

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ertunç GÖKÇELİ**

**BİR DİZEL MOTORDA KULLANILAN SU-BİYODİZEL  
EMÜLSİYON YAKITLARININ PERFORMANS VE EMİSYON  
KARAKTERİSTİKLERİ**

**OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ADANA-2022**



## ÖZ

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### BİR DİZEL MOTORDA KULLANILAN SU-BİYODİZEL EMÜLSİYON YAKITLARININ PERFORMANS VE EMİSYON KARAKTERİSTİKLERİ

Ertunç GÖKÇELİ

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Erdi TOSUN  
Yıl: 2022, Sayfa: 49  
Jüri : Dr. Öğr. Üyesi Erdi TOSUN  
: Doç. Dr. M. Atakan AKAR  
: Doç. Dr. Erinc ULUDAMAR

Emisyon normları her geçen gün daha da katılaşmakta ve araştırmacıları ilave tedbirler alarak çevreye salınan emisyonları daha alt seviyelere çekmeye zorlamaktadır. Bu amaçla araştırmacılar tarafından kullanılan birçok yöntem mevcuttur. Bunlardan bir tanesi de su-yakıt emülsiyonlarıdır. Emülsiyon yakıt kullanımı özellikle azot oksit ( $\text{NO}_x$ ) ve partikül madde (PM) emisyonlarını eş zamanlı azaltmada oldukça etkin bir yöntemdir. Bu çalışmada, dizel, ayçiçek biyodizeli, saf su ve sürfaktan (Span 80 + Tween 80) kullanılarak emülsiyon yakıtlar hazırlanmıştır. Yakıtlar D (dizel), DS5 (93% dizel + 5% su + 2% sürfaktan), DS10 (88% dizel + 10% su + 2% sürfaktan), B (biyodizel), BS5 (93% biyodizel + 5% su + 2% sürfaktan), BS10 (88% biyodizel + 10% su + 2% sürfaktan) şeklindedir. Emülsiyon yakıtlar manyetik bir karıştırıcı yardımıyla oda sıcaklığında 1 saat boyunca 1500 (dev/dak) hızla karıştırılarak hazırlanmış ve yakıt özellikleri tespit edilmiştir. Son olarak da 4 zamanlı, 4 silindirli, turboşarjlı, su soğutmalı bir dizel motorunda motor performans ve emisyon testleri gerçekleştirilmiştir. Emülsiyon yakıtlar motor tork ve fren gücü değerleri ile karbon monoksit ( $\text{CO}$ ) ve azot oksit ( $\text{NO}_x$ ) emisyonlarında azalmaya sebep olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Biyodizel, Dizel, Emülsiyon



## ABSTRACT

### MSc THESIS

# PERFORMANCE AND EMISSION CHARACTERISTICS OF A DIESEL ENGINE OPERATED WITH WATER-BIODIESEL EMULSION FUELS

Ertunç GÖKÇELİ

ÇUKUROVA UNIVERSITY  
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES  
DEPARTMENT OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Erdi TOSUN  
Year: 2022, Pages: 49  
Jüri : Assist. Prof. Dr. Erdi TOSUN  
: Assoc. Prof. Dr. M. Atakan AKAR  
: Assoc. Prof. Dr. Erinc ULUDAMAR

Emission norms have been getting stricter day by day and forcing researchers to reduce emissions released to the environment by taking additional precautions. There are many methods used by researchers for this purpose. Diesel-water emulsions are one of the methods. Emulsion fuel use is a very effective method, especially in reducing nitrogen oxide (NO<sub>x</sub>) and particulate matter (PM) emissions simultaneously. In this study, emulsion fuels were prepared with use of diesel, sunflower biodiesel, water and surfactant (Span 80 + Tween 80). Fuels were D (pure diesel), DS5 (93% diesel + 5% water + 2% surfactant), DS10 (88% diesel + 10% water + 2% surfactant), B (biodiesel), BS5 (93% biodiesel + 5% water + 2% surfactant), BS10 (88% biodiesel + 10% water + 2% surfactant). Emulsion fuels were formed by mixing at a speed of 1500 rpm for 1 hour at room temperature with the help of a mechanical stirrer and fuel properties were determined. Emulsion fuels caused a reduction in engine torque and braking power values, as well as carbon monoxide (CO) and nitrogen oxide (NO<sub>x</sub>) emissions.

**Key Words:** Biodiesel, Diesel, Emulsion



## GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Dizel motorlar özellikle ulaşım sektöründe güç ihtiyacını karşılamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Benzinli motorlara kıyasla yüksek termik verim, tork ve güç/ağırlık oranları bu motorların daha sık tercih edilme sebeplerindendir. Ancak bu motorlar yanma sonucu çevreye önemli miktarda zararlı emisyon salarlar. Karbon monoksit (CO), yanmamış hidrokarbon (HC), azot oksit (NO<sub>x</sub>), partikül madde (PM) gibi motordan salınan emisyonların belirli bir seviyenin altında olması gerekliliği emisyon regülasyonları ile belirlenmiştir. Bu emisyon normları her geçen yıl daha da katılaşmakta ve motor üreticilerini emisyonları belirli seviyelerde tutabilmek için ilave tedbirler almaya zorlamaktadır. Günümüzde emisyonların azaltılması amacıyla katalitik konvertörler, seçici katalitik indirgeme, egzoz gaz resirkülasyonu, dizel partikül filtresi, çeşitli yakıt katkılarının yakıtı eklenmesi ve yakıt-su emülsiyonları kullanımı gibi yöntemlerden yararlanılmaktadır. Özellikle yakıt-su emülsiyonları NO<sub>x</sub> emisyonlarının azaltılmasında oldukça etkin ve herhangi bir motor modifikasyonu gerektirmeyen ekonomik bir yöntemdir.

Emülsiyonlar birbiriyle normal şartlar altında karışmayan iki sıvının uygun bir yüzey aktif madde (sürfaktan) varlığında aralarındaki arayüzey geriliminin azaltılarak sürekli faz (continuous) olan bir sıvı içerisinde, dağılan faz (dispersed) olarak adlandırılan diğer sıvının zerrecikler halinde asılı kalmasını sağlayarak oluşturulan kararlı karışımlardır.

Yakıt-su emülsiyonlarının önemli etkilerden birisi suyun kaynama noktasının yakıttan daha düşük olması sebebiyle suyun yüksek sıcaklıklarda hızlıca buhar fazına geçmesiyle silindir içerisinde yarattığı mikro patlamalardır. Mikro patlamalar ikincil bir yakıt atomizasyonuna neden olarak hava-yakıt karışımının daha iyi oluşmasına yardımcı olmakta ve yanma verimini arttırmaktadır. Bir diğer önemli etkisi ise suyun buharlaşarak silindir içerisinde ısı çekmesi ve sıcaklığı

düşürücü etkiye sebep olmasıdır. Bu durum özellikle yüksek sıcaklıklarda meydana gelen azot ve oksijen reaksiyonu sonucu oluşan  $\text{NO}_x$  emisyonlarının azaltılmasında önemli rol oynamaktadır.

Bu çalışmada öncelikle ayçiçek yağından biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Saf su ve sürfaktan (Span 80 + Tween 80) hem dizel yakıtına hem de biyodizel yakıtına eklenip manyetik bir karıştırıcı yardımıyla oda sıcaklığında 1 saat boyunca 1500 (dev/dak) hızla karıştırılarak hazırlanmış ve yakıt özellikleri tespit edilmiştir. Yakıtlar D (dizel), DS5 (93% dizel + 5% su + 2% sürfaktan), DS10 (88% dizel + 10% su + 2% sürfaktan), B (biyodizel), BS5 (93% biyodizel + 5% su + 2% sürfaktan), BS10 (88% biyodizel + 10% su + 2% sürfaktan) şeklindedir.

Motor deneyleri, 4 zamanlı, 4 silindirli, turboşarjlı, su soğutmalı bir dizel motorunda 1200 – 2200 dev/dak motor hız aralıklarında ve tam yük koşullarında gerçekleştirilmiştir. D'ye kıyasla B, motor torku ve fren gücünde düşüşe sebep olmuştur. Bunun muhtemel sebebinin B'nin ısıl değerinin D'den daha düşük olması olduğu düşünülmektedir. Dizel-su emülsiyon yakıtların (DS5 ve DS10) D'ye göre, biyodizel-su emülsiyon yakıtların da (BS5 ve BS10) B'ye göre hem motor torkunda hem de fren gücünde düşüşe sebep olduğu gözlemlenmiştir. Bu etkinin de emülsiyon içerisindeki su içeriğinin yakıtın ısıl değerini düşürmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. D'ye kıyasla B, CO emisyonlarında azalmaya,  $\text{NO}_x$  emisyonlarında ise artışa sebep olmuştur. CO emisyon değerlerindeki bu azalma B yakıtının içerdiği ekstra oksijen içeriğinden dolayı daha fazla CO emisyonunun oksitlenmesinden kaynaklanabilir.  $\text{NO}_x$ 'deki artış ise B'nin yapısındaki ekstra oksijen içeriğinin yanma kalitesini artırarak silindir içi sıcaklık değerlerini yükseltmesinden kaynaklanabilir. Dizel-su emülsiyon yakıtların (DS5 ve DS10) D'ye göre, biyodizel-su emülsiyon yakıtların da (BS5 ve BS10) B'ye göre hem CO hem de  $\text{NO}_x$  emisyonlarında düşüşe sebep olduğu gözlemlenmiştir. Emülsiyon kullanımıyla bir eksik yanma ürünü olan CO emisyonlardaki meydana gelen



azalmanın mikro patlamalardan dolayı reaksiyon gerçekleştirecek karışımın daha iyi oluşmasıyla ve daha verimli gerçekleşen yanma ile gerçekleştiği düşünülmektedir. Emülsiyonlarda bulunan su buhar fazına geçerek ortamdan ısı çekilmesine ve böylece silindir içi sıcaklığın düşmesine sebep olmakta olup  $\text{NO}_x$  emisyonlarında düşüşün sebebinin de bu durum olduğu değerlendirilmektedir.





## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmamın her aşamasında büyük bir titizlik, sabır ve özveriyle bana destek olan ve çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Dr. Öğr. Üyesi Erdi TOSUN'a en derin saygılarımla teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca değerli jüri üyelerim Doç. Dr. M. Atakan AKAR ve Prof. Dr. Erine ULUDAMAR'a çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım beni yalnız bırakmayan, sabır ve istekle yol gösteren Çukurova Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü'nün kıymetli öğretim üyeleri hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneyisel çalışmalarım sırasında karşılaştığım zorlukları aşmamdaki yardımlarından dolayı Arş. Gör. Dr. İhsan ULUOCAK ve Arş. Gör. Ali Cem YAKARYILMAZ'a teşekkür ederim.

Ayrıca FYL-2020-13048 numaralı proje ile deneyler esnasında gerekli finansal desteği sağlayan Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim.

Tüm bu süreçler boyunca bana duydukları sonsuz güven ve destekleri için annem Müyesser GÖKÇELİ'ye, babam Mehmet Ali GÖKÇELİ'ye, abim Enver GÖKÇELİ'ye ve ablam Eda ÖZKAN'a çok teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

## SAYFA

|                                                  |      |
|--------------------------------------------------|------|
| ÖZ .....                                         | I    |
| ABSTRACT.....                                    | II   |
| GENİŞLETİLMİŞ ÖZET .....                         | III  |
| TEŞEKKÜR.....                                    | VII  |
| İÇİNDEKİLER .....                                | VIII |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                          | X    |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                            | XII  |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                     | XIV  |
| 1. GİRİŞ .....                                   | 1    |
| 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....                        | 7    |
| 3. MATERYAL VE METOT .....                       | 15   |
| 3.1. Biyodizel Üretimi.....                      | 15   |
| 3.2. Emülsiyonlar .....                          | 21   |
| 3.3. Dizel-Su ve Biyodizel-Su Emülsiyonları..... | 24   |
| 3.4. Yakıt Özelliklerinin Belirlenmesi .....     | 27   |
| 3.4.1. Yoğunluk Tayini .....                     | 27   |
| 3.4.2. Viskozite Tayini .....                    | 27   |
| 3.4.3. Isıl Değer Tayini .....                   | 28   |
| 3.4.4. Parlama Noktası Tayini.....               | 29   |
| 3.5. Test Motoru ve Emisyon Cihazı .....         | 30   |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....                    | 35   |
| 4.1. Yakıt Özellikleri.....                      | 35   |
| 4.2. Performans .....                            | 36   |
| 4.3. Emisyon .....                               | 38   |
| 5. SONUÇLAR .....                                | 41   |
| KAYNAKLAR .....                                  | 43   |

|                |    |
|----------------|----|
| ÖZGEÇMİŞ ..... | 49 |
|----------------|----|



## ÇİZELGELER DİZİNİ

## SAYFA

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 1.1. Avrupa Birliği Emisyon Normları.....              | 2  |
| Çizelge 3.1. Farklı uygulamalar için uygun HLB değerleri ..... | 22 |
| Çizelge 3.2. Emülsiyon yakıtların hacimsel içerikleri.....     | 25 |
| Çizelge 3.3. Dizel motoru teknik verileri .....                | 31 |
| Çizelge 3.4. Yük hücresi teknik verileri .....                 | 32 |
| Çizelge 3.5. Encoder teknik verileri .....                     | 33 |
| Çizelge 4.1. Test yakıtlarının özellikleri.....                | 35 |





## ŞEKİLLER DİZİNİ

## SAYFA

|             |                                                                                                     |    |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1.  | Biyodizel karbon döngüsü .....                                                                      | 3  |
| Şekil 1.2.  | Mikro patlamadan dolayı oluşan ikincil atomizasyon .....                                            | 5  |
| Şekil 3.1.  | Ayçiçek yağı .....                                                                                  | 15 |
| Şekil 3.2.  | Transesterifikasyon reaksiyonu .....                                                                | 16 |
| Şekil 3.3.  | (i) Metil alkol (ii) Sodyum hidroksit .....                                                         | 16 |
| Şekil 3.4.  | 65 °C’de (i) Ayçiçek yağı (ii) yağ, alkol, katalizör karışımı .....                                 | 17 |
| Şekil 3.5.  | Yoğunluk farkından dolayı ayrılan biyodizel ve gliserin .....                                       | 18 |
| Şekil 3.6.  | Yıkanmış biyodizel .....                                                                            | 19 |
| Şekil 3.7.  | Biyodizel kurutma işlemi .....                                                                      | 20 |
| Şekil 3.8.  | Filtreleme işlemi .....                                                                             | 20 |
| Şekil 3.9.  | S/Y ve Y/S emülsiyonlar .....                                                                       | 21 |
| Şekil 3.10. | S/Y ve Y/S emülsiyonlarındaki sürfaktan madde ve yapısı .....                                       | 23 |
| Şekil 3.11. | Tween 80 ve Span 80 .....                                                                           | 24 |
| Şekil 3.12. | Dizel-su ve biyodizel-su emülsiyon yakıtları .....                                                  | 26 |
| Şekil 3.13. | Kyoto Electronics DA-130 portatif yoğunluk ölçer .....                                              | 27 |
| Şekil 3.14. | Tanaka AKV-202 kinematik viskozite ölçüm cihazı .....                                               | 28 |
| Şekil 3.15. | IKA-Werke C2000 bomba kalorimetre ısı değer ölçüm cihazı .....                                      | 29 |
| Şekil 3.16. | Tanaka Automated Pensky-Martens Closed Cup Flash Point<br>Tester parlama noktası ölçüm cihazı ..... | 29 |
| Şekil 3.17. | Test motoru .....                                                                                   | 30 |
| Şekil 3.18. | Test motor şematığı .....                                                                           | 30 |
| Şekil 3.19. | Eddy current dinamometre .....                                                                      | 31 |
| Şekil 3.20. | S tipi yük hücresi .....                                                                            | 32 |
| Şekil 3.21. | Döner encoder .....                                                                                 | 33 |
| Şekil 3.22. | MRU Air Delta 1600 V egzoz gaz analiz cihazı .....                                                  | 34 |
| Şekil 4.1.  | Tork - motor devri .....                                                                            | 37 |

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| Şekil 4.2. Fren gücü - motor devri.....       | 37 |
| Şekil 4.3. CO - motor devri .....             | 39 |
| Şekil 4.4. NO <sub>x</sub> - motor devri..... | 39 |



## SİMGELER VE KISALTMALAR

|                                |                                                                      |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| D                              | : Dizel                                                              |
| DS5                            | : 93% dizel + 5% su + 2% sürfaktan                                   |
| DS10                           | : 88% dizel + 10% su + 2% sürfaktan                                  |
| B                              | : Ayçiçek biyodizeli                                                 |
| BS5                            | : 93% biyodizel + 5% su + 2% sürfaktan                               |
| BS10                           | : 88% biyodizel + 10% su + 2% sürfaktan                              |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | : Alüminyum oksit                                                    |
| CO                             | : Karbon monoksit                                                    |
| CO <sub>2</sub>                | : Karbon dioksit                                                     |
| CH <sub>3</sub> OH             | : Metil alkol                                                        |
| EGR                            | : Egzoz gaz resirkülasyonu                                           |
| EN 14214                       | : Yağ asidi metil esterleri özellikler ve deney yöntemleri standardı |
| EN 590                         | : Dizel yakıt özellikler ve deney yöntemleri standardı               |
| HC                             | : Hidrokarbon                                                        |
| HLB                            | : Hidrofilik-lipofilik denge                                         |
| NaOH                           | : Sodyum hidroksit                                                   |
| NO <sub>x</sub>                | : Azot oksit                                                         |
| PM                             | : Partikül Madde                                                     |
| SCR                            | : Seçici katalitik indirgeme                                         |
| Span 80                        | : Sorbitan Monooleate                                                |
| S/Y                            | : Yağ içinde su                                                      |
| Tween 80                       | : Polioksietilen Sorbitan Monooleat                                  |
| Y/S                            | : Su içinde yağ                                                      |



## 1. GİRİŞ

Dizel motoru 19. Yüzyılın sonlarında Alman mühendis Rudolf Diesel tarafından icat edilmiş ve patenti alınmıştır. İcat edildikleri günden bu yana yüksek termik verim ve düşük yakıt tüketimi gibi avantajları göz önüne alındığında günümüzde çeşitli sektörlerde ihtiyaç duyulan güç ihtiyacını karşılayabilmek için halen yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tip motorlar özellikle ulaşım sektörünün vazgeçilmez unsurları arasındadır.

Yüksek verim, dayanıklılık ve düşük yakıt tüketimi gibi avantajlar dizel motorları sadece ulaşım sektöründe değil, aynı zamanda tarım ve endüstrinin diğer sektörlerinde de sıklıkla tercih sebebi haline getirmiştir. Ağır vasıta araçların çoğunda, inşaat ve tarım sektöründeki makinelerde, lokomotiflerde, okyanus taşımacılığında ve büyük güç üretim tesislerinde halen dizel motorlar kullanılmakta olup uzun bir süre daha kullanılmaya devam edileceği açıktır (Yan ve ark, 2021).

Dünyada enerji ihtiyacının çok büyük çoğunluğu kömür, petrol ve doğalgaz gibi geleneksel enerji kaynaklarından sağlanmaktadır (Demirbas, 2007). Ancak canlı organizmaların milyonlarca yıl boyunca yeraltında oksijensiz ortamda kalmasıyla oluşan fosil yakıtlar yakın gelecekte tükenme sorunuyla karşı karşıyadır. Dünya nüfusundaki hızlı artış, yoğun sanayileşme dünyanın ihtiyaç duyduğu enerji talebini arttırmaktadır. Hem bu enerji ihtiyacına karşılık bulabilmek hem de yakın gelecekte tükenmesi öngörülen fosil yakıtlara alternatifler bulabilmek için son yıllarda araştırmacılar çalışmalarına hız vermiştir.

Fosil yakıtlara alternatif olarak kullanılacak yakıtlardan beklenti daha çevreci, sürdürülebilir ve yenilenebilir kökenli olmalarıdır. Bu anlamda bitkisel, hayvansal ve atık yağlardan üretilen biyodizel, özellikle araçlarda dizel yakıtının yerine direkt olarak kullanılabilecek olması sebebiyle dünya genelinde oldukça ilgi çekmektedir (Demirbas, 2009).

Benzinli motorlara kıyasla dizel motorlar daha fazla çevreyi kirletir ve küresel ısınmaya daha fazla katkıda bulunurlar. Bu sebeple araştırmacılar daha ucuz, yenilenebilir, geri dönüşebilir ve çevre dostu alternatif yakıtları araştırmaktadırlar. Biyodizel tüm bu istekleri karşılayan iyi bir alternatiftir (Fangfang ve ark, 2021).

Alternatif yakıt arayışlarının yanında önem arz eden bir diğer konuda gittikçe katılan Avrupa emisyon standartlarıdır. Bu standartlarla motorlardan salınacak müsaade edilebilir en fazla zararlı gaz miktarları belirlenmektedir. Çizelge 1.1’de binek taşıtlar için Avrupa Birliği Emisyon Standartları verilmiştir

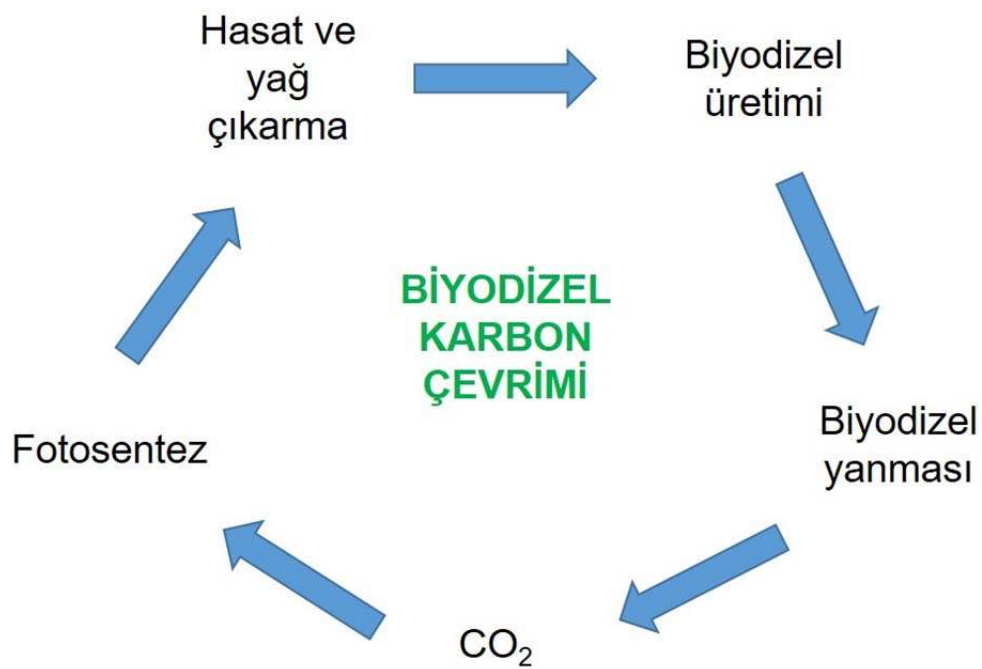
Çizelge 1.1. Avrupa Birliği Emisyon Normları (Kelen, 2014)

| Standart                 | Tarih   | CO   | HC  | HC + NO <sub>x</sub> | NO <sub>x</sub> | Partikül Madde |
|--------------------------|---------|------|-----|----------------------|-----------------|----------------|
| <b>Benzinli Motorlar</b> |         |      |     |                      |                 |                |
| <b>Euro 1</b>            | 1992.07 | 2.72 | -   | 0.97                 | -               | -              |
| <b>Euro 2</b>            | 1996.01 | 2.2  | -   | 0.5                  | -               | -              |
| <b>Euro 3</b>            | 2000.01 | 2.3  | 0.2 | -                    | 0.15            | -              |
| <b>Euro 4</b>            | 2005.01 | 1    | 0.1 | -                    | 0.08            | -              |
| <b>Euro 5</b>            | 2009.09 | 1    | 0.1 | -                    | 0.06            | 0.005          |
| <b>Euro 6</b>            | 2014.09 | 1    | 0.1 | -                    | 0.06            | 0.005          |
| <b>Dizel Motorlar</b>    |         |      |     |                      |                 |                |
| <b>Euro 1</b>            | 1992.07 | 2.72 | -   | 0.97                 | -               | 0.14           |
| <b>Euro 2</b>            | 1996.01 | 1    | -   | 0.7                  | -               | 0.08           |
| <b>Euro 3</b>            | 2000.01 | 0.64 | -   | 0.56                 | 0.5             | 0.05           |
| <b>Euro 4</b>            | 2005.01 | 0.5  | -   | 0.3                  | 0.25            | 0.025          |
| <b>Euro 5</b>            | 2009.09 | 0.5  | -   | 0.23                 | 0.18            | 0.005          |
| <b>Euro 6</b>            | 2014.09 | 0.5  | -   | 0.17                 | 0.08            | 0.005          |

Biyodizel, dizel yakıtına kıyasla, genel olarak yüksek setan sayıları ve buna bağlı olarak azalan tutuşma gecikmesi süresi, yapılarında ihtiva ettikleri fazladan oksijen ile yanmanın tam ve temiz olmasına katkıda bulunmasıyla temiz bir enerji kaynağı olarak nitelendirilebilir (Kaya ve ark, 2018). Dizel yakıtıyla kıyaslandığında biyodizel yakıtı yapısındaki oksijen ve içerdiği daha az aromatik bileşenlerden ötürü karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve partikül madde

emisyonlarında azalmaya neden olmaktadır. Öte yandan, biyodizelin içerdiği fazladan oksijen hem daha fazla CO molekülünün oksitlenerek karbon dioksit ( $\text{CO}_2$ ) dönüşmesine hem de silindir için yanmayı iyileştireceğinden azot oksit ( $\text{NO}_x$ ) emisyonlarının artmasına sebep olmaktadır (Kaya ve ark, 2020).

Her ne kadar biyodizelin yanmasıyla dizel yakıtına kıyasla daha fazla CO<sub>2</sub> emisyonu salınıyor olsa da CO<sub>2</sub> bitkiler tarafından fotosentez amacıyla kullanıldığından doğadaki karbon döngüsüne göre net miktarı azalmaktadır (Tosun ve Özcanlı, 2021). Karbon döngüsündeki net CO<sub>2</sub> emisyonunu azaltan etkisiyle biyodizel küresel ısınma problemine de olumlu katkı sağlamaktadır (Mourad ve ark, 2021). Şekil 1.1 biyodizel üretimi için kapalı karbon çevrimini göstermektedir.



Şekil 1.1. Biyodizel karbon döngüsü (Batista ve ark, 2016)

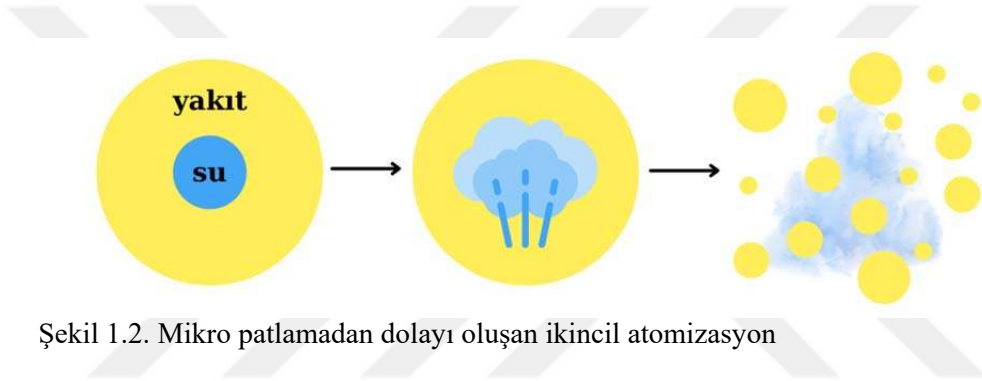
Biyodizelin en önemli dezavantajlarından birisi  $\text{NO}_x$  emisyonlarının artışına sebep olmasıdır. Bunun en ciddi sebebi biyodizelin içerdiği ekstra oksijenden dolayı silindir içi yanma sonu sıcaklıklarının 1600 °C'nin üzerine çıkarması ve daha düşük sıcaklıklarda tepkimeye girmeyen oksijen ve azotun bu sıcaklık seviyesinin üzerinde tepkimeye girmeleridir.  $\text{NO}_x$  emisyonlarının asit yağmurlarına neden olmak, sis oluşumu gibi hem çevreye hem de insan sağlığına olumsuz etkileri vardır (Reşitoğlu ve ark, 2015).

$\text{NO}_x$  emisyonlarının azaltılması için egzoz gaz resirkülasyonu (EGR), seçici katalitik indirgeme (SCR), yakıt-su emülsiyonları gibi yöntemler kullanılmaktadır.  $\text{NO}_x$  azaltma yöntemlerinin çoğu bu emisyonun düşmesinde etkin rol oynarken, motor performans parametrelerini ve diğer emisyonları olumsuz etkilemektedir. Motora yakıtla beraber su emülsiyonun gönderilmesi tekniği ise motor performansında ciddi bir kayba sebep olmaksızın  $\text{NO}_x$  azaltılmasında etkin bir yöntemdir.

Dizel motorlara yakıtla beraber su verme fikri 1913 senesinde ilk kez Prof. B. Hopkins tarafından emisyonları azaltmak ve motorun termal verimi arttırmak amacıyla ortaya atılmıştır. Motora su verme işlemi 3 şekilde yapılmaktadır. Bunlardan ilki suyun yanma odasına direk püskürtülmesi, ikincisi motor hava girişine su verme ve üçüncüsü de suyu yakıtla beraber emülsiyon hazırlayarak kullanmaktır. Tüm bu yöntemler arasında yanmayı iyileştirdiği, neden olduğu mikro patlama olayı sebebiyle yakıtı daha iyi atomize ettiği ve silindir içi yanma sonu sıcaklıklarının düşmesine neden olduğu için emülsiyon yöntemi oldukça etkilidir (Maava ve ark, 2020). Öte yandan, yakıt püskürtmesinin geciktirilmesi ve EGR gibi  $\text{NO}_x$  emisyonlarını azaltan yöntemlerin çoğu hem yakıt tüketimini hem de partikül madde emisyonlarını arttırmaktadır. Yakıt-su emülsiyonları partikül madde ve  $\text{NO}_x$  emisyonlarını eşzamanlı azaltmak için etkin bir yöntemdir (Bertola ve ark, 2003).



Yakıt-su emülsiyonlarının önemli etkilerinden birisi de mikro patlama olayıdır. Mikro patlama, yakıt (kaynama noktası: 160-400 °C) ve suyun (kaynama noktası: 100 °C) kaynama noktaları farklı olduğundan suyun yakıttan önce hızlıca buhar fazına geçmesiyle oluşan ve yakıtın püskürtmeden sonra ikincil olarak atomize olmasına neden olan etkidir. Yakıtın daha fazla atomize olmasına sebep olan bu etki yakıtın yüzey alanını arttırarak silindir içerisinde hava ile daha homojen bir karışım oluşmasına neden olur. Şekil 1.2’de mikro patlama olayı gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Mikro patlamadan dolayı oluşan ikincil atomizasyon

Bu çalışmada hacimce %5 - %10 saf su ve %2 sürfaktan madde içeren dizel-su ve biyodizel-su emülsiyonları manyetik bir karıştırıcı yardımıyla hazırlanmış ve yakıt özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra hazırlanan yakıtların bir dizel motorunun performans ve emisyon karakteristiklerine etkileri tespit edilmiştir.



## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Her geçen sene gittikçe katılaşılan emisyon normları araştırmacıları, dizel motorlarda yanma sonucunda çevreye salınan zararlı atık miktarlarını belirli seviyelerin altında tutmaya zorlamaktadır. Bu amaçla birçok yöntem geliştirilmiş olup halen kullanılmaktadır. Bunlardan birisi de yakıt-su emülsiyonlarıdır. Yakıt-su emülsiyonları özellikle  $\text{NO}_x$  emisyonlarını azaltmak için kullanılan etkin yöntemlerden birisidir. Literatürde yakıt-su emülsiyonlarının kararlılığı (stabilitesi), bu yakıtların kullanıldığı motorların performans ve emisyon karakteristikleri ile ilgili birçok çalışmaya rastlanılmaktadır.

Randive ve ark (2018), limon kabuğu yağı ve su emülsiyonlarının kararlılığını ve bir dizel motorundaki performans ve emisyon karakteristiklerini incelemiştir. %5 ve %10 su oranı ile emülsiyonlar hazırlanmış olup %5 su oranlı emülsiyonlar stabil bulunmuş ve performans, emisyon değerlerine bakılmıştır. Suyun mikro patlamaları neticesinde termik verim artmıştır.  $\text{NO}_x$  emisyonlarında azalma olurken, HC ve CO emisyonları su eklenmesiyle beraber elde edilen düşük kalorifik değerden ötürü artmıştır.

Karabektas ve ark (2016), yakıt emülsiyonlarının performans ve emisyon karakteristiklerini deneysel olarak incelemiştir. Hacimsel olarak %10 ve %15 su ile dizel-biyodizel emülsiyonları hazırlanmıştır. Su içeren yakıtlarda özgül yakıt tüketimi artmış, termik verim çok az azalmış, tüm yük koşullarında  $\text{NO}_x$  azalmış, CO ve HC emisyonlarında artış meydana gelmiştir.

Sai ve ark (2018), bir dizel motoruna su-dizel yakıtı emülsiyonlarının etkilerini incelemiştir. Motor testleri 17.5 sıkıştırma oranında yüksüz (0) ve tam yük (%100) arasında %25'lik yük artışlarında yapılmıştır. Test sonuçları dizel yakıtına göre  $\text{NO}_x$  miktarlarının azaldığını göstermiştir. Suyun yarattığı mikro patlamalar neticesinde termik verim artmış buna karşılık HC ve  $\text{CO}_2$  emisyonlarında artış gözlenmiştir.

Basha ve Anand (2011), nanopartikül katkılı dizel-su emülsiyonlarının bir dizel motoruna etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Su-dizel emülsiyonları emülsifikasyon yöntemi ile hazırlanmış olup hacimce %83 dizel, %15 su ve %2 sürkaftan içermektedir. Deneyler 1500 rpm sabit motor devrinde gerçekleştirilmiş olup kullanılan  $Al_2O_3$  nanopartikülünün de yardımıyla performansta iyileşme ve zararlı emisyonlarda azalma gözlemlenmiştir.

Zhang ve ark (2019), biyodizel ile çalıştırılan bir dizel motoruna düşük seviyeli su eklemenin püskürtme, yanma ve emisyon karakteristiklerine olan etkilerini araştırmıştır. Çalışmada su-biyodizel emülsiyonları ve saf biyodizel yakıt olarak kullanılmıştır. Araştırmalar sonucunda su eklemenin yakıt püskürtme ve yanma proseslerine ciddi etkilerinin olduğu tespit edilmiştir. Hava ile yakıt karışımı mikro patlamalar sebebiyle daha iyi sağlanmıştır. Düşük seviyelerde ki su katkısı  $NO_x$ , CO ve  $CO_2$  emisyonlarını düşürmüştür. Eklenecek optimum su miktarının ağırlıkça %4 olduğu belirtilmiştir.

Vellaiyan (2020), biyodizel-dizel yakıtlarının su ile emülsiyonları ve nanopartikül katkısının bir dizel motorunun yanma, performans ve emisyon karakteristiklerine etkisini incelemiştir. Çalışmada soya yağı biyodizeli ve su emülsiyonları ile karbon nanotüp nanopartikülleri kullanılmıştır. Emülsiyon yakıtları saf biyodizele göre özgül yakıt tüketimi, özgül enerji tüketimi ve egzoz gaz sıcaklığı değerlerinde iyileşme sağlamıştır. Su/biyodizel yakıtları  $NO_x$  ve duman emisyonlarını azaltmıştır. Ayrıca %10 su içeren emülsiyon %20 su içeren emülsiyon ve saf biyodizele göre HC ve CO emisyonlarında azalma sağlamıştır.

Ayhan ve Cesur (2019) direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda stabilize emülsiyon yakıt kullanımının NO emisyonlarına etkisini deneysel olarak incelemiştir. Ayrıca çalışmada emülsiyon yakıt kullanımının silindir içi adyabatik alev sıcaklığı ve NO oluşum hızına etkileri teorik olarak irdelenmiştir. Emülsiyon yakıt kullanıldığında NO oluşum hızının azaldığı ve buna bağlı olarak NO

emisyonlarının azaldığı tespit edilmiştir. Maksimum NO azalma miktarı %21 ve %15 kütleli su emülsiyonu kullanıldığında elde edilmiştir.

Rao ve Anand (2016), biyodizel ile çalıştırılan bir dizel motoruna su ve  $AlO(OH)$  nanopartikül katkılarının performans ve emisyon karakteristiklerine etkisini incelemiştir. Sonuçlar dizel yakıtına kıyasla, biyodizel kullanımında termal verimin düştüğünü ve NO miktarının arttığını göstermiştir. Bununla birlikte su ve nanopartikül katkıları performans ve emisyon değerlerinde iyileşme sağlamıştır

Kegl ve Lesnik (2019), su-dizel emülsiyon yakıtının dizel motor püskürtme ve yanma karakteristiklerine etkilerini nümerik simülasyonlarla araştırmıştır. Emülsiyon içerisindeki su içeriğinin artması püskürtme basıncının artmasına, silindir içi gaz basıncının, silindir içi gaz sıcaklığının ve ısı yayılma hızının düşmesine neden olmaktadır. Bu etkiler aynı zamanda motor tork ve gücünü de düşürmektedir. Ayrıca su içeriğinin artması  $NO_x$  ve partikül madde emisyonlarını da önemli ölçüde azaltmıştır.

Raheman and Kumari (2014), jatropha biyodizeli-su emülsiyon yakıtıyla çalıştırılan bir dizel motorunun yanma karakteristiklerini ve emisyonlarını belirlemiştir. Deneyler 10.3 kW gücünde, tek silindirli, 4 zamanlı, su soğutmalı, direk püskürtmeli bir dizel motorunda gerçekleştirilmiştir. Emülsiyonlar hacimce %10 ve %15 su ile %10 jatropha biyodizeli içeren dizel karışımları ile oluşturulmuştur. Emülsiyon içinde su yüzdesinin artmasıyla beraber tutuşma gecikmesi süresi yüksek motor yüklerinde uzamıştır. Emülsiyon yakıtlarda %10 biyodizel ile oluşturulan dizel karışımına kıyasla CO,  $CO_2$ , HC ve  $NO_x$  emisyonlarında azalma gözlemlenmiştir.

Rajammagari and Mohmad (2020), dizel-su emülsiyon yakıtına  $Al_2O_3$  ve ZnO nano katkıları ekleyerek bu karışımlarla çalıştırılan tek silindirli bir dizel motorunun farklı yük koşullarında yanma, performans ve emisyon karakteristiklerini araştırmıştır. Emülsiyonlar %88 dizel yakıtı, %10 su ve %2 sürfaktan malzeme kullanılarak oluşturulmuştur. Nano katkılar ise 50 ppm, 100

ppm ve 150 ppm miktarlarında katılarak ultrasonik bir karıştırıcı yardımıyla karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları nano katkıların dizel-su emülsiyon yakıtlarının yanma karakteristiğini, termik verimini ve özgül yakıt tüketimini iyileştirdiğini göstermiş olup en fazla iyileşme tam yük koşullarında elde edilmiştir. Ayrıca nano katkılı test yakıtlarında CO, NO<sub>x</sub> ve HC emisyonlarında dikkate değer bir azalma meydana gelmiştir. Test sonuçları %88 dizel, %10 su, %2 sürfaktan ve 150 ppm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren yakıt karışımının en iyi sonuçları verdiğini göstermiştir.

Anbarasu ve Karthikeyan (2016), kanola biyodizeli emülsiyon yakıtının dizel motorunda farklı çalışma koşullarında performans ve emisyonlarına etkisini araştırmıştır. Emülsiyon yakıtlar kanola biyodizeli, distile su ve sürfaktan (Span80 ve Tween20 karışımı) kullanılarak mekanik bir karıştırıcı ile oluşturulmuştur. Emülsiyon hazırlanırken kullanılan oranlar %83 kanola biyodizeli, %15 distile su ve %2 sürfaktan şeklinde olup mekanik karıştırma işlemi oda sıcaklığında 1500 rpm devirde 30 dakikada gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları su emülsiyonlarının dizel motor performansını iyileştirdiğini ve zararlı emisyonların azaldığını göstermiştir.

Suresh ve Amirthagadeswaran (2015), dizel-su emülsiyonlarının yanma ve performans karakteristiklerini çalışmıştır. Tek silindirli, dört zamanlı, sıkıştırma oranı değiştirilebilir (15-18) bir dizel motorda yapılan deneylerde kullanılan emülsiyonlara %5 ve %10 oranlarında su katılmıştır. Yüksek sıkıştırma oranlarında (17-18) yükten bağımsız olarak dizel-su emülsiyonları silindir içi basınç, net ısı yayılma hızı gibi parametrelerde dizel yakıtı ile kıyaslanabilir nitelikte sonuçlar vermiştir. Düşük sıkıştırma oranlarında ise (15-16) emülsiyon yakıtları eksik yanmaya sebep olmuş ve motorun çalışmasını olumsuz etkilemiştir. Ayrıca su emülsiyonları tüm yük koşullarında, özgül yakıt tüketimi ve termal verimde iyileşmeler meydana getirmiştir.

Seifi ve ark (2016), su-dizel emülsiyonlarıyla çalıştırılan bir dizel motorunun güç, tork ve ses emisyonlarını deneysel olarak araştırmıştır. Emülsiyon yakıtlarda kullanılan su oranları hacimce %2, %5, %8 ve %10 olarak belirlenmiştir. Motor deneyleri güç ve tork testlerinde 1400-1900 devir aralığında, ses emisyonları ise 1600-1900 devir aralığında ve 4 farklı yük koşulunda (%25, %50, %75 ve %100) gerçekleştirilmiştir. Dizel yakıtına %2 oranında su katılmasıyla birlikte güçte artış meydana gelmiştir. Tork ve ses emisyon sonuçları da dizel yakıtıyla kıyaslanabilir niteliktedir. Emülsiyon içerisindeki su oranı yükseldikçe motor güç ve torku azalırken, ses emisyonunda bir fark meydana gelmemiştir. Sonuç olarak %2 oranında su kullanılarak oluşturulan emülsiyon yakıtı dizel yakıtına alternatif olarak önerilmiştir.

Abdollahi ve ark (2020), su-biyodizel-dizel nano emülsiyon yakıtının dizel motor performans ve emisyonlarına etkilerini araştırmıştır. Nano emülsiyon yakıtlar %5 atık yemek yağı biyodizeli, %5 distile su kullanılarak oluşturulmuştur. Hacimce %5 oranında katılan Tween 80 ve Spans 80 maddeleri sürfaktan olarak kullanılmıştır. Nano emülsiyon yakıtlarının performans ve emisyon sonuçları emülsiyon ve dizel yakıtlarının sonuçları ile kıyaslanmıştır. Motor testleri 4 farklı yük koşulunda (%25, %50, %75 ve %100) ve 1700, 2000, 2300 ve 2600 rpm motor hızlarında gerçekleştirilmiştir. Nano emülsiyon test sonuçları emülsiyon test sonuçlarına kıyasla motor gücünde %4,84 ve motor torkunda %4,65 iyileşme olduğunu göstermiştir. Yine nano emülsiyon kullanıldığında CO'da ~%11, HC'de ~%6, NO<sub>x</sub>'de ~%9 ve is emisyonlarında ise ~%10'luk bir düşüş gözlemlenmiştir. Bunların yanı sıra CO<sub>2</sub> emisyonlarında ise ~%7 artış görülmüştür. Sonuç olarak nano emülsiyon yakıtı motorda herhangi bir modifikasyon gerçekleştirilmeden dizel yakıtına alternatif olarak önerilmiştir.

Fahd ve ark (2013), dizel-su emülsiyonlarının direk enjeksiyonlu bir dizel motorunun farklı yük koşullarında performans ve emisyonlarına olan etkilerini deneysel olarak araştırmıştır. %10 su kullanılarak (ED10) oluşturulan emülsiyon

yakıtının sonuçları standart dizel yakıtının sonuçları ile kıyaslamıştır. Testler 4 silindirli, 2.5 L, direk enjeksiyonlu, turboşarjlı Toyota dizel motorunda farklı yük koşullarında (25%, 50%, 75% ve 100%) gerçekleştirilmiştir. Her yük koşulu için testler 800 rpm ile 3600 rpm motor hızları aralığında yapılmış olup her 400 rpm motor hızında bir veriler alınmıştır. ED10 ile dizel yakıtıyla kıyaslanabilir oranda silindir içi basınç değerleri ve ısı yayılma hızı elde edilmiştir. Bunun yanı sıra ED10 motor gücünü düşürmüş, özgül yakıt tüketimini ise arttırmıştır. ED10 tüm yük koşullarında egzoz gaz sıcaklığını ve NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltırken, düşük yük ve motor hızlarında CO emisyonlarını arttırmıştır. Belirli bir yük için yüksek motor hızlarında ise CO emisyonlarını azaltmıştır. Sonuç olarak ED100, dizel motor uygulamalarında kullanılabilir çevreci alternatif bir yakıt olarak önerilmiştir.

Saravanan ve ark (2013), dizel-su emülsiyon yakıtı kullanan bir içten yanmalı motorun performans ve emisyon karakteristiklerini incelemiştir. Herhangi bir motor modifikasyonu gerektirmeyen emülsiyon kullanımı karışıma katılan belirli miktarda ki su oranına kadar dizel yakıtına kıyasla emisyonları iyileştirmiştir. En fazla iyileşme emülsiyon yakıtının yanma sonu sıcaklığında meydana getirdiği düşüş sebebiyle NO<sub>x</sub> emisyonlarında olmuştur. Partikül emisyonlarında da düşüş gözlemlenmiştir.

Okumuş ve ark (2020), dizel-su emülsiyon yakıtı ile çalıştırılan bir dizel motorda karşılaştırmalı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Deneylerde dizel yakıtı ile %5, %10 ve %15 su içeriğine sahip emülsiyonlar kullanılmıştır. Emülsiyon yakıt kullanımıyla birlikte maksimum tork değeri için motor gücünde %5,22 azalma, özgül yakıt tüketiminde ise %7,42 artış gözlemlenmiştir. Emülsiyon kullanımıyla NO<sub>x</sub> emisyonlarında en fazla azalma %16,84 olarak tespit edilmiştir. Maksimum güç değeri için motor gücünde %5,46 azalma, özgül yakıt tüketiminde ise %8,96 artış meydana gelmiştir. Yapılan teorik çalışma sonucunda ise %10 su içeren emülsiyonun en optimum yakıt karışımı olduğu belirtilmiştir.



Park ve Oh (2022), yanma odası görüntülenebilir ticari bir dizel motorda kullanılan dizel-su emülsiyonlarının performans, yanma ve emisyon karakteristiklerini belirlemek amacıyla bir çalışma ortaya koymuştur. Testler sonucunda emülsiyon yakıtları kullanıldığında dizel yakıta kıyasla, yanma zamanında %15,3, NO<sub>x</sub> emisyonlarında %19,6 ve duman emisyonunda %66,3 azalma gözlemlenmiştir.

Kim ve ark (2018), dizel yakıtının ve dizel-su emülsiyon yakıtının dizel motorda ki yanma ve emisyon karakteristiklerini çalışmıştır. Deneylerde 2.0 L direk enjeksiyonlu bir dizel motoru kullanılmış olup NO<sub>x</sub> (%30) ve duman (%80) emisyonlarında eşzamanlı azalma gözlemlenmiştir. Bununla beraber emülsiyonlarda meydana gelen mikro patlamalar yanma verimini arttırmıştır.

Chan ve ark (2021), palm yağı (CPO) ve palm yağı-su emülsiyonlarının performans ve emisyon karakteristiklerini değerlendirmiştir. Palm yağı-su emülsiyonlarında kullanılan su oranları hacimce %5 (W5CPO), %10 (W10CPO) ve %15 (W15CPO), sürfaktan (Span 80) oranı da %1'dir. Motor testleri değişen yük aralığında 2900-3200 rpm motor hızı aralığında gerçekleşmiştir. Tüm yük koşullarında, 3200 rpm motor hızında dizel yakıta kıyasla en fazla duman artışı %35 ile W15CPO'da, en fazla düşüş de %15 ile W5CPO'da gözlemlenmiştir. Düşük yüklerde CPO dizele kıyasla %29 daha fazla NO<sub>x</sub> salınımı yapmıştır. Emülsiyonlardaki su oranı arttıkça, NO<sub>x</sub> miktarında azalma olup, W15CPO'da en fazla düşüş %66, en az düşüş ise %31'dir. 3200 rpm motor hızı ve 4 kW güç değerinde, W5CPO'daki CO emisyonlarında CPO'ya göre %21 azalma olmuştur. Sonuç olarak, emülsiyon yakıtların NO<sub>x</sub> emisyonlarını da azaltmada oldukça etkin olduğu kanaatine varılmıştır.



### 3. MATERYAL VE METOT

Biyodizel üretimi, yakıt emülsiyonlarının hazırlanması, yakıt analizleri ve motor deneyleri Çukurova Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü yakıt analiz ve motor laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

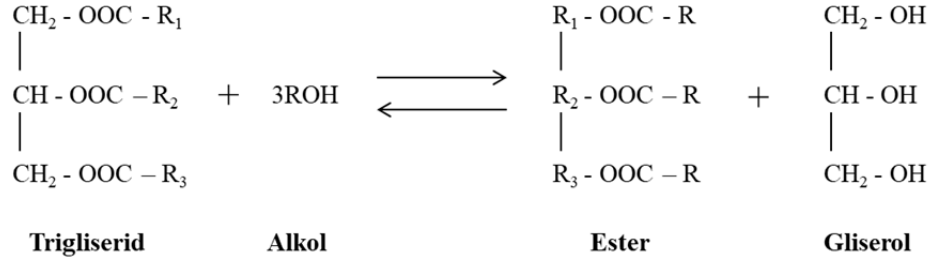
#### 3.1. Biyodizel Üretimi

Biyodizel üretiminde hammadde olarak Şekil 3.1’te gösterilen yerel bir marketten temin edilen Ayçiçek yağı kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Ayçiçek yağı

Ayçiçek yağından biyodizel elde edilmesi için transesterifikasyon yöntemi tercih edilmiştir. Transesterifikasyon, trigliserid ile alkol arasında uygun bir katalizör eşliğinde gerçekleşen kimyasal bir reaksiyondur. Bu reaksiyon sonucunda ortaya ürün olarak ester ve gliserol ortaya çıkmaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Transesterifikasyon reaksiyonu (Demirbas, 2009)

Transesterifikasyon reaksiyonunda alkol olarak metil alkol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), katalizör olarak sodyum hidroksit ( $\text{NaOH}$ ) kullanılmıştır (Şekil 3.3). Kullanılan yağ/alkol molar oranı 6/1, katalizör miktarı ise ağırlıkça yağın 0,5%'idir.



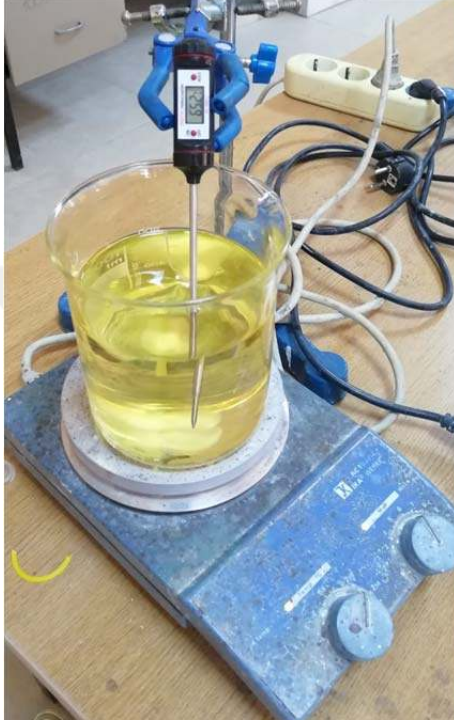
(i)

(ii)

Şekil 3.3. (i) Metil alkol (ii) Sodyum hidroksit

İlk olarak  $\text{NaOH}$ ,  $\text{CH}_3\text{OH}$  içerisinde manyetik karıştırıcı yardımıyla çözündürülmüştür. Daha sonra elde edilen bu karışım bir ısıtıcı vasıtasıyla  $65\text{ }^\circ\text{C}$  değerine ulaşıncaya kadar ısıtılan yağ ile karıştırılmış ve bu sıcaklık değerinde yaklaşık 1 saat boyunca kimyasal reaksiyona (transesterifikasyon) sokulmuştur. Bu

esnada elde edilen karışım 600 dev/dak hızıyla dönen manyetik bir karıştırıcıyla karıştırılmaya devam edilmiştir (Şekil 3.4).



(i)



(ii)

Şekil 3.4. 65 °C’de (i) Ayçiçek yağı (ii) yağ, alkol, katalizör karışımı

Şekil 3.5’te gösterildiği gibi reaksiyon tamamlandıktan sonra oluşan ürünler bir ayırma hunisine alınarak 8 saat bekletilmiştir. Böylelikle sürecin sonunda oluşan gliserin biyodizelden yoğunluk farkından dolayı kolay bir şekilde ayrılmıştır.



Şekil 3.5. Yoğunluk farkından dolayı ayrılan biyodizel ve gliserin

Gliserin ayırma hunisi yardımıyla ayrıldıktan sonra geriye kalan biyodizel reaksiyon sonucunda içerisinde kalabilecek artık alkol ve katalizörleri ortadan kaldırmak amacıyla 3 kez ılık suyla yıkanmıştır. Yıkama işleminden sonra karışım yaklaşık 30 dakika ayırma hunisinde bekletilmiş ve yoğunluk farkından dolayı ayrılan su biyodizelden ayrılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Yıkamış biyodizel

Yıkama işlemi ve ardından suyun karışımından alınmasından sonra ki aşama kurutma işlemidir. Kurutma işlemi biyodizel 105 °C’de 1 saat boyunca manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.7 kurutma işlemini göstermektedir.

Son olarak da Şekil 3.8 de gösterildiği gibi biyodizele filtreleme işlemi uygulanarak içerisinde kalması muhtemel olan pisliklerden arınması sağlanarak biyodizel üretim süreci tamamlanmıştır.



Şekil 3.7. Biyodizel kurutma işlemi



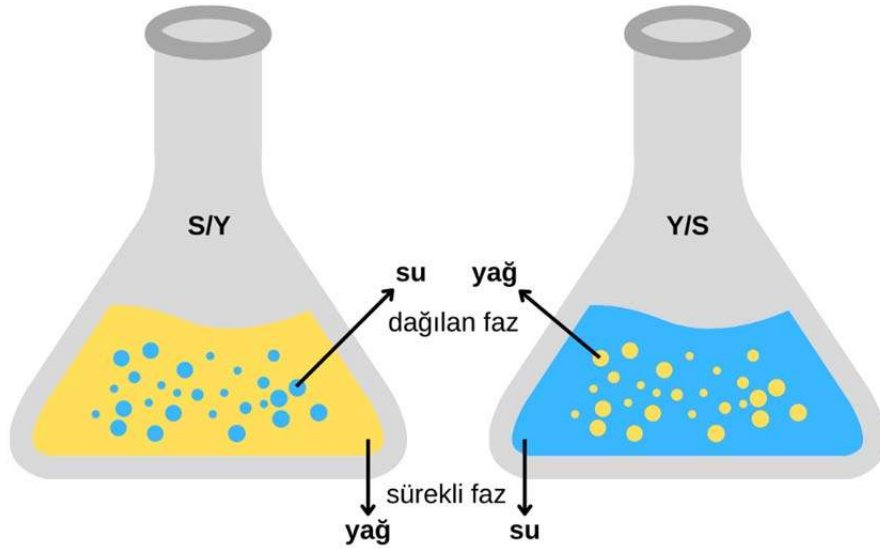
Şekil 3.8. Filtreleme işlemi



### 3.2. Emülsiyonlar

Birbirleriyle karışmayan iki farklı sıvının bir yüzey aktif madde (sürfaktan) varlığında oluşturduğu karışıma emülsiyon denmektedir. Sürfaktan malzemeler sıvılar arasındaki arayüzey gerilimini (interfacial tension) azaltarak sürekli faz (continuous) olan bir sıvı içerisinde, dağılan faz (dispersed) olarak adlandırılan diğer sıvının zerrecikler halinde asılı kalmasını sağlayarak kararlı karışımların elde edilmesini sağlar (Vellaiyan ve Amirthagadeswaran, 2016).

2 fazlı emülsiyonlar temel olarak yağ içinde su (S/Y) ve su içinde yağ (Y/S) olarak ikiye ayrılmaktadır. S/Y emülsiyonlarda yağ sürekli faz, su dağılan faz iken, Y/S emülsiyonlarda su sürekli faz, yağ ise dağılan fazdır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. S/Y ve Y/S emülsiyonlar

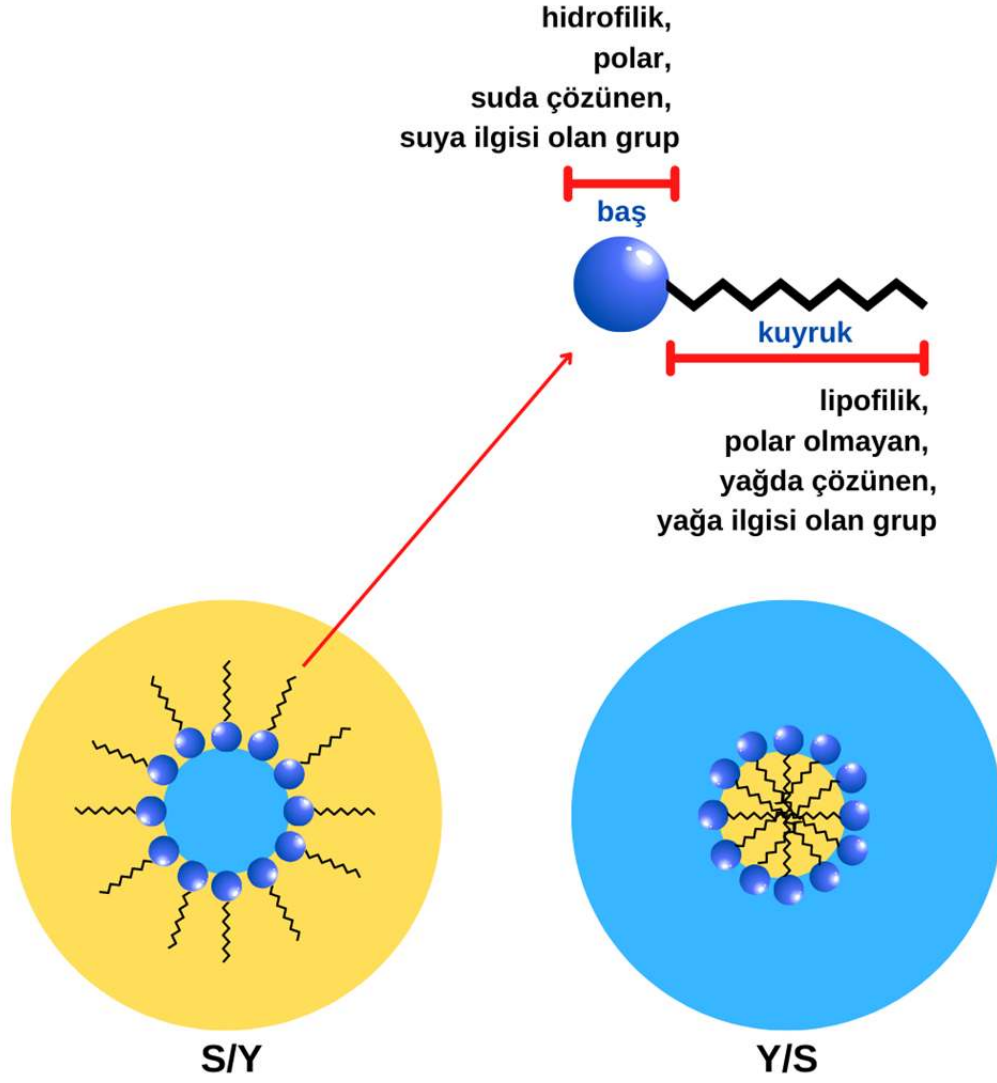
Yukarıda da belirtildiği gibi birbiriyle karışmayan iki sıvıdan birisi olan dağılan fazın zerrecikler halinde, diğer sıvı olan sürekli faz içerisinde asılı kalmasıyla kararlı emülsiyonlar oluşmasını sağlayan önemli bileşen sürfaktan malzemelerdir.

Bir sürfaktan madde molekülü hidrofilik ve lipofilik gruplar içermektedir. Hidrofilik grup polar, suda çözünen ve suya ilgisi olan kısım, lipofilik kısım ise polar olmayan, yağda çözünen ve yağa ilgisi olan kısımdır. Bu hidrofilik ve lipofilik gruplar çeşitli sürfaktan maddelerde farklı oranlarda bulunurlar ve bu oran Hidrofilik-Lipofilik denge (Hydrophilic–Lipophilic balance), HLB değeri olarak ifade edilir. Sürfaktan maddelerin HLB değerleri 1-20 arasında değişmektedir. HLB değeri 9’dan düşük olan sürfaktan malzemeler lipofilik, yüksek olanlar ise hidrofilik özellik taşımaktadır. HLB sayısı sürfaktan maddenin kullanım alanını belirlemektedir (Ertugay, 1984). Örneğin düşük HLB değerine sahip sürfaktan maddeler yağa karşı daha fazla ilgiden dolayı daha iyi S/Y emülsiyonları oluştururken, yüksek HLB değerine sahip olanlar suya karşı daha fazla ilgilerinden dolayı daha iyi Y/S emülsiyonları oluştururlar (Randive ve ark, 2018). Çizelge 3.1 çeşitli uygulamalar için kullanılacak olan sürfaktan maddelerin sahip olması gereken uygun HLB değerlerini göstermektedir.

Çizelge 3.1. Farklı uygulamalar için uygun HLB değerleri (Randive ve ark, 2018)

| HLB   | Uygulama          |
|-------|-------------------|
| 15-18 | Çözücüler         |
| 13-15 | Deterjanlar       |
| 8-18  | Y/S emülsiyonlar  |
| 7-9   | Islatma maddeleri |
| 3-6   | S/Y emülsiyonlar  |

Şekil 3.10 S/Y ve Y/S emülsiyonlarındaki su ve yağ arayüzeylerinde konumlanan sürfaktan malzemeyi görsel olarak göstermektedir.



Şekil 3.10. S/Y ve Y/S emülsiyonlarındaki sürfaktan madde ve yapısı

### 3.3. Dizel-Su ve Biyodizel-Su Emülsiyonları

Bu çalışmada hem dizel hem de ayçiçek biyodizeli yakıtı sürfaktan madde eşliğinde saf su ile karıştırılarak S/Y fazında emülsiyon yakıtlar hazırlanmıştır. Randive ve ark (2018) S/Y emülsiyonları hazırlamada araştırmacıların büyük çoğunluğunun iyonik olmayan ve HLB değeri 4.3 olan Span 80 (Sorbitan Monooleate) kullandığını ancak tek sürfaktan kullanımına kıyasla yakıt kararlılığının, biri HLB değeri yüksek, diğeri de HLB değeri düşük sürfaktan kullanılarak artırılabilceğini belirtmişlerdir. Bu yüzden emülsiyonların daha uzun süre kararlı kalabilmeleri için bu çalışmada, HLB değeri 4.3 olan Span 80 ve HLB değeri 15 olan Tween 80 (Polioksietilen Sorbitan Monooleat) kullanılmıştır (Şekil 3.11). Anbarasu ve Karthikeyan'da (2016) Span 80 - Tween 80 sürfaktan karışımının daha kararlı emülsiyonlar oluşturmada etkili olduğunu bildirmişlerdir.



Şekil 3.11. Tween 80 ve Span 80

Hazırlanan yakıtlar, isimlendirmeleri ve içerik oranları Çizelge 3.2’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.2. Emülsiyon yakıtların hacimsel içerikleri

|                      | Dizel (%) | Saf Su (%) | Sürfaktan   |              |
|----------------------|-----------|------------|-------------|--------------|
|                      |           |            | Span 80 (%) | Tween 80 (%) |
| <b>D</b>             | 100       | -          | -           | -            |
| <b>DS5</b>           | 93        | 5          | 1           | 1            |
| <b>DS10</b>          | 88        | 10         | 1           | 1            |
| <b>Biyodizel (%)</b> |           |            |             |              |
| <b>B</b>             | 100       | -          | -           | -            |
| <b>BS5</b>           | 93        | 5          | 1           | 1            |
| <b>BS10</b>          | 88        | 10         | 1           | 1            |

Emülsiyonlar, yukarıda belirtilen oranlardaki dizel/biyodizel, saf su ve sürfaktan karışımını, Şekil 3.4’te gösterilen ve biyodizel üretiminde de kullanılan IKA-WERKE RCT Basic mekanik karıştırıcı yardımıyla oda sıcaklığında 1500 dev/dak hızla 1 saat boyunca karıştırarak oluşturulmuştur. Yakıt özelliklerini tayin edebilmek için üretilen emülsiyon numune yakıtları Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



(i)



(ii)

Şekil 3.12. Dizel-su ve biyodizel-su emülsiyon yakıtları

### 3.4. Yakıt Özelliklerinin Belirlenmesi

Hazırlanan yakıtların bazı fizikokimyasal özellikleri Çukurova Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü yakıt analiz laboratuvarlarındaki cihazlar yardımıyla TS EN 14214 ve EN 590'a göre tespit edilmiştir.

#### 3.4.1. Yoğunluk Tayini

Yoğunluk ölçümü, Şekil 3.13'de gösterilen Kyoto Electronics DA-130 tipi yoğunluk ölçer kullanılarak yapılmıştır. Bu cihaz, yoğunlukları ölçmek için rezonans frekansı yöntemini kullanmaktadır. Cihazın ölçüm aralığı 0 - 2 g/cm<sup>3</sup> ve 0 - 40 °C'dir. Cihaz hassasiyeti  $\pm 0.001$  g/cm<sup>3</sup>, stabilitesi ise 0.0001 g/cm<sup>3</sup>'dir.



Şekil 3.13. Kyoto Electronics DA-130 portatif yoğunluk ölçer

#### 3.4.2. Viskozite Tayini

Yakıtların viskozite ölçümü, Şekil 3.14'de gösterilen Tanaka AKV-202 kinematik viskozite ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Cihaz  $\pm 0.01$  mm<sup>2</sup>/s hassasiyete sahip olup 20-100 °C arasında ölçüm yapılabilir.



Şekil 3.14. Tanaka AKV-202 kinematik viskozite ölçüm cihazı

#### 3.4.3. Isıl Değer Tayini

Yakıtların ısı değerleri, Şekil 3.15’de gösterilen IKA-Werke C2000 bomba kalorimetre cihazı ile belirlenmiştir. Cihaz doğruluğu 0,001 K olup sonuçlar kal/g cinsinden verilmektedir.





Şekil 3.15. IKA-Werke C2000 bomba kalorimetre ısı değer ölçüm cihazı

#### 3.4.4. Parlama Noktası Tayini

Yakıtların parlama noktası ölçümü, Şekil 3.16’da gösterilen Tanaka Automated Pensky-Martens Closed Cup Flash Point Tester ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Cihazın ölçüm aralığı ortam sıcaklığı ile 370 °C arasındadır.



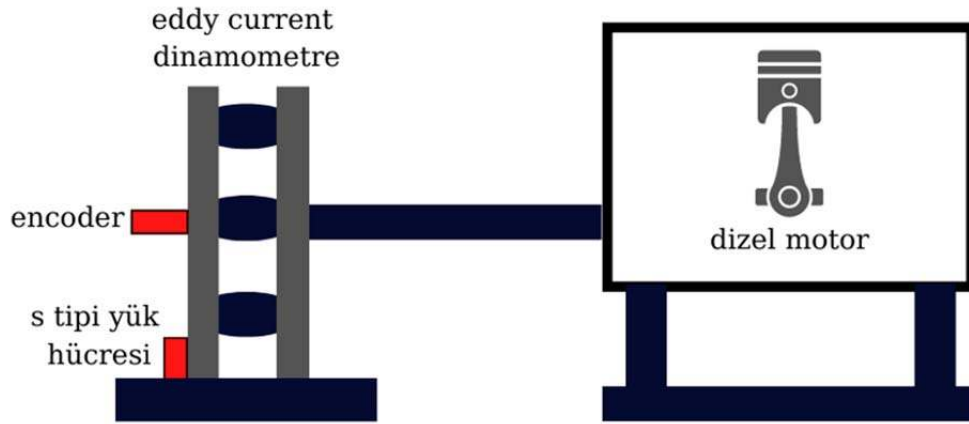
Şekil 3.16. Tanaka Automated Pensky-Martens Closed Cup Flash Point Tester parlama noktası ölçüm cihazı

### 3.5. Test Motoru ve Emisyon Cihazı

Motor deneyleri, 4 zamanlı, 4 silindirli, turboşarjlı, su soğutmalı bir dizel motorunda gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.17 test motorunu, Şekil 3.18 motor şematüğini, Çizelge 3.3 ise kullanılan dizel motorunun teknik detaylarını göstermektedir.



Şekil 3.17. Test motoru



Şekil 3.18. Test motor şematüğü

Çizelge 3.3. Dizel motoru teknik verileri

|                                             |                               |
|---------------------------------------------|-------------------------------|
| <b>Motor Tipi</b>                           | BT40845T3                     |
| <b>Emisyon Standardı</b>                    | Euro Stage III A              |
| <b>Silindir Sayısı / Emiş</b>               | 4 / Turboşarj - Ara Soğutmalı |
| <b>Maksimum Güç (kW/BG)</b>                 | 53 / 72                       |
| <b>Maksimum Tork (Nm)</b>                   | 273                           |
| <b>Motor Hızı @ Maksimum Tork (rev/min)</b> | 1600                          |
| <b>Hacim (cm<sup>3</sup>)</b>               | 3142                          |
| <b>Soğutma Sistemi</b>                      | Su soğutmalı                  |

Motor tork ve gücünün belirlenmesinde Eddy Current frenlemesi yapan bir dinamometre ve S tipi yük hücresi kullanılmıştır. Şekil 3.19 dinamometreyi, Şekil 3.20 yük hücresini, Çizelge 3.4 ise yük hücresinin teknik detaylarını göstermektedir.



Şekil 3.19. Eddy current dinamometre



Şekil 3.20. S tipi yük hücresi

Çizelge 3.4. Yük hücresi teknik verileri

|                                             |              |
|---------------------------------------------|--------------|
| <b>Nominal kapasite</b>                     | 300 Kg/tf    |
| <b>Nominal output</b>                       | 2.0 ±0.005   |
| <b>Kombine hata</b>                         | % 0.03       |
| <b>Tekrarlanabilirlik</b>                   | % 0.01       |
| <b>Önerilen uyarılma</b>                    | 10 V         |
| <b>Maksimum uyarılma</b>                    | 15 V         |
| <b>Giriş direnci</b>                        | 400 ±30 Ω    |
| <b>Çıkış direnci</b>                        | 350 ±3.5 Ω   |
| <b>İzolasyon direnci</b>                    | >2000 MΩ     |
| <b>Kompanse edilebilir sıcaklık aralığı</b> | -10 ~ +40 °C |
| <b>Çalışma sıcaklık aralığı</b>             | -30 ~ +80 °C |

Motor deneylerinde hız sensörü olarak Şekil 3.21’da gösterilen encoder kullanılmış olup teknik detaylar Çizelge 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.21. Döner encoder

Çizelge 3.5. Encoder teknik verileri

|                                          |                                     |
|------------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Şaft dış çapı</b>                     | Ø8 mm                               |
| <b>Maksimum müsaade edilebilir devir</b> | 5000 rpm                            |
| <b>Başlangıç torku</b>                   | Maks. 70 gf.cm (maks. 0.00686 Nm)   |
| <b>Çözünürlük</b>                        | 360 P/R                             |
| <b>Kontrol çıktı</b>                     | Hat sürücü                          |
| <b>Güç kaynağı</b>                       | +5 VDC                              |
| <b>Bağlantı tipi</b>                     | Eksenel kablo tipi                  |
| <b>Koruma yapısı</b>                     | IP50                                |
| <b>Ortam sıcaklığı</b>                   | -10 – 70 °C, depolama: -25 – 85 °C  |
| <b>Ortam nemi</b>                        | 35 – 85% BN, bağıl nem: 35 – 90% BN |
| <b>Ağırlık</b>                           | 275 gr                              |

Egzoz emisyonları Şekil 3.22’de gösterilen MRU Air Delta 1600 V egzoz gaz analiz cihazı ile ölçülmüştür. Cihazın ölçüm doğrulukları CO için  $\pm 20$  ppm, CO<sub>2</sub> için  $\pm 0.5$  %, NO için  $\pm 5$  ppm ve NO<sub>x</sub> için  $\pm 5$  ppm’dir.



Şekil 3.22. MRU Air Delta 1600 V egzoz gaz analiz cihazı

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

##### 4.1. Yakıt Özellikleri

Dizel kullanılarak oluşturulan emülsiyonların (DS5, DS10), biyodizel kullanılarak oluşturulan emülsiyonların (BS5, BS10), saf dizel ve biyodizel (D ve B) yakıtlarının özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Test yakıtlarının özellikleri

|                 | Yoğunluk<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Kinematik Viskozite<br>(40 °C’de)<br>(mm <sup>2</sup> /s) | Isıl Değer<br>(MJ/kg) | Parlama Noktası<br>(°C) |
|-----------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| <b>D</b>        | 833                              | 2.65                                                      | 43.1                  | 65                      |
| <b>DS5</b>      | 839                              | 2.92                                                      | 40.5                  | 70                      |
| <b>DS10</b>     | 847                              | 3.15                                                      | 38.7                  | 76                      |
| <b>EN 590</b>   | 820-845                          | 2-4.5                                                     | -                     | Min. 55                 |
| <b>B</b>        | 871                              | 4.34                                                      | 37.9                  | 171                     |
| <b>BS5</b>      | 880                              | 4.49                                                      | 34.8                  | 180                     |
| <b>BS10</b>     | 889                              | 4.63                                                      | 32.1                  | 189                     |
| <b>EN 14214</b> | 860-900                          | 3.5-5                                                     | -                     | Min. 120                |

Yoğunluk, kinematik viskozite, ısı değer ve parlama noktası testleri her bir test yakıtı için 3 kez tekrarlanmış olup bunların ortalama değerleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar EN 590 ve EN 14214 standartlarına göre değerlendirilmiş olup yakıtların standart değer aralıklarında olduğu belirlenmiştir.

B yakıtının yoğunluğu D’den %4,56 daha fazladır. B’ye su eklenmesiyle elde edilen BS5 ve BS10 yakıtlarının yoğunluklarının arttığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde D’ye su eklenmesiyle oluşan DS5 ve DS10 yakıtlarının da yoğunlukları artmıştır. B, D’ye göre 1,64 kat daha fazla viskoziteye sahiptir. Yoğunluk gibi yakıtlara su eklenmesiyle viskozite değerlerinde de yoğunlukta olduğu gibi artış

gözlemlenmiştir. Yakıtların ısı değerlerine bakıldığında B'nin ısı değerinin D'ye göre %12,07 daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. DS5 ve DS10'un D'ye göre, BS5 ve BS10'nun da B'ye göre daha düşük ısı değere sahip olduğu gözlemlenmiştir. Yakıtın yanıcı bir karışım oluşturmak için yeterince buhar çıkaracağı sıcaklık değeri olan ve özellikle yakıtların depolanmaları açısından son derece önemli olan parlama noktası da tüm yakıtlar için standart değer aralıklarında ölçülmüştür.

#### 4.2. Performans

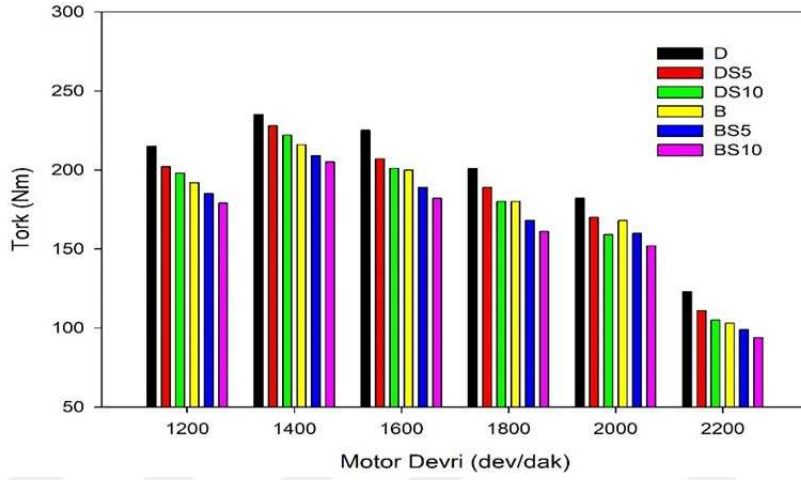
Bu çalışmada motor testleri 4 zamanlı, 4 silindirli, turboşarjlı, su soğutmalı bir dizel motorunda yapılmıştır. Motor deneyleri 1200 – 2200 dev/dak motor hız aralıklarında ve tam yük koşullarında gerçekleştirilmiştir. Test motoru kararlı hale gelmesi için her bir yakıt verisi alınmadan önce 15 dakika boyunca çalıştırılmış ve daha sonra veriler alınmaya başlanmıştır. Bu durum aynı zamanda yakıt hattında bir önceki testten kalma yakıtın da tamamen kullanılarak yakılmasını garanti etmiştir.

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 her bir test yakıtı için motor devrinin torkla ve fren gücüyle değişimini göstermektedir. Dizel yakıtına (D) kıyasla biyodizel (B) kullanımı motor torkunda %10,33, fren gücünde %10,5 azalmaya sebep olmuştur. Bu durumun muhtemel sebebi B'nin ısı değerinin daha düşük olması olabilir (Ilkiliç, 2008).

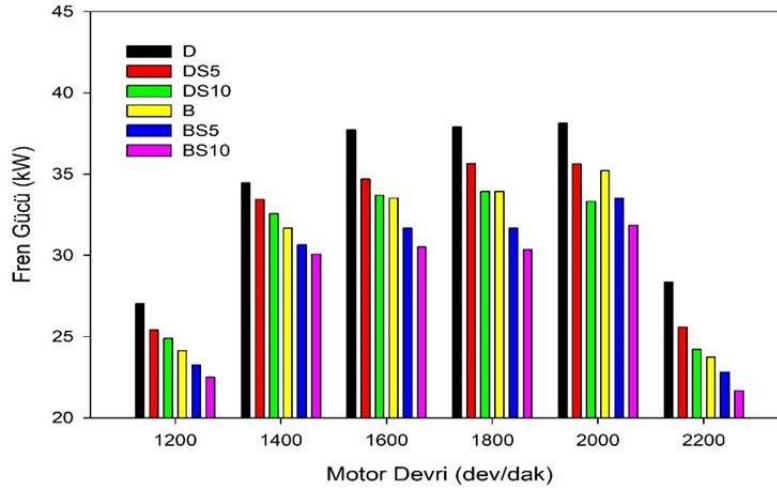
Hem dizel hem de biyodizel kullanılarak hazırlanan emülsiyon yakıtlar motor torkunda ve motor fren gücünde azalmaya sebep olmuştur. DS5 ve DS10 yakıtları, D'ye kıyasla ortalama motor torkunda %6,27 ve %9,82 oranlarında, ortalama fren gücünde ise %6,49 ve %10,31 oranlarında düşüşe sebep olmuştur. Bunun yanında, BS5 ve BS10 yakıtları, B'ye kıyasla ortalama motor torkunda %4,63 ve %8,12 oranlarında, ortalama fren gücünde ise %4,73 ve %8,38 oranlarında düşüşe sebep olmuştur.



Emülsiyon yakıt içerisinde su oranının artmasıyla ısı değerler düşme eğilimi göstermektedir. DS5 ve DS10'un D'ye kıyasla, BS5 ve BS10'nun B'ye kıyasla ortalama motor torkunu ve ortalama motor fren gücünü azaltmaları emülsiyon içerisindeki su içeriğinin yakıtın ısı değerini düşürmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Jiaqiang ve ark, 2018).



Şekil 4.1. Tork - motor devri



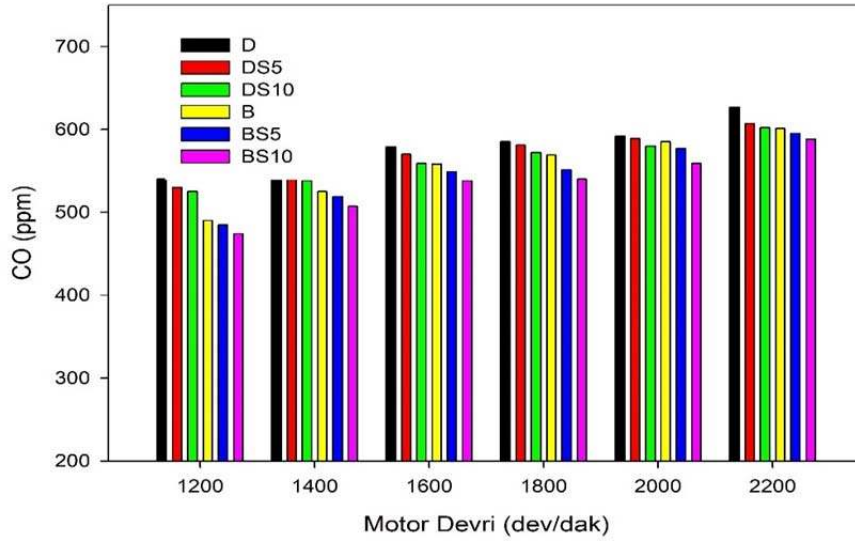
Şekil 4.2. Fren gücü - motor devri

### 4.3. Emisyon

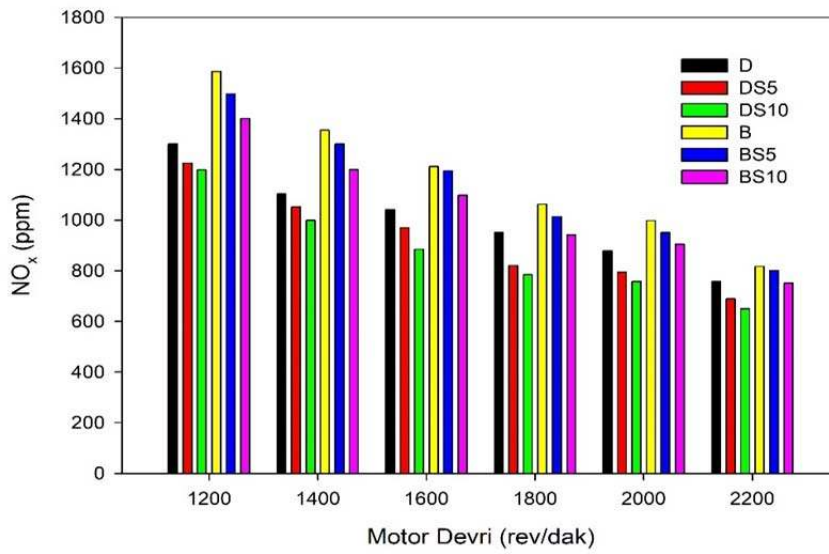
Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 her bir test yakıtı için motor devrinin CO ve NO<sub>x</sub> emisyonlarıyla değişimini göstermektedir. Dizel yakıtına (D) kıyasla biyodizel (B) kullanımı CO emisyonunda %4,23 azalmaya, NO<sub>x</sub> emisyonunda %16,52 artışa sebep olmuştur. CO emisyon değerlerindeki bu ortalama azalma B yakıtının içerdiği ekstra oksijen içeriğinden dolayı daha fazla CO emisyonun oksitlenmesi ve CO<sub>2</sub>'ye dönüşmesi ile açıklanabilir (Tüccar ve Uludamar, 2018). Bunun yanı sıra, B'nin kimyasal yapısındaki ekstra oksijen içeriği yanma kalitesini iyileştirdiğinden silindir içi sıcaklık değerleri yükselmiş ve NO<sub>x</sub> emisyonları artış göstermiştir (Dueso ve ark, 2018).

DS5 ve DS10 yakıtları, D'ye kıyasla ortalama CO emisyonunda %1,61 ve %2,85, NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise %8 ve %12,61 oranlarda azalmaya sebep olmuştur. Bunun yanında, BS5 ve BS10 yakıtları, B'ye kıyasla ortalama CO emisyonunda %1,56 ve %3,67, NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise %3,87 ve %10,47 oranlarda azalmaya sebep olmuştur.

Emülsiyon yakıtların CO ve NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltıcı etki gösterdiği tespit edilmiş olup, emülsiyon içerisinde ki su oranının artmasıyla azalma oranlarının da arttığı gözlemlenmiştir. Emülsiyon kullanımıyla CO emisyonlardaki meydana gelen azalmanın mikro patlamalardan dolayı reaksiyon gerçekleştirecek karışımın daha iyi oluşmasıyla ve daha verimli gerçekleşen yanma ile gerçekleştiği düşünülmektedir. (Bidita ve ark, 2014; Kumar ve ark, 2019). NO<sub>x</sub> emisyonları silindir içerisinde yüksek sıcaklıklarda azot ve oksijenin reaksiyona girmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Emülsiyonlarda bulunan su buhar fazına geçerek ortamdan ısı çekilmesine ve böylece sıcaklığı düşürücü etkiye sebebiyet vermektedir. Silindir içi sıcaklığın düşmesiyle de NO<sub>x</sub> emisyonlarında düşüş meydana gelmektedir. Hegde ve arkadaşlarının (2016) yaptığı çalışmada benzer sonuçlar içermekte ve elde edilen bulguları desteklemektedir.



Şekil 4.3. CO - motor devri

Şekil 4.4. NO<sub>x</sub> - motor devri



**5. SONUÇLAR**

Bu çalışmada, hem dizel (D), hem de ayçiçek yağından üretilen biyodizel yakıtlarına (B), hacimce %5 ve %10 oranlarında su katılarak (DS5, DS10, BS5 ve BS10) sürfaktan madde eşliğinde (Span 80 + Tween 80) emülsiyon yakıtlar oluşturulmuştur.

Tüm yakıtların öncelikle yakıt özellikleri tespit edilip standart değer aralıklarında oldukları belirlenmiştir ve ardından da 4 zamanlı, 4 silindirli, turboşarjlı, su soğutmalı bir dizel motorunda 1200 – 2200 dev/dak motor hız aralıklarında, tam yük koşullarında performans ve emisyon testleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- B'nin yoğunluğu D'den %4,56 ve viskozitesi 1,64 kat daha fazladır.
- DS5 ve DS10, D'ye göre; BS5 ve BS10 da B'ye göre daha yüksek yoğunluk ve viskozite değerlerine sahiptir. Su içeriğinin artmasıyla artış daha fazla olmuştur.
- B'nin ısı değeri D'den %12,07 daha düşüktür.
- DS5 ve DS10, D'ye göre; BS5 ve BS10 da B'ye göre daha düşük ısı değere sahiptir. Su içeriğinin artmasıyla azalış daha fazla olmuştur.
- Tüm yakıt özellikleri EN 590 ve EN 14214 ile belirtilen standart değer aralıklarında ölçülmüştür.
- D'ye kıyasla B kullanımı motor torkunda %10,33, fren gücünde %10,5 azalmaya sebep olmuştur.
- DS5 ve DS10 yakıtları, D'ye kıyasla ortalama motor torkunda %6,27 ve %9,82 oranlarında, ortalama fren gücünde ise %6,49 ve %10,31 oranlarında düşüşe sebep olmuştur. BS5 ve BS10 yakıtları, B'ye kıyasla ortalama motor torkunda %4,63 ve %8,12 oranlarında, ortalama fren gücünde ise %4,73 ve %8,38 oranlarında düşüşe sebep olmuştur.

- D'ye kıyasla B kullanımı CO emisyonunda %4,23 azalmaya, NO<sub>x</sub> emisyonunda %16,52 artışa sebep olmuştur.
- DS5 ve DS10 yakıtları, D'ye kıyasla ortalama CO emisyonunda %1,61 ve %2,85, NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise %8 ve %12,61 oranlarda azalmaya sebep olmuştur. Bunun yanında, BS5 ve BS10 yakıtları, B'ye kıyasla ortalama CO emisyonunda %1,56 ve %3,67, NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise %3,87 ve %10,47 oranlarda azalmaya sebep olmuştur.



## KAYNAKLAR

- Abdollahi, M., Ghobadian, B., Najafi, G., Hoseini, S.S., Mojifur, M., and Mohamed, M., 2020. Impact of Water-Biodiesel-Diesel Nano-Emulsion Fuel on Performance Parameters and Diesel Engine Emission. *Fuel*, 280:118576.
- Anbarasu, A., and Karthikeyan, A., 2016. Diesel Engine Performance and Emission Evaluation Using Canola Biodiesel Emulsion Fuel. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 14(3):174-181.
- Ayhan, V., and Cesur, İ., 2019. Stabilize Yakıt Kullanımının Direkt Enjeksiyonlu Bir Dizel Motorunun NO Emisyon Oluşumuna Etkilerinin İncelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7:2156-2165.
- Basha, J.S., and Anand, R.B., 2011. An Experimental Study in a CI Engine Using Nanoadditive Blended Water–Diesel Emulsion Fuel. *International Journal of Green Energy*, 8:332-348.
- Batista, A.C.F., Silva, T.A., Vieira, A.T., and Oliveira, M.F., 2013. Biotechnological Applications of Lipases in Biodiesel Production. *Fungal Enzymes*, Chapter 12, 294-315.
- Bertola, A., Li, R., and Boulouchos, K., 2003. Influence of Water-Diesel Fuel Emulsions and EGR on Combustion and Exhaust Emissions of Heavy Duty DI-Engines equipped with Common-Rail Injection System. *Journal of Fuels And Lubricants*, 112(4):2244-2260.
- Bidita, B.S., Aien, N., Suraya, A.R., Salleh, M.A.M., and Idris, A., 2014. Effect of Experimental Variables on the Combustion Characteristics of Water-in-Diesel Emulsion Fuels. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 35:185-192.

- Chan, A.F.E., Yahya, W.J., Kadir, H.A., Abdullah, N.R., Ithnin, A.M., Hawari, Y., and Sugeng, D.A., 2021. Performance and Emissions of Neat Crude Palm Oil and its Emulsions as Diesel Engine Fuel. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 41:e13749.
- Characteristics of a Biodiesel-Fueled Diesel Engine by Using Water Emulsion and Nanoadditive. *Renewable Energy*, 145:2108-2120.
- Demirbas, A., 2007. Importance of Biodiesel as Transportation Fuel. *Energy Policy*, 35:4661-4670.
- Demirbas, A., 2009. Progress and Recent Trends in Biodiesel Fuels. *Energy Conversion and Management*, 50:14-34.
- Dueso, C., Munoz, M., Moreno, F., Arroyo, J., Gil-Lalaguna, N., Bautista, A., Gonzalo, A., and Sanchez, J.L., 2018. Performance and Emissions of a Diesel Engine Using Sunflower Biodiesel with a Renewable Antioxidant Additive from Bio-Oil. *Fuel*, 234:276-285.
- Ertugay, Z., 1984. Yüzey Aktif Maddeler ve Gıda Teknolojisinde Kullanılmaları. *Gıda*, 9(6):351-356.
- Fahd, M.E.A., Wenming, Y., Lee, P.S., Chou, S.K., and Christopher, R.Y., 2013. Experimental Investigation of the Performance and Emission Characteristics of Direct Injection Diesel Engine by Water Emulsion Diesel Under Varying Engine Load Condition. *Applied Energy*, 102:1042-1049.
- Fangfang, F., Alagumalai, A., and Mahian, O., 2021. Sustainable Biodiesel Production from Waste Cooking Oil: ANN Modelling and Environmental Factor Assessment. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 46:101265.



- Hegde, R.R., Sharma, P., Raj, P., Keny, R.V., Bhide, P.J., Kumar, S., Bhattacharya, S.S., Lohani, A., Kumar, A., Verma, A., Chakraborty, P., Ghosh, A., and Trivedi, V., 2016. Factors Affecting Emissions from Diesel Fuel and Water-in-Diesel Emulsion. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 38:1771-1778.
- Ilkilic, C., 2008. The Effect of Sunflower Oil Methyl Ester and Diesel Fuel Blend on the Performance of a Diesel Engine. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 30:1761-1770.
- Jiaqiang, E., Zhang, Z., Chen, J., Pham, M., Zhao, X., Peng, Q., Zhang, B., and Yin, Z., 2018. Performance And Emission Evaluation of a Marine Diesel Engine Fueled by Water Biodiesel-Diesel Emulsion Blends with a Fuel Additive of a Cerium Oxide Nanoparticle. *Energy Conversion and Management*, 169:194-205.
- Karabektas, M., Ergen, G., Hasimoglu, C., and Murcak, A., 2016. Performance and Emission Characteristics of a Diesel Engine Fuelled with Emulsified Biodiesel-Diesel Fuel Blends. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 5(4):176-185.
- Kaya, T., Kutlar, O.A., and Taskiran, O.O., 2018. Evaluation of the Effects of Biodiesel on Emissions and Performance by Comparing the Results of the New European Drive Cycle and Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle. *Energies*, 11:2814.
- Kaya, T., Kutlar, O.A., and Taşkıran, Ö.O., 2020. Investigation of the Effects of Biodiesel Obtained from Canola on Performance, Emissions and Combustion Characteristics Under the NEDC and Steady State Loads. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(3):1437-1453.
- Kegl, B., and Lesnik, L., 2019. Influence of Water/Diesel Emulsified Fuel on Diesel Engine Characteristics. *Thermal Science*, 23:1745-1755.

- Kelen, F., 2014. Motorlu Taşıt Emisyonlarının İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerine Etkileri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19:80-87.
- Kim, M., Oh, J., and Lee, C., 2018. Study on Combustion and Emission Characteristics of Marine Diesel Oil and Water-In-Oil Emulsified Marine Diesel Oil. Energies, 11:1830.
- Kumar, N., Raheman, H., and Machavaram, R., 2019. Performance of a Diesel Engine with Water Emulsified Diesel Prepared with Optimized Process Parameters. International Journal of Green Energy, 16:687-701.
- Maawa, W.N., Mamat, R., Najafi, G., and De Goey, L.P.H., 2020. Performance, Combustion, and Emission Characteristics of a CI Engine Fuelled with Emulsified Diesel-Biodiesel Blends at Different Water Contents. Fuel, 267:117265.
- Mourad, M., Mahmoud, K.R.M., and NourEldeen, E.H., 2021. Improving Diesel Engine Performance and Emissions Characteristics Fuelled with Biodiesel. Fuel, 302:121097.
- Okumuş, F., Kaya, C., and Kökkülünk, G., 2020. NO<sub>x</sub> Based Comparative Analysis of a CI Engine Fueled with Water in Diesel Emulsion. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 1-20, 10.1080/15567036.2020.1839147.
- Park, J., and Oh, J., 2022. Study on the Characteristics of Performance, Combustion, And Emissions for a Diesel Water Emulsion Fuel on a Combustion Visualization Engine and a Commercial Diesel Engine. Fuel, 311:122520.
- Raheman, H., and Kumari, S., 2014. Combustion Characteristics and Emissions of a Compression Ignition Engine Using Emulsified Jatropha Biodiesel Blend. Biosystems Engineering, 123:29-39.

- Rajammagari, H.V., and Mohmad, M.W., 2020. The Effect of Mixed Nanoadditive-Blended Diesel–Water Emulsion on The Performance, Combustion, and Emission Characteristics of a DI Diesel Engine. *Heat Transfer*, 49:3531-3548.
- Randive, V.S., Nashte, A.P., Katkar, O.P., and Nanthagopal, K., 2018. An Investigation on Performance and Emission Characteristics of DI Diesel Engine Fueled with Lemon Peel Oil and its Emulsions. *International Journal of ChemTech Research*, 11(2):98-114.
- Rao, M.S., and Anand, R.B., 2016. Performance And Emission Characteristics Improvement Studies on a Biodiesel Fuelled DICI Engine Using Water and AlO(OH) Nanoparticles. *Applied Thermal Engineering*, 98:636-645.
- Reşitoğlu, İ.A., Altinisik, K., and Keskin, A., 2015. The Pollutant Emissions from Diesel-Engine Vehicles and Exhaust Aftertreatment Systems. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17:15-27.
- Sai, D., Gopidesi, R.K, Premkartikkumar, S., and Nagarjuna, K., 2018. Effects of Water Diesel Emulsion on Diesel Engine. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*, 8(1):675-680.
- Saravanan, M., Anbarasu, A., and Gnanasekaran, B.M., 2013. Study of Performance and Emission Characteristics of IC Engines by Using Diesel–Water Emulsion. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 69:2531-2544.
- Seifi, M.R., Hassan-Beygi, S.R., Ghobadian, B., Desideri, U., and Antonelli, M., 2016. Experimental Investigation of a Diesel Engine Power, Torque and Noise Emission Using Water–Diesel Emulsions. *Fuel*, 166:392-399.
- Suresh, V., and Amirthagadeswaran, K.S., 2015. Combustion and Performance Characteristics of Water-in-diesel Emulsion Fuel. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 37:2020-2028.

- Tosun, E., and Özcanlı, M., 2021. Hydrogen Enrichment Effects on Performance and Emission Characteristics of a Diesel Engine Operated with Diesel-Soybean Biodiesel Blends with Nanoparticle Addition. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 24:648-654.
- Tüccar, G., and Uludamar, E., 2018. Emission and Engine Performance Analysis of a Diesel Engine Using Hydrogen Enriched Pomegranate Seed Oil Biodiesel. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43:18014-18019.
- Vellaiyan, S., 2020. Enhancement in Combustion, Performance, and Emission
- Vellaiyan, S., and Amirthagadeswaran, K.S., 2016. The Role of Water-in-Diesel Emulsion and Its Additives on Diesel Engine Performance and Emission Levels: A Retrospective Review. *Alexandria Engineering Journal*, 55: 2463-2472.
- Yan, J., Gao, S., Zhao, W., and Lee, T.H., 2021. Study of Combustion and Emission Characteristics of a Diesel Engine Fuelled with Diesel, Butanol-Diesel and Hexanol-Diesel Mixtures Under Low Intake Pressure Conditions. *Energy Conversion and Management*, 243:114273.
- Zhang, Z., Jiaqiang, E., Chen, J., Zhu, H., Zhao, X., Han, D., Zuo, W., Peng, Q., Gong, J., and Yin, Z., 2019. Effects of Low-Level Water Addition on Spray, Combustion and Emission Characteristics of a Medium Speed Diesel Engine Fueled with Biodiesel Fuel. *Fuel*, 239:245-262.

## ÖZGEÇMİŞ

Ertunç Gökçeli, 2001 yılında Vakıfbank Ortaokulu, 2006 yılında Nurten Yetimoğlu Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2010 yılında Çukurova Üniversitesi Adana Meslek Yüksekokulu'ndan ön lisans derecesi ile mezun oldu. 2013 yılında Çukurova Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü'nü kazanarak lisans eğitime başladı. 2019 yılında, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitime başladı. Şu an, Mersin Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü'nde (MESKİ) saha mühendisi olarak görev yapmaktadır.