_high(LED_1);
            while(voltaj<170 && voltaj>0)
            {
                delay_ms(500);
                output_toggle(LED_1);
                adc_oku();
            }
        }
    }
}
```

```

else if(voltaj>170 && voltaj < 340)
{
    output_d(0x00);
    while(voltaj>170 && voltaj < 340)
    {
        output_high(LED_2);
        adc_oku();
    }
}
else if(voltaj>340 && voltaj < 600)
{
    output_d(0x00);
    while(voltaj>340 && voltaj < 600)
    {
        output_high(LED_3);
        output_high(LED_2);
        adc_oku();
    }
}
else if(voltaj>600)
{
    output_d(0x00);
    while(voltaj>600)
    {
        output_high(LED_3);
        output_high(LED_2);
        output_high(LED_4);
        adc_oku();
    }
}
}

```

GÖRÜNTÜ İŞLEME PROGRAMI

```
%% Yakıt Damlacık Boyutu Hesaplama
clear all
close all
clc
%% dosyada görüntü okuma
[filename, pathname]=uigetfile({'*.jpg;*.tif;*.png;*.gif','All Image
Files';...
    '*..*','All Files' });
RGB_im=imread( fullfile(pathname, filename));

if (size(RGB_im,3)>1)
    gray_im=rgb2gray(RGB_im);
end
[M,N]=size(gray_im);
figure, imshow(gray_im)
%% görüntü iyileştirme (filtreleme kontrast ve ışıklık ve derinlik
ayarlama)
gray_im=imadjust(gray_im);
% hy = fspecial('sobel');
% hx = hy';
% Iy = imfilter(double(gray_im), hy, 'replicate');
% Ix = imfilter(double(gray_im), hx, 'replicate');
% gray_im = sqrt(Ix.^2 + Iy.^2);
% figure, imshow(gray_im,[])
figure, imshow(gray_im)
%% kenar bulma ve morfolojik işlemler
thlevel=graythresh(gray_im);
bw=edge(gray_im,'canny',thlevel);
se = strel('square',1);
MN=[4 2]; %mn büyük resimlerde [30 6] se de 5
se2 = strel('rectangle',MN);
bw=imdilate(bw,se2);
bw=imfill(bw,'holes');
bw=imerode(bw,se);
bw=imfill(bw,'holes');

%% Etiketleme

L2=bwlabeln(double(bw));
S2=regionprops(L2,'Area');
bw=ismember(L2,find([S2.Area] >= 5)); %% alanı 5 den küçük olanları göz
ardı et
L=bwlabeln(double(bw));
S=regionprops(L,'Area');
OBW=imfill(bw,'holes');
[B,L]= bwboundaries(OBW,'holes');
K= max(size(B));
mer = regionprops(L,'Centroid');
centroids = cat(1, mer.Centroid);
m=round(centroids);
figure
imshow(bw)
hold on
for i=1:K
    p=sprintf('%d',i);
    text(round(centroids(i,1)),round(centroids(i,2)),p,'Color','b');
end
```

```

hold off

%% özellik çıkartımı
I=gray_im;
for i=1:K
    a=[B{i,1}];
    bx=max (a(:,1));
    by=max (a(:,2));
    kx=min (a(:,1));
    ky=min (a(:,2));
    %çevre
    cevre(i,1)=size ([B{i,1}],1);
    %ortalama
    kl=0;
    top=0;
    for y=ky:by
        for x=kx:bx
            if (L(x,y)==i);
                kl=kl+1;
                top=top+double (I (x,y) );
            end
        end
        if (L(x,y)==i);
            var=var+double (abs (I (x,y)-ortalama(i,1)))^2;
        end
    end
    variance(i,1)=round (var/kl);
end

    oort=mean (ortalama);
    ovar=mean (variance);
    oalan=mean (alan);
    ocev=mean (cevre);

%% daire uydurma
figure
imshow(RGB_im)
hold on
al=ones(K,1);
R_pixel=ones(K,1);
for i=1:K
    b = B{i};
    [result]=CircleFitByTaubin(b);
    mx=result(1);
    my=result(2);
    R_pixel(i,1)=result(3)+1;
    a=yeni_sinir_olustur( mx,my,R_pixel(i,1));
    al(i,1)=round(double(pi*(R_pixel(i,1))^2));
end

plot(b(:,2),b(:,1),'g','LineWidth',1);
if(abs(al(i,1)/alan(i,1))<3)% dairenin aani ile uydurulan eğrinin
arasındaki fark fazlaysa hata var daire çizme.
plot(a(:,2),a(:,1),'b','LineWidth',1);
end
end
hold off
for i=1:K

```

```

p=sprintf('%d',i);
text(round(centroids(i,1)),round(centroids(i,2)),p,'Color','w');
end
oal=mean(al);
%% yarıçap hesapla x=2.40e-3; y=1.92e-3;
pixel_referans_buyuklugu=(2.40e3)/N;
R_mikron=pixel_referans_buyuklugu*R_pixel;
max(R_mikron)
min(R_mikron)
%% raporlama ve grafiksel sonuçlar
data=cat(2,ortalama,variance,alan,cevre,R_mikron);
folder_name = uigetdir('C:\Documents and Settings\orhan\Desktop');
mkdir(folder_name,'RAPOR');

destination1=sprintf('%s\RAPOR\analiz1.png',folder_name);
destination2=sprintf('%s\RAPOR\analiz2.png',folder_name);
destination=sprintf('%s\RAPOR',folder_name);

i=1:K;
etiket=i;
data=cat(2,(etiket)',data);
Excel = actxserver('Excel.Application');
Workbooks = Excel.Workbooks;
Workbook = invoke(Workbooks, 'Add');
Sheets = Excel.ActiveWorkBook.Sheets;
Sheet1 = get(Sheets, 'Item', 1);
Sheet1.Activate;
Shapes = Sheet1.Shapes;
invoke(Workbook, 'SaveAs', [destination '\analiz.xls']);
invoke(Excel, 'Quit');
d = {'Etiket', 'Alan', 'Ortalama', 'Varyans', 'Çevre', 'Yarıçap(mikron)'};
xlswrite([destination '\analiz.xls'], d, 1, 'B1');
xlswrite([destination '\analiz.xls'], data,1, 'B2');

```

