

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİODİSEL İLE ÇALIŞTIRILAN BELEDİYE OTOBÜSÜNÜN EGZOZ  
EMİSYONLARININ NÜMERİK YÖNTEMLE ETÜDÜ**

Makine Mühendisi, Melik GÜL

**FBE Otomotiv Anabilim Dalı Enerji Makineleri Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı: Yard. Doç. Dr. Muammer ÖZKAN**

**İSTANBUL, 2008**

# İÇİNDEKİLER

|                                                                                     | Sayfa |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| SİMGE LİSTESİ .....                                                                 | v     |
| KISALTMA LİSTESİ .....                                                              | vi    |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                                                 | vii   |
| TABLO LİSTESİ .....                                                                 | x     |
| ÖNSÖZ .....                                                                         | xi    |
| ÖZET .....                                                                          | xii   |
| ABSTRACT .....                                                                      | xiii  |
| 1 GİRİŞ .....                                                                       | 1     |
| 1.1. Biodiesel Genel Bilgiler .....                                                 | 4     |
| 1.1.1. Biodieselin Tanımı .....                                                     | 4     |
| 1.1.2. Teknik Özellikleri .....                                                     | 5     |
| 1.1.3. Biodiesel Üretimi .....                                                      | 6     |
| 1.1.3.1. Seyreltme .....                                                            | 6     |
| 1.1.3.2. Mikroemülsiyon Oluşturma .....                                             | 7     |
| 1.1.3.3. Piroлиз .....                                                              | 8     |
| 1.1.3.4. Transesterifikasyon .....                                                  | 9     |
| 1.1.4. Avantajları .....                                                            | 11    |
| 1.1.5. Dezavantajları .....                                                         | 13    |
| 1.2. Biodieselin Yakıt Olarak Kullanılması İle İlgili Yapılan Bazı Çalışmalar ..... | 14    |
| 1.3. Motorlu Taşıtlarından Kaynaklanan Emisyonları Etkileyen Faktörler .....        | 21    |
| 1.3.1. Azot Oksit Emisyonlarını Etkileyen Faktörler .....                           | 21    |
| 1.3.2. Karbonmonoksit (CO) Emisyonlarını Etkileyen Faktörler .....                  | 23    |
| 1.3.3. Yanmamış Hidrokarbon Emisyonlarını Etkileyen Faktörler .....                 | 23    |
| 1.3.4. Partikül Madde (PM) Emisyonlarını Etkileyen Faktörler .....                  | 24    |
| 2. KULLANILAN YÖNTEM VE MATERYAL .....                                              | 26    |
| 2.1. Deneysel Çalışmalar .....                                                      | 26    |
| 2.1.1. Yol Testleri .....                                                           | 26    |
| 2.1.2. Motor Testleri .....                                                         | 26    |
| 2.2. Kullanılan Materyal .....                                                      | 26    |
| 2.2.1. Çalışmada Kullanılan Yakıtlar .....                                          | 26    |
| 2.2.1.1. Diesel Yakıtı .....                                                        | 27    |
| 2.2.1.2. Biodiesel Yakıtı .....                                                     | 27    |
| 2.2.2. Çalışmada Kullanılan Motor .....                                             | 29    |
| 2.2.3. Test Aracı .....                                                             | 30    |
| 2.2.3.1. Boyutlar .....                                                             | 30    |
| 2.2.3.2. Teknik Özellikler .....                                                    | 30    |

|          |                                                                      |    |
|----------|----------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.4.   | Yükleme Seti .....                                                   | 31 |
| 2.2.5.   | Gaz Analiz Cihazı .....                                              | 35 |
| 2.3.     | Simülasyon .....                                                     | 36 |
| 2.3.1.   | Çalışmada Kullanılan Program Girdileri .....                         | 41 |
| 2.3.2.   | Program Çıktıları .....                                              | 42 |
| 2.3.3.   | Güzergah Tanıtılması .....                                           | 42 |
| 2.3.3.1. | Güzergah Özellikleri .....                                           | 42 |
| 2.3.3.2. | Durak Mesafeleri .....                                               | 42 |
| 3.       | MOTOR DENEYLERİ .....                                                | 47 |
| 4.       | DENEY SONUÇLARI .....                                                | 48 |
| 4.1.     | Performans Haritaları .....                                          | 48 |
| 4.1.1.   | CO Emisyonları .....                                                 | 48 |
| 4.1.2.   | CO <sub>2</sub> Emisyonları .....                                    | 49 |
| 4.1.3.   | NO <sub>x</sub> Emisyonları .....                                    | 51 |
| 4.1.4.   | HC Emisyonları .....                                                 | 52 |
| 4.2.     | Simülasyon Sonuçları .....                                           | 53 |
| 4.2.1.   | CO Emisyonları .....                                                 | 53 |
| 4.2.2.   | CO <sub>2</sub> Emisyonları .....                                    | 59 |
| 4.2.3.   | NO <sub>x</sub> Emisyonları .....                                    | 53 |
| 4.2.4.   | HC Emisyonları .....                                                 | 71 |
| 4.3.     | Simülasyon Sonuçlarının Hareket Saatine Göre Karşılaştırılması ..... | 76 |
| 4.3.1.   | CO Emisyonları .....                                                 | 76 |
| 4.3.2.   | CO <sub>2</sub> Emisyonları .....                                    | 77 |
| 4.3.3.   | NO <sub>x</sub> Emisyonları .....                                    | 78 |
| 4.3.4.   | HC Emisyonları .....                                                 | 79 |
| 4.4.     | Simülasyon Çalışmasının Ortalama Hıza Göre Karşılaştırılması .....   | 80 |
| 4.4.1.   | CO Emisyonları .....                                                 | 80 |
| 4.4.2.   | CO <sub>2</sub> Emisyonları .....                                    | 81 |
| 4.4.3.   | NO <sub>x</sub> Emisyonları .....                                    | 82 |
| 4.4.4.   | HC Emisyonları .....                                                 | 83 |
| 5.       | SONUÇLAR .....                                                       | 85 |
|          | KAYNAKLAR .....                                                      | 87 |
|          | ÖZGEÇMİŞ .....                                                       | 91 |

## SİMGE LİSTESİ

|            |                        |           |
|------------|------------------------|-----------|
| $P_e$      | Efektif Güç            | kW        |
| $M_e$      | Efektif Tork           | Nm        |
| $g_e$      | Özgöl Yakıt Sarfıyatı  | g/kWh     |
| $T_{g,e}$  | Egzoz Gazı Sıcaklığı   | °C        |
| $\alpha_i$ | Krank Mili Açısı       | °(Derece) |
| $K$        | Reaksiyon Denge Sabiti |           |

## KISALTMA LİSTESİ

|                                |                                         |
|--------------------------------|-----------------------------------------|
| CO                             | Karbon Monoksit                         |
| CO <sub>2</sub>                | Karbon Dioksit                          |
| NO <sub>x</sub>                | Azot Oksitler                           |
| HC                             | Hidro Karbonlar                         |
| IEA                            | Uluslar Arası Enerji Ajansı             |
| PM                             | Partikül Madde                          |
| NO                             | Azot Oksit                              |
| NO <sub>2</sub>                | Azot Dioksit                            |
| HNO                            | Nitrik Asit                             |
| SO <sub>2</sub>                | Kükürt Dioksit                          |
| SO <sub>3</sub>                | Kükürt Trioksit                         |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | Sülfürik Asit                           |
| PP                             | Bulutlanma Noktası                      |
| CFPP                           | Soğukta Filtre Tıkanma Noktası          |
| PP                             | Akma Noktası                            |
| CA BTDC                        | Crankshaft Angle Before Top Dead Centre |
| PAH                            | Aromatik Hidrokarbon                    |
| ppm                            | Milyonda Bir Parça                      |
| O <sub>3</sub>                 | Ozon                                    |
| O <sub>2</sub>                 | Moleküler Oksijen                       |
| SOF                            | Çözülebilir Organik Parçacıklar         |

## ŞEKİL LİSTESİ

|             | Sayfa |
|-------------|-------|
| Şekil 0.1   | 1     |
| Şekil 1.2.  | 2     |
| Şekil 1.3.  | 3     |
| Şekil 1.4.  | 9     |
| Şekil 1.5.  | 11    |
| Şekil 1.6.  | 15    |
| Şekil 1.7.  | 15    |
| Şekil 1.8.  | 22    |
| Şekil 1.9.  | 24    |
| Şekil 2.1.  | 30    |
| Şekil 2.2.  | 32    |
| Şekil 2.3.  | 33    |
| Şekil 2.4.  | 36    |
| Şekil 2.5.  | 40    |
| Şekil 2.6.  | 44    |
| Şekil 2.7.  | 45    |
| Şekil 4.1.  | 47    |
| Şekil 4.2.  | 48    |
| Şekil 4.3.  | 49    |
| Şekil 4.4.  | 49    |
| Şekil 4.5.  | 50    |
| Şekil 4.6.  | 50    |
| Şekil 4.7.  | 51    |
| Şekil 4.8.  | 51    |
| Şekil 4.9.  | 52    |
| Şekil 4.10. | 53    |
| Şekil 4.11. | 53    |
| Şekil 4.12. | 54    |
| Şekil 4.13. | 54    |
| Şekil 4.14. | 55    |
| Şekil 4.15. | 55    |
| Şekil 4.16. | 56    |
| Şekil 4.17. | 56    |
| Şekil 4.18. | 57    |
| Şekil 4.19. | 57    |
| Şekil 4.20. | 58    |
| Şekil 4.21. | 58    |
|             | 59    |

|             |                                                                                     |    |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.22. | Hareket saatine göre CO <sub>2</sub> emisyonları (kg/km) Üçşehirler-Eminönü.....    | 59 |
| Şekil 4.23. | Durma anları için % olarak CO <sub>2</sub> emisyonu miktarı Üçşehirler-Eminönü..... | 60 |
| Şekil 4.24. | Hızlanma için % olarak CO <sub>2</sub> emisyonu miktarı Üçşehirler-Eminönü.....     | 60 |
| Şekil 4.25. | Sabit hız için % olarak CO <sub>2</sub> emisyonu miktarı Üçşehirler-Eminönü.....    | 61 |
| Şekil 4.26. | Yavaşlama için % olarak CO <sub>2</sub> emisyonu miktarı Üçşehirler-Eminönü.....    | 61 |
| Şekil 4.27. | Ortalama hıza göre CO <sub>2</sub> emisyonu (kg/km) Eminönü-Üçşehirler.....         | 62 |
| Şekil 4.28. | Hareket saatine göre CO <sub>2</sub> emisyonları (kg/km) Eminönü-Üçşehirler.....    | 62 |
| Şekil 4.29. | Durma anları için % olarak CO <sub>2</sub> emisyonu miktarı Eminönü-Üçşehirler..... | 63 |
| Şekil 4.30. | Hızlanma için % olarak CO <sub>2</sub> emisyonu miktarı Eminönü-Üçşehirler.....     | 63 |
| Şekil 4.31. | Sabit hız için % olarak CO <sub>2</sub> emisyonu miktarı Eminönü-Üçşehirler.....    | 64 |
| Şekil 4.32. | Yavaşlama için % olarak CO <sub>2</sub> emisyonu miktarı Eminönü-Üçşehirler.....    | 64 |
| Şekil 4.33. | Ortalama hıza göre NO <sub>x</sub> emisyonu (g/km) Üçşehirler-Eminönü.....          | 65 |
| Şekil 4.34. | Hareket saatine göre NO <sub>x</sub> emisyonları (kg/km) Üçşehirler-Eminönü.....    | 65 |
| Şekil 4.35. | Durma anları için % olarak NO <sub>x</sub> emisyonu miktarı Üçşehirler-Eminönü..... | 66 |
| Şekil 4.36. | Hızlanma için % olarak NO <sub>x</sub> emisyonu miktarı Üçşehirler-Eminönü.....     | 66 |
| Şekil 4.37. | Sabit hız için % olarak NO <sub>x</sub> emisyonu miktarı Üçşehirler-Eminönü.....    | 67 |
| Şekil 4.38. | Yavaşlama için % olarak NO <sub>x</sub> emisyonu miktarı Üçşehirler-Eminönü.....    | 67 |
| Şekil 4.39. | Ortalama hıza göre NO <sub>x</sub> emisyonu (g/km) Eminönü-Üçşehirler.....          | 68 |
| Şekil 4.40. | Hareket saatine göre NO <sub>x</sub> emisyonları (kg/km) Eminönü-Üçşehirler.....    | 68 |
| Şekil 4.41. | Durma anları için % olarak NO <sub>x</sub> emisyonu miktarı Eminönü-Üçşehirler..... | 69 |
| Şekil 4.42. | Hızlanma için % olarak NO <sub>x</sub> emisyonu miktarı Eminönü-Üçşehirler.....     | 69 |
| Şekil 4.43. | Sabit hız için % olarak NO <sub>x</sub> emisyonu miktarı Eminönü-Üçşehirler.....    | 70 |
| Şekil 4.44. | Yavaşlama için % olarak NO <sub>x</sub> emisyonu miktarı Eminönü-Üçşehirler.....    | 70 |
| Şekil 4.45. | Ortalama hıza göre HC emisyonu (g/km) Üçşehirler-Eminönü.....                       | 71 |
| Şekil 4.46. | Hareket saatine göre HC emisyonları (kg/km) Üçşehirler-Eminönü.....                 | 71 |
| Şekil 4.47. | Durma anları için % olarak HC emisyonu miktarı Üçşehirler-Eminönü.....              | 72 |
| Şekil 4.48. | Hızlanma için % olarak HC emisyonu miktarı Üçşehirler-Eminönü.....                  | 72 |
| Şekil 4.49. | Sabit hız için % olarak HC emisyonu miktarı Üçşehirler-Eminönü.....                 | 73 |
| Şekil 4.50. | Yavaşlama için % olarak HC emisyonu miktarı Üçşehirler-Eminönü.....                 | 73 |
| Şekil 4.51. | Ortalama hıza göre HC emisyonu (g/km) Eminönü-Üçşehirler.....                       | 74 |
| Şekil 4.52. | Hareket saatine göre HC emisyonları (kg/km) Eminönü-Üçşehirler.....                 | 74 |
| Şekil 4.53. | Durma anları için % olarak HC emisyonu miktarı Eminönü-Üçşehirle.....               | 75 |
| Şekil 4.54. | Hızlanma için % olarak HC emisyonu miktarı Eminönü-Üçşehirler.....                  | 75 |
| Şekil 4.55. | Sabit hız için % olarak HC emisyonu miktarı Eminönü-Üçşehirler.....                 | 76 |
| Şekil 4.56. | Yavaşlama için % olarak HC emisyonu miktarı Eminönü-Üçşehirler.....                 | 76 |
| Şekil 4.57. | Hareket Saatine Göre CO Emisyonlarındaki % Olarak Değişim.....                      | 77 |
| Şekil 4.58. | Hareket Saatine Göre CO Emisyonlarındaki % Olarak Değişim.....                      | 77 |
| Şekil 4.59. | Hareket Saatine Göre CO <sub>2</sub> Emisyonlarındaki % Olarak Değişim.....         | 78 |
| Şekil 4.60. | Hareket Saatine Göre CO <sub>2</sub> Emisyonlarındaki % Olarak Değişim.....         | 78 |
| Şekil 4.61. | Hareket Saatine Göre NO <sub>x</sub> Emisyonlarındaki % Olarak Değişim.....         | 79 |
| Şekil 4.62. | Hareket Saatine Göre NO <sub>x</sub> Emisyonlarındaki % Olarak Değişim.....         | 79 |
| Şekil 4.63. | Hareket Saatine Göre HC Emisyonlarındaki % Olarak Değişim.....                      | 80 |
| Şekil 4.64. | Hareket Saatine Göre HC Emisyonlarındaki % Olarak Değişim.....                      | 80 |
| Şekil 4.65. | Ortalama Hıza Göre CO Emisyonlarındaki % Olarak Değişim.....                        | 81 |
| Şekil 4.66. | Ortalama Hıza Göre CO Emisyonlarındaki % Olarak Değişim.....                        | 81 |
| Şekil 4.67. | Ortalama Hıza Göre CO <sub>2</sub> Emisyonlarındaki % Olarak Değişim.....           | 82 |
| Şekil 4.68. | Ortalama Hıza Göre CO <sub>2</sub> Emisyonlarındaki % Olarak Değişim.....           | 82 |
| Şekil 4.69. | Ortalama Hıza Göre NO <sub>x</sub> Emisyonlarındaki % Olarak Değişim.....           | 83 |

|             |                                                                           |    |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.70. | Ortalama Hıza Göre NO <sub>x</sub> Emisyonlarındaki % Olarak Değişim..... | 83 |
| Şekil 4.71. | Ortalama Hıza Göre HC Emisyonlarındaki % Olarak Değişim.....              | 83 |
| Şekil 4.72. | Ortalama Hıza Göre HC Emisyonlarındaki % Olarak Değişim.....              | 84 |

## TABLO LİSTESİ

|                                                                                                               | SAYFA |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Tablo 1.1. Örnek yakıtların alt ısı değerleri (Ramadhas, 2005).....                                           | 5     |
| Tablo 1.2. Örnek biodiesellerin soğukta akış özellikleri (Knothe, 2005).....                                  | 6     |
| Tablo 1.3. Farklı bitkilerden üretilmiş biodiesellerin setan sayıları (Zappi, 2003).....                      | 7     |
| Tablo 1.4. Çeşitli firmaların biodiesel kullanımı için garanti bilgileri.<br>(Karaosmanoğlu,2004).....        | 12    |
| Tablo 1.5. Yakıtlardaki ortalama azot içerikleri.....                                                         | 20    |
| Tablo 1.6. HC içerisindeki bileşiklerin yaklaşık olarak Yüzdeleri.....                                        | 23    |
| Tablo 2.1. Kullanılan diesel yakıtının analizi.....                                                           | 27    |
| Tablo 2.2. Kullanılan biodiesel yakıtının analizi.....                                                        | 27    |
| Tablo 2.3. Deney motorunun teknik özellikleri.....                                                            | 29    |
| Tablo 2.4. Deneylerde kullandığımız dinamometrenin teknik özellikleri.....                                    | 33    |
| Tablo 2.5. Data dosyalarından kaydedilen büyüklükler ve birimleri.....                                        | 36    |
| Tablo 2.6. 20 nolu seferin ilk 31 saniyesine ait örnek veriler.....                                           | 41    |
| Tablo 2.7. Eminönü-Üç şehitler güzergahındaki duraklar ve başlangıç<br>noktasına olan uzaklıkları.....        | 42    |
| Tablo 2.8. Üç şehitler-Eminönü güzergahındaki duraklar ve başlangıç noktasına<br>olan uzaklıkları.....        | 43    |
| Tablo 2.9. Sefer başlama saatlerine göre seferlerin numaralandırılması.....                                   | 43    |
| Tablo 2.10. Eminönü - Üç Şehitler yönünde sefer başlama saatlerine göre seferlerin<br>numaralandırılması..... | 44    |
| Tablo 2.11. Çevrimin genel özellikleri.....                                                                   | 45    |

## ÖNSÖZ

Gün geçtikçe dünya üzerindeki araç sayısı her geçen gün artmaktadır. Bunun sonucu olarak araçlardan salınan egzoz emisyonları her geçen gün daha fazla çevremizi tehdit etmektedir. Metin içinde de bahsedileceği gibi araçlardan kaynaklanan emisyonların bir çoğu çevre ve insan sağlığı için zararlıdır. Bu sebepten dolayı araçlardan kaynaklanan egzoz emisyonlarını azaltma yönündeki çalışmalar hız kazanmıştır.

Bu çalışmaların bir ayağını da fosil kaynaklı yakıtların yerini alabilecek daha çevreci alternatif yakıtların bulunmasıdır. Günümüzde bir çok maddenin alternatif yakıt olarak kullanılabileceği bilinmektedir. Bu alternatif yakıtlar arasında bio kütle, araçlarda modifikasyona gerek duymadan kullanılabilmesi, kolay depolama, taşıma ve satış kolaylığı açısından ön plana çıkmıştır.

Bu çalışma alternatif enerji kaynaklarından olan biodieselin belediye otobüsü motorunda hiçbir değişikliğe gidilmeden kullanılmasının araç emisyonları üzerindeki etkilerinin anlaşılması amaçlamıştır.

Bu çalışmanın başından itibaren bana yol gösteren başta Yrd. Doc. Dr. Muammer ÖZKAN olmak üzere tüm hocalarıma; test düzeneğinin kurulmasında ve deney sırasında bana büyük yardımlarda bulunan İ.E.T.T. İkitelli Motor Yenileme Fabrikası çalışanlarına sonsuz teşekkürler ederim.

## **ÖZET**

Bu çalışmada şehir içi trafiğin önemli bir bölümünde bulunan toplu taşıma için kullanılan otobüslerin motorlarında biodieselin yakıt olarak kullanılmasının araçlardan kaynaklanan emisyonlar üzerindeki etkilerinin incelenmesidir. Çalışma sabit bir test düzeneğinde yapılan motor testleri ve bu deneysel verilerin Q-basic'te hazırlanan bilgisayar programında kullanılmış ve özellikleri belirtilen belediye otobüsü için hazırlanan gerçek çevrimler uygulanmıştır. Bu testlerde biodiesel ve diesel yakıt olarak uygulanmış ve uygulama neticesinde motor performansları ve emisyon değerleri her iki yakıt için karşılaştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler :** Biodiesel, diesel motor emisyonları, belediye otobüsü, gerçek araç çevrimi.

## **ABSTRACT**

This research work is investigated effects of using biodiesel as an fuel on emissions of bus diesel engine, which is use for public transport. Experimental study was done a diesel engine in static test mechanism and experimental values used in a computer program (Q-Basic) and were applied reel vehicle cycles with public transport. At tests, diesel fuel from petrol and bio diesel were used and both fuel's performance and emission values were compared for both fuel.

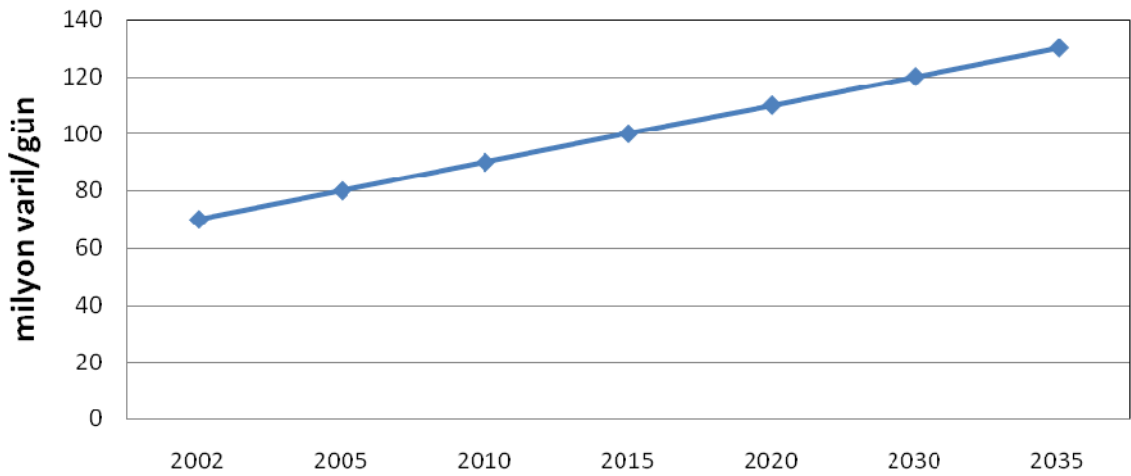
**Keywords:** Biodiesel, diesel engine emissions, public transport bus, reel vehicle cycles.

## 1. GİRİŞ

Enerji ihtiyacı, dünyada sanayileşme ve artan nüfus nedeniyle günden güne artmaktadır. Bunun doğal sonucu olarak tüm dünyada enerji açığı oluşmaktadır. Bu nedenle sanayileşmiş ve sanayileşmekte olan ülkeler enerji ihtiyaçlarını karşılamak amacı ile yeni enerji kaynaklarına yönelmektedirler.

Dünyadaki enerji talebinin 2002-2030 yılları arasında %60 oranında artarak 16,5 milyar tona eşdeğer petrole ulaşması beklenmektedir. Bu artışın 2/3'lük kısmı Türkiye'nin de aralarında bulunduğu gelişmekte olan ülkelerin artan enerji ihtiyaçlarından kaynaklanmaktadır. Fosil kaynaklı yakıtlar global enerji piyasasında baskın durumdadır. Fosil kaynaklı yakıtların 2002 yılında toplam enerji talebindeki payı %80'dir. Bu oranın 2030 da %82'ye yükselmesi beklenmektedir (IEA,2004).

Petrol bazlı yakıtlar fosil kaynaklı yakıtlardan sağlanan enerji miktarı içinde önemli bir paya sahiptir. Bu pay ve de petrole olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansının (IEA) 2004 yılı raporuna göre 2002 yılında dünyadaki günlük petrol ihtiyacı 77 milyon varildir ve oluşturulan gelecek senaryosuna göre bu ihtiyaç 2030 yılında 121,3 milyon varile yükselecektir. Petrol gereksiniminin hemen hemen yarısı ulaştırma sektöründeki ihtiyaçtan kaynaklanmaktadır. Ayrıca bu ihtiyaç dünya üzerindeki araç sayısının artmasına bağlı olarak artma eğilimindedir.

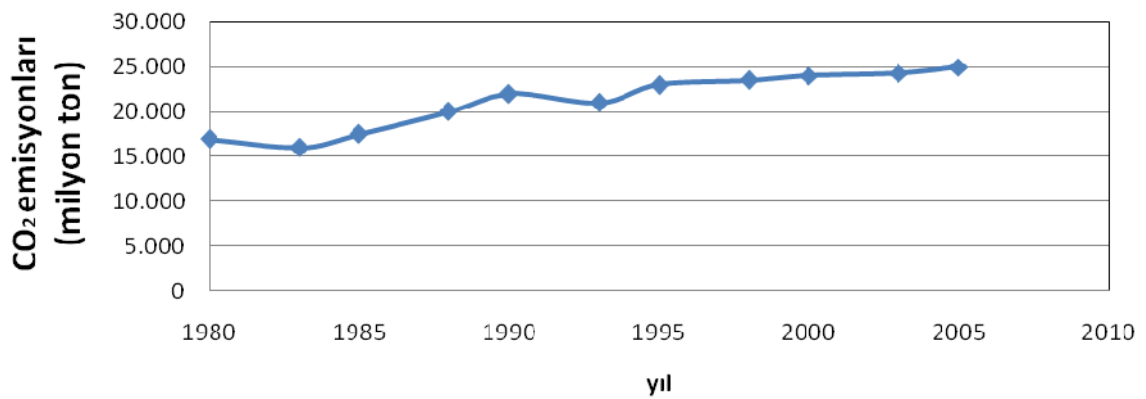


Şekil 1.1. Dünya Petrol İhtiyacı (IEA,2004)

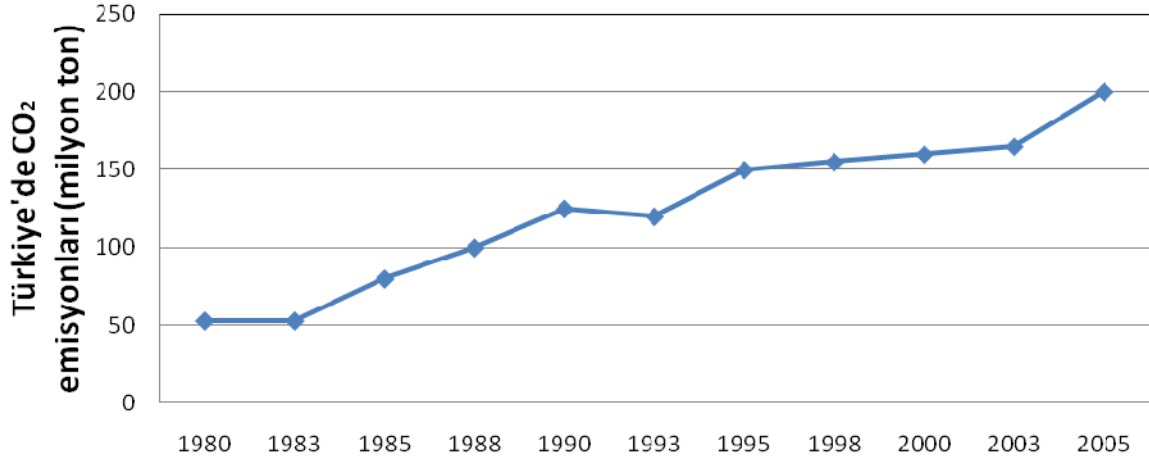
Fosil kaynaklı yakıtların ekonomik ve stratejik etkilerinin yanında bu yakıtların aşırı kullanımı ile yoğun bir şekilde ortaya çıkan çevresel etkileri de bulunmaktadır. Fosil kaynaklı yakıtların kullanımı sonucu oluşan birçok kirletici ve/veya zehirleyici madde doğanın dengesi ve canlıların sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sahiptir.

Fosil kaynaklı yakıtların kullanımı sonucu ortaya çıkan kirleticilere örnek olarak karbon monoksit (CO) ve karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) gibi karbon bileşikler, azot oksitler (NO<sub>x</sub>), kükürt bileşikler, hidrokarbonlar (HC), partikül maddeler (PM) ve kurşun gibi çeşitli ağır metaller verilebilir.

Karbon bileşikler karbon monoksit (CO) ve karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) gibi karbon temelli bileşiklerdir. Karbon dioksit içeriğinde karbon bulunan her yakıtta ortaya çıkan bir yanma ürünüdür. Karbon dioksit 15µm dalga boyuna sahip kızıl ötesi ışınları absorbe eder. Bu dalga boyu dünyadan yayılan enerjinin büyük kısmını oluşturan dalga boyudur. Yayılan bu kızıl ötesi radyasyonun absorbe edilerek tekrar dünya yüzeyine yollanması yeryüzünün ısınmasına neden olur ki bu olay sera etkisi olarak adlandırılır. Atmosferdeki karbon dioksit oranının artması absorbe edilen kızıl ötesi radyasyon miktarını arttıracığından küresel ısınma üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Karbon monoksit zengin yanma koşullarında ortaya çıkan renksiz, kokusuz ve zehirleyici bir gazdır. Kanda bulunan hemoglobine bağlanma yeteneği oksijenin 240 katı daha fazladır. Bu bağlanma yeteneği nedeniyle düşük konsantrasyonlarda ve kısa sürede etkili olarak dokulara giden oksijen miktarını azaltır. 100 ppm baş ağırsına neden olurken 1000 ppm'in üzerindeki yoğunluklar ölüme neden olabilir.



Şekil 1.2. Dünyada fosil yakıtlardan kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonu 1980-2004 [1]



Şekil 1.3. Türkiye’de fosil yakıtlardan kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonu [1]

Doğada bulunan azot kökenli bileşiklerin %95’i azot oksit (NO) ve azot dioksit (NO<sub>2</sub>) şeklinde olduğundan etkileri en çok hissedilen bileşikler de bunlardır. İki bileşen birlikte NO<sub>x</sub> olarak adlandırılmışlardır. Azot oksit tüm fosil yakıtların yanması sonucunda oluşan bir gazdır. Hemoglobine bağlanma yeteneği karbon monoksitin 1000 katıdır. Bu özelliği ile canlılarda dokuların oksijensiz kalmasına neden olabilmektedir. Azot oksit atmosferde uğradığı fotokimyasal reaksiyonlar sonucunda azot dioksite dönüşür. Azot dioksit canlılarda solunum sistemi özellikle akciğerler üzerinde olumsuz etkilere sahiptir. NO<sub>x</sub>’lerin atmosferde reaksiyona girmesi sonucu bir ikincil kirletici olan nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) oluşur. Bu asit kar, sis ve çığ gibi çeşitli yollar ile yeryüzüne inerek canlılar, toprak, su kaynakları ve yapılar üzerinde olumsuz etkiler gösterir.

Atmosfere yayılan kükürdün ana kaynağı olan kükürt bileşiği kükürt dioksittir (SO<sub>2</sub>). Kükürt içeren tüm yakıtlarda yanma ürünü olarak oluşmaktadır. Canlılarda özellikle solunum sistemi üzerinde orta derecede tahriş edici etkiye sahiptir. Bununla birlikte bağışıklık sistemini olumsuz etkilediğinden diğer kirleticilerin olumsuz etkilerde bulunma riskini artırır. Kükürt dioksit atmosferde girdiği etkileşimler sonucunda kükürt trioksit (SO<sub>3</sub>) ve sülfürik aside (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) dönüşmektedir. Sülfürik asit tıpkı nitrik asit gibi asit yağmurlarının oluşmasına neden olarak doğal yaşama zarar verir.

Hidrokarbonlar çok geniş yelpazede incelenebilecek bir gruptur. Çoğunluğunun zehirleyici ve kanserojen etkileri bulunmaktadır.

Kurşun hiçbir biyolojik faydası olmayan nadir metallere aittir. Vuruntuya karşı motor yakıtlarında kullanılan kurşun daha çok solunum yolu ile vücuda girmektedir. Dolaşım ve sinir sistemi olumsuz etkilere sahiptir ve vücuttan atılması oldukça uzun bir periyotta (~30 yıl) mümkün olmaktadır.

Enerji ihtiyacı ülkelerin gelişmişliğine bağlı olarak değişmektedir. Enerji üretiminde mümkün olduğu kadar yerel kaynakların kullanılması, bunun yanında ülkenin enerji gereksinimi karşılanırken çevre bilincinin korunmasına özen gösterilmesi, verimliliğin artırılması, kaynak çeşitliliğinin ve sürekliliğinin sağlanması da önem kazanmaktadır. Enerji politikalarında temel alınması gereken unsur; teknolojik ve sosyal gelişmeyi destekleyecek şekilde enerji ihtiyacını karşılamak üzere yenilenebilir, güvenilir, kaliteli, temiz ve ekonomik enerji türlerine yönelmektir ( Ulusoy, 2000).

## **1.1.Biodiesel Genel Bilgiler**

### **1.1.1. Biodieselin Tanımı**

Biodiesel uzun zincirli yağ asitlerin mono alkil esteri olması nedeni ile kimyasal olarak “yağ asiti metil ester” adıyla tanımlanmaktadır. Biodiesel petrol kökenli diesel yakıtına göre çevre dostu alternatif bir enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Biodiesel; bitkisel (Kanola, soya, pamuk v.b bitkilerin) ya da hayvansal kökenli yağların bir katalizatör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol ve ya etanol ) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan, yakıt amaçlı ürünün adıdır.

Neden biodiesel? Tüm dünyada alternatif enerji kaynaklarına doğru önemli bir yöneliş söz konusudur. Bunun başlıca nedenleri ise şunlardır: Dünyamızın enerji ihtiyacının yaklaşık %70’ ini karşılayan fosil kökenli yakıtların (Petrol, Doğalgaz ve Kömür) stoklarının önümüzdeki 40–50 yıl içerisinde tükeneceğinin tahmin edilmesi, fosil kökenli yakıtların çevre üzerinde herkes tarafından bilinen olumsuz etkilerinin bulunması, ayrıca alternatif enerji kaynaklarının yeni iş imkânlarının doğmasına sebep olmasıdır. Yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı biodieselin

alternatif enerji kaynakları arasında önemli bir yer tutabileceği görülmektedir. Her şeyden önce biodiesel çevre dostudur. Çünkü çevreyi kirletmez. Çevre ile uyumludur, çünkü çok kısa sürede (21 gün içerisinde) doğada %99,6' ya varan oranlarda biyolojik olarak parçalanabilen bir yakıttır. Biodieselin yanması sonucunda yeryüzü bitki örtüsü için gerekli (yeryüzünde doğal karbondioksit döngüsüne ait) karbondioksitin açığa çıkmasını sağlar ki bu karbondioksit ise iklim şartlarını etkilemez. Ayrıca yanma sonucu oluşan gazın çevreye zarar veren gaz emisyon değerleri ise oldukça azdır. Yalnızca 1 litre petrol içme su kaynaklarına ulaştığında 1 milyon litre içme suyunun kirlenmesine sebep olurken, biodiesel ile yapılan incelemeler sonucunda ise sudaki bütün yaşayan canlılara karşı toksit etkisinin olmadığı anlaşılmıştır. Bu da herhangi bir kaza halinde kirlenme tehlikesini ve dolayısıyla çevreyi tekrar temiz hale getirme çalışması durumlarını ortadan kaldırır. Biodiesel, petrol kaynaklı diesel ile her oranda tam olarak karıştırılabilmektedir. Bu da diesel kalitesini büyük oranda düzeltme imkânı sağlar. Örneğin yanma sonucu oluşan çevreye zararlı gazların emisyon değerini düşürür. Ayrıca motordaki yağlanma derecesini artırır. Biodiesel yerel tarım ürünlerinin ülke içerisinde değerlendirilmesi ile enerjide dışa bağımlılığı azaltabilir (Türk Otomotiv Sanayii Genel ve İstatistikî Bilgileri Bülteni, 2001).

### **1.1.2. Teknik Özellikleri**

*Parlama noktası:* Parlama noktası yakıtların taşınma ve depolanma güvenliği açısından önemli bir etkidir. Bu işlemlerdeki riski en aza indirebilmek için parlama noktasının yüksek olması istenir. Genelde klasik diesel yakıtı ile karşılaştırıldığında biodiesel yakıtının parlama noktasının daha yüksek (ASTM D6751'e göre min.130°C olmalı) olduğu görülmektedir. Buradan hareket edildiğinde biodieselin saklama ve taşıma sırasında güvenlik açısından bir avantajı olduğu söylenebilir.

*Kalori değeri:* Kalori değeri motorun performans değerlerini doğrudan etkileyen bir faktördür. Bir yakıt türü için belli bir kalori değeri belirlemek zordur. Çünkü bu değer yakıtın üretildiği hammadde, üretim teknolojisi ve buna benzer birçok faktörden etkilenebilmektedir. Ancak genel duruma bakıldığında biodiesel yakıtlarının klasik Diesel yakıtına göre daha düşük kalori değerlerine (alt ısı değeri) sahip olduğu söylenebilir.

Tablo 1.1.Örnek yakıtların alt ısı değerleri (Ramadhas, 2005)

|                      | Alt ısı değeri (MJ/kg) |
|----------------------|------------------------|
| Ayçiçeği metil ester | 40,56                  |
| Kolza metil ester    | 37,00                  |
| Soya metil ester     | 39,76                  |
| Diesel No2           | 42,50                  |

*Kinematik Viskozite:* Viskozite bir akışkanın yüzey gerilimi altında deforme olmaya karşı gösterdiği direncin ölçüsüdür. Akışkanın akmaya karşı gösterdiği iç direnç olarak da tanımlanabilir. Yüksek viskozite yakıtın enjektörden püskürtülmesi sırasında iyi bir şekilde atomize olamamasına buna bağlı olarak da yanmanın bozulmasına neden olabilir. Tüm bunlar performans düşüşlerine, enjektörlerin tıkanmasına, segmanlarda karbon birikmesine ve yağlama yağının bozulmasına neden olabilir. Bitkisel yağların diesel motorlarda doğrudan kullanılmaları önündeki engellerden biri yüksek olan viskozite değerleridir. Transestifikasyon işlemi ile üretilen bir biodiesel yakıtı, hammaddesi olan bitkisel yağa göre daha düşük viskozite değerine sahiptir. Bu kullanımda bir avantaj oluşturmaktadır. Biodieseller klasik diesel yakıtlarına göre genelde daha yüksek viskoziteye sahiptirler. ASTM D6751 standardına göre biodiesel yakıtının 40°C de kinematik viskozitesi 1,9-6,0 mm<sup>2</sup>/s ve EN14214 standardına göre 3,5-5,0 mm<sup>2</sup>/s aralığında olmalıdır.

*Soğukta akış özelliği:* Benzinin aksine diesel ve biodiesel yakıtları soğuk havalarda donma ve jelleşme eğilimindedirler. Bunun nedeni erime sıcaklıkları yüksek doymuş yağ asitleri içermeleridir. Yakıtın içeriğindeki doymuş yağ asidi oranı düştükçe bulutlanma noktası (PP), soğukta filtre tıkanma noktası (CFPP) ve akma noktası (PP) gibi değerler düşmektedir. Bu durum filtreler ve enjektörler başta olmak üzere yakıt sisteminin ve motorun birçok parçasında sorunlar yaratabilmektedir.

Tablo1.2. Örnek biodiesellerin soğukta akış özellikleri (Knothe, 2005)

| Üretildiği hammadde | Alkali grup | Bulutlanma noktası [°C]<br>(ASTM D2500) | Akma noktası [°C]<br>(ASTM D97) | Filtre tıkanma noktası [°C]<br>(ASTM D6371) |
|---------------------|-------------|-----------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------|
| Kanola              | Metil       | 1                                       | -9                              |                                             |

|                     |       |    |     |    |
|---------------------|-------|----|-----|----|
|                     | Etil  | -1 | -6  |    |
| <b>Keten tohumu</b> | Metil | 0  | -9  |    |
|                     | Etil  | -2 | -6  |    |
| <b>Palm</b>         | Metil | 13 | 16  |    |
|                     | Etil  | 8  | 6   |    |
| <b>Kolza</b>        | Metil | -2 | -9  | -8 |
|                     | Etil  | -2 | -15 |    |
| <b>Soya</b>         | Metil | 0  | -2  | -2 |
|                     | Etil  | 1  | -4  |    |
| <b>Ayçiçeği</b>     | Metil | 2  | -3  | -2 |
|                     | Etil  | -1 | -5  |    |

Soğuk havalarda karşılaşılabilecek sorunların engellenebilmesi için kullanılacak sistemin (yakıt deposu, iletim hatları, yakıt pompası vs.) iyi bir şekilde tasarlanması gerekmektedir. Biodieselin hammaddesi seçilirken yakıtın kullanılacağı yer, bu yerdeki iklim koşulları gibi parametreler göz önünde bulundurulmalıdır. Biodieselin klasik diesel yakıtı ile karıştırılarak kullanılması, çeşitli iyileştirici katıkların eklenmesi ve üretim aşamasında bazı iyileştirmelerle soğukta akış özelliklerinde gelişme sağlanabilir.

*Setan sayısı:* Yakıtın kendi kendine tutuşabilirliğinin bir ölçüsüdür. Yakıtın setan sayısı arttıkça tutuşma gecikmesi süresi kısalmaktadır. Motor performansı, egzoz gazı emisyonları ve çalışma gürültüsü açısından önemli bir karakteristik özelliktir. Kullanılan yakıtın setan sayısının çok yüksek veya çok düşük olması yanma kalitesini olumsuz olarak etkileyebilmektedir. Biodieselin setan sayısı üretildiği hammaddeye bağlı olarak değişmektedir. ASTM D975 standardına göre klasik Diesel yakıtları için istenen minimum setan sayısı 40'iken ASTM D6751 biodiesel standartlarında bu değer minimum 47 olarak alınmıştır. Avrupa için bu değer EN 14214 standardına göre en az 51 olmalıdır.

Tablo 1.3. Farklı bitkilerden üretilmiş biodiesellerin setan sayıları (Zappi, 2003)

| <b>Hammadde</b> | <b>Setan sayısı</b> |
|-----------------|---------------------|
| Pamuk           | 51,2                |
| Kolza           | 54,4                |

|          |      |
|----------|------|
| Aspur    | 49,8 |
| Soya     | 46,2 |
| Ayçiçeği | 46,6 |

*Kükürt içeriği:* Bitkisel yağların kullanılması ile üretilen biodiesellerde klasik Diesel yakıtları ile karşılaştırıldığında kükürt içeriğinde önemli bir azalma sağlanmaktadır.

*Su içeriği:* Bitkisel yağlar temelde su içermezler. Ancak üretim prosesleri esnasında ve saklama sürecinde yakıtlara su karışabilmektedir. Belli değerlere kadar su içeriği olumlu etkiler gösterebilir. Belli miktardaki suyun yanmaya katılması yanma sıcaklığını buna bağlı olarak da NO<sub>x</sub> emisyonlarının azalmasını sağlamaktadır. Fakat aşırı su içeriği depolama ve kullanımda sorunlar çıkarmaktadır. Genelde su içeriğinin hacimce %0.05'i geçmemesi istenir.

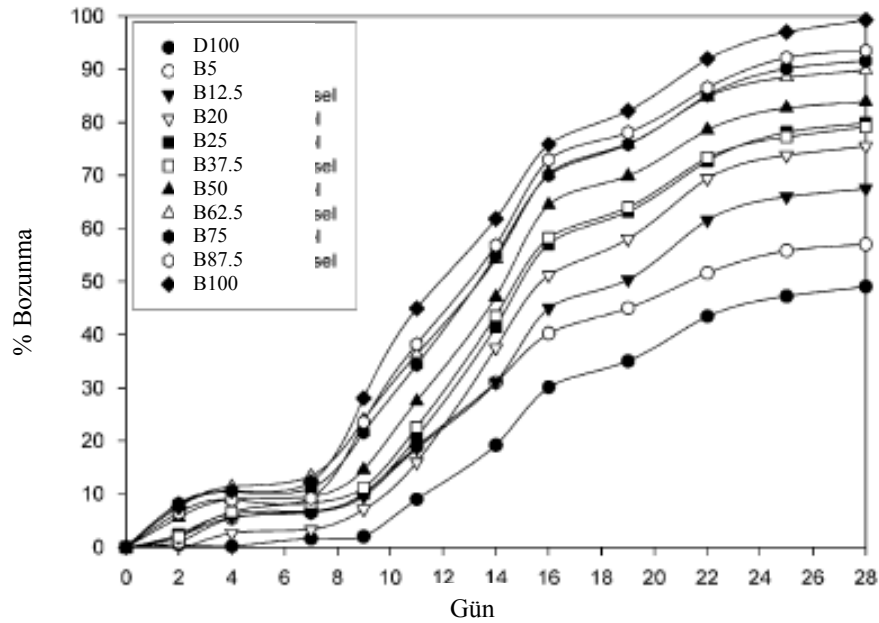
*Malzemelerle uyusabilirlik:* Biodiesel bazı malzemeleri çözebilir, aşındırabilir veya bunlardan sızabilir. Bu özelliklerinden dolayı temas ettiği malzemeleri yıpratır, bu malzemelerin özelliklerini değiştirerek (yumuşaklık, mukavemet, elastikiyet vb.) görevlerini tam olarak yapmalarını engelleyebilir. Çözücü özelliğinden dolayı oluşan partiküller sistemde (yakıt filtresi ve enjektörler gibi) tıkanmalara neden olabilmektedir. Bundan dolayı yakıt olarak biodieselin kullanıldığı bir sistemde parçaların uygun malzemelerden seçilmesi gerekmektedir.

Yakıt deposu malzemesi olarak alüminyum, çelik, teflon, fluorinat polietilen ve fluorinat polipropilen tavsiye edilmektedir. Kauçuk ve plastik parçaların çoğunda sertleşme ve mukavemette düşme görüldüğünden bunlar uygun malzemelerle (viton vb.) değiştirilmelidir.

Pirinç, bronz, bakır, kurşun, kalay ve çinko hem klasik Diesel yakıtıyla hem de biodiesel ile okside olmakta ve tortu oluşumuna neden olmaktadır. Aşınan bu parçalar yerine çelik ve alüminyum tercih edilmelidir (NREL,2006).

*Biolojik ayrışabilirlik:* Fosil kaynaklı yakıtların çevreye birçok olumsuz etkileri (sera gazlarındaki artış, asit yağmurları vb.) olduğu bilinen bir gerçektir. Bu yakıtların karşısında biodiesel temiz bir alternatif oluşturmaktadır. Sahip olduğu avantajlardan biri de biolojik ayrışabilirlik (bozunabilirlik)'dir. Farklı ham maddelerden üretilen biodiesel yakıtlarının çeşitli ortam şartlarında büyük oranda bozulduğu görülmüştür.

Yapılan örnek bir çalışmada biyolojik bozunmanın ölçüsü olarak ortamda oluşan CO<sub>2</sub> miktarı izlenmiştir. Üzerinde çalışılan karışımdaki tek karbon kaynağı incelenen yakıt olduğunda ortamdaki mikro organizmaların ürettiği CO<sub>2</sub> miktarı biyolojik bozunmaya uğrayan yakıt miktarı ile paralellik göstermektedir. Sonuçlara bakıldığında biodiesel yakıtının hemem hemen tamamının bozunduğu, bu oranın klasik Diesel yakıtında %50, benzinde ise %56 olduğu görülmüştür. Biodiesel-diesel yakıtlarının oluşturduğu karışımlara bakıldığında artan biodiesel oranı ile bozunmanın arttığı görülmüştür (Pasqualino,2006).



Şekil 1.4. Biodiesel ve diesel yakıt karışımlarının bozunma oranları (Pasqualino,2006).

### 1.1.3. Biodiesel Üretimi

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanımında ana kısıtlayıcı faktör olan viskozite probleminin çözümü için dört yöntem önerilmektedir.

1)-Seyreltme

2)-Mikroemülsiyon oluşturma

3) -Piroliz

4) -Transesterifikasyon

#### **1.1.3.1. Seyreltme**

Bu yöntem biyodiesel yakıtı ile belirli oranlarda diesel yakıtının karıştırılması ilkesine dayanır. Biyodiesel saf veya diesel yakıtı–biyodiesel karışımları şeklinde yakıt olarak kullanılmaktadır. Bu yakıtlar aşağıdaki gibi adlandırılmaktadır:

B5 : % 5 Biyodiesel+ %95 Petrol kökenli diesel yakıtı

B20 : % 20 Biyodiesel+ %80 Petrol kökenli diesel yakıtı

B50 : % 50 Biyodiesel+ %50 Petrol kökenli diesel yakıtı

B100 : %100 Biyodiesel

#### **1.1.3.2. Mikroemülsiyon Oluşturma**

Bitkisel yağların viskozitesini düşürmek için izlenen bir diğer yol da metanol ve etanol gibi kısa zincirli alkollerde mikroemülsiyon oluşturmaktır. Mikroemülsiyon, boyutları 1150 nm civarında olan sıvı mikro yapılarının çatışık denge dağılımı olup normalde karışmayan iki sıvı ve bir veya daha fazla sıvı mikro yapılarının bir araya gelmesiyle oluşur. Bu yöntemle petrolden tamamen bağımsız alternatif diesel yakıtları meydana getirmek mümkün olabilmektedir. Ancak kullanılacak yağ, alkol ve sıvı mikro yapılarının sistemi seçiminde faz dengelerinin karışabilme limitleri ve diğer fiziksel karakteristiklerinin geniş ölçüde incelenmesi gerekmektedir (Demirbaş 2002).

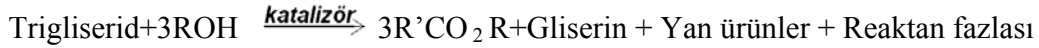
#### **1.1.3.3. Piroliz**

Isıl bozundurma ve katalitik kreaking, kimyasal bağların daha küçük moleküller oluşturmak üzere kırılması prosesidir. Ancak bu yöntemle biobenzin üretimi biodiesel üretiminden daha fazla yapılmaktadır. Çünkü benzin yakıtının karbon zincirleri daha kısa olduğu için bu yöntem

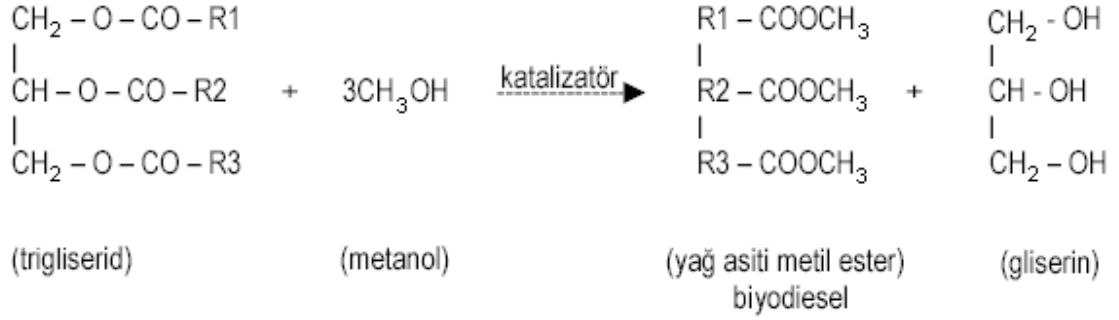
biobenzin üretiminde daha verimli sonuç vermektedir. Bitkisel yağların ısıl bozundurma ürünlerini elde etmek amacıyla izlenen yöntemlerden biride ham yağın, ısı ve basınç etkisiyle kapalı bir kapta tutulmasıdır (Demirbaş 2002).

#### 1.1.3.4. Transesterifikasyon

Bitkisel yağların viskozitelerini düşürmek için uygulanabilecek diğer bir yöntem de yağın basit alkollerle reaksiyona girdiği transesterifikasyondur. Bu yöntemle ele geçen ürün yağ asitleri esterlerinin bir karışımı olup petrol kökenli diesel yakıtının yerini alacak alternatif ve acil ihtiyaç yakıtı olarak iyi bir potansiyel ve düşük viskoziteye sahiptir. Bu ester ürünler uzun süreli diesel motor testinde iyi bir performans göstermişlerdir. Transesterifikasyon yönteminde aşağıda açıklanan reaksiyonla yağ asidi esterleri oluşur.



Bu reaksiyonun stokiometrisi 3/1 alkol yağ oranı gerektirmektedir. Bu oran genellikle maksimum ester dönüşümü elde etmek için daha yüksek tutulur. Bitkisel yağların bu yöntem ile metil, etil esterlerine dönüştürülmesiyle, yağın kaynama ve alevlenme noktaları ile viskozitesi düşürüldüğü gibi ester ürün yanında oluşan ve saf olarak elde edilebilen gliserin ve diğer yan ürünlerin de çeşitli kimya endüstrilerinde değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu yönüyle bitkisel yağların metil, etil esterleri bugün bilinen biokütle kaynaklı diesel yakıt alternatifleri içinde hedeflere en uygun olarak gözükmektedir. Transesterifikasyon ile soya, yerbıstığı, kolza, ayçiçek, palm yağı gibi bitkisel yağlar ile bazı endüstriyel atık ve artık yağların değerlendirilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır (Demirbaş 2002).



Şekil 1.5. Bitkisel yağın transesterifikasyonu (Zhang vd. 2002)

#### 1.1.4. Avantajları

Alternatif bir enerji kaynağıdır. Motorun verimi yaklaşık petrol kökenli diesel yakıtındaki gibidir. Çevre dostudur ve çevreye zarar vermez, çünkü toksit etkisi yoktur ve biyolojik olarak doğada bozunabilir. Petrol kökenli diesel yakıtına göre daha yüksek tutuşma derecesine ( $>110^\circ\text{C}$ ) sahiptir. Bu da taşıma ve depolama sırasında kolaylık sağlar. Zararlı gaz emisyonları bakımından fakirdir. Çünkü çok az kükürt içermektedir. Ayrıca kurum miktarında %50 ye varan azalmaları sağlar. Bundan başka kansere sebebiyet veren bileşimler (Aromatlar) bakımından da fakirdir. Evsel kullanılmış yağların değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Enerjide dışa bağımlılığı azaltabilir. Taşıtların motorlarının kullanım ömrünü uzatır. Çünkü yağlanma derecesi yüksektir. Biodiesel kükürt içermemesinden dolayı, biodiesel işletmelerinde oksidasyon katalizatörü kullanılabilir. Böylece zararlı emisyon değerleri daha da düşük seviyelere indirilebilir. Petrol kökenli diesel yakıtı ile her oranda tam olarak karışır ve onun kalitesini artırır. Tarım alanındaki iş imkânlarının korunmasını ve artırılmasını sağlayabilir. Yan ürün olarak ticari amaçlı gliserin ve potasyum gübresi elde edilir (Ulusoy, 2000).

Alternatif yakıtlar için biodieselin öne çıkmasının başka bir nedeni de araçların motorlarında hiçbir modifikasyona gerek duymadan kullanılmasının mümkün olmasıdır.

Tablo 1.4. Çeşitli firmaların biodiesel kullanımı için garanti bilgileri.  
(Karaosmanoğlu,2004)

| <i><b>Firmalar</b></i> | <i><b>TAŞITLAR</b></i> |
|------------------------|------------------------|
|------------------------|------------------------|

|                |                                                        |
|----------------|--------------------------------------------------------|
|                |                                                        |
| Audi           | Otomobiller : Tüm TDI Modelleri – 1996'dan beri        |
| Case-IH        | Traktörler- Tüm Modeller-1971'den beri                 |
| BMW            | Otomobiller : Model 525 tds-1997'den beri              |
| Claas          | Biçerdöğrerler- Traktörler                             |
| Farvman Diesel | Motorlar                                               |
| Fiatagri       | Traktörler : Yeni modeller için                        |
| Ford AG        | Traktörler : Yeni modeller için                        |
| Holder         | Traktörler                                             |
| Iseki          | Traktörler : 3000 ve 5000 Serileri                     |
| John Deere     | Traktörler- 1987'den beri                              |
| John Deere     | Biçerdöverler-1987'den beri                            |
| KHD            | Traktörler                                             |
| Kubota         | Traktörler : OC , Super Mini, 05, 03 Serileri          |
| Lamborghini    | Traktörler : 1000 Serisi                               |
| Mercedes-Benz  | Otomobiller : C , E 220, C 200 ve 220 CDI Serileri     |
| Mercedes-Benz  | Kamyon, Otobüs : BR 300, 400, Unimog Serileri-1988'den |
| Same           | Traktörler-1990'dan beri                               |
| Seat           | Otomobiller : Tüm TDI Serisi- 1996'dan beri            |
| Skoda          | Otomobiller : Tüm TDI-Serisi- 1996'dan beri            |
| Stevr          | Traktörler- 1988'den beri                              |
| Stevr          | Botlar : M 16 TCAM ve M 14 TCAM Serileri               |
| Valmet         | Traktörler- 1991'den beri                              |
| Volkswagen     | Otomobiller : Tüm TDI Serisi- 1996'dan beri            |
| Volkswagen     | Otomobiller : Tüm yeni SDI Serisi (EURO-3)             |
| Volvo          | Otomobiller : S80-D, S70-TDI ve V70-TDI Serileri       |

### 1.1.5.Dezavantajları

Yine katkısız biodiesel kullanan kısa süreli testlerde umut verici sonuçlar elde edilmesine rağmen, motorun uzun süreli çalıştırılmasıyla bazı problemler çıkmaya başlamıştır. Uzun vadede yapılan testlerde görülen problemler şöyle sıralanabilir.

- Biodieselin yüksek viskozite değerlerinden dolayı enjektörlerde koklaşma ve gürültü oluşumu, yakıtın atomizasyonunun yeterli derecede sağlanamaması ya da enjektör deliklerin tıkanmasıyla sonuçlanabilir.
- Enjektör uçlarında karbon birikmesi
- Yağ segmanlarında sıkışma
- Biodieselin solvent etkisinin diesele göre daha fazla olmasının neticesinde biodiesel ile yağlama yağının karışması neticesinde yağlama yağında jelleşme ve kalınlaşmaya sebep olur.
- Soğukta akış özelliği, düşük sıcaklıklarda biodiesel kullanımında filtreler tıkanabilir ve yakıt tank içinde yoğunlaşabilir ve o noktada yakıt motorun çalışması için yeterli akışkanlıkta olmaz. Bu sebepten biodiesel satılırken, ısıtmalı yapılar veya stok tankları ve aynı şekilde yakıt sistemi(yakıt boruları, filtreler ve tanklar) ısıtılarak tedbir alınabilir. Aynı zamanda depolama şartlarının geliştirilmesinde katkılara ihtiyaç duyulabilir ve bu katkı eklenmesi sayesinde biodieselin daha geniş ortam sıcaklık aralıklarında kullanılması mümkün olur. Biodiesel kullanımı mevsimsel yönden de kısıtlamalara sebep olabilir bunun için mevsim şartları da göz önüne alınarak kış biodieseli ve yaz biodieseli olmak üzere iki tip biodiesel de üretilebilmektedir.

Yaz biodieselinin, ham maddesi Palm, pamuk (fiyatı ucuz), soyadır. Kış biyodieselinin ham maddesi ise kanola ve aspirdir.

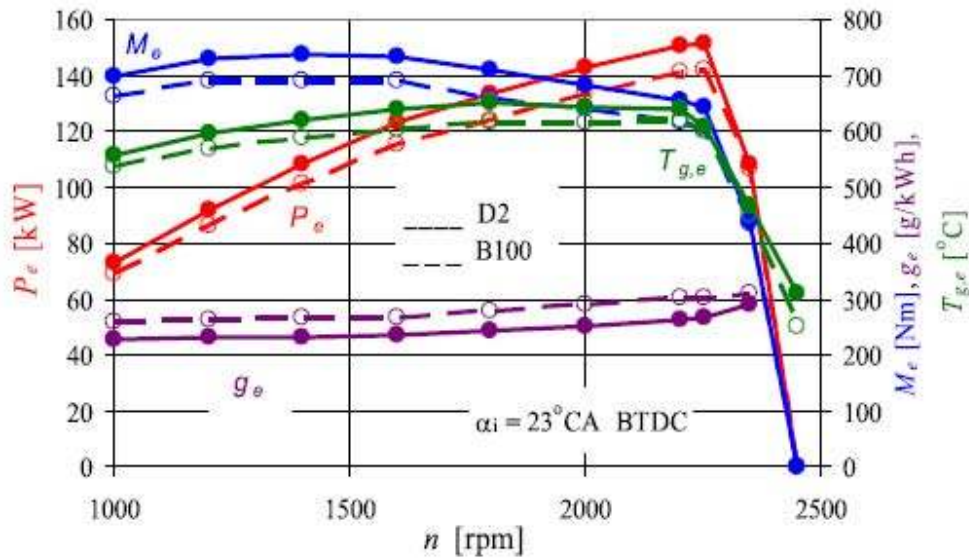
- Biodiesel yakıtları düşük oksidasyon dengesi gösterir, bu sebepten uzun süreli kullanımlarda depolama problemi yaratabilir.
- Yapılan çalışmalarda NO<sub>x</sub> emisyonları %5 oranında diesele göre yüksek olduğu görülmüştür bu problem ise araç üstünde yapılacak modifikasyonlarla giderilebilir.

## **1.2. Biodieselin Yakıt Olarak Kullanılması İle İlgili Yapılan Bazı Çalışmalar**

Kegl (2007) Slovenya’da Maribor Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünde, bizim deneylerimizde kullandığımız motorla aynı olan belediye otobüslerinde kullanılan MAN D 2566 MUM marka toplam silindir hacmi 11,4 L, 6 silindirli, direkt püskürtmeli, turbo şarjlı, 18:1 sıkıştırma oranlı, püskürtme basıncı 190 bar olan ve 2200 rpm’de maksimum 162 kW güç üreten motoru Zöllner A-350 elektro-dinamometresine bağlayarak MOD 13 ESC çevrimine göre yüklemeler yapmış ve bu yüklemeleri değişik püskürtme avansları için tekrarlayarak emisyon ölçümlerinde bulunmuştur.

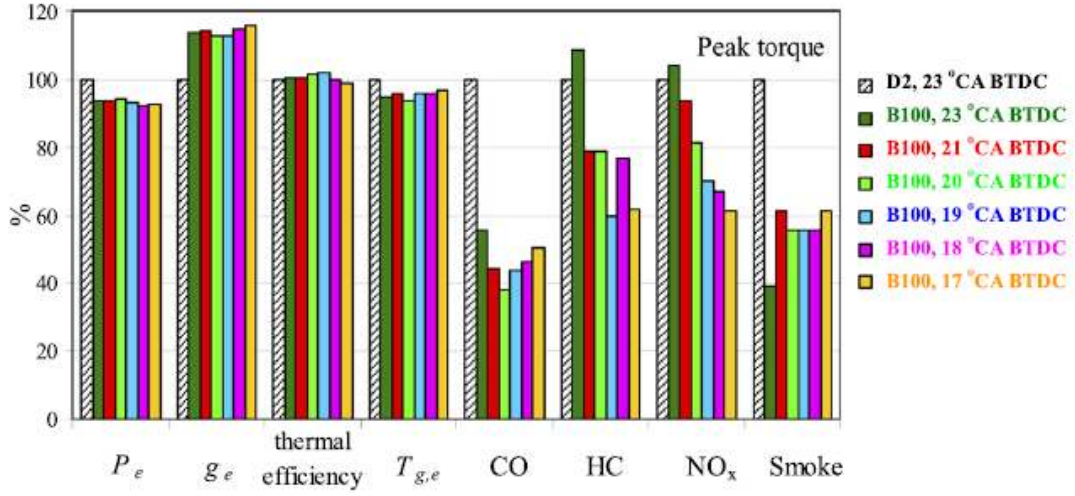
Bu emisyon ölçümlerinde AVL marka dinamik yakıt tüketimi ölçüm cihazı, HC emisyonları için Ratfish, NO<sub>x</sub> emisyonları için Thermoelectron, O<sub>2</sub> için Programmelectronic, CO için Maihak ve is ölçümü için AVL marka analiz cihazları kullanılmıştır.

Bu çalışmaların sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir



Şekil 1.6. Efektif güç, tork, egzoz gazı sıcaklığı ve özgül yakıt tüketiminin motor hızına bağlı olarak değişimi (Kegl, 2007)

Grafikten de anlaşılabacağı üzere motorda hiçbir modifikasyon yapmadan Püskürtme avansı 23 Krank mili açısı iken yapılan testlerde biodiesel kullanılmasıyla birlikte motordan elde edilen tork ve efektif güç değerlerinde azalma özgül yakıt tüketiminde ise artış görülmüştür.



Şekil 1.7. Çeşitli CA BTDC değerleri için maksimum tork değerindeki yüklemelerde diesel ve biodiesel ile yapılan testlerin sonuçları (Kegl, 2007)

Yukarıdaki şekilde efektif güç, özgül yakıt tüketimi, termal verim, egzoz gazı sıcaklığı ile CO, HC,  $NO_x$  ve  $İs$  emisyonlarının max. tork değerinde değişik püskürtme avansı değerlerine göre yapılan ölçüm sonuçları görülmektedir.

Emisyon değerlerinde ise motor püskürtme avansı 23 krank mili açısı iken yapılan ölçümlerde CO ve  $İs$  emisyonunda diesele göre daha düşük, HC ve  $NO_x$  değerlerinde ise diesele göre daha yüksek değerler bulmuştur. Püskürtme avansının azaltılmasıyla birlikte emisyon değerlerinde normal diesele göre düşüş tespit etmiştir. Yukarıdaki grafikten de anlaşılabileceği üzere biodiesel kullanılarak yapılan testlerde en küçük CO emisyon değeri püskürtme avansı 20 krank mili açısı iken, en düşük HC emisyonu püskürtme avansı 19 krank mili açısı iken, en düşük  $NO_x$  emisyonu püskürtme avansı 17 krank mili açısı iken ve en düşük  $İs$  emisyonu püskürtme avansı 20 krank mili açısı iken ölçülmüştür.

Utlı ve Koçak (2007), Gülhane Askeri Akademisinde Land Rover TDI110 marka arazi araçlarında kullanılan 4 silindirli, 2,495 L silindir hacminde, turboşarjlı, ara soğutmalı, direk püskürtmeli, sıkıştırma oranı 19,5:1 olan, 3850 rpm’de maksimum 82 kW güç ve 2100 rpm’de maksimum 235 Nm tork üreten motor üzerinde testler yapmışlardır.

Bu testlerde parlama noktası 156°C, kinematik viskozitesi 40°C’de 4,318 mm<sup>2</sup>/s, yoğunluğu 15 °C’de 0,888 g/ml, setan sayısı 52 ve alt ısı değeri 39,55 MJ/kg olan kullanılmış kızartma

yağlarından üretilen biodiesel ile parlama noktası 72°C, kinematik viskozitesi 40°C'de 2,6 mm<sup>2</sup>/s, yoğunluğu 15 °C'de 0,837 g/ml, setan sayısı 50 ve alt ısı değeri 43,35 MJ/kg olan diesel test yakıtı olarak kullanılmıştır.

Elektrikli dinamometre yardımıyla TS 1231 test standardına uygun şekilde yüklemeler yapmışlardır. CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonları ölçümünde Gaco-SN marka gaz analiz cihazı kullanmışlardır. Duman yoğunluğunun ölçülmesinde ise OVLT 2600 duman analiz cihazı kullanmışlardır.

Bu yaptıkları ölçümler sonucunda maksimum tork biodiesel için 2000 rpm'de 216,8 Nm diesel için yine 2000 rpm'de 220 Nm, maksimum güç biodiesel için 4000 rpm'de 72 kW diesel için yine 4000 rpm'de 72,4 kW ölçülmüştür.

Minimum özgül yakıt tüketimi ise biodiesel için 1750 rpm'de 258,66 g/kWh diesel için ise yine 1750 rpm'de 229,59 g/kWh olarak ölçülmüştür. Egzoz gazı sıcaklığında ise biodiesel için diesele göre %6,5 daha az olduğu ölçülmüştür.

Biodiesel kullanılmasıyla beraber diesele göre CO emisyonunda %17,13 azalma, CO<sub>2</sub> emisyonunda %8,05 azalma, NO<sub>x</sub> emisyonunda %1,45 azalma ve duman yoğunluğunda ise %22,46 azalma görülmüştür.

Corrêa ve Arbilla (2007) Rio Do Janerio Üniversitesinde, Brezilya da toplu taşımada hizmet veren otobüslere ait 2400 rpm'de 176 kW güç üreten, silindir Hacmi 6,5 L olan, 6 silindirli, elektronik kontrollü motor kullanarak 1000, 1500 ve 2500 devirde yaptıkları yüklemelerde B2, B5, B10, B20 yakıtları ile normal diesel yakıtı kullanılması halinde yayacakları aromatik hidro karbon emisyonları üzerinde çalışmalar yapmışlardır.

Bu çalışmalar sonucunda aromatik hirdo karbon emisyonlarının miktarında kullanılan biodiesel miktarının önemli rol aldığı anlaşılmıştır. Ayrıca 1500 rpm'deki toplam emisyon miktarının 1000 ve 2000 rpm'deki toplam emisyon miktarından fazla olduğunu görmüşlerdir. Yine yaptıkları ölçümlerde en fazla yayılan aromatik hidro karbonun formaldehit olduğunu tespit etmişlerdir. Tüm devirlerde Formaldehit, Acetaldehit, Aseton, Propanadehit ve Bütanaldehit emisyonlarında normal diesele göre daha yüksek değerler ölçülmüştür. Ayrıca biodiesel karışımları arasında da biodiesel oranı arttıkça aromatik hidro karbon emisyonlarında artış görülmüştür. Yalnız Benzaldehit emisyonunda azalmalar tespit etmişlerdir.

Hsi-Hsien Yang ve arkadaşları(2007) Mitsubishi marka 2 adet 4 silindirli, 2,835 l hacminde, turboşarjlı, 3700 rpm'de maksimum 80,9 kW güç ve 2000 rpm'de maksimum 217,6 Nm tork üreten motorların birini eski kızartma yağlarından üretilmiş biodiesel ile dieslin %20'si oranında karıştırılmasıyla elde ettikleri yakıtla diğerini ise Çin petrol şirketinden aldıkları normal diesel ile çalıştırmışlardır.

Araştırma grubu motorları yüklemek için Schenck DyNas 335 marka DC akımla çalışan dinamometre kullanmışlardır. Bu yüklemeler çeşitli devirlerde toplam 500 saat olmuştur.

Yine partikül madde(PM) ve aromatik hidrokarbon(PAH) emisyonlarının analizi için Horiba DLT2150W, HC emisyonları analizi için Horiba FIA-125, CO ve CO<sub>2</sub> emisyonları analizleri için Horiba AIA-120 ve NO<sub>x</sub> emisyonları analizi içinse Horiba CLA-155 cihazı kullanmışlardır.

Kullanılan yakıtların yoğunluğu; B20 için 0,84 g/ml, diesel için 0,83 g/ml, parlama noktası; B20 için 97 °C, diesel için 78°C, viskozitesi; 40 °C'de B20 için 3,53 mm<sup>2</sup>/s ve diesel için 3,15 mm<sup>2</sup>/s ve setan sayısı; B20 için 55,7, diesel içinse 53,1 ölçülmüştür.

Yaptıkları çalışmalar neticesinde testlerin ilk başlarında HC, CO, PM ve NO<sub>x</sub> emisyonlarında g/kWh cinsinden yapılan ölçümlerde B20 kullanılan motorda bulunan değerlerin CO için %3,8, HC için %5,8, CO<sub>2</sub> için %9,6 diesel yakıt kullanılan motorda ölçülen değerlerden daha düşük NO<sub>x</sub> değerlerinin ise %5,8 yüksek olduğu görülmüştür. Ancak 500 saatin sonunda yapılan ölçümlerde B20 karışımı ile çalıştırılan motorun emisyon değerlerinde diesel yakıt kullanılan motorun emisyon değerlerine göre CO için %6,6, HC için %2,5, NO<sub>x</sub> için %9,9 ve CO<sub>2</sub> için %0,7 artış görülmüştür.

Deniz, Özkan ve Ergenç (2007) İstanbul'da Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Test laboratuvarında toplam 454 cm<sup>3</sup> hacmine sahip tek silindirli, direk püskürtmeli, 1700 rpm'de maksimum 28,5 Nm tork ve 5,5 kW güç üreten motor üzerinde yapmış oldukları testlerde yakıt olarak diesel, biodiesel ve gliserinden arındırılmamış biodiesel yakıt olarak kullanmışlar ve bu yakıtların motor performansı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır.

2000 rpm'ye kadar diesel, biodiesel ve gliserinden arındırılmamış biodiesel için güç değerlerini birbirine benzerdir. 2000 rpm üzerindeki değerlerde ise en büyük güç değeri diesel yakıt ile elde edilmiştir. Bu değer 2500 rpm'de biodieselden %25, gliserinden arındırılmamış biodieselden ise %52 daha fazladır. Elde edilen maksimum tork değerleri ise; diesel için 1500 rpm'de 21 Nm,

biodiesel için 2250 rpm’de 19,7 ve gliserinden arındırılmamış biodiesel için yine 2250 rpm’de 18,4 olarak ölçülmüştür. Özgül yakıt tüketiminde ise üç yakıt içinde ayrı değerler alınmıştır. Bu değerler sırasıyla diesel için 2500 rpm’de 272,4 g/kWh, biodiesel için 2250 rpm’de 307,8 g/kWh ve gliserinden arındırılmamış biodiesel içinse 2000 rpm’de 314,6 g/kWh olarak ölçülmüştür.

Bu çalışma gliserinin motor performansı üzerinde önemli etkilerinin olduğunu göstermiştir. Gene aynı şekilde kullanılmış kızartma yağlarından üretilen biodiesel ile direkt püskürtmeli diesel motor önemli bir problemle karşılaşılmadan çalıştırılmıştır. Biodiesel ile diesele göre %25 daha düşük güç elde edilmiştir ancak biodieselin satış değeri kullanılmış yağlardan üretilmesinin bir sonucu olarak diesele göre daha düşüktür. Biodiesel, motor üzerinde yapılacak bir kısım modifikasyonla diesel motor için yakıt olarak kullanılabilir. Motor yakıt sistemi biodieselin viskozite ve yoğunluk değerlerine göre ayarlanabilir.

Özkan, Sandalcı, Ergenç ve Işın (2007) İstanbul’da Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Test laboratuvarında toplam 454 cm<sup>3</sup> hacmine sahip tek silindirli, direk püskürtmeli, 1700 rpm’de maksimum 28,5 Nm tork ve 5,5 kW güç üreten motor üzerinde yapmış oldukları testlerde yakıt olarak diesel ve kullanılmış kızartma yağlarından üretilen biodiesel yakıt olarak kullanmışlar ve bu yakıtların motor emisyonları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır.

Bu araştırmalar sonucunda CO<sub>2</sub> emisyonlarında biodiesel kullanılmasıyla birlikte önemli bir değişiklik görülmemiştir ve diesel yakıt kullanılmasıyla ölçülen CO<sub>2</sub> değerleri biodieselinkine çok yakın çıkmıştır. Eksik yanmanın sonucu olarak ortaya çıkan CO emisyonlarında ise en yüksek değer diesel için 1000 rpm’de ölçülmüştür. Daha üst devirlerde ise CO emisyonları düşmüştür gene diesel ve biodiesel için ölçülen CO emisyon değerleri birbirine yakın olmakla birlikte biodiesel için ölçülen değerler diesel için ölçülen değerlere göre daha düşüktür. HC emisyonlarında ise 1000 rpm ve 1250 rpm’de ölçülen HC emisyonları diesel için biodiesel kullanılmasıyla ölçülen değerlerden daha yüksektir diğer devirlerde ise biodiesel için ölçülen değerler dieselinkine göre daha yüksek olmuştur. NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise biodiesel kullanılmasıyla birlikte düşüş gözlenmiştir. Yine aynı şekilde is oluşumunda da biodiesel kullanılmasıyla beraber düşüş gözlenmiştir.

Pereira ve arkadaşları (2007) Rio Do Janerio’da Ulusal Fluminense Üniversitesi Makine mühendisliği bölümünde tek silindirli, 0,2 l silindir hacmine sahip, 3600 rpm’de maksimum 2

kW güç üreten, 4 zamanlı, hava soğutmalı Branco BD-2500 marka jeneratör motorunu %85 yüklemde 2,5 saat çalıştırmışlardır.

Bu yüklemelerde yakıt olarak yoğunluğu 15°C'de 0,8830 kg/l, viskozitesi 40°C'de 4,5 mm<sup>2</sup>/s, parlama noktası 150°C ve setan numarası 59,2 olan soya fasulyesinden üretilen biodiesel ve yoğunluğu 15°C'de 0,8450 kg/l, viskozitesi 40°C'de 3 mm<sup>2</sup>/s, parlama noktası 85°C ve setan numarası 54,3 olan diesel kullanılmıştır.

Emisyon ölçümleri için GreenLine 8000 marka taşınabilir analiz cihazı kullanmışlardır ve bu ölçümlerin sonucunda biodiesel kullanımında diesele göre CO<sub>2</sub> için % 0,3 daha fazla, CO için 18 ppm, SO<sub>2</sub> için 3 ppm, NO<sub>x</sub> için 41 ppm ve HC için 33 ppm daha az olduğunu tespit etmişlerdir.

Ulusoy ve arkadaşları (2004) Renault Bursa fabrikası laboratuvarında ve 7500 km'lik kış şartlarında taşıt testi ile kızartma atık yağından elde edilen biodiesel, viskozite iyileştirici katkılı biodiesel, yakıt ve donma noktasını iyileştirici katkılı biodiesel yakıt kullanarak performans, emisyon ve biodiesel yakıtlarının motor üzerindeki etkilerini incelemişler.

Çalışmalarında 2001 model Megane taşıtını F9Q732 tip turbo diesel motoru ile kullanmışlardır. Motor, birinci jenerasyon common rail elektronik enjeksiyonlu (1350 bar), 1,87 l hacminde, 18,3:1 sıkıştırma oranında 4000 d/d da maksimum 75 kW güç, 1500 d/d da maksimum 200 Nm tork üretmektedir.

Çalışmaları sonucunda biodiesel yakıtından elde ettikleri motor momenti diesel yakıtı kullanımından %8 oranında azalmış, güç değeri %7 daha düşük çıkmış, özgül yakıt tüketimi ise hemen hemen aynı olmuştur. Enjektörlerin her iki yakıt için püskürtme karakteristikleri de yakın olmuş ve motor devrinin artması ile enjektör püskürtme basıncı 1350 bar civarından 700 bar seviyelerine düşmüştür.

Taşıt yol testi sonucunda enjektörler sökülüp incelenmiş, diesel yakıtı kullanıldığında meme ucunda normal karbonlaşma gözlenmiş, biodiesel kullanımında ise eksik yanma neticesi meme üzerinde kötü derecede oldukça fazla karbon birikimi görülmüştür. Enjektörlerin değiştirilip viskozite iyileştirici katkılı biodiesel yakıtı kullanımı sonucu yapılan incelemede ise enjektörlerin daha temiz olduğu ve silindir duvarları ile piston üstünün karbonlaşmadığı gözlenmiştir. Taşıttaki katalitik konvertörde diesel yakıtı kullanımında hiçbir değişiklik görülmemiş, biodiesel

kullanımında ise tıkanma meydana gelmiş, katalitik konvertör değiştirilip viskozite iyileştirici katkılı biodiesel kullanıldığında ise hiçbir problem oluşmadığı belirlenmiştir.

Leon G. Schumacher ve William B. Wetherell (1996) ; Kolombiya Missouri Üniversitesi Ziraat Mühendisliği Bölümünde yaptıkları deneylerde iki adet Cummins B5,9L motoru, B100 katkısız biodiesel yakıtla 48 aydan fazla bir süre boyunca çalıştırmışlardır. Motorlar Dodge kamyonetlere güç sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Motor yağlama yağı 1000 mil aralıklarla örnek alınarak analiz edilmiştir. İstatistiksel analizler neticesinde yağlama yağında metal aşınma düzeyinin normal olduğu görülmüştür. Araçların şasi dinamometresi testlerinde motorlarda bir miktar güç düşüşü kaydedilmiştir. Benzer çalışma koşullarında biodieselin yakıt ekonomisi dieselinkinden % 4 daha düşük olarak ölçülmüştür. Diesel motorlarda fosil türevli diesel yakıtı yerine %100 katkısız biodiesel kullanmakla güçte hafif bir düşme meydana gelmektedir. %100 katkısız biodiesel ile çalıştırılan bir diesel motorun spesifik güç üretimi motor dizaynına ve yakıt besleme sistemine göre değişiklik gösterebilir.%100 katkısız biodiesel kullanıldığında CO, HC, PM ve is emisyonları, motorine göre daha düşük seviyelere inmiştir. NOx emisyonları ise artmıştır.

### 1.3. Motorlu Taşıtlarından Kaynaklanan Emisyonları Etkileyen Faktörler

#### 1.3.1 Azot Oksit Emisyonlarını Etkileyen Faktörler

İçten yanmalı motorların oluşturduğu azot oksit emisyonlarının temel kaynağı havadaki azottur. Yakıtların içeriğindeki azot miktarı oldukça küçüktür ve genelde yok sayılabilir. Benzinle karşılaştırıldığında bu miktar Diesel yakıtında daha yüksektir.

Tablo 1.5. Yakıtlardaki ortalama azot içerikleri

| Ortalama % (ağırlık) |      |
|----------------------|------|
| Ham petrol           | 0,65 |
| Hafif yakıtlar       | 0,07 |
| Ağır yakıtlar        | 1,40 |

NOx emisyonları yanma esnasında ve yanmanın hemen ardından gerçekleşen reaksiyonlar sonucu oluşur.

NO<sub>2</sub>; soğutucu bir akışkanla karşılaşmadığı sürece; oluştuktan hemen sonra bozunma reaksiyonları ile tekrar NO formuna dönüşebilir. Ortam sıcaklığının ani bir şekilde düşmesi bu reaksiyonların durmasına neden olmaktadır. Örneğin düşük yükteki bir diesel motorunda bu nedenden ötürü NO<sub>2</sub>/NO oranı görece daha yüksektir.

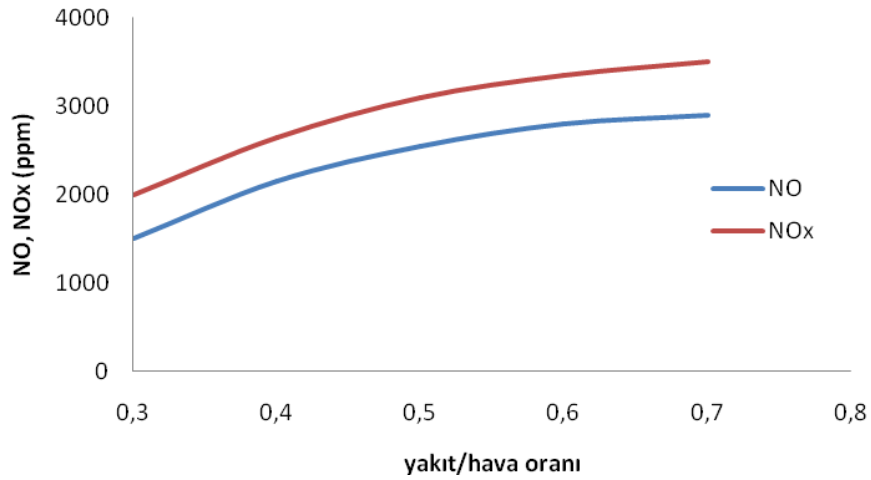
N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O parçalanmaları artan sıcaklık ile artmaktadır. Buna bağlı olarak da NO<sub>x</sub> oluşumu artan sıcaklıklar ile birlikte artmaktadır. Sonuç olarak azot oksit oluşumlarının sıcaklığa fazlası ile bağlı olduğu görülmektedir. Buradan yola çıkarak motor yükünün; silindir içi sıcaklıkları üzerindeki etkilerinden dolayı; NO<sub>x</sub> oluşumu için etkili bir değişken olduğu ve motor soğukken (örneğin ilk hareket durumu) NO<sub>x</sub> oluşumunun daha az olduğu söylenebilir.

NO<sub>x</sub> oluşumu sıcaklığın yanı sıra basınca, hava fazlalık katsayısına ve yanma süresine bağlıdır.

Yakıt bazlı NO oluşumu temelde hava fazlalık katsayısına bağlıdır. Oluşum miktarı fakir karışımlarda yüksekken zengin karışımlarda daha düşüktür. Atmosfer bazlı NO oluşumu ortam sıcaklığından fazlasıyla etkilenirken yakıt bazlı NO oluşumu bundan çok etkilenmez.

Diesel motorları benzin motorlarından ayıran en önemli özellik yakıtın sıkıştırma prosesinin sonlarına doğru, sıkıştırılmış hava ortamına sıvı fazda püskürtülmesidir. Yakıtın silindir içerisinde heterojen dağılımı, sıcaklık ve yanmış gaz kompozisyonunun da heterojen olmasına neden olur. Diesel yanması iki safhadan oluşmaktadır. Bunlar ön karışımın yanması ve hemen ardından gelişen alevin yayılması safhalarıdır. Ön karışım alevinde karışımın stakiometrisi önemli ölçüde değişkendir. Alev yayılmasında ise karışım stakiometrik oran civarındadır. Yanma prosesinde ilk yanan karışım miktarının, yanma sonucu oluşan basıncın yanmamış karışımı sıkıştırarak sıcaklığını arttırması, dolayısıyla NO oluşumuna etki etmesi nedeniyle, büyük önemi vardır. Yanmış gazlar, genişleme stroğunda hava veya daha soğuk yanmış gazlarla karışmaları sonucu NO bozulma reaksiyonu durur ve karışım içindeki konsantrasyonu NO formunu korur. Bu benzinli motorlara nazaran Diesel motorlarda, NO bozulmasının erken bitmesinin ve bozulma eğiliminin daha az olmasının nedenidir. Yakıt püskürtme avansı küçüldüğünde yanma ve NO oluşumu geç başlar. Pik sıcaklığın düşük olması nedeniyle NO konsantrasyonu da düşük olur. NO konsantrasyonu yakıt/hava oranının artmasıyla artış gösterir. Diesel yanmasında yakıtın yanma odasına dengeli dağılmamasından dolayı yakıt/hava oranının azalmasıyla NO

konsantrasyonundaki azalma benzin motorlarına göre daha küçük değerlerde kalır. Diesel motorlarda püskürtülen yakıt miktarıyla yakıt/hava oranının artması NO emisyonunu püskürtülen yakıt miktarına bağlı kılar. Yüksek yüklerde, yüksek basınç ve sıcaklık zirveleri nedeniyle NO seviyesi yükselir. Bölünmüş yanma odalı motorlarda NO oluşumunun ~ %35 i ön yanma odasında, ~%65 ana yanma odasında gerçekleşir. Bunun nedeni ön yanma odasında NO bozulması için yeterli sürenin bulunmaması ve yanma odasına geçen karışımın bozulma reaksiyonunu donduran soğuk hava ile karşılaşmasıdır.



Şekil 1.8. Diesel motorunda yakıt/hava oranına bağlı NOx ve NO konsantrasyonlarının değişimi.

### 1.3.2. Karbonmonoksit (CO) Emisyonlarını Etkileyen Faktörler

CO oluşumu, son ürün CO<sub>2</sub> olan hidrokarbon oksidasyon prosesi içinde ara kademedir. CO emisyonu oluşumundaki ana parametre karışımın yakıt/hava oranıdır. Zengin karışımda, CO konsantrasyonu yakıt/hava oranı ile birlikte artmakta ve oksijenin gerekli düzeyde olmayışı tam olmayan yanmaya neden olmaktadır.

Diesel motorları fakir karışım kullanırlar, CO emisyonları benzin motorlarına göre çok daha düşüktür. Bununla birlikte karışımın homojen olmaması, yerel oksijen noksanlığı, farklı sıcaklık seviyeleri ya da farklı bölgelerdeki sıcaklıkların yanmayı CO<sub>2</sub> formunda tamamlayamayacak değerde oluşu CO emisyonuna neden olur.

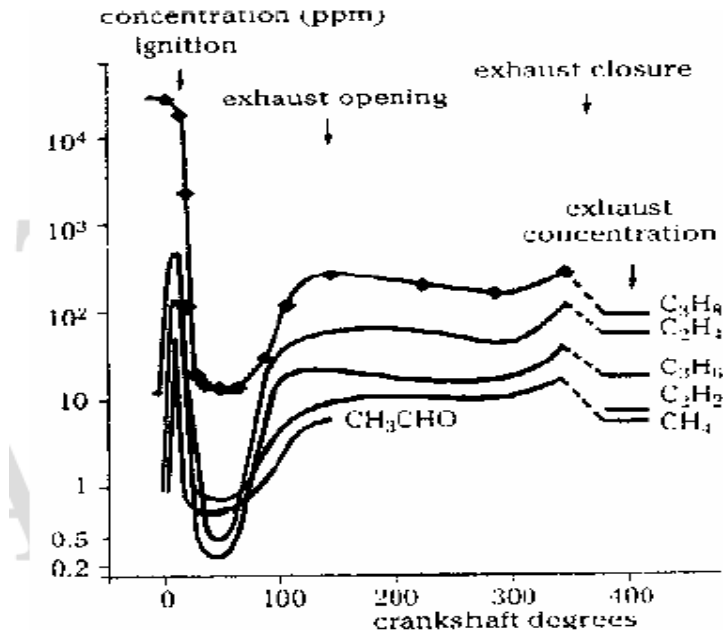
### 1.3.3. Yanmamış Hidrokarbon Emisyonlarını Etkileyen Faktörler

Yanmamış hidrokarbon emisyonlarına ya da organik maddelere genelde hidrokarbonların tamamlanmamış yanması neden olmaktadır. Hidrokarbonlar düşük sıcaklıktaki bölgelerde, silindir cidarı yakınında ve karışımında heterojen olduğu bölgelerde oluşur. Yanmamış hidrokarbonlar çok geniş bir hidrokarbon çeşitliliği içermektedir. Bunların insan sağlığı üzerine çeşitli derecelerde zararları ve troposferik kimyasal değişimlerde farklı etkinlikleri vardır. Özellikle yanmamış HC'ler metanın büyük bir bölümünü içermektedir. Buna ek olarak daha sık reaktif olan oksijenli bileşikler, aldehytler, ketonlar, fenoller, alkoller (methanol,ethanol), nitrometan ve esterler (metil formatında) vardır. Benzinli motorlarda karbon bileşikleri HC emisyonunun küçük bir kısmını oluşturmaktadır. Aldehytler Diesel motorlarda HC emisyonunun yaklaşık %10'una kadar çıkabilmektedir, formaldehit ise toplam karbon bileşiklerinin yaklaşık %20 sini teşkil etmektedir.

Tablo 1.6. HC içerisindeki bileşiklerin yaklaşık olarak Yüzdeleri

| HC içerisindeki bileşiklerin yaklaşık olarak yüzdeleri |           |               |             |
|--------------------------------------------------------|-----------|---------------|-------------|
| Parafinler                                             | Olefinler | Asetilenikler | Aromatikler |
| 33                                                     | 27        | 8             | 32          |

Karışımın yanmasından sonra geriye kalan artıkların, egzozda ölçülen yanmamış hidrokarbona katkısı önemli değildir. Şekil 1.9. da gösterilen, alev söndükten sonra krank mili dönüşünün küçük bir kısmında tek silindirli motorda ölçülen farklı HC konsantrasyonları, egzozda ölçülen konsantrasyonların değerlerinin altına düşüşünü açıklamaktadır. Çevrimin sonlarında bu konsantrasyonlar artmakta buda çeperlere yakın bölgelerdeki karışım tamamen yanmasına rağmen, ana yanma reaksiyonundan kaçan yakıtın HC emisyonunu arttırdığını akla getirmektedir.



Şekil 1.9. Çevrim esnasında değişik yanmamış hidrokarbonların konsantrasyonu.

#### 1.3.4. Partikül Madde (PM) Emisyonlarını Etkileyen Faktörler

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansının yaptığı tanıma göre egzoz gazlarının belirli koşullarda filtrelenmesi halinde suyun dışında elde edilen maddeler partikül madde olarak tanımlanmıştır (*Ferguson, 2001*).

Diesel partikülleri temelde bir karbon oluşumudur. Diesel motorlarda yanma sırasında aşırı zengin bölgelerde katı karbon / is partikülleri oluşmaktadır. Bunun nedeni yanma odası içerisinde heterojen bir karışım bulunması ve bahsi geçen bölgelerde tüm karbonları  $\text{CO}_2$ 'e çevirmeye yeterli  $\text{O}_2$ 'nin bulunmamasıdır. Tam yük gibi enjekte edilen yakıt miktarının arttığı durumlarda bu oluşum artmaktadır.

İs partikülleri katı karbon kürelerinin birleşmesi ile oluşmaktadır. Bu karbon kürelerinin çapı 10nm ile 80nm ( $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$ ) aralığında (genellikle 10-30nm) değişmektedir.

Oluşan is partiküllerinin toplam kütlesinin %2-25 'i yağlama yağından kaynaklanmaktadır. Artan motor hızı ile yağlama yağının is kütlesindeki oranı artış göstermektedir (*Heywood, 1989*).

Ortamda bulunan bazı bileşenler ortam koşullarına bağlı olarak is partikülleri üzerinde yoğunlaşabilirler. Bunlar çözülebilir organik parçacıklar (SOF) olarak isimlendirilirler. Bu parçacıklar genelde yanmamış hidrokarbonlar ve bunların türevlerinden, SO<sub>2</sub>, NO ve NO<sub>2</sub> den oluşmaktadır. Bunların dışında eser miktarda sülfür, çinko, fosfor, demir, kalsiyum gibi maddelerde içerebilirler. Yanma odası sıcaklıklarının düşmesi ile (genelde 500°C 'nin altında) bu maddelerin is partikülleri üzerinde yoğunlaşması mümkün olur. Düşük yüklerde silindir içi sıcaklıkları daha düşük olacağından bu maddelerin is partikülleri üzerinde yoğunlaşma oranı artar. Böyle bir durumda is partikülü kütlesinin %50 kadarını SOF 'lar oluşturabilir (*Pulkrabek, 1997*).

Motorda oluşan karbon partiküllerinin %90'ından fazlası daha sonraki bir aşamada okside olur. Bu olayın büyük kısmı yanma odası sınırları içerisinde gerçekleşir. Egzoz sürecinde gazların hızlı bir şekilde soğumasına bağlı olarak reaksiyon hızlı bir şekilde sona erer. Sonuç olarak egzozdan atılan is toplamda oluşan is miktarından daha azdır.

## **2.KULLANILAN YÖNTEM VE MATERYAL**

### **2.1. DeneySEL Çalışmalar**

#### **2.1.1. Yol Testleri**

Seçilmiş g zerg htaki yakıt t k timinin analizi ve etkili verilerin elde edilebilmesi amacı ile, İstanbul Büyük Şehir Belediyesi, İ.E.T.T. Genel Müdürlüğü'ne bağlı toplu taşımacılıkta kullanılan otobüslerin oluşturduğu filodan, filoyu temsil edebilecek ortalama değerlere sahip bir otobüs üzerinde, belirlenen güzergahta ölçüm işlemleri yapılmıştır. Seçilmiş güzergahta yapılan ölçümler, zaman, yol, hız, ivme, yakıt sarfıyatı ve vites kademesi bilgilerini içermektedir.

### **2.1.2. Motor Testleri**

Motora akış beslemesi yapabilmek için iki ayrı yakıt deposu kullanılmıştır. Bu depolar, diesel ve biodiesel yakıtları için ayrıdır. Test laboratuvarı ana yakıt tankından diesel akışı sağlanırken, biodiesel akışı için yedek depo kullanılmıştır. Diesel yakıtı ile yapılan ölçümler bittiği zaman depodan yakıt gelişi kesilmiş, diğer depodan biodiesel yakıtının gelişi sağlanmıştır. Motorun soğutma suyu giriş ve çıkış hattı olarak hortumla çapraz akışlı soğutma eşanjörüne bağlanmıştır.

Bu çalışmada her bir yakıt için dinamometre ile motorun sabit devirlerinde gaz kolu pozisyonlarının değiştirilmesi ile y k arttırılarak referans devirlerde ölçümler yapılmıştır. Çalışmalarda motor devri, minimum 800 d/d dan 100 d/d lık artışlar ile sırasıyla 800-900-1000-1100-1200-1300-1400-1500-1600-1700-1800-1900-2000 ve maksimum 2200 d/d da değiştirilmiştir. Deneylerde değiştirilen gaz kolu pozisyonları sırası ile 10-25-50 KW güç adımlarında 25 KW lık güç artışlarla alınmaya çalışılmış ve çıkılabilen g e göre her devirde tam gaz pozisyonları için ölçümler yapılmıştır.

## **2.2. Kullanılan Materyal**

### **2.2.1. Çalışmada Kullanılan Yakıtlar**

Yakıt olarak halen İ.E.T.T. bünyesindeki araçlarda kullanılmakta olan EN590'a uygun ticari Diesel yakıtı ve EN 14100 standardına uygun soya yağından üretilen Biodiesel yakıtı seçilmiştir. Kullanılan yakıtların analiz sonuçları aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

#### **2.2.1.1. Diesel Yakıtı**

Tablo 2.1. Kullanılan diesel yakıtının analizi

| Testler | Birim | Test Metodu | Limit | Sonuçlar |
|---------|-------|-------------|-------|----------|
|---------|-------|-------------|-------|----------|

|                                           |                         |                                                |                    |               |
|-------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------|--------------------|---------------|
| <b>Yoğunluk, 15°C</b>                     | <b>kg/m<sup>3</sup></b> | <b>TS 1013 EN ISO 3675<br/>TS EN ISO 12185</b> | <b>820-860</b>     | <b>838,0</b>  |
| <b>Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar</b> | <b>% ağırlık</b>        | <b>TS EN 12916</b>                             | <b>≤11</b>         | <b>7</b>      |
| <b>Alevlenme Noktası</b>                  | <b>°C</b>               | <b>TS 1273 EN 22719</b>                        | <b>≥55</b>         | <b>64</b>     |
| <b>Su Miktarı</b>                         | <b>mg/kg</b>            | <b>TS 6147EN ISO 12937</b>                     | <b>≤200</b>        | <b>83</b>     |
| <b>Kükürt Miktarı</b>                     | <b>mg/kg</b>            | <b>TS 6838 EN ISO 8754</b>                     | <b>≤7000</b>       | <b>2117</b>   |
| <b>Setan İndisi</b>                       | <b>Hesaplan an</b>      | <b>TS 2883 EN ISO 4264</b>                     | <b>≥46</b>         | <b>53,8</b>   |
| <b>Viskozite, 40°C</b>                    | <b>Cst</b>              | <b>TS 1451 EN ISO 3104</b>                     | <b>2,0-4,5</b>     | <b>2,317</b>  |
| <b>SFTN</b>                               | <b>°C</b>               | <b>TS EN 116</b>                               | <b>≥-15 (kış)</b>  | <b>-22</b>    |
| <b>Karbon Kalıntısı (%10 Damıtmada)</b>   | <b>% ağırlık</b>        | <b>TS 6148EN ISO 10370</b>                     | <b>≤0,30</b>       | <b>0,12</b>   |
| <b>Kül</b>                                | <b>% ağırlık</b>        | <b>TS 1327 EN ISO 6245</b>                     | <b>≤0,01</b>       | <b>0,0063</b> |
| <b>Toplam Kirlilik</b>                    | <b>mg/kg</b>            | <b>TS EN 12662</b>                             | <b>≤24</b>         | <b>8</b>      |
| <b>Oksidasyon Kararlılığı</b>             | <b>g/m3</b>             | <b>TS EN ISO 12205</b>                         | <b>≤25</b>         | <b>14</b>     |
| <b>Korozyon Bakır Şerit</b>               | <b>50°C, 3 saat</b>     | <b>TS 2741 EN ISO 2160</b>                     | <b>En çok No:1</b> | <b>1A</b>     |

#### 2.2.1.2. Biodiesel Yakıtı

Tablo 2.2. Kullanılan biodiesel yakıtının analizi

| <b>Testler</b>              | <b>Birim</b>            | <b>Test Metodu</b> | <b>Limit</b>       | <b>Sonuçlar</b> |
|-----------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| <b>Korozyon Bakır Şerit</b> | <b>50°C, 3 saat</b>     | <b>EN ISO 2160</b> | <b>En çok No:1</b> | <b>1A</b>       |
| <b>Yoğunluk, 15°C</b>       | <b>kg/m<sup>3</sup></b> | <b>ISO 12185</b>   | <b>860-900</b>     | <b>887,8</b>    |
| <b>Viskozite, 40°C</b>      | <b>CSt</b>              | <b>EN ISO 3104</b> | <b>3,5-5,0</b>     | <b>4,6838</b>   |
| <b>Parlama</b>              | <b>°C</b>               | <b>EN ISO 3679</b> | <b>≥120</b>        | <b>46,5</b>     |

|                                       |                                  |                              |              |               |
|---------------------------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------|---------------|
| <b>Noktası</b>                        |                                  |                              |              |               |
| <b>Kükürt</b>                         | <b>mg/kg</b>                     | <b>ISO 20846</b>             | <b>≤10,0</b> | <b>2,68</b>   |
| <b>Karbon Kalıntısı</b>               | <b>% (ağırlıkça)</b>             | <b>EN ISO 10370</b>          | <b>≤0,30</b> | <b>0,083</b>  |
| <b>Setan Sayısı</b>                   | <b>Hesaplanan</b>                | <b>EN ISO 5165</b>           | <b>≥51</b>   | <b>52,1</b>   |
| <b>Sülfatlanmış Kül</b>               | <b>% (ağırlıkça)</b>             | <b>ISO 3987</b>              | <b>≤0,02</b> | <b>0,0203</b> |
| <b>Su</b>                             | <b>mg/kg</b>                     | <b>EN ISO 12937</b>          | <b>≤500</b>  | <b>415,18</b> |
| <b>Partikül Madde</b>                 | <b>mg/kg</b>                     | <b>EN 12662</b>              | <b>≤24</b>   | <b>4,30</b>   |
| <b>Asit Sayısı</b>                    | <b>mgKOH/g</b>                   | <b>EN14104</b>               | <b>≤0,50</b> | <b>0,10</b>   |
| <b>İyot Sayısı</b>                    | <b>g/100g</b>                    | <b>EN 14111</b>              | <b>≤120</b>  | <b>130</b>    |
| <b>Ester Muhtevası</b>                | <b>% (m/m)</b>                   | <b>EN 14103</b>              | <b>≥96,5</b> | <b>86,6</b>   |
| <b>Linolenik Asit Metilesteri</b>     | <b>% (m/m)</b>                   | <b>EN 14103</b>              | <b>≤12</b>   | <b>7,01</b>   |
| <b>Çoklu Doymamış Metil Esterleri</b> | <b>% (m/m)</b>                   | <b>EN 14103</b>              | <b>≤1</b>    | <b>0,0</b>    |
| <b>Metanol Muhtevası</b>              | <b>% (ağırlıkça)</b>             | <b>EN 14110</b>              | <b>≤0,2</b>  | <b>0,5</b>    |
| <b>1.Grup Metaller<br/>Na<br/>K</b>   | <b>mg/kg<br/>mg/kg<br/>mg/kg</b> | <b>EN 14108<br/>EN 14109</b> | <b>≤5,0</b>  | <b>12,37</b>  |
| <b>2.Grup Metaller<br/>Ca<br/>Mg</b>  | <b>mg/kg<br/>mg/kg<br/>mg/kg</b> | <b>EN 14538<br/>EN 14538</b> | <b>≤5,0</b>  | <b>23,09</b>  |
| <b>Fosfor</b>                         | <b>mg/kg</b>                     | <b>EN 14107</b>              | <b>≤10</b>   | <b>13,43</b>  |
| <b>Oksidasyon Kararlılığı</b>         | <b>Saat</b>                      | <b>EN14112</b>               | <b>≥6,0</b>  | <b>4,0</b>    |

|         |  |  |  |  |
|---------|--|--|--|--|
| (100°C) |  |  |  |  |
|---------|--|--|--|--|

### 2.2.2. Çalışmada Kullanılan Motor

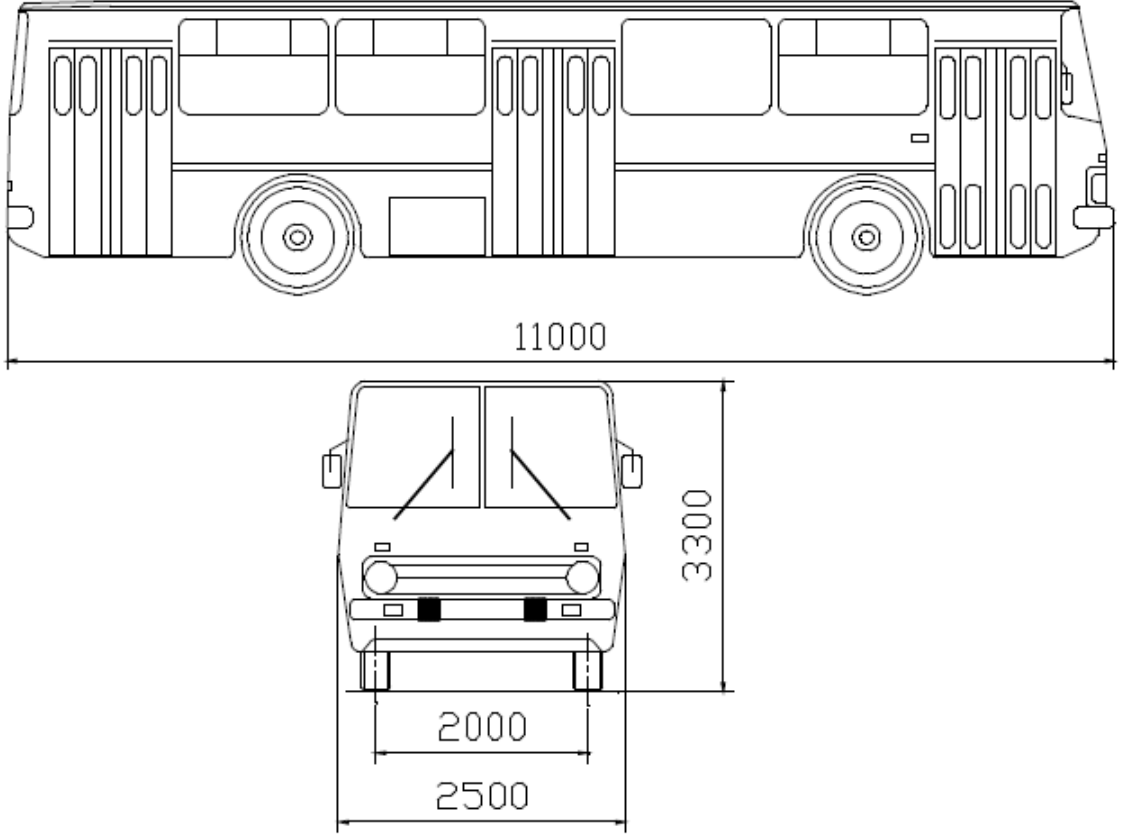
Bu çalışmada yapılan deneylerde, 11.410 cm<sup>3</sup> hacminde dört zamanlı, direkt püskürteli, sıra tip yatık SL-200 MAN D 2566 MUH turbo diesel motor kullanılmıştır. Motorun teknik özellikleri tablo 2.3’de verilmiştir.

Tablo 2.3. Deney motorunun teknik özellikleri

|                              |                                                                  |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------|
|                              |                                                                  |
| Motor Üreticisi – Tipi       | SL-200 MAN D 2566 MUH                                            |
| Çalışma Prensibi             | MAN DİZEL ,M-TİPI 4 ZAMANLI AŞIRI DOLDURMALI DİREKT PÜSKÜRTMELİ. |
| Silindir Hacmi               | 11.410 cm <sup>3</sup>                                           |
| Silindirlerin Sayısı –Düzeni | 6 adet , düz ve yatık                                            |
| Kompresyon Oranı             | 18:1                                                             |
| Çıkış Gücü ( DIN 70020 )     | 147 kW 2100 d/d’da                                               |
| Tork                         | 775 Nm 1500 d/d’da                                               |
| Püskürtme Sırası             | 1-5-3-6-2-4                                                      |
| Silindir Çapı / Strok Çapı   | 125/155 mm                                                       |
| Yağlama                      | Basınç altında                                                   |
| Püskürtme Basıncı            | 190 bar                                                          |

### 2.2.3. Test Aracı

#### 2.2.3.1. Boyutlar



Şekil 2.1. Ölçümlerde kullanılan otobüse ait boyutlar

#### 2.2.3. 2. Teknik Özellikler

Aracın boş kütlesi : 10300  $\pm$  %5 (kg)

Faydalı yük : 5600 (kg)

#### Aks yükleri

Ön : 5900 (kg)

Arka : 10000 (kg)

Yolcu kapasitesi : 97+1 (kişi)

Vites kutusu : C sepel ZF S6-9OU-049

#### Çevrim oranları

1.Vites : 7.03

2.Vites : 4.09

3.Vites : 2.70

4.Vites : 1.84

5.Vites : 1.40

6.Vites : 1.00

Geri vites : 6.48

Diferansiyel oranı : 5.75

Jant boyutları : 8.00-20"

Lastik : 11.00R-20 STC

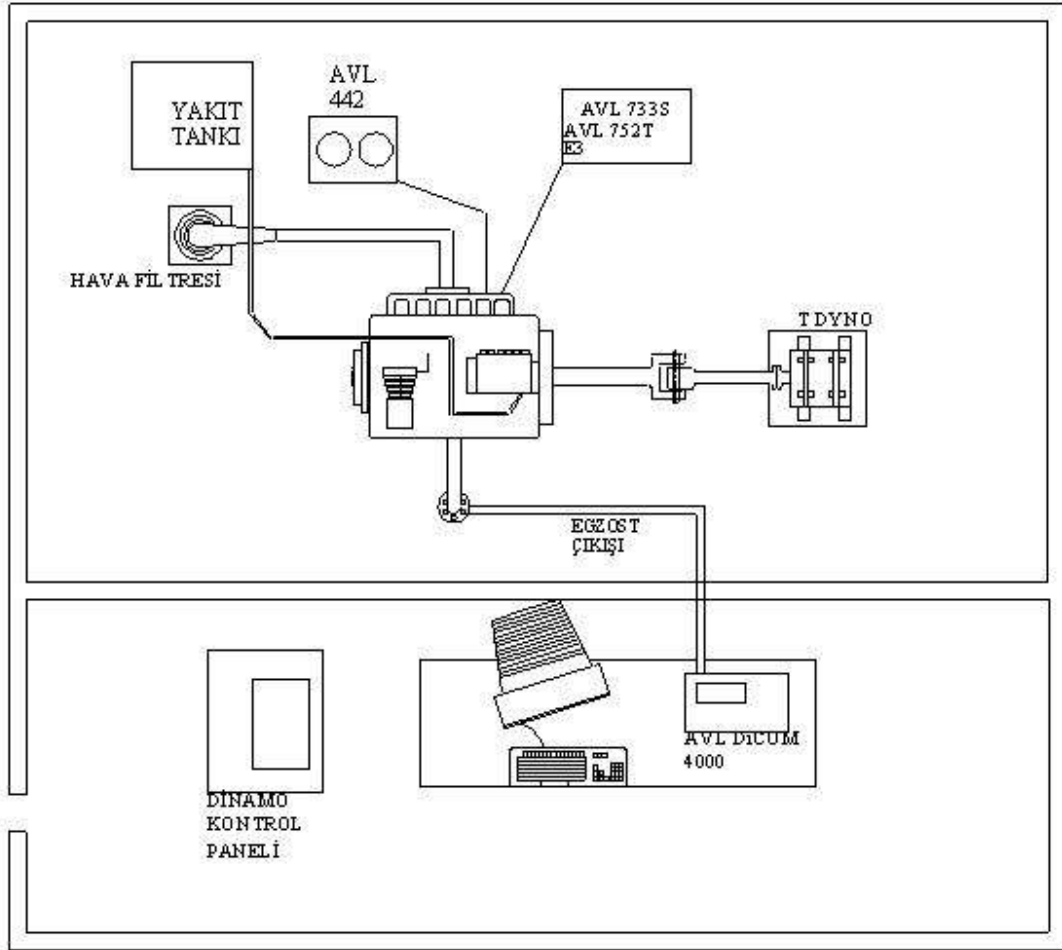
#### Lastik basınçları

Ön : 7.25 (bar)

Arka : 6.75 (bar)

#### 2.2.4. Yükleme Seti

Deneyler İ.E.T.T. Genel Müdürlüğü'ne bağlı, İkitelli'de bulunan Motor Yenileme Fabrikası bünyesindeki motor test düzeneklerinde yapılmıştır. Aşağıda test düzeneğinin basit şeması verilmiştir.



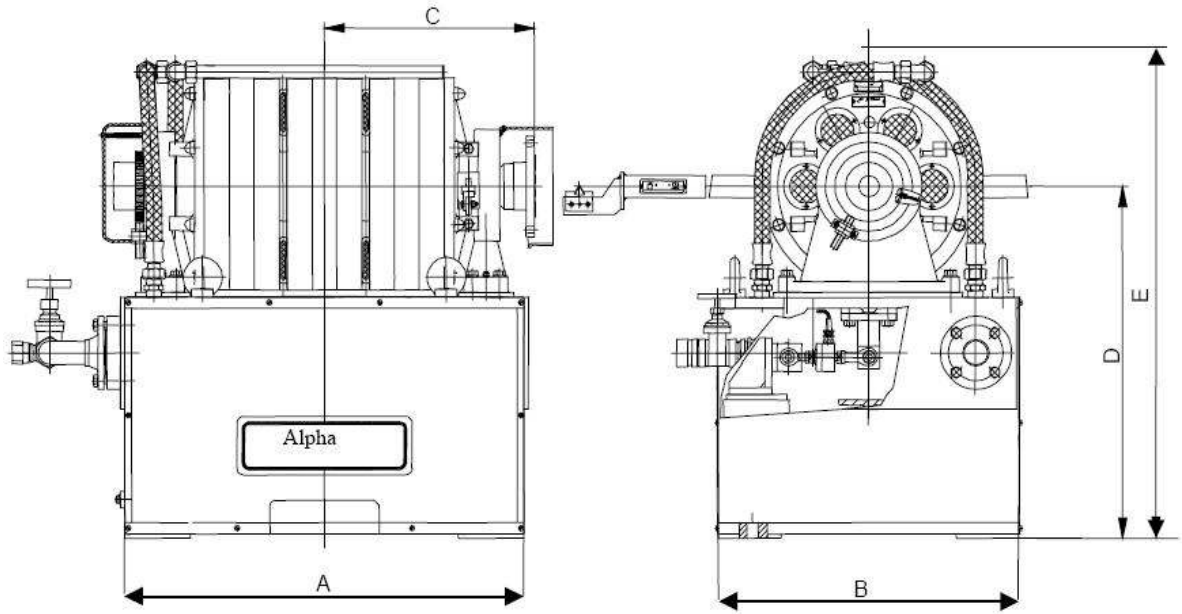
Şekil 2.2. Motor deneylerinde kullanılan düzeneğin şematik gösterimi

### Dinamometre

Dinamometre markası AVL olup, alpha 350 serisidir. Elektrik enerjisi ile çalışan bir dinamometredir. Direkt olarak bobinlere gelen elektrik akımı, gövde içerisinde manyetik alan oluşturur ve bu elektrik akımı yardımıyla rotorda fren etkisi oluştururlur. Tork, gerilme ayarı yük

hücresi kullanılarak ölçülür. Dijital hız göstergesi ise açısal hız ölçümü yapmak için kullanılır. Bu değerlerden test motorunun gücü hesaplanabilir.

Motorun ne kadar yükleneceği setin kontrol paneli EMCON 300 üzerinden ayarlanabilmektedir.



Şekil 2.3. Test dinamometresi

Tablo 2.4. Deneylerde kullandığımız dinamometrenin teknik özellikleri

|                              |                           |
|------------------------------|---------------------------|
| Tip                          | : alpha 350               |
| Mak. Güç (kW)                | : 350 kW                  |
| Mak. Tork (Nm)               | : 1500 Nm                 |
| Mak. Hız (rpm)               | : 8000 – 10000 rpm        |
| Atalet (J/kgm <sup>2</sup> ) | : 2,47 J/kgm <sup>2</sup> |
| Ağırlık (kg)                 | : 1100 kg                 |
| A (mm)                       | : 930 mm                  |
| B (mm)                       | : 700 mm                  |
| C (mm)                       | : 423 mm                  |
| D (mm)                       | : 700 mm                  |
| E (mm)                       | : 1000 mm                 |

Ayrıca dinamometremizin tork değeri %  $\pm 0,2$  toleransla, motor devrini  $\pm 1$  rpm toleransla ölçebilmektedir bu iki değer yardımıyla da motor tarafından üretilen güç değeri bulunur.

### **AVL 733 S Debi ölçer**

Motor test dayanımları ve gövde dinamometreleriyle ilgili araştırmalarda benzin ve dizel motorlarının yakıt tüketimlerinin gravimetrik ölçümünü almaktadır. Yakıt tüketimi tam olarak % 0,12'ye hataya kadar belirlenebilir. Yakıt enjeksiyon sisteminin karışıt basınç titreşimleri duyarsızlığından dolayı kısa ölçüm periyotlarına sahiptir.

### **Sıcaklık algılayıcıları**

**Egzoz sıcaklığı** : Termocouple tipi sıcaklık algılayıcısıdır. Egzoz borusu üzerinde konuşlandırılmıştır. Ölçüm aralığı 0-1000 °C'dir.

**Motor su çıkış sıcaklığı** : Rezistanslı termometre tipi algılayıcıdır. Motor su çıkışı ve eşanjör hattına bağlanmıştır. 0-200 °C ölçüm aralığına sahiptir.

**Motor su giriş sıcaklığı** : Rezistanslı termometre tipi algılayıcıdır. Eşanjör su çıkışı ile motor dönüş hattına bağlıdır. 0-200 °C ölçüm aralığına sahiptir.

**Motor yağ çıkış sıcaklığı** : Rezistanslı termometre tipi algılayıcıdır. Motor yağ çıkışı ile eşanjör hattına bağlanmıştır. 0-200 °C ölçüm aralığına sahiptir.

**Motor yağ giriş sıcaklığı** : Rezistanslı termometre tipi algılayıcıdır. Yağ eşanjörü yağ çıkışı ile motor dönüş hattına bağlanmıştır. 0-200 °C ölçüm aralığına sahiptir.

**Motor yakıt çıkış sıcaklığı** : Rezistanslı termometre tipi algılayıcıdır. Motor ile yakıt eşanjör giriş hattına bağlanmıştır. 0-200 °C ölçüm aralığına sahiptir.

**Motor yakıt giriş sıcaklığı** : Rezistanslı termometre tipi algılayıcıdır. Yakıt eşanjörü ile yakıt motora dönüş hattına bağlanmıştır. 0-200 °C ölçüm aralığına sahiptir.

**Emme hava sıcaklığı** : Rezistanslı termometre tipi algılayıcıdır. Hava filtresi üzerine bağlanmıştır. 0-200 °C ölçüm aralığına sahiptir.

**Turbo hava çıkış sıcaklığı** : Rezistanslı termometre tipi algılayıcıdır. Emme manifoldu üzerine bağlanmıştır. 0-200 °C ölçüm aralığına sahiptir.

**Dinamometre su çıkış sıcaklığı**: Rezistanslı termometre tipi algılayıcıdır. Su tankı sıcak hattı üzerine bağlanmıştır. 0-200 °C ölçüm aralığına sahiptir.

**Dinamometre su giriş sıcaklığı** : Rezistanslı termometre tipi algılayıcıdır. Su tankı soğuk hat üzerine bağlanmıştır. 0-200 °C ölçüm aralığına sahiptir.

**Atmosfer sıcaklığı** : Test odası ortam sıcaklığı ölçümü için kullanılmıştır.

### **Basınç algılayıcıları**

Hemen hepsi strain gauge (strengç) tipi basınç algılayıcılarıdır.

**Yağ basıncı** : Ölçüm noktası motor ana yağ kanalı olup 0-10 bar ölçüm aralığına sahiptir. Sinyal çıkış aralığı 4-20 mA 'dır.

**Turbo basıncı** : Ölçüm noktası emme manifoldu olup 0-2 bar ölçüm aralığına sahiptir. Sinyal çıkış aralığı 4-20 mA 'dır.

**Yakıt basıncı** : Ölçüm noktası yakıt emme hattı olup 0-500 bar ölçüm aralığına sahiptir. Sinyal çıkış aralığı 4-20 mA 'dır.

**Atmosfer basıncı** : Tesis içinde konuşlandırılmıştır, 0,8-1,2 bar ölçüm aralığına sahiptir.

### **Bağıl nem algılayıcısı**

Test odası nem oranını ölçmek için kullanılmıştır. % 40-95 RH ölçüm aralığına sahiptir. Sinyal çıkış aralığı 4-20 mA 'dır.

### **2.2.5. Gaz Analiz Cihazı**

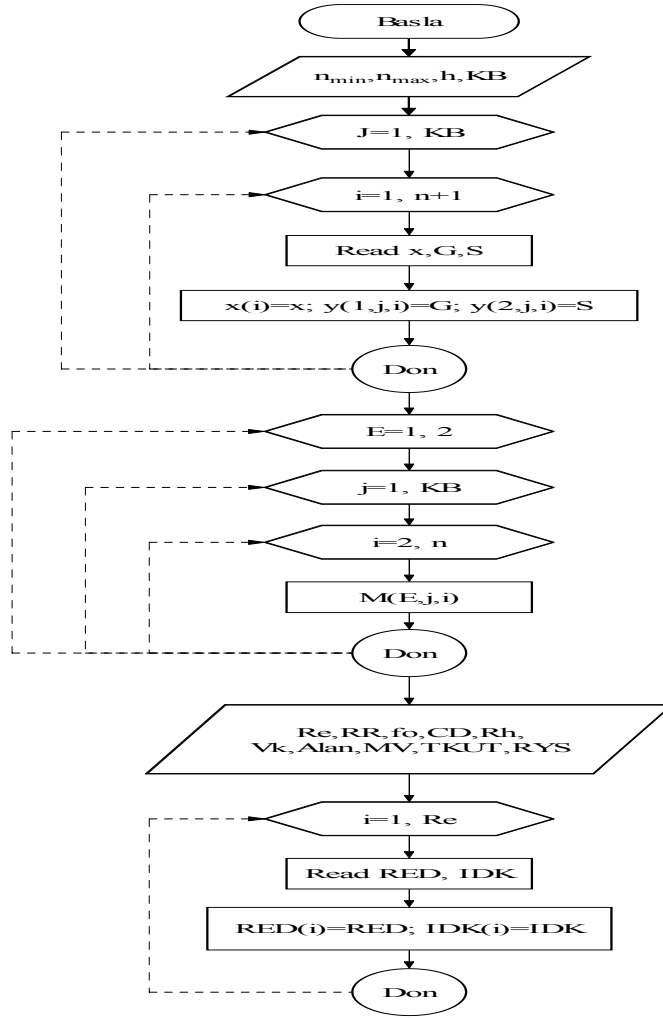
Emisyon analizleri için AVL DiCOM 4000 tipi bir emisyon cihazı kullanılmıştır. Cihaz CO emisyonunu hacimsel olarak %0,01, CO<sub>2</sub> emisyonunu hacimsel olarak %0,1, HC emisyonlarını hacimsel olarak 1 ppm hassasiyette NDIR prensibine göre yapılan ölçümlerle; O<sub>2</sub> emisyonunu hacimsel olarak %0,01 ve NO<sub>x</sub> emisyonunu ise hacimsel olarak 1 ppm hassasiyetle elektro kimyasal ölçümlerle belirleyebilmektedir.

### 2.3. Simülasyon

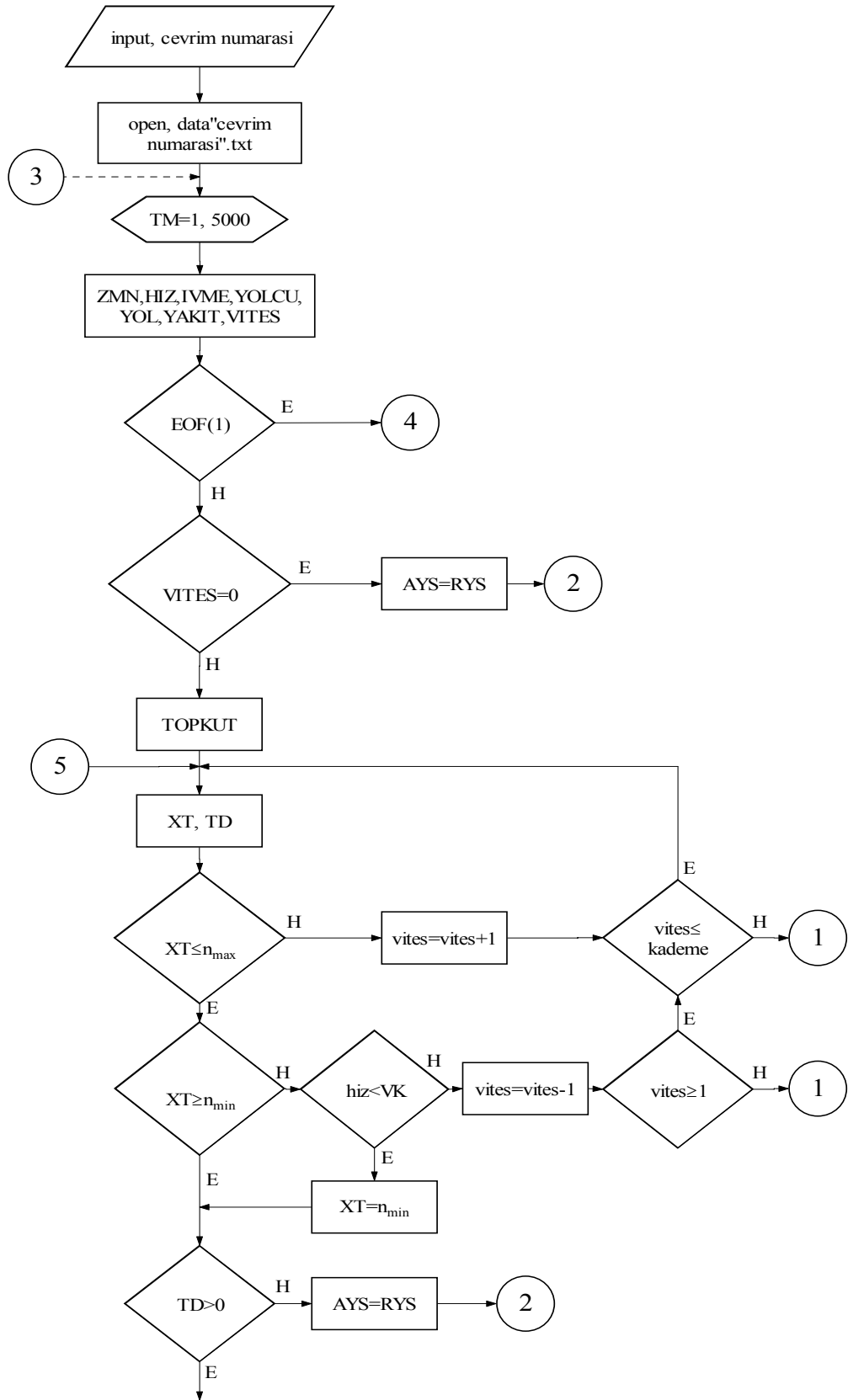
Taşıtın sanal ortamda çalıştırılması için, belirlenen güzergâh üzerinde yapılan ölçümlerden elde edilen ve bir saniye aralıklarla taşıtın güzergâh üzerindeki hız-zaman profilini de içeren veri dosyaları kullanılmıştır. Bu dosyalar hız ve zamana ait bilgiler yanı sıra, araçtaki yolcu sayısı ve aracın kullanıldığı vites kademesine ait bilgileri de içermektedir. Dosyalardaki bilgilere ait açıklama tablo halinde verilmiştir.

Tablo 2.5. Data dosyalarından kaydedilen büyüklükler ve birimleri

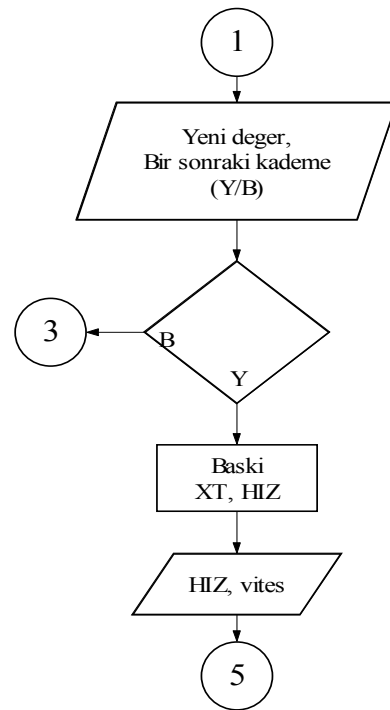
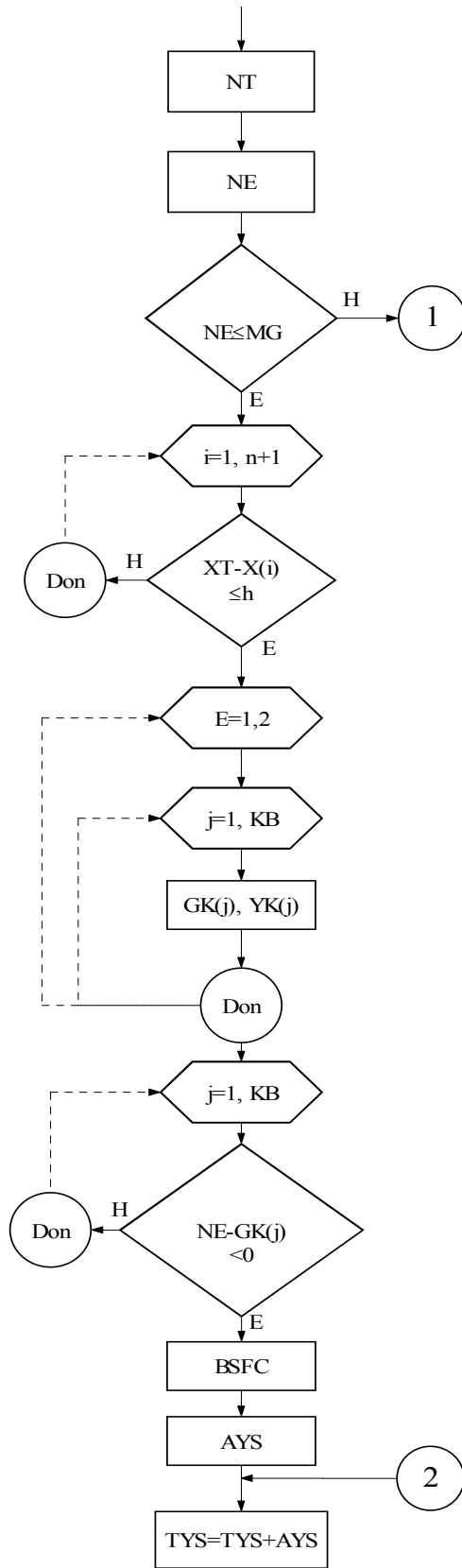
| Süre | Yol | Hız   | İvme                | Yolcu  | Yakıt              | Vites    |
|------|-----|-------|---------------------|--------|--------------------|----------|
| (s)  | (m) | (m/s) | (m/s <sup>2</sup> ) | (kişi) | (cm <sup>3</sup> ) | (kademe) |

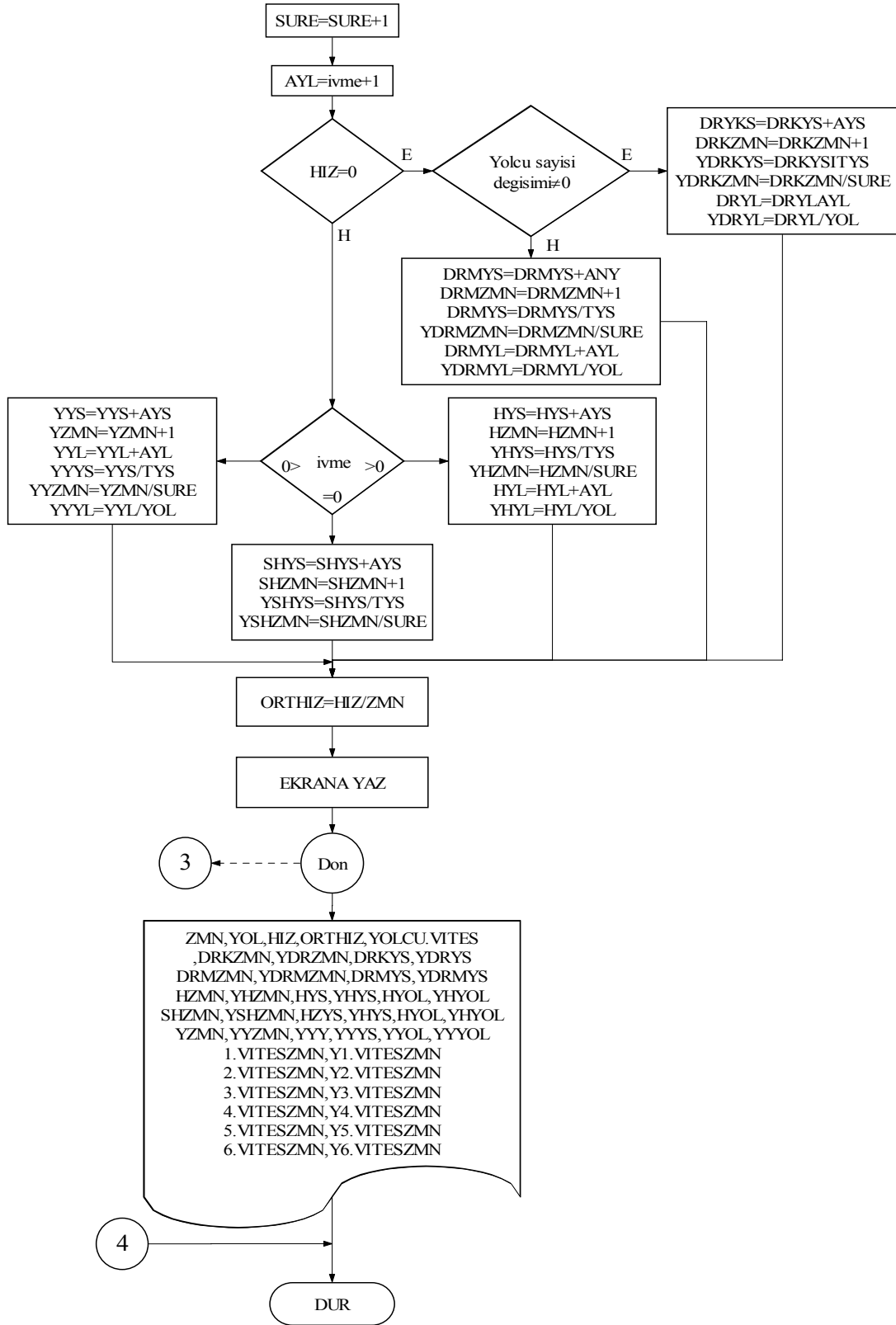


Şekil 2.4. Deneylerde kullanılan programın akış şeması (Özkan,1997)









Şekil 2.5. Programdan alınan sonuçlar (Özkan,1997)

### 2.3.1. Çalışmada Kullanılan Program Girdileri

Bu bölümde çalışmada kullanılan eşitlikler ve bu eşitliklerde yer alan sabit değerler ile değişkenlere ait bilgiler verilmiştir.

Tablo 2.6. 20 nolu seferin ilk 31 saniyesine ait örnek veriler (Özkan,1997).

| Süre<br>(s) | Yol<br>(m) | Hız<br>(m/s) | İvme<br>(m/s <sup>2</sup> ) | Yolcu<br>(kişi) | Yakıt<br>(cm <sup>3</sup> ) | Vites<br>(kademe) |
|-------------|------------|--------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|-------------------|
| 0           | 0          | 0            | 0                           | 38              | 0                           | 0                 |
| 1           | 0          | 0            | 0                           | 38              | 0                           | 0                 |
| 2           | 0          | 0            | 0                           | 38              | 0                           | 0                 |
| 3           | 0          | 0            | 0                           | 38              | 0                           | 0                 |
| 4           | 0          | 0            | 0                           | 38              | 0                           | 0                 |
| 5           | 0          | 0            | 0                           | 38              | 3                           | 0                 |
| 6           | 0          | 0            | 0                           | 38              | 3                           | 0                 |
| 7           | 0          | 0            | 0                           | 38              | 3                           | 0                 |
| 8           | 0          | 0            | 0                           | 38              | 6                           | 0                 |
| 9           | 0          | 0            | 0                           | 38              | 6                           | 0                 |
| 10          | 0          | 0            | 0                           | 38              | 6                           | 0                 |
| 11          | 0.1        | 1            | 0.3                         | 38              | 9                           | 2                 |
| 12          | 0.5        | 2.1          | 0.3                         | 38              | 9                           | 2                 |
| 13          | 1.2        | 2.6          | 0.1                         | 38              | 9                           | 2                 |
| 14          | 1.8        | 2.1          | -0.1                        | 38              | 9                           | 2                 |
| 15          | 2.3        | 1.6          | -0.2                        | 38              | 9                           | 2                 |
| 16          | 2.6        | 1.2          | -0.1                        | 38              | 12                          | 2                 |
| 17          | 3          | 1.7          | 0.1                         | 38              | 12                          | 2                 |
| 18          | 3.6        | 2.6          | 0.2                         | 38              | 12                          | 2                 |
| 19          | 4.4        | 2.7          | 0                           | 38              | 12                          | 2                 |
| 20          | 5.2        | 2.9          | 0                           | 38              | 15                          | 2                 |
| 21          | 5.9        | 2.3          | -0.1                        | 38              | 15                          | 2                 |
| 22          | 6.5        | 2.1          | -0.1                        | 38              | 15                          | 2                 |
| 23          | 7          | 1.9          | -0.1                        | 38              | 15                          | 2                 |
| 24          | 7.7        | 2.7          | 0.2                         | 38              | 15                          | 2                 |
| 25          | 8.5        | 3            | 0.1                         | 38              | 15                          | 2                 |
| 26          | 9.3        | 2.8          | 0                           | 38              | 18                          | 2                 |
| 27          | 10.1       | 2.7          | 0                           | 38              | 18                          | 2                 |
| 28          | 10.8       | 2.7          | 0                           | 38              | 18                          | 2                 |
| 29          | 11.7       | 4.1          | 0.4                         | 38              | 18                          | 2                 |
| 30          | 13.2       | 5.8          | 0.5                         | 38              | 18                          | 2                 |
| 31          | 15         | 7.5          | 0.5                         | 38              | 18                          | 2                 |

### **2.3.2 Program Çıktıları**

Taşıtın seyir şartları,

1-Durma

a) Durakta

b) Trafikte

2-Hızlanma

3-Sabit Hız

4-Yavaşlama

olarak dört grupta toplanmıştır.

Seyir esnasında tüketilen yakıt, alınana yol ve geçen süre bu grupta dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Her bir seyir grubu için sonuçlar gerek birimleri ile gerekse yüzde olarak programdan alınmıştır.

### **2.3.3. Güzergahın Tanıtılması**

#### **2.3.3.1. Güzergah Özellikleri**

Ölçümler Üç şehitler-Eminönü semtleri arasında yapılmıştır. Üç şehitler, genelde yerleşim amaçlı kullanılan bir semttir. Eminönü, iş merkezi olmakla birlikte şehrin diğer noktalarına ulaşmak için kullanılan merkezlerdendir. Üç şehitler-Eminönü yolu 7,5 (km) uzunluğunda olup 14 durak bulunmaktadır. Eminönü-Üç şehitler yolu 6,3 (km) uzunluğundadır ve 10 durak bulunmaktadır. Güzergah, kıyı şeridini izlemektedir ve genelde düzdür. Zemin kaplaması asfalttır. Eminönü-Üç şehitler istikametinde, 335, 1515, 1770, 1900, 2280, 2800, 3280, 3811, 4130 ve 5080'nci metrelerde trafik ışıkları bulunmaktadır.

#### **2.3.3.2. Durak Mesafeleri**

Tablo 2.7. Eminönü-Üç şehitler güzergahındaki duraklar ve başlangıç noktasına olan uzaklıkları. (Özkan,1997)

| No | Durak Adı      | Mesafe (m) |
|----|----------------|------------|
|    | Eminönü        | 0          |
| 1  | Unkapanı       | 1090       |
| 2  | Ayakapı        | 1900       |
| 3  | Fener          | 2290       |
| 4  | Balat          | 2860       |
| 5  | Ayvansaray     | 3650       |
| 6  | Defterdar      | 4306       |
| 7  | K.Mescid Camii | 4894       |
| 8  | Eyüp           | 5224       |
| 9  | Tahta Minare   | 5580       |
| 10 | İslam Bey      | 5750       |
| 11 | Üç şehitler    | 6300       |

Tablo 2.8. Üç şehitler-Eminönü güzergahındaki duraklar ve başlangıç noktasına olan uzaklıkları. (Özkan,1997)

| No | Durak Adı       | Mesafe (m) |
|----|-----------------|------------|
|    | Üç şehitler     | 0          |
| 1  | İslam bey       | 510        |
| 2  | Tahta Minare    | 740        |
| 3  | Eyüp Stadı      | 1073       |
| 4  | K.Mescid Camii  | 1444       |
| 5  | Defterdar       | 1970       |
| 6  | Ayvansaray      | 2574       |
| 7  | Balat           | 3240       |
| 8  | Köprübaşı       | 3470       |
| 9  | Fener           | 3918       |
| 10 | Ayakapı         | 4510       |
| 11 | Unkapanı        | 5087       |
| 12 | Azapkapı        | 6200       |
| 13 | Perşembe Pazarı | 6350       |
| 14 | Karaköy         | 6815       |
| 15 | Eminönü         | 7587       |

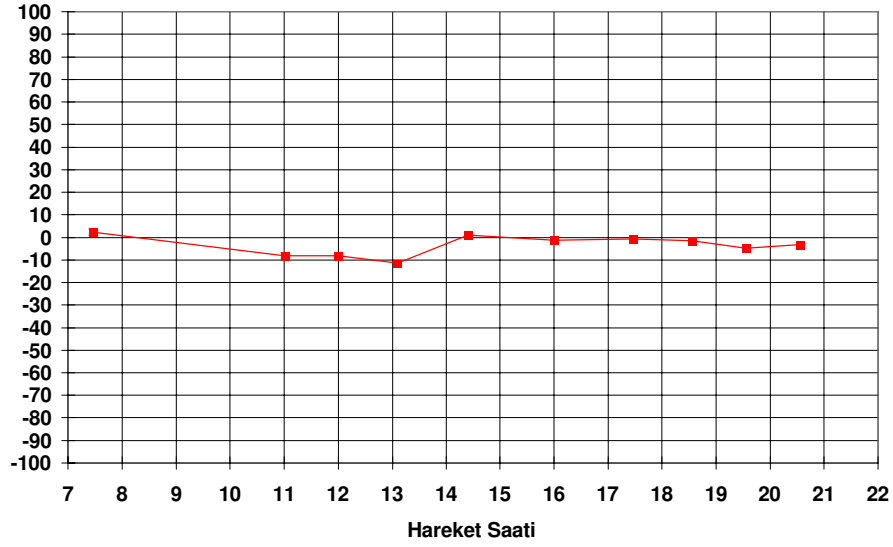
Tablo 2.9. Sefer başlama saatlerine göre seferlerin numaralandırılması. (Özkan,1997)

| Üç Şehitler - Eminönü |          |
|-----------------------|----------|
| Sefer başlama saati   | Sefer No |
| 07:45                 | 1        |
| 08:55                 | 3        |

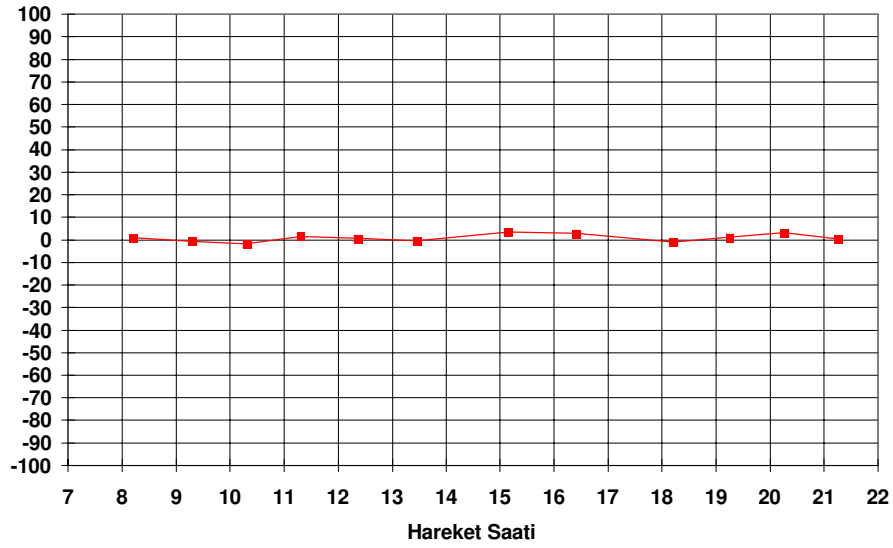
|       |    |
|-------|----|
| 10:00 | 5  |
| 11:00 | 7  |
| 12:00 | 9  |
| 13:10 | 11 |
| 14:40 | 13 |
| 16:00 | 15 |
| 17:45 | 17 |
| 18:55 | 19 |
| 19:55 | 21 |
| 20:55 | 23 |

Tablo 2.10. Eminönü - Üç Şehitler yönünde sefer başlama saatlerine göre seferlerin numaralandırılması. (Özkan,1997)

| Eminönü - Üç Şehitler |          |
|-----------------------|----------|
| Sefer başlama saati   | Sefer No |
| 08:20                 | 2        |
| 09:30                 | 4        |
| 10:30                 | 6        |
| 11:30                 | 8        |
| 12:35                 | 10       |
| 13:45                 | 12       |
| 15:15                 | 14       |
| 16:40                 | 16       |
| 18:20                 | 18       |
| 19:25                 | 20       |
| 20:25                 | 22       |
| 21:25                 | 24       |



Şekil 2.6. Üç şehitler-Eminönü güzergahı, sefer başlama saatlerine göre ölçülen ve hesaplanan yakıt tüketimleri arasındaki hata seyri (Özkan,1997)



Şekil 2.7. Eminönü-Üç şehitler güzergahı, sefer başlama saatlerine göre ölçülen ve hesaplanan yakıt tüketimleri arasındaki hata seyri (Özkan,1997)

Tablo 2.11. Çevrimin genel özellikleri

| Sefer numaralası | Ortalama hız (km/h) | Maksimum hızlanma ivmesi (m/s <sup>2</sup> ) | Ortalma Hızlanma İvmesi (m/s <sup>2</sup> ) | Maksimum yavaşlama ivmesi (-m/s <sup>2</sup> ) | Ortalama yavaşlama ivmesi (-m/s <sup>2</sup> ) |
|------------------|---------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1                | 15,912              | 1,3                                          | 0,447                                       | 1,4                                            | 0,405                                          |

|    |        |     |       |     |       |
|----|--------|-----|-------|-----|-------|
| 2  | 19,597 | 1,6 | 0,483 | 2,3 | 0,421 |
| 4  | 21,85  | 1,3 | 0,341 | 1,6 | 0,333 |
| 6  | 21,742 | 1,5 | 0,463 | 1,5 | 0,344 |
| 7  | 16,25  | 1,4 | 0,46  | 2   | 0,435 |
| 8  | 19,305 | 1,5 | 0,473 | 1,8 | 0,366 |
| 9  | 15,907 | 1,4 | 0,447 | 2,1 | 0,43  |
| 10 | 22,812 | 1,5 | 0,442 | 1,4 | 0,434 |
| 11 | 16,422 | 1,4 | 0,413 | 1,6 | 0,389 |
| 12 | 23,813 | 1,5 | 0,51  | 2   | 0,415 |
| 13 | 15,614 | 1,5 | 0,505 | 2,1 | 0,415 |
| 14 | 20,897 | 1,5 | 0,497 | 2,1 | 0,435 |
| 15 | 14,88  | 1,6 | 0,47  | 2,2 | 0,44  |
| 16 | 19,73  | 1,4 | 0,466 | 2,3 | 0,456 |
| 17 | 18,913 | 1,5 | 0,452 | 1,4 | 0,346 |
| 18 | 18,495 | 1,4 | 0,404 | 1,8 | 0,39  |
| 19 | 19,468 | 1,5 | 0,448 | 1,4 | 0,438 |
| 20 | 17,352 | 1,5 | 0,475 | 2   | 0,406 |
| 21 | 21,337 | 1,5 | 0,486 | 2,1 | 0,406 |
| 22 | 24,961 | 1,6 | 0,613 | 2,1 | 0,652 |
| 23 | 24,794 | 1,6 | 0,533 | 2,4 | 0,57  |
| 24 | 27,093 | 1,6 | 0,558 | 2,4 | 0,576 |

### 3. MOTOR DENEYLERİ

Araştırmalar için yapılan deneyde, test motoru kısmında da bahsedildiği gibi MAN D 2566 MUH motoru kullanıldı. Bu motor direk püskürtmeli ve turbo beslemeli olup silindir hacmi 11.410 cm<sup>3</sup> tür. Yapılan deneylerde motor devri 800 d/d dan başlanarak 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000 ve 2200 devirlerde sabit tutularak gaz kolunun ayarlanması yoluyla 10-25-50 KW güç adımlarından sonra 25 KW artırılarak ve her devir için maksimum güç değerlerinde ölçülen değerler kaydedilmiştir.

Bu test esnasında kullanılan motorun teknik özelliklerinde ve ayarlarında hiçbir değişiklik yapılmadan Diesel ve Biodiesel için testler yapılmış olup bu şekilde hali hazırda kullanılan motorlar üzerinde hiçbir modifikasyona gidilmeden biodiesel kullanılması durumunda motorun sergileyeceği performans değerleri ve üreteceği emisyonların ölçülmesine çalışılmıştır.

Her iki yakıt için de motor rejim sıcaklığına (~65°C) ulaştıktan sonra ölçümlere başlanmıştır. Diesel yakıtı ile yapılan deneylerde ilk değerler 800d/d motor hızı için alınmış ve daha

sonrasında 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000 ve 2200d/d motor hızları için tekrarlanmıştır. Motorun yükü kontrol paneli üzerinden ayarlanmıştır.

Değerlerin alınmasında evvel motorun belirlenen motor hızlarında kararlı olarak kalabilmesine dikkat edilmiştir. Ölçümler yapılırken kontrol panelinden alınan değerler bilgisayar tarafından toplanmış ve kaydedilmiştir, emisyon cihazından okunan değerler ise öncelikle video kamera ile kaydedildikten sonra bilgisayar ortamına veri olarak aktarılmıştır.

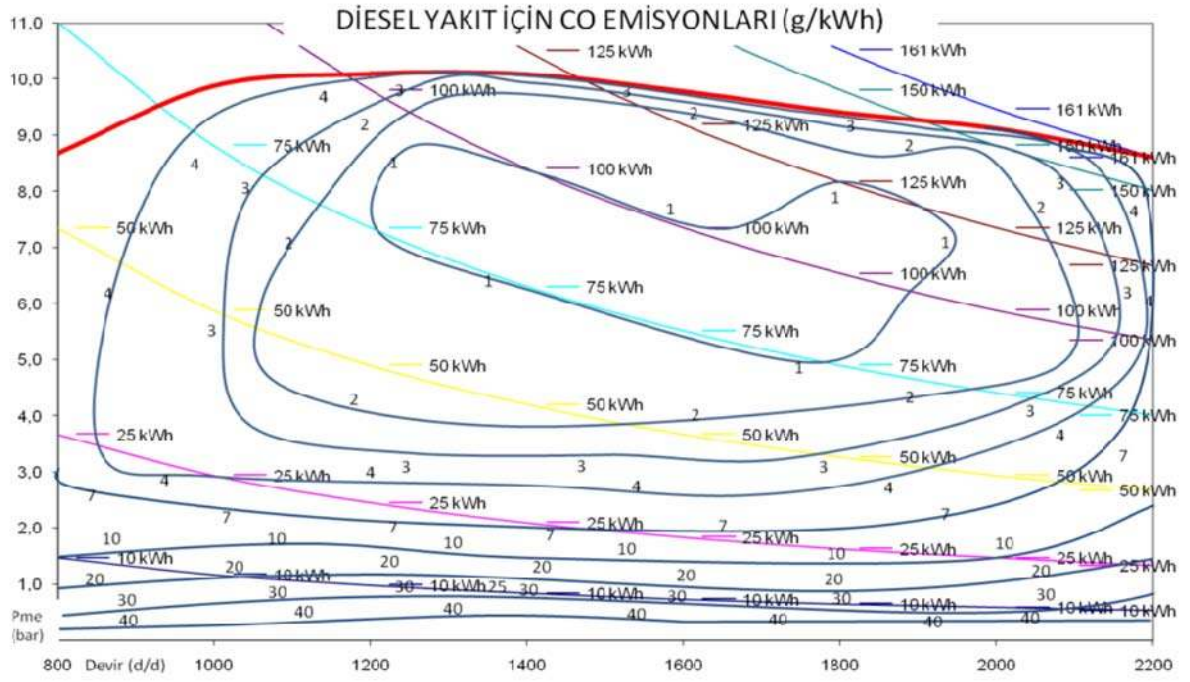
Daha sonrasında yakıt tankı bağlantısı biodiesel tankı ile değiştirilmiş ve benzer işlemler tekrarlanmıştır.

## **4. DENEY SONUÇLARI**

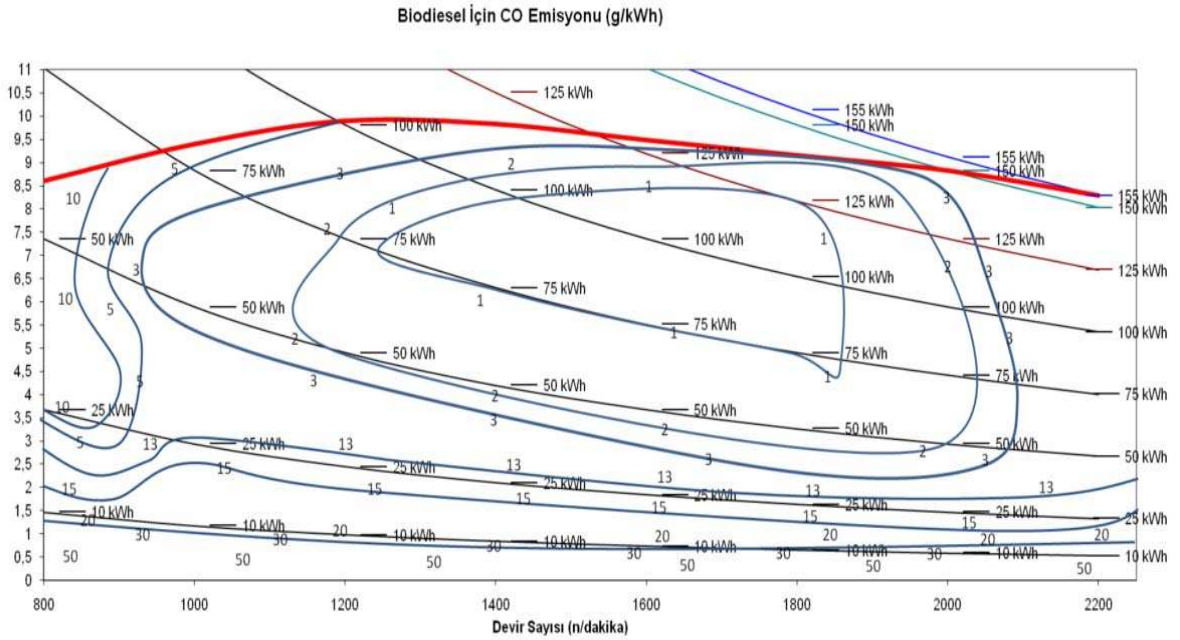
### **4.1.Performans Haritaları**

#### **4.1.1. CO Emisyonları**

Performans deneyi sonuçlarına göre normal motorda diesel yerine biodiesel kullanımı ile düşük devirlerde CO emisyonunda bir miktar artış gözlenmiştir bunun nedeni biodieselin sahip olduğu yüksek viskozite değerleri nedeniyle yaşanan pulvarizasyon problemleri olabilir. Ancak yüksek devir değerlerinde (özellikle 1600 d/d değerinden sonra) artan hava hareketlerine turbo verimliliğinin yükselmesi de eklenince CO emisyonu üretimlerinde önemli düşüşler gözlenmiştir.



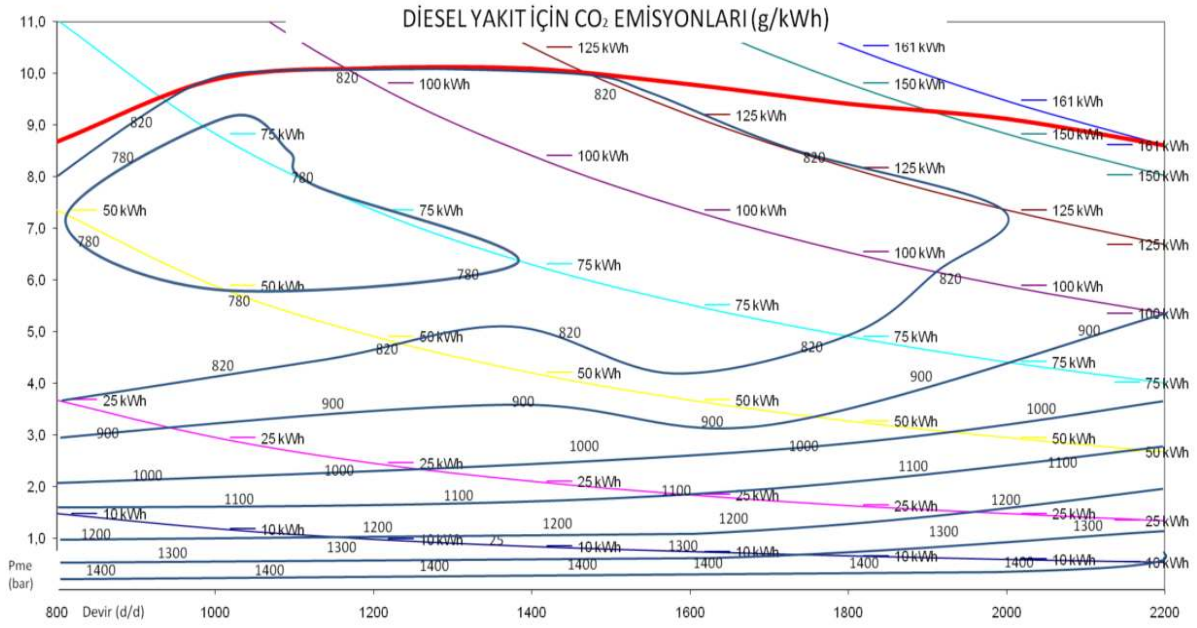
Şekil 4.1. Diesel yakıt için CO emisyonları (g/kWh)



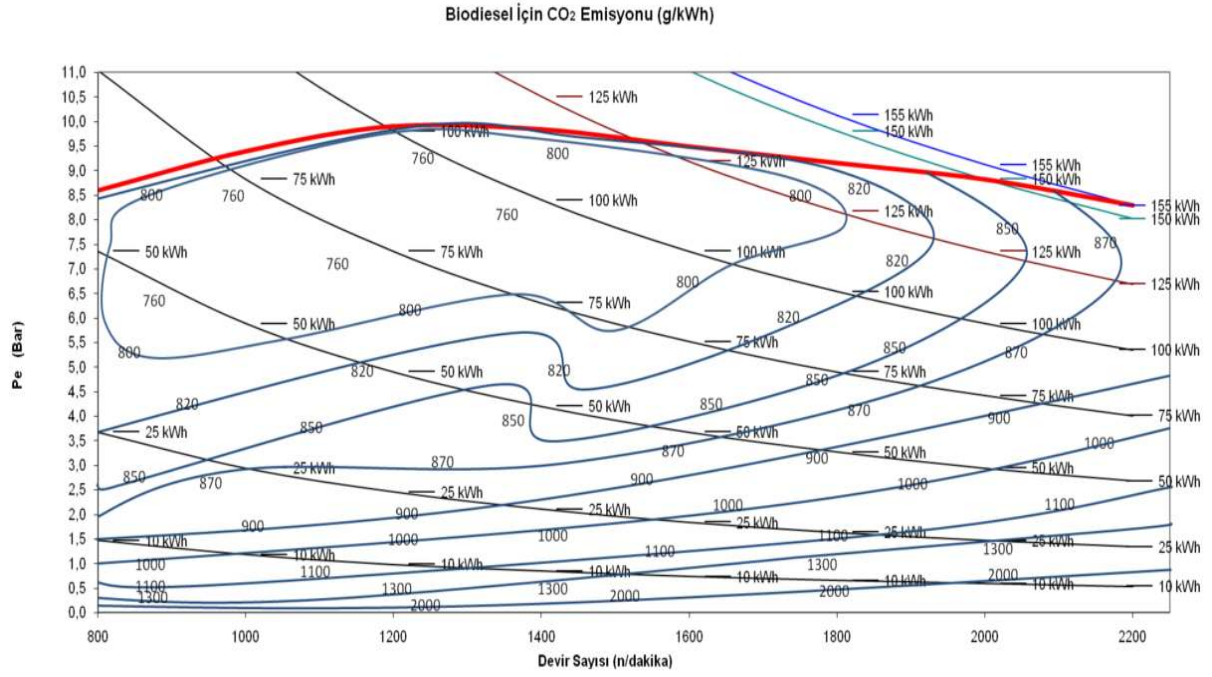
Şekil 4.2. Biodiesel yakıt için CO emisyonları (g/kWh)

#### 4.1.2. CO<sub>2</sub> Emisyonları

Gene yapılan ölçümler neticesinde CO<sub>2</sub> emisyonu üretiminde hemen hemen her güç ve devir kademesinde motorda biodiesel kullanılması ile azalmalar görülmüştür bunun nedeni Bunun nedeni biodieselin düşük karbonlu bir yakıt olması ve karbon hidrojen oranının Diesel yakıtına göre daha düşük oluşudur. Bunun sonucu olarak biodiesel yandığında klasik Diesel yakıtına oranla daha az CO<sub>2</sub> emisyonu üretmektedir.



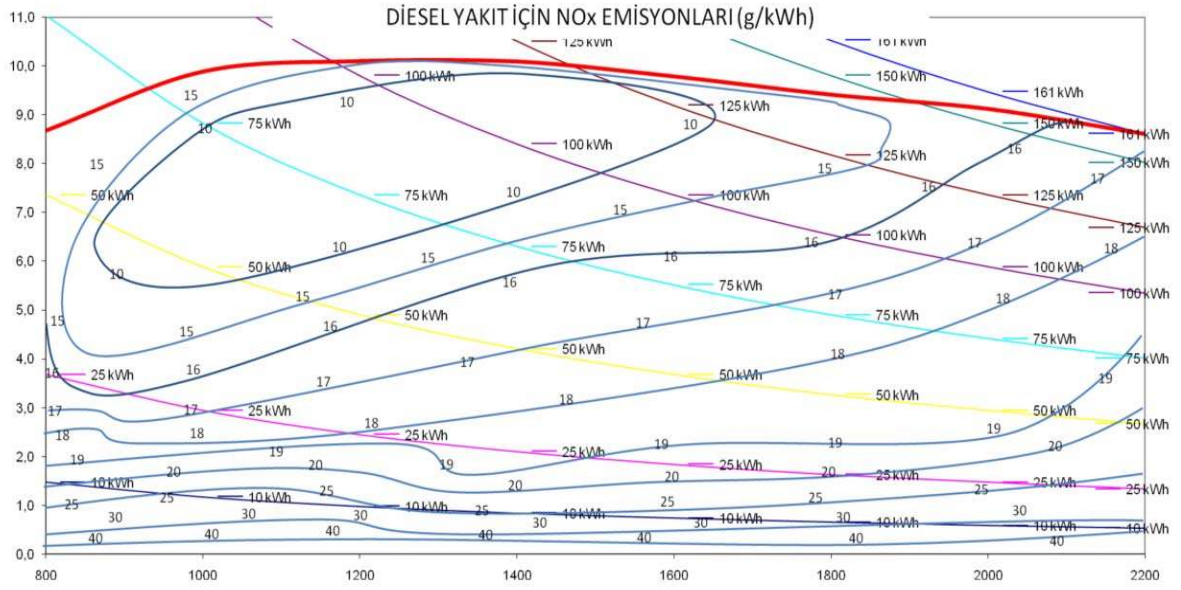
Şekil 4.3. Diesel yakıt için CO<sub>2</sub> emisyonları (g/kWh)



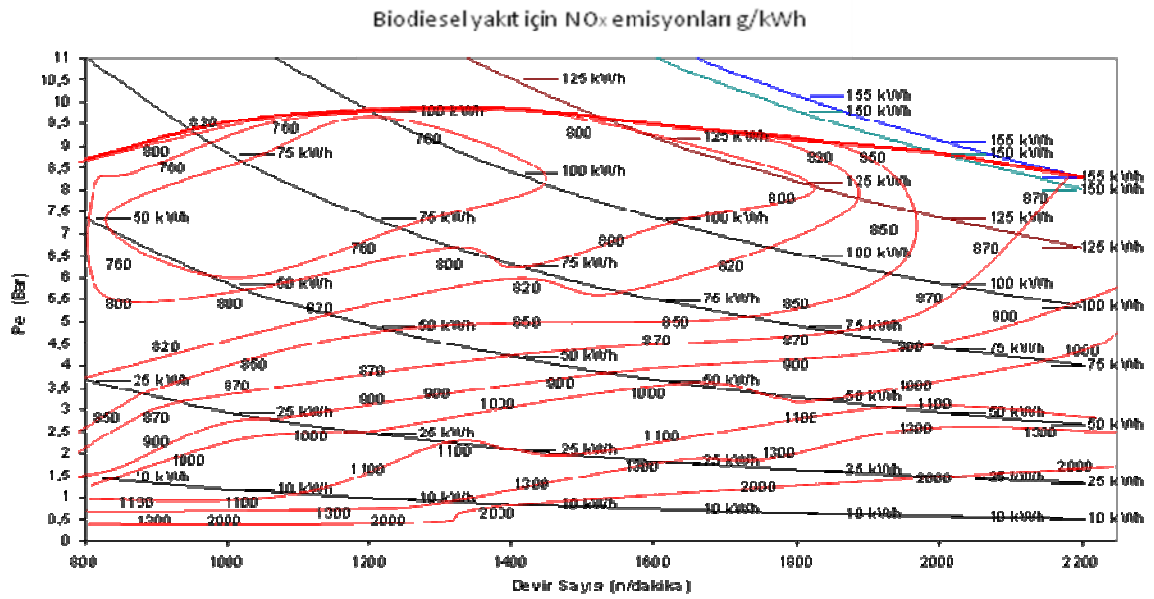
Şekil 4.4. Biodiesel yakıt için CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı (g/kWh)

#### 4.1.3. NO<sub>x</sub> Emisyonları

NO<sub>x</sub> emisyonlarında ise biodiesel kullanılması ile bir miktar artış gözlenmiştir. Bunun nedeni yanmanın NO<sub>x</sub> oluşumunu destekleyecek yönde ilerlemesi olabilir.



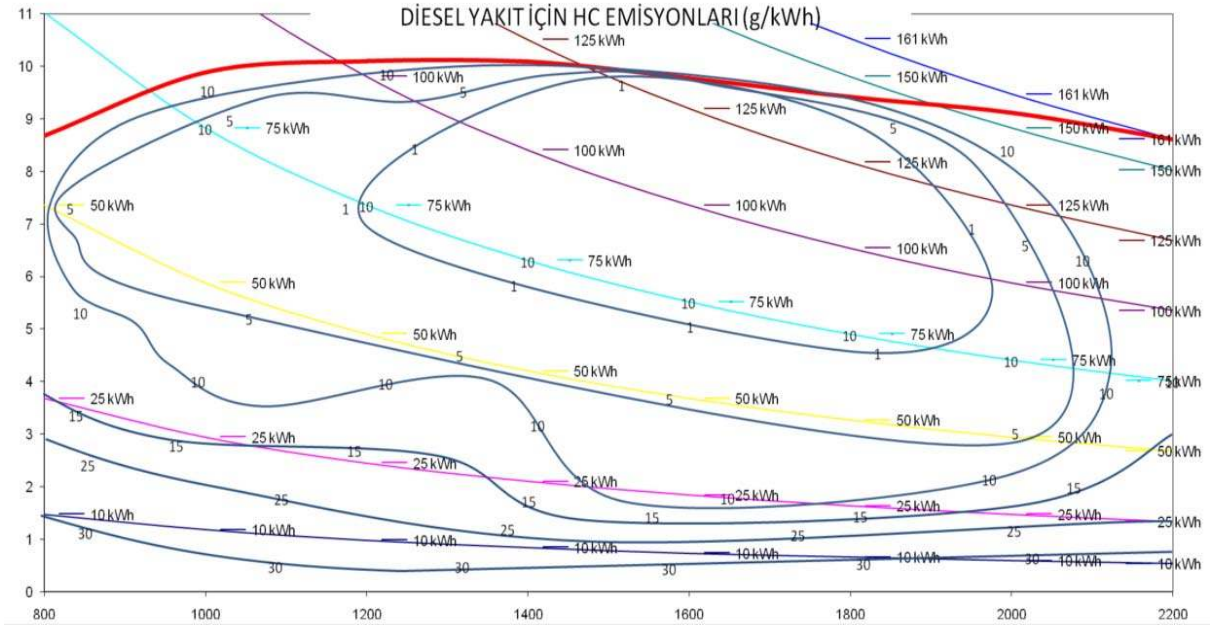
Şekil 4.5. Diesel yakıt için NO<sub>x</sub> emisyonları (g/kWh)



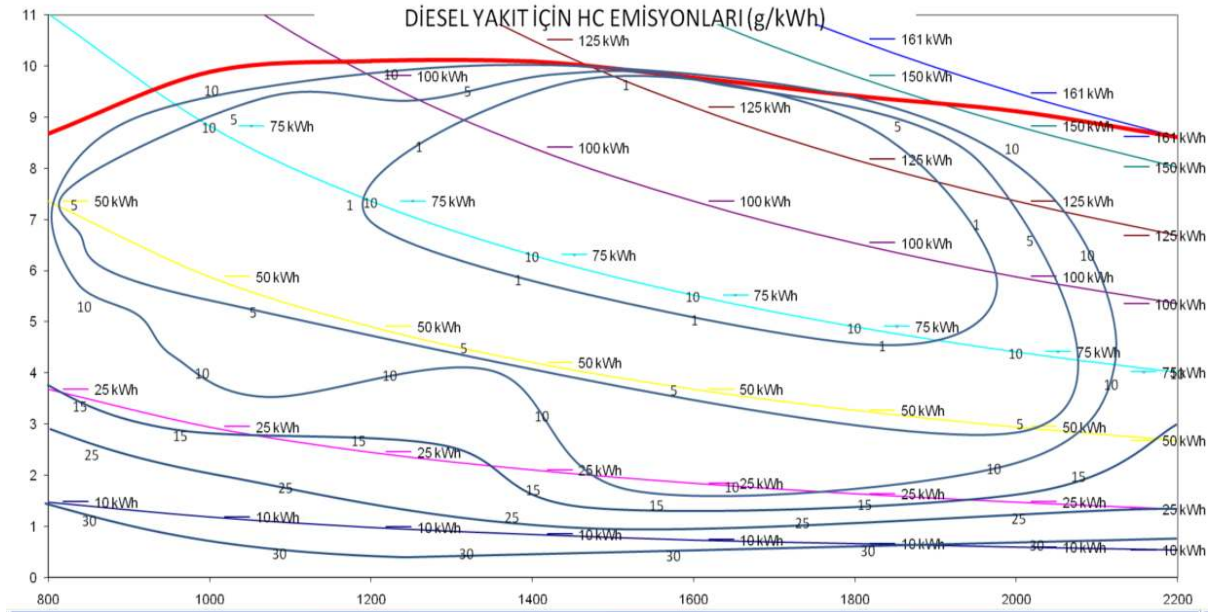
Şekil 4.6. Biodiesel yakıt için NO<sub>x</sub> emisyonları (g/kWh)

#### 4.1.4. HC Emisyonları

HC emisyonları açısından deneysel sonuçlar incelendiğinde, HC emisyonlarında görülen düzensiz değişimler, yüksek sıcaklık sebebiyle ölçüm malzemelerinde (plastik boru v.b gibi) meydana gelen bozulmalar sonucunda HC emisyonunu etkileyecek malzeme yapısından ayrılan partiküllerin etkisi düşünülebilir. Ayrıca bir miktar HC molekülünün is partiküllerinin üzerine yapışarak değişik devir ve sıcaklık etkisiyle bazen belirlenemeden atılması bazen de is partikülleri üzerinden ayrışıp belirlenmesi neticesinde farklı sonuçlar çıkmasına sebep olduğu söylenebilir. Simülasyon sonuçlarında da deneysel sonuçlara bağlı olarak düzensiz değişimler göze çarpmaktadır. Bu açıklamalar sonrasında deneylerde yapılan ölçümler neticesinde HC emisyonlarında bir miktar yükselme tespit edilmiştir.



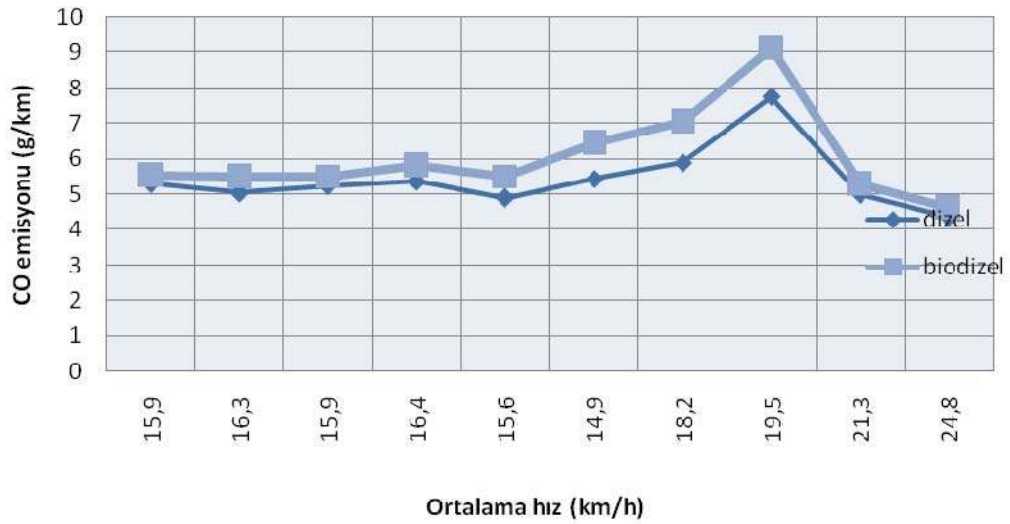
Şekil 4.7. Diesel yakıt için HC emisyonları (g/kWh)



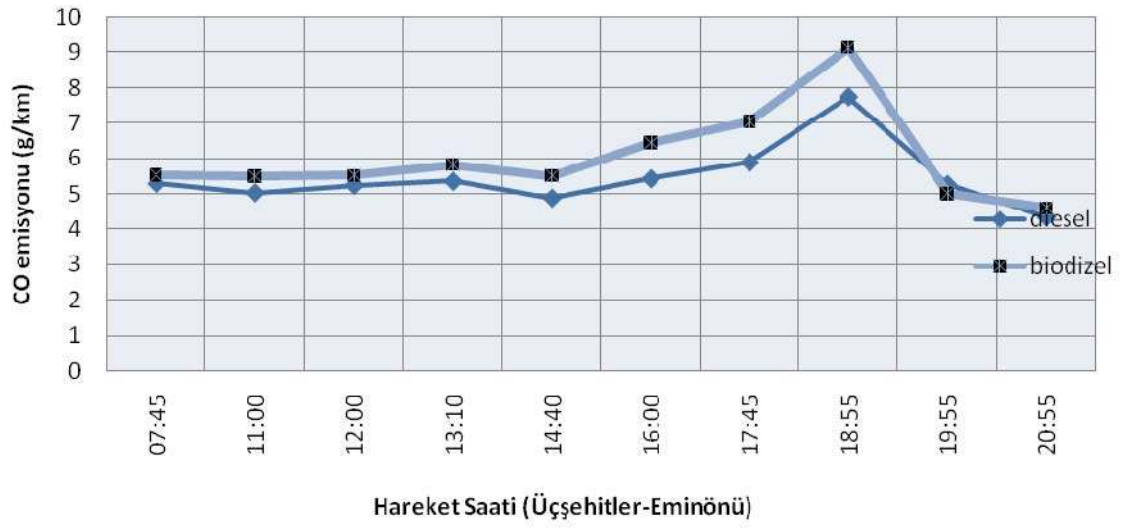
Şekil 4.8. Biodiesel yakıt için HC emisyonları (g/kWh)

## 4.2. Simülasyon Sonuçları

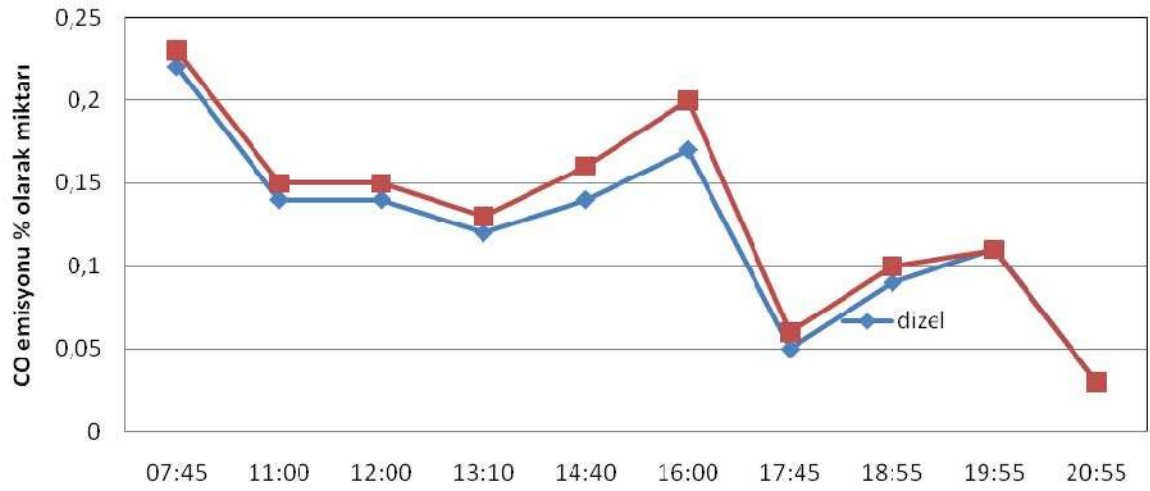
### 4.2.1. CO Emisyonları



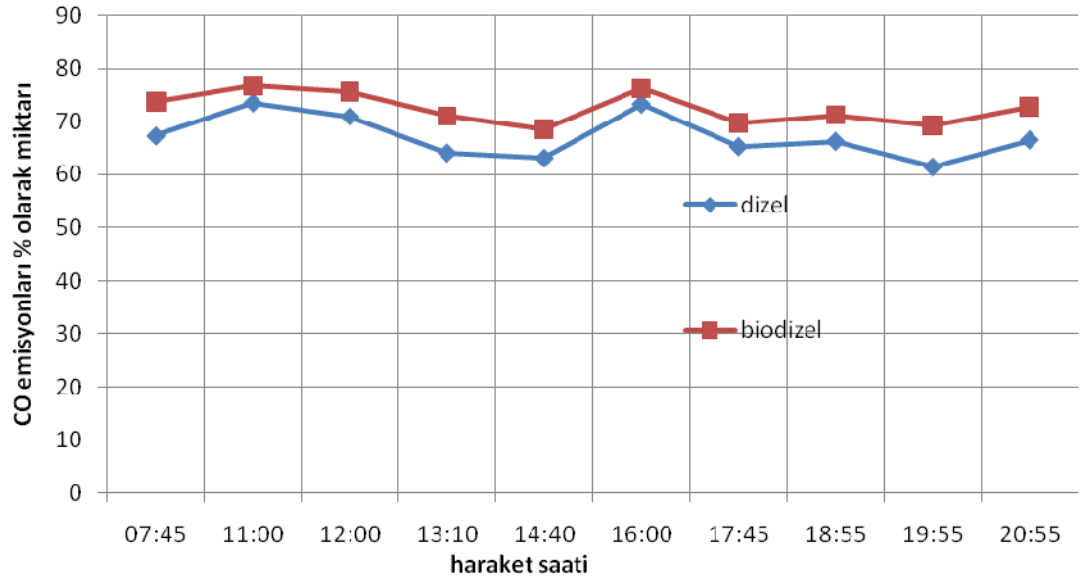
Şekil 4.9. Ortalama hıza göre CO emisyonları (g/km) Üçşhitler-Eminönü



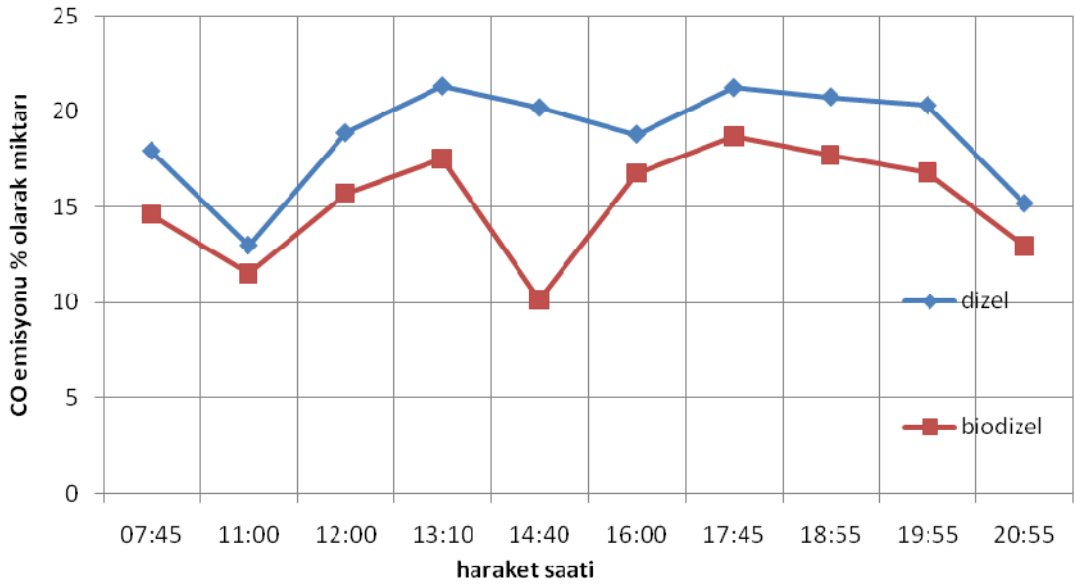
Şekil 4.10. Hareket saatine göre CO emisyonları (g/km) Üç şehitler- Eminönü



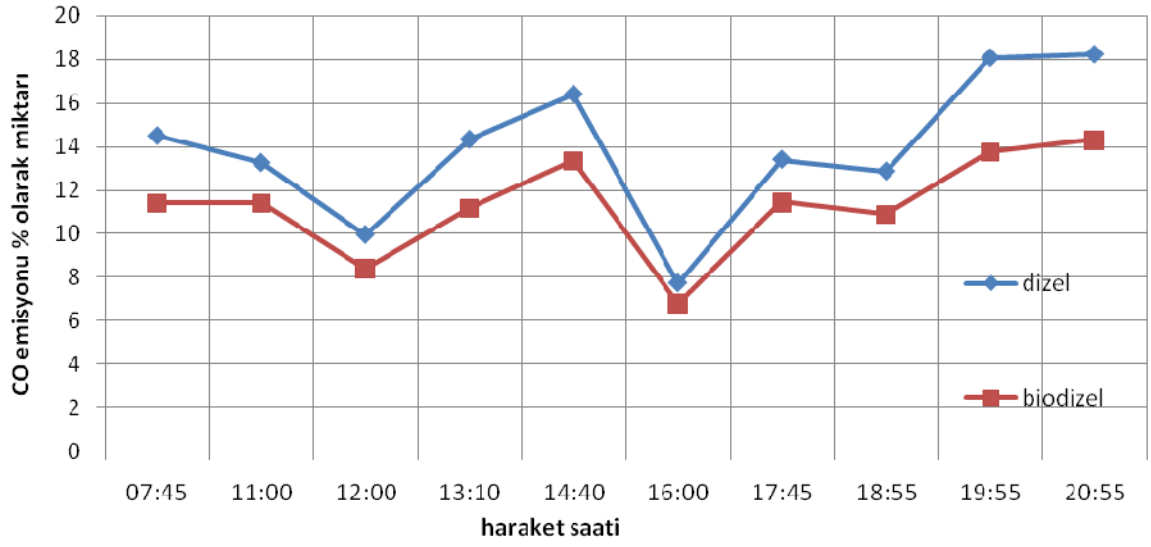
Şekil 4.11. Duraklama anları için % olarak CO emisyonu miktarı Üçşehitler-Eminönü



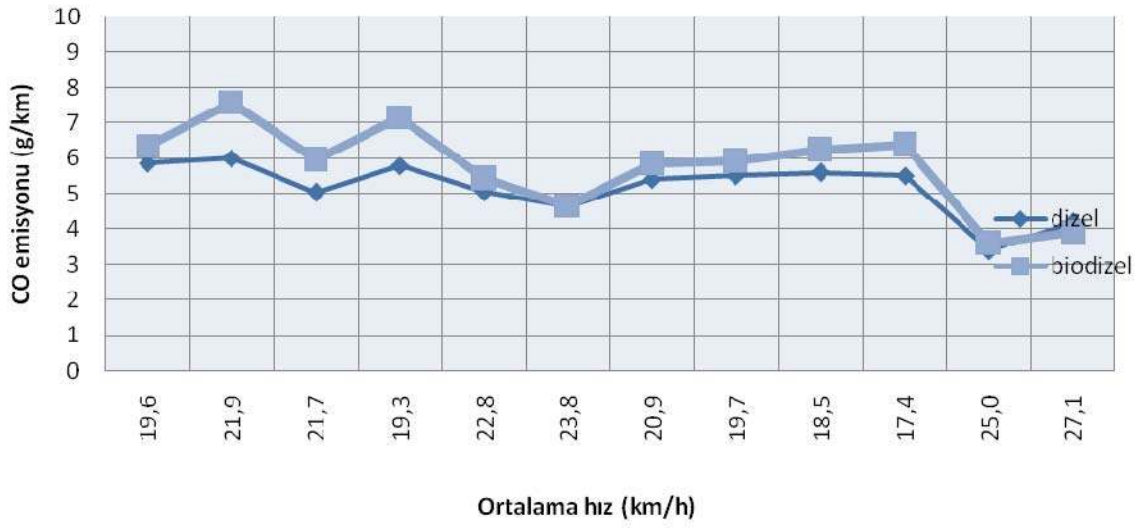
Şekil 4.12. Hızlanma için % olarak CO emisyonu miktarı Üçşehitler-Eminönü



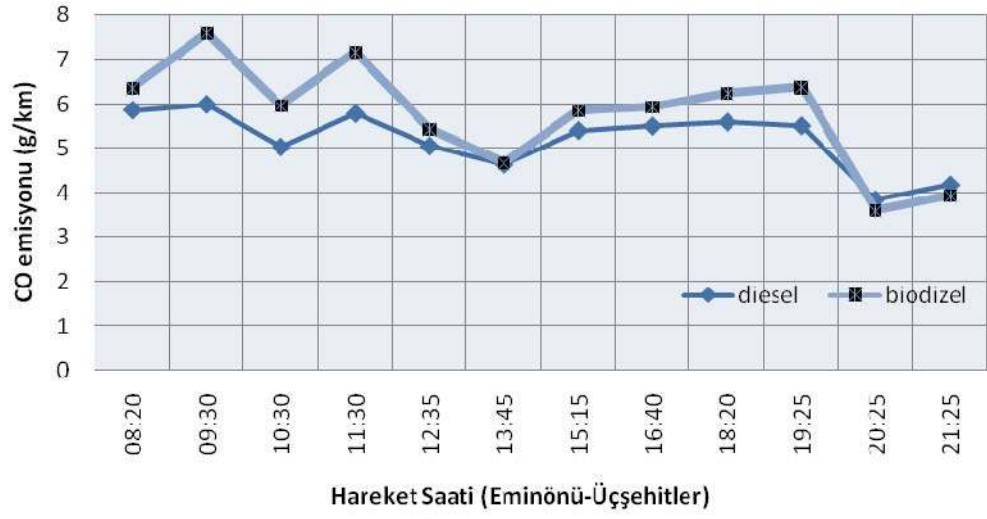
Şekil 4.13. Sabit hız için % olarak CO emisyonu miktarı Üçşehitler-Eminönü



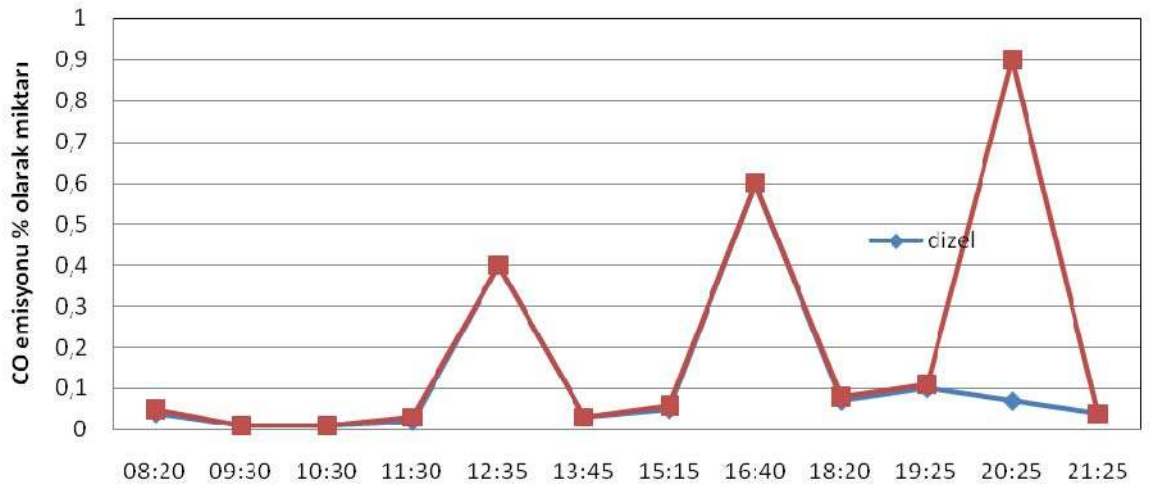
Şekil 4.14. Yavaşlama için % olarak CO emisyonu miktarı Üçşehitler-Eminönü



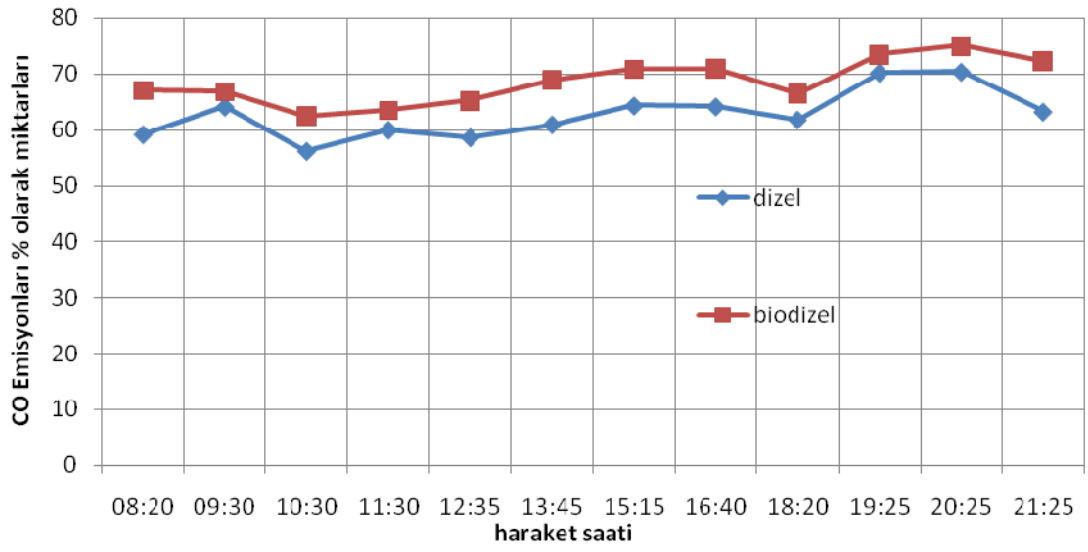
Şekil 4.15. Ortalama hıza göre CO emisyonu (g/km) Eminönü-Üçşehitler



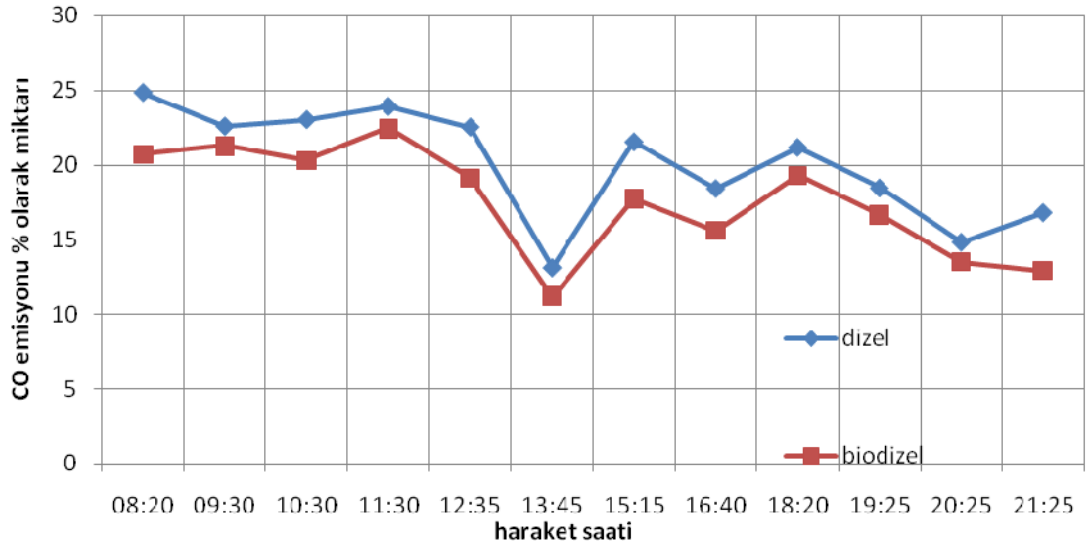
Şekil 4.16. Hareket saatine göre CO emisyonları (g/km) Eminönü-Üçşehitler



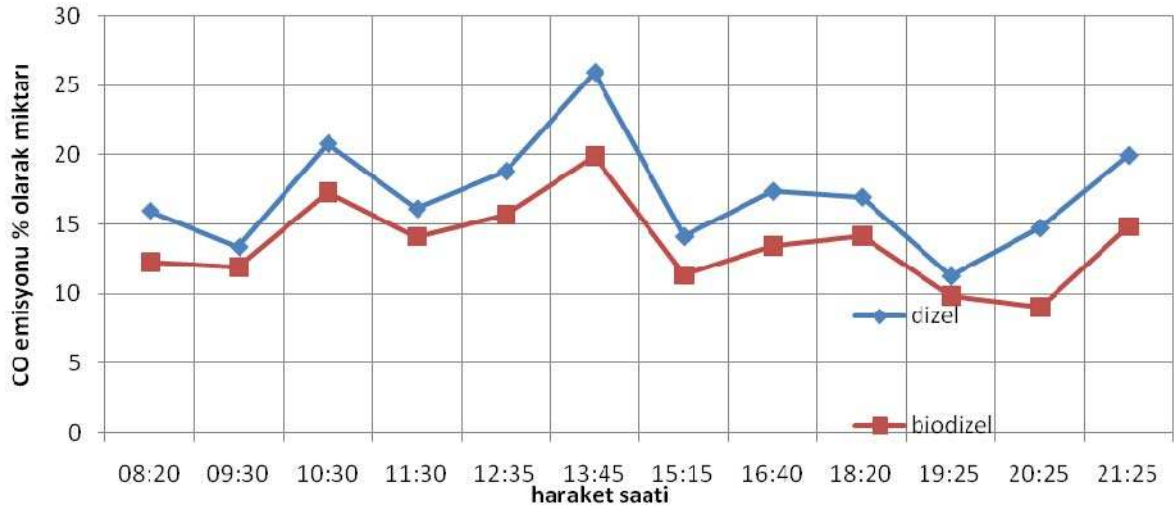
Şekil 4.17. Duraklama anları için % olarak CO emisyonu miktarı Eminönü-Üçşehitler



Şekil 4.18. Hızlanma için % olarak CO emisyonu miktarı Eminönü-Üçşehitler

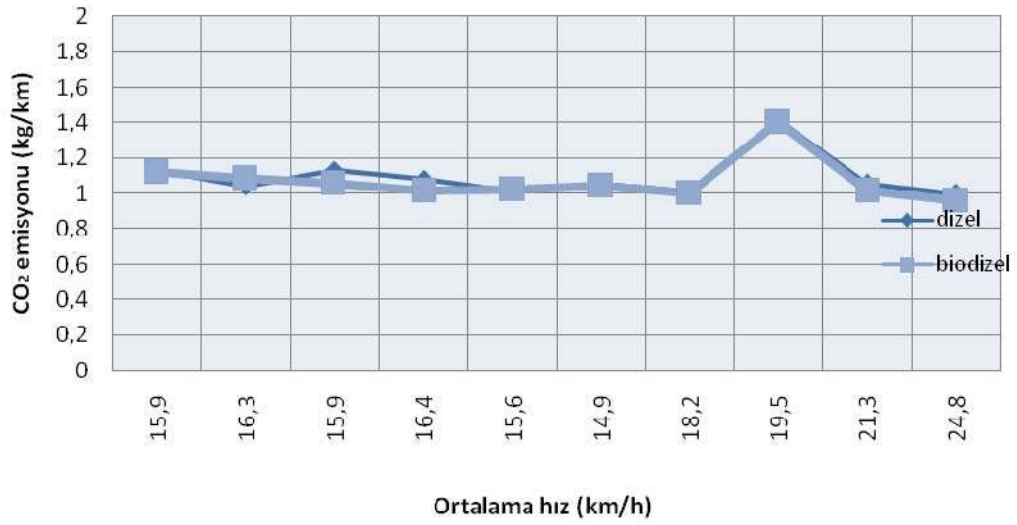


4.19. Sabit hız için % olarak CO emisyonu miktarı Eminönü-Üçşehitler

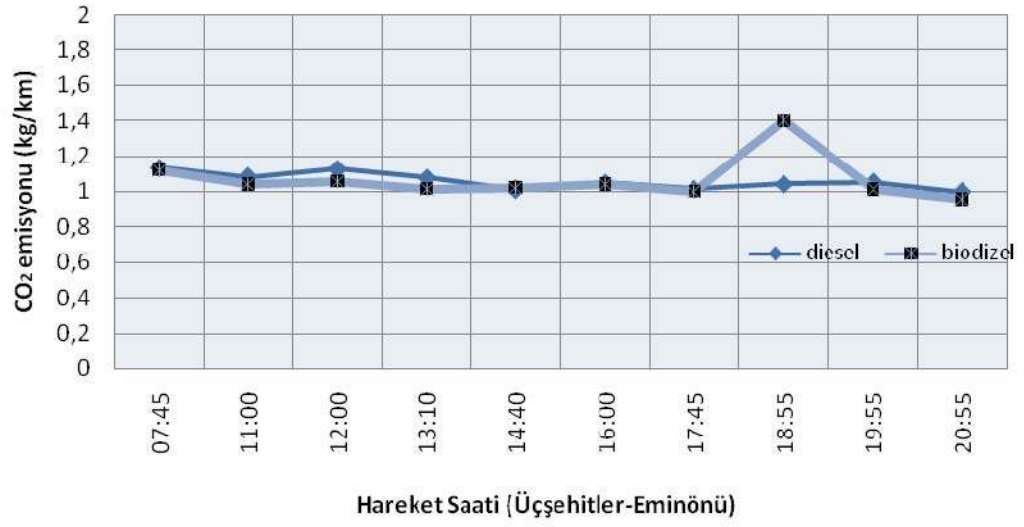


Şekil 4.20. Yavaşlama için % olarak CO emisyonu miktarı Eminönü-Üçşehitler

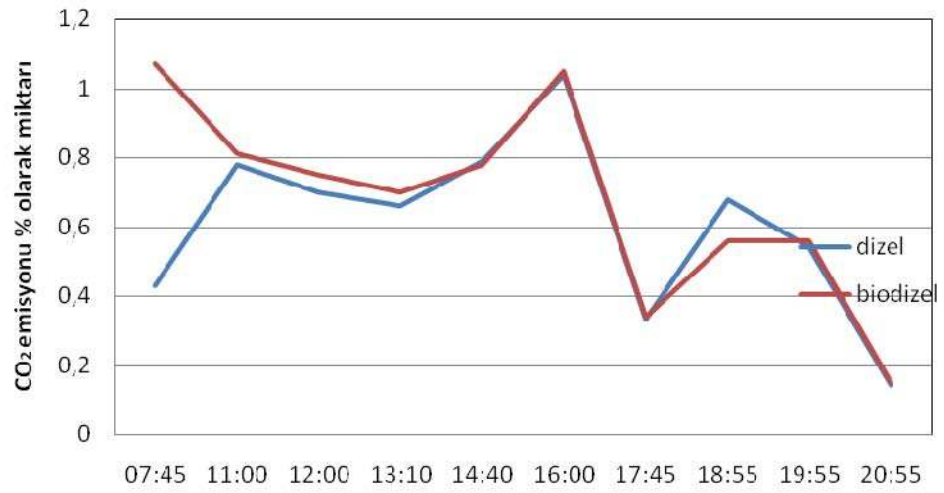
#### 4.2.2. CO<sub>2</sub> Emisyonları



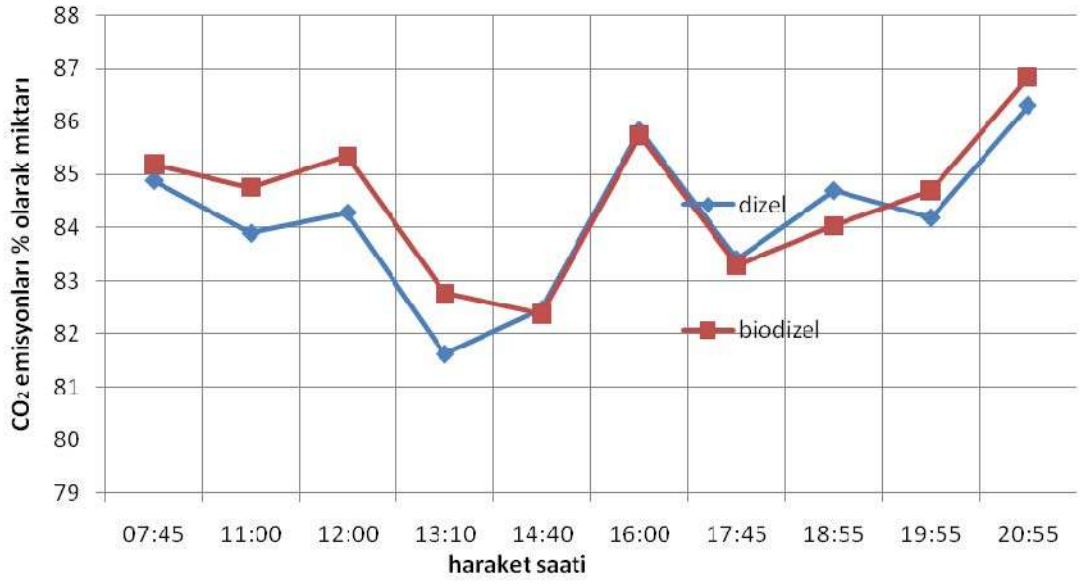
Şekil 4.21. Ortalama hıza göre CO<sub>2</sub> emisyonu (kg/km) Üçşehitler-Eminönü



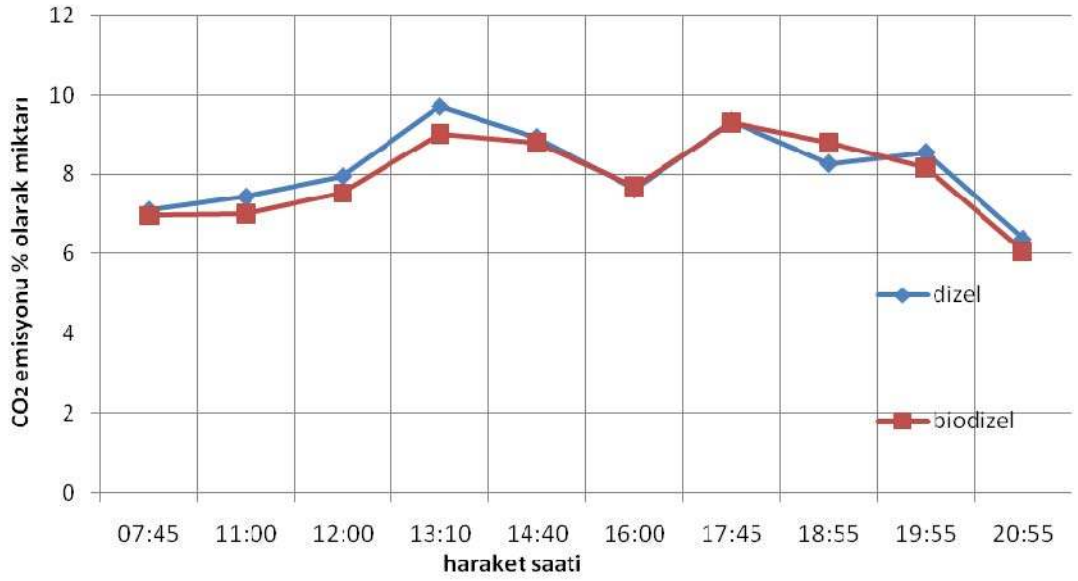
Şekil 4.22. Hareket saatine göre CO<sub>2</sub> emisyonları (kg/km) Üçşehitler-Eminönü



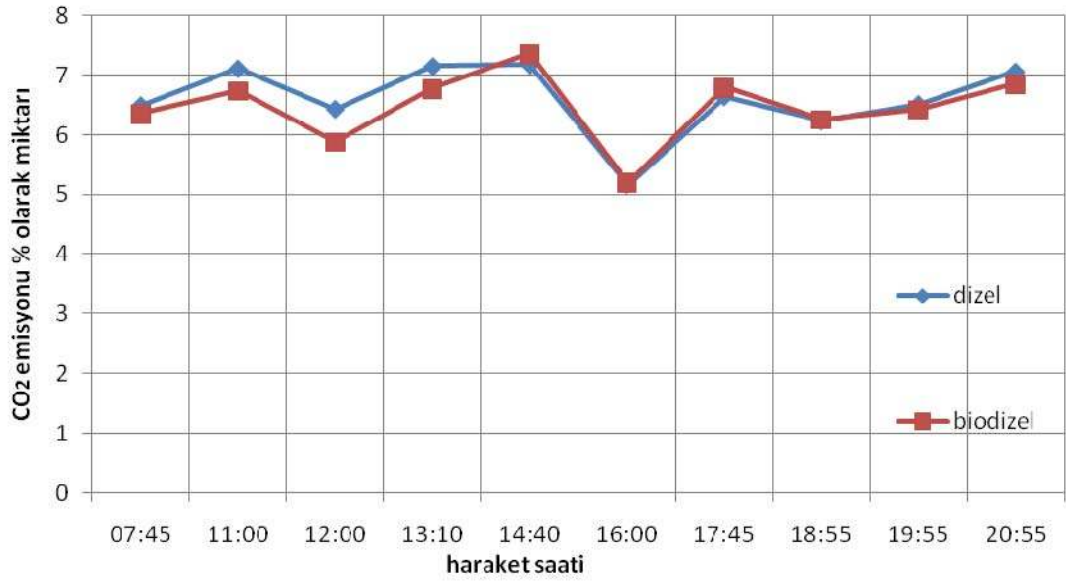
Şekil 4.23. Durma anları için % olarak CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı Üçşehitler-Eminönü



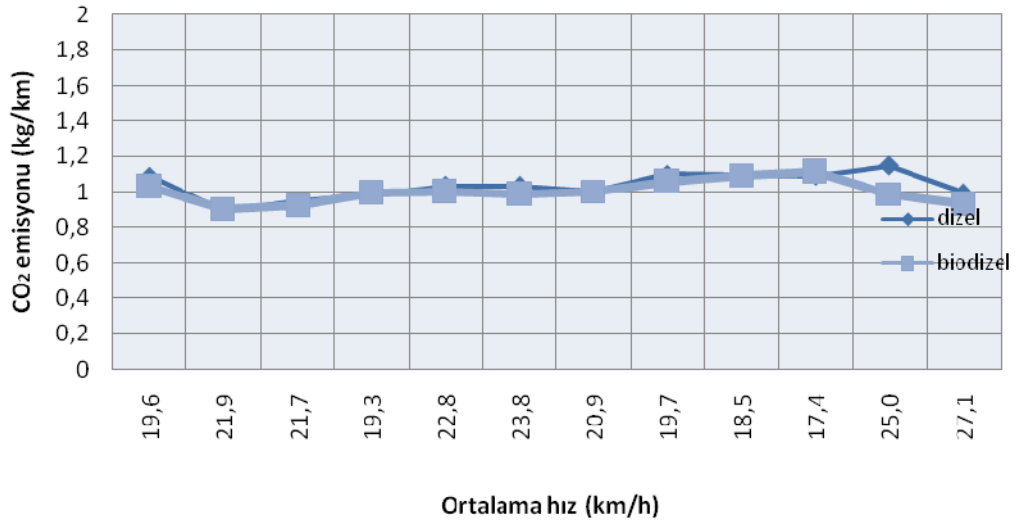
Şekil 4.24.Hızlanma için % olarak CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı Üçşehitler-Eminönü



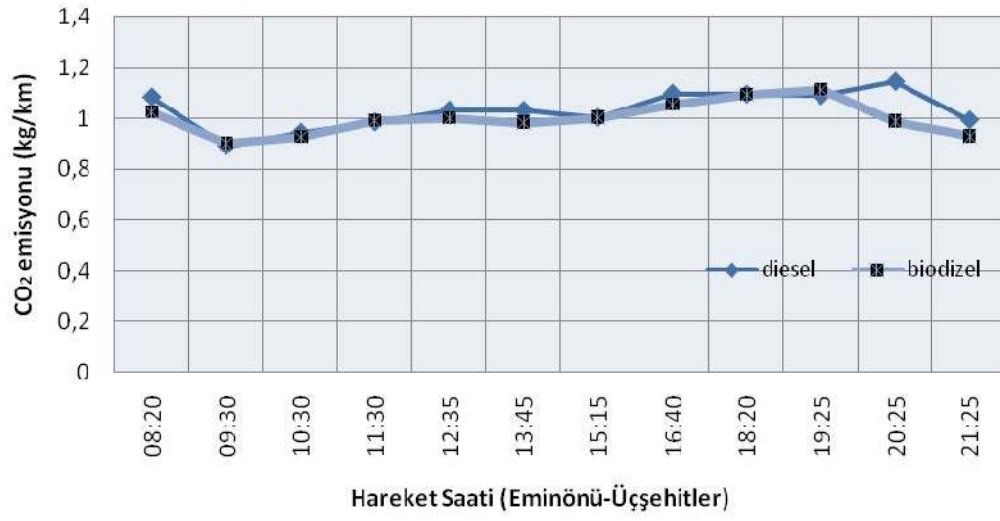
Şekil 4.25. Sabit hız için % olarak CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı Üçşehitler-Eminönü



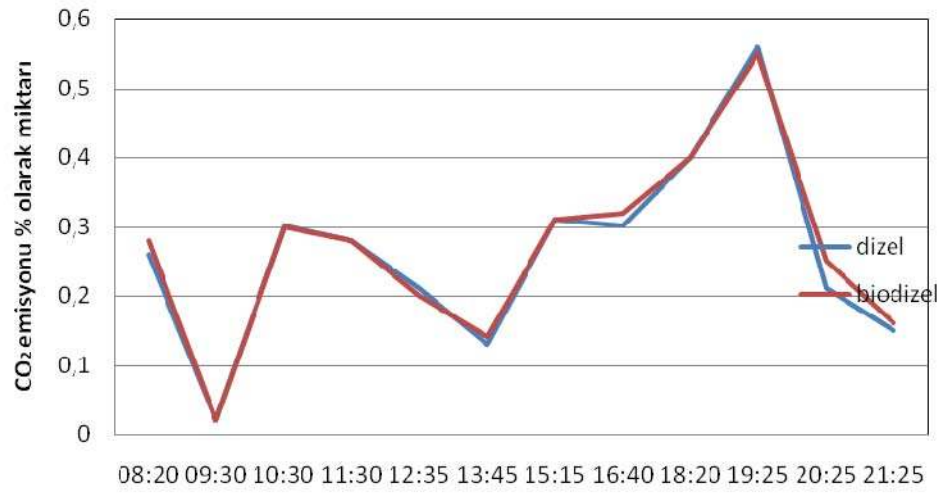
Şekil 4.26. Yavaşlama için % olarak CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı Üçşhitler-Eminönü



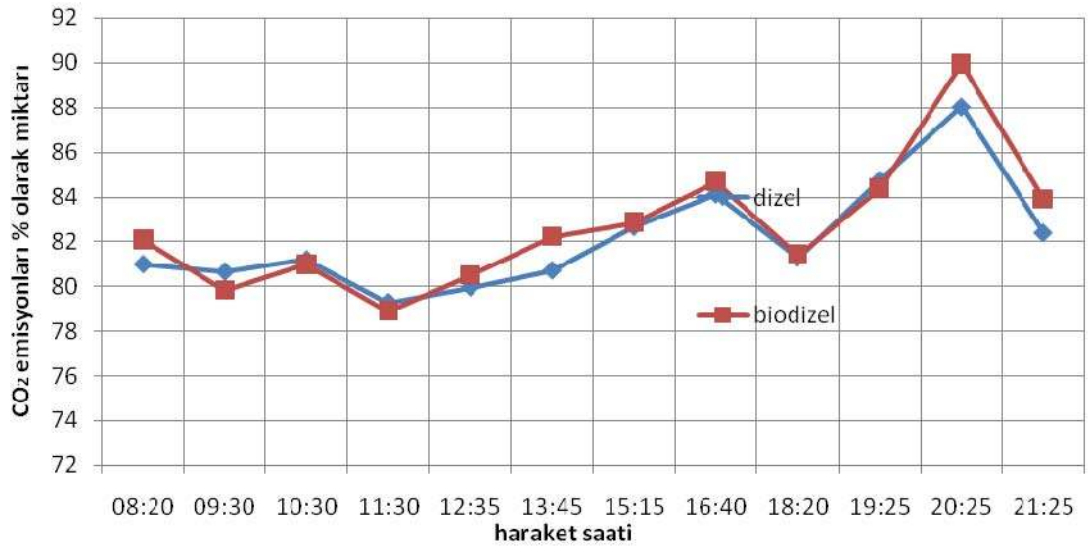
Şekil 4.27. Ortalama hıza göre CO<sub>2</sub> emisyonu (kg/km) Eminönü-Üçşhitler



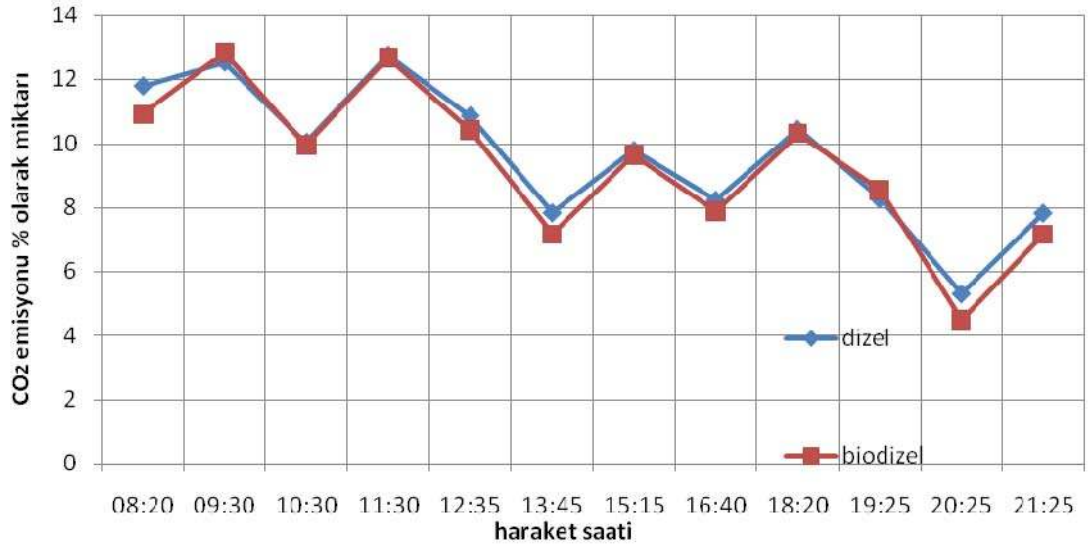
Şekil 4.28. Hareket saatine göre CO<sub>2</sub> emisyonları (kg/km) Eminönü-Üçşehitler



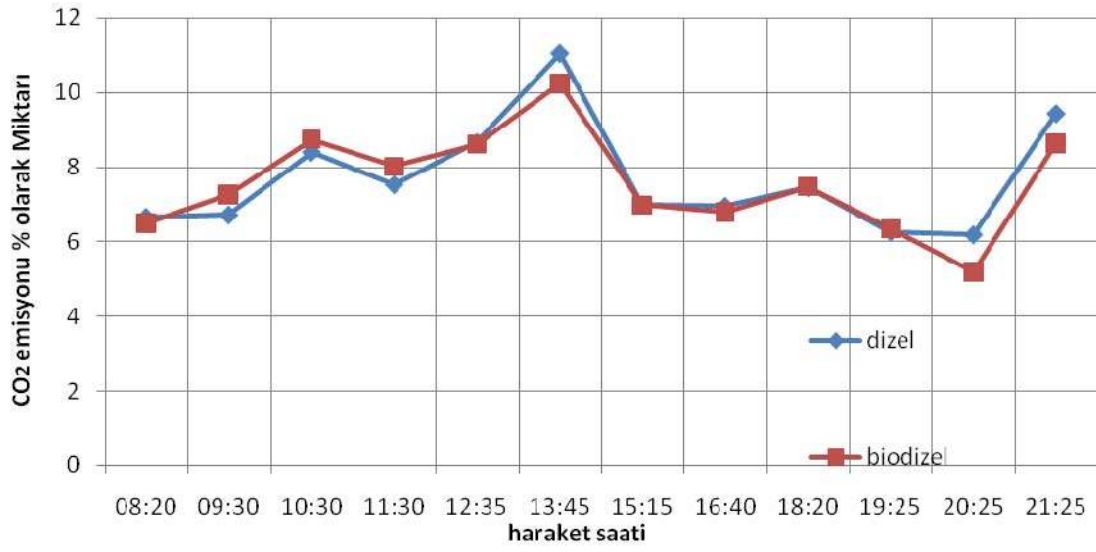
Şekil 4.29. Durma anları için % olarak CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı Eminönü-Üçşehitler



Şekil 4.30. Hızlanma için % olarak CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı Eminönü-Üçşehitler

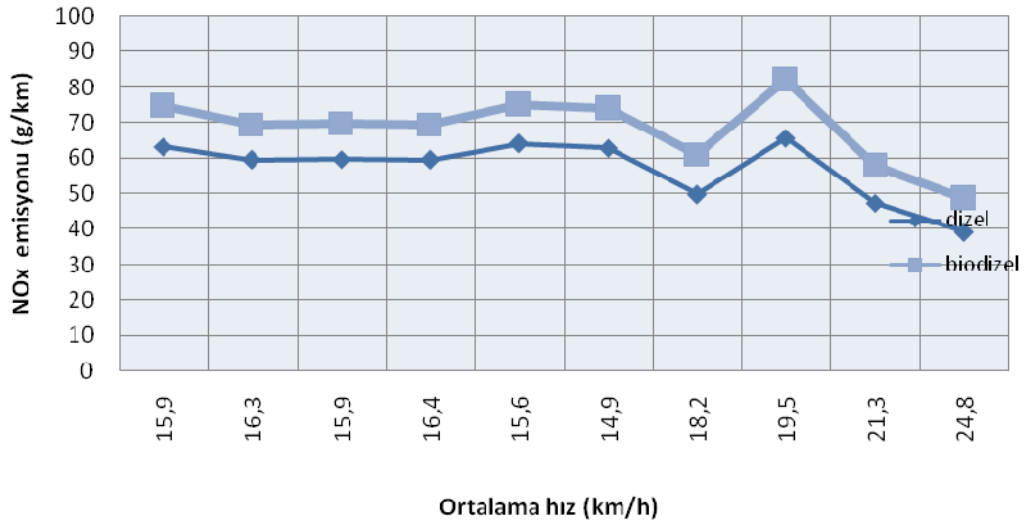


Şekil 4.31. Sabit hız için % olarak CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı Eminönü-Üçşehitler

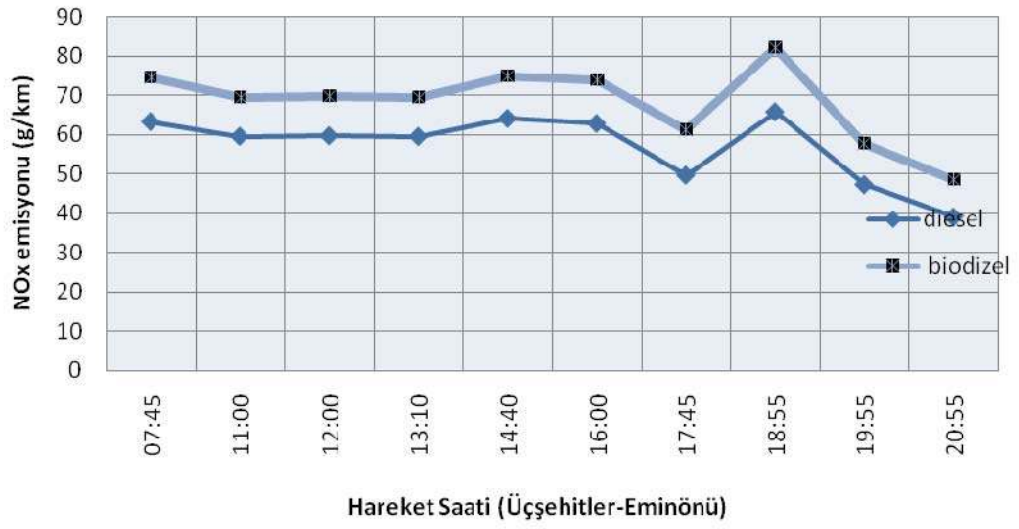


Şekil 4.32. Yavaşlama için % olarak CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı Eminönü-Üçşehitler

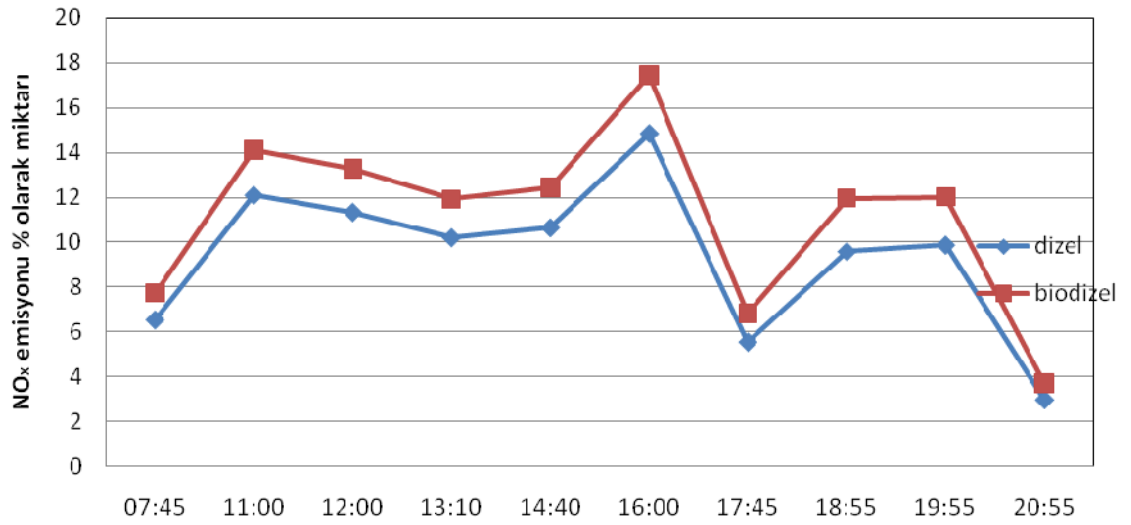
#### 4.2.3. NO<sub>x</sub> Emisyonları



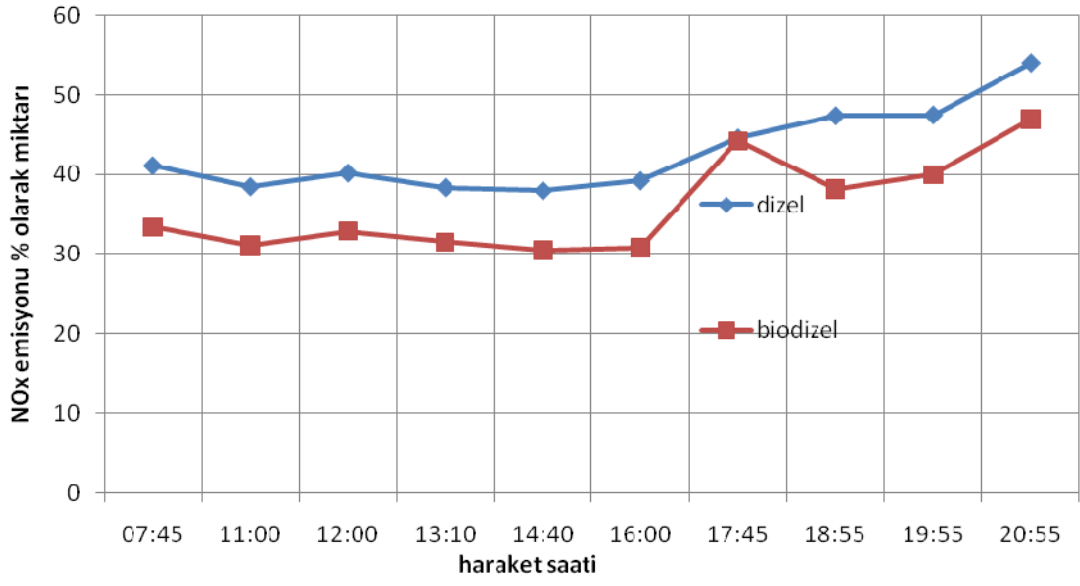
Şekil 4.33. Ortalama hıza göre NO<sub>x</sub> emisyonu (g/km) Üçşehitler-Eminönü



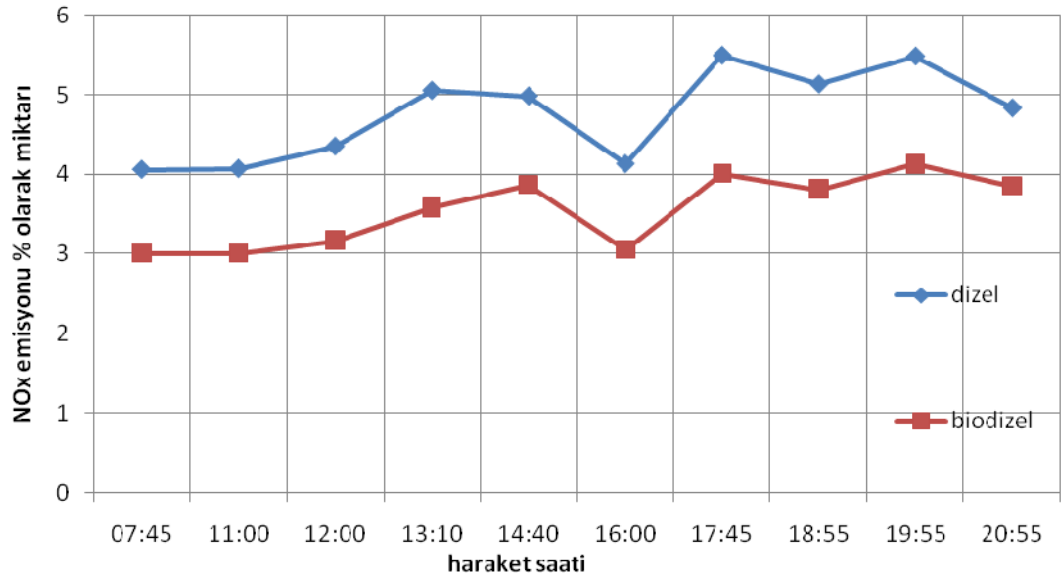
Şekil 4.34. Hareket saatine göre NO<sub>x</sub> emisyonları (kg/km) Üçşehitler-Eminönü



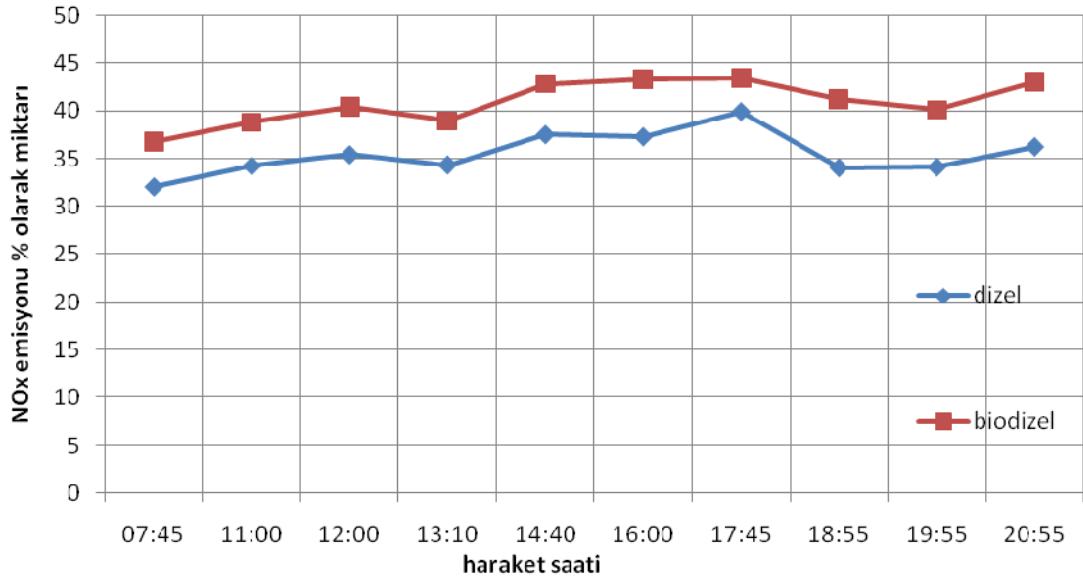
Şekil 4.35. Durma anları için % olarak NO<sub>x</sub> emisyonu miktarı Üçşehitler-Eminönü



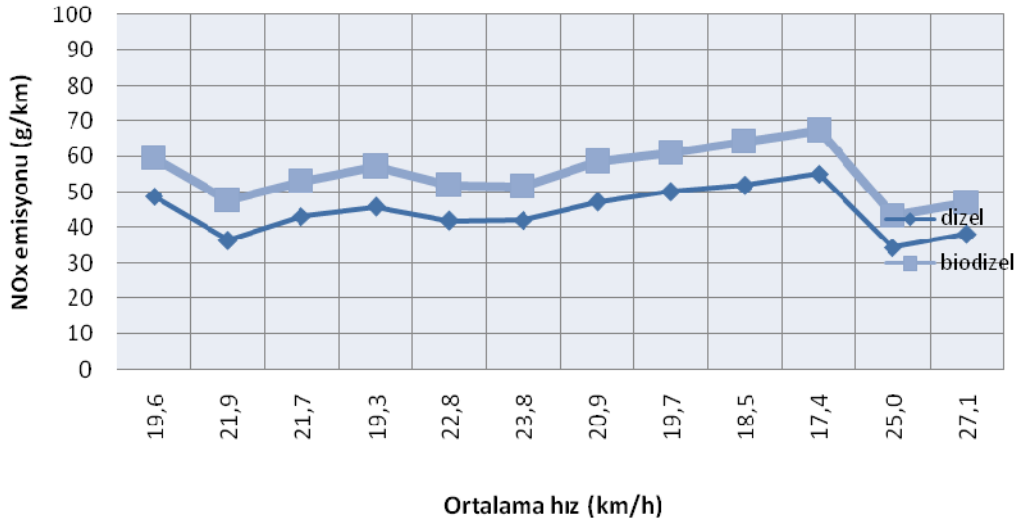
Şekil 4.36. Hızlanma için % olarak NO<sub>x</sub> emisyonu miktarı Üçşehitler-Eminönü



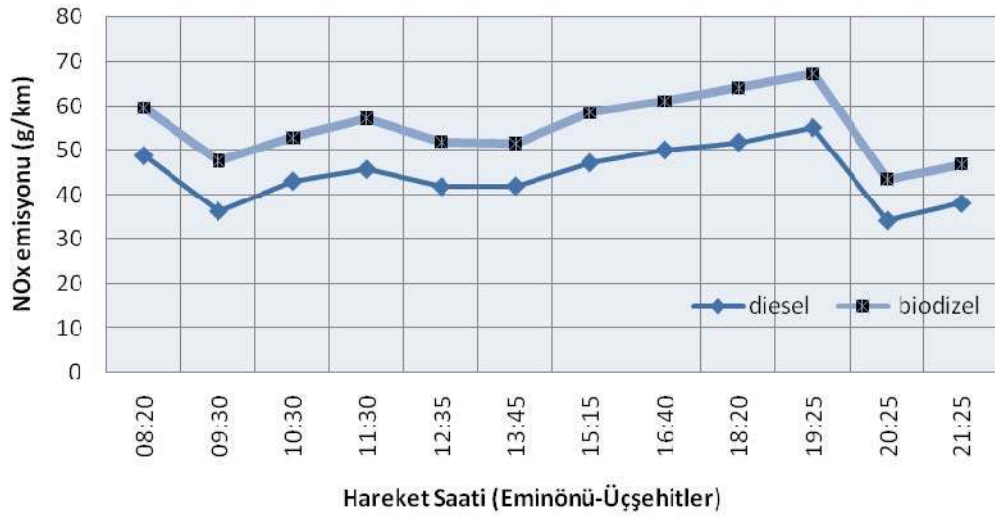
Şekil 4.37. Sabit hız için % olarak NO<sub>x</sub> emisyonu miktarı Üçşehitler-Eminönü



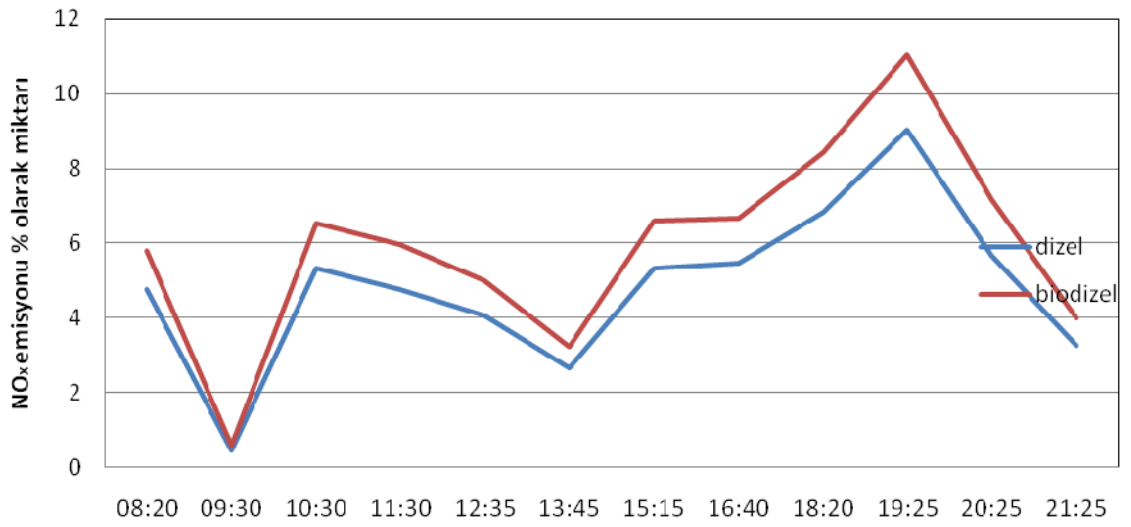
Şekil 4.38. Yavaşlama için % olarak NO<sub>x</sub> emisyonu miktarı Üçşehitler-Eminönü



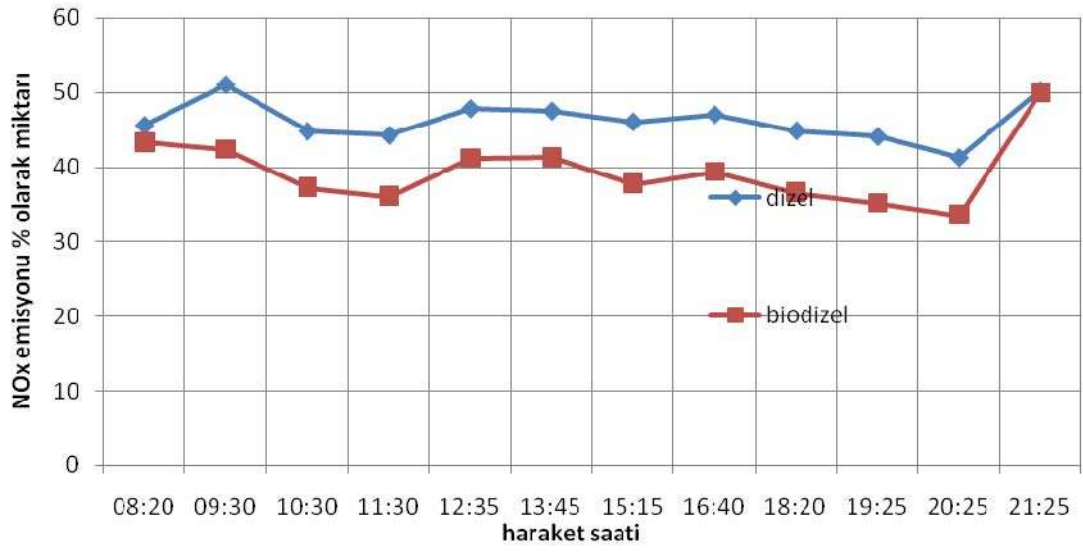
Şekil 4.39. Ortalama hıza göre NO<sub>x</sub> emisyonu (g/km) Eminönü-Üçşehitler



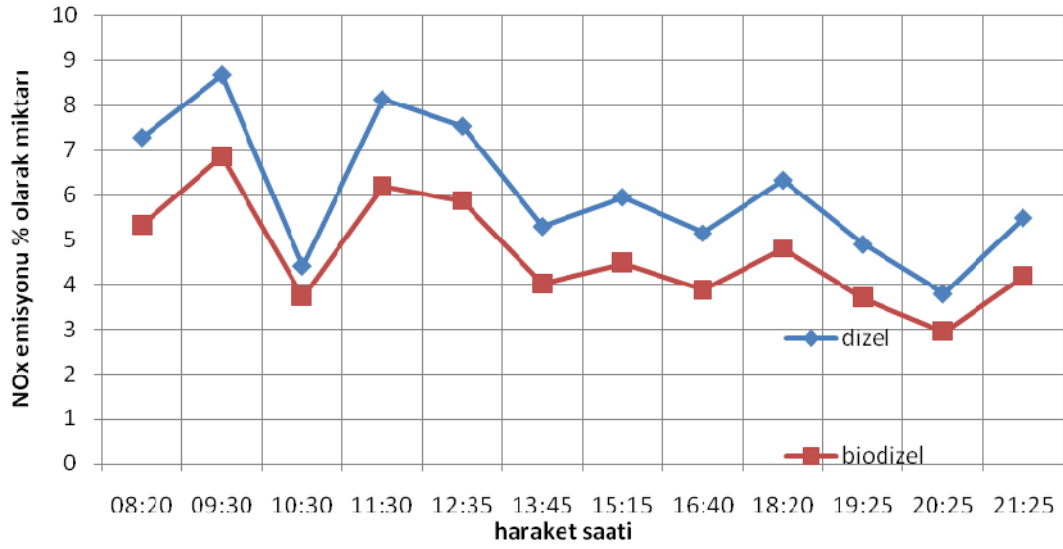
Şekil 4.40. Hareket saatine göre NO<sub>x</sub> emisyonları (kg/km) Eminönü-Üçşehitler



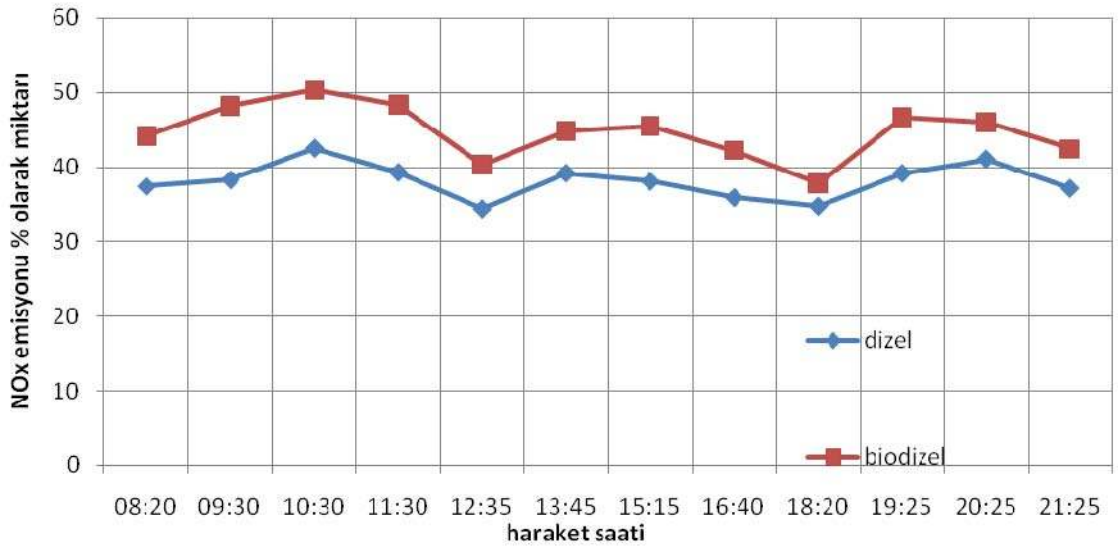
Şekil 4.41. Durma anları için % olarak NO<sub>x</sub> emisyonu miktarı Eminönü-Üçşehitler



Şekil 4.42. Hızlanma için % olarak NO<sub>x</sub> emisyonu miktarı Eminönü-Üçşhitler

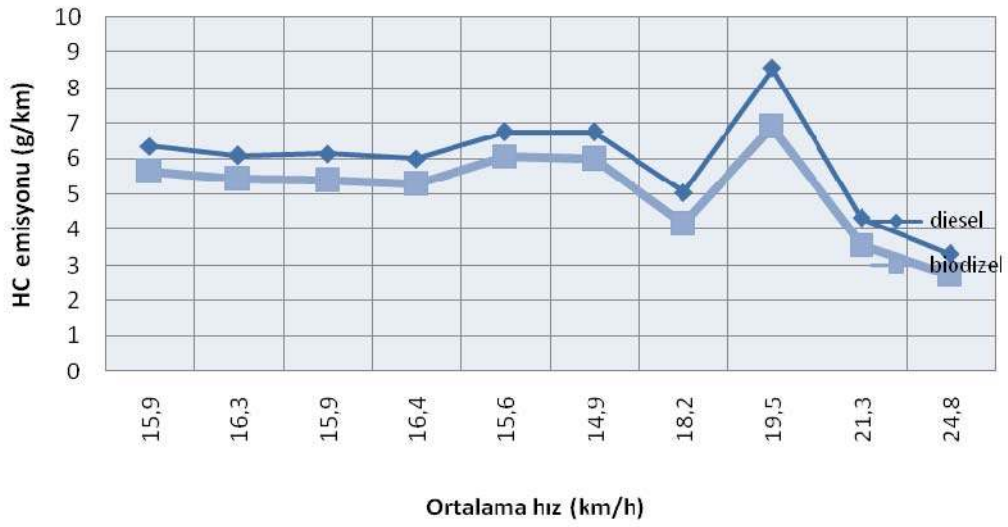


Şekil 4.43. Sabit hız için % olarak NO<sub>x</sub> emisyonu miktarı Eminönü-Üçşhitler

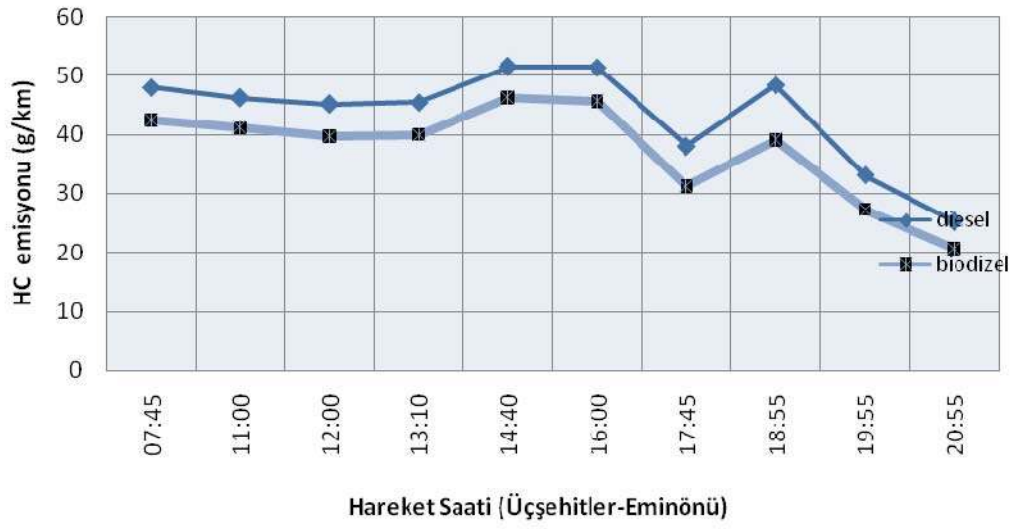


Şekil 4.44. Yavaşlama için % olarak NO<sub>x</sub> emisyonu miktarı Eminönü-Üçşehitler

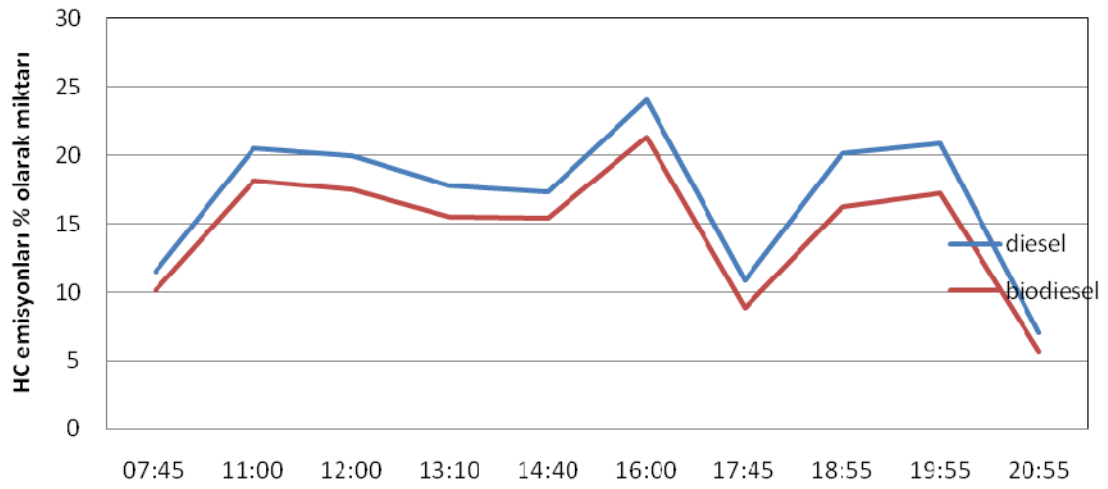
#### 4.2.4. HC Emisyonları



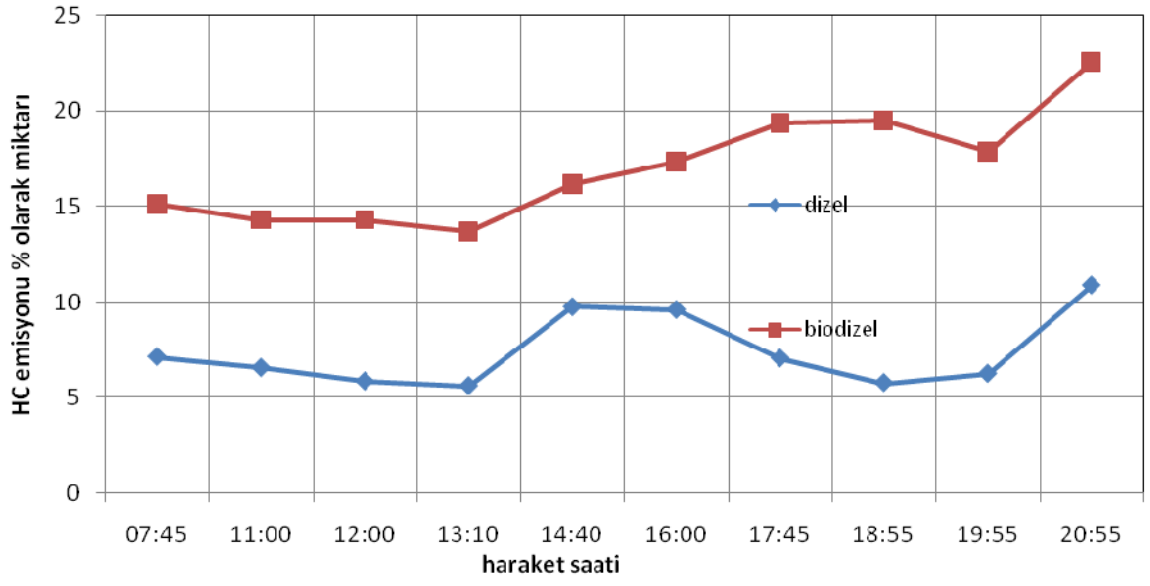
Şekil 4.45. Ortalama hıza göre HC emisyonu (g/km) Üçşehitler-Eminönü



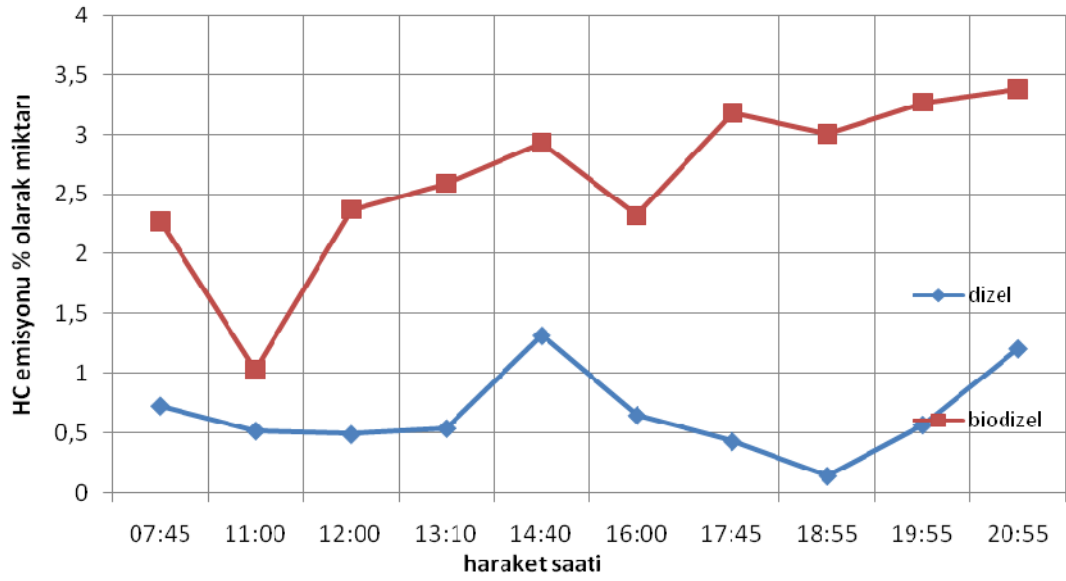
Şekil 4.46. Hareket saatine göre HC emisyonları (kg/km) Üçşehitler-Eminönü



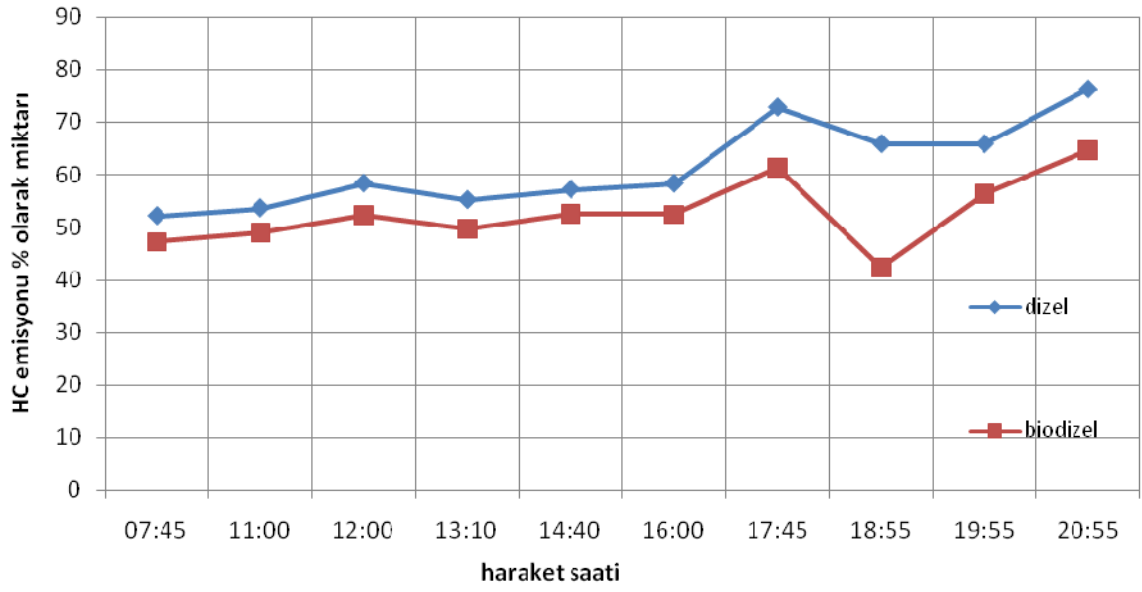
Şekil 4.47. Durma anları için % olarak HC emisyonu miktarı Üçşehitler-Eminönü



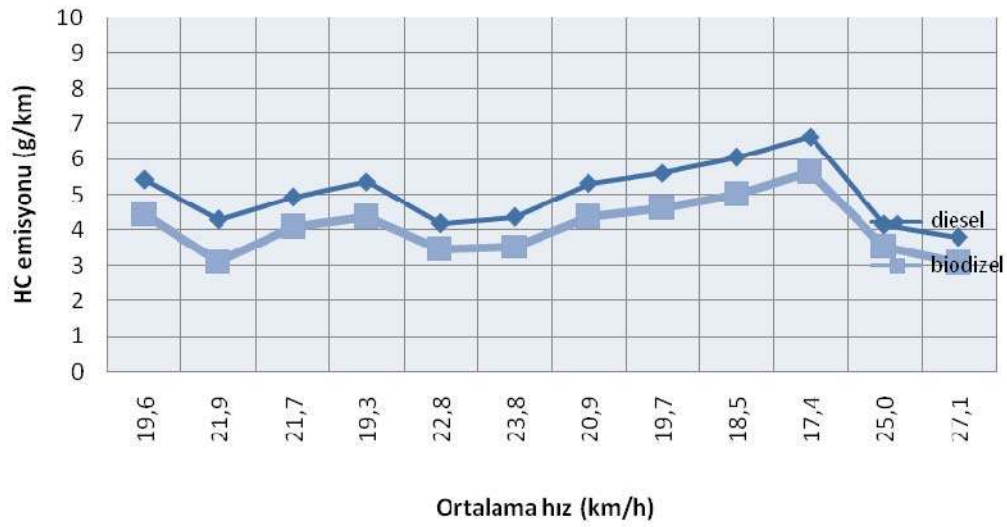
Şekil 4.48. Hızlanma için % olarak HC emisyonu miktarı Üçşhitler-Eminönü



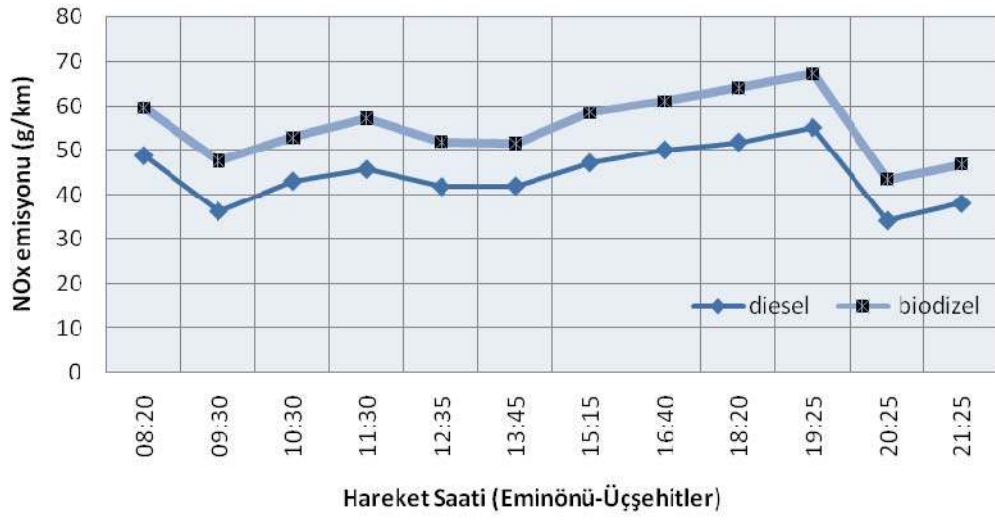
Şekil 4.49. Sabit hız için % olarak HC emisyonu miktarı Üçşhitler-Eminönü



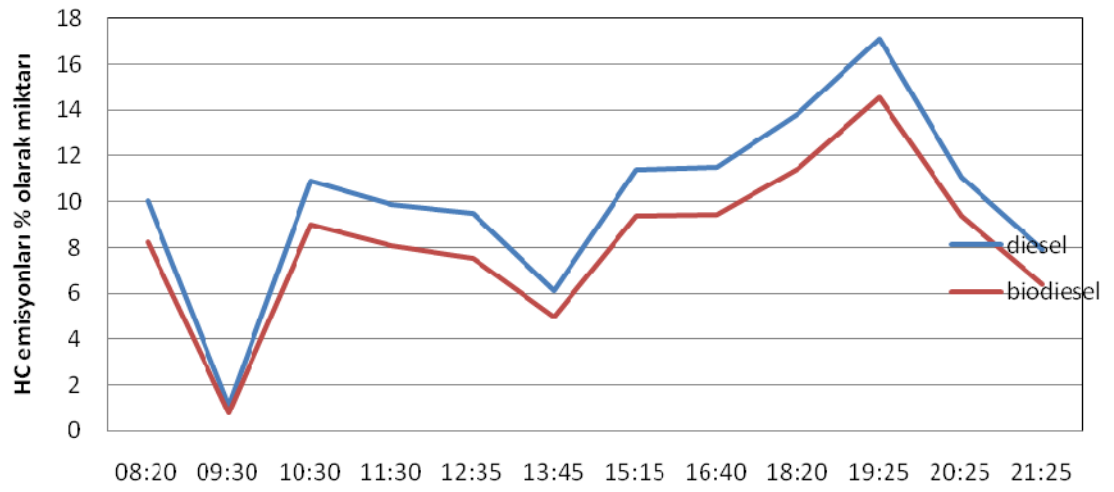
Şekil 4.50. Yavaşlama için % olarak HC emisyonu miktarı Üçşehitler-Eminönü



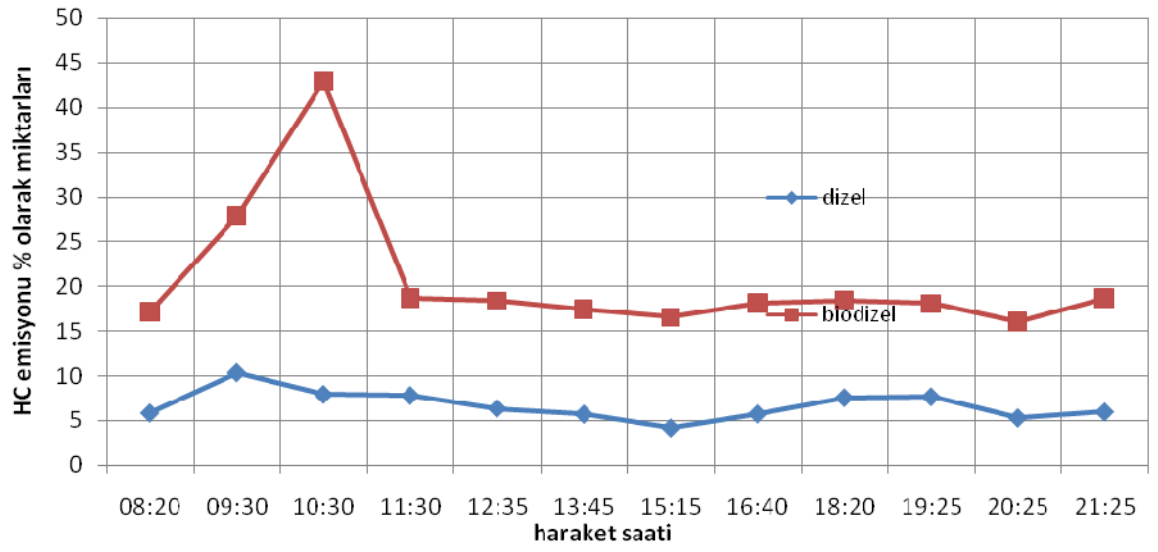
4.51. Ortalama hıza göre HC emisyonu (g/km) Eminönü-Üçşehitler



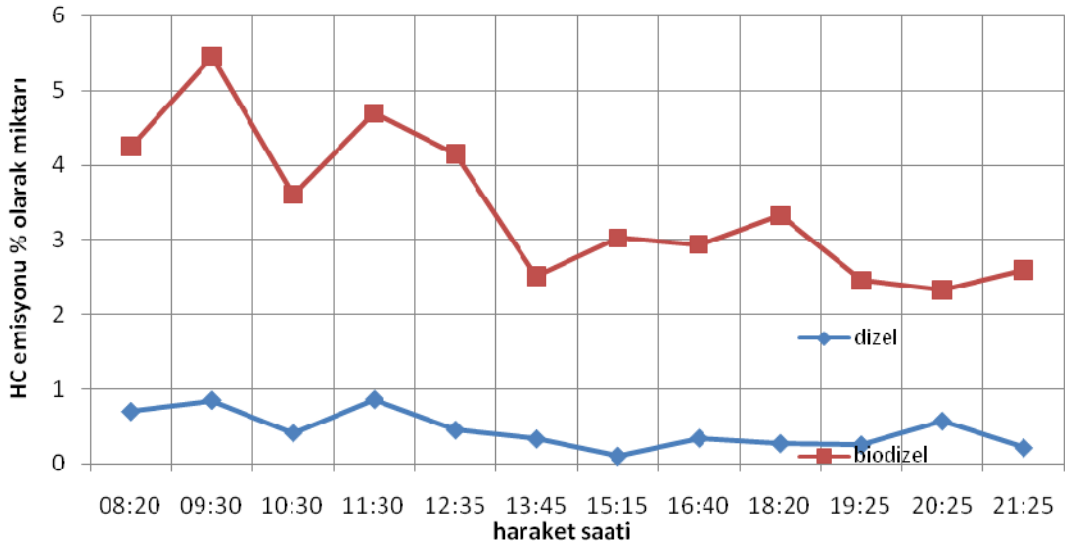
Şekil 4.52. Hareket saatine göre HC emisyonları (kg/km) Eminönü-Üçşehitler



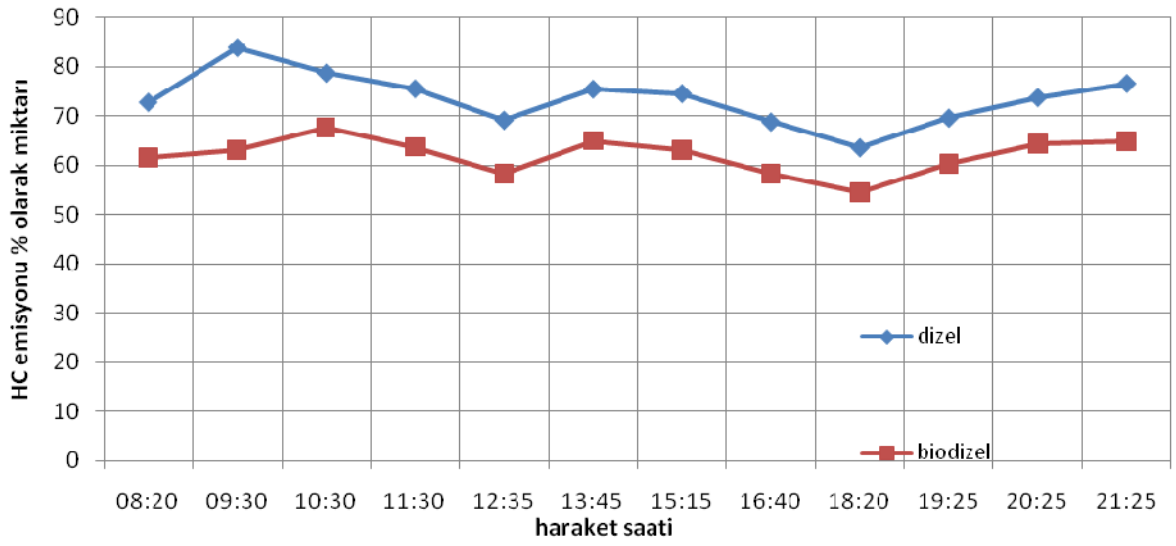
Şekil 4.53. Durma anları için % olarak HC emisyonu miktarı Eminönü-Üçşehitler



Şekil 4.54. Hızlanma için % olarak HC emisyonu miktarı Eminönü-Üçşehitler



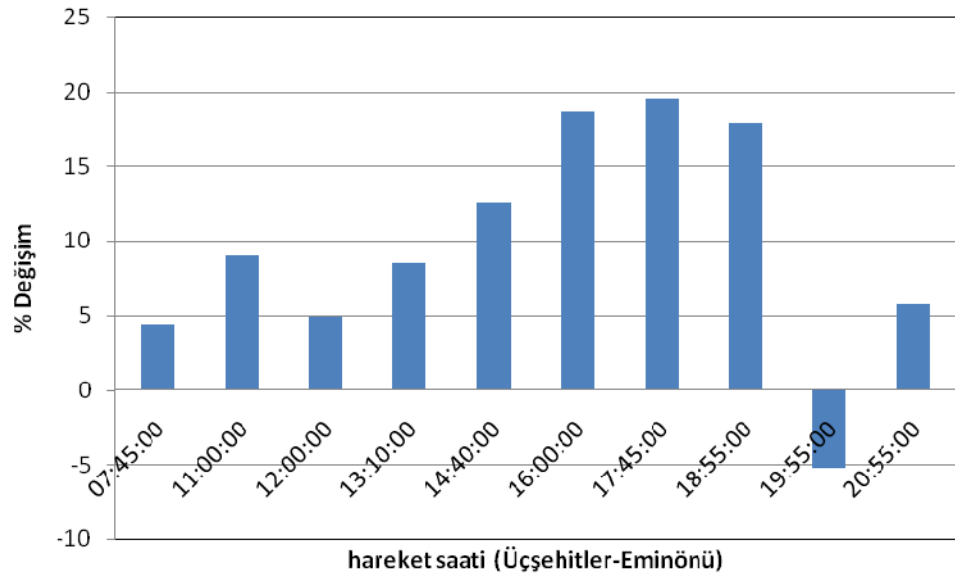
Şekil 4.55. Sabit hız için % olarak HC emisyonu miktarı Eminönü-Üçşehitler



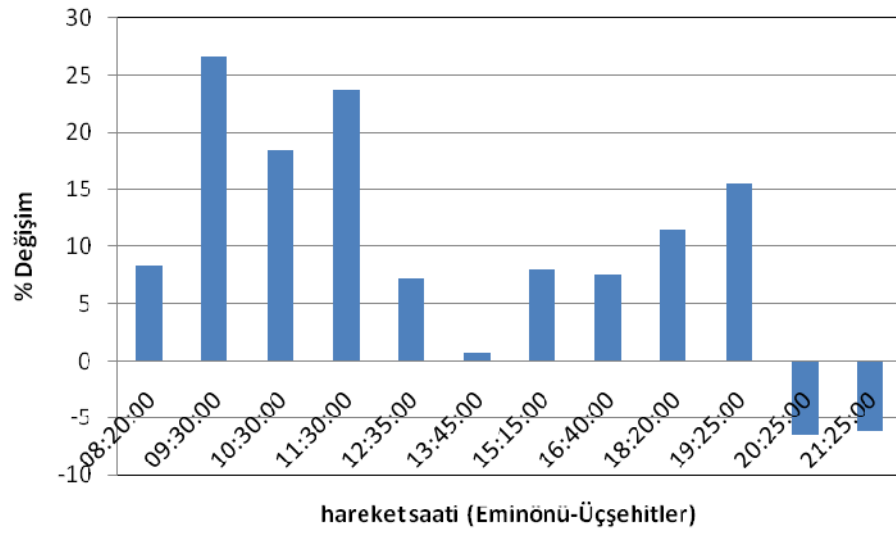
Şekil 4.56. Yavaşlama için % olarak HC emisyonu miktarı Eminönü-Üçşehitler

#### 4.3. Simülasyon Sonuçlarının Hareket Saatine Göre Karşılaştırılması

##### 4.3.1. CO Emisyonları

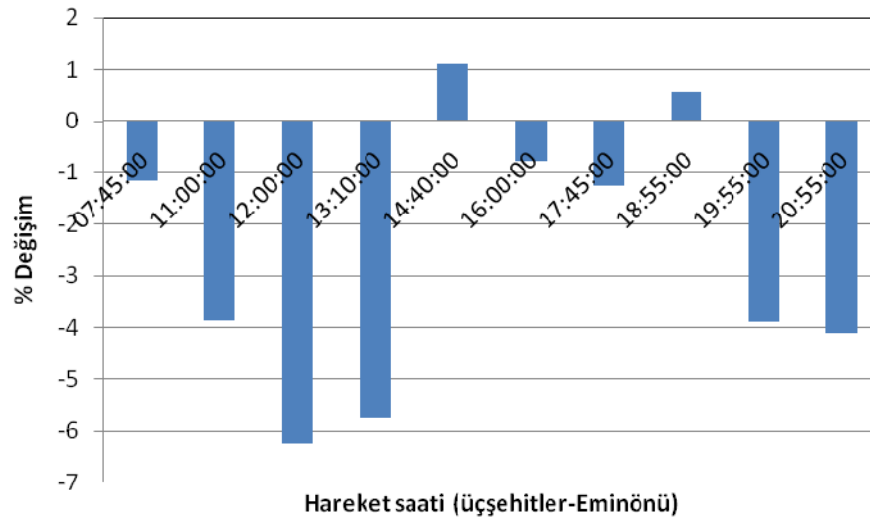


Şekil 4.57. Hareket Saatine Göre Diesel-Biodiesel CO Emisyonlarının % Olarak Karşılaştırması

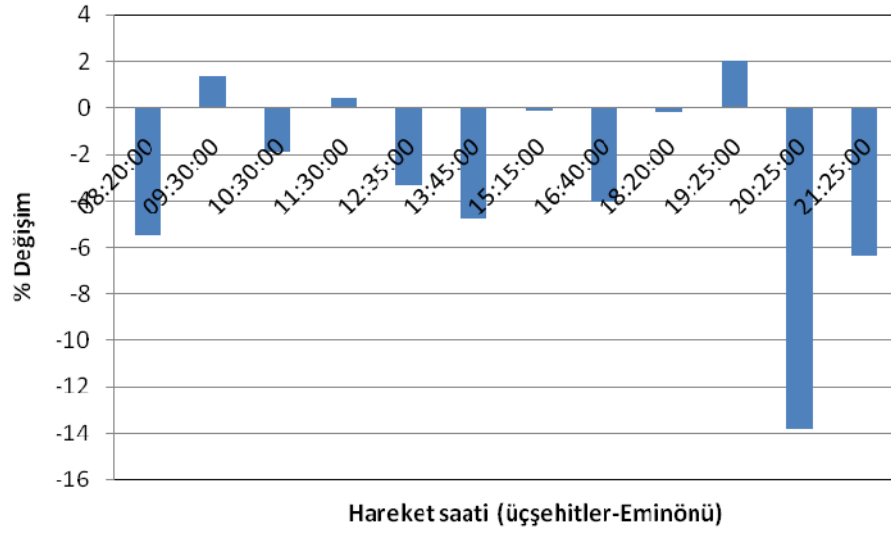


Şekil 4.58. Hareket Saatine Göre Diesel-Biodiesel CO Emisyonlarının % Olarak Karşılaştırması

#### 4.3.2. CO<sub>2</sub> Emisyonları

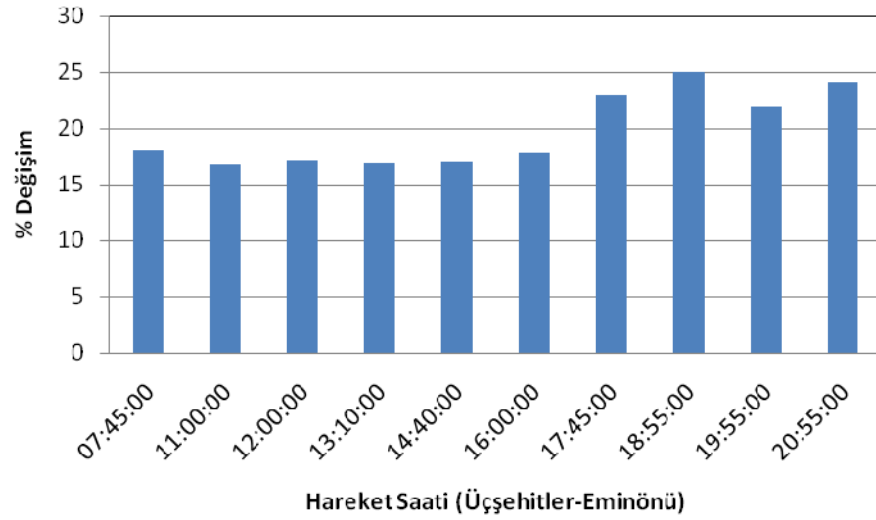


Şekil 4.59. Hareket Saatine Göre Diesel-Biodiesel CO<sub>2</sub> Emisyonlarının % Olarak Karşılaştırması

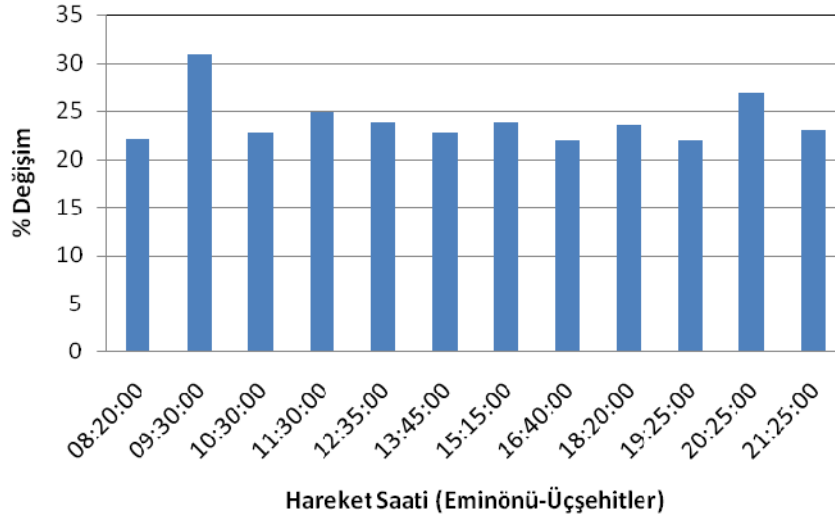


Şekil 4.60. Hareket Saatine Göre Diesel-Biodiesel CO<sub>2</sub> Emisyonlarının % Olarak Karşılaştırması

#### 4.3.3. NO<sub>x</sub> Emisyonları

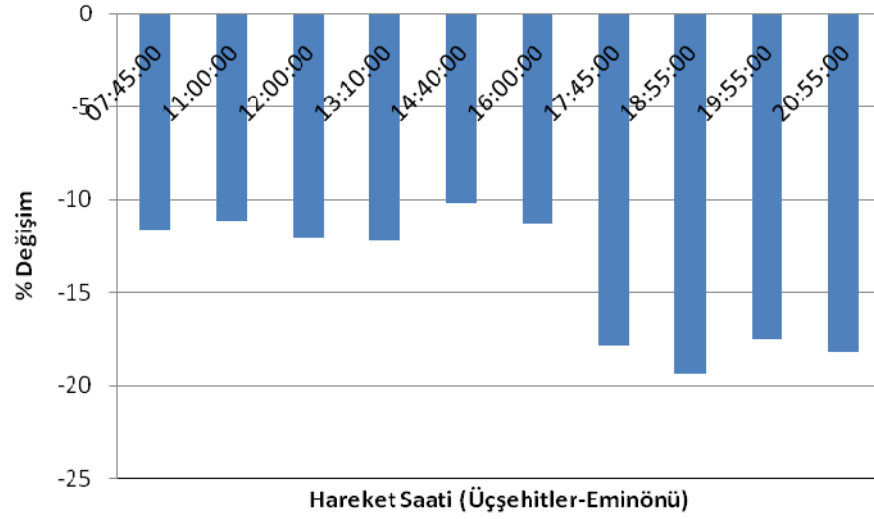


Şekil 4.61. Hareket Saatine Göre Diesel-Biodiesel NO<sub>x</sub> Emisyonlarının % Olarak Karşılaştırması

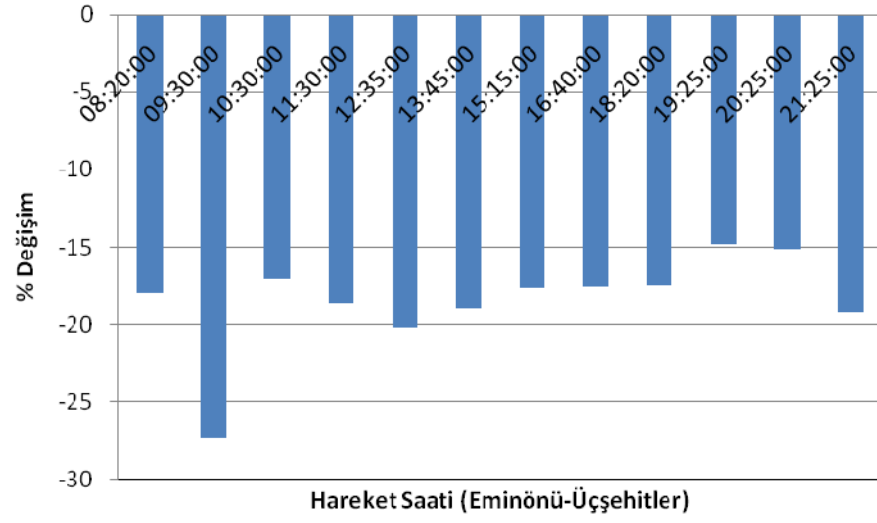


Şekil 4.62. Hareket Saatine Göre Diesel-Biodiesel NO<sub>x</sub> Emisyonlarının % Olarak Karşılaştırması

#### 4.3.4. HC Emisyonları



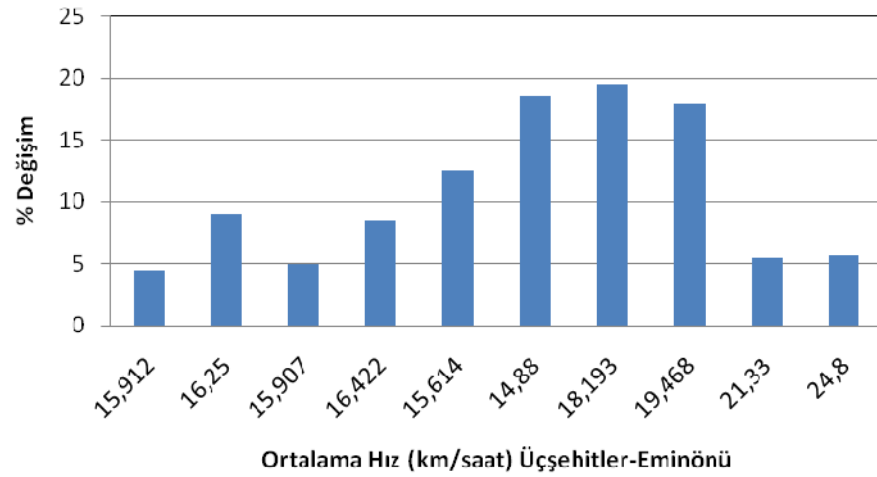
Şekil 4.63. Hareket Saatine Göre Diesel-Biodiesel HC Emisyonlarının % Olarak Karşılaştırması



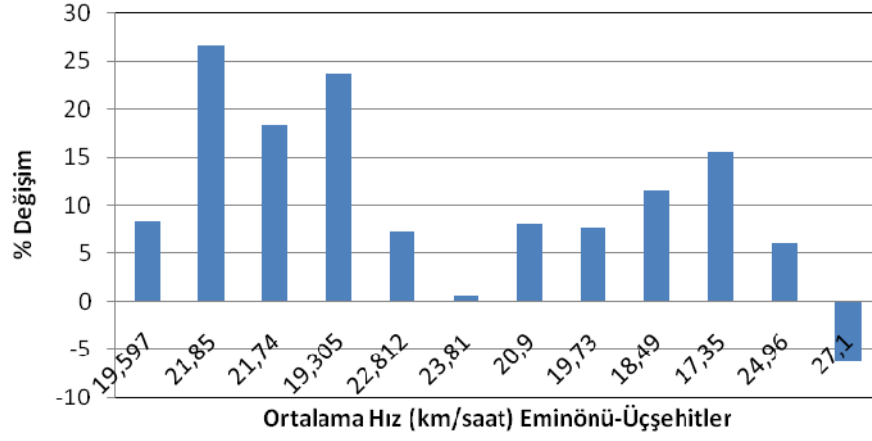
Şekil 4.64. Hareket Saatine Göre Diesel-Biodiesel HC Emisyonlarının % Olarak Karşılaştırması

#### 4.4. Simülasyon Çalışmasının Ortalama Hıza Göre Karşılaştırılması

##### 4.4.1. CO Emisyonları

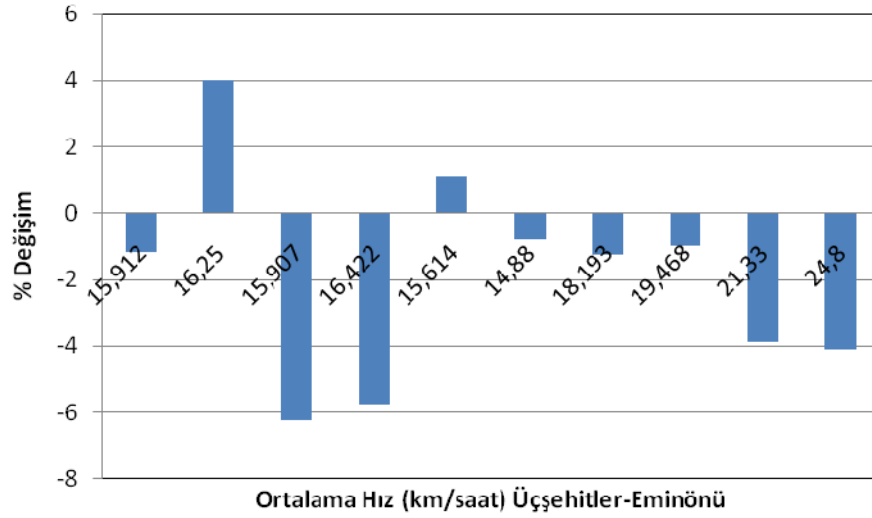


Şekil 4.65. Ortalama Hıza Göre Diesel-Biodiesel CO Emisyonlarının % Olarak Karşılaştırması

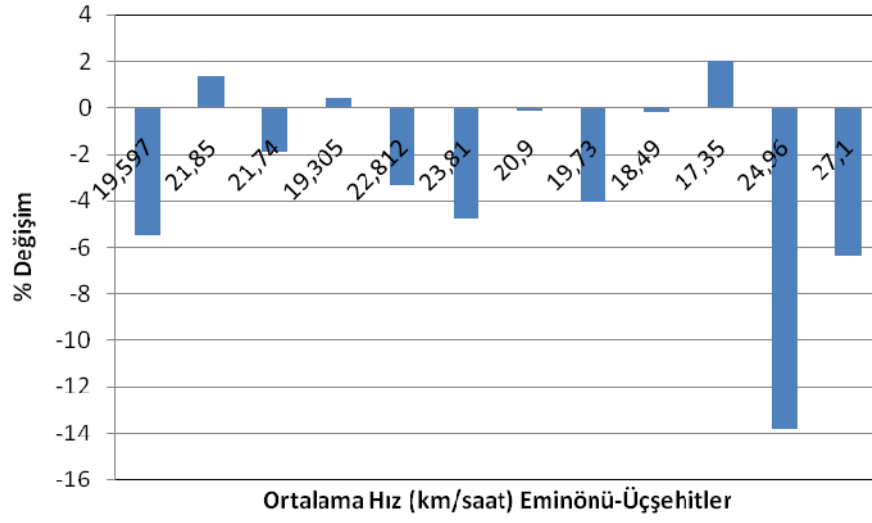


Şekil 4.66. Ortalama Hıza Göre Diesel-Biodiesel CO Emisyonlarının % Olarak Karşılaştırması

#### 4.4.2. CO<sub>2</sub> Emisyonları

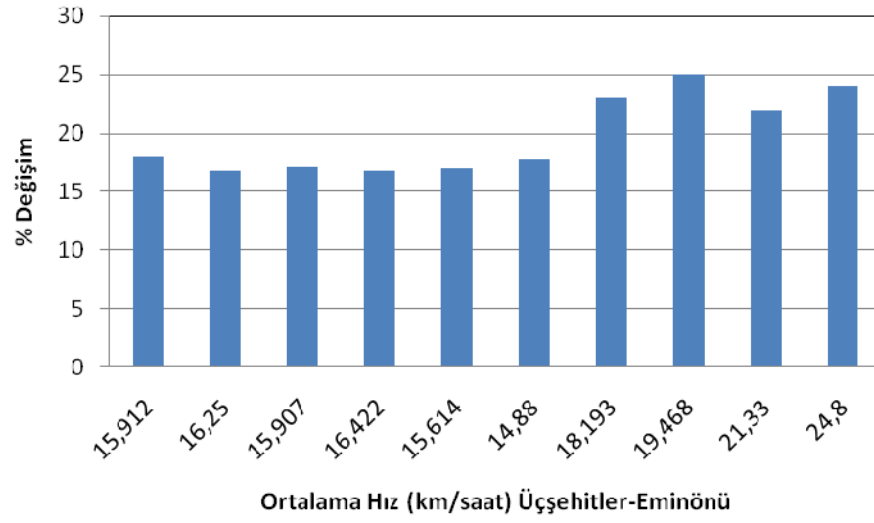


Şekil 4.67. Ortalama Hıza Göre Diesel-Biodiesel CO<sub>2</sub> Emisyonlarının % Olarak Karşılaştırması

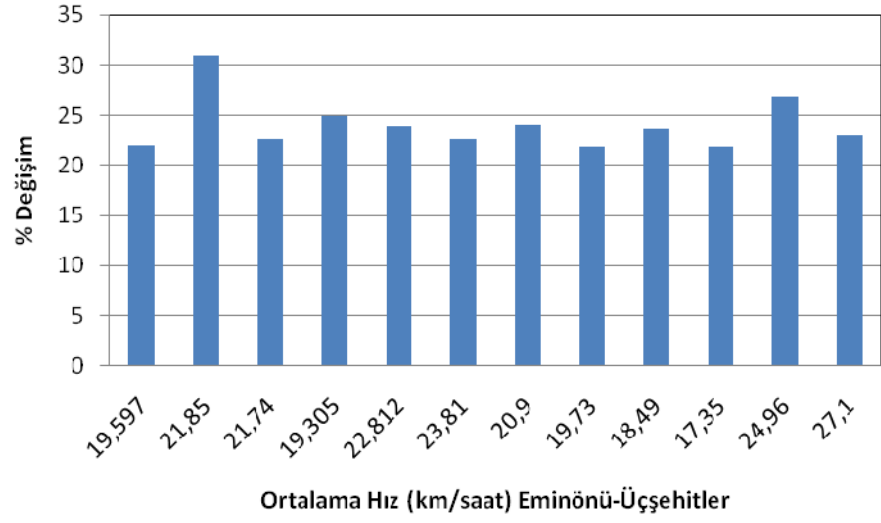


Şekil 4.68. Ortalama Hıza Göre Diesel-Biodiesel CO<sub>2</sub> Emisyonlarının % Olarak Karşılaştırması

#### 4.4.3. NO<sub>x</sub> Emisyonları

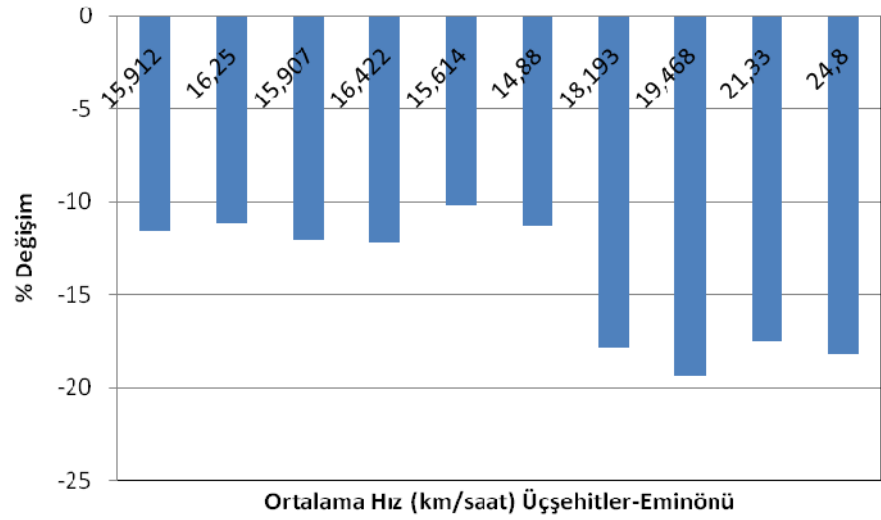


Şekil 4.69. Ortalama Hıza Göre Diesel-Biodiesel NO<sub>x</sub> Emisyonlarının % Olarak Karşılaştırması

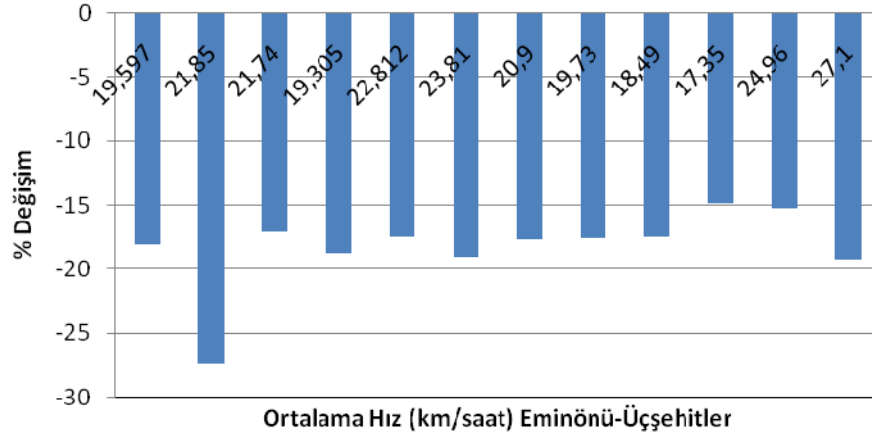


Şekil 4.70. Ortalama Hıza Göre Diesel-Biodiesel NO<sub>x</sub> Emisyonlarının % Olarak Karşılaştırması

#### 4.4.4. HC Emisyonları



Şekil 4.71. Ortalama Hıza Göre Diesel-Biodiesel HC Emisyonlarının % Olarak Karşılaştırması



Şekil 4.72. Ortalama Hıza Göre Diesel-Biodiesel HC Emisyonlarının % Olarak Karşılaştırması

## 5. SONUÇLAR

Ülkemizde petrol kaynaklarının yetersiz olması, diğer yandan yaşanan enerji krizleri, alternatif enerji kaynaklarını gündeme getirmektedir. Gündeme gelen alternatif enerji kaynakları içinde biodiesel ülkemiz açısından bir adım öteye çıkmaktadır. Bunun en büyük sebebi biodiesel üretiminde kullanılacak bitkilerin yetişmesine elverişli tarım alanlarının ülkemizde bol miktarda bulunması ve biodiesel üretim tekniklerinin diğer alternatif enerji kaynaklarına nazaran daha az teknolojiye ihtiyaç duyması olarak gösterilebilir, ayrıca biodiesel üretiminde eski kızartma yağlarının da kullanılması hem yakıt maliyetini düşürmektedir hem de ülke ekonomisi için geri dönüşüm sağlamaktadır.

Çevreye açılan emisyonlar açısından incelediğimizde ise biodieselin yakıt olarak kullanılmasıyla beraber yapılan motor testlerinde insan sağlığı açısından çok zararlı olan CO emisyonlarında özellikle yüksek devirlerde diesel yakıttan kullanılmasıyla yayılan CO emisyonlarına göre önemli düşüşler görülmüştür. Yapılan simülasyon çalışması neticesinde ise CO emisyonlarında biodiesel ve diesel yakıt emisyonları arasında fazla fark görülmemiştir.

NOx emisyonlarında ise hem motor deneylerinde hem de simülasyon çalışması neticesinde biodiesel kullanılmasıyla beraber yüksek emisyon değerleri görülmüştür. Geri dönüşümü mümkün olmayan NOx emisyonlarının azaltılması için ayrıca araç üzerinde modifikasyona gidilebilir.

HC emisyonları açısından deneysel sonuçlar incelendiğinde, HC emisyonlarında görülen düzensiz değişimler, yüksek sıcaklık sebebiyle ölçüm malzemelerinde (plastik boru v.b gibi) meydana gelen bozulmalar sonucunda HC emisyonunu etkileyecek malzeme yapısından ayrılan partiküllerin etkisi düşünülebilir. Ayrıca bir miktar HC molekülünün is partiküllerinin üzerine yapışarak değişik devir ve sıcaklık etkisiyle bazen belirlenemeden atılması bazen de is partikülleri üzerinden ayrışıp belirlenmesi neticesinde farklı sonuçlar çıkmasına sebep olduğu söylenebilir. Simülasyon sonuçlarında da deneysel sonuçlara bağlı olarak düzensiz değişimler göze çarpmaktadır.

CO<sub>2</sub> emisyonu açısından incelendiğinde ise küresel ısınmaya neden olan bu gazın biodiesel

kullanılması ile diesel kullanılması arasında fazla fark görülmemekle beraber yapılan ölçümlerde yaklaşık olarak kullanılan yakıtın 4-5 katı miktarda CO<sub>2</sub> atmosfere salındığı gözlenmiştir. Ancak 1 kg biodiesel üretilmesinde atmosferden yaklaşık olarak 3 kg CO<sub>2</sub> gazı tüketilmektedir (Taşyürek, 2004). Bu açıklama ışığında biodieselin yakıt olarak kullanılmasıyla beraber 1 kg yakıt başına atmosfere geri dönüşümsüz olarak 1,5-2 kg CO<sub>2</sub> emisyonu salındığı anlaşılmaktadır.

Test esnasında kullanılan motor diesel yakıt ile çalıştırılması sonucunda alınan değerler ve gerekse biodiesel yakıt kullanılmasıyla alınan sonuçlar EURO standartlarında belirtilen üst limitlerden fazladır. Bu durum araç üstünde yapılacak modifikasyonlarla giderilebilir.



## KAYNAKLAR

- Özkan M., Sandalcı T., Ergenç A. T., Işın Ö., (2007)“The Experimental Investigation Of Exhaust Emissions Of Biodiesel Fuelled Diesel Engine”, İstanbul
- Deniz O., Özkan M, Ergenç A. T., (2007) “Experimental Performance Analysis of Biodiesel, Traditional Diesel and Biodiesel with Glycerine”, İstanbul
- Özkan M.,(1997), “İstanbul Trafiğinde Belirlenen Güzergahta Çalıştırılan Belediye Otobüsünün Optimum Yakıt Sarfıyatı Koşullarının Nümerik Yöntemle Etüdü”, İstanbul
- Agarwal D., Sinha S. ve Agarwal A. K., (2005), “Experimental Investigation of Control of NO<sub>x</sub> Emissions in Biodiesel Fueled Compression Ignition Engines”, Renewable Energy, 2356-2369.
- Agarwal A.K., (2006), “Biofuels (alcohols and biodiesel) Applications as Fuels for Internal Combustion Engines”, Progress in Energy and Combustion Science, Volume33, Issue3 233-271.
- Australian Maritime College, (2005), “Marine Engine Research Projects”, Australia.
- Breda, (2007), Effects of biodiesel on emissions of a bus diesel engine, Maribor-Slovenya
- Cheng W., Hamrin D., Heywood J., Hochgreb S., Min K. ve Norris M., (1993), “An Overview of Hydrocarbon Emissions Mechanisms in Spark Ignition Engines”, SAE Paper 932708.
- Çimen, G., ve Özbursa, M., (2005), Atık Kızartma Yağının Diesel Yakıtı Olarak Kullanılabilirliği, Konya.
- Corrêa, Arbilla, (2007), Carbonyl emissions in diesel and biodiesel exhaust, Brezilya
- Çetinkaya, M., Ulusoy, Y., Tekin, Y., Karaosmanoğlu, F., (2004), Engine and winter road test performances of used cooking oil originated biodiesel, Bursa.
- DEH, The Department of the Environment and Water Resources, (2002), “A Literature Review Based Assessment on the Impacts of a 20% Ethanol Gasoline Fuel Blend on the Australian Vehicle Fleet”, Orbital Engine Company, Australia.
- Demirbaş, A., (2002), Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: a survey, Trabzon.
- EPA, United States Enviromental Protection Agency, (2002), “A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions”, Draft Technical Report, EPA420-P-02-001.
- Ferguson C.R. ve Kirkpatrick A.T., (2001), “Internal Combustion Engines Applied Thermosciences”, John Wiley & Sons, USA.

Fernando S., Hall C. ve Jha S., (2005), “NO<sub>x</sub> Reduction from Biodiesel Fuels”, Energy & Fuels, 20 376-382.

Heywood J.B., (1989), “Internal Combustion Engines Fundamentals”, McGraw-Hill, Singapore

IEA, International Energy Agency, (2004), “World Energy Outlook 2004”, France

Knothe G., Van Gerpen J. ve Krah J., (2005), “The Biodiesel Handbook”, AOCS Pres, Illinois.

Öğüt H. ve Oğuz H., (2006), “Üçüncü Milenyum Yakıtı Biodiesel”, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.

Pasqualino J.C., Montane D. ve Salvado J., (2006), “Synergic Effects of Biodiesel in the Biodegradability of Fossil Derived Fuels”, Biomass & Bioenergy, 874-879.

Pereira, Oliveria, Oliveria, Oliveria, Fellows, Piamba, (2007), Exhaust emissions and electric energy generation in a stationary engine using blends of diesel and soybean biodiesel, Brezilya

Pulkrabek W.W., (1997), “Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine”, Prentice Hall, New Jersey.

Ramadhas A.S., Muraleedharan C. ve Jayaraj S., (2005), “Performance and Emission Evaluation of a Diesel Engine Fueled with Methyl Esters of Rubber Seed Oil”, Renewable Energy, 1789-1800.

Taşyürek, M., (2004), İçten Yanmalı Motorlarda Biyomotorin Yakıtlarının Geleneksel Yakıtlarla Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması, Konya.

Türkoğlu, N. (2005), Biyodiesel Üretimi

Türk Otomotiv Sanayii Genel ve İstatistikî Bilgileri Bülteni, (2001), Otomotiv Sanayii Derneği, Ankara.

Tüsiad Raporu, (2003), 21. Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi Eİİ, Genel Müdürlüğü, Ankara.

Ulusoy, Y., (2000), Kullanılmış Ayçiçek Yağı Metil Esterinin Alternatif Yakıt Olarak Kullanımı, Bursa.

Ulusoy, Yahya ve Yücel, Tekin, (2003), Kullanılmış yağ metil esterinin Türkiye şartlarında diesel motorlu bir araçta kullanımı ve emisyon sonuçları, Bursa.

Ulusoy, Y., ve Alıbaş, K., (2002), Diesel Motorlarda Biyodiesel Kullanımının Teknik ve Ekonomik Olarak İncelenmesi, Bursa.

Usta N., Öztürk E., Can Ö., Conkur E.S., Nas S., Çon A.H., Can A.Ç. ve Topcu M., (2004a), “Combustion of Biodiesel Fuel Produced from Hazelnut Soapstock/waste Sunflower Oil Mixture in a Diesel Engine”, Energy Conversion & Management, 741-755.

Usta N., (2004b), “Experimental Study on Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine Fuelled with Tobacco Seed Oil Methyl Ester”, *Energy Conversion & Management*, 2373-2386.

Utlü, Koçak, (2007) The effect of biodiesel fuel obtained from waste frying oil on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions, Balıkesir.

Yang, Chien, Lo, Lan, Lu, Ku, (2007), Effects of biodiesel on emissions of regulated air pollutants and polycyclic aromatic hydrocarbons under engine durability testing, Taiwan.

Zappi M., Hernandez R., Sparks D., Horne J., Brough M., Arora S.H. ve Motsenbocker W.D., (2003), “A Review of the Engineering Aspects of the Biodiesel Industry”, MSU E-TECH Laboratory Report, ET-03-003.

Zhang, Y., Dube, M.A., McLean, D.D., Kates, M., (2002) Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment, Ottawa.

## İNTERNET KAYNAKLARI

- [1] [www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov)
- [2] [www.betoser.com](http://www.betoser.com)
- [3] [www.eie.gov.tr](http://www.eie.gov.tr)
- [4] [www.gap-dogu-kalkinma.com](http://www.gap-dogu-kalkinma.com)

## **ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi 07.08.1978

Doğum yeri Erzurum

Lise 1992-1995 Mimar Sinan Lisesi Ankara

Lisans 1995-2001 Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fak.  
Makine Mühendisliği Bölümü

### **Çalıştığı kurum(lar)**

2003-2006 İ.E.T.T. İkitelli Motor Yenileme Fabrikası  
2006-Devam ediyor Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Çanakkale İl  
Müdürlüğü