DİZEL MOTORDA EMÜLSİFİYE YAKIT KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet Şamil MUTLUCAN

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Şükrü Ayhan BAYDIR

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Şubat 2024

Bu tez çalışması 22.FEN.BİL.41 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİZEL MOTORDA EMÜLSİFİYE YAKIT KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Ahmet Şamil MUTLUCAN

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Şükrü Ayhan BAYDIR

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şubat 2024

TEZ ONAY SAYFASI

Ahmet Şamil MUTLUCAN tarafından hazırlanan "Dizel Motorda Emülsifiye Yakıt Kullanımının Araştırılması" adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 23 / 02 / 2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Şükrü Ayhan BAYDIR

Başkan : Prof. Dr. İbrahim MUTLU
Afyon Kocatepe Üniversitesi., Teknoloji Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Ahmet KESKİN
Bolu Abant İzzet Baysal, Teknik Bilimler MYO

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Şükrü Ayhan BAYDIR
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... /..... /..... tarih ve
……. sayılı kararıyla onaylanmıştır.

…….
Prof. Dr. Bekir YALÇIN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

23 / 02 / 2024

Ahmet Şamil MUTLUCAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DİZEL MOTORDA EMÜLSİFİYE YAKIT KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Ahmet Şamil MUTLUCAN
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Şükrü Ayhan BAYDIR

Bu araştırmada, dizel çevrime sahip içten yanmalı motorlar için emisyon değerlerini düşürücü farklı yöntemler incelenerek, emülsifiye yakıt teknolojisinin kullanımı incelenmiştir. Genel kabul olarak %1-2 surfaktan ve %5-30 diğer madde seviyelerinde yakıt karışımlarının emisyonları düşürücü ve motor performansını iyileştirici etkilere sahip olduğu kanıtlanmıştır. Fakat deneyler belirli surfaktan çeşitlerinde sınırlı kalmıştır. Standart bir dizel çevriminde standart yakıt ile Tween80 (Polisorbat 80) ve NP10 (Nonifenol etosiklat) surfaktanlar ile ayrı ayrı bağlanmış farklı oranlarda yakıt karışımlarının yakıt karakteristikleri belirlenerek gerçekleştirilen deneyler sonucunda NP10 tipi surfaktanın yüksek viskozitesi nedeniyle bağlayıcı olarak kullanılamayacağı gözlenmiştir. Motor performans değerlerinde emülsifiye yakıtların güç, moment değerlerinde düşme olduğu ÖYS (özgül yakıt sarfiyatı) değerlerinde ise düşük ve yüksek devirlerde düşüş olmasına rağmen yaklaşık 1800-2700 d/dk motor devirlerinde dizel yakıta göre yüksek olduğu gözlendi. Dizel yakıt baz alınırsa T15 yakıtı 3000 d/dk hızda; NO_x azalma oranı Bosch marka emisyon cihazına göre %14,7, Bilsa marka emisyon cihazına göre % 34,56 değerlerindedir. Bunun yanında O_2, CO_2 değerleri emülsifiye yakıt kompozisyonu sayesinde artmıştır.

2024, xiii + 142 sayfa

Anahtar Kelimeler: Egzoz emisyonu, Surfaktan, yakıt karakteristiği, yakıt, emülsifiye.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF EMULSIFIED FUEL USE IN DIESEL ENGINE

Ahmet Şamil MUTLUCAN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Auotomotive Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Şükrü Ayhan BAYDIR

In this research, the use of emulsified fuel technology was examined by examining different methods to reduce emission values for internal combustion engines with diesel cycle. Generally speaking, it has been proven that fuel mixtures at 1-2% surfactant and 5-30% other substance levels have effects on reducing emissions and improving engine performance. However, experiments have been limited to certain surfactant types. As a result of the experiments carried out by determining the fuel characteristics of fuel mixtures in different ratios bound separately with standard fuel and Tween80 (Polysorbate 80) and NP10 (Noniphenol ethoscyclate) surfactants in a standard diesel cycle, it was observed that NP10 type surfactant cannot be used as a binder due to its high viscosity. It was observed that the engine performance values of emulsified fuels decreased in power and torque values, and although there was a decrease in the SFC (specific fuel consuption) values at low and high speeds, they were higher than diesel fuel at approximately 1800-2700 rpm engine speeds. Based on diesel fuel, T15 fuel runs at 3000rpm; The NO_x reduction rate is 14.7% compared to Bosch brand emission device and 34.56% compared to Bilsa brand emission device. In addition, O_2 and CO_2 values increased thanks to the emulsified fuel composition.

2024, xiii + 142 pages

Keywords: Exhaust emission, Surfactant, fuel characteristics, fuel, emulsifier.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Şükrü Ayhan BAYDIR, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Öğr. Gör. Dr. Emrah ERÇEK'e her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmamı 22.FEN.BİL.41 numaralı proje ile maddi olarak desteklediği ve çalışmalarımın yürütülmesinde kolaylık sağladığı için Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP)'ne teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı ailem Atike ve Abdullah MUTLUCAN'a, kardeşim ve eşi Havva Nur ve Hasan AYGÜN'e ve en yakın arkadaşım olan Oğuz ZEMZEM ve ailesine teşekkür ederim.

Ahmet Şamil MUTLUCAN
Afyonkarahisar 2024

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET iii
ABSTRACT iv
TEŞEKKÜR v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ viii
ŞEKİLLER DİZİNİ x
ÇİZELGELER DİZİNİ xii
RESİMLER DİZİNİ xiii
1. GİRİŞ 1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ 3
2.1 Dizel Yakıtı 3
2.1.1 Dizel Yakıtı Kompozisyonu 4
2.1.1.1 Parafinler 5
2.1.1.2 Olefinler 8
2.1.1.3 Aromatikler 9
2.1.2 Dizel Yakıt Karakterizasyonu 10
2.1.2.1 Setan Sayısı 11
2.1.2.2 Yoğunluk 12
2.1.2.3 Viskozite 12
2.1.2.4 Kaynama Noktası 13
2.1.2.5 Soğuk Hava Özellikleri 14
2.1.2.6 Kükürt İçeriği, Yağlayıcılık ve Kirlilik 14
2.2 Egzoz Emisyonları 16
2.2.1 Hidrokarbonlar (HC) 16
2.2.2 Karbonmonoksitler (CO) 17
2.2.3 Karbondioksitler ($CO2$) 19
2.2.4 Kükürt Oksitler (SOx) 21
2.2.5 Partikül Maddeler (PM) 23
2.2.6 Azotoksitler (NOx) 27
2.3 Egzoz Emisyon Regülasyonları ve Minimizasyonu 33
2.3.1 Emülsifiye Yakıt 35
3. MATERYAL ve METOT 41

3.1 Deney Düzeneği 41
3.2 Emülsifiye Yakıtların Hazırlanması 43
3.2.1 Kullanılan Malzemeler 43
3.2.2 Yakıtların Hazırlanma Süreci 49
4. BULGULAR 53
5. SONUÇ 60
6. TARTIŞMA ve ÖNERİLER 61
7. KAYNAKLAR 62
ÖZGEÇMİŞ 67
EKLER 68

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	
%(m/m)	Oransal kütle içeriği
%(v/v)	Oransal hacim içeriği
λ	Lambda
C	Karbon
CO	Karbonmonoksit
CO_2	Karbondioksit
C_nH_{2n}	Olefinler
C_nH_{2n+2}	Parafinler
C_nH_{2n}	Neftenler
C_nH_{2n-6}	Aromatikler
°C	Derece Selsiyus
H_2	Hidrojen
H_2O	Su
H_2SO_4	Sülfirik asit
H_2SO_3	Sülfüroz asit
d/dk	Devir/dakika
dk	dakika
hPa	Hektopascal
kg	Kilogram
kg/m³	Yoğunluk
km/h	Hız
ℓ	Litre
g	Gram
g/m^3	Yoğunluk
µg	Mikrogram
mg/kg	Kütle içeriği
mm²/s	Viskozite
µm	Mikrometre
m³	Metreküp
O_2	Oksijen
NO_x	Azotoksit
Sa	Saat
S	Kükürt
SO	Kükürt oksit
SO_2	Kükürt dioksit
Kısaltmalar	
BTE	Fren termal verimi
CFFP	Soğuk filtre tıkanma noktası
DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü
EN	Euro Norm
HC	Hidrokarbon
HZ	Hertz
HFK	Hava fazlalık katsayısı
HMN	Heptametilnonan

HLB	Hidrofilik-lipofilik dengesi
İYM	İçten yanmalı motor
KMA	Krank mili açısı
MAK	Müsaade edilen azami konsantrasyon
NP10	Nonifenol etoksilat
N5	%94 dizel+%1 NP10+%5 su oranında emülsifiye yakıt
N10	%89 dizel+%1 NP10+%10 su oranında emülsifiye yakıt
N15	%84 dizel+%1 NP10+%15 su oranında emülsifiye yakıt
ÖYS	Özgül yakıt sarfiyatı
PAH	Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar
PM	Partikül madde
SFC	Specific fuel consuption
T5	%94 dizel+%1 Tween80+%5 su oranında emülsifiye yakıt
T10	%89 dizel+%1 Tween80+%10 su oranında emülsifiye yakıt
T15	%84 dizel+%1 Tween80+%15 su oranında emülsifiye yakıt
SFTN	Soğuk filtre tıkanma noktası
W	Watt
WSD	Aşınma izi çapı
YAME	Yağ asidi metil esteri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Parafin ailesinden bir örnek ‘’Setan’’ için bağ yapısı 6
Şekil 2.2 HC’lar için C atomuna bağlı setan sayısı değişimi 7
Şekil 2.3 Parafin ailesinden dizel yakıtı içinde naften (siklo-parafin) örneği 7
Şekil 2.4 Olefin (mono-olefin) ailesinden 1-cetene (1-Hexadecene) molekülü..... 8
Şekil 2.5 Dizel yakıtı için çeşitli Aromatik örnekleri..... 9
Şekil 2.6 Setan sayısı için referans yakıtlar..... 11
Şekil 2.7 Dizel yakıtı için sıcaklığa bağlı kinematik viskozite 12
Şekil 2.8 Tipik dizel yakıtı için kaynama noktası özelliği 13
Şekil 2.9 Petrolün kaynama aralığı boyunca HC türlerinin dağılımı 14
Şekil 2.10 Kükürt oranının PM emisyonlarına etkisi 15
Şekil 2.11 Dizel egzoz gazı kompozisyonu..... 16
Şekil 2.12 HFK’nın CO üzerindeki etkisi 18
Şekil 2.13 HFK’ya göre $O2$, CO ve $CO2$ oranları 20
Şekil 2.14 Taşıt hızına bağlı olarak üretilen $CO2$ emisyonu ve yakıt tüketim değerleri 21
Şekil 2.15 PM (dizel); (a) element oranları ve (b) kompozisyonu..... 24
Şekil 2.16 Kütle ve Sayıya göre tipik motor egzoz partikül boyutu dağılımı. 25
Şekil 2.17 Egzoz gazı içeriği olarak PM formasyonu 26
Şekil 2.18 a) Kurum oluşum süreci (süreç oksidasyon ile sonlanacaktır fakat her adım için de bu geçerlidir. Her adım sonunda oksidasyon gerçekleşebilir.), **b)** Partikül çekirdeklerinin katılaşma süreci 26
Şekil 2.19 Dünya atmosferinin bileşimi (su buharı göz ardı edilmiştir) 28
Şekil 2.20 Sıcaklığa bağlı NOx oluşum mekanizması. 29
Şekil 2.21 Hava-yakıt oranına bağlı özgül yakıt tüketimi ve kirletici emisyonlar..... 30
Şekil 2.22 Krank açısına bağlı egzoz gazı emisyonları değişimi 32
Şekil 2.23 NOx emisyonunu kontrol altına alma yöntemleri. 35
Şekil 3.1 Deney Düzeneği. 41
Şekil 3.2 a) Bosch BEA060 egzoz emisyonu ölçüm cihazı, b) Bilsa Mod2210 WinXP egzoz emisyonu ölçüm cihazı. 43
Şekil 4.1 Deney yakıtları dinamik viskozite değerleri. 53
Şekil 4.2 Motor hızına bağlı motor gücü değişimi. 54
Şekil 4.3 Motor hızına bağlı motor moment değişimi. 55
Şekil 4.4 Motor hızına bağlı ÖYS değişimi. 56

Şekil 4.5 Motor hızına bağlı egzoz gazındaki NOx değişimi..... 56
Şekil 4.6 Motor hızına bağlı egzoz gazındaki O_2 değişimi. 57
Şekil 4.7 Motor hızına bağlı egzoz gazındaki CO_2 değişimi..... 58
Şekil 4.8 Motor hızına bağlı egzoz gazındaki HC değişimi..... 59
Şekil 4.9 Motor hızına bağlı egzoz gazı sıcaklık değişimi..... 59

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 EN 590 Standartlarına uygun Avrupa ve Türkiye'de geçerli motorin yakıt özellikleri..... 3

Çizelge 2.2 Hidrokarbonların basit karakteristikleri. 4

Çizelge 2.3 No.2 (orta ve yüksek hızlı motorlar için) dizel yakıtı HC kompozisyonu 5

Çizelge 2.4 HC ailelerinin temel özellikleri. 10

Çizelge 2.5 Binek araçlar için günümüze kadar uygulanan EURO norm regülasyonları. 34

Çizelge 3.1 Deney motoruna ait özellikler. 42

Çizelge 3.2 Bosch ve Bilsa marka egzoz emisyon cihazlarının karşılaştırmalı teknik verileri. 43

Çizelge 3.3 OPET firmasına ait Eurodiesel yakıtı özellikleri. 44

Çizelge 3.4 Surfaktanlara (Yüzey etken madde) ait teknik veriler. 45

Çizelge 3.5 DLAB MS7-H550-Pro marka ısıtıcılı manyetik karıştırıcıya ait teknik veriler 47

Çizelge 3.6 SF-400C elektronik hassas terazi teknik verileri. 48

Çizelge 3.7 And Vibro SV-10 viskozite ölçüm cihazı teknik verileri..... 48

Çizelge 3.8 Emülsifiye yakıt oran ve miktarları..... 49

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 3.1 Deney motoru (Anthor 3LD 510 12hp-8,84 kW). 42

Resim 3.2 Kullanılan yüzey aktif maddeler (sufaktanlar) a) Merck-Tween80-sentez için (yabancı menşei), b) Apeks Grup-NP10 (yerli menşei). 45

Resim 3.3 a) DLAB MS7-H550-Pro Isıtıcılı manyetik karıştırıcı, b) SF-400C Elektronik hassas terazi. 47

Resim 3.4 And Vibro SV-10 viskozite ölçüm cihazı. 48

Resim 3.5 a) Surfaktan, b) Ultra saf su, c) Standart dizel yakıtı. 50

Resim 3.6 a) Standart dizel yakıtı karıştırma sonu, b) Surfaktan ekleme işlemi, c) Yakıt+Surfaktan karıştırma sonu. 51

Resim 3.7 a) Ultra saf su ekleme başı, b) Ultra saf su ekleme sonu, c) Yakıt+Surfaktan+Ultra saf su karıştırma sonu. 51

1. GİRİŞ

1860 Sanayi devrimi sonucunda endüstriyel gelişmeler, üretim ve üretim hızının artmasıyla ve nüfus artışına bağlı olarak artan hizmet, enerji, nakliye ihtiyacına yönelik olarak geliştirilen içten yanmalı motorlar geçen süre boyunca sürekli gelişmeye devam etmiştir. Bu gelişmeler insanların günlük yaşamlarında kolaylık sağlamasının yanında insan ve çevre şartlarında olumsuz etkileri olduğu zamanla anlaşılmış ve bu konu hakkında çeşitli kurallar, yönetmelikler, araçlar, teknolojiler geliştirme yönünde adımlar atılmıştır.

Mevcut konulardan en önemlisi olan içten yanmalı motorların yanma sonucu açığa çıkardığı egzoz gazı emisyonlarıdır. Egzoz gazı emisyonları kısa ve uzun vadede insan ve çevre sağlığı üzerinde olumsuz etkiler bırakmaktadır ve hatta bu etkiler ölüme kadar götürebilmektedir.

Günümüzde içten yanmalı motorlar içinde dizel yakıtlı motorlar, yüksek verimi, düşük işletme maliyetleri, dayanıklılığı, yakıt fiyatı açısından başta ağır hizmet araçları olmak üzere birçok alanda daha fazla tercih edilmektedir (Keskin 2009). Bunun sonucunda hava kirliliğinin büyük çoğunluğunu bu çevrime sahip motorlar üstlenmektedir. Egzoz gazı genel itibariyle içerik olarak CO, HC, NOx, PM, SOx, ve kurşun bileşikleri ihtiva eden egzoz emisyonlarında; CO ve HC emisyonları benzinli araçlarda, NOx ve PM salımı ise dizel yakıtlı araçlarda daha yüksek görülmektedir. İnsanın yaşamını sürdürebilmesi için gerekli günlük hava ihtiyacı olan 15 m^3 temiz havayı 10 dakikada tamamen solunamaz ve zehirli hale getiren egzoz emisyonları, dünya üzerinde belli standartlara oturtulmaya çalışılmış ve bu çalışmalar neticesinde farklı yöntem, teknoloji ve araçlar geliştirilmiştir (Kelen 2014).

Bu yöntemler içinde hali hazırda egzoz devresinde çalışmalar yoğunluktadır ve geliştirmeler bunlara yönelik yapılmaktadır. Motor ve yakıt devresinde yakıt katkısı kullanımı da son kullanıcıya kadar inmiş bulunmaktadır. Bu yöntemler içinde yapılan çalışma sayısı bakımından diğerlerinden geride kalan su ve türevinin ve alternatif yakıt karışımlarının içten yanmalı motorlarda kullanımının incelenmesi dikkat çekmektedir.

Suyun içten yanmalı motorlarda kullanımı literatürde farklı şekillerde görülmektedir (Ayhan 2016). Bunlar;

- *Emülsife yakıt:* Yakıt ve su vb. maddelerin sürfaktanlar (yüzey etkin madde) yardımı ile homojen ve stabil karışımının elde edilmesi amacına dayanan karıştırma biçimidir. Avantajı, yakıt ve diğer madde önceden karıştırıldığı için motor üzerinde değişiklik yapmadan mevcut parçalar kullanılarak işlem yapılabilmektedir.
- *Direkt su enjeksiyonu:* Birincil enjektörün (yakıt enjektörü) yanında yanma odasına ya da emme hattına ikincil bir enjektörün (su enjektörü) montajı ile su ve yakıtın spreylendiği yöntemdir. Bu yöntem ateşleme zamanı, ECU kontrolü, ikincil enjektör ve devresi vb. etkenlerden dolayı biraz daha pahalı bir yöntemdir.
- *Su buharı püskürtme (fumigasyon) yöntemi:* Bu yöntemde su buhar fazına geçirilerek ikincil bir enjektör ile emme hattına ya da direkt yanma odasına enjekte edilmektedir. Yine bu yöntemde de buhar fazı eldesi için fazladan parça ve ikincil enjektör faktörü ile modifikasyonlar gerektiği için görece pahalı olmaktadır.

Yapılan literatür ön çalışmasına bağlı kalarak; maliyet, kurulum ve işletme kolaylığı, motor modifikasyonu, uygulanabilirlik ve ayrıca motor performans parametreleri, egzoz emisyon değerleri gibi kriterleri göz önünde bulundurarak yöntemler içinde emülsiyon yöntemi üzerinde durulmuştur. Böylece araştırma konusu olarak emülsifiye yakıtların motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri ve emülsifiye yakıt karakteristikleri değerlendirilmiştir. Böylece standart bir dizel yakıta göre emülsifiye dizel yakıtların avantaj ve dezavantajları ortaya koyularak değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Dizel Yakıtı

Ham petrolden damıtılarak elde edilen dizel yakıtı C temelli fosil bir yakıttır ve dünyada rezervi tükenebilir olarak değerlendirilmektedir. Uzunca bir süre benzin üretiminin yan ürünü olarak atfedilen dizel yakıtı yüksek verimi, düşük üretim maliyeti gibi avantajları sayesinde piyasada kendine yer edinebilmiştir (Mollenhauer ve Tschöke 2010). Artan kullanım oranı ve tercihi sebebiyle gerek verim gerek emisyon düzenlemeleri neticesinde 1990 yılından itibaren yeniden şekillendirilen dizel yakıt; daha iyi tutuşmaya hazır durumu, azaltılmış aromatikler, azaltılmış yoğunluk ve düşük kükürt bileşenleri sayesinde kullanılabilirliği artırılmış ve geçerliliği pekiştirilmiştir (Schäfer ve Basshuysen 1995). Günümüzde 200-300°C kaynama sıcaklığında, genel formülü $C_{15}H_{32} - C_{18}H_{38}$ olan, binden fazla HC bileşeninden oluşan motorin, petrolün üçüncü ana damıtma ürünüdür (Tac 2016).

Çizelge 2.1 EN 590 Standartlarına uygun Avrupa ve Türkiye'de geçerli motorin yakıt özellikleri (İnt. Kyn. 11 2019; Aksoy 2021; İnt. Kyn. 12 2021; İnt. Kyn. 10 2023).

Özellik	Birim	Min.	Max.	Test Metodu
Setan İndisi		46,0	-	EN ISO 4264
Setan Sayısı		51,0	-	EN ISO 5165
Yoğunluk (15°C'ta)	kg/m³	Yaz: 820 Kış: 815	Yaz: 845 Kış: 845	EN ISO 3675 EN ISO 12185 TS 1013
Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH)	%(m/m)	-	11,0	EN ISO 12916
Sülfür İçeriği	mg/kg	-	10,0	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Parlama Noktası	°C	55,0≤	-	EN ISO 2719
Karbon Kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)	%(m/m)	-	0,3	EN ISO 10370
Kül İçeriği	%(m/m)	-	0,01	EN ISO 6245
Su İçeriği	mg/kg	-	200,0	EN ISO 12937
Toplam Kirlilik	mg/kg	-	24,0	EN ISO 12662
Bakır Şerit Korozyonu (50°C'ta 3 saat)	sınıf	1,0	1,0	EN ISO 2160
Oksidasyon Kararlılığı	g/m³	-	25,0	EN ISO 12205

Çizelge 2.1 devam EN 590 Standartlarına uygun Avrupa ve Türkiye'de geçerli motorin yakıt özellikleri (İnt. Kyn. 11 2019; Aksoy 2021; İnt. Kyn. 12 2021; İnt. Kyn. 10 2023)

Özellik		Birim	Min.	Max.	Test Metodu
Yağlayıcılık Özelliği (aşınma izi çapı (WSD 1.4), 60°C'ta)		µm	-	460,0	EN ISO 12156-1
Viskozite (40°C'ta)		mm²/s	2,0	4,50	EN ISO 3104
Damıtma Özellikleri	250°C için	%(v/v)	-	<65	EN ISO 3405 EN ISO 3924
	350°C için	%(v/v)	85,0	-	
	%95'in (v/v) elde edildiği sıcaklık	°C	-	360,0	
Yağ Asidi Metil Esteri (YAME) İçeriği		%(v/v)	-	7,0	EN 14078
Soğuk Filtre Tıkanma Noktası (STFN)		°C	-	Kış: -15,0 Yaz: +5,0	EN 116 TS EN 16329

2.1.1 Dizel Yakıtı Kompozisyonu

Dizel yakıtı n-parafinler, i-parafinler, olefinler, naftenler ve aromatik bileşikler gibi çeşitli farklı HC bileşiklerinden oluşur (Bauer 2003). Yakıtların kategorizasyonunda temel olması beklenen HC türleri ve miktarları, dizel yakıt için içeriğindeki ölçülebilir miktarlardaki ayrı yakıt türlerinin fazlalığı nedeniyle en pratik yol olmayabilir (Challen ve Baranescu 1999). Her ne kadar sınıflandırma konusunda yetersiz kalsa da yanma karakteristiğinin temelini HC'lar oluşturur ve motorda gerekli olan yakıt-hava karışım oranını etkiler (Ganesan 2017).

Çizelge 2.2 Hidrokarbonların basit karakteristikleri (Schäfer ve Basshuysen 1995).

	Alevlenebilirlik	SHO	HID	Yoğunluk	DE
n-parrafinler	İyi	Kötü	Düşük	Düşük	Düşük
i-parrafinler	Düşük	İyi	Düşük	Düşük	Düşük
Olefinler	Düşük	İyi	Düşük	Düşük	Orta
Neftanlar	Orta	İyi	Orta	Orta	Orta
Aromatik HC	Kötü	Orta	Yüksek	Yüksek	Yüksek

SHO: Soğukta Özellikler; **HID:** Hacimsel Isıl Değer; **DE:** Duman Eğilimi

HC molekülleri sadece C ve H_2 atomlarını içermektedir. Her bir atom diğer atomlarla kovalent bağ kurmasıyla farklı kombinasyonların sonucu olarak; tek bağ içeren HC'lara

parafinler (alkanlar), bir veya daha fazla çift bağ oluşturanlara olefinler (alkenler), üçlü bağa sahip olanlara alkinler denir ve aromatik HC'lar ise tek ve çift bağ arasında özel bir bağ türü içeren farklı sınıf bir HC'lardır (Challen ve Baranescu 1999).

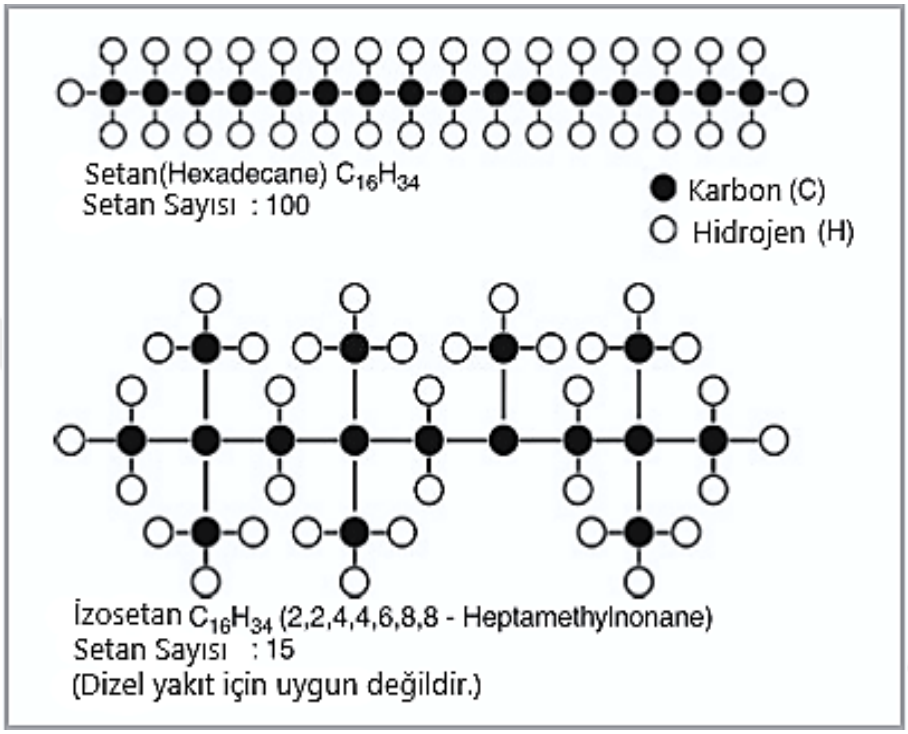
Çizelge 2.3 No.2 (orta ve yüksek hızlı motorlar için) dizel yakıtı HC kompozisyonu (Challen ve Baranescu 1999).

No.2 Dizel	**T-1**	**T-2**	**T-3**
	Kompozisyon, ağırlıkça%		
Kükürt	0,24	0,25	0,06
Br#	0,61	0,61	0,64
Parafinler	31,5	31,3	35,3
Sikloparafinler	40,3	42,7	32,0
Alkilbenzenler	8,0	8,9	7,4
İndan ve tetralinler	5,0	4,6	6,5
İndene	1,3	1,2	1,0
Naftalin	0,2	0,3	0,6
$C_{11} + naftalin$	4,2	3,0	7,3
Asenafetilen	4,0	3,5	3,7
Trisiklik Aromatikler	2,2	1,9	2,1
Toplam	100	100	100
	Naftalin Dağılımı		
C_{10}	0,20	0,29	0,60
C_{11}	0,65	0,57	1,50
C_{12}	1,19	0,70	2,10
C_{13}	0,80	0,60	1,80
C_{14+}	1,49	1,10	1,90
Toplam	**4,40**	**3,30**	**7,90**

2.1.1.1 Parafinler

Yapı olarak tek bağ içeren, doymuş (C atomuna bağlı olan maksimum H molekülünden dolayı), basit zincir oluşturan ve kararlı karakteristiğe sahip parafinlerin en basit ve temel molekülü metandır ve her bir C bağı ile metan, propan, bütan ve pentan gibi farklı molekül yapıları (düz zincirli HC'lar) oluşturur. Literatürde n-parafin ismiyle anılmasının sebebi düz zincir bağlı basit HC'lar olması neticesinde normal parafinler ismiyle çağrılmasından dolayıdır (Challen ve Baranescu 1999; Ganesan 2017). Yapısal izomerler ya da

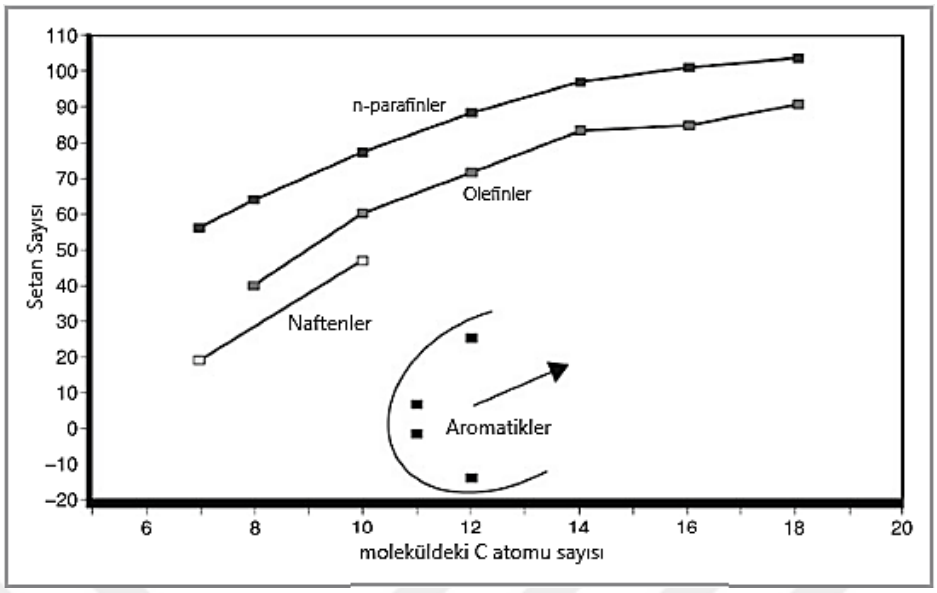
izoparafinler n-parafinler gibi kararlı ve doymuş yapıdadır, tek farkları farklı moleküler yapıya ve fiziksel özelliklere sahip olmalarıdır (Challen ve Baranescu 1999; Ganesan 2017). Parafinlerin temel kimyasal formülü C_nH_{2n+2} (n herhangi bir sayı) şeklindedir (Pulkrabek 2013).



Şekil 2.1 Parafin ailesinden bir örnek ‘’Setan’’ için bağ yapısı (Mollenhauer ve Tschöke 2010).

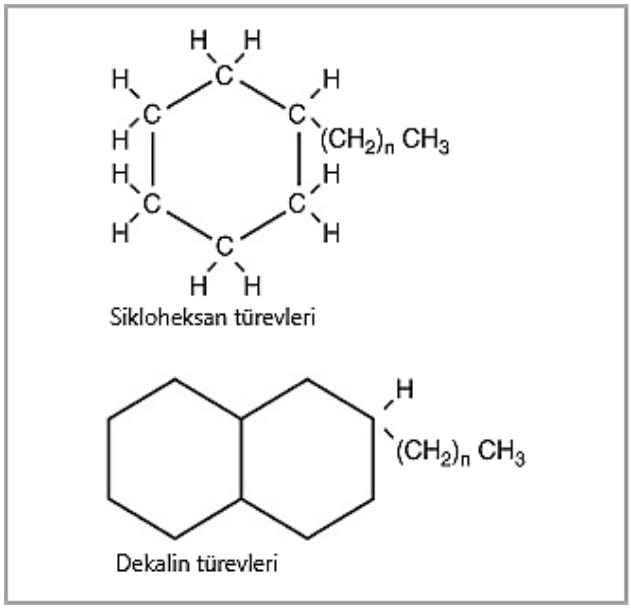
İYM’larda yanmanın bir ölçütü olan oktan sayısı ve setan sayısı; parafinlerin zincir boylarına ve bağ yapılarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Buna göre (Şekil 2.5), kısa zincirlere sahip parafinler yüksek oktan oranına; uzun zincirlere sahip parafinler yüksek setan sayılarını işaret ederler (Challen ve Baranescu 1999). Parafin moleküllerinin molekül boyutları (zincir uzunlukları) artmasıyla kararsızlaşması sonucu daha iyi tutuşma özellikleri sergiler.

Aksine izoparafinler kendiliğinden tutuşmaya karşı yüksek dirence sahiptir ve sıkıştırma ateşlemeli motorlar için uygun değildir (Mollenhauer ve Tschöke 2010). Şekil 2.4’te görüldüğü üzere ‘’Setan’’ n-parafini 100 setan sayısına sahipken ‘’İzosetan’’ i-parafini 15 setan sayısına sahiptir ve i-parafinlerin sıkıştırma ateşlemeli motorlar için doğru bir tercih olmadığını göstermektedir.



Şekil 2.2 HC'lar için C atomuna bağlı setan sayısı değişimi (Mollenhauer ve Tschöke 2010).

Döngüsel HC'lar (Şekil 2.6) üç ve daha fazla C atomunun halka şeklinde oluşturduğu ve H atomunun her C atomuna bağlı olduğu tek bağ içeriğinde doymuş göz-parafin olarak isimlendirilen ve genel kimyasal formülü C_nH_{2n} olan parafin alt başlığıdır ve olefinlerle aynı kimyasal formüle dayanır (Challen ve Baranescu 1999; Pulkrabek 2013; Ganesan 2017). Orta setan sayısına sahip naftenler (siklo-parafinler) dizel yakıt düşük sıcaklıkta iyi bir performans sağlar (Mollenhauer ve Tschöke 2010).

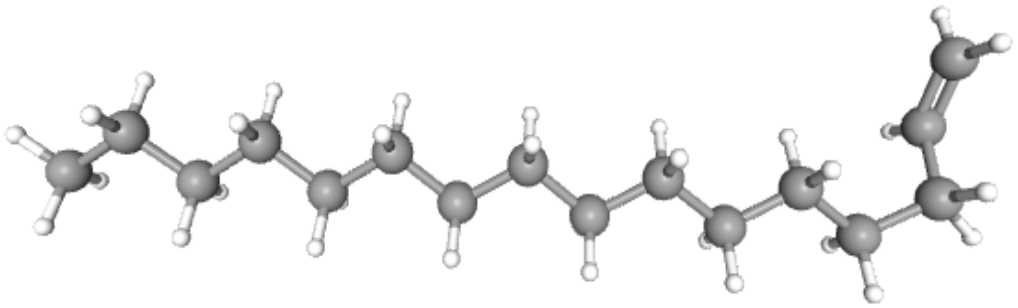


Şekil 2.3 Parafin ailesinden dizel yakıtı içinde naften (siklo-parafin) örneği (Mollenhauer ve Tschöke 2010).

Sonuç olarak parafin ailesi yakıtın kendiliğinden tutuşma özelliğinde etken maddedir. Oluşturduğu düz zincir bağ yapıları ne kadar uzun olursa molekül boyutu artarak boyuta bağlı gaz, sıvı, katı halde bulunabilmektedir. Zincir boyunun artmasıyla kararlı yapıdan kararsız yapıya geçişiyle sıkıştırma ateşlemeli motorlar için ideal yanma koşullarını hazırlayabilmektedir.

2.1.1.2 Olefinler

Alkinler olarak da adlandırılan olefinler çift ve daha fazla zincir benzeri ya da dallı zincirli C-C bağı oluşturan, doymamış HC çeşididir (Challen ve Baranescu 1999; Mollenhauer ve Tschöke 2010). Genel kimyasal formülü C_nH_{2n} olan olefinler kararsız yapısıyla bilinir (Pulkrabek 2013; Ganesan 2017). Olefinlerde parafinler gibi zincir yapısı uzadıkça (molekül boyutu arttıkça) setan sayısında değişime gider (Şekil 2.5). Fakat olefinler aynı sayıda C atomuna sahip parafinlerden kısmen daha az setan sayısı ihtiva eder; $C_{16}H_{34}$ (n-parafin cetane) setan sayısı 100 iken (Şekil 2.4), $C_{16}H_{32}$ (olefin 1-cetene (Şekil 2.7)) setan sayısı 84,4'tür (Mollenhauer ve Tschöke 2010).

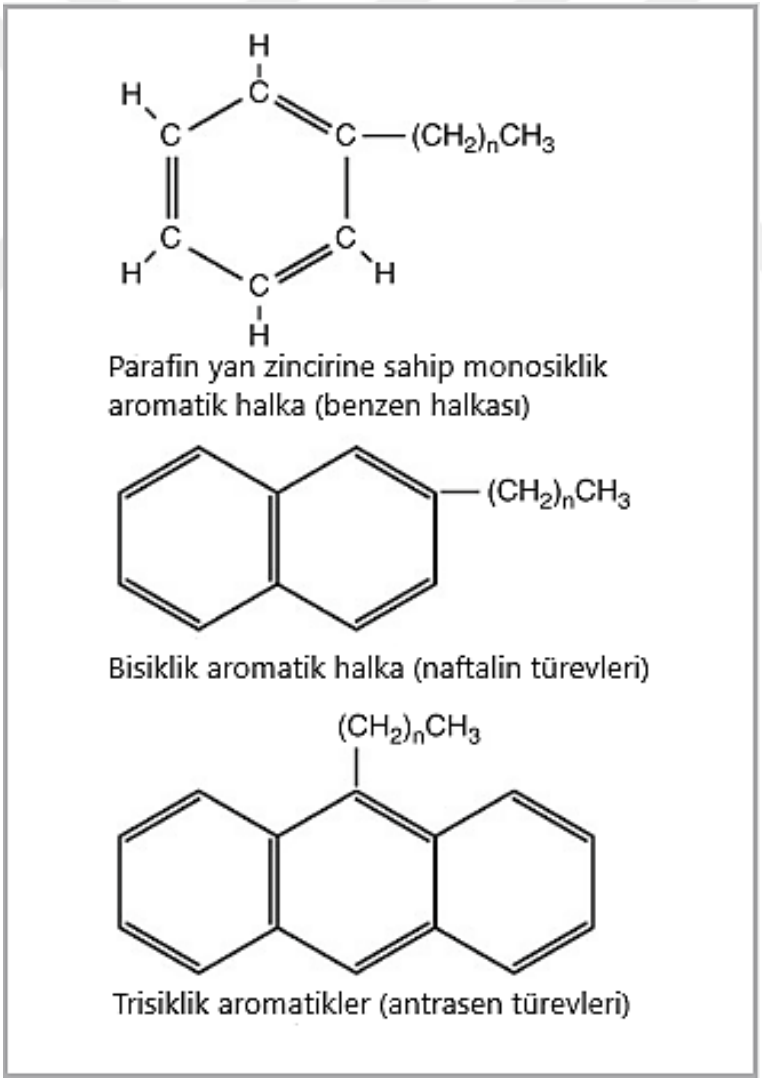


Şekil 2.4 Olefin (mono-olefin) ailesinden 1-cetene (1-Hexadecene) molekülü (İnt. Kyn. 13 2023).

Mono-olefinler (C_nH_{2n}) yapılarında bir adet çift bağa sahipken diolefinler (C_nH_{2n-2}) ise yapılarında iki çift bağa sahiptir ve her ikisi de doymamış HC'lardır. Olefinlerin yapısındaki çift bağ fiziksel özellikleri dizel yanma performansına çok az etki eder ve kararsız oluşları neticesinde sakızımsı birikinti oluşturma eğilimindedirler bu yüzden yakıt içi olefin oranı düşük tutulur ya da istenmez (Mollenhauer ve Tschöke 2010; Pulkrabek 2013; Ganesan 2017).

2.1.1.3 Aromatikler

Parafin ve olefinlerden farklı olarak bağ sayılarına göre sınıflandırılamayan aromatikler rezonans adı verilen tekli ve çiftli bağ yapılarının arasında bir yerde yer almaktadır. Doymamış ve hekzagonal yapıda (benzen molekülü merkezli) bulunan güçlü çözündürücü özelliklere (Sonucunda motor yakıt hattında birçok sorun oluşturur.) sahip aromatikler yüksek yoğunluğa sahip, birim kütle başına enerjileri düşük fakat birim hacim başına enerjileri yüksektir. Genel kimyasal formülü C_nH_{2n-6}'dır ve moleküldeki bir ya da daha fazla H atomunun; parafin, olefin ya da naftenler ile yer değiştirmesi (Şekil 2.8) sonucu farklı bileşikler oluşturur (Challen ve Baranescu 1999; Pulkrabek 2013; Ganesan 2017).



Şekil 2.5 Dizel yakıtı için çeşitli Aromatik örnekleri (Mollenhauer ve Tschöke 2010).

Kaynama noktaları 180-370°C aralığında olan aromatikler geleneksel dizel yakıtında çoğunlukla bulunabilmektedir. Bunlar %15-25 oranda monoaromatikler, %5 oranlarında diaromatikler, %1 kadar ise triaromatikler ve daha yüksek poliaromatikler oluşturmaktadır. Çoğunluğu kapsayan monoaromatiklerin özellikleri zincir boyuna göre farklılık gösterir; kısa zincirli moleküller aromatik özelliği sergilerken uzun yan zincirli moleküller parafinik özellikler gösterir. Bunların yanında polinükleer aromatikler ve türevleri (Şekil 2.8), düşük tutuşma karakteristiği ve PM emisyonlarını artırıcı etkilerinden dolayı istenmez ve EN 590 standardına göre %11 seviyelerinde sınırlandırılmıştır. Ayrıca molekül yapısına bağlı setan sayısının diğer HC'lara görece azlığı nedeniyle (Şekil 2.5) sıkıştırma ateşlemeli motorlarda zayıf yanmayı teşkil eder (Mollenhauer ve Tschöke 2010; Pulkrabek 2013).

Çizelge 2.4 HC ailelerinin temel özellikleri (Ganesan 2017).

HC Ailesi	Genel Formül	Molekül Yapısı	Doygunluk	Kararlılık
Parafinler	C_nH_{2n+2}	Zincir	Doymuş	Kararlı
Olefinler	C_nH_{2n}	Zincir	Doymamış	Kararsız
Neftenler	C_nH_{2n}	Halka	Doymuş	Kararlı
Aromatikler	C_nH_{2n-6}	Halka	Aşırı Doymamış	Oldukça Kararsız

2.1.2 Dizel Yakıt Karakterizasyonu

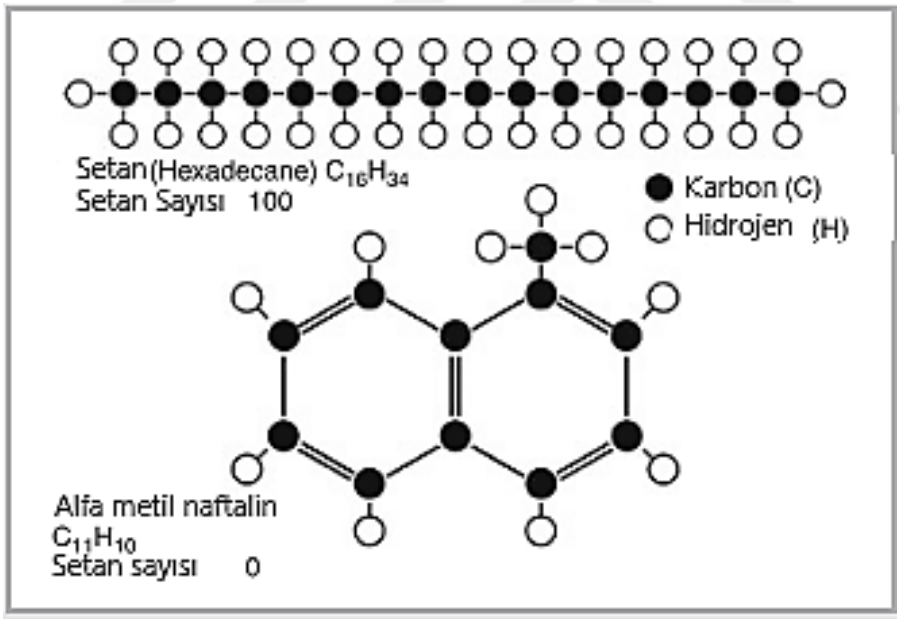
Gerek emisyon değerleri gerekse motor performansı açısından dizel motor yakıtına yetkin makamlarca EN 590 standardı (Çizelge 2.1) uygulanmıştır. Bu kriterler ayrıca yakıtın özelliklerini de vermektedir. Yüksek kalitede yakıt ve motor hizmet ömrü için temel nitelikler (Bauer 2003):

- Yüksek Setan Sayısı
- Nispeten düşük üst kaynama noktası
- Sınırlı yoğunluk ve viskozite dağılımı
- Düşük aromatik bileşikler (özellikle poliaromatikler)
- Düşük kükürt içeriği (≤10ppm)
- İyi yağlayıcılık

- Serbest su olmaması (saflık)
- Düşük kirlilik

2.1.2.1 Setan Sayısı

Setan Sayısı yakıtın tutuşma kolaylığına referanstır (yüksek setan sayısı yüksek yanıcılık) ve bu yüzden yakıt kalitesinde en önemli kriterdir (Bauer 2003). Yakıt tutuşmasındaki gecikme, yüksek egzoz emisyon değerleri ve düşük motor parametrelerinin ve vuruntunun en önemli nedenidir ve bunu belirleyen en önemli etken setan sayısıdır (Brady 2013; Ganesan 2017). Setan sayısı belirlenirken referans yakıtlar; üst sınır için parafin ailesinden cetan (hexacetane) (Şekil 2.4) ve alt sınır için heptametilnonandır (HMN- setan sayısı: 15) ya da a-metilnaftalindir (setan sayısı: 0) (Challen ve Baranescu 1999; Mollenhauer ve Tschöke 2010). NO_x'ler hariç diğer temel kirletici bileşenler setan sayısı ile değiştirilebilir (Schäfer ve Basshuysen 1995).



Şekil 2.6 Setan sayısı için referans yakıtlar (Mollenhauer ve Tschöke 2010).

Tek bağlı HC olan parafinin setan sayısı dolayısıyla kendiliğinden tutuşma değeri yüksektir, aksine çift bağ yapısına sahip HC'lar ve aromatikler düşük tutuşma kalitesi sergiler. Olefinler, i-parafinler ve naftenler orta setan sayısına sahiptir. Ayrıca parafinik HC'ların zincir uzunluğu yani moleküler ağırlıkları arttıkça setan sayıları da artmaktadır.

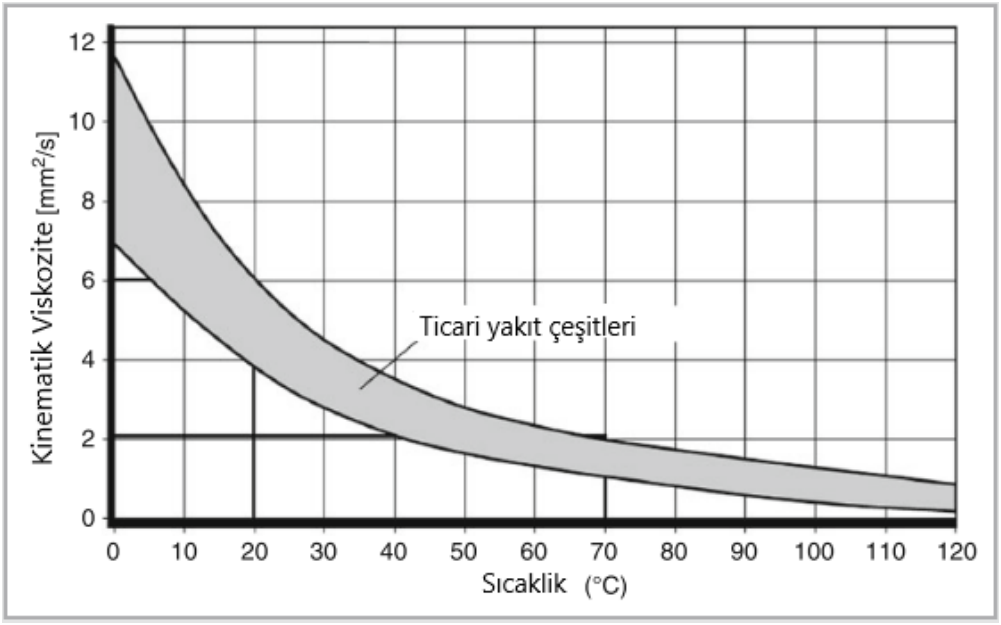
2.1.2.2 Yoğunluk

Dizel yakıtı, hacim birim başına enerji içeriği yoğunlukla beraber artar. Bu da demektir ki yakıtın, parafinik moleküllerin zincir uzunluğu arttıkça ve çift bağ oranı (aromatik ve olefinler) arttıkça yoğunluğunun dolayısıyla da hacimsel ısıl değerinin artmasıdır. Motor tasarım ve parametreleri bu karakteristiğe göre ayarlanmakla beraber binek araçlarda motor hızı yüksek olduğu için orta ve düşük yoğunluklu yakıtlar kullanılır. Eğer düşük yoğunluklu yakıt için tasarlanan bir motorda yüksek yoğunluklu yakıt kullanılırsa motor performansı dolayısıyla da kurum emisyonu artar. Tam tersi durumda ise motor performansı ve kurum emisyonu azalır (Challen ve Baranescu 1999; Bauer 2003; Mollenhauer ve Tschöke 2010). Şöyle de denilebilir (Schäfer ve Basshuysen 1995);

Yüksek Yoğunluk= Yüksek Aromatik Bileşik İçeriği= Düşük Tutuşma Kalitesi

2.1.2.3 Viskozite

Dizel yanmasında ana etken olmamasına rağmen viskozite, ilk çalıştırma ve yakıt ikmalinin birinci etkenidir ve diğer yakıt parametrelerinden etkilenir. Dağıtım ve enjeksiyon pompa ve hattı karakteristiğini ve yakıtın enjektörden atomizasyonunu etkiler.

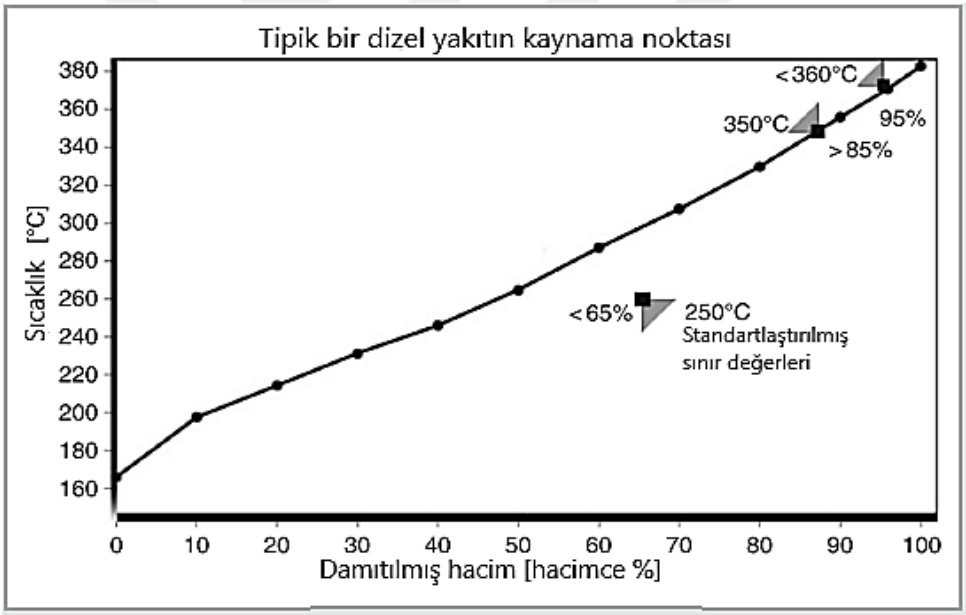


Şekil 2.7 Dizel yakıtı için sıcaklığa bağlı kinematik viskozite (Mollenhauer ve Tschöke 2010).

Yüksek viskozite düşük sıcaklıklarda pompalanabilirliği engeller ve soğuk çalıştırma sorunları oluştururken düşük viskozite sıcak çalıştırma, yüksek sıcaklıklarda güç kaybı ve pompa aşınmasına neden olur (Challen ve Baranescu 1999; Bauer 2003; Mollenhauer ve Tschöke 2010).

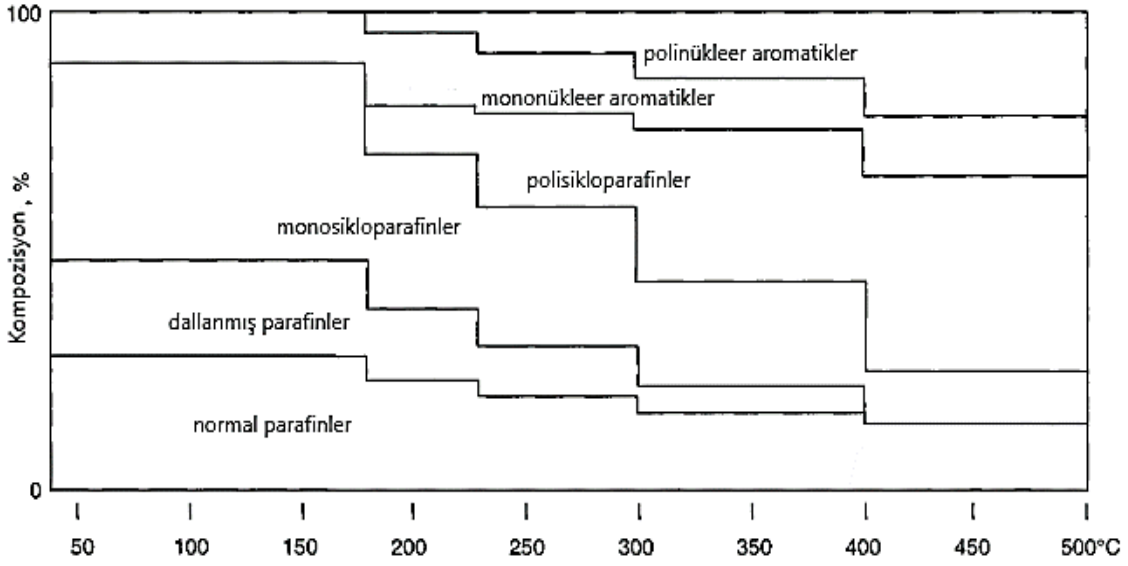
2.1.2.4 Kaynama Noktası

Tipik bir dizel yakıtı 170-380°C aralığında kaynama noktasına (HC'ların kaynama noktasına da atıfta bulunur) sahiptir. Düşük kaynama noktası soğuk havalarda avantaj sağlamasına rağmen, düşük setan sayısı ve yağlama özelliklerine atıfta bulunur. Yüksek kaynama noktası ise setan sayısını dolayısıyla tutuşabilirliği artırmasına rağmen soğuk çalıştırmada problemlere neden olmaktadır (Bauer 2003; Mollenhauer ve Tschöke 2010).



Şekil 2.8 Tipik dizel yakıtı için kaynama noktası özelliği (Mollenhauer ve Tschöke 2010).

Üç veya daha fazla halkalı poliaromatikler yüksek kaynama noktası fakat düşük setan sayısına sahiptir. Bilindiği üzere poliaromatik bileşikler arttıkça PM emisyonlarında da gözle görülür artış olmaktadır. Parafinler ise zayıf soğuk çalıştırma özelliklerine sahiptir. Bunlardan dolayı yakıtın kaynama noktasının olabildiğince alt seviyede tutulması gerekmektedir (340-360°C). Dizel yakıtın kaynama aralığına bakılarak baskın HC türleri hakkında temel fikirler edinilebilir (Şekil 2.11 ve2.12) (Challen ve Baranescu 1999).



Şekil 2.9 Petrolün kaynama aralığı boyunca HC türlerinin dağılımı (Challen ve Baranescu 1999).

Kaynama noktasının düşürülmesinin, yüksek hızlı (binek otomobil) dizel motorlarda yanma performansını artırdığı ve egzoz emisyonlarını azalttığı kanıtlanmıştır (Mollenhauer ve Tschöke 2010).

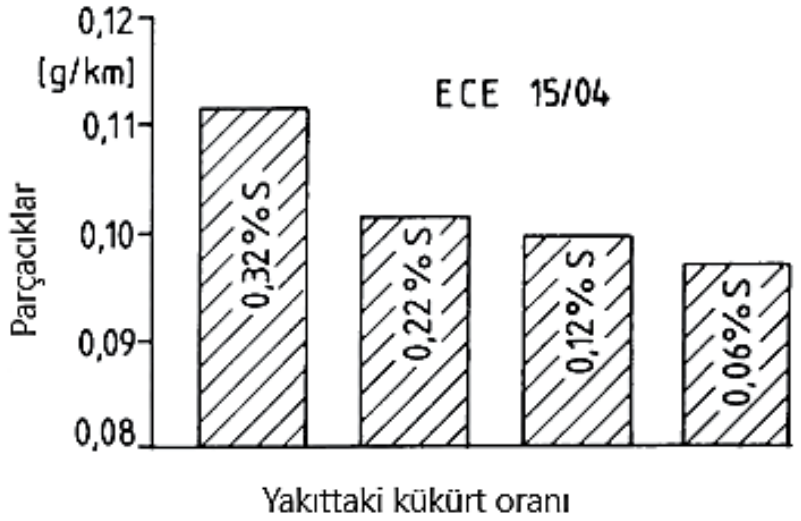
2.1.2.5 Soğuk Hava Özellikleri

Motor performansına direkt etkisi olmasa da dizel yakıtın soğuk havalarda nasıl davranacağı önemlidir. Standart bir dizel yakıtı hava sıcaklığı eksi derecenin altına düştüğü zaman içeriğindeki parafin kristalleşme ve ilerleyen safhalarda jelleşme eğilimi gösterir. İlk safha olan kristalleşme safhası bulutlanma noktası, kristallerin birleşerek topaklar oluşturduğu ve jelleşmenin başlangıcı olan ikinci safha akma noktasını temsil eder (Challen ve Baranescu 1999; Bauer 2003; Mollenhauer Tschöke 2010). Soğuk filtre tıkanma noktası (CFFP) bu sürece atıfta bulunur ve yakıtta jelleşme olduğu zaman yakıt hattı filtreleri tıkayabileceği için önemli bir kriterdir ve EN590 (Çizelge 2.1) ile belli bir standarda oturtulmuştur.

2.1.2.6 Kükürt İçeriği, Yağlayıcılık ve Kirlilik

Dizel yakıt içeriğindeki kükürt, yanma sonucunda insan sağlığına direkt etki eden zehirli gazları açığa çıkarmakta, direkt motor aşınmasına katkıda bulunmakta ve katalizör

işlevlerini bozmaktadır. Bu nedenle EN590 (Çizelge 2.1) ile kesin bir şekilde sınırlandırılmıştır.



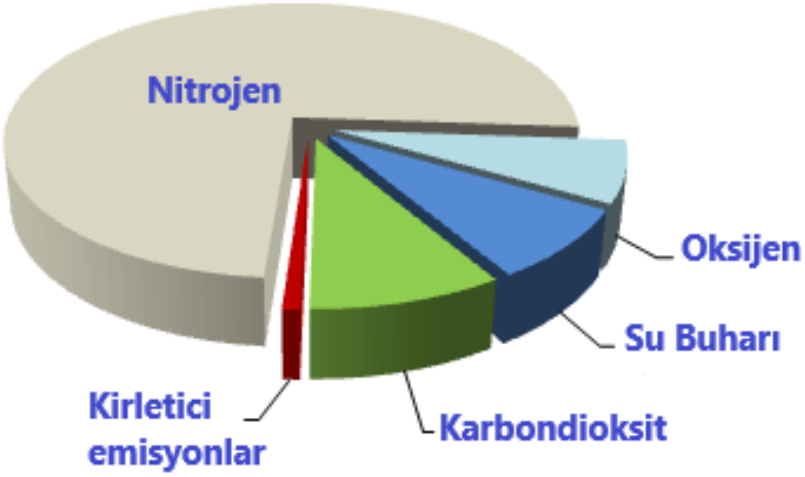
Şekil 2.10 Kükürt oranının PM emisyonlarına etkisi (Challen ve Baranescu 1999).

Sınırlandırma işlemi sonucu yakıtın kükürt içeriği hidrojene edilerek azaltılır. Bunun yanında kükürt hidrojenasyonu sırasında yağlamaya yardımcı iyonik yakıt bileşenleri de bu sürece dahil olur ve yakıttan uzaklaşarak yakıtın yağlayıcılık özelliklerini bozar (Bauer 2003; Mollenhauer ve Tschöke 2010). EN590'da (Çizelge 2.1) WSD (aşınma izi çapı) başlığında kesin standartlaştırılmıştır ve bu değerler katkı maddeleriyle sağlanmaktadır.

Kirlilik tanımı; kum, pas, çözünmemiş organik bileşenler, su vb. yakıttaki çözünmemiş yabancı maddelerin varlığını temsil eder. EN590'da (Çizelge2.1) maksimum 24 mg/kg'a izin verilir. Sert silikatlar gibi maddelerin yakıt içindeki mevcudiyeti yakıt hattı ve silindir bölgelerinde aşınmaya neden olur ve bu da motor performans düşümü ve egzoz emisyonlarının artmasına neden olur. Su içeriğinde ise yakıt içerisinde çözünmüş su yanma işlemine dahil olacağı için sorun teşkil etmezken yakıt içinde çözünmemiş su yakıt depo ve hattına korozif etkilerinden dolayı zarar verecektir. Ayrıca biyolojik etmenlerden dolayı mikrop, bakteri, mantar oluşumuna da neden olan çözünmemiş (çökelmiş) suyun yakıt içeriğinden uzaklaştırılması gerekir. (Challen ve Baranescu 1999; Bauer 2003; Mollenhauer ve Tschöke 2010).

2.2 Egzoz Emisyonları

Dizel çevrimi; 2 zamanlı ve 4 zamanlı olarak silindir içinde hava-yakıt karışımının yanması sonucu açığa çıkan ısı enerjisini, günlük yaşamda gerekli ve hayatı kolaylaştıran ve insan gücünü en aza indirmeyi hedefleyen mekanik enerjiye çeviren içten yanmalı bir motordur. İdeal çevrim koşullarında bir dizel motorun egzoz gazı içeriği CO_2 (%2-12), H_2O (%2-12), O_2 (%3-13) şeklindedir (Şekil 2.4). Nitekim gerçek çevrimde motor veriminden çok şey kaybetmesek bile, gerek tam yanmanın gerçekleşmemesi gerek ısıl konsantrasyonun stabilitesi sağlanamadığı için egzoz gazları HC, NO_x, CO, PM gibi zehirleyici ve boğucu emisyonları da dahilinde bulundurur (Alozie and Ganippa 2020). Zehirleyici ve boğucu nitelikli bu gazlar silindir içi tam yanmanın gerçekleşmemesi, stabil olmayan ısı fraksiyonu ve kimyasal reaksiyonların bu sıcaklığa tepkilerinin farklılığı neticesinde oluşmaktadır (Wu 2009).



Şekil 2.11 Dizel egzoz gazı kompozisyonu (İnt. Kyn. 1 2012).

2.2.1 Hidrokarbonlar (HC)

Dizel yakıtının yaygın kimyasal formülü $C_{12}H_{24}$'tür ($C_{10}H_{20} - C_{15}H_{28}$ değişen aralıkta) (Özer 2022). HC'lar canlı sağlığına (solunum siteminde Aldehitler, kanserojen özellik gösteren benzen ve türevleri (Galata 2017)) ve çevreye zararlı (CH_4 harici bileşenler sera etkisini destekleyici (Pulkrabek 2013)) nitelikte bir emisyondur. Benzinli motora kıyasla

dizel motorda daha az görülse de dünya genelinden yakıt kullanım miktarı neticesinde göz ardı edilemeyecek kirleticilerdendir (Yılmaz vd. 2013).
Dizel motor egzoz gazı, yakıtın %1-1,5'ine denk, 6000 ppm'e kadar HC içerir ve HC konsantrasyonunun %40'ını yanmamış yakıt bileşikleri, %60'ını ise kısmen reaksiyona girmiş yakıt bileşikleri meydana getirir. HC emisyonunun nedenleri sıralanacak olursa (Pulkrabek 2013);

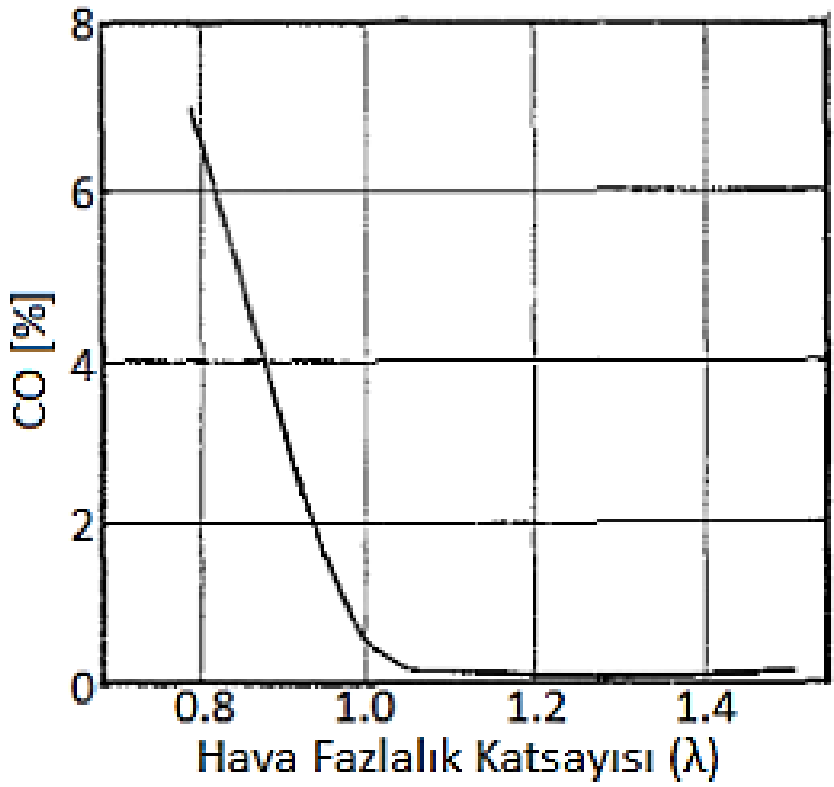
- **Stokiyometrik olmayan yakıt-hava karışımı:** Zengin karışımda reaksiyon için gerekli O_2 eksikliği ya da zayıf karışımda motor teklemesi sonucu.
- **Eksik yanma:** Silindir duvarında alev söndürme, genleşme nedeniyle güç vuruşunun ileri safhasında alev sönmesi sonucu.
- **Çatlak Hacimleri:** Supap vb. parçaların birleşim noktaları ve farklı malzemelerin farklı termal genleşmeleri sonucu oluşan açıklıklara yakıt-hava karışımının dolması ve yanmaya dahil olamaması.
- **Egzoz valfini geçen sızıntı:** Sıkıştırma sırasında yakıt-hava karışımının supap boşluklarına zorlanması ve yanmaya dahil olamayan yakıt hava karışımının egzoz supabının açılmasıyla egzoza sızması.
- **Valf örtüşmesi:** Egzoz ve emme valflerinin aynı anda açık olduğu kısa sürede taze yakıt-hava karışımının direkt egzoza yönelmesi.
- **Yanma odası duvarındaki yağ ve birikintiler:** Bu yağ ve birikintiler yüksek sıkıştırma oranlarında absorpsiyon miktarının artmasıyla absorbe edilen gaz parçacıklarının egzoz stroğu esnasında basınç düşümü nedeniyle serbest kalarak egzoz havasına karışması

Ayrıca HC'lar motor yükünden oldukça etkilenir. Motor yükünün artışıyla silindir içi taze yakıt miktarı artarak hızlanan reaksiyonlar sonucunda artan sıcaklıklar ile HC emisyonlarının azaldığı bilinmektedir (Tunca S. 2019).

2.2.2 Karbonmonoksitler (CO)

İçten yanmalı motorlar içerisinde dizel motoru teknolojisinde daha fazla açığa çıkan CO zengin karışıma ithaf edilir ve ayrıca ateşleme zamanı, sıkıştırma oranı, motor devri ve püskürtme zamanına bağlı olarak değişmektedir (Cesur 2013). HFK için λ'nın bir

fonksiyonu olarak CO; $\lambda \leq 1$ (yüksek oranlarda CO salınımı) ya da $\lambda \geq 1$ (düşük oranlarda CO salınımı) eşitsizliğinin sonucunda açığa çıkmaktadır (Şekil 2.15).



Şekil 2.12 HFK'nın CO üzerindeki etkisi (Galata 2017).

Normalde çok düşük seviyelerde ortaya çıkan ve atmosfere salındığında kolayca CO_2'e dönüşen CO emisyonu (Alozie and Ganippa 2020); renksiz, kokusuz, zehirli bir gazdır. Motor içerisinde yetersiz O_2 sonucu, mevcut C'lar CO_2'e dönüştürülemediği için tipik dizel egzoz emisyonlarında %0,2-5 arasında CO bulunmaktadır (Pulkrabek 2013). Kimyasal olarak formüle edilecek olursa CO oluşumu (Şekil 2.3) R radikal hidrokarbonu ile reaksiyona girer (Bowman 1979):

$$RH \rightarrow R \rightarrow RO_2 \rightarrow RCHO \rightarrow RCO \rightarrow CO \tag{2.3}$$

RCO radikali; Denklem 2.4 (termal ayrışma yoluyla) veya Denklem 2.5 (tipik yanma sıcaklıklarında) CO'e dönüşmektedir:

$$RCO \rightarrow CO + R \tag{2.4}$$

$$RCO + \begin{Bmatrix} O_2 \\ OH \\ O \\ H \end{Bmatrix} \rightarrow CO + \cdots \tag{2.5}$$

Daha sonra CO reaksiyona girdiği radikallere bağlı olarak oksidasyon sonucu CO_2'e dönüşür (Denklem 2.6 (yüksek sıcaklıklarda) ve 2.7 (gazların genleşmesi ile sıcaklığın düşmesi sayesinde) (Galata 2017); Denklem 2.8 (Aksoy 2021):

$$H_2O + CO \leftrightarrow H_2 + CO_2 \tag{2.6}$$

$$2CO_2 \leftrightarrow 2CO + O_2 \tag{2.7}$$

$$CO + OH \leftrightarrow CO_2 + H \tag{2.8}$$

Ayrıca CO, yakıldığı zaman ek ısıl enerji açığa çıkarabilen bir gazdır (Pulkrabek 2013):

$$CO + \frac{1}{2}O_2 \leftrightarrow CO_2 + ısı \tag{2.9}$$

Tek bir dizel motordan açığa çıkan CO oranı düşük olsa da dizel motorun dünya genelinde yaygın şekilde kullanılması nedeniyle göz ardı edilemeyecek emisyon gazlarındandır. Kanın oksijen taşıma seviyesini alt limitlere indirmesinden dolayı organ ve dokulara direk zararı neticesinden ölüme neden olabileceği de aşikardır (Özer 2022).

2.2.3 Karbondioksitler (CO_2)

CO_2 gazı dizel motorlar için tam (ideal) yanmanın açığa çıkardığı bir üründür ver H_2O ile birlikte egzozdan atılır. Açığa çıkan gazlar H/C oranın fonksiyonudur (Mollenhauer ve Tschöke 2010):

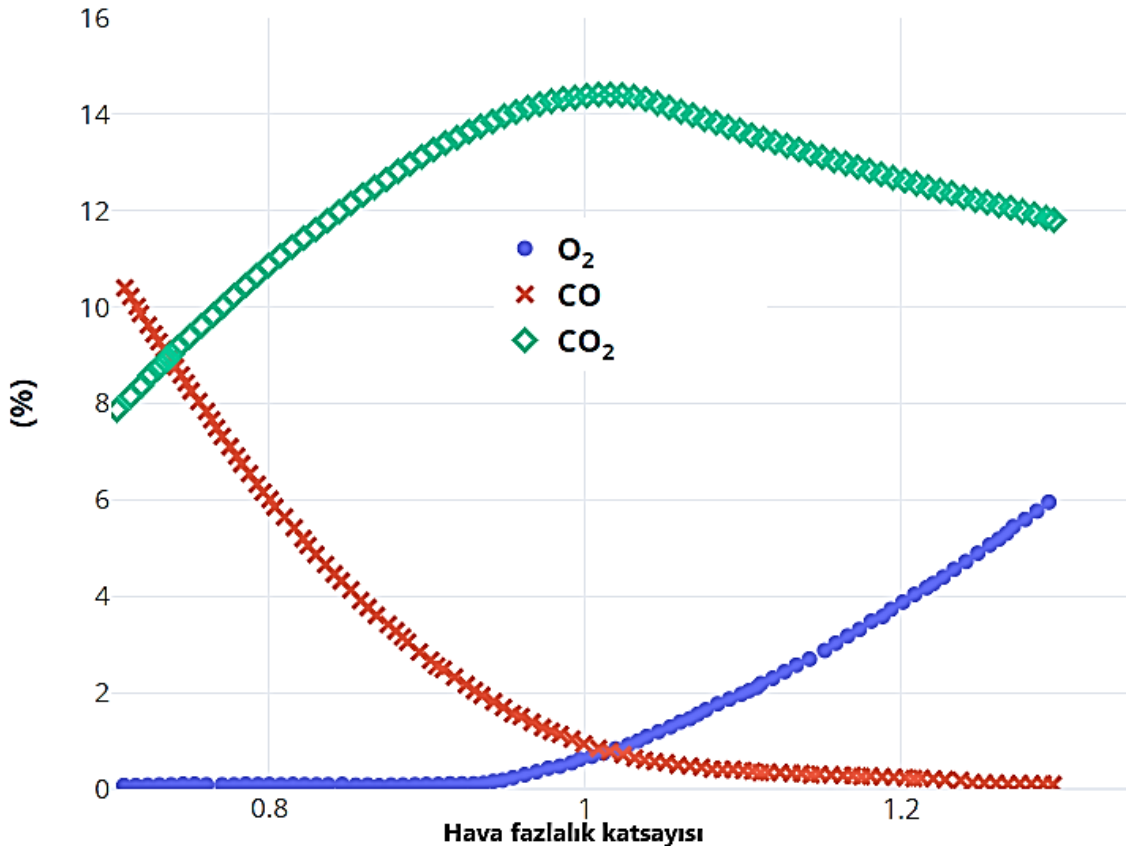
$$C_xH_y + \left(x + \frac{y}{4}\right).O_2 \Rightarrow x.CO_2 + \frac{y}{2}H_2O \tag{2.10}$$

Ayrıca içten yanmalı motorlarda CO_2 emisyonu konsantrasyonunun ölçümü için

aşağıdaki amprik değer kullanılabilir (Schäfer and Basshuysen 1995):

$$^{m}CO_2 = 0{,}85.m_{fu} - 0{,}429.CO - 0{,}866.{}^{HC}/_{0{,}273} \tag{2.11}$$

Öte yandan yanma sonu ürünlerinden olan CO'in silindir içi hidroksil kökleri (OH) ile reaksiyona girmesi sonucu da CO_2 gazı açığa çıkmaktadır. Bu beklenen etkinin dışındadır ve ekstra oluşumuna sebebiyet verir (Aygül 2021).

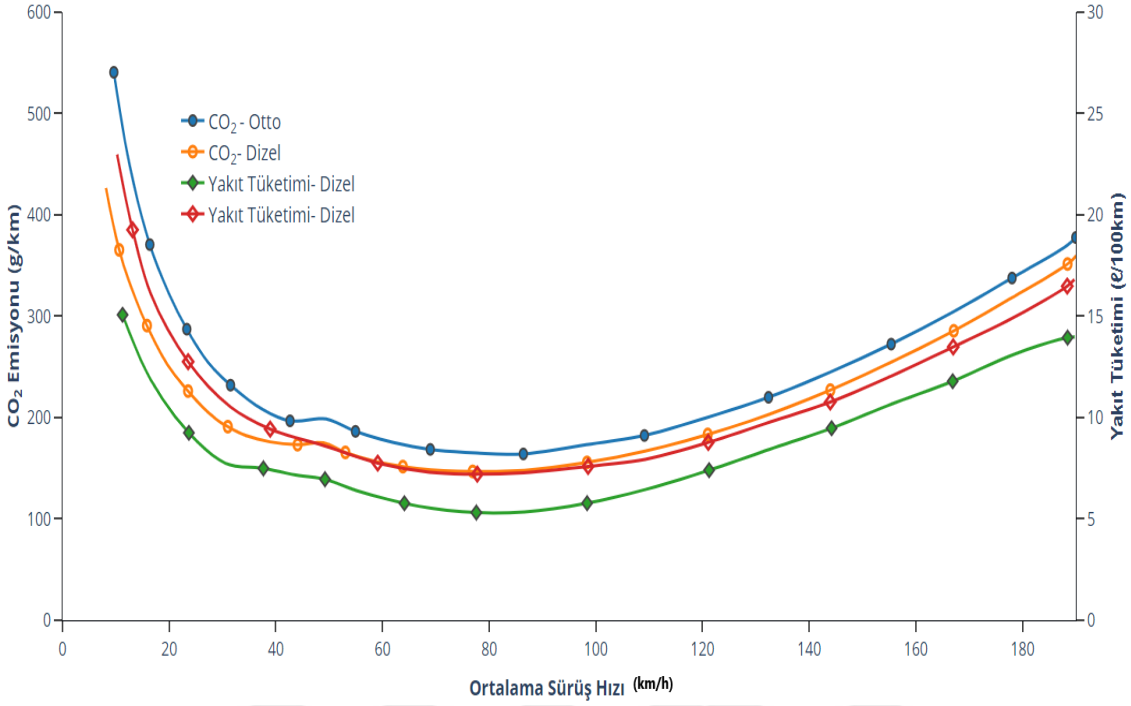


Şekil 2.13 HFK'ya göre O_2, CO ve CO_2 oranları (Schäfer and Basshuysen 1995).

Şekil 2.16'ya göre CO eksik yanma ürünüyken CO_2 tam yanma ürünüdür ve bu nedenle aralarında ters orantı vardır ve CO_2 en fazla stokiyometri koşullarında salınım sağlar (Galata 2017).

CO_2 gazı düşük konsantrasyonlarda canlılar için doğrudan tehdit oluşturan (zehirli, boğucu) özelliklere sahip gazlar içerisinde yer almaz. Renksiz, kokusuzdur fakat

konsantrasyonlarda oranı atrttıkça asidik özellikte keskin kokuyla kendini belli eder ve boğucu ve tahriş edici özellik kazanmaya başlar (Sitshebo 2010).



Şekil 2.14 Taşıt hızına bağlı olarak üretilen CO_2 emisyonu ve yakıt tüketim değerleri (Schäfer and Basshuysen 1995).

Bunun yanında Sera Etkisinin ana destekleyicisi görevi üstlenen CO_2; solunan havada 10000 ppm (hacimce ≈%1) aşarsa zararlı olacağı, 70000 ppm (hacimce ≈%7) üzerinde birkaç dakika maruz kalınınca aşırı tehlikeli olacağı belitilmektedir (Sitshebo 2010).

Hacmen ve üst seviye yanma verimi ile dizel motorlar daha az CO_2 gazı üretse de, Avrupa Komisyonuna göre ulaşım sektörünün gelişmesi ve büyümeye devam etmesi neticesinde artan araç sayısıyla Sera Etkisini destekleyici CO_2 gazı için gerekli önlemlerin alınması gerektiğinin üzerinde durulmaktadır (Topal 2022).

2.2.4 Kükürt Oksitler (SO_x)

Kükürt (S); 1990'larda ciddi seviyelere ulaşan küresel ısınma ve Ozon (O_3) tabakasının delinmesine kadar giden süreçte bu sorunları destekleyen bileşiklerin temeli ve fosil yakıtın doğası gereği içeriğinde ve motor yağlama yağında hali hazırda mevcut bir elementtir. Kurşunsuz benzin içeriğinde 150-550 ppm'e kadar kükürt içerirken; dizel

yakıt 5500 ppm'lere kadar kükürt içeriğine sahiptir ve işlenmemiş dizel egzoz gazı partikül kütlesine destekte bulunan sülfatlar içerir. (Challen ve Baranescu 1999; Ganesan 2017).

Kükürt yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında silindir içi karşımın formasyonuna bağlı olarak; H_2S için hidrojenle (H_2), SO_2 oluşturmak için ise O_2 ile birleşir. Ayrıca yanma sonucu oksidizasyon sonucu (Denklem 2.13) oluşan egzoz gazında 20 ppm'e kadar SO_2 bulunur ve havadaki O_2 ile birleşirerk SO_3'ü oluşturur (Denklem 2.14), (Pulkrabek 2013; Ganesan 2017):

$$H_2 + S \rightarrow H_2S \tag{2.12}$$

$$O_2 + S \rightarrow SO_2 \tag{2.13}$$

$$2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3 \tag{2.14}$$

Bu şekilde uygun ortam ve sıcaklıkta devam eden oksitlenmenin sonucunda S'nin (kükürt), O_2 veya H_2 ile olan ilişkisinin sonucu olarak ortaya çıkan ve havada 40 güne kadar asılı kalabilen H_2S ve SO_2; havadaki su buharı (su molekülleri) ile reaksiyona girerek asit yağmurlarına neden olan sülfirik asit (H_2SO_4) ve sülfüroz asite (H_2SO_3)'e evrilir (Denklem 2.13 ve 2.14) (Pulkrabek 2013; Galata 2017; Aygül 2021):

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4 \tag{2.15}$$

$$SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_3 \tag{2.16}$$

Ayrıca kimyasal ve termal tepkimelerin yanında egzoz gazı son işleme yöntemlerinden katalitik konvertörler; SO_3 oluşumunu destekler nitelikte, SO_2'nin oksitlenmesine yardımcı olur. Fakat bu durum yeni tasarlanan katalizörlerle büyük miktarda çözülmüş ve hatta kimi katalizörlerin sıcaklığı 400°C'nin altında tutulduğunda hiç SO_3 üretmediği görülmüştür (Mollenhauer ve Tschöke 2010; Galata 2017; Ganesan 2017).

SO_x'lerin (genel olarak SO_2 ve SO_3'e atıfta bulunur) olası asit yağmurları ve ozon tabakası tahribatında ana rolü oynadığı ortadadır ve azaltılması ya da zararsız hale getirilmesi amacıyla hava kirlilik kontrolünün odağı haline gelmiştir (Bereketidou vd. 2012).

SO_x için genel çalışmalar yakıt içerisindeki kükürt oranının düşürülmesi üzerine yapılmış ve yakıtlar için kükürt içeriği; 2000 yılında 350 $^{ppm}/_{m^3}$, 2005 yılında 50 $^{ppm}/_{m^3}$ ve 2006-2008 yıllarında ortalama 10-15 ppm seviyesine güncellenerek daha sonraki süreçte kükürt içeriği daha da azaltılarak kükürtsüz diyebileceğimiz yakıt konsantrasyonları elde edilmiştir (Brady 2013; Aksoy 2021). Bu süreç; ilk olarak 1993'te ABD'de başlayarak; Ekim 1996 yılından itibaren Avrupa ve Ekim 1997'den itibaren Japonya'da düşük kükürtlü yakıtların (ağırlıkça %0,05) piyasaya arzı ile başlamış ve günümüze kadar uygulanarak çok daha düşük kükürtlü yakıtlar (ağırlıkça %0,005) elde edilmiştir (Challen ve Baranescu 1999).

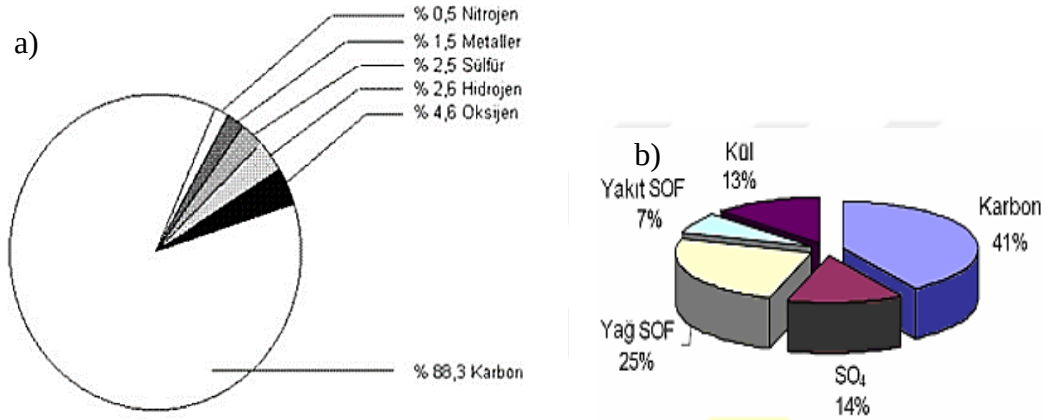
Sonuç olarak her ne kadar ultra düşük kükürtlü yakıtlar üretilse de yağların vb. içeriklerin etkisiyle de olsa SO_x salınımı günceldir. Atmosferde 785 $\mu g/m^3$ (300ppb) konsantrasyon seviyesine çıktığında tat duyusunu, 1305 $\mu g/m^3$ (500 ppb) seviyesine çıktığındaysa koku duygusunu etkileyen SO_x; atmosferdeki maddelerle reaksiyona girerek oluşturduğu PM10 ve PM2.5 art emisyonları ile kanser, solunum yolu enfeksiyonları ve erken ölüme kadar ilerleyen canlı sağlığını tehdit eden bir emisyondur (Yunus 2017; Topal 2022).

2.2.5 Partikül Maddeler (PM)

Egzoz gazı sıcaklığının 52°C ve daha altı sıcaklıklarda filtre kâğıdı üzerinde bıraktığı kalıntıya Partikül Madde (PM) adı verilir ve filtre ağırlığının değişiminin hesabı ile ölçülür. PM içerik olarak; sülfatlar (motor aşınması), nitratlar, organikler ve katı siyah karbon parçacıkları (kurum), kül, çözünür organik fraksiyonlar (yüksek kaynama noktalı HC ve türevleri), toz (temiz hava içeriği), inorganik malzemeler (yakıt ya da yakıt katkı maddeleri) gibi çeşitli maddeleri ve motor parçalarının aşınmasından dolayı iz metal parçacıklarını barındırır (Sitshebo 2010; Alozie ve Ganippa 2020). Dizel motor diğer içten yanmalı motorlara nazaran (100 kata kadar) PM emisyon üretimi konusunda

üstündür ve bu üstünlük dizel motorlar için dezavantaj olarak farklı regülasyonlarla bu emisyonların düzenlenmesini gerektirmektedir (Wu 2009).

PM emisyonunun içeriği çoğunlukla karbondur (C). Kurum parçacıkları olarak da adlandırılan karbon küre kümeleri; 10 ile 80 nm (1 nm= 10^{-9} m) arasında olan ve genellikle 15-30 nm aralığında bulunan HC ihtiva eden katı karbon ve yüzeyde emilen diğer bileşenlerin görüntüleridir ve tek kurum partikülünde 5000'e yakın sayıda bulunabilir (Pulkrabek 2013; Ganesan 2017).

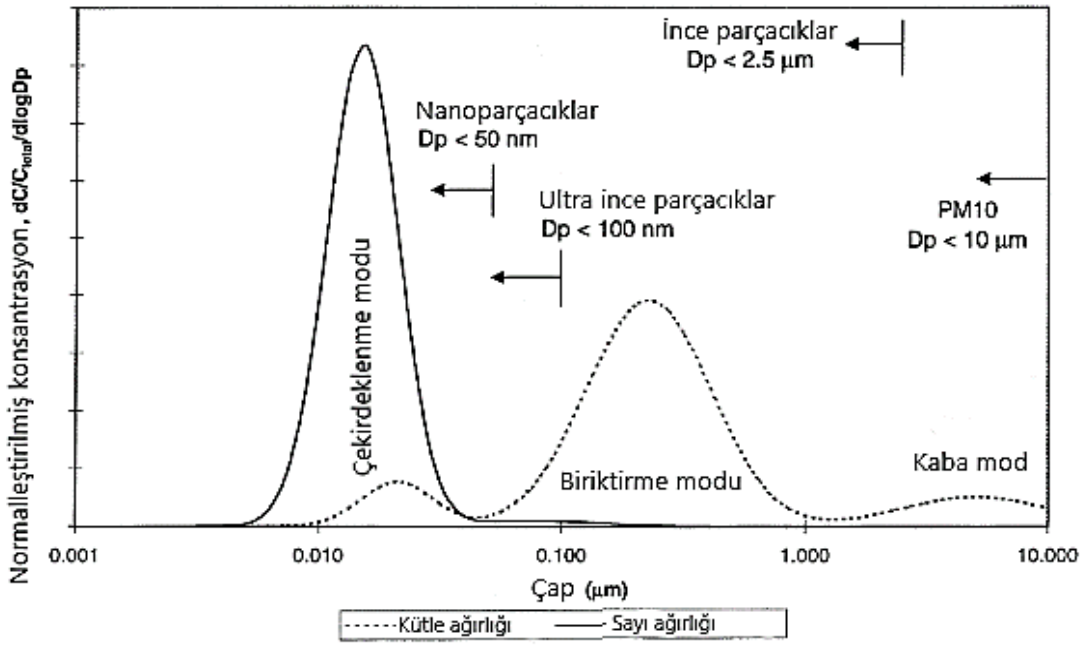


Şekil 2.15 PM (dizel); (a) element oranları ve (b) kompozisyonu (Erdöl 2007; Keskin 2009).

Partiküller aerodinamik çaplarına (d_{aero}) göre sınıflandırılır ve çapları 10 µm'ye kadar olan partiküller solunabilir PM olarak değerlendirilir. $d_{aero} = d_{küre}$; ($d_{küre} = 1\, g/cm^3$ *yoğunluğa sahip kürenin çapı.*) Aerodinamik çaplara göre sınıflandırma yapılırsa (Mollenhauer ve Tschöke 2010):

- *Toplam Asılı Partiküller (TSP)*: d_{aero}≈30 µm'ye kadar olan partiküller (havadaki tüm partiküller)
- *İnce Parçacıklı Madde (PM10):* d_{aero}≈10 µm için %50 filtreleme oranıyla boyut seçici hava girişinden geçen parçacıklar.
- *Kaba Fraksiyon:* 2.5 µm≤ d_{aero} ≤10 µm aralığındaki parçacıklar.
- *İnce Fraksiyon (PM2.5):* d_{aero}≈2.5 µm için %50 filtreleme oranıyla boyut seçici hava girişinden geçen parçacıklar (solunabilir ince parçacıklar).
- *Ultra İnce Fraksiyon (PM0.1):* d_{aero} = 100 nm'den daha küçük parçacıklar.
- *Nanopartiküller:* d_{aero} = 50 nm'den daha küçük parçacıklar.

PM tanımı ve oluşum aşaması için çekirdeklenme modu, birikme modu ve kaba mod (Şekil 2.19) olmak üzere 3 ana safha belirlenmiştir (Wu 2009; Sitshebo 2010; Alozie ve Ganippa 2020):

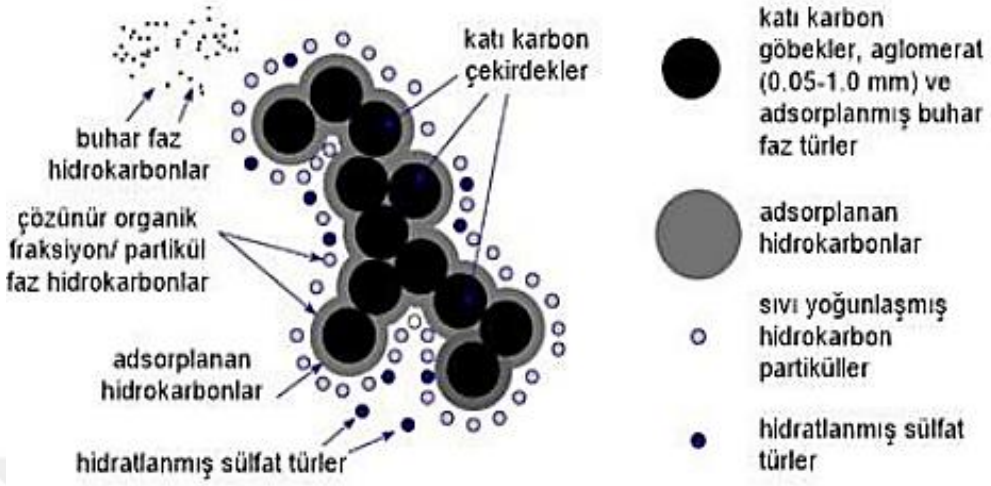


Şekil 2.16 Kütle ve Sayıya göre tipik motor egzoz partikül boyutu dağılımı (Sitshebo 2010).

- *Çekirdeklenme Modu Parçacıkları:* Egzoz gazı seyreldikçe ve soğudukça türlerin buhar halinden (uçucu öncüller) katı hale doğru çekirdeklenmesini tanımlar. Varsa, genellikle katı parçacık kümelerine bağlanırlar. Çapları 5-50 nm arasında değişir.
- *Biriktirme Modu Parçacıkları:* Genellikle üzerine uçucu parçacıkların kondensatlarının yapıştığı ve absorbe edildiği katı karbonlu çekirdek (karbonlu topaklar) meydana getiren birincil parçacık kümeleridir. Çapları 30-500 nm arasında değişir.
- *Kaba Mod Parçacıkları:* Silindir-egzoz sistemi arasında mevcut parçaların duvarlarında yoğuşma sonucu biriken sürüklenmiş biriktirme modu partiküllerinden oluşur. Çapları 1 µm'den büyüktür.

PM emisyonlarının çoğunluğunu C elementi oluşturmaktadır. Motor yük altında ya da zengin karışımda çalıştırıldığı zaman yüksek seviyelere çıkmaktadır. C küreleri silindir içerisinde yakıtça zengin bölgelerde yetersiz O_2 konsantrasyonunda üretilir (Denk. 2.17).

Sonrasında (Denk. 2.18) türbülans ve kütle hareketi neticesinde mevcut C'lar yeterli O_2'i bulur ve reaksiyona girerek CO_2'e dönüştürülür (Pulkrabek 2013; Ganesan 2017):



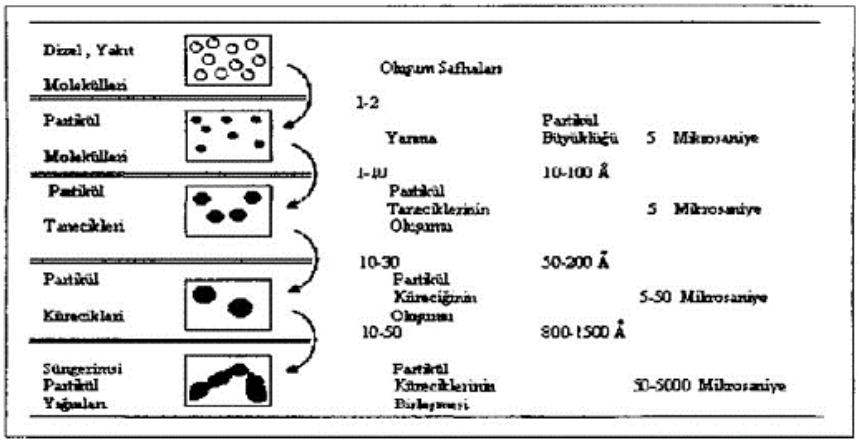
Şekil 2.17 Egzoz gazı içeriği olarak PM formasyonu (Özer 2022).

$$C_xH_y + zO_2 \rightarrow aCO_2 + bH_2O + cCO + dC_{(s)} \tag{2.17}$$

$$C_{(s)} + O_2 \rightarrow CO_2 \tag{2.18}$$

a)

b



Şekil 2.18 a) Kurum oluşum süreci (süreç oksidasyon ile sonlanacaktır fakat her adım için de bu geçerlidir. Her adım sonunda oksidasyon gerçekleşebilir.) (Alozie ve Ganippa 2020), **b)** Partikül çekirdeklerinin katılaşma süreci (Erdöl 2007).

PM emisyonu temel manada karbonun yetersiz O_2 sonucu oksitlenememesi (H_2'in C'dan daha aktif olması, zengin karışım bölgeleri) neticesinde oluşan C temelli çeşitli boyutlarda uçucu ya da uçucu olmayan bileşiklerdir. Bu partiküller yakıt tipine, yakıt içeriğindeki C sayısına, yakıtın H/C oranına, motor işletme şartlarına ve egzoz gazı sıcaklığına bağlı olarak oluşur. İnsan ve canlı açısından PM10 ve daha küçük partiküller akciğer bronşlarına ulaşabilme yeteneği sayesinde daha tehlikeli kabul edilir. Dünya Sağlık Örgütüne (DSÖ) göre partiküllerin atmosferdeki sınır konsantrasyonları PM2.5 için yıllık 10 $\mu g/m^3$, günlük 25 $\mu g/m^3$; PM10 için günlük 20 $\mu g/m^3$; yıllık ise 50 $\mu g/m^3$ olarak bildirilmiştir (Galata 2017; Yunus 2017; Tunca S. 2019; Aygül 2021).

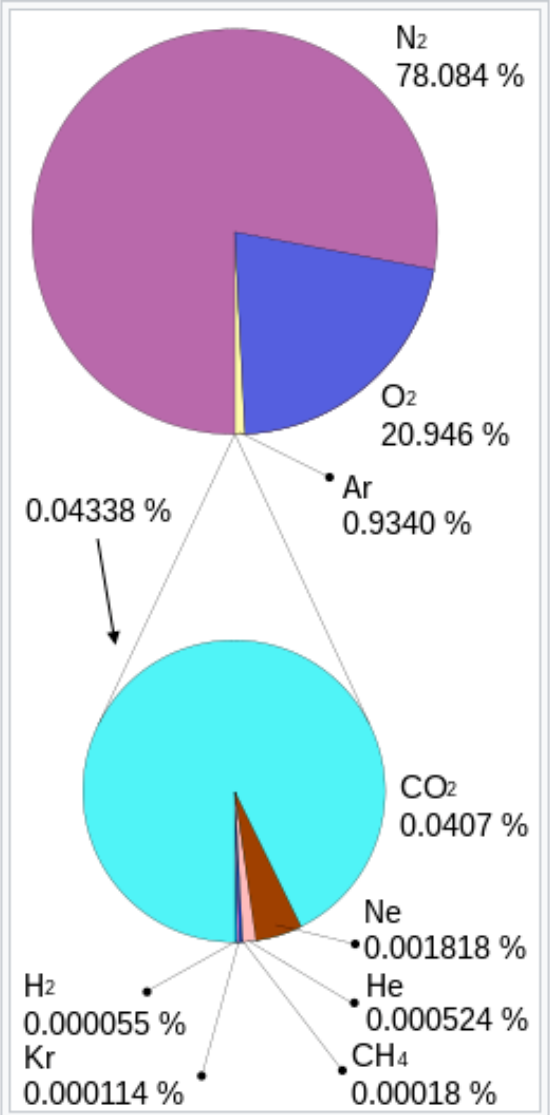
2.2.6 Azotoksitler (NO_x)

Silindir içi hava-yakıt konsantrasyonunun çoğunu oluşturan N_2 (azot) gazı, egzoz emisyonlarından NO_x'in temelini oluşturmaktadır. Mevcut tüm canlılarda bulunan ve Dünya atmosferinin yaklaşık %78'ini oluşturan N_2 saf haliyle zararsız olarak nitelendirilebilecek renksiz, kokusuz, tatsız ve inert bir gazdır (İnt. Kyn. 3 2022).

Yakıt ve diğer motor içi katkı maddelerinde eser miktarda bulunan ve büyük çoğunluğu emme zamanında temiz hava ile alınan N_2'un reaksiyona uğraması ve motor içi HC+O_2 yanmasının yan etkisi olan NO_x çevre ve canlı sağlığına zararı kanıtlanmış bir gazdır (Challen ve Baranescu 1999; Ganesan 2017).

Azot ihtiva eden belirli reaksiyonlar sonucu oluşan NO_x'ler sekize yakın farklı bileşikten oluşan ve bunları tanımlayan genel bir tabirdir. Bunlar sırasıyla;

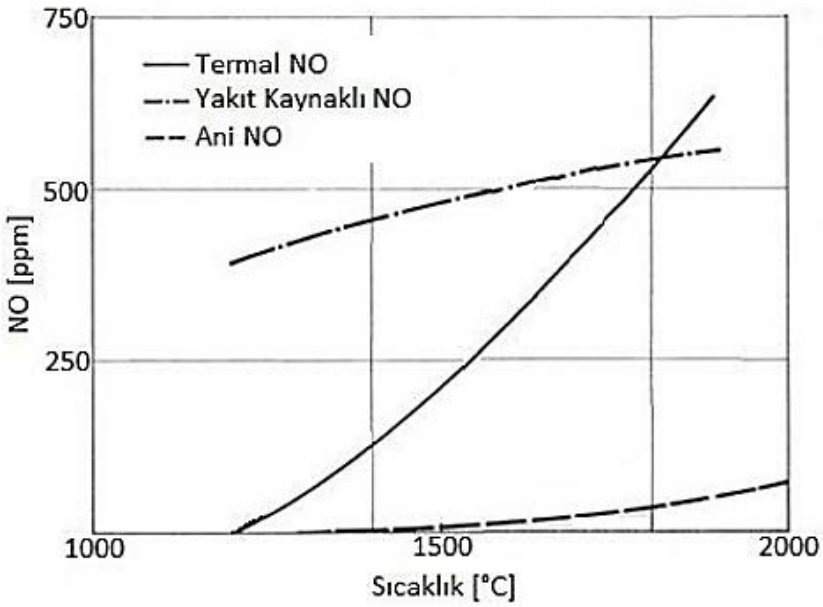
- NO (azot monoksit, nitrik oksit); canlılarda sinyal molekülü olarak bilinir. Düşük dozlarda organ yararına, yüksek dozlarda doku zehirlenmesi, septik şok ve dolaşım sistemi hasarına neden olur (İnt. Kyn. 4 2022),
- NO_2 (azot dioksit),
- NO_3 (azot trioksit),
- N_2O_4 (diazot tetraoksit); kimyasal olarak ayrıştırıcı görevi görür ve iyi bir oksitleyicidir (İnt. Kyn. 6 2022),



Şekil 2.19 Dünya atmosferinin bileşimi (su buharı göz ardı edilmiştir) (İnt. Kyn. 2 2023).

- N_2O (diazot monoksit, nitröz oksit); kontrollü şekilde kullanıldığında medikal alanda anestezik ve ağrı kesici olarak; İYM'lerde performans artırıcı ve oksidan olarak kullanılır. Güldürücü gaz ismiyle de anılır (İnt. Kyn. 5 2021),
- N_2O_2 (diazot dioksit)
- N_2O_3 (diazot trioksit),
- N_2O_5 (diazot pentaoksit); Kararsızdır ve oksitleyicidir (İnt. Kyn. 7 2022).

Yukarıda sayılan tüm fraksiyonlar zararlı olarak kabul edilmezler. Kendisi ve reaksiyonları sonucu oluşacak en tehlikeli bileşikler NO ve NO_2'dir (Galata 2017; Aygül 2021; İnt. Kyn. 8 2021).



Şekil 2.20 Sıcaklığa bağlı NO_x oluşum mekanizması (Galata 2017).

NO, canlılarda mukoza zarını tahriş eden ve akciğer işlevini olumsuz yönde etkileyen (MAK= 9 mg/m^3) kokusuz bir gazdır. Şekil 2.23'de görüldüğü üzere oluşabilmesi için bol O_2 ve yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyar (Schäfer ve Basshuysen 1995; Challen ve Baranescu 1999). Zeldovich mekanizması NO oluşumunun ana mekanizmadır ve termal oluşum mekanizmasını isimlendirir. Yüksek sıcaklıklarda (yaklaşık 1750-1800 K ve üstü sıcaklıklarda) harekete geçerek hızını artıran bu mekanizma 319,050 $kJ/kmol$ kadar yüksek aktivasyon enerjisine sahiptir ve kimyasal formülü şu şekildedir (Haşimoğlu vd. 2002; Pulkrabek 2013; Parlak 2017; Ayhan vd. 2018; Alozie ve Ganippa 2020):

$$O + N_2 \leftrightarrow NO + N \tag{2.19}$$

$$N + O_2 \leftrightarrow NO + O \tag{2.20}$$

$$N_2 + O_2 \leftrightarrow 2NO \tag{2.21}$$

Zeldovich mekanizması (büyük ölçüde sıcaklığa bağlı) olarak da adlandırılan yukarıdaki reaksiyon setine göre oluşan NO zamana bağlı olarak yanma tamamlandıktan sonrada gerçekleşebilir ve amprik olarak ifade edilecek olursa NO oluşum hızı denklemi şu şekilde olacaktır (Alozie ve Ganippa 2020):

$$\frac{d[NO]}{dt} = 2k_{N,1f}[O]_{eq}[N_2]_{eq} \tag{2.22}$$

Burada ileri (f) ve geri (r) geri reaksiyon hızı katsayıları:

$$k_{z1,f} = 1.8x10^{11} \exp\left[-\frac{38,370}{T(K)}\right] m^3/kmol - s \tag{2.23}$$

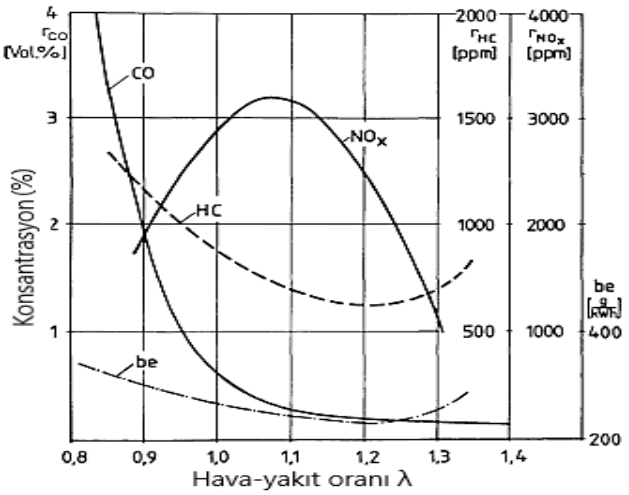
$$k_{z1,r} = 3.8x10^{10} \exp\left[-\frac{425}{T}(K)\right] m^3/kmol - s \tag{2.24}$$

$$k_{z2,f} = 1.8x10^{7}T \exp\left[-\frac{4,680}{T}(K)\right] m^3/kmol - s \tag{2.25}$$

$$k_{z2,r} = 3.8x10^{6}T \exp\left[-\frac{20,820}{T}(K)\right] m^3/kmol - s \tag{2.26}$$

$$k_{z3,f} = 7.1x10^{10} \exp\left[-\frac{450}{T}(K)\right] m^3/kmol - s \tag{2.27}$$

$$k_{z3,r} = 1.8x10^{11} \exp\left[-\frac{24,560}{T}(K)\right] m^3/kmol - s \tag{2.28}$$



Şekil 2.21 Hava-yakıt oranına bağlı özgül yakıt tüketimi ve kirletici emisyonlar (Schäfer ve Basshuysen 1995).

Fenimore mekanizması olarak da adlandırılan Ani NO oluşumu; zeldovich

mekanizmasından önce hızla oksitlenen alev bölgesinin yanma kimyasına bağlı olarak alev bölgesindeki HC aracıları ile reaksiyon bölgesinde hızlı bir şekilde gerçekleşir. Eğer zengin karışım ile yanma varsa daha yüksek, fakir karışımlı işletme şartlarında ise daha düşüktür. Süreç dahilinde NO oluşumunda kullanılan amin ve siyano bileşiklerin oluşumu HC radikalleri ve moleküler azotun reaksiyonu sonucudur (Wu 2009; Alozie ve Ganippa 2020). HFK ≤ 0,8 koşullarında gerçekleşen bu reaksiyon sonucu oluşan CN, NH, HCN gibi bileşikler, O_2 ile kısmi reaksiyona uğrayarak ani bir şekilde NO üretir (Haşimoğlu vd. 2002; Galata 2017). Böylece Fenimore mekanizması sırasıyla:

$$CH + N_2 \leftrightarrow HCN + N \tag{2.29}$$

$$C + N_2 \leftrightarrow CN + N \tag{2.30}$$

HFK≤1,2 olan durumlarda hidrojen siyanid şu şekilde NO oluşturur (Haşimoğlu vd. 2002; Erdöl 2007; Alozie ve Ganippa 2020):

$$HCN + O \leftrightarrow NCO + H \tag{2.31}$$

$$NCO + H \leftrightarrow NH + CO \tag{2.32}$$

$$NH + H \leftrightarrow N + H_2 \tag{2.33}$$

$$N + OH \leftrightarrow NO + H \tag{2.34}$$

Ayrıca HFK≥1,2 durumlarında mevcut reaksiyon Ani NO oluşumundan çıkar ve Zeldovich Mekanizmasına döner. Bunun sonucunda reaksiyon tersine HCN'ye dönüşür ve oluşan NO elemantal nitrojene indirgenir (Alozie ve Ganippa 2020):

$$N + NO \leftrightarrow N_2 + O \tag{2.35}$$

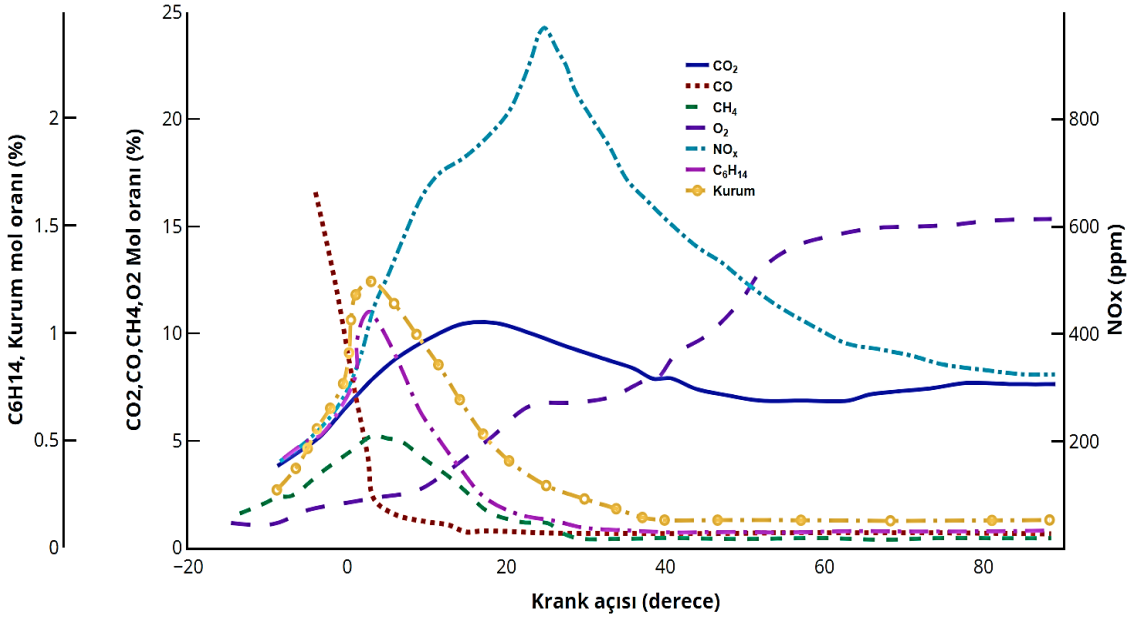
Bu mekanizmaların yanında üçüncü ve son olarak keşfedilen diğer bir mekanizma NNH mekanizmasıdır. Bu mekanizma daha çok yakıt bileşiğindeki yüksek HC oranları ve

moleküler olarak yüksek azot içeriğine sahip yakıtların yakılmasına bağlanmaktadır ve dizel motorlarda göz ardı edilebilir seviyededir. NNH mekanizmasına bağlı reaksiyonlar (Alozie ve Ganippa 2020):

$$N_2 + H \leftrightarrow NNH \tag{2.36}$$

$$NNH + O \leftrightarrow NO + NH \tag{2.37}$$

NO_2; keskin kokulu, kırmızı-kahverengi rengi olan, asit oluşum riski olan ve düşük konsantrasyonlarda dahi doku ve organ (özellikle akciğer) tahrişine neden olan (MAK= $9\,mg/m^3$) bir gazdır (Schäfer ve Basshuysen 1995; Özer 2022). Zeldovich mekanizmasına dahil, yanmada oluşan NO'ler süreç dahilinde NO_2'e dönüşür. Bu reaksiyon redoks bir reaksiyondur, bu da düşük sıcaklık ve basınçlarda tepkimenin tersi yönde hareketine müsaade eder (Challen ve Baranescu 1999; Pulkrabek 2013; Parlak 2017).



Şekil 2.22 Krank açısına bağlı egzoz gazı emisyonları değişimi (Erdöl 2007).

NO_2 reaksiyon süreci ise (Erdöl 2007; Sitshebo 2010; Pulkrabek 2013; Galata 2017; Topal 2022):

$$NO + H_2O \leftrightarrow NO_2 + H_2 \tag{2.38}$$

$$NO + O_2 \leftrightarrow NO_2 + O \tag{2.39}$$

Silindir içinde NO_x konsantrasyonu yanma başlangıcında KMA 20° civarında (Şekil 2.25) meydana geldiği ve düşük basınçlarda düşük oranlarda, basıncın yükselmesiyle (üst pik basınçta) daha fazla oranlarda oluştuğu ve artmaya devam ettiği ortaya koyulmuştur (Erdöl 2007; Yolun 2012).

NO_x emisyonlarının açığa çıkmasına etken yüksek sıcaklıklar ve değişken hava-yakıt oranı, karışım oluşturma etkenleri motorda; verim artışı, CO, HC ve PM emisyonlarının oksidasyon hızını artırmaktadır. Dolayısıyla NO_x emisyon kontrol yöntemleri diğer etkenlere bağlıdır ve çok yönlü ele alınmasını gerektirir (Alkaya ve Yıldırım 2000; Ayhan 2016; Uyumaz vd. 2017; Ayhan ve Mert Ece 2019).

Yanma sonucu açığa çıkan NO_x; %85-90 NO, %5-14 NO_2, %1-5 N_2O, N_2O_3, N_2O_5 içerir (Parlak 2017; Tunca S. 2019). Böylece açığa çıkan emisyon konsantrasyonuna göre zehirli bileşikler olan NO ve NO_2 (havadaki yoğunluk üst limiti: 5 ppm); ciğerlerde ya da havadaki nemle reaksiyona girerek nitrik asit üretmesidir. Ayrıca NO hemoglobine bağlanma yeteneği sayesinde kan akışını yavaşlamasına neden olur (Galata 2017; Yunus 2017). Canlı sağlığına direkt zararlarının yanı sıra aerosol ve fotokimyasal duman oluşturma yetenekleri sayesinde sera etkisine katkı sağlamakta ve ozon tabakasına da zarar verirken asit yağmurlarına da sebebiyet verebilmektedirler (Tunca S. 2019; Aksoy 2021).

2.3 Egzoz Emisyon Regülasyonları ve Minimizasyonu

Mevcut emisyon azaltma çalışmaları, dünya genelinde farklı birçok ülke kendi hukuksal düzenlemelerini ele alsa da teknik ve gereklilik olarak bölgesel formda bir yönetmelik kabulü mevcuttur ve zaman içerisinde emisyon hedefleri güncellenerek ülkelere zorunlu regülasyonlar olarak yansımıştır (Çizelge 2.5). Bu regülasyonların ortak amacı daha yaşanabilir ve temiz bir dünya ve insan yaşamıdır. Böylece ortaya dizel motor sistemlerinde emisyon azaltıcı farklı yöntemlerin kabulü ortaya çıkmıştır. Şekil 2.26'da NO_x emisyonlarını azaltmaya yönelik çalışmaların yöntemleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.5 Binek araçlar için günümüze kadar uygulanan EURO norm regülasyonları (İnt. Kyn. 9 2022).

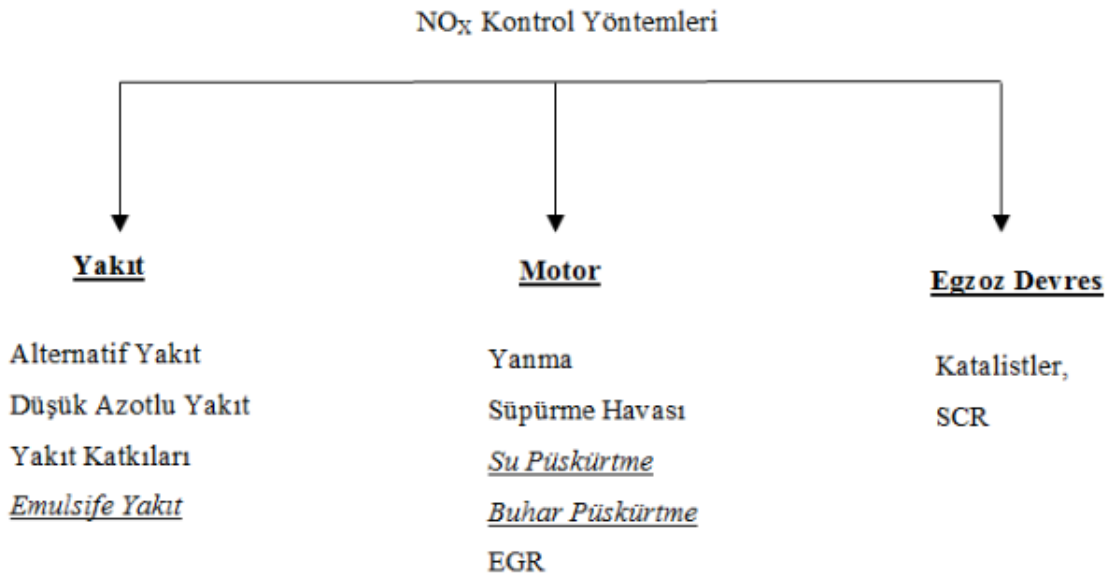
Uygunluk	Tarih	CO	THC	NMHC	NO_x	HC+ NO_x	PM	PN (X/Km)
DİZEL (Kategori *M*)								
Euro1†	1992	2,72 (3,16)	-	-	-	0,97 (1.13)	0,14 (0,18)	-
Euro2	1996	1,0	-	-	-	0,7	0,08	-
Euro3	2000	0,66	-	-	0,50	0,56	0,05	-
Euro4	2005	0,50	-	-	0,25	0,30	0,025	-
Euro5a	2009	0,50	-	-	0,180	0,230	0,005	-
Euro5b	2011	0,50	-	-	0,180	0,230	0,0045	6×10^{11}
Euro6b	2014	0,50	-	-	0,080	0,170	0,0045	6×10^{11}
Euro6c	-	0,50	-	-	0,080	0,170	0,0045	6×10^{11}
Euro6d-T	2017	0,50	-	-	0,080	0,170	0,0045	6×10^{11}
Euro6d	2020	0,50	-	-	0,080	0,170	0,0045	6×10^{11}
BENZİN (Kategori *M*)								
Euro1†	1992	2,72 (3,16	-	-	-	0,97 (1,13)	-	-
Euro2	1996	2,2	-	-	-	0,5	-	-
Euro3	2000	2,3	0,20	-	0,15	-	-	-
Euro4	2005	1,0	0,10	-	0,08	-	-	-
Euro5a	2009	1,0	0,10	0,068	0,060	-	0,005**	-
Euro5b	2011	1,0	0,10	0,068	0,060	-	0,0045**	-
Euro6b	2014	1,0	0,10	0,068	0,060	-	0,0045**	6×10^{11}***
Euro6c	-	1,0	0,10	0,068	0,060	-	0,0045**	6×10^{11}
Euro6d-T	2017	1,0	0,10	0,068	0,060	-	0,0045**	6×10^{11}
Euro6d	2020	1,0	0,10	0,068	0,060	-	0,0045**	6×10^{11}
DİZEL VE BENZİN (Kategori *M*)								
Euro7	2025	0,1; 0,3	-	-	0,030	-	-	-

*Euro 5'ten önce, 2500 kg'dan büyük binek araçlar, hafif ticari araçlar N_1 Sınıf I olarak tip onayına sahipti; † Parantez içindeki değerler üretim uygunluğu (COP) limitleridir
**Sadece direkt enjeksiyonlu motorlu araçlar için geçerlidir; ***6 × 10 12 x/km Euro 6b'nin yürürlük tarihinden itibaren ilk üç yıl içinde

Regülasyonlar insan yaşamı başta olmak üzere, insanın etkileşimde bulunduğu çevreyi konu alarak sağlıklı yaşam ve çevre amacını sağlamaya yönelik hukuksal yaptırımlardır ve sözleşmeye dahil ülkelerin uyması zorunludur. Türkiye bu regülasyonlar içinde bulunan EURO normuna tabiidir ve bu normlara uymak zorundadır.

Çizelge 2.5'de EURO normuna dayalı karayolu taşıtları için emisyon sınır değerlerinin zaman içinde değişimi sadece binek araçlar için olanı görülmektedir, diğer taşıt tiplerine bağlı Euro normları değişimi Ek 1'de, zaman içinde dünya genelinde uygulanmış ve uygulanmakta olan farklı ülkelere ve uygulamalara ait emisyon regülasyonları EK 3'de sunulmuştur.

Oluşturulan regülasyonlar sonucunda zararlı emisyon gazlarının düşürülmesi ve sınır değerleri geçmemesi amacıyla; yanma öncesi (yakıt), yanma sırasında (motor) ve yanma sonrası (egzoz devresi) uygulamalar geliştirilmiştir (Şekil 1.2). Euro 3 normundan itibaren bu yöntemler ağırlık kazanmış ve sürekli göz önünde bulundurulmuştur (Keskin 2009).



Şekil 2.23 NO_x emisyonunu kontrol altına alma yöntemleri (Ayhan 2016).

2.3.1 Emülsifiye Yakıt

Emülsifiye yakıt literatürde belli miktarda yakıt içerisine oransal olarak farklı bir etken

maddenin fiziksel olarak karıştırılması anlamına gelir. Karıştırılacak maddenin faz ayrışmasına neden olmaması için yüzey aktif madde (surfaktan) ismi verilen bağlayıcılar kullanılmaktadır. Stabil emülsiyon da denilen bu yöntemin değişmez kuralları (Kapadia vd. 2019);

- Birbiri içinde çözünmez özellikte iki akışkan madde,
- Homojen karışım elde edilebilmesi için yeterli karıştırma,
- Yüzey aktif madde (emülgatör, surfaktan).

Emülsifikasyon yönteminin ilk avantajlarından birisi motor üzerinde modifikasyona sebebiyet vermemesidir. Temel prensipte yakıt karışımını ifade eder. Amaç olarak dizel motorların en önemli emisyon değerlerinden olan NO_x emisyonunun düşümünü, silindir içi sıcaklık düşümü ve mikropatlama fenomenine bağlı yakıt tam yanmasını hedef alan emülsifiye yakıt yöntemi; karışım karakteristiğine bağlı olarak diğer emisyon değerlerinde ve motor performans değerlerinde de değişime sebebiyet vermektedir.

Su, kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı İYM'lerde direkt yakıt olarak kullanılamamasına karşın özellikle dizel motorların yanma esnasında açığa çıkardığı yüksek sıcaklığa bağlı NO_x emisyonlarının önüne geçmede soğutma etkisinin temel elemanı olarak gündeme alınmış ve üzerinde yapılan çalışmalar hala devam etmektedir.

(Ayhan 2016), tek silindir, dört zamanlı deney düzeneğinde 1200-2400 d/dk değişken motor hızlarında; %10-20 değişken oranlarda su, %2 sabit oranında surfaktan (tween80 ve span80) ile bir dizi deney gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonucunda moment/efektif güç değerlerinde azami azalmanın; %20 su oranında 2400 d/dk motor hızında %2,5 olduğunu tespit etmiştir. Bunun yanında ÖYS'da %20 su oranında %23'lük iyileşme ile azami ÖYS miktarı elde edilmiştir. Efektif verimde ise tıpkı ÖYS'da olduğu gibi %20 su oranı ve 1400 d/dk motor hızında %17'lik bir iyileşme sağlamıştır. Emülsiyon yönteminin ana amacı olan NO_x emisyonlarının düşürülmesinde ise etkileri; %20 su oranında 2400 d/dk motor hızında %27'lik bir düşüş ile dikkate değer azalmalar sağlamıştır.

(Tunca ve ark. 2017), Direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda stabilize emülsifiye yakıt

kullanımının etkilerini inceledikleri makalelerinde; tam yük şartlarında 1000-2200 d/dk değişken motor hızlarında ve %2 sabit surfaktan ile %5-15 değişken su oranlarında çeşitli deneyler yapmışlardır. Sonuç olarak, standart dizel yakıtına karşın emülsifiye yakıtlarda, motor döndürme momenti (STD: 61,6 Nm; E15: 60,4 Nm) ve efektif güçte (STD: 12,2 kW; E15: 11,8 kW) azalma ve ÖYS'da (STD: 254,2 g/kWh; E15: 228,2 g/kWh) iyileşmenin olduğunu ortaya koymuşlardır. Diğer yandan motor efektif verimi (STD: %32,9; E15: %43) artarak iyileşme sağlamıştır. Bunun yanında egzoz emisyon değerlerinde; NO_x'lerde %21 oranlarına varan iyileşme, is emisyonlarında yüksek motor devirlerinde emülsifikasyon yönteminin olumsuz sonuçlar doğurduğu, CO'lerde ise düşük devirlerde iyileşmeler görülmesine rağmen yüksek devirlerde olumsuz sonuçlar elde edildiği, CO_2'lerde tüm motor devirlerinde iyileşmeler, HC emisyonlarında ise su oranı arttıkça emisyon miktarının arttığı tespit edilmiştir.

(Yılmaz vd. 2013), Üç-fazlı dizel emülsiyon yakıtlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi adlı makalelerinde; 1800-3250 d/dk değişken motor hızlarında E1 (%87 mazot+%10 saf su+%3 surfaktan karışımı) ve E2 (%82 mazot+%15 saf su+%3 surfaktan karışımı) olarak iki farklı stabilize emülsifiye yakıt ile standart dizel yakıtın motor performans ve emisyon değerlerini karşılaştırmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda; maksimum momentin, standart dizel yakıtına (2250 d/dk'da 21,42Nm) karşılık, E1 (2500 d/dk'da %23,3) ve E2 (2500 d/dk'da %15,72) yakıtlarında azalarak olumsuz sonuçlar verdiği görülmektedir. Buna karşılık minimum ÖYS'da; standart dizel yakıtına (2250 d/dk'da 352,15 g/kWh) göre, E1 (%45) ve E2 (%32,6) yakıtlarında artış olduğu görülmektedir. Ölçümlerde en düşük CO emisyonu, E2 (2500 d/dk'da 1801 ppm) yakıtında elde edilmiş ve genel anlamda E1 (%5,7), E2 (%26,9) yakıtları ile standart dizel yakıtına göre iyileşmeler sağlanmıştır. Bir diğer zararlı gaz olan NO_x'lerde ise standart dizel yakıta göre E1 (%10,9), E2 (%45,9) yakıtlarında iyileşmeler elde edilmiştir. İs emisyonlarında ise standart dizele karşın E1 (%12,7) ve E2 (%18,8) iyileşmeler sağlamıştır.

(Subramanian 2011), NO_x ve duman emisyonlarının eşzamanlı kontrolü için bir dizel motorun emme manifolduna su-dizel emülsiyonu ve eşzamanlı su enjeksiyonunun karşılaştırılması adlı makalelerinde; 1-4,75 kW değişken yüklerde; standart dizel, 0,4:1

oranında ve %1 sabit oranda surfaktan kullanarak hazırlanan emülsifiye yakıt ve ikincil bir enjektör ile 0,4:1 oranını elde edecek şekilde ayarlanmış spreyleme tekniğinin motor performans ve emisyon karakteristiklerini karşılaştırmışlardır. Araştırma sonucunda fren termik veriminde (BTE) emülsiyon yönteminin düşük yükler haricinde (aşırı soğuk yakıt karışımı nedeniyle) avantajlı olduğunu söylemişler bunu da mikropatlama fenomeni ile açıklamışlardır. Egzoz emisyonlarında ise; CO ve HC emisyonları düşük yüklerde enjeksiyon yönteminin avantajını vurgulamaktadır, fakat daha düşük fren termal verimi ve zengin karışım nedeniyle standart dizel yakıttan yüksek olduğunu belirtmişlerdir. NO_x seviyelerinde emülsiyon yönteminin açık ara farkla en iyi yöntem olduğu silindir içi sıcaklığın düşmesi açıklamasıyla vurgulamışlardır (1,9 kW yükte STD: 459 ppm; Enjeksiyon: 369 ppm; Emülsiyon: 226 ppm). İs oluşumunda standart dizele göre her iki yöntem avantajlı olsa da emülsiyon yöntemi, enjeksiyon yöntemine göre daha avantajlı durumdadır (Emülsiyon: 2,7 BSU; Enjeksiyon: 3,2 BSU). Sonuç olarak bariz dezavantajlı olsa da (HC ve CO seviyeleri ve daha iyi kısmi yük seviyeleri) emülsiyon yöntemi enjeksiyon yöntemine karşın daha iyi egzoz emisyon kontrol yöntemi olduğunu ortaya koymuştur.

(Seifi vd. 2019), Su-dizel emülsiyonundaki su yüzdesinin motor performansı ve egzoz emisyon parametreleri üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi adlı makalelerinde; standart dizele karşın E2 (%2 su+%2 surfaktan+%94 dizel), E5 (%5 su+%2 surfaktan+%93 dizel), E8 (%8 su+%2 surfaktan+%90 dizel), E10 (%10 su+%2 surfaktan+%88 dizel) yakıt emülsiyonlarını, motor performans ve emisyon değerleri açısından karşılaştırmışlardır. Ayrıca emülsiyonlar hazırlanırken daha yüksek su oranlarının emülsiyon stabilitesinin üzerinde olumsuz yönlerinin olduğunu, homojen yapısını daha kısa sürelerde sürdürebildiğini belirtmişlerdir. Yakıt özelliklerini de ele alan yazar; standart dizele kıyasla karışımların kinematik ve dinamik viskozitesi ve yoğunluğunun su yüzdesine bağlı olarak arttığını ortaya koymuştur. Motor performans parametrelerinde; motor güç çıkışında standart dizele göre tüm yakıt karışımları daha düşük değerler vermiştir. Fakat karışımlar karşılaştırıldığında su oranına bağlı olarak sıralı düşüş trendi veren motor gücü %10 su oranında %8 su oranına göre daha yüksek güç çıkışı elde etmiştir. Motor tork değerinde de aynı trendi yakalayan yazar E8 yakıtının en düşük tork (%17,5 azalma) seviyesinde olduğunu ve standart dizelin en yüksek torku

verdiğini (≈40 Nm) belirtmiştir. ÖYS'nda ise E2 yakıtı (≈280 g/kWh) en düşük değeri verirken, E8 yakıtı (≈350 g/kWh) en yüksek değeri vermiş ve E2 harici tüm karışımlar standart yakıta göre kötü bir profil elde etmişlerdir. Motor termal veriminde ise E8 (≈%0,24) harici tüm karışımlar standart dizele (≈%0,25) karşın daha iyi sonuçlar vermiştir (azami; E2≈0,27). Egzoz emisyonları incelendiğinde; CO seviyeleri su oranı arttıkça artmış ve emülsiyon yöntemi bu emisyonu olumsuz yönde etkilemiştir. CO_2 seviyeleri incelendiğinde E2 ve E10 harici yakıtların standart dizele göre avantajları olduğu görülmektedir. HC emisyonu minimum değerin E5 yakıtında elde ederken; en yüksek değerini ise E10 yakıtında elde etmiştir. NO_x emisyonlarında ise tüm karışımlar standart dizele göre avantajlı olduğunu ve en düşük NO_x değerinin E5 yakıtında elde edildiğini vurgulamaktadır. Sonuç olarak yazar, motor performans ve emisyon değerleri üzerindeki ana etkinin su yüzdesine bağlı olduğu ve optimum sonuçların E5 yakıtında elde edildiğini vurgulamıştır.

(Hegde vd. 2016), Dizel yakıtı ve dizelde su emülsiyonundan kaynaklanan emisyonları etkileyen faktörler adlı çalışmalarında; standart dizel yakıtına karşın sabit %1 oranında dört farklı surfaktan tipiyle (Span20, Span80, Tween20, Tween80) %5-10-15 değişken su oranlarıyla 15 farklı karışım numunesi hazırlayarak egzoz emisyon değerlerindeki değişimleri incelemişlerdir. CO emisyon sonuçları ele alındığında tüm karışım tipleri için farklı motor yüklerinde standart dizele karşın olumlu sonuçlar alındığını ve Tween20 tip surfaktanın en iyi sonucu aldığını vurgulamışlardır. HC emisyonlarında da aynı şekilde dizel-su emülsiyonunun standart dizele göre üstünlüğünü ve artan yüklerle bu üstünlüğün daha belirgin olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca surfaktan tipinin bu emisyon için belirleyici bir faktör olmayacağının üstünde durmuşlardır. NO_x emisyonlarında ise optimum su oranın %10 olduğunu belirterek diğer karışım oranları ve tiplerinde dahi standart dizele kıyasla daha düşük NO_x değerleri elde ettiklerini belirtmişlerdir. Emisyonlardaki düşüşlerin sebebi olarak da diğer yazarlarla ortak payda da buluşarak, su damlacıklarının mikro-patlama fenomeni, suyun silindir içi sıcaklığı düşürmesi ve silindir içi O_2 konsantrasyonunu artırması olarak açıklamışlardır.

(Debnath vd. 2015), Dizel motorlar için alternatif yakıt olarak emülsiyonların uygulanması üzerine kapsamlı bir inceleme adıyla sundukları derleme makalelerinde

birçok araştırmacının emülsifiye yakıtlara dair deney sonuçlarını başlıklar halinde karşılaştırmışlardır. Buna göre termal verimin motor devrine bağlı olarak arttığını fakat yüke bağlı olarak azalabileceğini, ÖYS değerlerinde ise karışım su oranının artmasıyla ÖYS'nın arttığını belirtmişlerdir. Silindir içi yanmaya etkisini mikro-patlama fenomeni ve suyun soğutma etkisine bağlı olarak tutuşma gecikmesini arttırdığını ortaya koymuşlardır. Su-dizel emülsifiye yakıtı dahilindeki yakıt miktarının azalması ve suyun buharlaşma fenomeni sayesinde silindir içi sıcaklığın düşmesiyle NO_x emisyonlarını ciddi oranda düşürür. Bunun yanında silindir içi sıcaklığın düşmesi CO oranlarını arttırdığını (muhtemel CO_2 dönüşümü sağlanamadığı) düşük su oranlarında daha düşük CO emisyonu açığa çıktığını göstermişlerdir. Hava-yakıt karışım kalitesine bağlı HC emisyon değerlerinde ise iyileştirme sağladığını ortaya koymuşlardır.

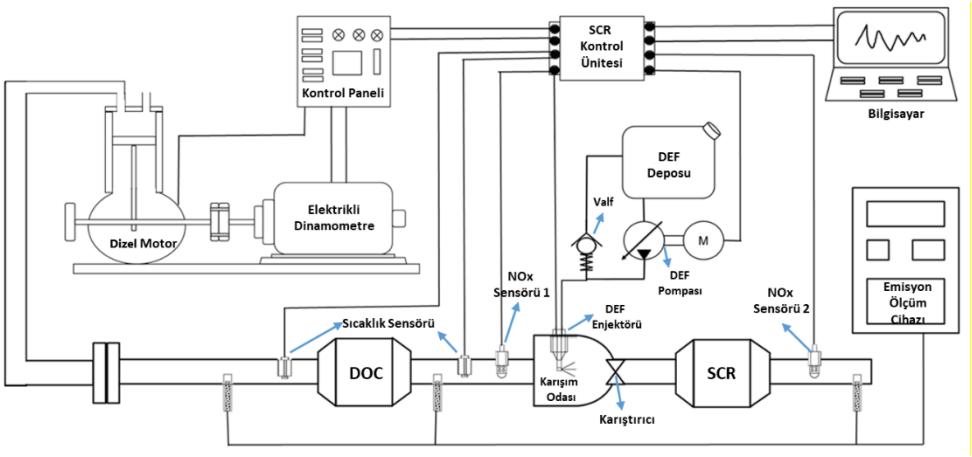
Yapılan literatür araştırmasına bağlı olarak farklı yazar ve araştırmacılardan elde edilmiş ve işlenerek grafiğe dökülmüş motor performans verileri EK 4'te, egzoz emisyon değerleri ise EK 5'te gösterilmiştir.

3. MATERYAL ve METOT

Bu kısımda araştırmanın amacı olan NO_x değerlerini düşürmek için izlenecek yol ve yapılan çalışmalar ele alınmıştır. İlk olarak yapılacak deneyler için yol haritası olması amacıyla deney tasarımları yapılmıştır ve mevcut duruma göre bu tasarımlara bağlı kalarak hareket edilmiştir. İkinci olarak deney motorunda yakılarak motor performans ve egzoz emisyon değerlerindeki değişimleri incelenmiş olan emülsifiye yakıtlar hazırlanmış ve belli başlı fiziksel özellikleri incelenmiştir. Üçüncü olarak deneyler Afyon Kocatepe Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Uygulama Atölyesindeki İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarında gerçekleştirilmiş ve sonuçlar kaydedilmiştir. Dördüncü ve son olarak deney verileri işlenmiş, yorumlanmış ve karşılaştırılmıştır.

3.1 Deney Düzeneği

Deneyler, Afyon Kocatepe Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Uygulama Atölyesindeki İçten Yanmalı Motorlar Laboratuvarında kurulmuş olan deney düzeneğinde (Şekil 3.1) gerçekleştirilmiştir. Emülsifiye yakıt yönteminin en önemli avantajı mevcut sistem üzerinde modifikasyon gerektirmemesidir. Böylece sistem üzerinde değişiklik yapılmamış olup, ihtiyaç olduğunda farklı yakıta geçişi kolaylaştırmak ve zaman kaybı olmaması amacıyla sadece yakıt hattı üzerine 3-yollu vana monte edilmiştir.



Şekil 3.1 Deney Düzeneği.

Deneyler mevcut deney düzeneğine dahil olan Anthor 3LD510 doğal emişli, tek silindirli

ve direkt enjeksiyonlu dizel motoru ile yapılmıştır. Kullanılan motor Türkiye tarım sektöründe oldukça tercih edilen ve söz sahibi bir motordur (Erçek ve Baydır 2023). Deney motoru Resim 3.1'de, teknik özellikler ise Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Resim 3.1 Deney motoru (Anthor 3LD 510 12hp-8,84 kW).

Çizelge 3.1 Deney motoruna ait özellikler (Erçek ve Baydır 2023).

Model	Antor 3LD 510
Motor Tipi	Dört zamanlı, direkt enjeksiyonlu dizel motor
Silindir Sayısı	1
Silindir Hacmi (cm³)	510
Çap (mm) x Strok (mm)	85 x 90
Sıkıştırma Oranı	17,5:1
Maks. Motor Devri (rpm)	3000
Maks. Güç (kW)	6,6@3000 d/dk
Maks. Tork (Nm)	32,8 @1800 d/dk
Soğutma Tipi	Hava Soğutmalı

Deney motorunun egzoz emisyon değerlerinin ölçülebilmesi için Bosch BEA060 (egzoz emisyonu) ve Bilsa Mod2210 WinXP marka ve model emisyon ölçüm cihazları kullanılmıştır. Emisyon ölçüm cihazlarına ait resimler Şekil 3.2'de, teknik veriler ise

Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. Egzoz gazı sıcaklık ölçümünde ise NiCr-Ni alaşımlı, K tipi Elimko marka termokupl kullanılmıştır.

Şekil 3.2 a) Bosch BEA060 egzoz emisyonu ölçüm cihazı, b) Bilsa Mod2210 WinXP egzoz emisyonu ölçüm cihazı.

Çizelge 3.2 Bosch ve Bilsa marka egzoz emisyon cihazlarının karşılaştırmalı teknik verileri.

Model	**Bosch BEA060**		**Bilsa Mod2210 WinXP**	
	Ölçüm Sınırı	**Hassasiyet**	**Ölçüm Sınırı**	**Hassasiyet**
CO (%)	0-10	0,001	0-10	0,001
CO_2 (%)	0-18	0,01	0-20	0,001
HC (ppm)	0-9999	1	0-10000	1
O_2 (%)	0-22	0,01	0-25	0,01
NO_x (ppm)	0-5000	1	0-5000	1
Lambda	0,5-9,999	0,001	0-5,000	0,001

3.2 Emülsifiye Yakıtların Hazırlanması

3.2.1 Kullanılan Malzemeler

Emülsifiye yakıt; temel manasında farklı miktar ve oranlarda yağ ve su gibi farklı yoğunluktaki iki maddenin belli oranlarda yüzey etken madde (surfaktan) yardımıyla homojen olarak karışımını ifade eder.

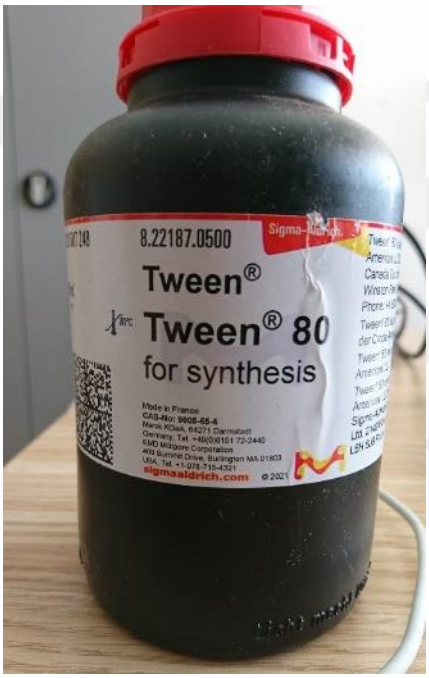
Çizelge 3.3 OPET firmasına ait Eurodiesel yakıtı özellikleri (İnt. Kyn. 14 2023).

Özellik		Birim	Değer
Yoğunluk (15°C'ta)	$Kış^{(a)}$	kg/m³	815-845
	$Yaz^{(b)}$		820-845
PAH		%(m/m)	8,0
Parlama Noktası		°C	>55
SFTN	$Kış^{(a)}$	°C	-15
	$Yaz^{(b)}$	°C	+5
Damıtma	250°C'ta	%(V/V)	<65
	350°C'ta	%(V/V)	85
Kükürt İçeriği		mg/kg	10
Karbon Kalıntısı (%10 damıtmada)		%(m/m)	0,30
Viskozite (40°C'ta)		mm²/s	2,00-4,50
Bakır Şerit Korozyonu (50°C'ta 3 saat)		Derece	1
Kül İçeriği		%(m/m)	0,010
Setan İndisi			46
Setan Sayısı			51
Mangan İçeriği		mg/L	2,0
YAME İçeriği		%(V/V)	7,0
Su İçeriği		%(m/m)	0,020
Toplam Kirlilik		mg/kg	24
Oksitlenme Kararlılığı		g/m³	25
		h	20
%2'nin üzerinde YAME içeren dizel yakıt oksitlenme kararlılığı		sa veya dk	20,0 ya da 60,0
WSD (60°C'ta)		µm	460

Böylece Türkiye'de mevcut standart dizel yakıtı ile literatür taramasına bağlı kalarak seçilmiş olan ve NO_x düşümünü maksimize eden ultra saf su kullanılan temel karışım maddelerdir. Deneyler sırasında kullanılacak olan yakıt güvenilirliği kanıtlanmış ve son kullanıcının en çok tercih ettiği OPET firmasına ait eurodiesel sınıfı dizel yakıtıdır. Deneylerde kullanılan yakıta ait teknik veriler Çizelge 3.3'de sunulmuştur.

Surfaktanlar; homojen bir şekilde yağ içinde su karışımı elde etmek için en önemli

kriterdir ve hazırlanan karışımın homojenliğine direkt etki etmektedir. Böylece kullanılacak olan surfaktanlar uzun bir araştırma sonrasında; bulunabilirlik, fiyat, kalite, performans ve uygulanabilirlik kriterleri ve özellikle HLB değerleri göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Literatürde oldukça çok bahsedilen ve bu yöntemde güvenilirliği kanıtlanmış yabancı menşeili, HLB değeri 15 olan Merck Tween80 for synthesis marka ve HLB değeri 13,2 olan yerli menşeili Apeks Grup NP10 marka surfaktanlar kullanılmıştır. Surfaktanlar Resim 3.2'de, teknik veriler ise Çizelge 3.4'te gösterilmiştir.



Resim 3.2 Kullanılan yüzey aktif maddeler (sufaktanlar) a) Merck-Tween80-sentez için (yabancı menşei), b) Apeks Grup-NP10 (yerli menşei).

Çizelge 3.4 Surfaktanlara (Yüzey etken madde) ait teknik veriler (İnt.Kyn.15 2023; İnt.Kyn.16 2023).

Ürün Bilgileri		
Ürün İsmi	Polisorbat80-Tween80	Nonifenol Etoksilat-NP10
Kimyasal Formülü	$C_{64}H_{124}O_{26}$	$C_9H_{19}C_6H_4(OCH_2CH_2)NOH$
CAS Numarası	9005-65-6	127087-87-0
EC Numarası	500-019-9	-
HS Kodu	3402 42 00	-
Kalite[1]	MQ200	MQ200

Çizelge 3.4 devam Surfaktanlara (Yüzey etken madde) ait teknik veriler (İnt.Kyn.15 2023; İnt.Kyn.16 2023).

Teknik Özellikler		
Surfaktan Tipi	Nonyonik	Nonyonik
HLB Değeri	15	13,2
Moleküler Ağırlığı (g/mol)	1310	682
Kaynama Noktası (°C)	>100 (1013 hPa)	>250
Yoğunluk (g/cm³)	1,07 (25°C)	1,06 (20°C)
Parlama Noktası (°C)	>149	>197
pH Değeri	5-7 (50 g/l, Su, 20 °C)	6
Buhar Basıncı (hPa)	<1,33 hPa (20 °C)	-
Kinematik Viskozite (mm²/s)	300-500 (25 °C)	200-300 (25 °C)
Köpüklenme Değeri	45-55	110-115
Hidroksil Değeri	65-80	-
Toksikoloji Bilgileri		
LD50 (Rat/Oral)[5]	42200 mg/kg	>1000 mg/kg (H302+H332-H318-H411)
GHS'ye göre Güvenlik Bilgileri		
RTECS[3]	WG2932500	-
Depolama Sınıfı	10-13 Diğer Sıvı ve Katılar	10 Yanıcı Sıvılar
WGK[4]	1 (Su için biraz tehlikeli)	3 (Sular için ciddi tehlikeli)

1-Ürün kalite sınıflandırması.
2-GHS: Global Harmonized System (Global Uyumlaştırılmış Sistem)
3-RTECS: Registry of Toxic Effects of Chemical Substances (Kimyasal Maddelerin Toksik Etkilerinin Kaydı)
4-WGK: Water Hazard Classes (Su Tehlike Sınıfları)
5-LD50: %50 Öldürücü Doz (Toksikolojide maddenin ortalama öldürücü dozu); (Su LD50= 90000 mg/kg)

Deney yakıtlarının hazırlanmasında etken maddelerin yanında çeşitli cihaz ve araçlar kullanılmıştır. Bu cihaz ve araçlar DLAB MS7-H550-Pro marka ısıtıcılı manyetik karıştırıcı, SF-400C marka elektronik hassas terazi, farklı ölçülerde beher kaplar, farklı ölçülerde saklama kapları, mezürler ve şırıngalardır. Isıtıcılı manyetik karıştırıcı ve elektronik hassas teraziye ait teknik veriler sırasıyla Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'te verilmiştir. Isıtıcılı manyetik karıştırıcı ve hassas teraziye ait resimler ise sırasıyla Resim 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.5 DLAB MS7-H550-Pro marka ısıtıcılı manyetik karıştırıcıya ait teknik veriler (İnt.Kyn.17 2023).

Özellik	**Birim**	**Değer**	
		Min.	**Max.**
Hız (±1 çözünürlük)	d/dk	100	1500
Isıtma Sıcaklığı (1°C artış)	°C	Oda Sıcaklığı	550
Sıcaklık Kontrol Doğruluğu		±1°C(<100°C)	±1%(>100°C)
Sıcaklık Doğruluğu	°C	±0,1	
Dış Sıcaklık Sensör Doğruluğu	°C	±0,2 (PT1000)	
Sıcak Uyarısı	°C	50	
Motor Tipi		Fırçasız DC Motor	
Manyetik Çubuk Uzunluğu	mm	-	80
Gerilim	V	100-120	200-240
Frekans	Hz	50	60
Güç	W	1050	
Isıtma Çıkış Gücü	W	1000	

Resim 3.3 a) DLAB MS7-H550-Pro Isıtıcılı manyetik karıştırıcı, b) SF-400C Elektronik hassas terazi.

Çizelge 3.6 SF-400C elektronik hassas terazi teknik verileri.

Özellik	Birim	Değer
Kapasite	g	500
Tartım Hassasiyeti	g	0,01
Kalibrasyon		Harici (otomatik)
Ölçüm Birimleri		g, oz, lb, kg, ℓ, ct

Resim 3.4 And Vibro SV-10 viskozite ölçüm cihazı.

Çizelge 3.7 And Vibro SV-10 viskozite ölçüm cihazı teknik verileri (İnt. Kyn. 18).

Viskozimetre Teknik Özellikleri	
Ölçüm metodu	Ayar çatalı titreşim yöntemi
Titreşim Frekansı	30 Hz
Viskozite Ölçüm Birimi	mPa·s, Pa·s, cP, P
Viskozite Ölçüm Aralığı	0,3-10000 mPa·s (cP)
Doğruluk (Tekrarlanabilirlik)	Okumanın %1'i (Tam Aralık) (SD, 20-30°C)
Çalışma Sıcaklığı	10-40°C
Sıcaklık Ölçümü	0-160°C / 0,1°C

Deneylerde kullanılan yakıtların viskozite değerlerinin ölçümünde Afyon Kocatepe Üniversitesi bünyesinde bulunan And Vibro SV-10 marka ve model viskozite ölçüm cihazı kullanılmıştır (Resim 3.4). Titreşim kullanarak viskozite ölçümü yapan cihaza ait teknik veriler Çizelge 3.7'de gösterilmiştir.

3.2.2 Yakıtların Hazırlanma Süreci

Emülsifiye yakıt hazırlamanın temel zorluklarından birisi homojen bir yakıt karışımı hazırlayarak bu karışımın homojenliğinin uzun süre sabit kalabilmesidir. Ayrıca egzoz emisyonlarında istenen düşüş yakalansa bile yakıta ilave edilen etken maddenin kimyasal ve fiziksel özellikleri nedeniyle optimum karışım oranının aşılması durumunda motor performansında olumsuz denebilecek veriler elde edilebilir. Böylece emülsifiye yakıtlara ait karışım verileri Çizelge 3.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8 Emülsifiye yakıt oran ve miktarları.

Dizel		Surfaktan		Ultra Saf Su		Toplam Karışım		Miktar
%	ml	%	ml	%	ml	%	ml	Ad
Surfaktan Tipi: NP10								
94	1880			5	100			
89	1780	1	20	10	200	100	2000	2
84	1680			15	300			
Surfaktan Tipi: Tween80								
94	1880			5	100			
89	1780	1	20	10	200	100	2000	2
84	1680			15	300			

12 adet 2ℓ'lik toplam 2400 ml yakıt hazırlanmıştır.

Her bir emülsifiye yakıt standardize edilmiş hazırlama sürecinden geçmiştir. Standart yakıta eklenen etken madde ve surfaktanın eklenme şekli, eklenme süresi ve karıştırma sıcaklığı ve karıştırma süresi sabit kalmıştır. Mevsimsel değişkenliğe bağlı olarak standart yakıt, surfaktan ve ultra saf suyun ilk sıcaklıkları değişkenlik göstermiştir. Her bir emülsifiye yakıt Çizelge 3.8'deki plana sadık kalınarak 2ℓ'lik pet şişelerde sızdırmazlığı sağlanarak muhafaza edilmiştir.

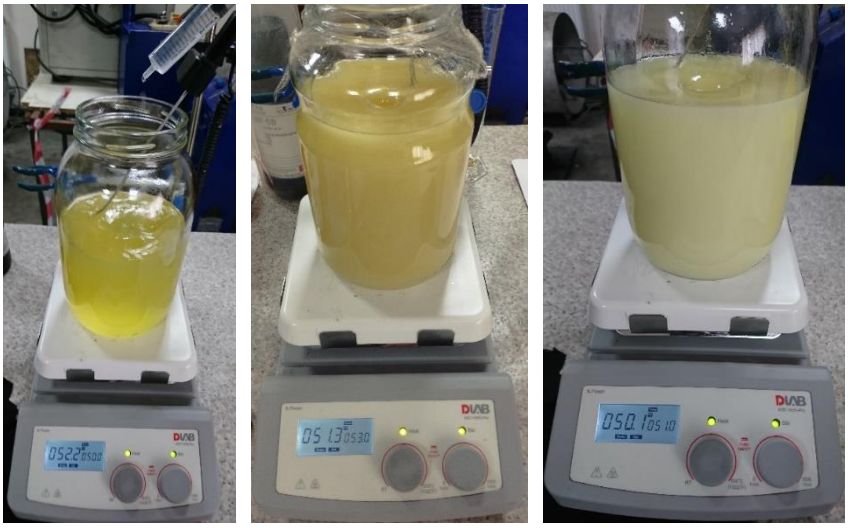
Her bir emülsifiye yakıt için hazırlama sürecinde; ilk olarak surfaktan 25 mℓ hacme sahip mezür aracılığıyla Çizelge 3.8'de belirlenen oranda ölçülerek farklı bir kaba ±0,01-0,06 mℓ hata payıyla aktarılmış ve ekleme işlemine hazır hale getirilmiştir (Resim 3.5a). Ardından Çizelge 3.8'de belirtilen miktarlarda ultra saf su, elektronik hassas terazi yardımıyla ±0,01-0,06 g hata payıyla farklı bir kaba aktarılarak ekleme işlemine hazır hale getirilmiştir (Resim 3.5b). Standart yakıt Çizelge 3.8'deki oran ve miktarlara bağlı kalarak oda sıcaklığında karıştırma kabına aktarılmıştır (Resim 3.4c).

Resim 3.5 a) Surfaktan, b) Ultra saf su, c) Standart dizel yakıtı.

Oda sıcaklığındaki standart dizel yakıtı sızdırmazlığı sağlanarak ısıtıcılı manyetik karıştırıcıda 30-50°C sıcaklığa gelene kadar yaklaşık olarak 30 dakika boyunca 1000-1100 d/dk hızda karıştırıldı. Standart dizel yakıt 30-50°C sıcaklığa yaklaştığında ve karıştırma süresi bittiğinde (Resim 3.6a) oda sıcaklığındaki surfaktan 1 mℓ hacme sahip standart şırınga yardımıyla (Resim 3.6b); her 1 mℓ surfaktan ilavesi 1 dakika içinde ve her 1 mℓ surfaktan ilavesi arasında 2 dakika beklenerek toplamda 1 saatte eklenmiştir. Surfaktan ekleme sürecinde yakıtı ısıtma işlemi devam etmiş ve yakıt+surfaktan karışım sıcaklığı 45-55°C sıcaklık aralığında seyretmiştir ve her bir karışım için yakıt+surfaktan karıştırma son sıcaklığı not edilmiştir. Yakıt+surfaktan karışımı 45-55°C sıcaklıkta ve 1000-1100 d/dk karıştırma hızında 1 saat boyunca karıştırılmıştır ve yakıt+surfaktan son sıcaklığı not edilmiştir (Resim 3.6c).

Resim 3.6 a) Standart dizel yakıtı karıştırma sonu, b) Surfaktan ekleme işlemi, c) Yakıt+Surfaktan karıştırma sonu.

Çizelge 3.8'e bağlı kalarak belirlenen oranda su, yakıt+surfaktan karışımı 45-55°C sıcaklık ve 1000-1100 d/dk hızda karıştırılırken 10 mℓ hacme sahip standart şırınga yardımıyla; her 10 mℓ ultra saf su ilavesi 3 dakika içinde ve her 10 mℓ ultra saf su ilavesi arasında 2 dakika beklenerek toplamda 1 saat 30 dakika içinde eklenmiştir (Resim 3.7a). Son ultra saf su ekleme işlemi sonunda yakıt+surfaktan+ultra saf su karışım son sıcaklığı not edilmiştir (Resim 3.7b). Bir sonraki işlemde yakıt+surfaktan+ultra saf su karışımı 45-55°C sıcaklıkta ve 1000-1100 d/dk hızda 2 saat boyunca sızdırmazlığı sağlanarak karıştırılmıştır (Resim 3.7c).



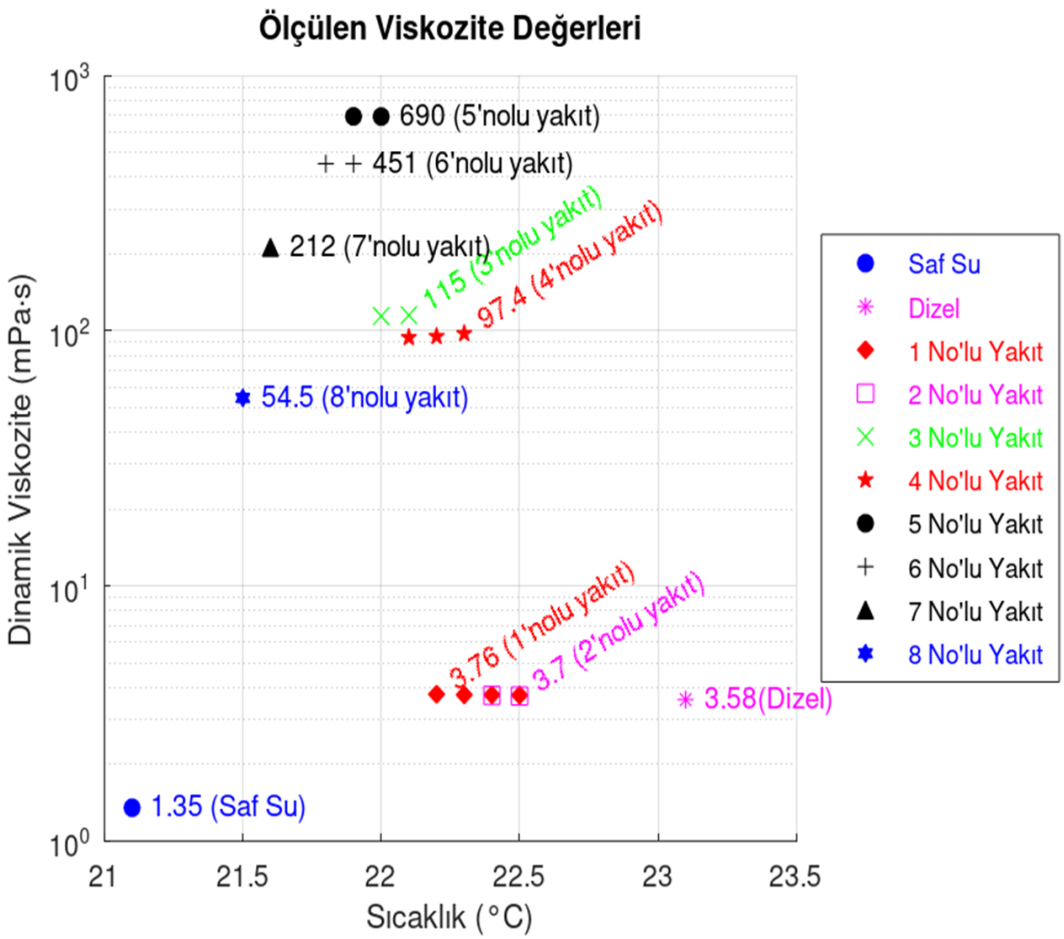
Resim 3.7 a) Ultra saf su ekleme başı, b) Ultra saf su ekleme sonu, c) Yakıt+Surfaktan+Ultra saf su karıştırma sonu.

Böylece her bir karışım için harcanan toplam süre 5-6 saattir. Her bir karışıma ait ayrıntılı hazırlama süreci EK 6'da gösterilmiştir.

Ayrıca "BULGULAR" başlığı altında verilmiş olan; yapılan deneylere ait motor performans verileri ve egzoz emisyon değerlerine temel teşkil eden verilerin, işlenmiş ve grafiğe dökülmüş halleri EK 2'de gösterilmiştir. Zamana bağlı emisyon değerlerinin işlenebilmesi için deneyler esnasında cihaz yazılımlarının ekran görüntüleri kaydedilmiş daha sonra bu video dosyalarından verilerin Optik Karakter Tanıma (OCR) ile okunup diğer deney verileri ile işlenebilmesi için excele kaydetmeyi sağlayan Matlab programları hazırlanmıştır. Daha sonra egzoz emisyon cihazlarından görüntü işleme ile elde edilen ve SCR sisteminin LabVIEW yazılımından sağlanan .xls dosyaları zamana bağlı olarak birleştirilerek hazırlanan başka bir matlab programı ile verilerin minimum-maksimum ve ortalamalarının çıkarılması, bazı parametrelerin hesaplanması (DEF enjeksiyon süresi, SCR etki süresi, tepkisiz süre ve NOx düşüş yüzdeleri) ve grafiklerinin çıkarılması sağlanmıştır.

4. BULGULAR

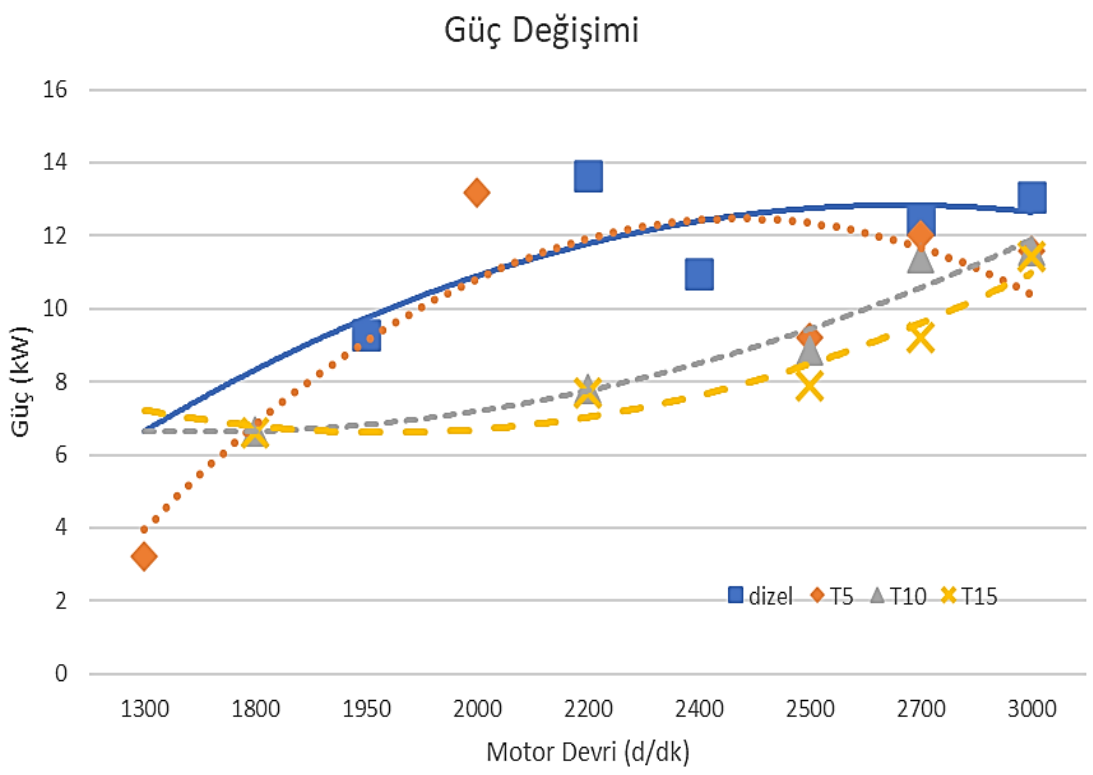
Bu bölümde standart dizel yakıt ile Çizelge 3.6'ya bağlı kalarak hazırlanan emülsifiye yakıtlar içinden, Şekil 4.1'de bulunan viskozite değerlerine bağlı olarak seçilen T5, T10, T15 yakıtlarının 1300-3000 d/dk aralığında farklı motor devirlerinde elde edilen motor performans ve emisyon değerleri yorumlanmıştır.



Şekil 4.1 Deney yakıtları dinamik viskozite değerleri.

Dizel, T5, T10, T15 yakıtlarının değişken devirlerde motor gücüne etkisi Şekil 4.2'de görülmektedir. Maksimum güç 2200 d/dk motor hızında 13,644 kW olarak ölçülmüştür. Tezin amacı dahilinde hazırlanmış olan T5 yakıtı kullanıldığında maksimum güç değeri 2000 d/dk hızına gerileyerek 13,17 kW olarak ölçülmüştür. Bunun yanında sırasıyla %10 ve %15 su içeren T10 ve T15 yakıtlarının 2200 d/dk'da güç değerleri sırasıyla; 7,82 kW ve 7,71 kW olarak ölçülmüştür. Güç değerlerinin bu denli düşük çıkmasının nedeni

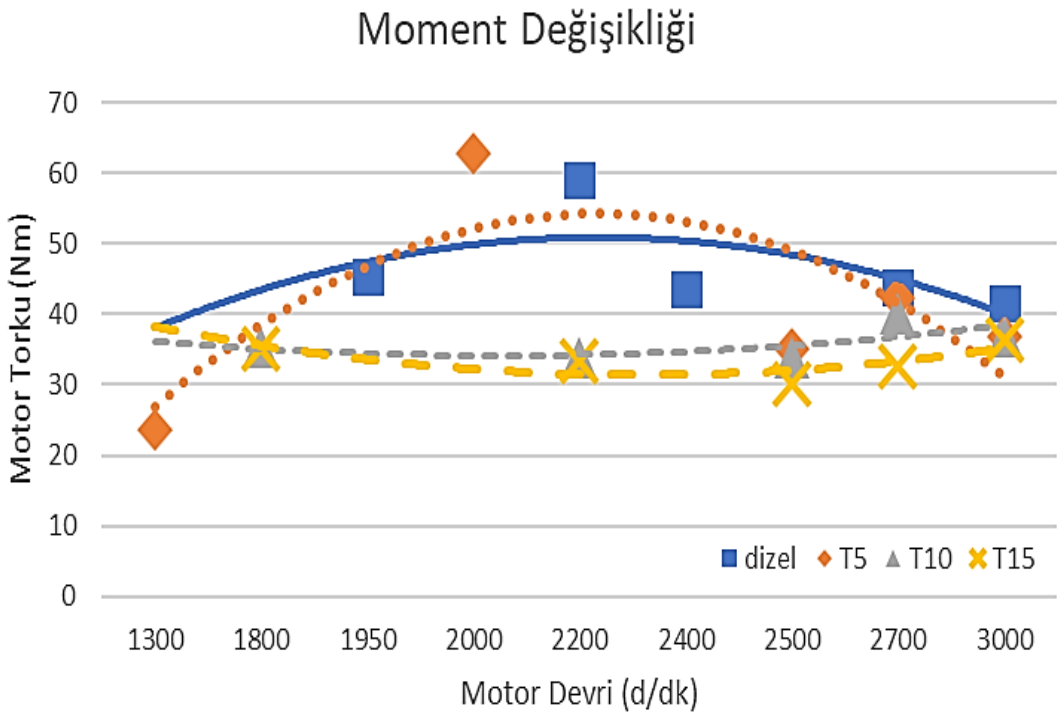
emülsifiye yakıtlar içerisindeki su miktarına bağlı karışım yakıtların; ısıtma değerlerinin düşmesi neticesinde silindir içi yanma sıcaklığı düşmüş ve dolayısıyla motor gücünde gözle görülür bir düşüş meydana gelmiştir (Seifi vd. 2019). Ayrıca diğer bir neden gönderilen her emülsifiye yakıt miktarında içeriğindeki su oranı nedeniyle standart dizele göre daha az yakıt içermesidir (Tunca vd. 2017).



Şekil 4.2 Motor hızına bağlı motor gücü değişimi.

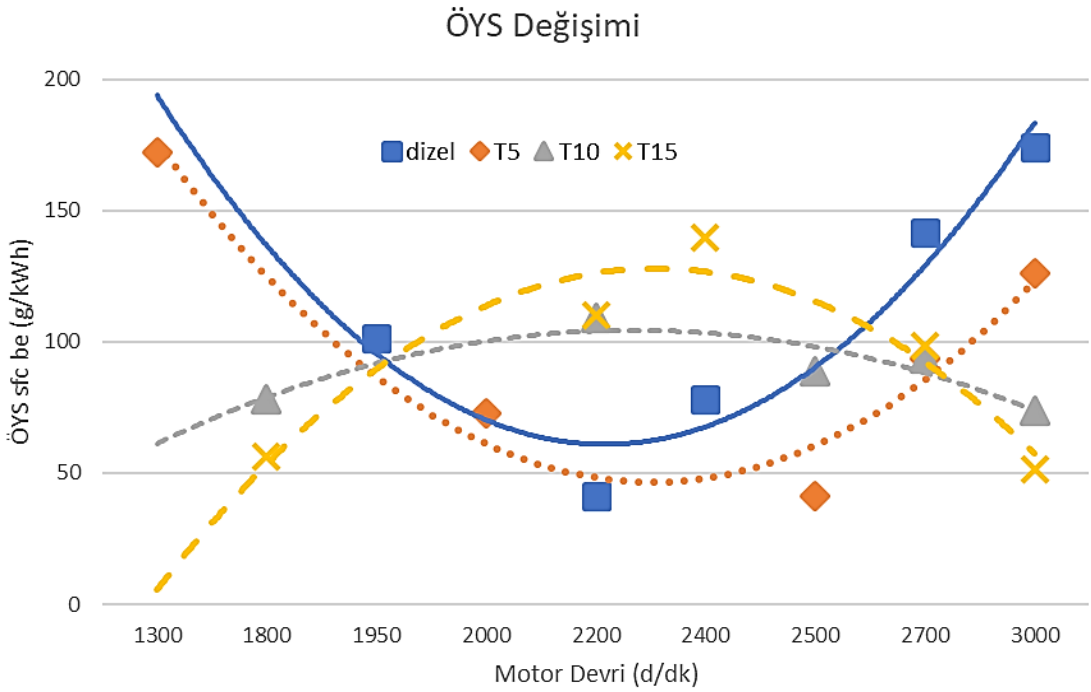
Şekil 4.3'de motor hızına bağlı motor moment değerleri; T5 yakıt karışımında 2000 d/dk motor hızında 62,88 Nm değer ile en yüksek değerde görülmektedir. Bunu 59,22 Nm ile standart dizel yakıtı 2200 d/dk motor hızında yakalamıştır. En düşük moment değeri 23,61 Nm ile 1300 d/dk motor hızında T5 yakıt karışımında elde edilmiştir. Diğer yandan T10 ve T15 yakıt karışım değerleri ise birbirine yakın seyrederek en yüksek değerlerini T10 yakıt karışımı için 2700 d/dk motor hızında 40,23 Nm; T15 yakıt karışımı için 3000 d/dk motor hızında 36,36 Nm ile seyretmiştir. Tork değerleri için motor hızının önemi olsa da yakıt karakteristiğinin önemi de göz önündedir. Moment düşümünün asıl sebebi yakıt karakteristiğine bağlı olarak dizel yakıt oranının azlığı ve dolayısıyla setan sayısının düşmesidir (Brady 2013; Ayhan 2016; Ganesan 2017). Diğer yandan T5 yakıt karışımının

en yüksek değeri alması mikro-patlama fenomenine bağlanabilir (Lif ave Holmberg 2006; Jhalani vd. 2019).

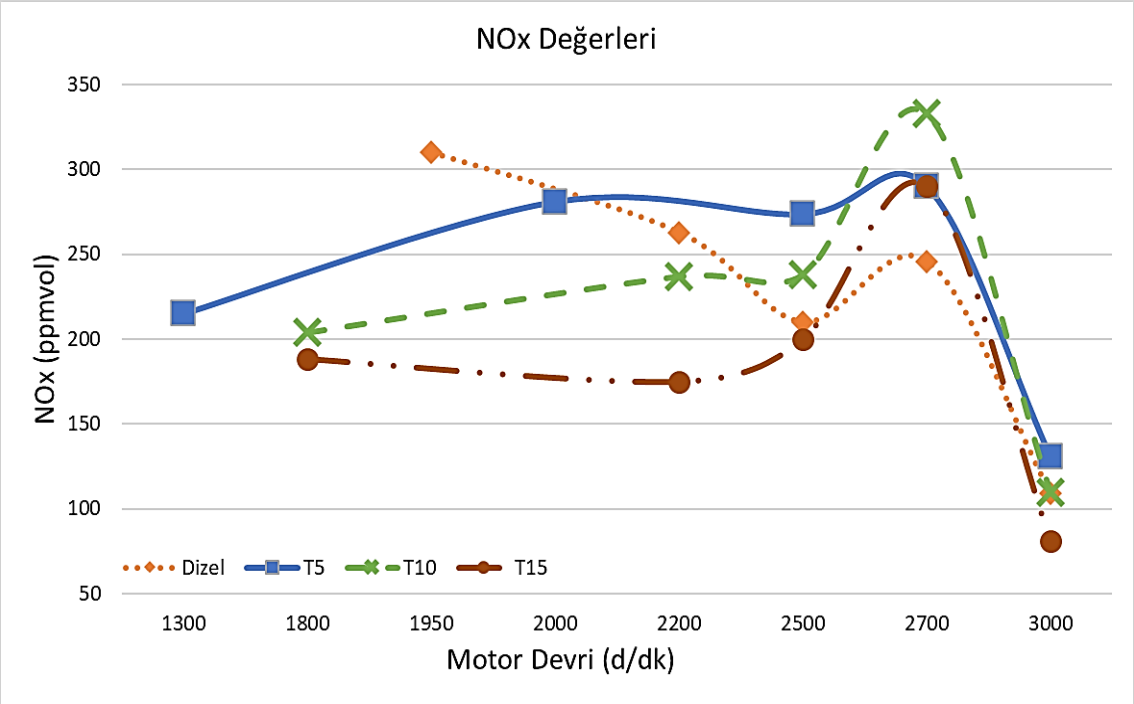


Şekil 4.3 Motor hızına bağlı motor moment değişimi.

Özgül yakıt tüketiminin farklı motor hızlarında değerleri Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Diğer motor performans değerlerine benzer olarak özgül yakıt tüketimi de yakıt kompozisyonuna bağlı olarak hareket etmektedir. En yüksek özgül yakıt tüketimi 3000 d/dk motor hızında 174,25 g/kWh değer ile dizel yakıtında görülürken; en düşük değer dizel yakıtında 2200 d/dk motor hızında 41,22 g/kWh olarak tespit edilmiştir. Bunun yanında şekil incelenirse T10 ve T15 yakıtlarının dizel ve T5 yakıtının aksine parabol çizdiği görülebilir. 1950-2500 d/dk aralığında T10 ve T15 yakıtları en yüksek ÖYS değerlerini görürken 2700 d/dk motor hızından sonra T10 ve T15 yakıtlarının ÖYS'larının düştüğü görülebilir. Bu durum mikro-patlama fenomenine bağlanabilir ve yakıt kompozisyonu büyük rol oynamaktadır (Ayhan vd. 2017). Yakıt içeriğindeki su miktarı arttıkça yanma odasına daha az dizel girecek bunun sonucunda da silindir içi basınç ve sıcaklığın düşmesine neden olacaktır böylece yakıt daha geç buharlaşarak tam yanmaya yakın bir yanma elde edilerek mevcut yakıttan en yüksek verimi alacaktır. (Debnath vd. 2015; Ma vd. 2019)



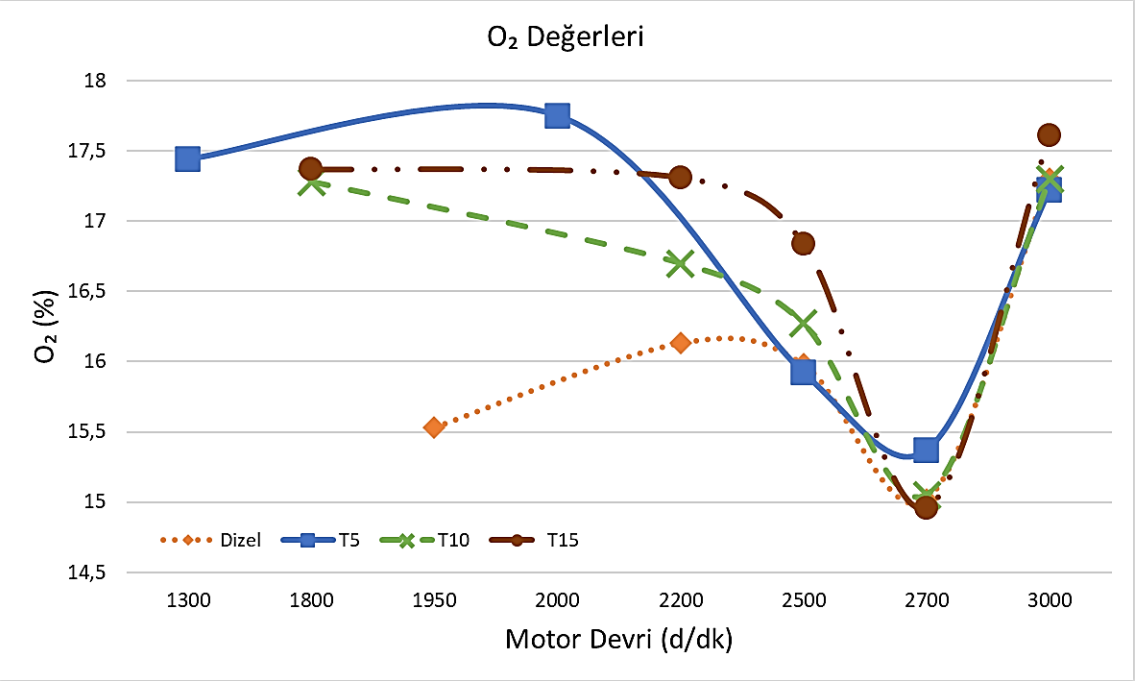
Şekil 4.4 Motor hızına bağlı ÖYS değişimi.



Şekil 4.5 Motor hızına bağlı egzoz gazındaki NOx değişimi.

Egzoz emisyonlarında dizel motor için baş kirletici olan NO_x değerleri için deneylerden elde edilen veriler Şekil 4.5'te verilmiştir. Buna göre düşük devirlerde emülsifiye yakıtların NO_x yönünden avantajlı olduğu görülmektedir. Her ne kadar motor hızı 2500

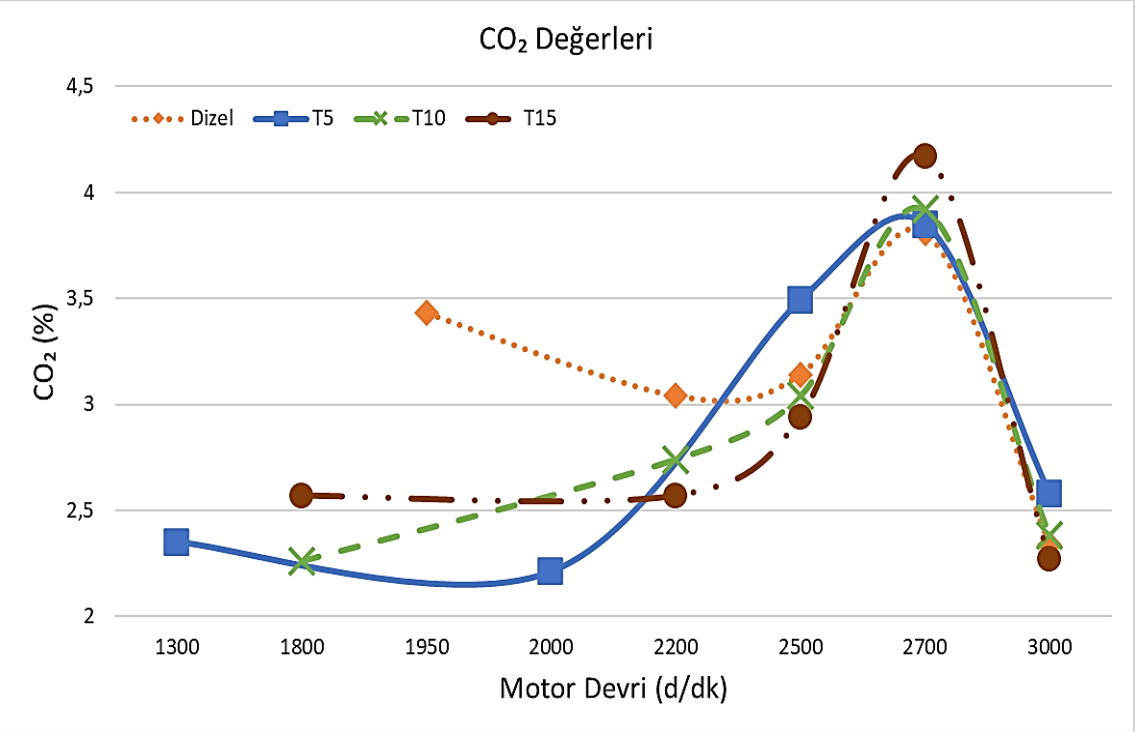
d/dk'dan sonra NO_x değerleri genel bir pik sonrası 2700 d/dk'da maksimum değerlerini elde etmişse de sonrası devirlerde azalarak 3000 d/dk'da minimum değerlerini elde etmiştir. Emülsifiye yakıtlar yönünden ele alırsak minimum NO_x değerinin (81 ppmvol) T15 yakıtı ile 3000 d/dk motor hızında elde edildiği ortadadır. Buna göre maksimum NO_x azalma oranı %34,56 değerlerindedir. T10 yakıtı ise T15 yakıtının aksine NO_x değerlerinde %0,9 artış göstermiştir. Böylece NO_x değerleri konusunda 2700 d/dk motor hızı haricinde diğer motor devirlerinde T15 avantajlı konumdadır. NO_x emisyonlarının yüksek silindir içi sıcaklığına bağlı olarak arttığı bilinen bir gerçektir. T15 yakıtı su içerikli emülsifiye yakıt olduğu için yakıtın ısıl değeri düşecektir ve buna bağlı olarak silindir içi sıcaklığı düşmekte ve NO_x değerlerini aşağıya çekmektedir (Yılmaz vd. 2013).



Şekil 4.6 Motor hızına bağlı egzoz gazındaki O_2 değişimi.

Şekil 4.5' te gösterilen O_2 değerleri incelendiğinde dizel yakıtının dezavantajı görülmektedir. Bunun nedeni emülsifiye yakıt içeriğindeki suyun yanma esnasında faz değiştirerek su buharına dönüşmesi ve dolayısıyla egzoz gazı O_2 konstsantrasyonunu artırmasıdır (Yılmaz *et al.* 2013; Ithnin *et al.* 2014). Egzoz gazındaki maksimum O_2 konsantrasyonu T10 yakıtı için 1800 d/dk motor hızında %17,28 olarak ölçülmüştür. Bunun yanında minimum O_2 konsantrasyonu dizel yakıtı için 3000 d/dk motor hızında %17,3 olarak ölçülmüştür. Tüm emülsifiye yakıtların 2700 d/dk motor hızında dizel

yakıtın gerisinde kaldığı ve bu hızda en yüksek O_2 konsantrasyonunun dizel yakıt için %15,02 ölçülmüştür.

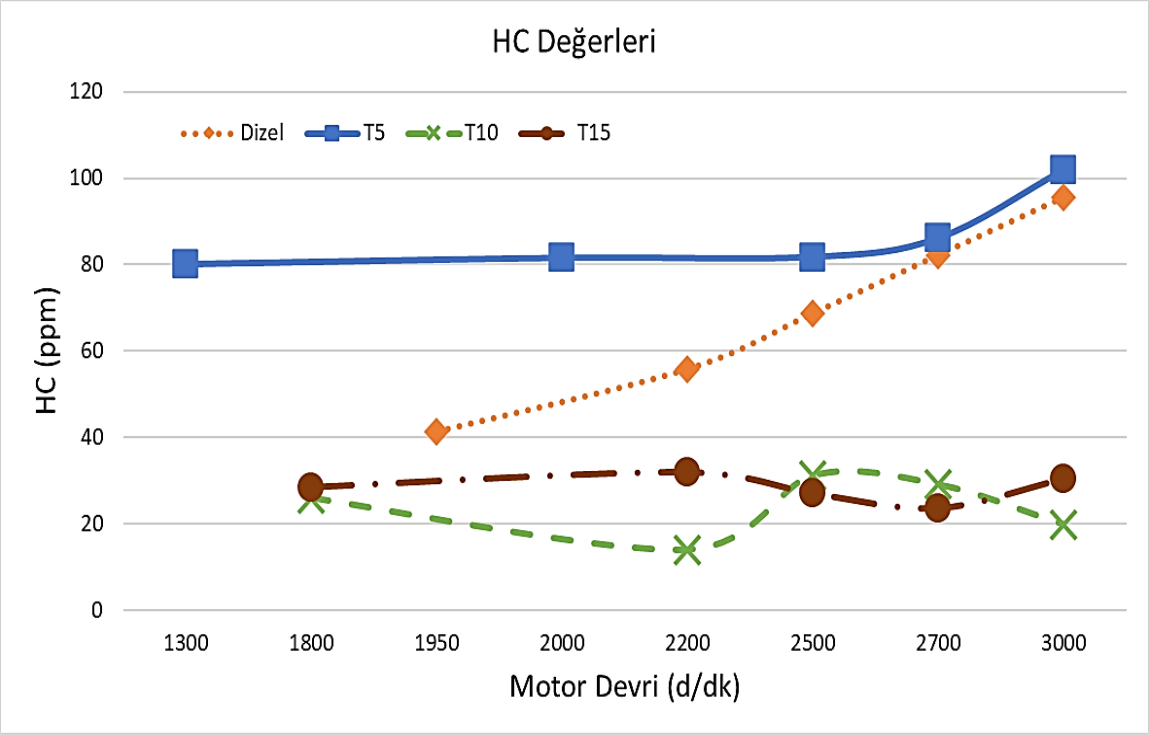


Şekil 4.7 Motor hızına bağlı egzoz gazındaki CO_2 değişimi.

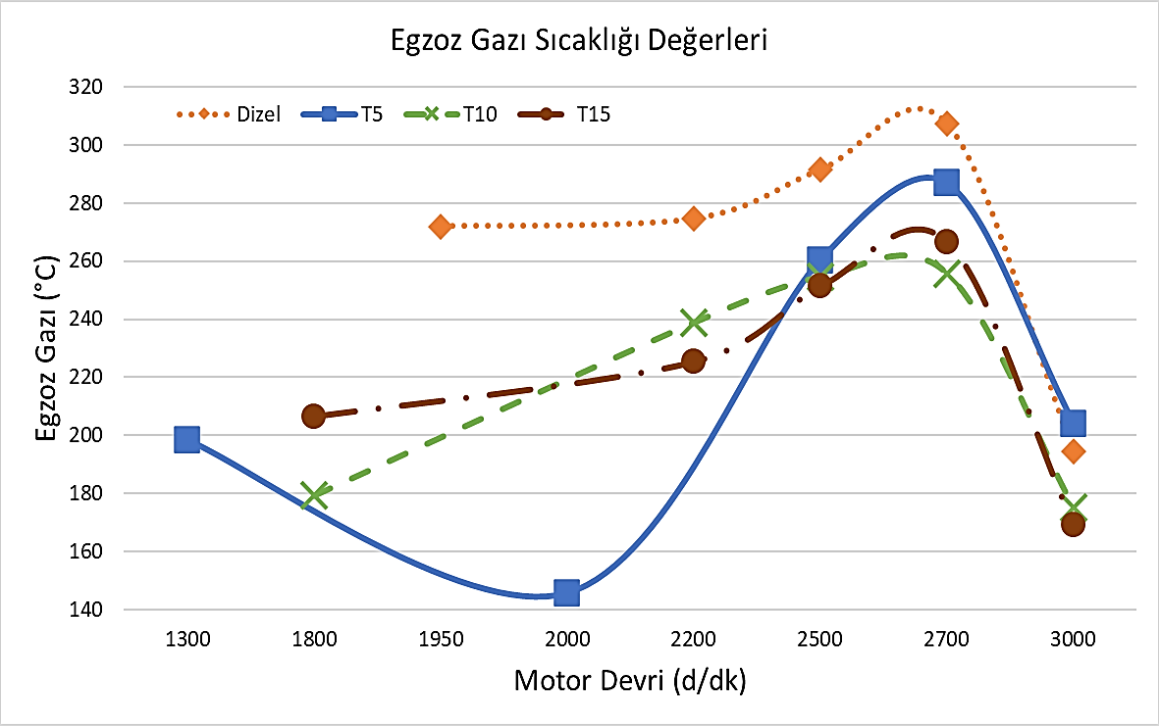
Şekil 4.7 CO_2 değerlerini gösterir şekil incelendiğinde; en düşük CO_2 değerleri T10 yakıtı için 1800 d/dk motor devrinde %2,26 olarak ölçülmüştür. CO_2 oranının çokluğu CO gazının tepkimeye girdiğine atıfta bulunabilir. Ne kadar zararlı bir gaz olsa da CO_2 salınımı CO salınımı yanında istenen bir fenomendir ve tam yanmanın kanıtı olabilir (Mollenhauer ve Tschöke 2010). Böylece 2700 d/dk motor hızlarında emülsifiye yakıtların CO_2 salınımı açısından avantajı görülmektedir. Buna göre maksimum CO_2 konsantrasyonu T15 yakıtı için 2700 d/dk motor hızında %4,17 olarak ölçülmüştür. Bunun yanında aynı koşullardaki T5 yakıtı için %3,85; T10 yakıtı için CO_2 konsantrasyonu %3,92 olarak ölçülmüştür.

HC değerleri Şekil 4.8'de gösterildiği gibi değişmektedir. Egzoz gazındaki HC konsantrasyonu yakıt kompozisyonu ve yakıt içeriğindeki bileşiklere bağlı olarak artar ya da azalır. Buna göre yakıt içerisine eklenen suyun aynı oranda yakıtla yer değiştirmesi neticesiyle silindir içine alınan dizel yakıtına göre emülsifiye yakıtlar HC oluşturucu

bileşiklerce dezavantajlıdır. Şekil 4.8'de görüldüğü üzere emülsifiye yakıtlar dizel yakıta göre her motor devrinde daha az HC salınımı gerçekleştirmiştir.



Şekil 4.8 Motor hızına bağlı egzoz gazındaki HC değişimi.



Şekil 4.9 Motor hızına bağlı egzoz gazı sıcaklık değişimi.

5. SONUÇ

Bu çalışmada farklı tipte surfaktan, farklı oranlarda ultra saf su miktarıyla elde edilen T5, T10, T15 ve N5, N10, N15 emülsifiye yakıtların standart dizel yakıta göre motor performans ve egzoz emisyon parametreleri deneysel olarak incelenmiştir.

Emülsifiye yakıt hazırlamak için gereken malzemeler ne kadar basit olsa da hazırlama süreci oldukça zordur. Ayrıca elde edilen karışımın homojen yapısı kısa süreli devam etmekte ve en uygun koşullarda dahi 3 gün içinde homojen yapısı bozulmaktadır.

Şekil 4.1'de de görüldüğü üzere NP10 tipi surfaktan ile hazırlanan yakıtların (N5, N10, N15) yüksek viskozitesi nedeniyle karışımda sakızlanma, uzama ve akma mukavemeti gözlenmiştir. Böylece deneyler Tween80 tip surfaktan ile hazırlanan yakıtlar ile gerçekleştirilmiştir.

Emülsifiye yakıt kullanımının dizel yakıtına kıyasla motor gücü, momentinde azalma olduğu görülmüştür. Düşük ve yüksek devirlerde; yüksek ÖYS değerleri elde edilse de yaklaşık olarak 1900-2700 d/dk devirler arasında dizel yakıtına göre daha düşük ÖYS değerleri elde edilmiştir. Maksimum güç 2200 d/dk motor hızında 13,644 kW olarak dizel yakıtında ölçülmüştür. T5 yakıtı kullanıldığında 13,17 kW, T10 ve T15 yakıtlarının 2200 d/dk'da güç değerleri sırasıyla; 7,82 kW ve 7,71 kW olarak ölçülmüştür.

Minimum NO_x değeri (81 ppmvol) T15 yakıtı ile 3000 d/dk motor hızında elde edilmiştir. Buna göre maksimum NO_x azalma oranı %34,56 değerlerindedir. Egzoz gazındaki maksimum O_2 konsantrasyonu T10 yakıtı için 1800 d/dk motor hızında %17,28 olarak ölçülmüştür. Bunun yanında minimum O_2 konsantrasyonu dizel yakıtı için 3000 d/dk motor hızında %17,3 olarak ölçülmüştür. Maksimum CO_2 konsantrasyonu T15 yakıtı için 2700 d/dk motor hızında %4,17 olarak ölçülmüştür. Buna göre maksimum egzoz gazı sıcaklık düşüşü 2700d/dk motor hızında T10 yakıtı için %20,09, T15 yakıtı için %15,19 olarak ölçülmüştür.

6. TARTIŞMA ve ÖNERİLER

Her ne kadar avantaj ve dezavantajları olsa da emülsifiye yakıtlar; karıştırma teknolojisi ve koşulları bakımından araştırmaya açıktır. Sadece su kullanımının dışında farklı oranlarda farklı yakıtların karışımının da önünü açarak yakıt bileşiklerinin oranlarının iyileştirilmesinde iyi bir yol olabilir

Karışım hazırlama sürecinde daha yüksek karıştırma hızları ve süreleri kullanılarak daha homojen karışım yapısı elde edilebilir. Bunun yanında surfaktan ve etken maddelerin oranlarında değişikliğe gidilerek viskozitesi daha düşük yakıtlar elde edilerek yakıt hattında daha kolay bir akış sağlanabilir. Homojen yapı elde edebilmek için uzun karıştırma süreleri ve farklı yöntemler gerekmektedir.

Modifikasyon ihtiyacı duymasa da basit motor modifikasyonlarıyla (ikincil bir yakıt pompası, 3-yollu vana, elektronik karışım hazırlama devresi gibi) daha verimli yakıt iletimi ve akışı sağlanabilir.

Dizel yakıta göre emülsifiye yakıtlar motor performansında olumsuz bir profile neden olsa da egzoz emisyon değerlerinde genel bir düşüş trendi izlemiştir. Beklendiği gibi NO_x, HC ve egzoz gazı sıcaklığı değerlerini aşağı çekmiş O_2 ve CO_2 değerlerinde artış sağlamıştır.

Motor performansında artışa gidebilmek adına dizel motor için setan sayısını ve HC oranını artıracak farklı etken maddeler kullanılabilir. Fakat bu durum HC oranına bağlı emisyon değerlerinin artmasına neden olabilir. Böylece yapılacak çalışma amacının dışına sapabilir. Bunun önüne geçebilmek için farklı emülsifikasyon yöntemleri geliştirilebilir.

7. KAYNAKLAR

Aksoy N, 2021, Dizel Motorlarda SCR Sisteminde Kullanılan Katalizörlerin NOx Emisyonlarına Etkilerinin Nümerik Olarak İncelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 78s, Afyon.

Alkaya B, Yıldırım M, 2000, Taşıt Kaynaklı Kirleticilerin Azaltılma Yöntemleri, Ekloji Çevre Dergisi, 9, 15–20.

Alozie N.S, Ganippa L.C, 2020, Diesel Exhaust Emissions and Mitigations, Vİskup R, (Ed.), İntroducing to Diesel Emissions (3-33), İntechopen, London.

Aygül Ö, 2021, Van Gölü Bölgesinde Faaliyet Gösteren Gemilerden Kaynakli Egzoz Emisyonlarının Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 101s, Hatay.

Ayhan V, 2016, Direkt Enjeksiyonlu Bir Dizel Motoruna Buhar ve Farklı Yöntemlerle Su Gönderiminin Performans ve NOx Emisyonlarına Etkilerinin İncelenmesi, SAÜ Fen Bilimleri Dergisi, 20, 463–471.

Tunca S, Ayhan V, Çay Y, Cesur İ, 2017, Direkt Enjeksiyonlu Bir Dizel Motorunda Stabilize Emülsife Yakıt Kullanımının Etkilerinin İncelenmesi, Academic Platform Journal of Engineering and Science, 5, 41–48.

Ayhan V, Özsert İ, Çay İ, Çoban A, Cesur İ, 2018, DI Bir Dizel Motorunda Optimum Buhar Püskürtme Oranı ve Yakıt Püskürtme Zamanının Taguchi Metodu ile Deneysel Olarak Belirlenmesi, Journal of New Results in Engineering and Natural Science, 8, 128–136.

Ayhan V, Ece Y.M, 2019, Tek Silindirli Bir Dizel Motora Direkt Su Enjeksiyonunun Performans ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi, İleri Teknoloji Bilimler Dergisi, 8, 11–21.

Bereketidou O.A, Charisiou N.D, Goula M.A, 2012, Simultaneous Removal of NO and SO_2 from Combustion Flue Gases Using Supported Copper Oxide Catalysts, Global Nest Journal, 14, 166–174.

Bauer H (Ed.), 2003, Diesel-Engine Management: an Overview, Robert Bosch GMBH, 132s, Germany.

Brady R.N, 2013, Internal Combustion (Gasoline and Diesel) Engines, Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, Elsevier Inc, 1–59, Canada.

Cesur İ, 2013, Kısmi Yalıtılmış Bir Buji Ateşlemeli Motorda Buhar Enjeksiyonu Etkilerinin İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 160s, Sakarya.

Challen B, Baranescu R (Ed.), 1999, Diesel Engine Reference Book, Butterworth-Heinemann, 714s, Oxford.

Coşkun N.Y, 2017, Dizel Motorlarda Kirletici Emisyonların Düşürülmesi İçin Egzoz Sisteminin Tasarımı ve Analizi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 94s, Elazığ.

Debnath B.K, Saha U.K, Sahoo N, 2015, A Comprehensive Review on The Application of Emulsions As an Alternative Fuel For Diesel Engines, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 42, 196–211.

Erçek E, Baydır Ş.A, 2023, A Study on the Effect of Injection Injection Amount on NOX Emissions in the Selective Catalytic Reduction (SCR) System in a Single Cylinder Diesel Engine, International Journal of Automotive Science and Technology, 7, 37–43.

Erdöl E, 2007, Enjektör Parametrelerinin Motor Egzoz Emisyonlarına Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 118s, İstanbul.

Galata S, 2017, İçten Yanmalı Motorlarda Su Enjeksiyonunun Motor Performansı ve Egzoz Emisyonları Üzerine Olan Etkisinin Deneysel Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 128s, İstanbul.

Ganesan V, 2017, IC Engines, Tata McGraw-Hill, 730s, New Delhi.

Haşimoğlu C, İçingür Y, Öğüt H, 2002, Dizel Motorlarında Egzoz Gazları Resirkülasyonunun (EGR) Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 26, 127–135.

Hegde R.R, vd., 2016, Factors Affecting Emissions from Diesel Fuel and Water-in-Diesel Emulsion, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects, 38, 1771–1778.

Ithnin A.M, Noge H, Kadir H.A, Jazair W, 2014, An Overview of Utilizing Water-in-Diesel Emulsion Fuel in Diesel Engine and İts Potential Research Study, Journal of the Energy Institute, 87, 273–288.

Jhalani A, vd., 2019, Effects of Process Parameters on Performance and Emissions of a Water-Emulsified Diesel-Fueled Compression İgnition Engine, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects, 00, 1-13.

Kapadia H, vd., 2019, Investigation of emulsion and effect on emission in CI engine by using diesel and bio-diesel fuel: A review, Egyptian Journal of Petroleum, 28, 323–337.

Kelen F, 2014, Motorlu Taşıt Emisyonlarının İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerine Etkileri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19, 80–87.

Keskin A, 2009, Dizel Motorlarında Partikül Madde Emisyon Kontrolü ve Gelişmeler, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IARS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, 13–15.

Lif A, Holmberg K, 2006, Water-in-diesel emulsions and related systems, Advances in Colloid and Interface Science, 123–126, 231–239.

Ma J, vd., 2019, A Novel Oxygen-Containing Demulsifier for Efficient Breaking of Water-in-Oil Emulsions, Chemical Engineering Journal, 385, doi: 10.1016/j.cej.2019.123826.

Mollenhauer K, Tschöke H (Ed.), 2010, Handbook of Diesel Engines, Springer-Verlag Berlin Hiedelberg, 636s, Germany.

Bowman C.T, 1979, Kinetics of Pollutant Formation and Destruction in Combustion, Prog. Energy Combust. Science, 1, 33-45.

Özer R, 2022, Dizel Partikül Filtresinin Kullanım Sürelerine Göre Araçlardaki Emisyon Değerlerinin İncelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 52s, Afyon Karahisar.

Parlak F.O, 2017, Dizel Motor Emisyon Düzenlemeri için LNT'nin Matematiksel Olarak Modellenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 65s, İstanbul.

Pulkrabek W.W, 2013, Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine, Prentice Hall, 395s, New Jersey.

Schäfer F, Basshuysen R.V, 1995, Reduced Emissions and Fuel Consumption in Automobile Engines, Springer-Verlag Wien GmbH, 225s, Germany.

Seifi M.R, vd., 2019, Statistical Evaluation of the Effect of Water Percentage in Water-Diesel Emulsion on the Engine Performance and Exhaust Emission Parameters, Energy, 180, 797–806.

Sitshebo T.W.S, 2010, HC-SCR of NOx Emissions Over Ag-Al2O3 Catalysts Using Diesel Fuel as a Reductant, The University of Brimingham, School of Mechanical Engineering, Doctor of Philosophy, 168p, Brimingham.

Subramanian K.A, 2011, A Comparison of Water-Diesel Emulsion and Timed İnjection of Water İnto The İntake Manifold of A Diesel Engine for Simultaneous Control of NO and Smoke Emissions, Energy Conversion and Management, 52, 849–857.

Tac A, 2016, Sıvı Yakıtların Kimyasal Ekserjilerinin Hesaplanması, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 95s, Trabzon.

Topal M.N, 2022, Bakır Esaslı SCR Katalisti Üzerine Selenyum İçeren Nano Partikül İlavesinin Düşük Sıcaklık Koşullarında NOx Dönüşüm Performansı Üzerine Etkisi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 83s, Adana.

Tunca S, vd., 2017, Direkt Enjeksiyonlu Bir Dizel Motorunda Stabilize Emülsife Yakıt Kullanımının Etkilerinin İncelenmesi, Academic Platform-Journal of Engineering and Science, 5, 41–48.

Tunca S, 2019, Farklı Katkı Maddeli Emülsifiye Yakıtların Bir Dizel Motorun Performans ve Emisyonlarına Etkisi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 106s, Sakarya.

Uyumaz A, Boz F, vd., 2017, Taşıt Egzoz Emisyonlarını Azaltma Yöntemlerindeki Gelişmeler, *MAKÜ FEBED*, 24, 15–24.

Wu Y, 2009, Investigation of Particle Number Measurement and Combustion and Emissions From Alternative Fuels in Diesel Engines, The University of Leeds, School of Chemical and Process Engineering, Doctor of Philosophy, 290p, Leeds.

Yılmaz E, vd., 2013, Üç-Fazlı Dizel Emülsiyon Yakıtlarının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28, 127–134.

İnternet Kaynakları

1- https://dieselnet.com/tech/emi_intro.php, 10/02/2023
2- https://tr.wikipedia.org/wiki/Atmosfer, 15/09/2023
3- https://tr.wikipedia.org/wiki/Azot, 15/09/2023
4- https://tr.wikipedia.org/wiki/Azot_monoksit, 15/09/2023
5- https://tr.wikipedia.org/wiki/Nitröz_oksit, 15/09/2023
6- https://tr.wikipedia.org/wiki/Azot_tetraoksit, 15/09/2023
7- https://tr.wikipedia.org/wiki/Azot_pentaoksit, 15/09/2023
8- https://tr.wikipedia.org/wiki/Azot_oksit, 15/09/2023
9- https://dieselnet.com/standards/eu/ld.php, 10/02/2023
10- https://en.wikipedia.org/wiki/EN_590, 10/10/2023
11- https://atf.je/wp-content/uploads/2019/12/74552-ATF-Fuel-Specs-Diesel-BSEN590.pdf, 05/12/2019
12- https://totalenergiesistasyonlari.com.tr/media/1241/motorin-ozellikleri.pdf, 05/12/2021
13- https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1-Hexadecene, 15/09/2023
14- https://opetwebcdn.azureedge.net/medium/document-file-1168.vsf., 20/04/2023
15- https://www.sigmaaldrich.com/TR/en/product/mm/822187, 01/06/2023
16- https://www.dow.com/content/dam/dcc/documents/en-us/productdatasheet/119/119-01920-01-tergitol-np-10-surfactant-technical-data-sheet.pdf, 01/06/2024
17- https://www.dlabsci.com/#/productDetail?id=786ba59856d3f4a730ed61354f1989c5, 05/07/2023
18- https://www.aandd.jp/products/test_measuring/pdf/sv.pdf, 11/03/2024

EKLER

EK 1. Diğer taşıt tiplerine bağlı Euro Normları (İnt. Kyn. 9 2022).

UYGUNLUK	TARİH (Tip Onayı)	TARİH (İlk Kayıt)	CO	THC	NMHC	NO_x	HC+ NO_x	PM	PN (x/km)
DİZEL (Kategori N_1; Sınıf I); Hafif Ticari Araçlar≤1305kg, g/km									
Euro1	Ekim 1993	Ekim 1994	2,72	-	-	-	0,97	0,14	-
Euro2	Ocak 1997	Ekim 1997	1,0	-	-	-	0,7	0,08	-
Euro3	Ocak 2000	Ocak 2001	0,64	-	-	0,50	0,56	0,05	-
Euro4	Ocak 2005	Ocak 2006	0,50	-	-	0,25	0.30	0,025	-
Euro5a	Eylül 2009	Ocak 2011	0,500	-	-	0,180	0.230	0,005	-
Euro5b	Eylül 2011	Ocak 2013	0,500	-	-	0,180	0.230	0,0045	6×10^{11}
Euro6b	Eylül 2014	Eylül 2015	0,500	-	-	0,080	0,170	0,0045	6×10^{11}
Euro6c	-	Eylül 2018	0,500	-	-	0,080	0,170	0,0045	6×10^{11}
Euro6d-Sıcaklık	Eylül 2017	Eylül 2019	0,500	-	-	0,080	0,170	0,0045	6×10^{11}
Euro6d	Ocak 2020	Ocak 2021	0,500	-	-	0,080	0,170	0,0045	6×10^{11}
BENZİN (Kategori N_1; Sınıf I); Hafif Ticari Araçlar≤1305kg, g/km									
Euro1	Ekim 1993	Ekim 1994	2,72	-	-	-	0,97	-	-
Euro2	Ocak 1997	Ekim 1997	2,2	-	-	-	0,5	-	-
Euro3	Ocak 2000	Ocak 2001	2,3	0.20	-	0,15	-	-	-
Euro4	Ocak 2005	Ocak 2006	1,00	0,10	-	0,08	-	-	-
Euro5a	Eylül 2009	Ocak 2011	1,00	0,10	0,068	0,060	-	0,005*	-
Euro5b	Eylül 2011	Ocak 2013	1,00	0,10	0,068	0,060	-	0,0045*	-
Euro6b	Eylül 2014	Eylül 2015	1,00	0,10	0,068	0,060	-	0,0045*	6×10^{11}
Euro6c	-	Eylül 2018	1,00	0,10	0,068	0,060	-	0,0045*	6×10^{11}
Euro6d-Sıcaklık	Eylül 2017	Eylül 2019	1,00	0,10	0,068	0,060	-	0,0045*	6×10^{11}
Euro6d	Ocak 2020	Ocak 2021	1,00	0,10	0,068	0,060	-	0,0045*	6×10^{11}
*** Yalnızca doğrudan enjeksiyonlu motorlara sahip araçlar için geçerlidir**									

EK 1. (Devam) Diğer taşıt tiplerine bağlı Euro Normları (İnt. Kyn. 9 2022).

UYGUNLUK	TARİH (Tip Onayı)	TARİH (İlk Kayıt)	CO	THC	NMHC	NO_x	HC+ NO_x	PM	PN (x/km)
DİZEL (Kategori N_1; Sınıf II); Hafif Ticari Araçlar 1305-1760kg, g/km									
Euro1	Ekim 1993	Ekim 1994	5,17	-	-	-	1,4	0,19	-
Euro2	Ocak 1998	Ekim 1998	1,25	-	-	-	1,0	0,12	-
Euro3	Ocak 2001	Ocak 2002	0,80	-	-	0,65	0,72	0,07	-
Euro4	Ocak 2006	Ocak 2007	0,63	-	-	0,33	0,39	0,04	-
Euro5a	Eylül 2010	Ocak 2012	0,63	-	-	0,235	0,295	0,005	-
Euro5b	Eylül 2011	Ocak 2013	0,63	-	-	0,235	0,295	0,0045	6×10^{11}
Euro6b	Eylül 2015	Eylül 2016	0,63	-	-	0,105	0,195	0,0045	6×10^{11}
Euro6c	-	Eylül 2019	0,63	-	-	0,105	0,195	0,0045	6×10^{11}
Euro6d-Sıcaklık	Eylül 2018	Eylül 2020	0,63	-	-	0,105	0,195	0,0045	6×10^{11}
Euro6d	Ocak 2021	Ocak 2022	0,63	-	-	0,105	0,195	0,0045	6×10^{11}
BENZİN (Kategori N_1; Sınıf II); Hafif Ticari Araçlar 1305-1760kg, g/km									
Euro1	Ekim 1993	Ekim 1994	5,17	-	-	-	1,4	-	-
Euro2	Ocak 1998	Ekim 1998	4,0	-	-	-	0,6	-	-
Euro3	Ocak 2001	Ocak 2002	4,17	0,25	-	0,18	-	-	-
Euro4	Ocak 2006	Ocak 2007	1,81	0,13	-	0,10	-	-	-
Euro5a	Eylül 2010	Ocak 2012	1,81	0,13	0,09	0,075	-	0,005*	-
Euro5b	Eylül 2011	Ocak 2013	1,81	0,13	0,09	0,075	-	0,0045*	-
Euro6b	Eylül 2015	Eylül 2016	1,81	0,13	0,09	0,075	-	0,0045*	6×10^{11}
Euro6c	-	Eylül 2019	1,81	0,13	0,09	0,075	-	0,0045*	6×10^{11}
Euro6d-Sıcaklık	Eylül 2018	Eylül 2020	1,81	0,13	0,09	0,075	-	0,0045*	6×10^{11}
Euro6d	Ocak 2021	Ocak 2022	1,81	0,13	0,09	0,075	-	0,0045*	6×10^{11}

* Yalnızca doğrudan enjeksiyonlu motorlara sahip araçlar için geçerlidir

EK 1. (Devam) Diğer taşıt tiplerine bağlı Euro Normları (İnt. Kyn. 9 2022).

UYGUNLUK	TARİH (Tip Onayı)	TARİH (İlk Kayıt)	CO	THC	NMHC	NO_x	HC+ NO_x	PM	PN (x/km)
DİZEL (Kategori N_1; Sınıf III); Hafif Ticari Araçlar>1760kg (max 3500kg), g/km									
Euro1	Ekim 1993	Ekim 1994	6,9	-	-	-	1,7	0,25	-
Euro2	Ocak 1998	Ekim 1999	1,5	-	-	-	1,2	0,17	-
Euro3	Ocak 2001	Ocak 2002	0,95	-	-	0,78	0,86	0,10	-
Euro4	Ocak 2006	Ocak 2007	0,74	-	-	0,39	0,46	0,06	-
Euro5a	Eylül 2010	Ocak 2012	0,74	-	-	0,280	0,350	0,005	-
Euro5b	Eylül 2011	Ocak 2013	0,74	-	-	0,280	0,350	0,0045	6×10^{11}
Euro6b	Eylül 2015	Eylül 2016	0,74	-	-	0,125	0,215	0,0045	6×10^{11}
Euro6c	-	Eylül 2019	0,74	-	-	0,125	0,215	0,0045	6×10^{11}
Euro6d-Sıcaklık	Eylül 2018	Eylül 2020	0,74	-	-	0,125	0,215	0,0045	6×10^{11}
Euro6d	Ocak 2021	Ocak 2022	0,74	-	-	0,125	0,215	0,0045	6×10^{11}
BENZİN (Kategori N_1; Sınıf III); Hafif Ticari Araçlar>1760kg (max 3500kg), g/km									
Euro1	Ekim 1993	Ekim 1994	6,9	-	-	-	1,7	-	-
Euro2	Ocak 1998	Ekim 1999	5,0	-	-	-	0,7	-	-
Euro3	Ocak 2001	Ocak 2002	5,22	0,29	-	0,21	-	-	-
Euro4	Ocak 2006	Ocak 2007	2,27	0,16	-	0,11	-	-	-
Euro5a	Eylül 2010	Ocak 2012	2,27	0,16	0,108	0,082	-	0,005*	-
Euro5b	Eylül 2011	Ocak 2013	2,27	0,16	0,108	0,082	-	0,0045*	-
Euro6b	Eylül 2015	Eylül 2016	2,27	0,16	0,108	0,082	-	0,0045*	6×10^{11}
Euro6c	-	Eylül 2019	2,27	0,16	0,108	0,082	-	0,0045*	6×10^{11}
Euro6d-Sıcaklık	Eylül 2018	Eylül 2020	2,27	0,16	0,108	0,082	-	0,0045*	6×10^{11}
Euro6d	Ocak 2021	Ocak 2021	2,27	0,16	0,108	0,082	-	0,0045*	6×10^{11}

* Yalnızca doğrudan enjeksiyonlu motorlara sahip araçlar için geçerlidir

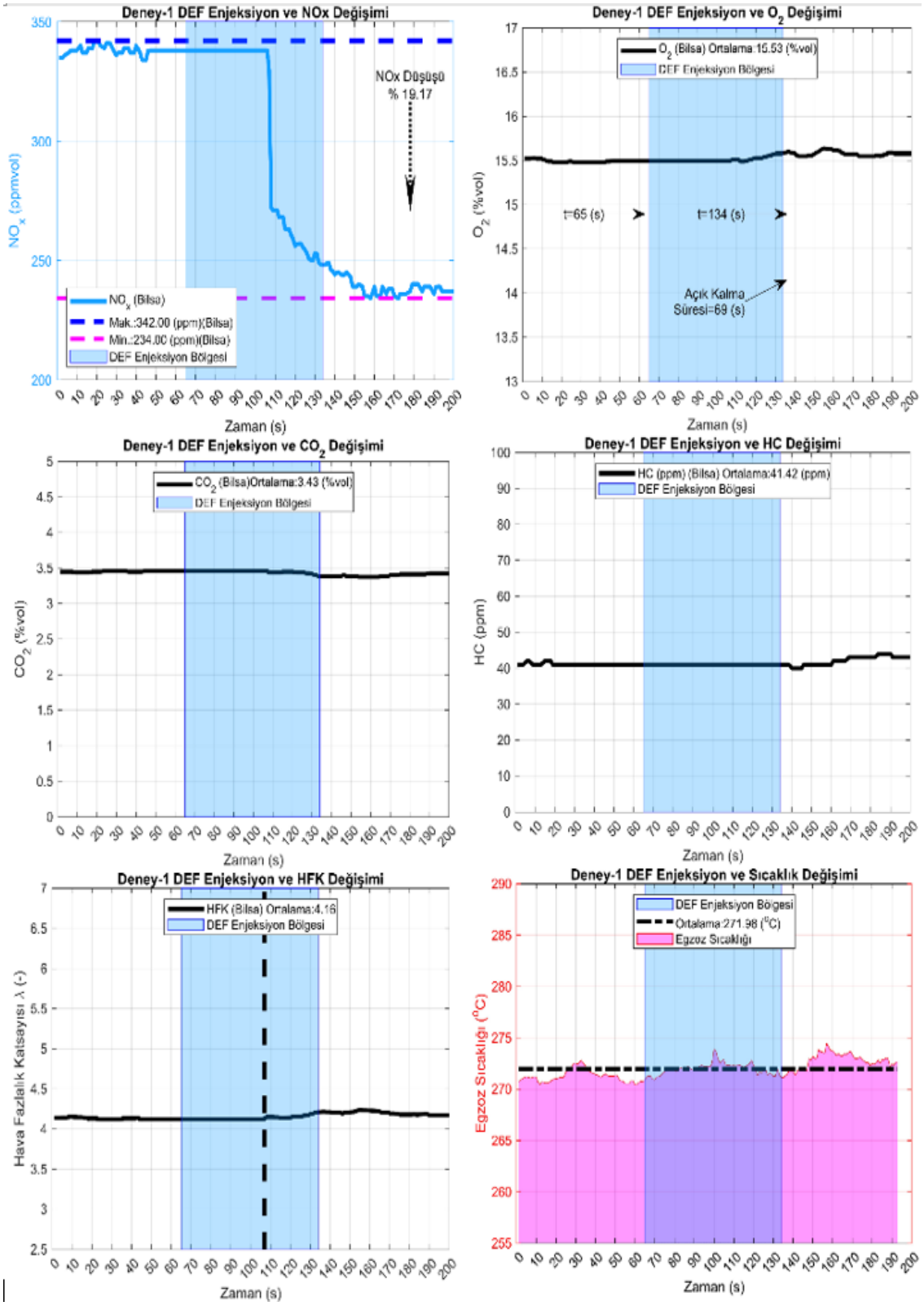
EK 1. (Devam) Diğer taşıt tiplerine bağlı Euro Normları (İnt. Kyn. 9 2022).

UYGUNLUK	TARİH	TEST DÖNGÜSÜ	CO	HC	NO_x	NH_3 ppm	PM	PN (x/kWh)	Duman m^{-1}
Ağır Hizmet Dizel Motorları, g/kWh									
Euro1	1992, <85kW	ECE R49	4,5	1,1	8	-	0,612	-	-
	1992, <85kW		4,5	1,1	8	-	0,36	-	-
Euro2	Ekim 1995		4,0	1,1	7	-	0,25	-	-
	Ekim 1997		4,0	1,1	7	-	0,15	-	-
Euro3	Ekim 1999**	ESC ve ELR	1,5	0,25	2,0	-	0,02	-	0,15
	Ekim 2000		2,1	0,66	5,0	-	0,10 0,13*	-	0,8
Euro4	Ekim 2005		1,5	0,46	3,5	-	0,02	-	0,5
Euro5	Ekim 2008		1,5	0,46	2,0	-	0,02	-	0,5
Euro6	31.12.2012	WHSC	1,5	0,13	0,4	10	0,01	$8x10^{11}$	-
		WHTC	4,0	0,16	0,46	10	0,01	$6x10^{11}$	-

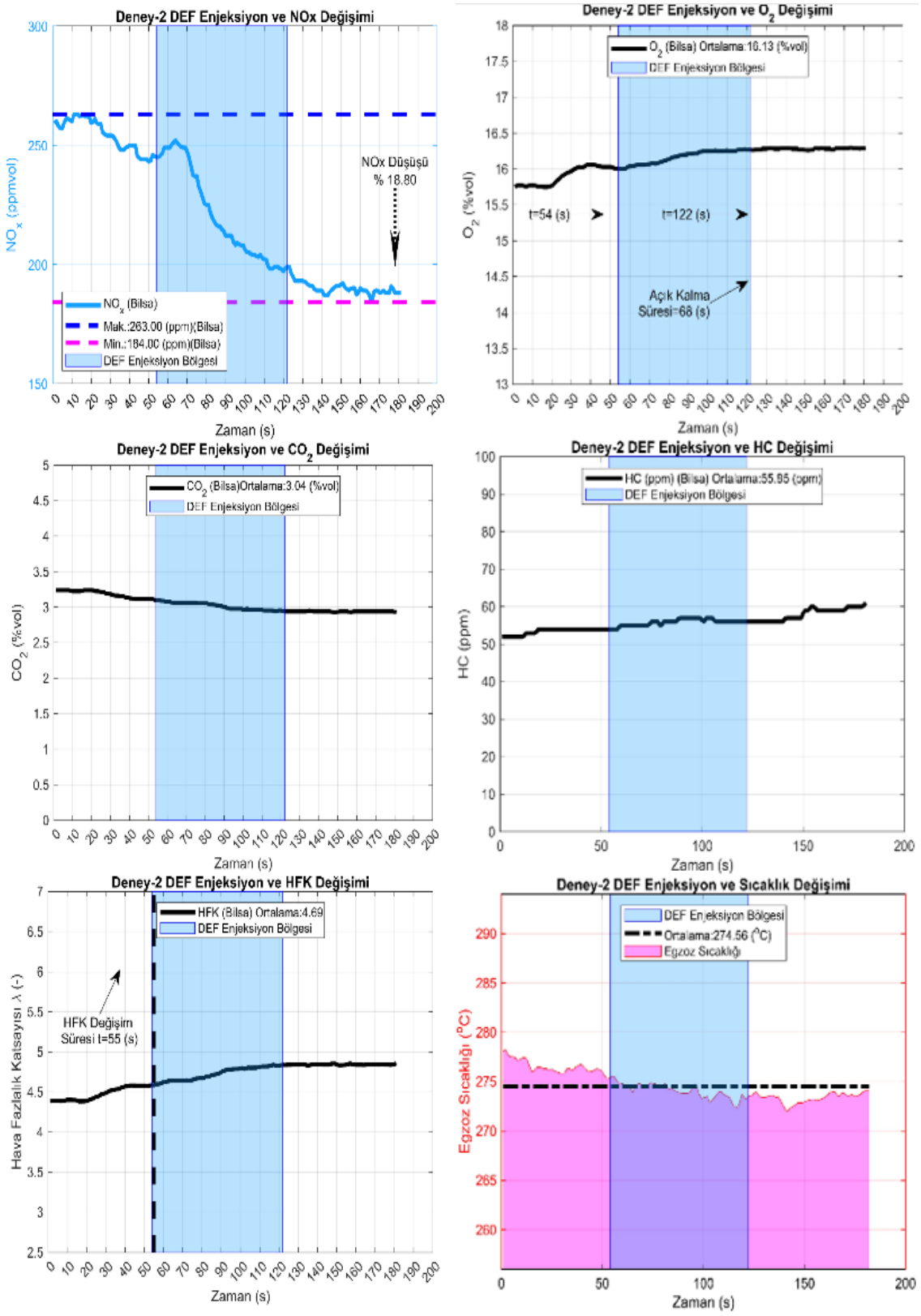
*0.75'ten daha az motorlar için dm 3 silindir başına süpürme hacmi ve dakikada en fazla 3000rpm
**Yalnızca Ekim 1999 EEV (Geliştirilmiş çevre dostu araçlar).

STANDART	TARİH	CO (g/kWh)	NO_x (g/kWh)	HC (g/kWh)	PM (g/kWh)
Kategori N_3, EDC, 2000 üzeri için EURO normu					
Euro0	1988–92	12,3	15,8	2,6	-
Euro1	1992–95	4,9	9,0	1,23	0,40
Euro2	1995–99	4,0	7,0	1,1	0,15
Euro3	1999–2005	2,1	5,0	0,66	0,1
Euro4	2005-08	1,5	3,5	0,46	0,02
Euro5	2008–12	1,5	2,0	0,46	0,02
Euro6	2012–19	1,0	1,2	0,36	0,01
(eski) ECE R49 döngüsü için EURO normu emisyonları					
Euro0	1988–92	11,2	14,4	2,4	-
Euro1	1992–95	4,5	8,0	1,1	0,36
Euro2	1995–99	4,0	7,0	1,1	0,15

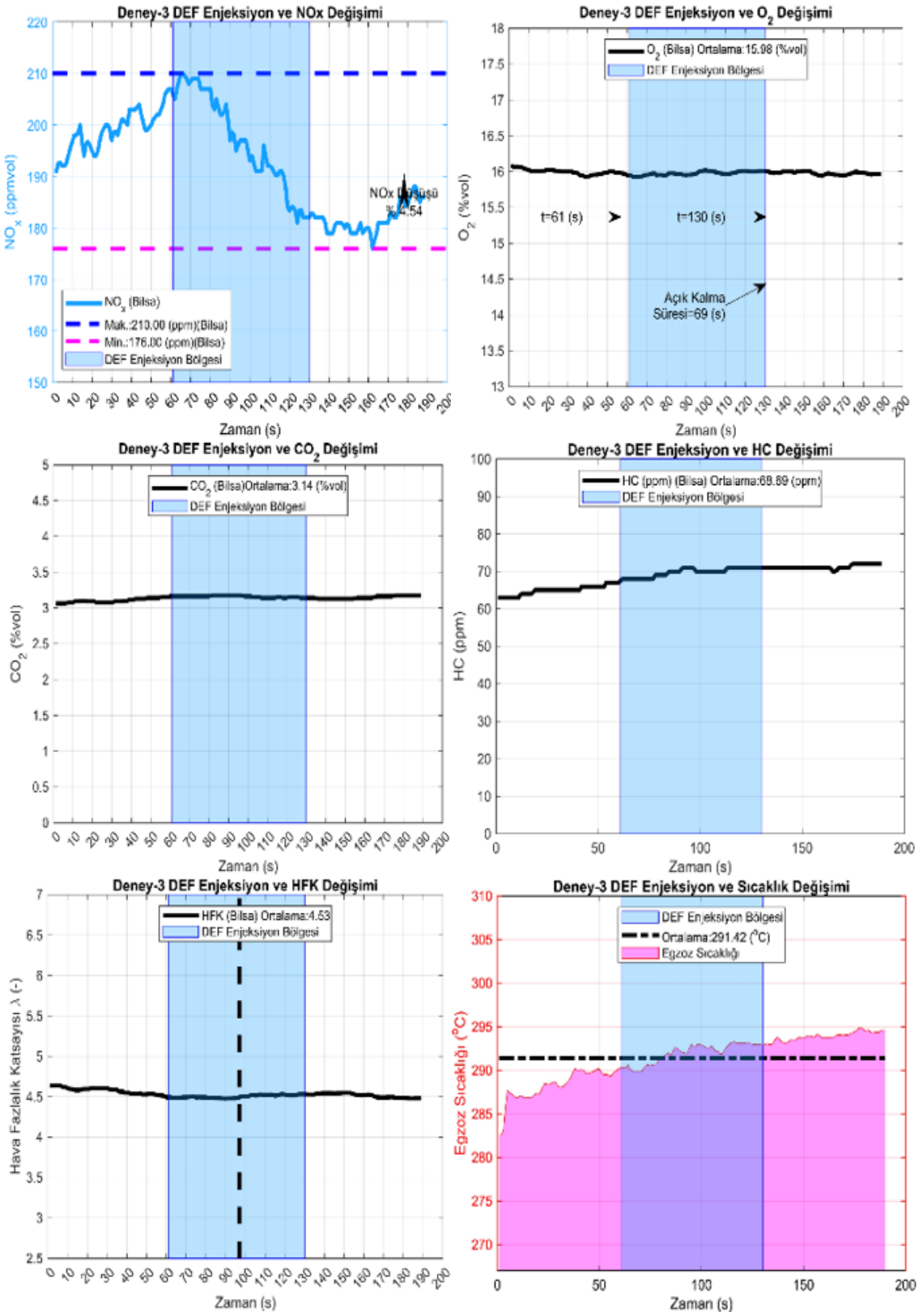
EK 2. Yapılan deneylere ait işlenmiş verilerin grafik çıktıları.



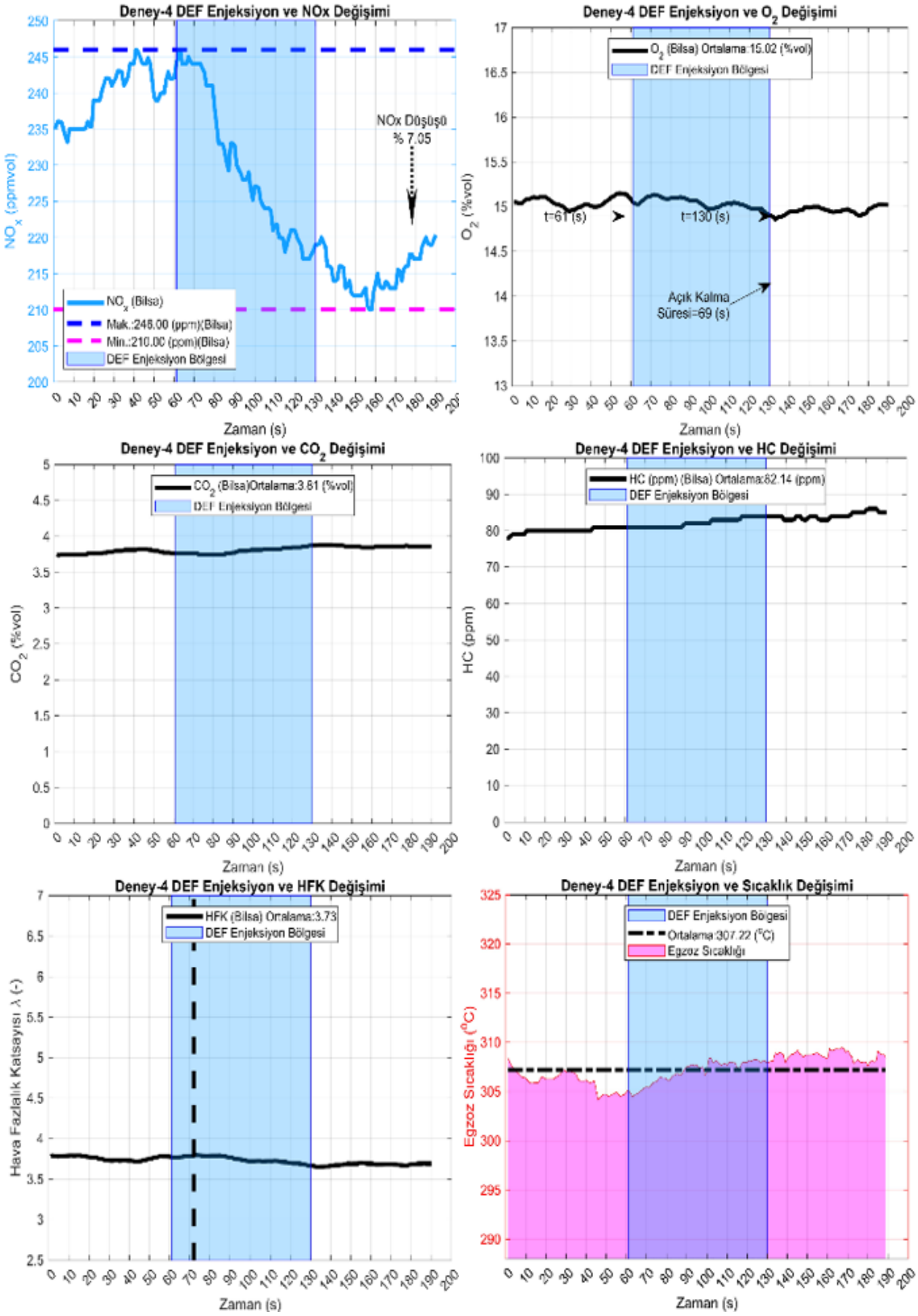
EK 2. (Devam) Yapılan deneylere ait işlenmiş verilerin grafik çıktıları.



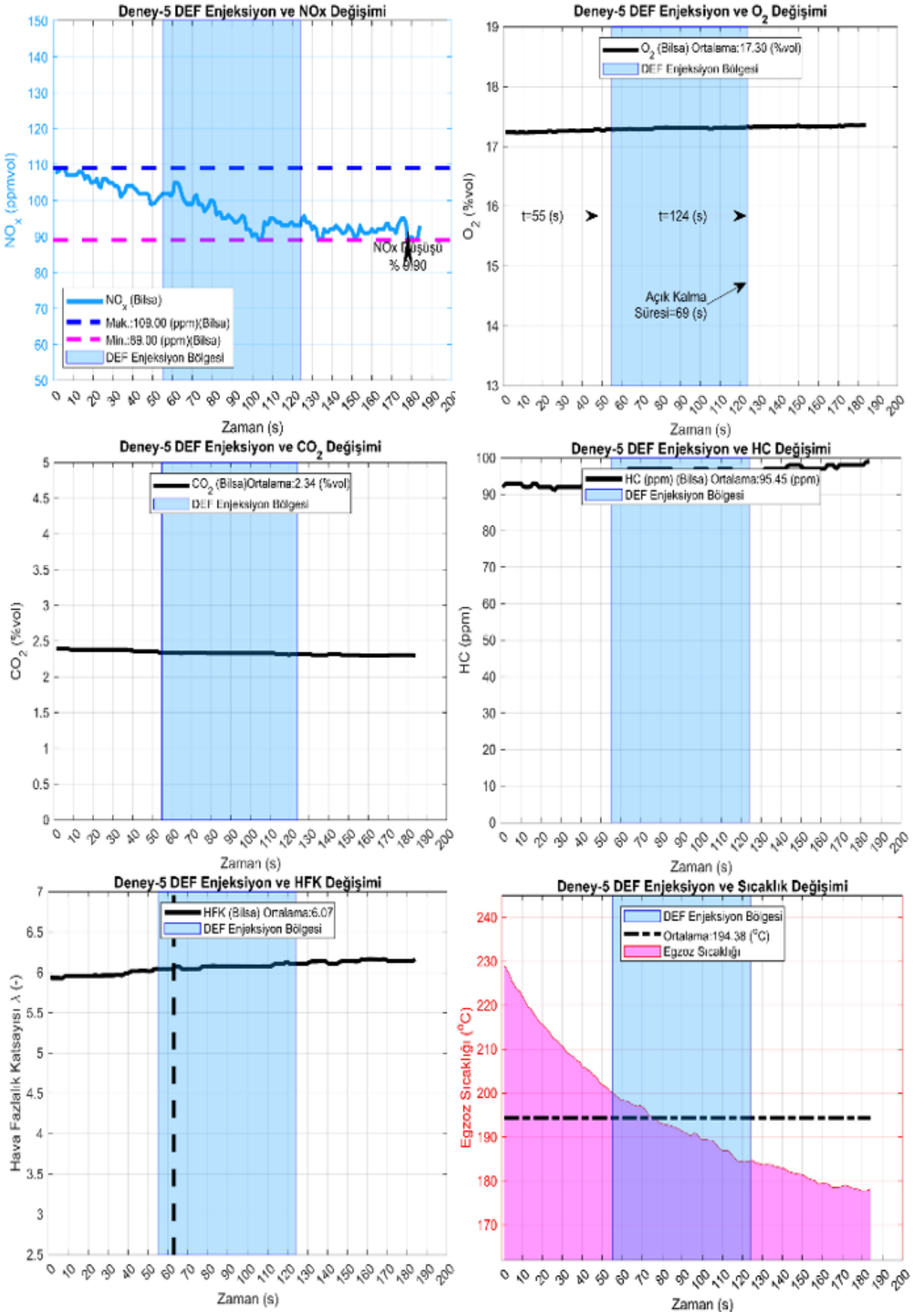
EK 2. (Devam) Yapılan deneylere ait işlenmiş verilerin grafik çıktıları.



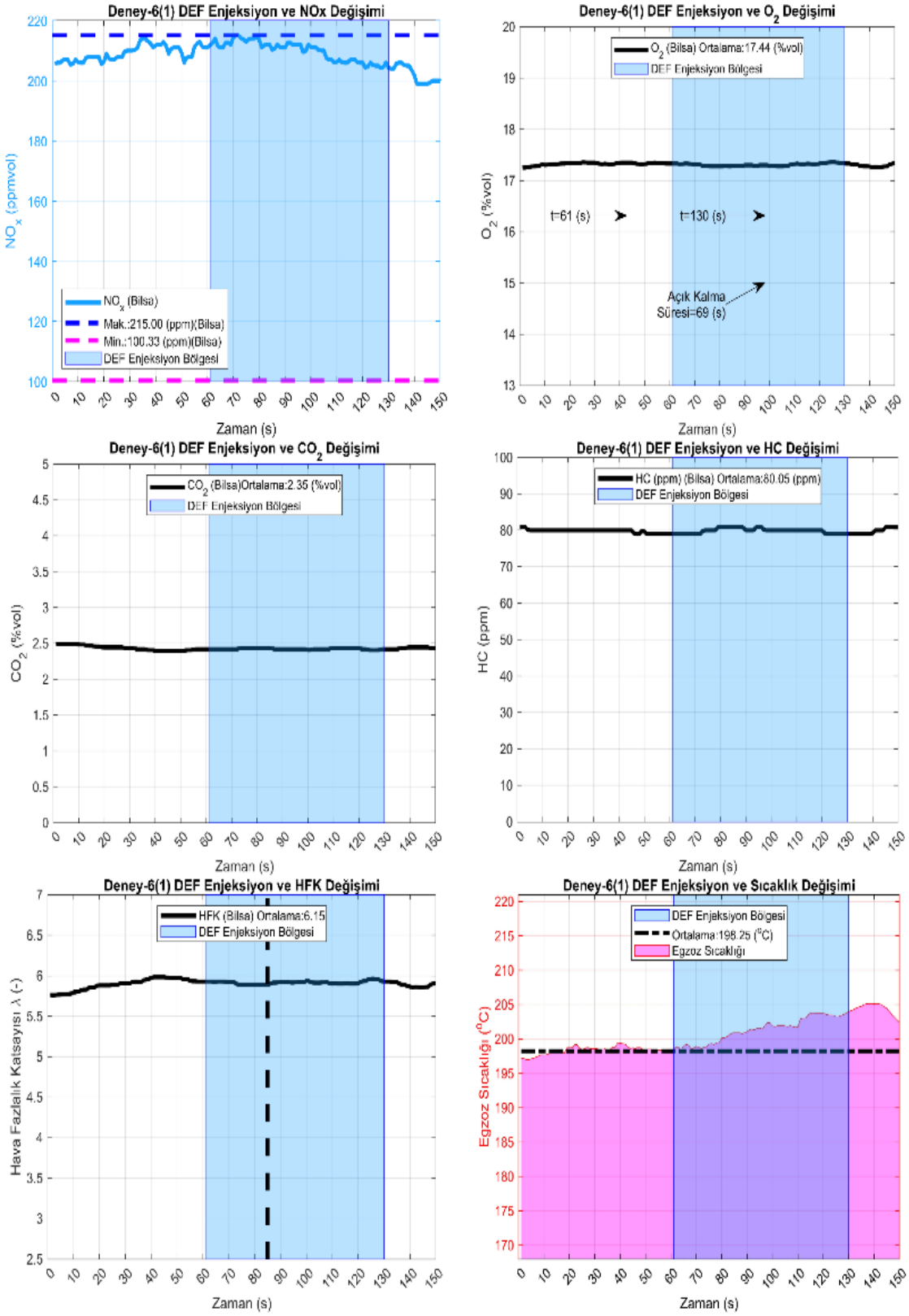
EK 2. (Devam) Yapılan deneylere ait işlenmiş verilerin grafik çıktıları.



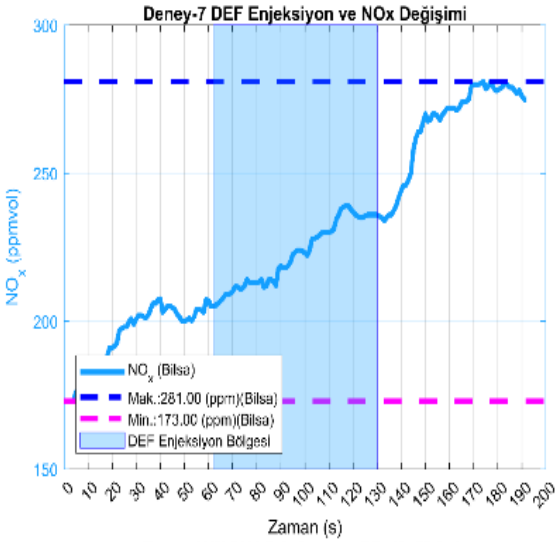
EK 2. (Devam) Yapılan deneylere ait işlenmiş verilerin grafik çıktıları.

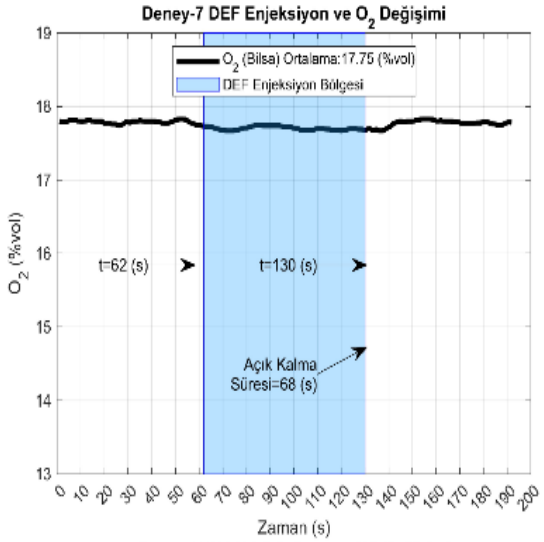


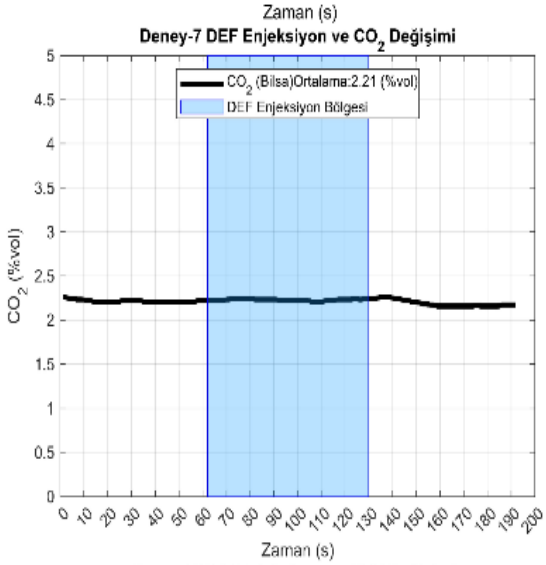
EK 2. (Devam) Yapılan deneylere ait işlenmiş verilerin grafik çıktıları.

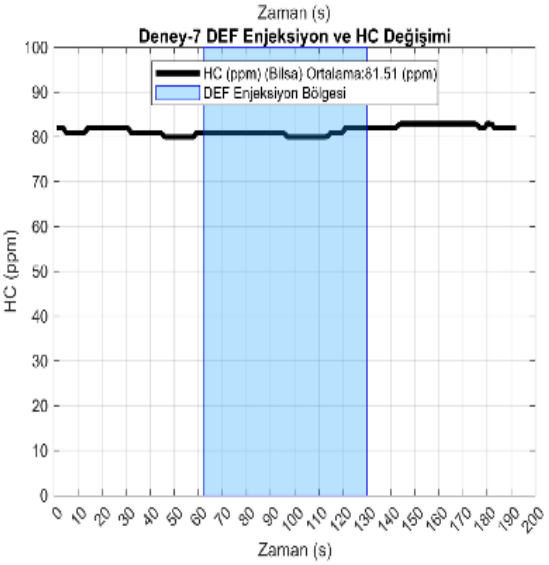


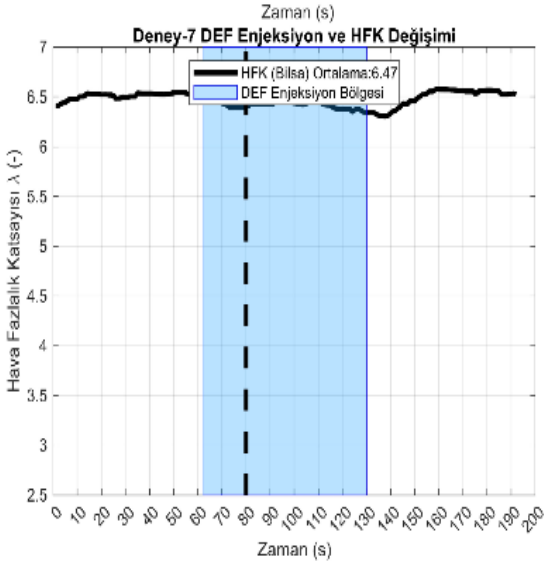
EK 2. (Devam) Yapılan deneylere ait işlenmiş verilerin grafik çıktıları.

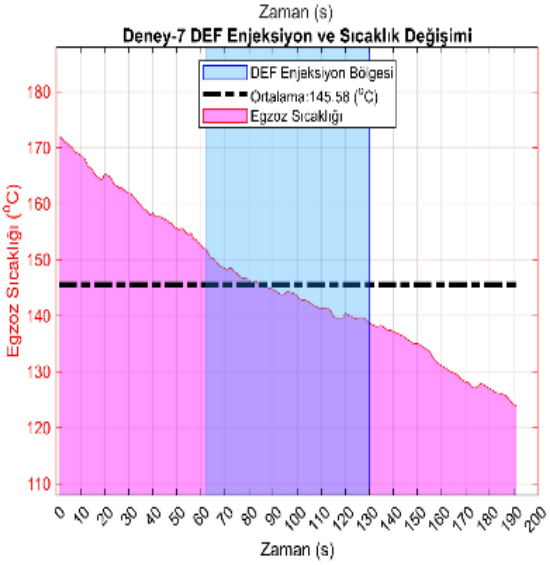




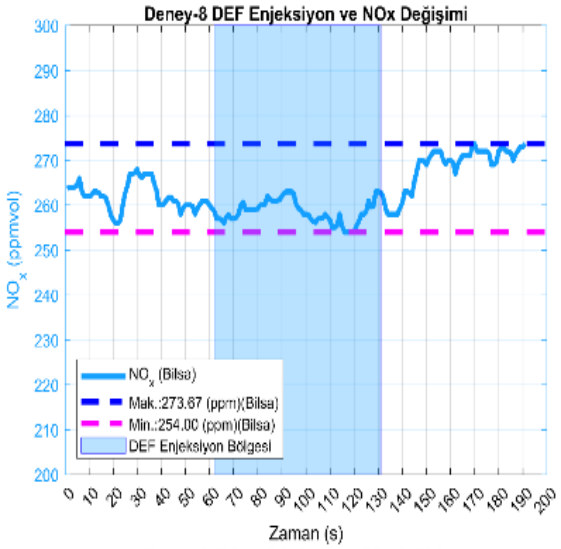


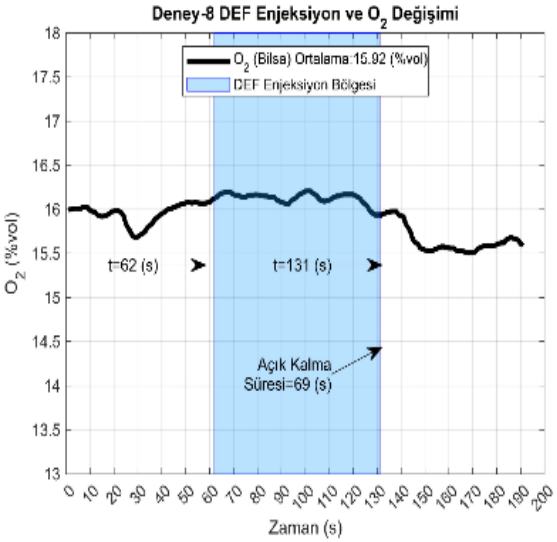


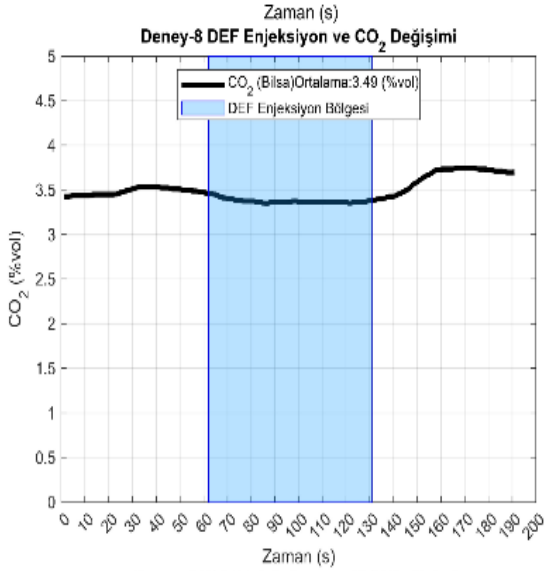


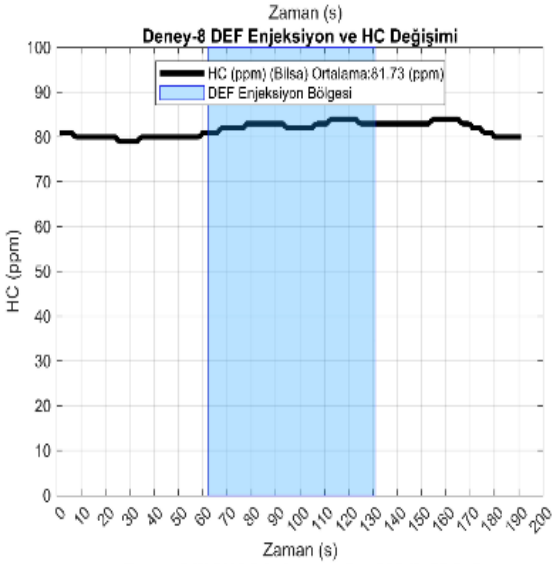


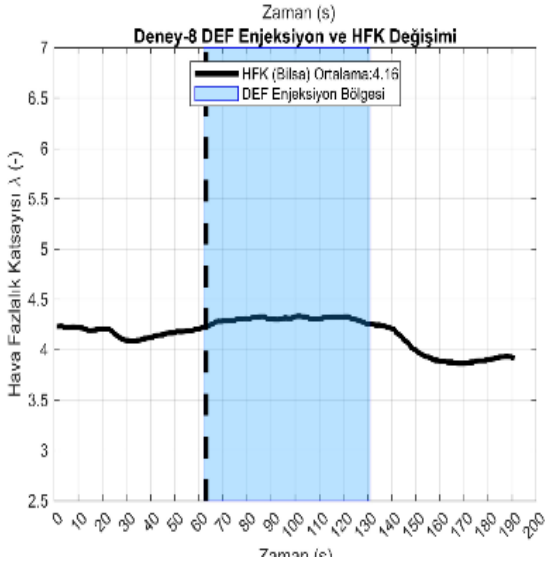
EK 2. (Devam) Yapılan deneylere ait işlenmiş verilerin grafik çıktıları.

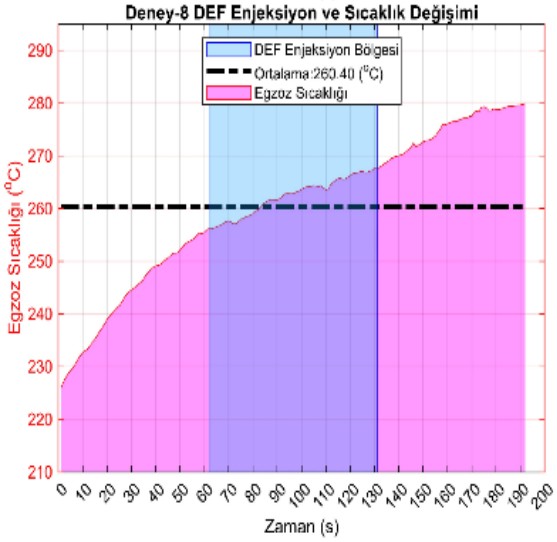




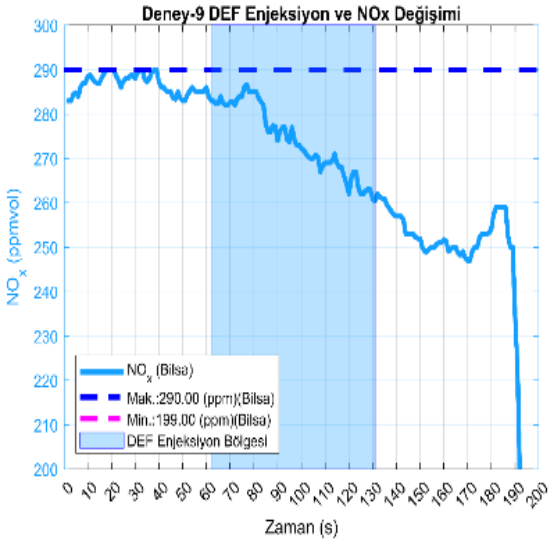


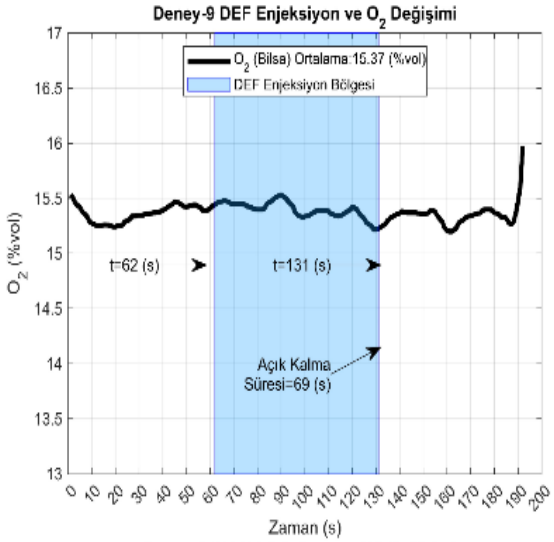


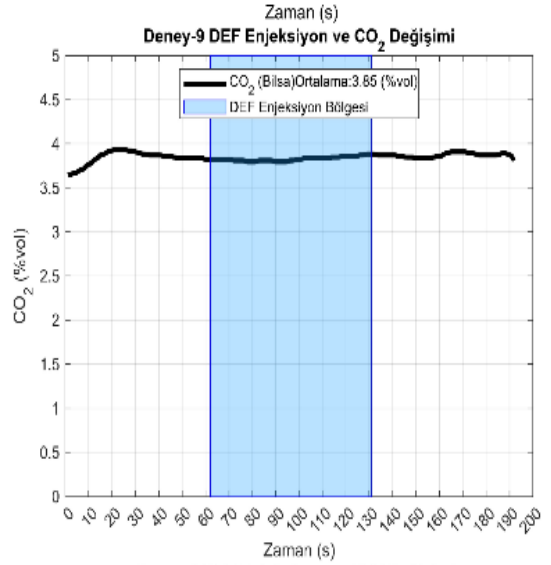


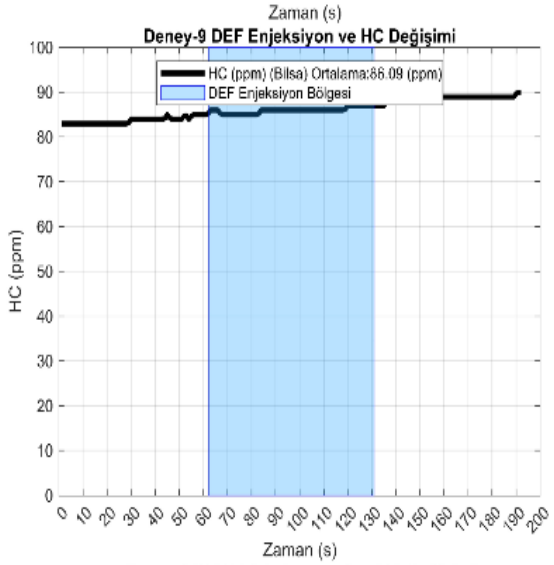


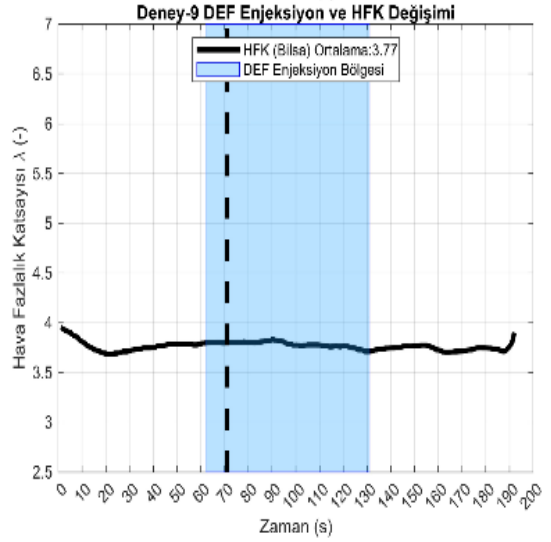
EK 2. (Devam) Yapılan deneylere ait işlenmiş verilerin grafik çıktıları.

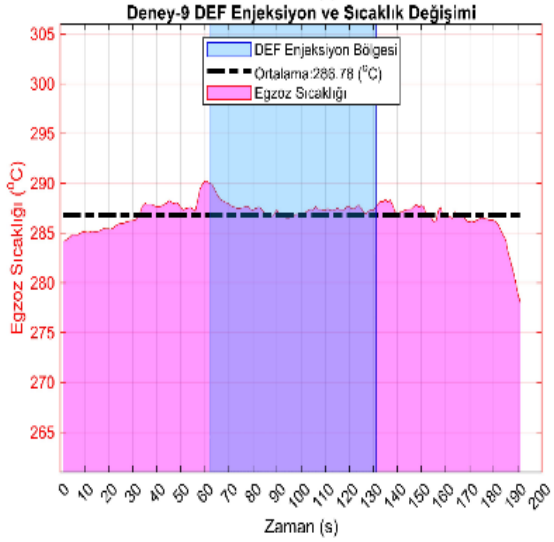




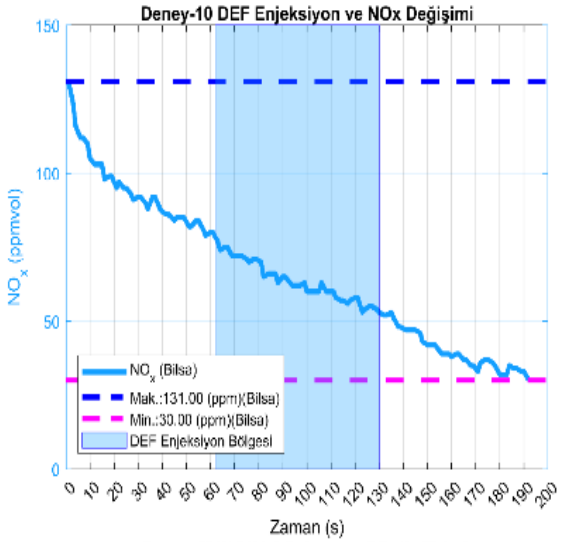


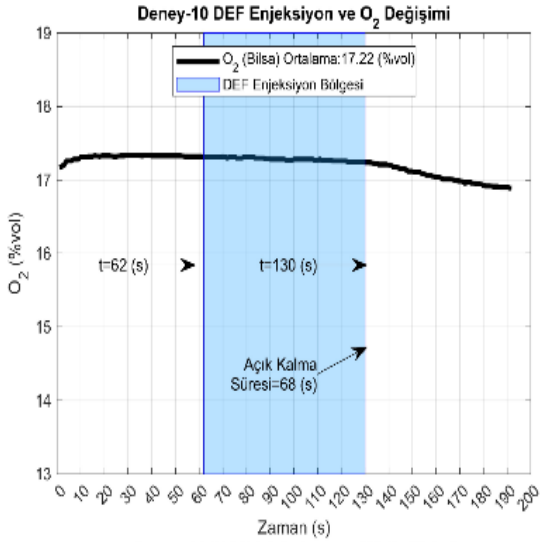


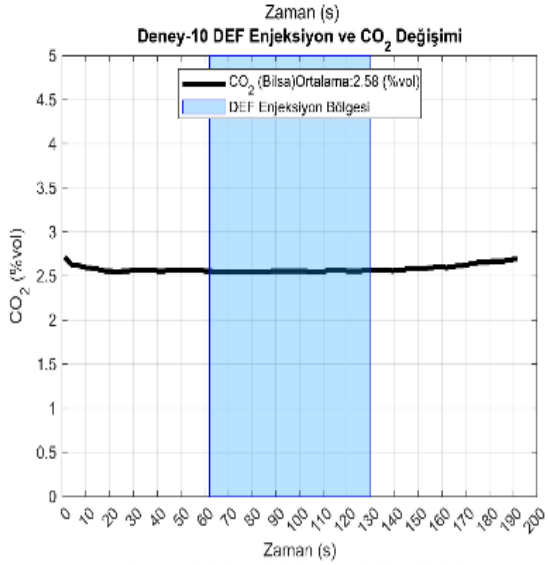


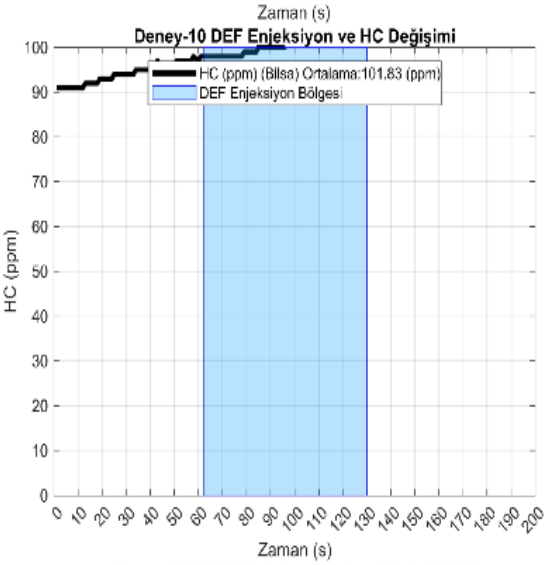


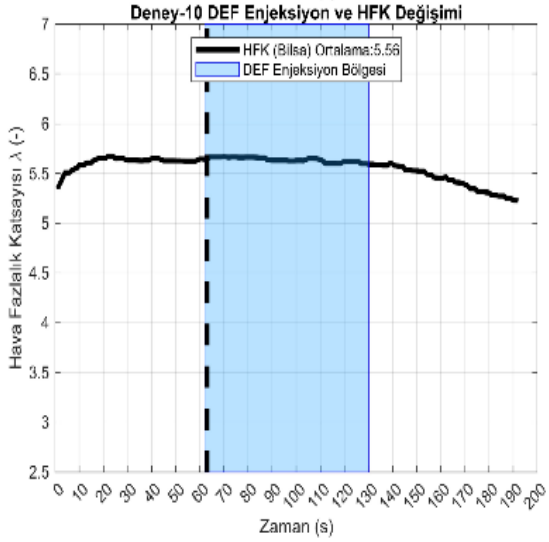
EK 2. (Devam) Yapılan deneylere ait işlenmiş verilerin grafik çıktıları.

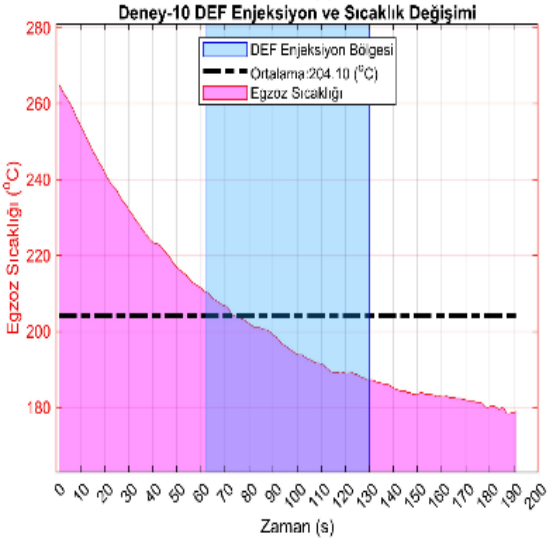




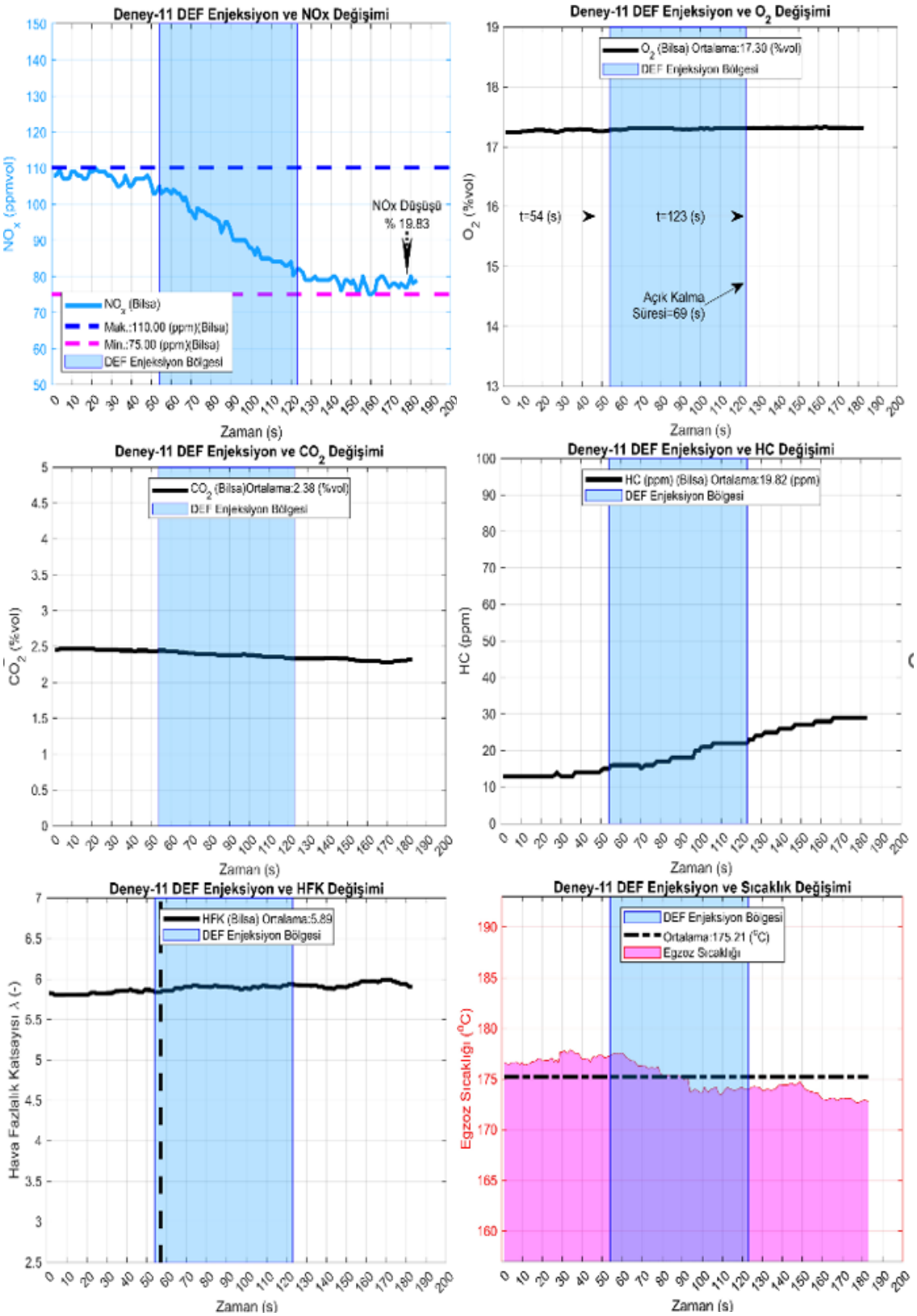




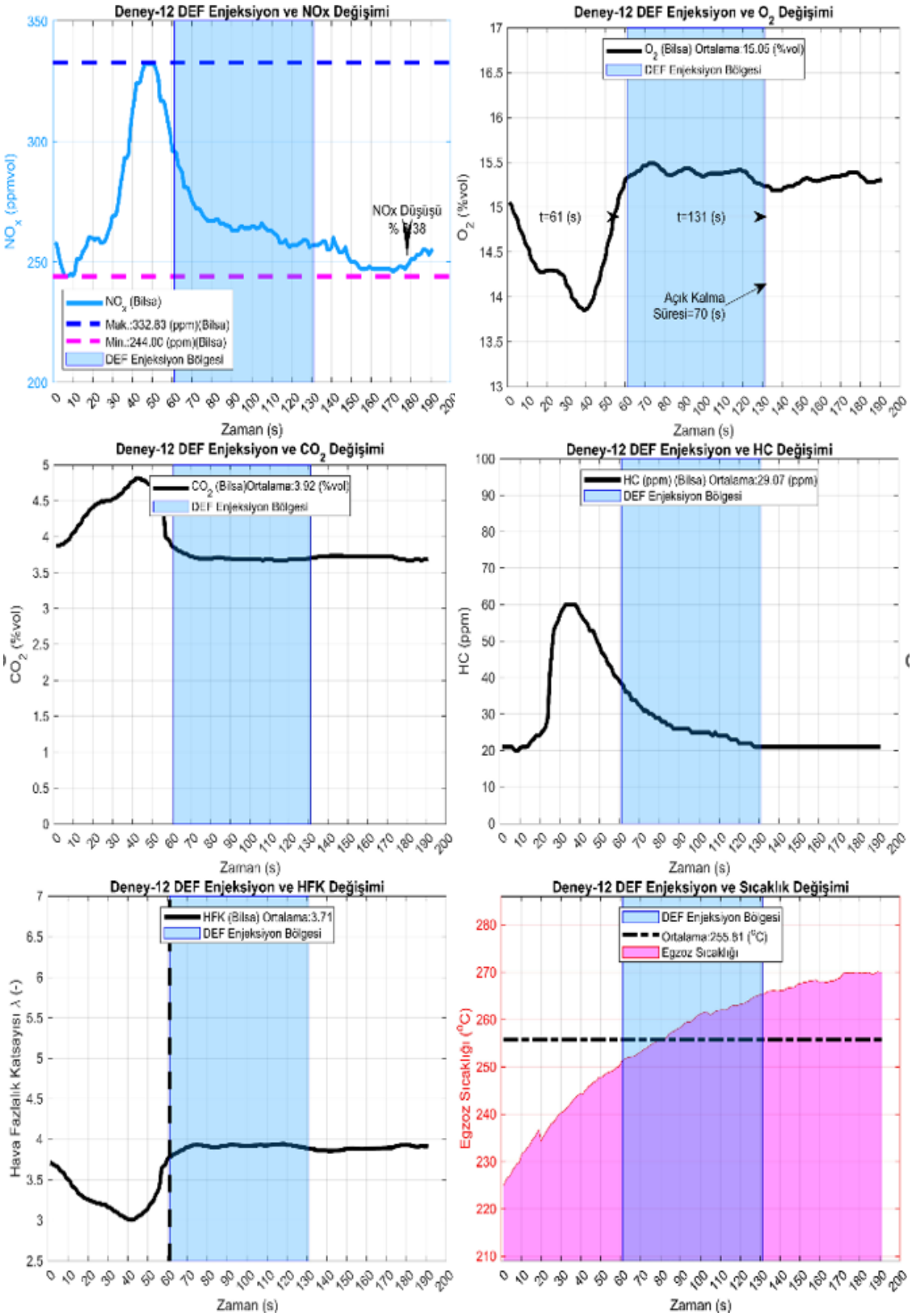




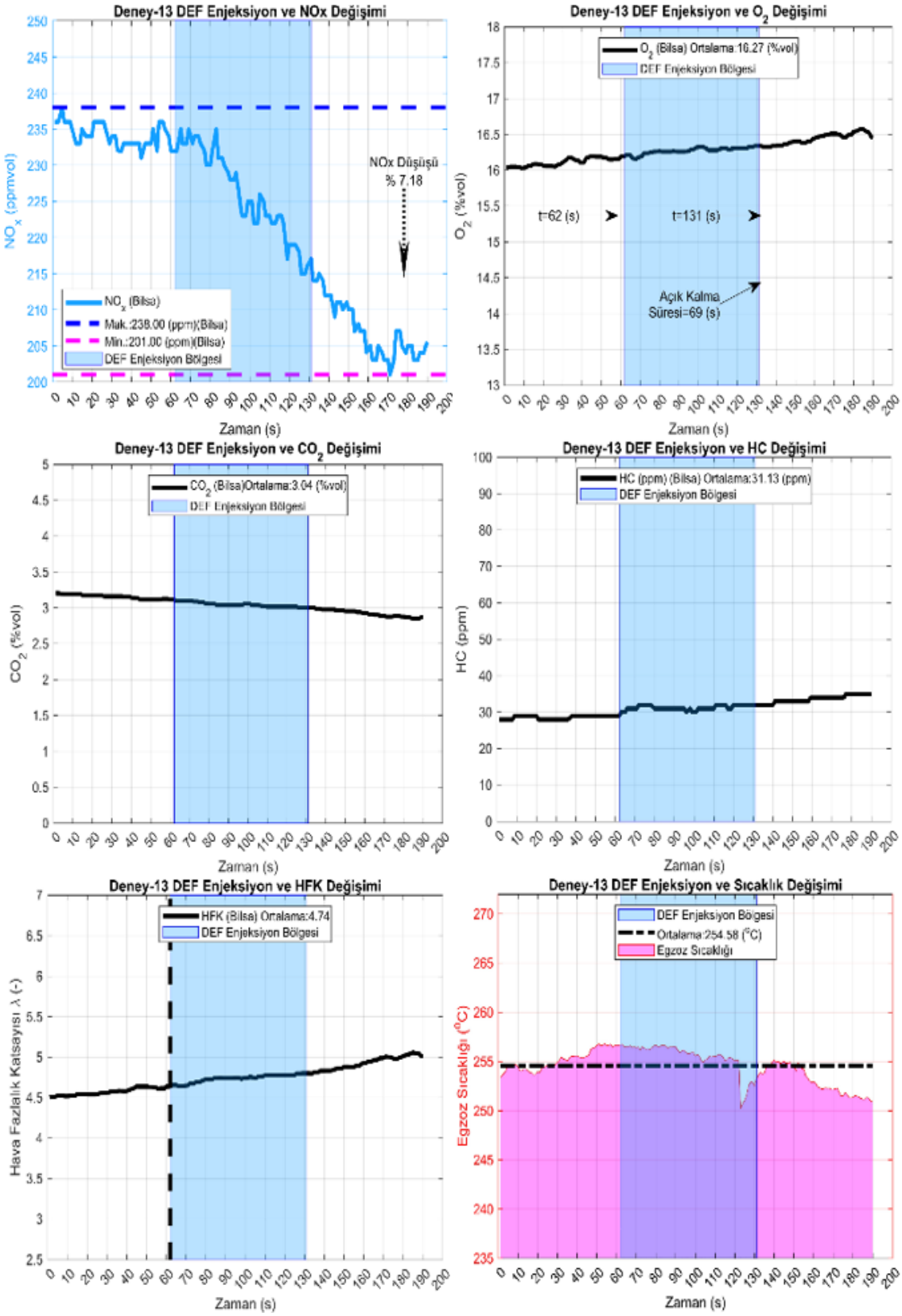
EK 2. (Devam) Yapılan deneylere ait işlenmiş verilerin grafik çıktıları.



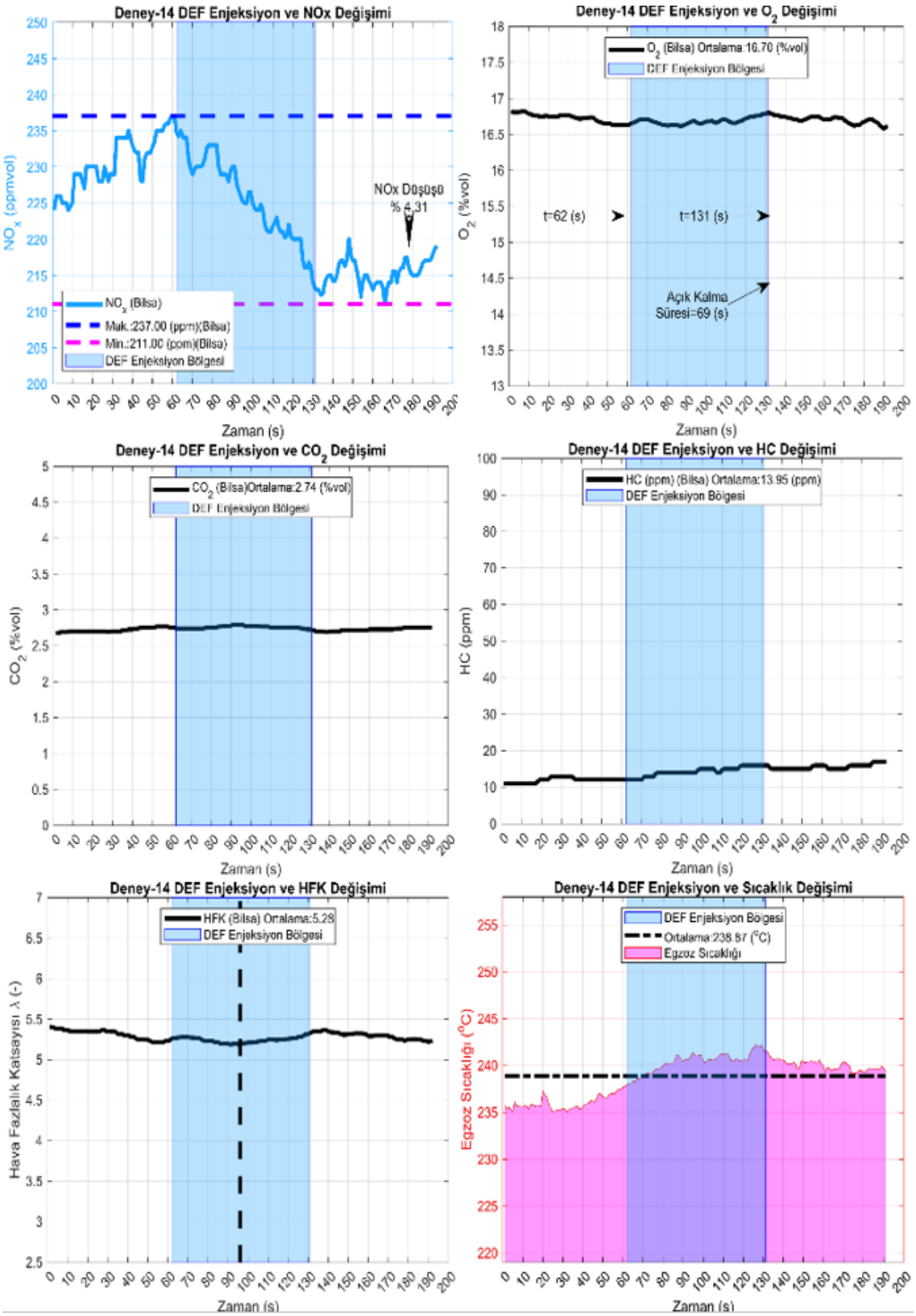
EK 2. (Devam) Yapılan deneylere ait işlenmiş verilerin grafik çıktıları.



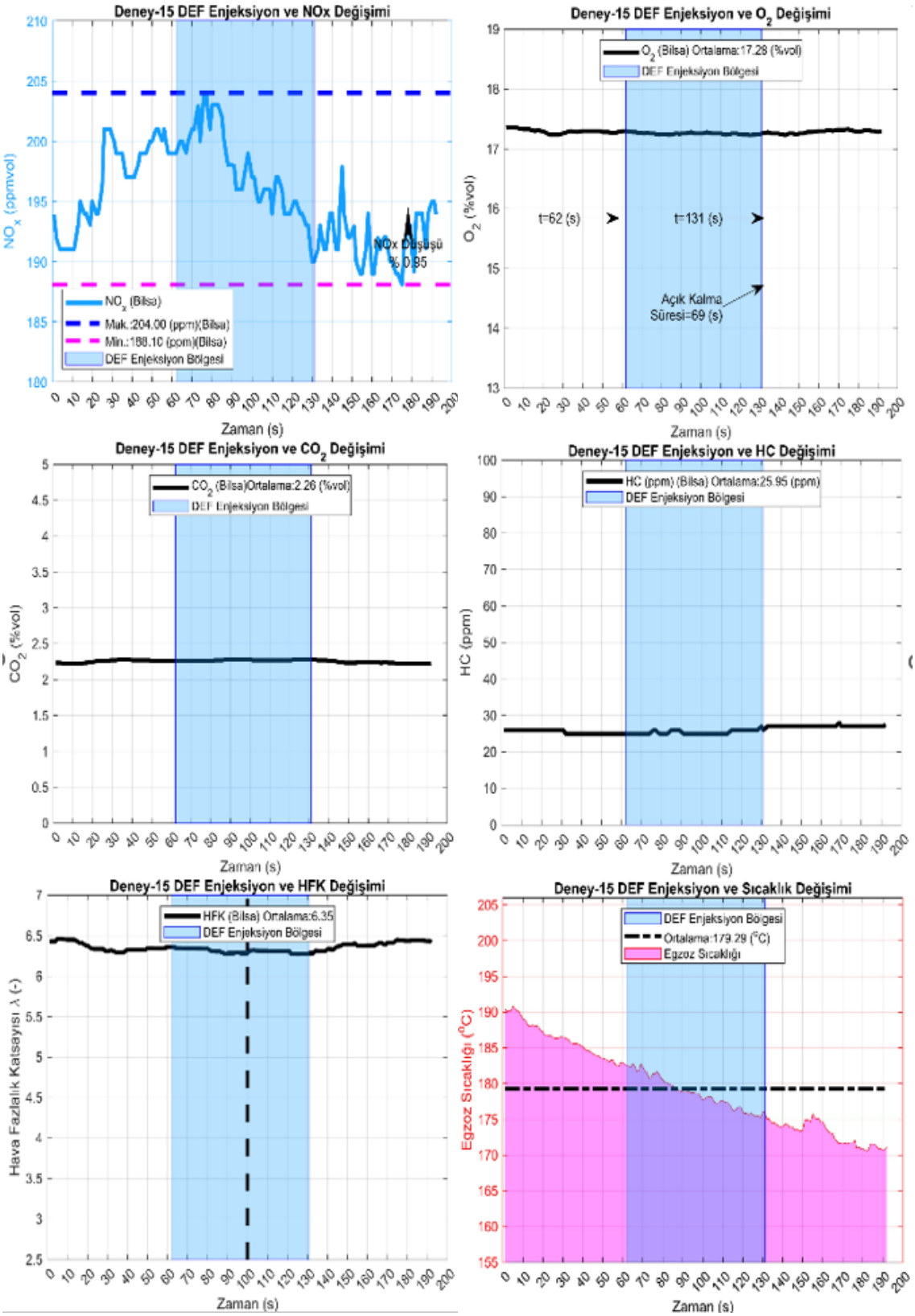
EK 2. (Devam) Yapılan deneylere ait işlenmiş verilerin grafik çıktıları.



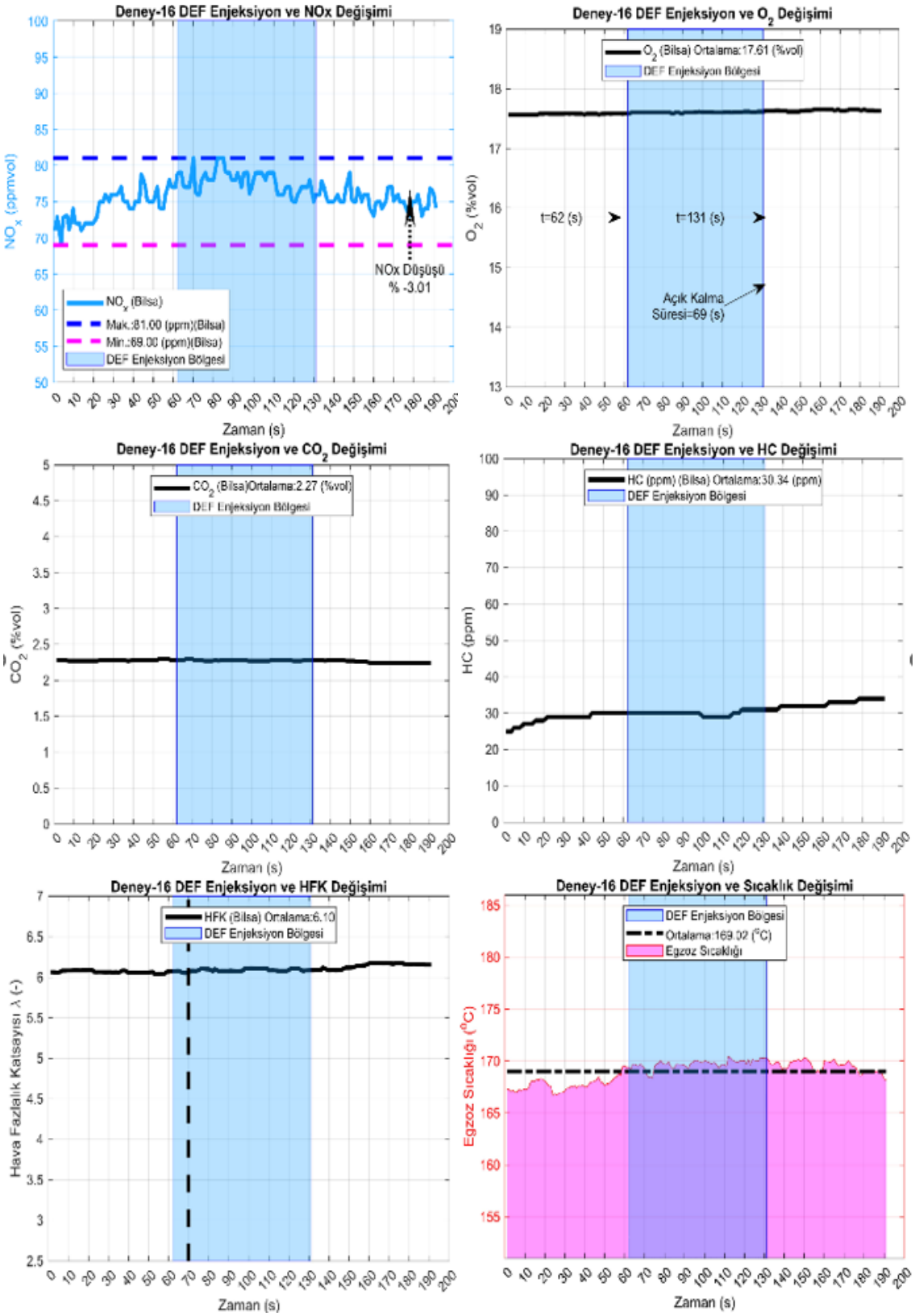
EK 2. (Devam) Yapılan deneylere ait işlenmiş verilerin grafik çıktıları.



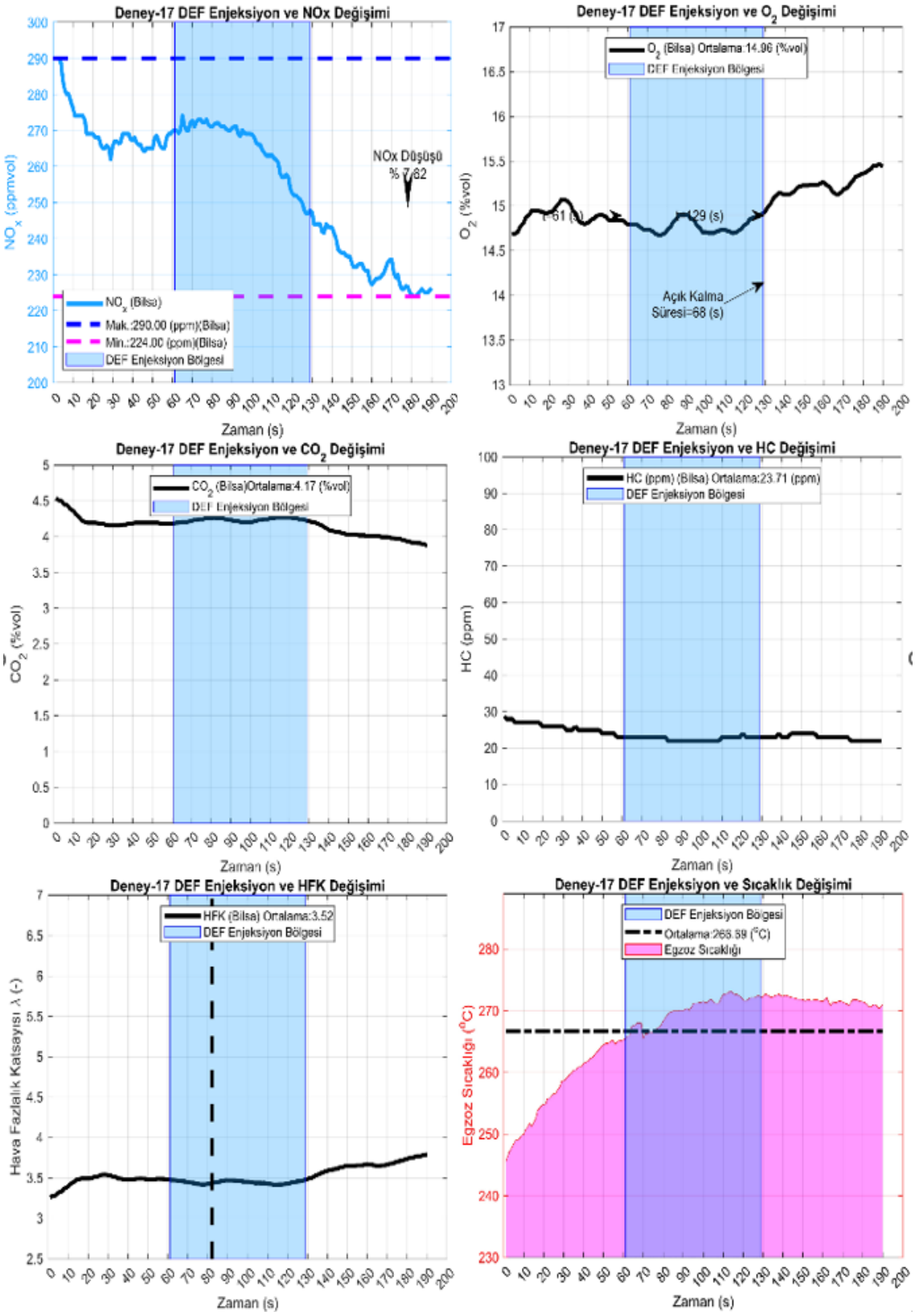
EK 2. (Devam) Yapılan deneylere ait işlenmiş verilerin grafik çıktıları.



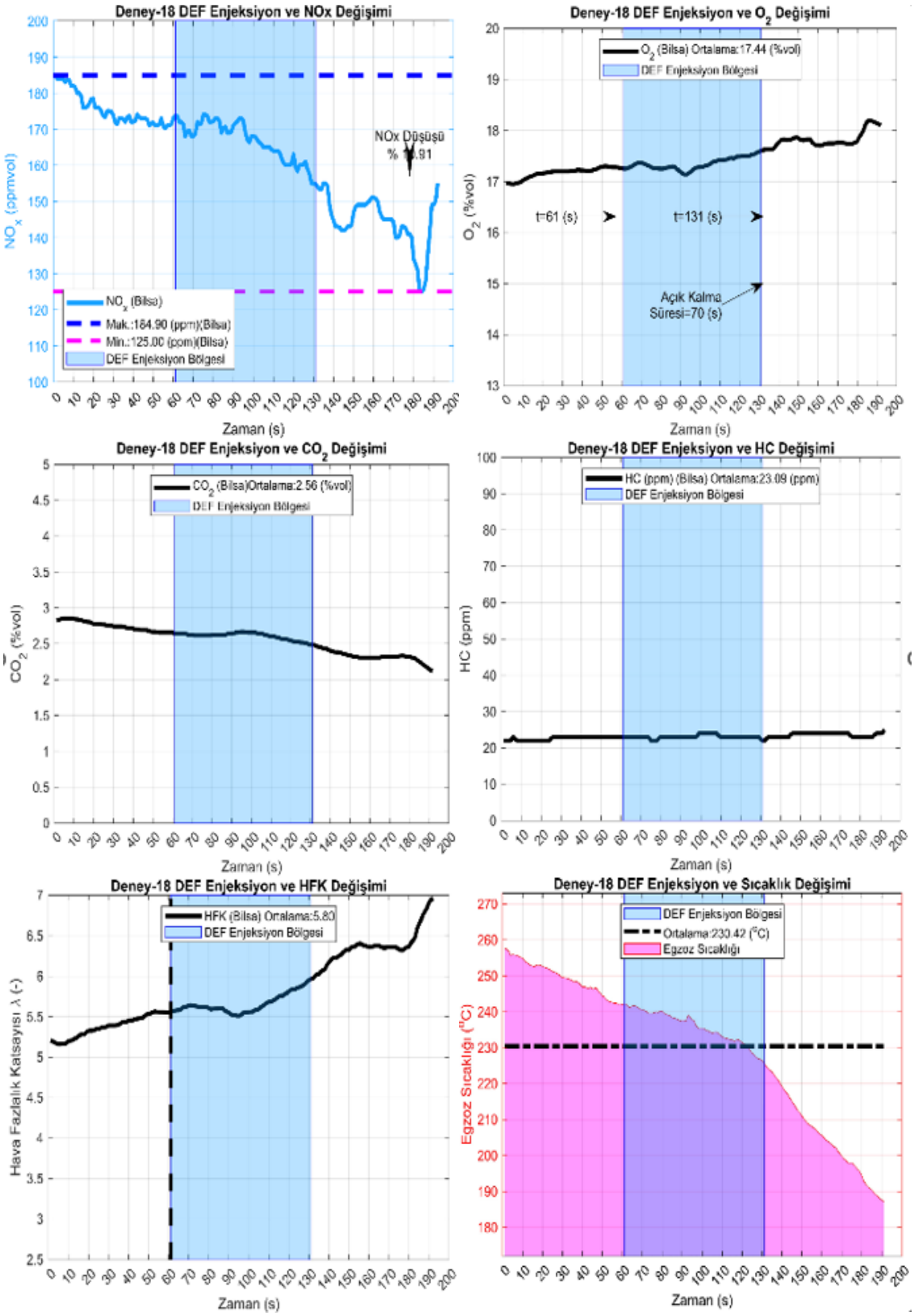
EK 2. (Devam) Yapılan deneylere ait işlenmiş verilerin grafik çıktıları.



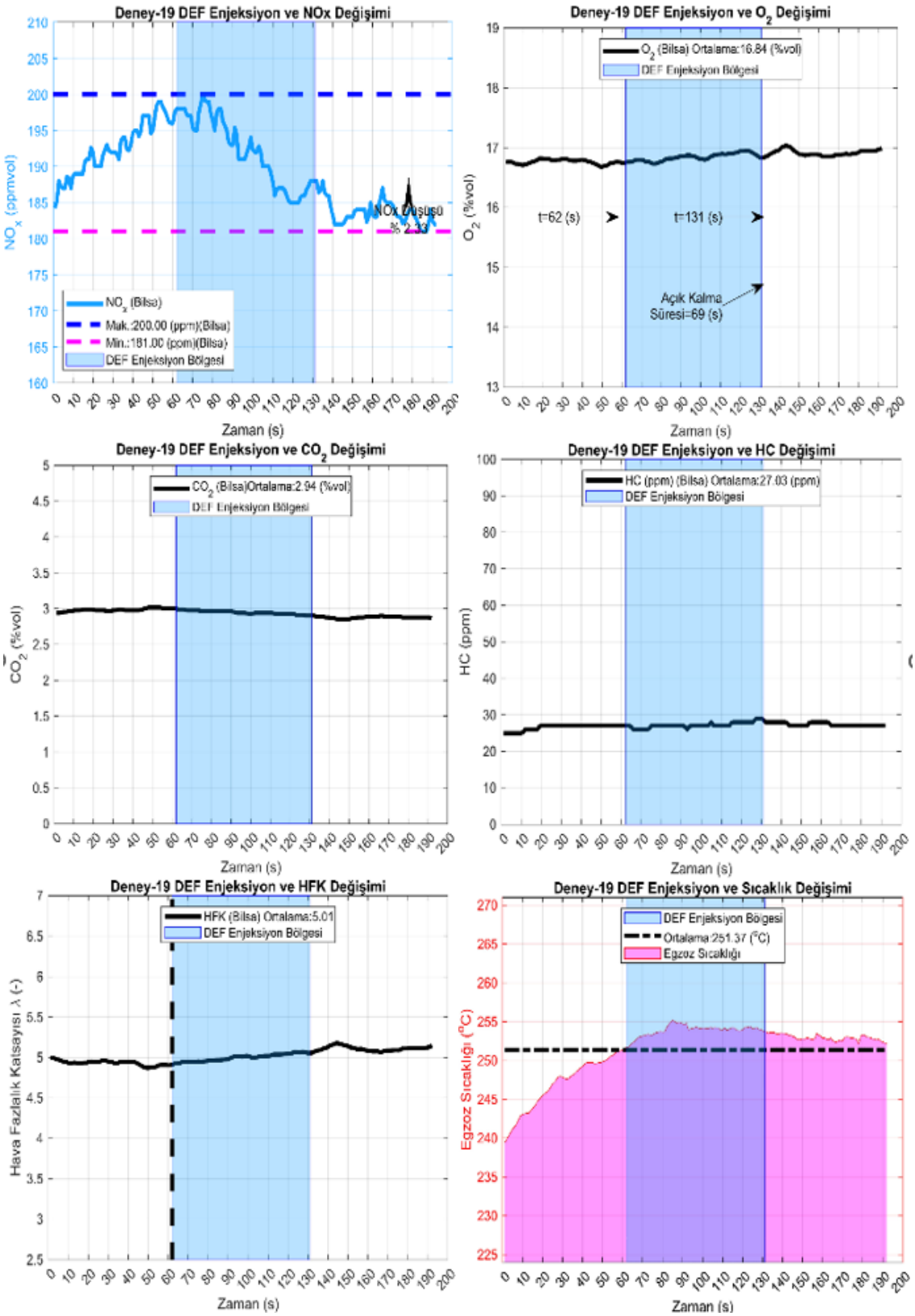
EK 2. (Devam) Yapılan deneylere ait işlenmiş verilerin grafik çıktıları.



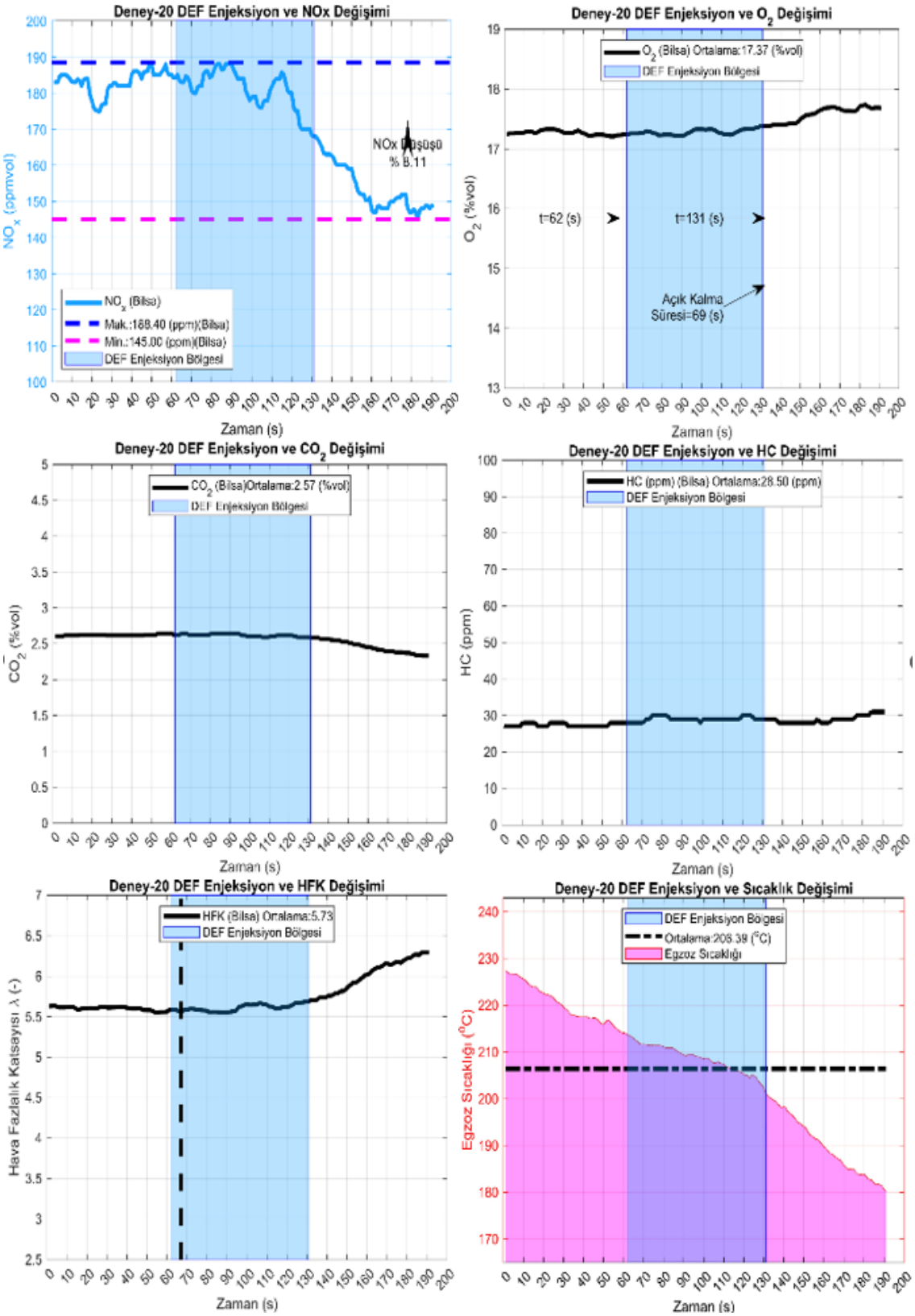
EK 2. (Devam) Yapılan deneylere ait işlenmiş verilerin grafik çıktıları.



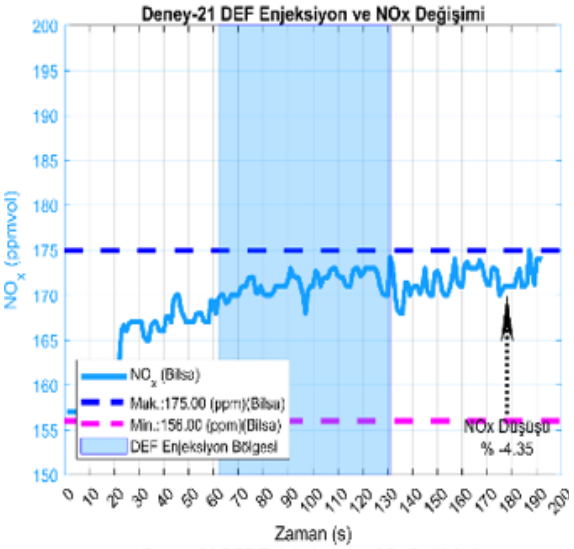
EK 2. (Devam) Yapılan deneylere ait işlenmiş verilerin grafik çıktıları.

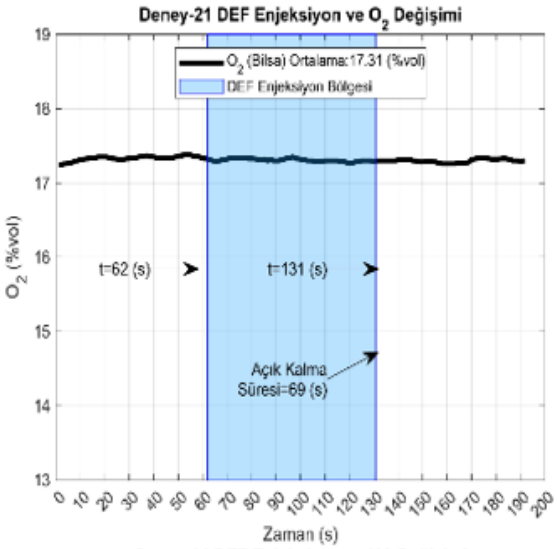


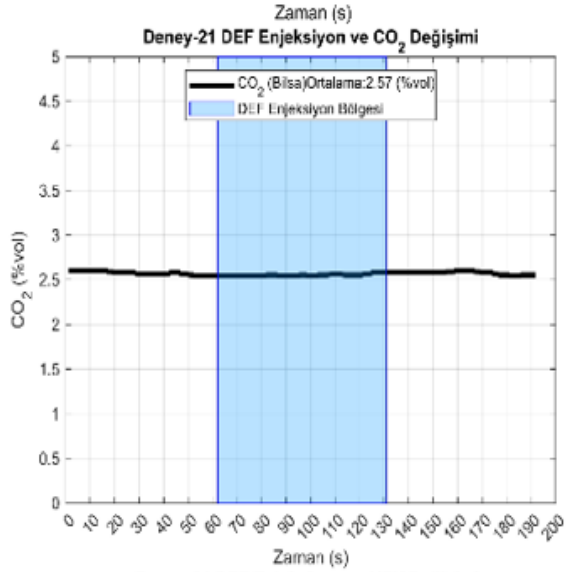
EK 2. (Devam) Yapılan deneylere ait işlenmiş verilerin grafik çıktıları.

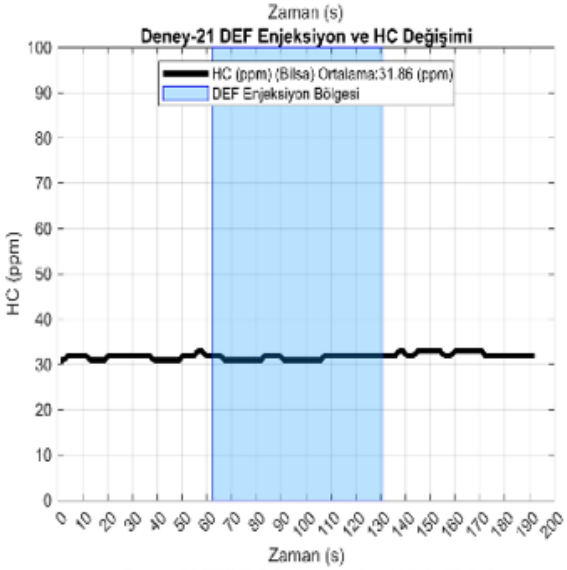


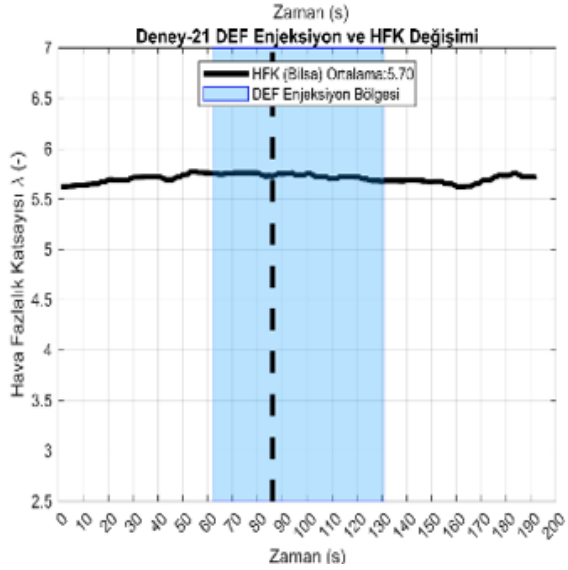
EK 2. (Devam) Yapılan deneylere ait işlenmiş verilerin grafik çıktıları.

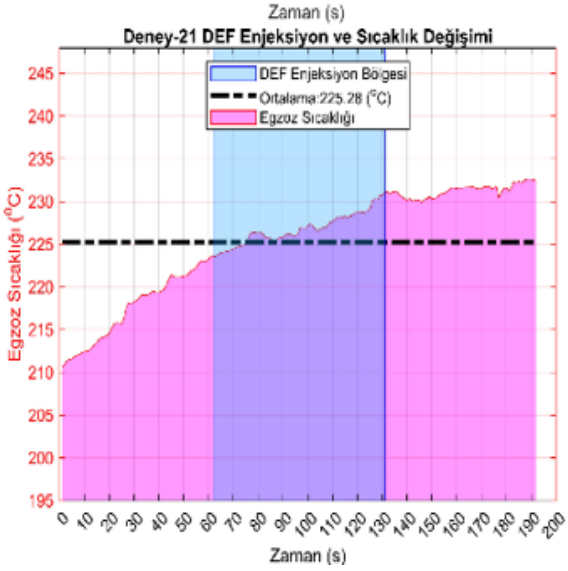




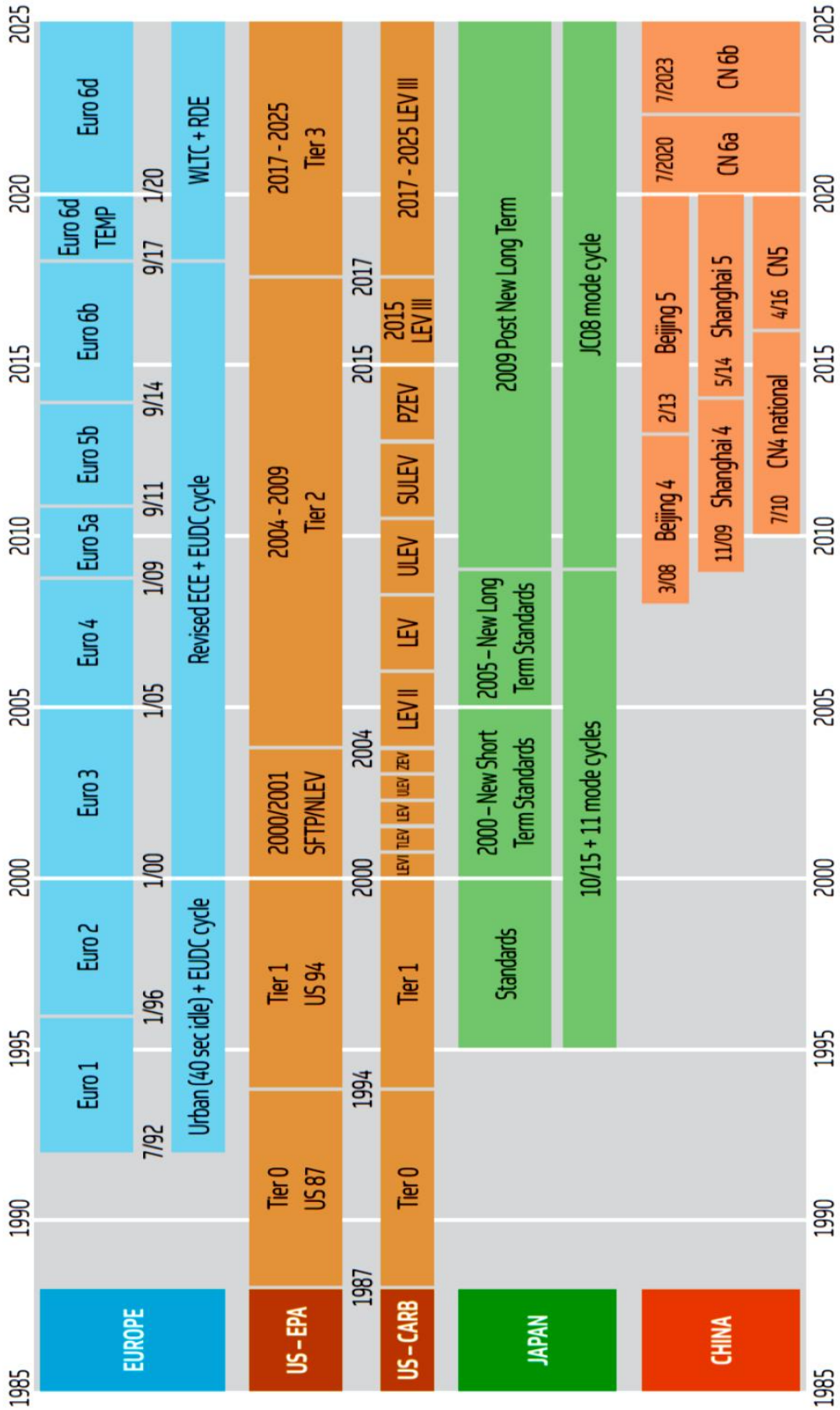




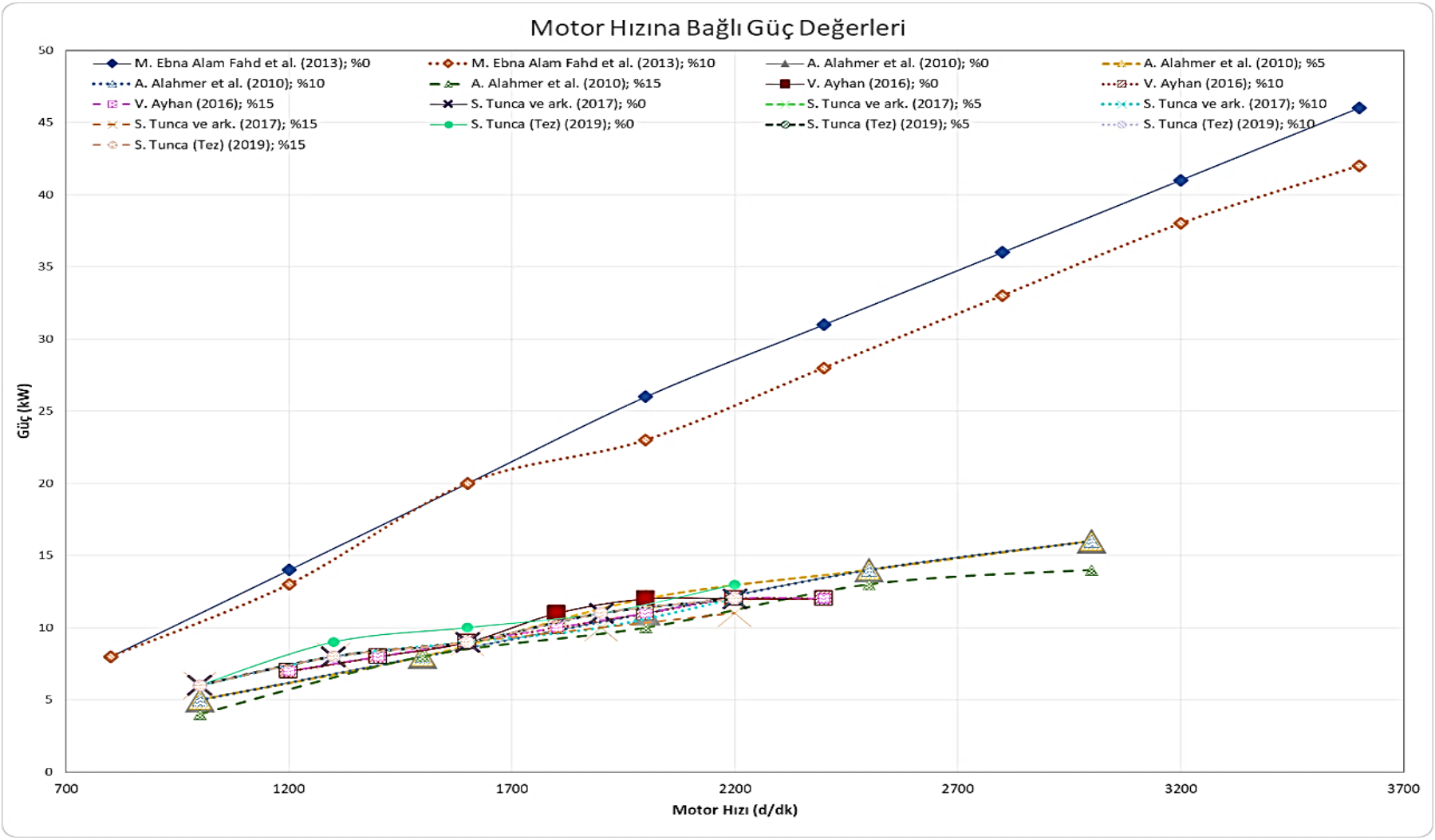




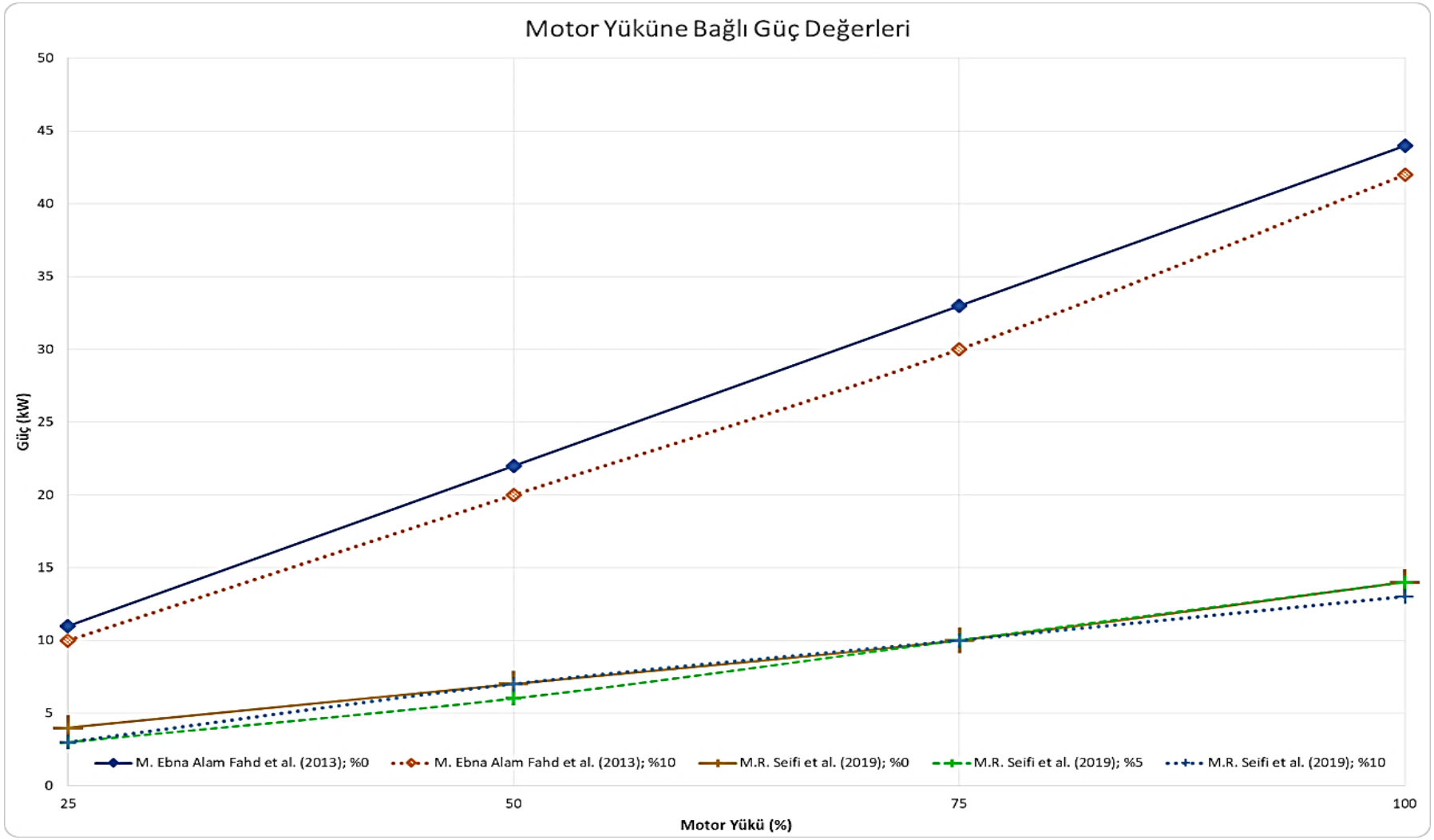
EK 3. Dünya üzerinde farklı ülkelerde uygulanan egzoz emisyon standartları.



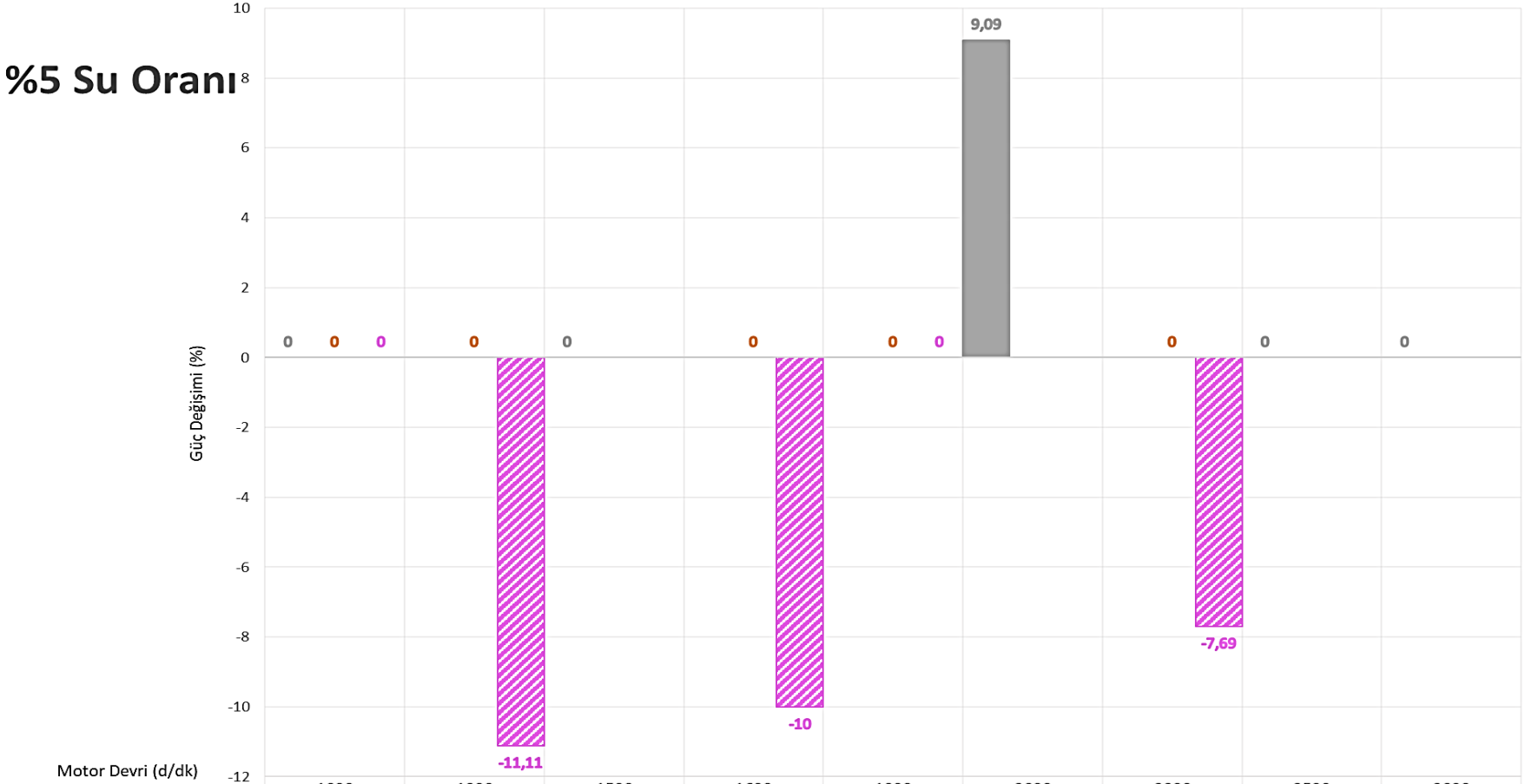
Ek 4. Literatüre abağlı emülsifiye yakıt yöntemi motor performans verileri.



EK 4. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi motor performans değerleri.

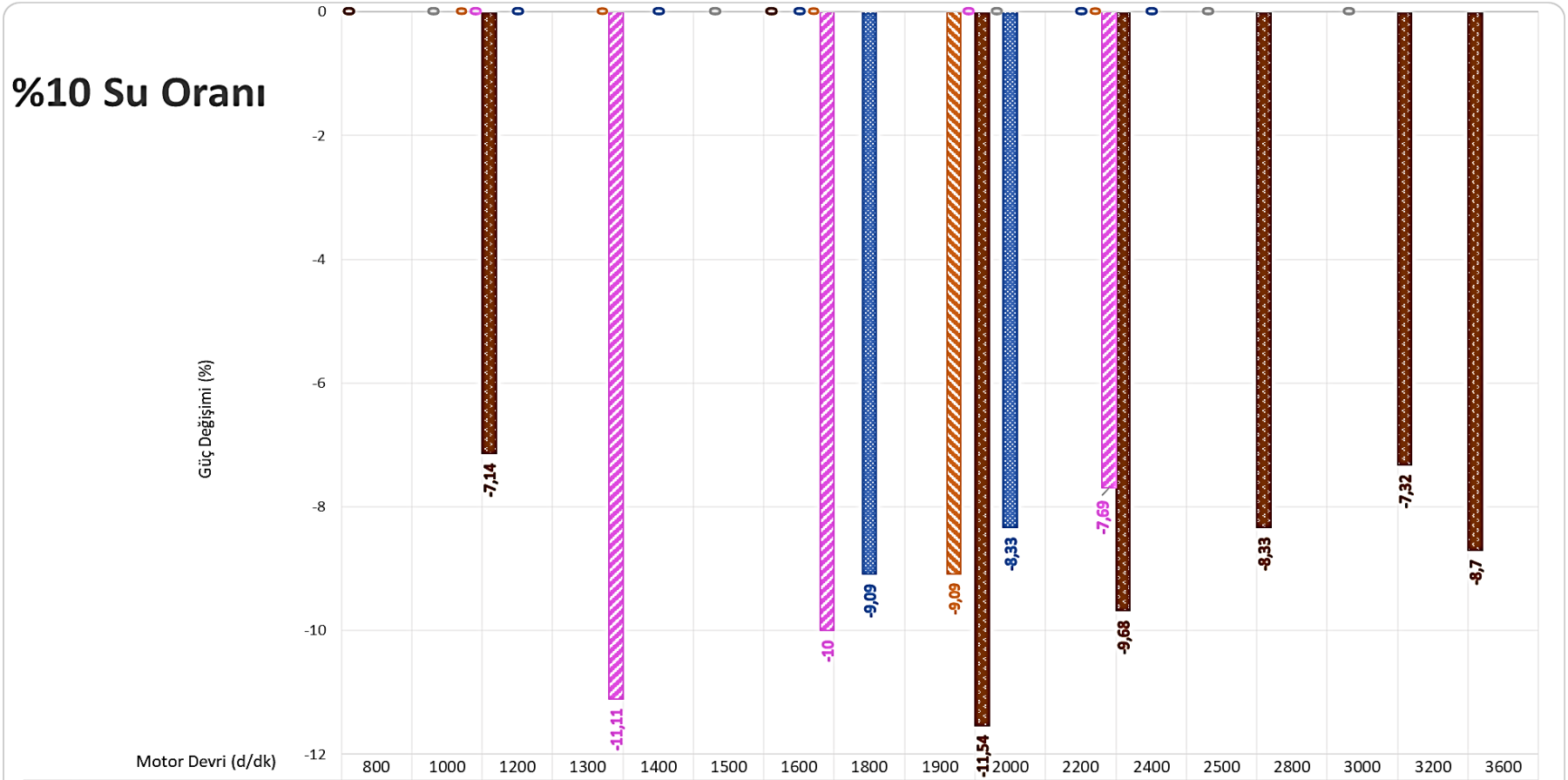


EK 4. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi motor performans değerleri.



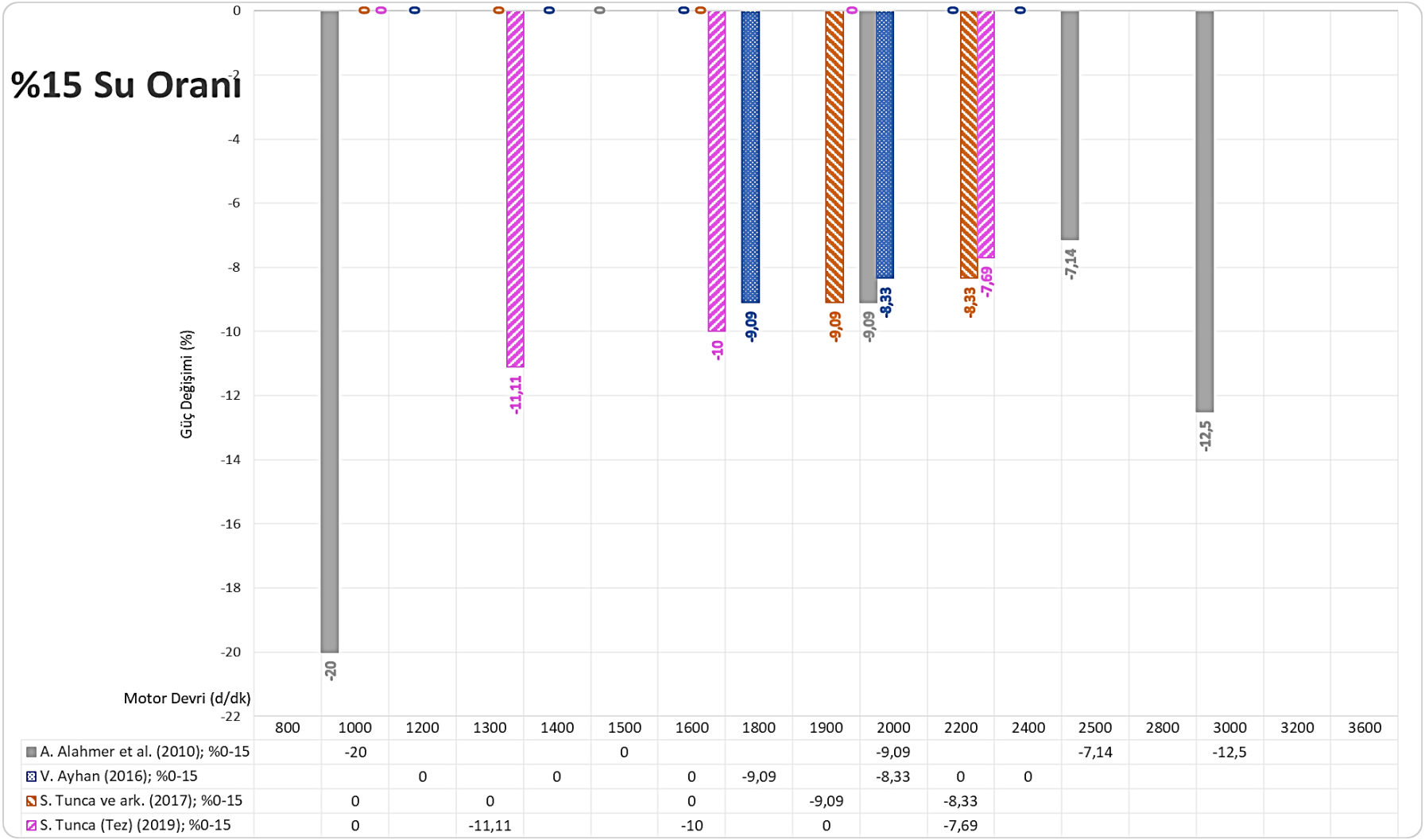
	1000	1300	1500	1600	1900	2000	2200	2500	3000
A. Alahmer et al. (2010); %0-5	0		0			9,09		0	0
S. Tunca ve ark. (2017); %0-5	0	0		0	0		0		
S. Tunca (Tez) (2019); %0-5	0	-11,11		-10	0		-7,69		

EK 4. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi motor performans değerleri.



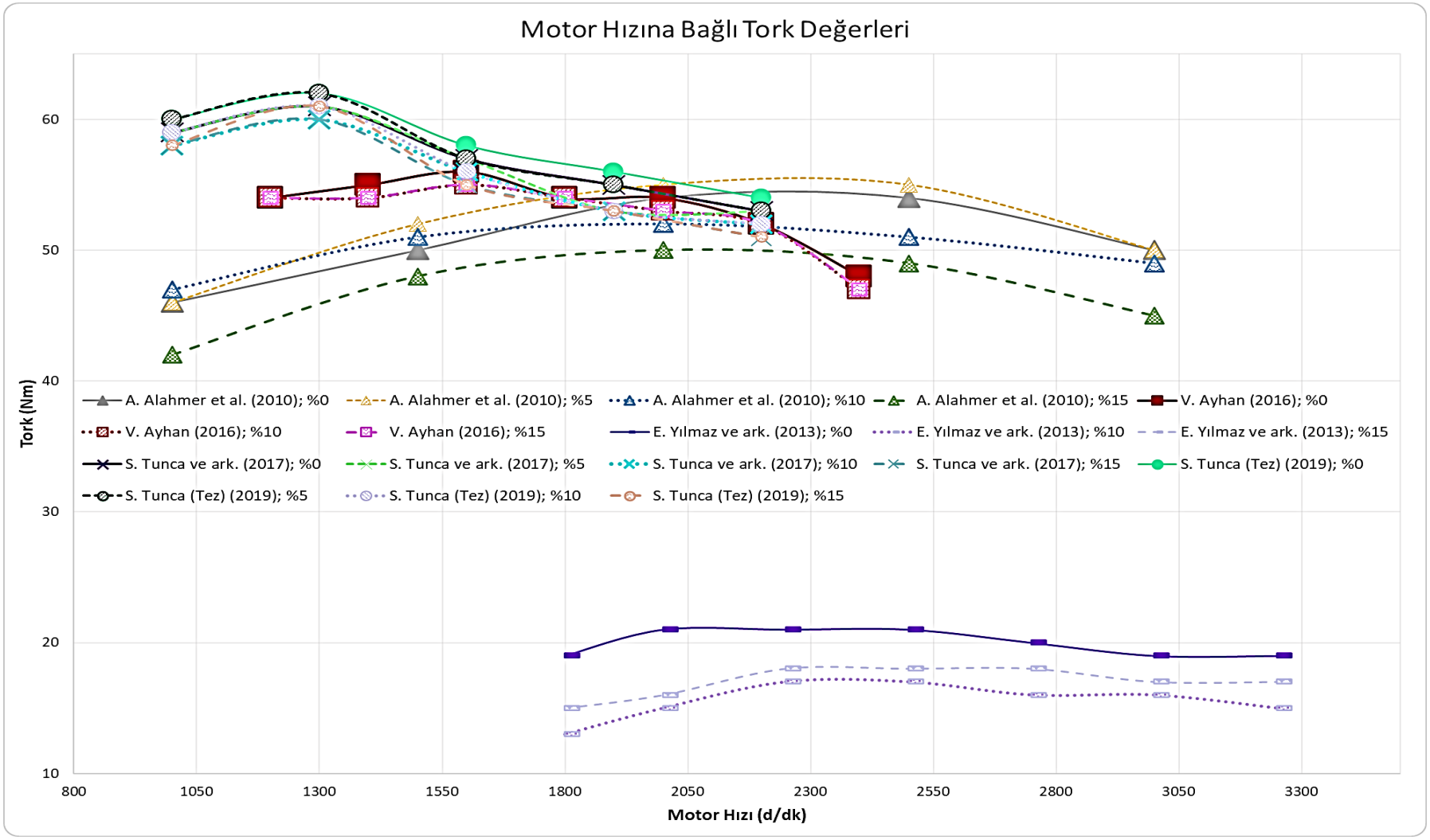
Motor Devri (d/dk)	800	1000	1200	1300	1400	1500	1600	1800	1900	2000	2200	2400	2500	2800	3000	3200	3600
M. Ebna Alam Fahd et al. (2013); %0-10	0		-7,14				0			-11,54		-9,68		-8,33		-7,32	-8,7
A. Alahmer et al. (2010); %0-10		0				0				0			0		0		
V. Ayhan (2016); %0-10			0		0		0	-9,09		-8,33	0	0					
S. Tunca ve ark. (2017); %0-10		0		0			0		-9,09		0						
S. Tunca (Tez) (2019); %0-10		0		-11,11			-10		0		-7,69						

EK 4. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi motor performans değerleri.

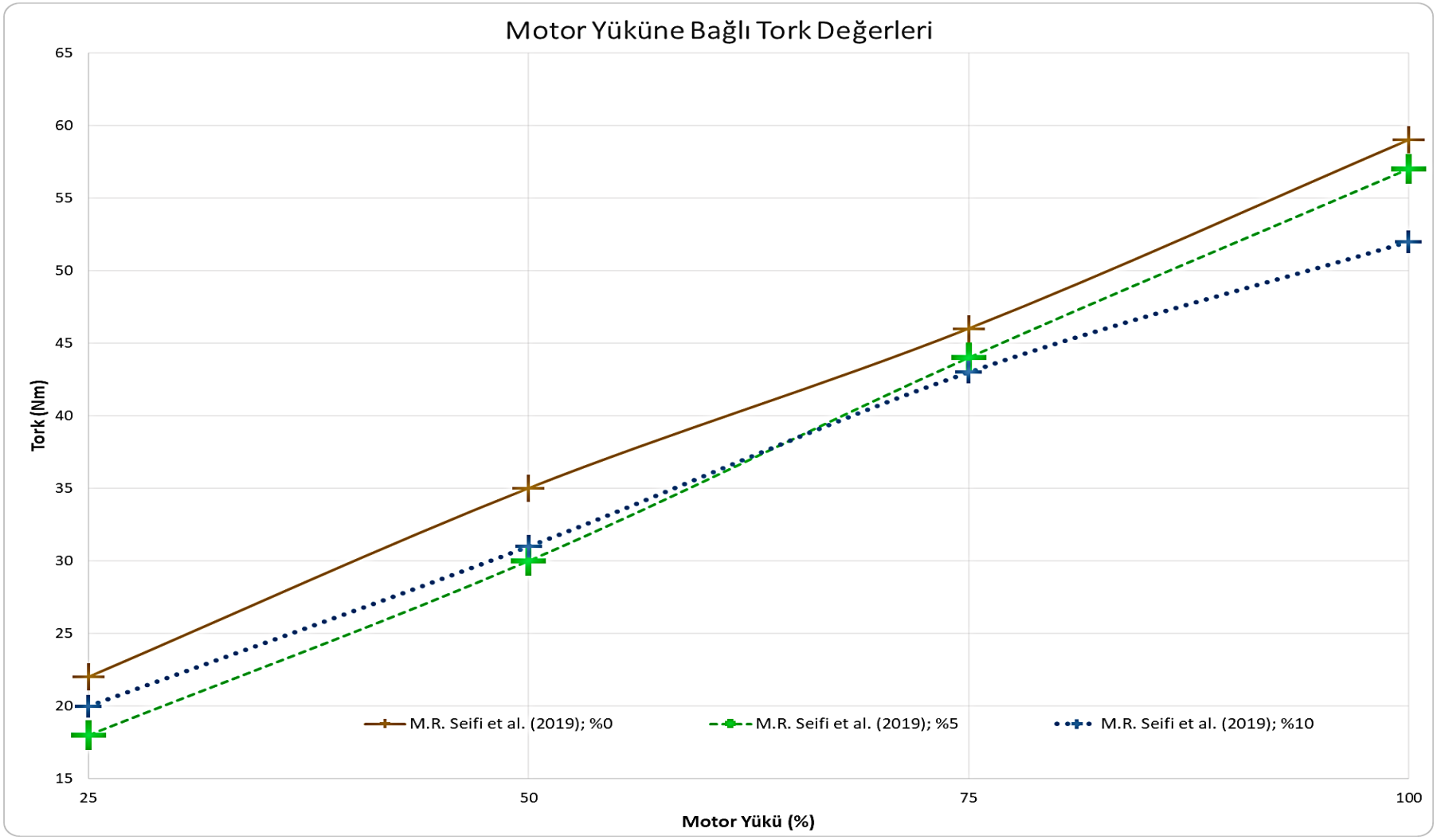


	800	1000	1200	1300	1400	1500	1600	1800	1900	2000	2200	2400	2500	2800	3000	3200	3600
A. Alahmer et al. (2010); %0-15		-20				0				-9,09			-7,14		-12,5		
V. Ayhan (2016); %0-15			0		0		0	-9,09		-8,33	0	0					
S. Tunca ve ark. (2017); %0-15		0		0			0		-9,09		-8,33						
S. Tunca (Tez) (2019); %0-15		0		-11,11			-10		0		-7,69						

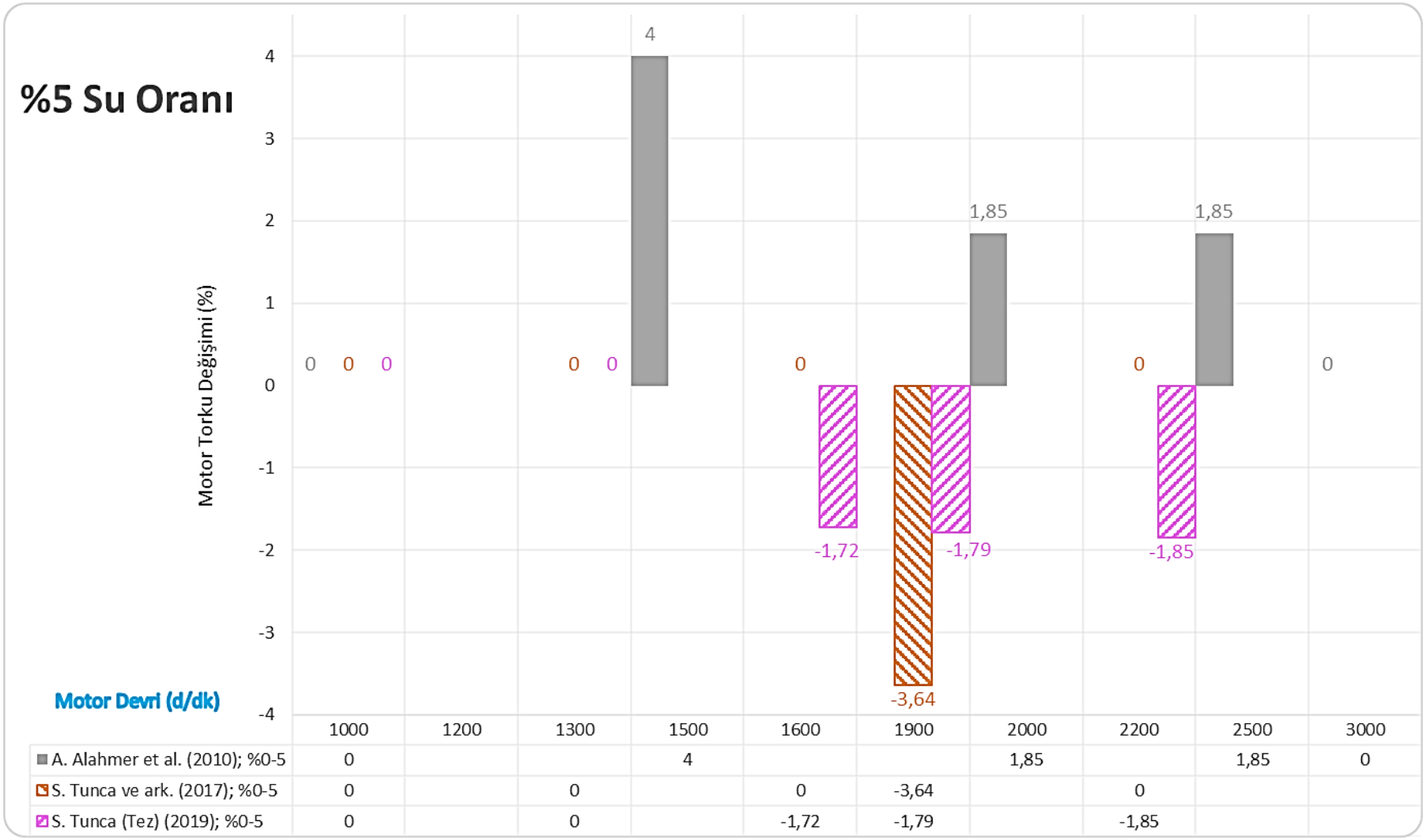
EK 4. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi motor performans değerleri.



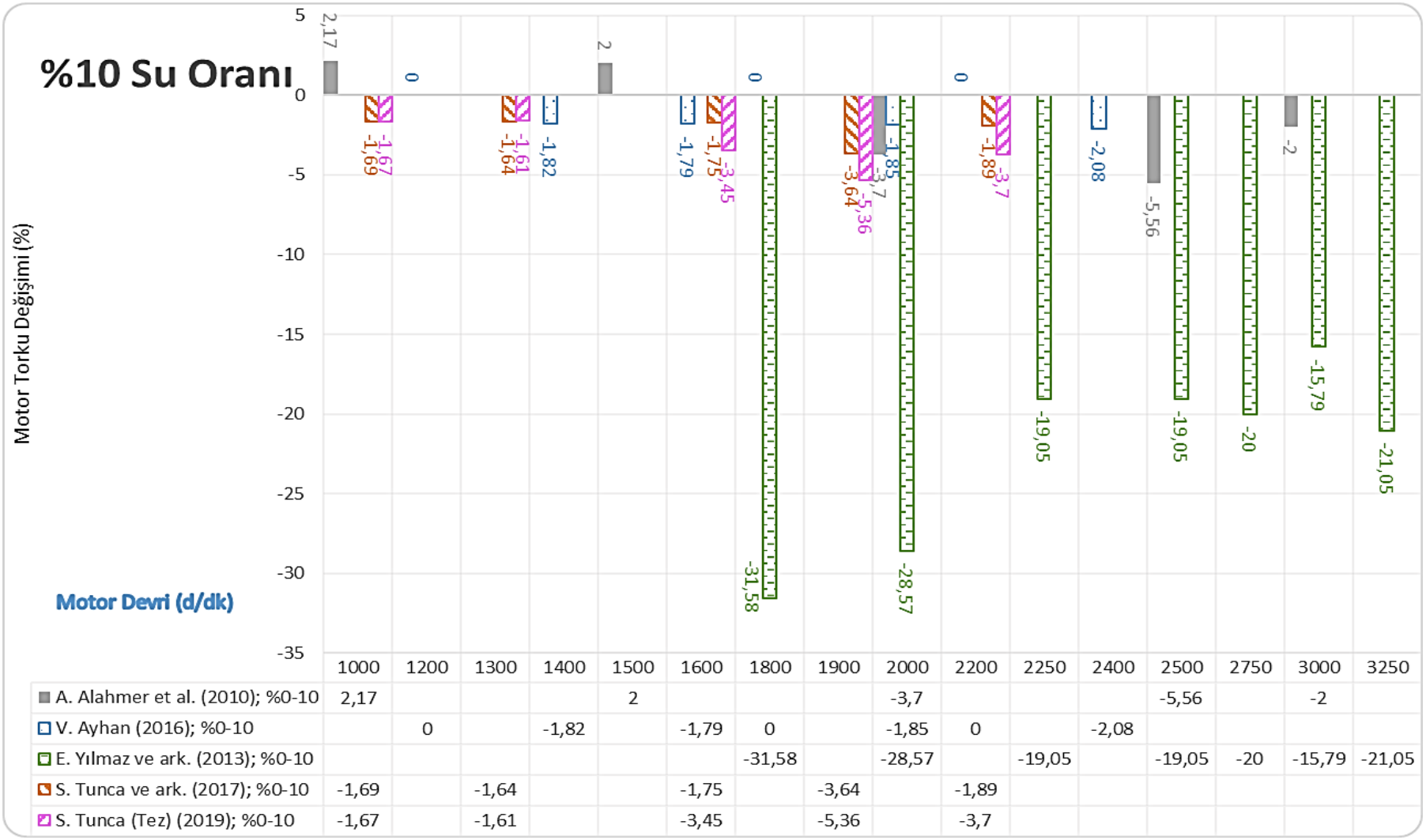
EK 4. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi motor performans değerleri.



EK 4. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi motor performans değerleri.

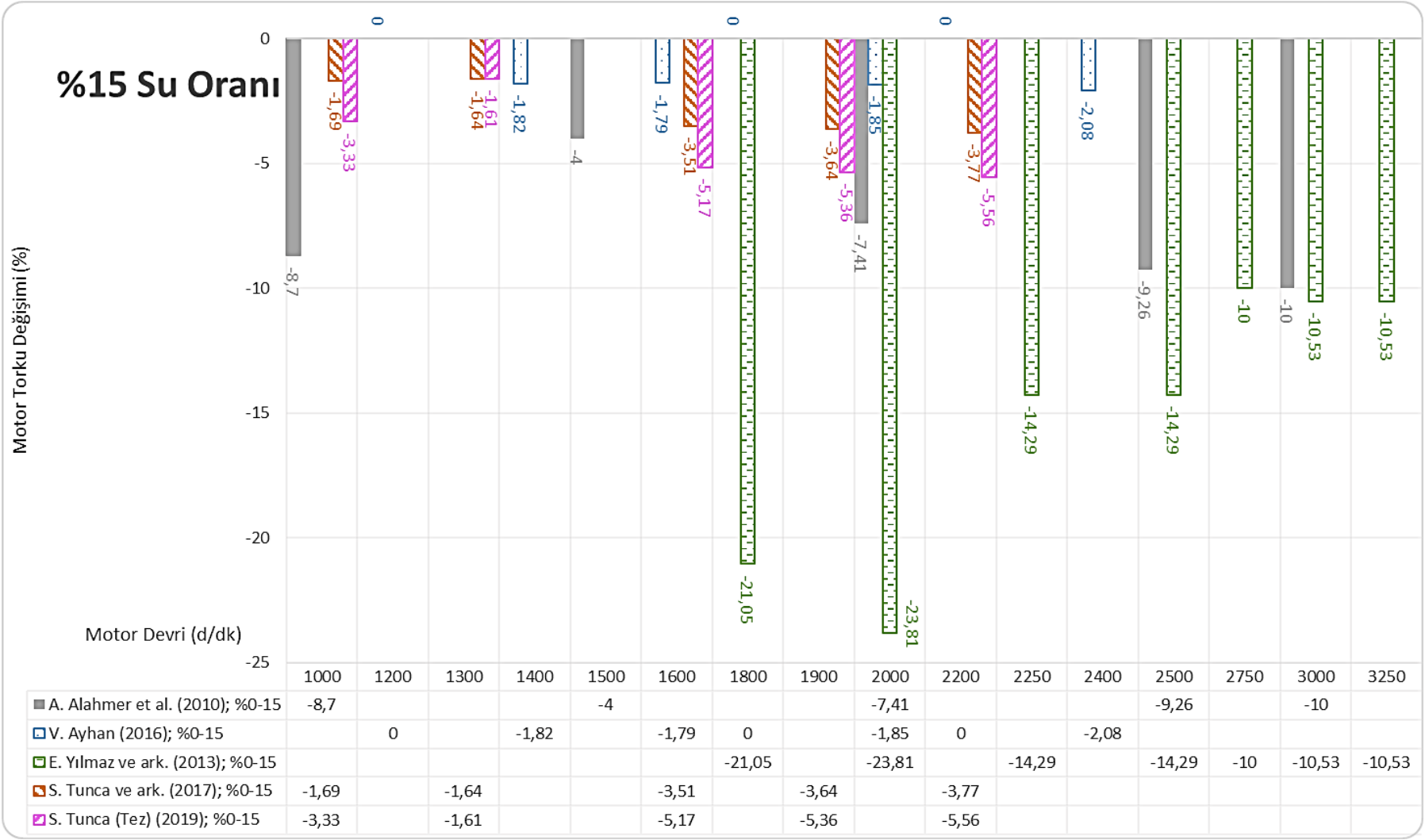


EK 4. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi motor performans değerleri.



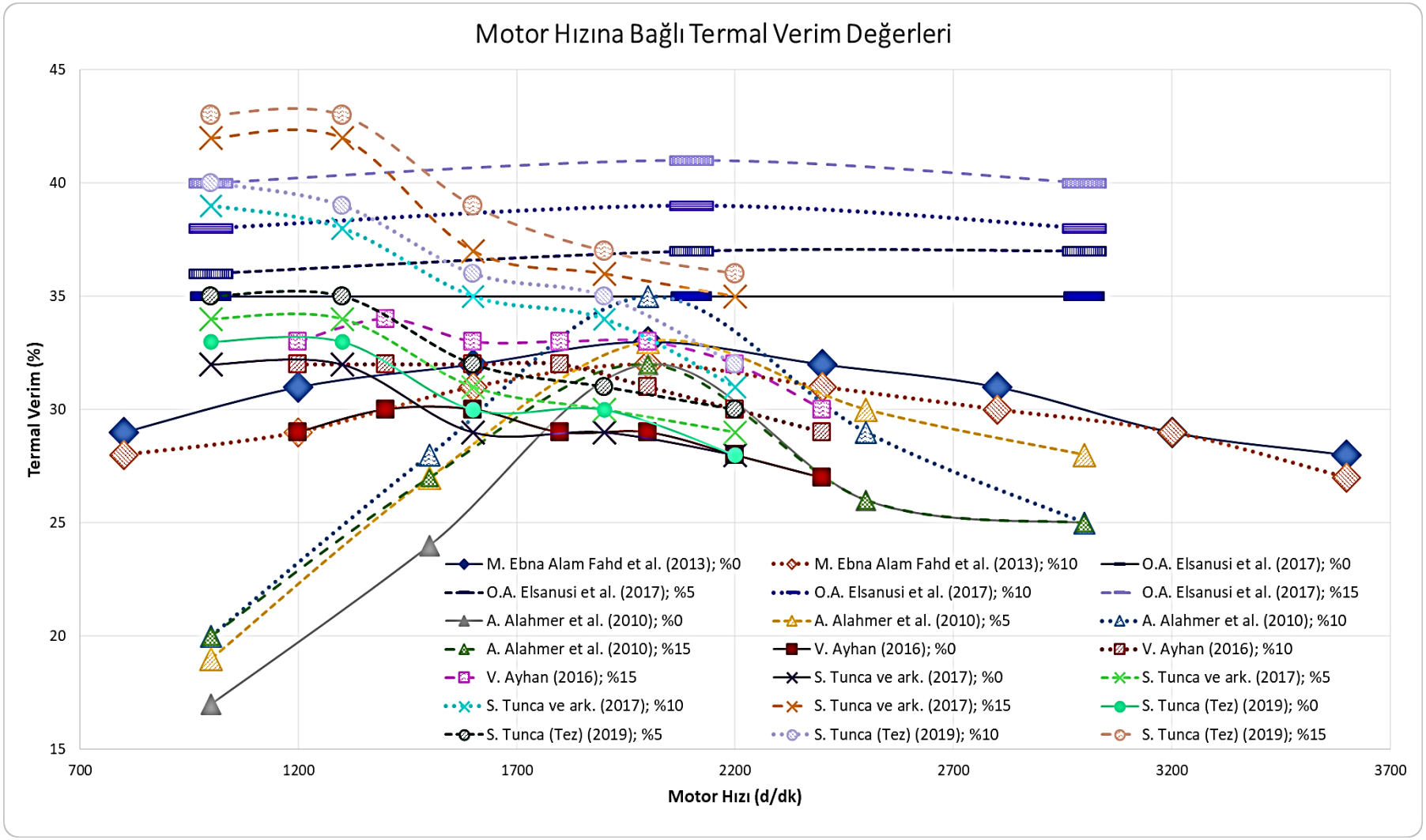
	1000	1200	1300	1400	1500	1600	1800	1900	2000	2200	2250	2400	2500	2750	3000	3250
A. Alahmer et al. (2010); %0-10	2,17				2				-3,7				-5,56		-2	
V. Ayhan (2016); %0-10		0		-1,82		-1,79	0		-1,85	0		-2,08				
E. Yılmaz ve ark. (2013); %0-10							-31,58		-28,57		-19,05		-19,05	-20	-15,79	-21,05
S. Tunca ve ark. (2017); %0-10	-1,69		-1,64			-1,75		-3,64		-1,89						
S. Tunca (Tez) (2019); %0-10	-1,67		-1,61			-3,45		-5,36		-3,7						

EK 4. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi motor performans değerleri.

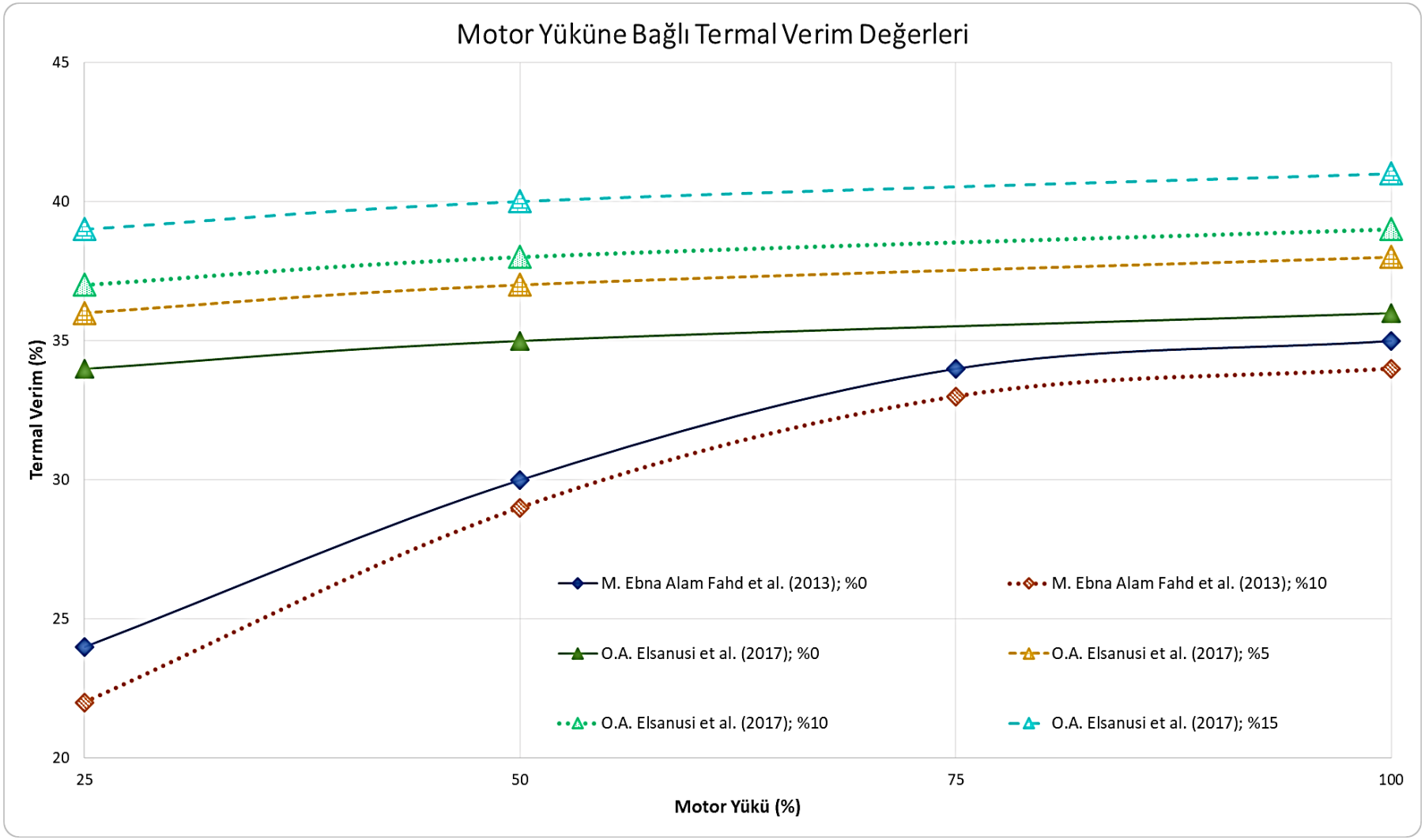


Motor Devri (d/dk)	1000	1200	1300	1400	1500	1600	1800	1900	2000	2200	2250	2400	2500	2750	3000	3250
A. Alahmer et al. (2010); %0-15	-8,7				-4				-7,41				-9,26		-10	
V. Ayhan (2016); %0-15		0		-1,82		-1,79	0		-1,85	0		-2,08				
E. Yılmaz ve ark. (2013); %0-15							-21,05		-23,81		-14,29		-14,29	-10	-10,53	-10,53
S. Tunca ve ark. (2017); %0-15	-1,69		-1,64			-3,51		-3,64		-3,77						
S. Tunca (Tez) (2019); %0-15	-3,33		-1,61			-5,17		-5,36		-5,56						

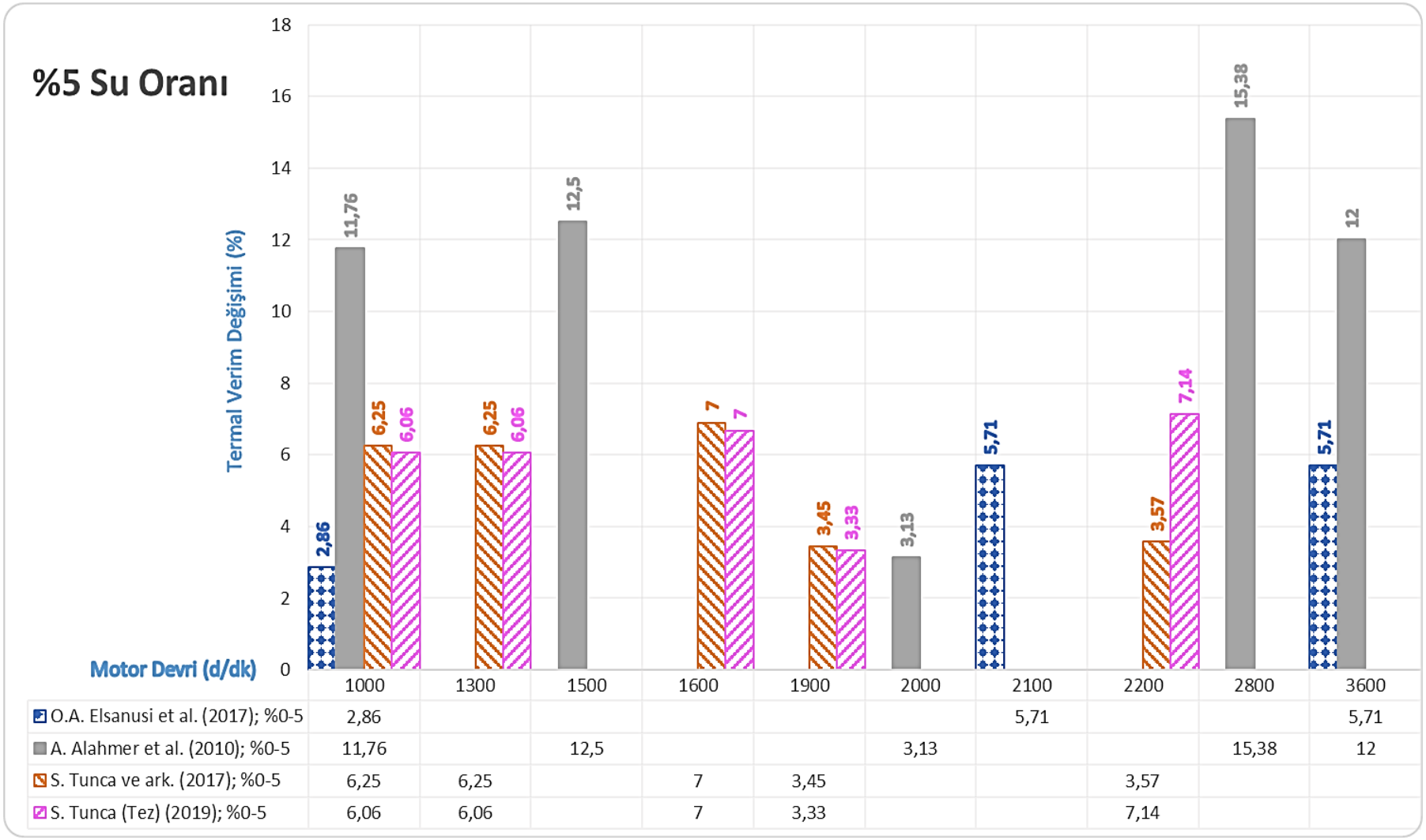
EK 4. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi motor performans değerleri.



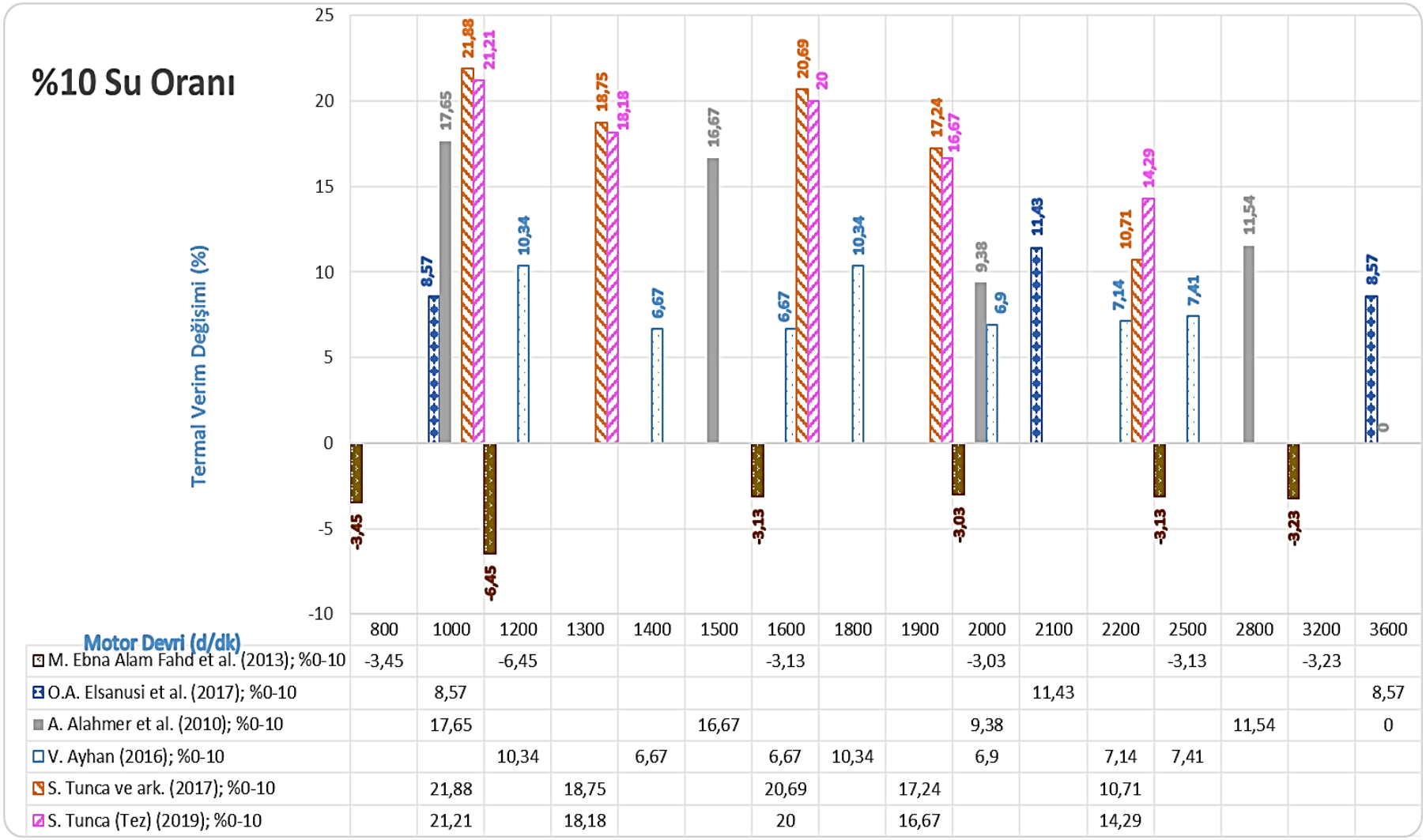
EK 4. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi motor performans değerleri.



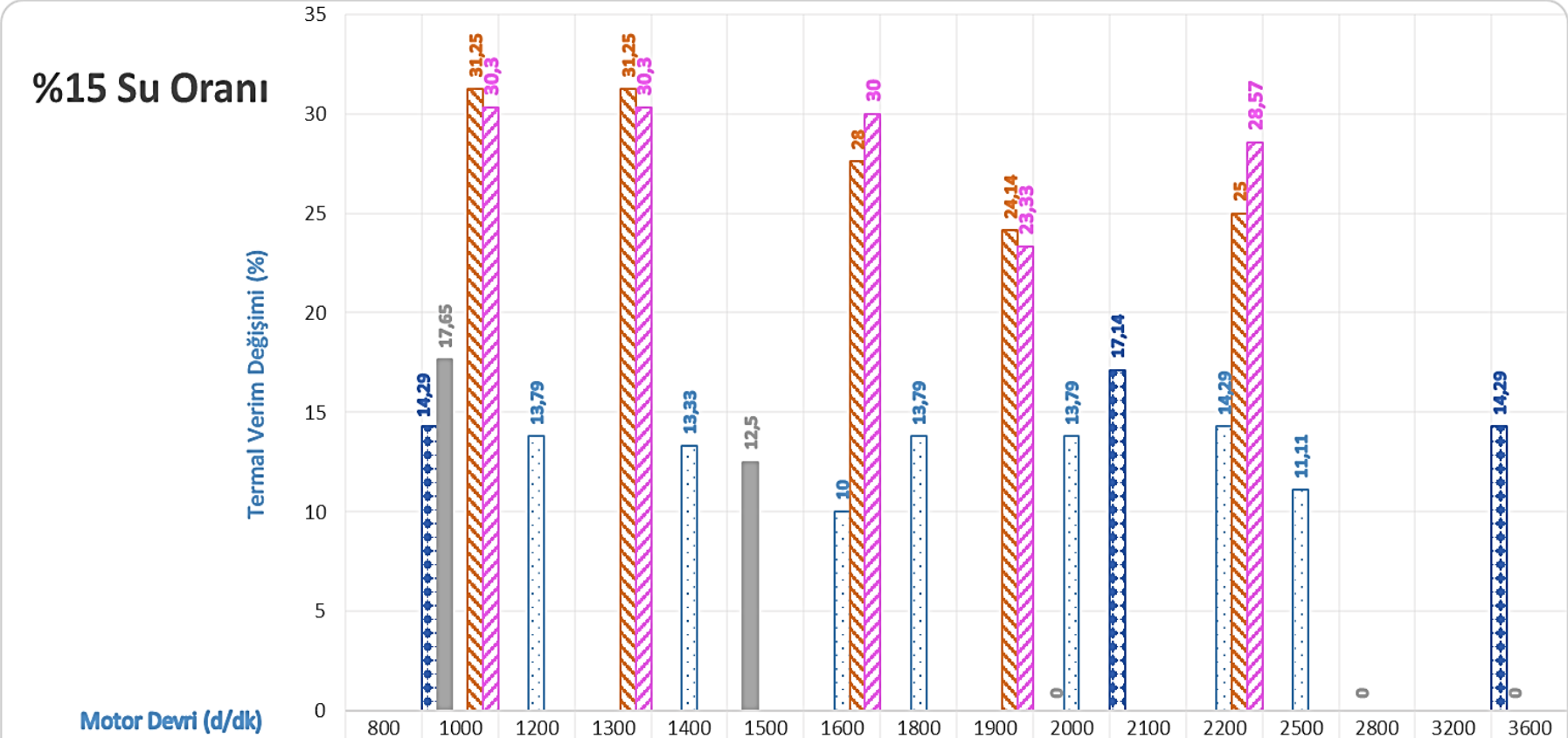
EK 4. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi motor performans değerleri.



EK 4. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi motor performans değerleri.

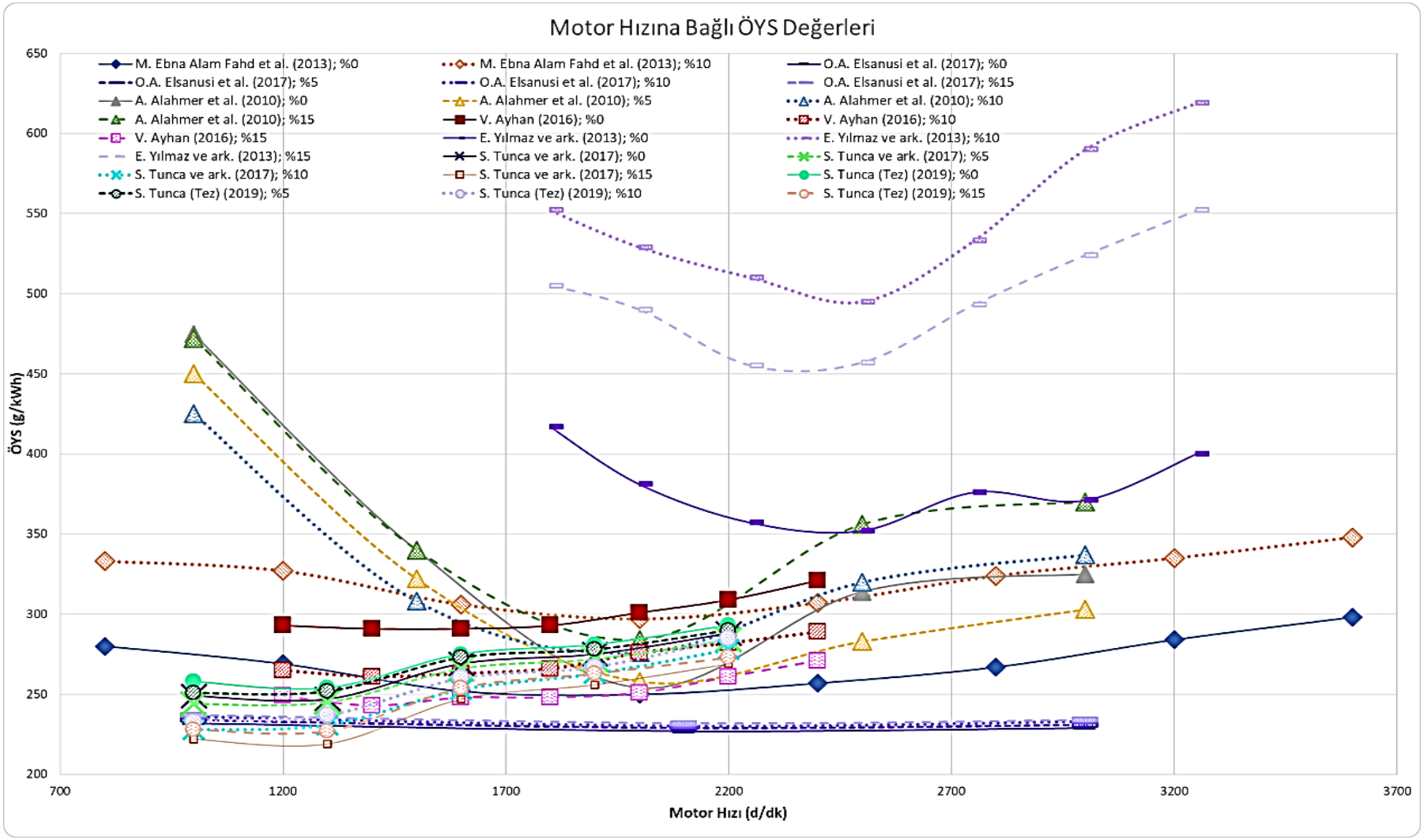


EK 4. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi motor performans değerleri.

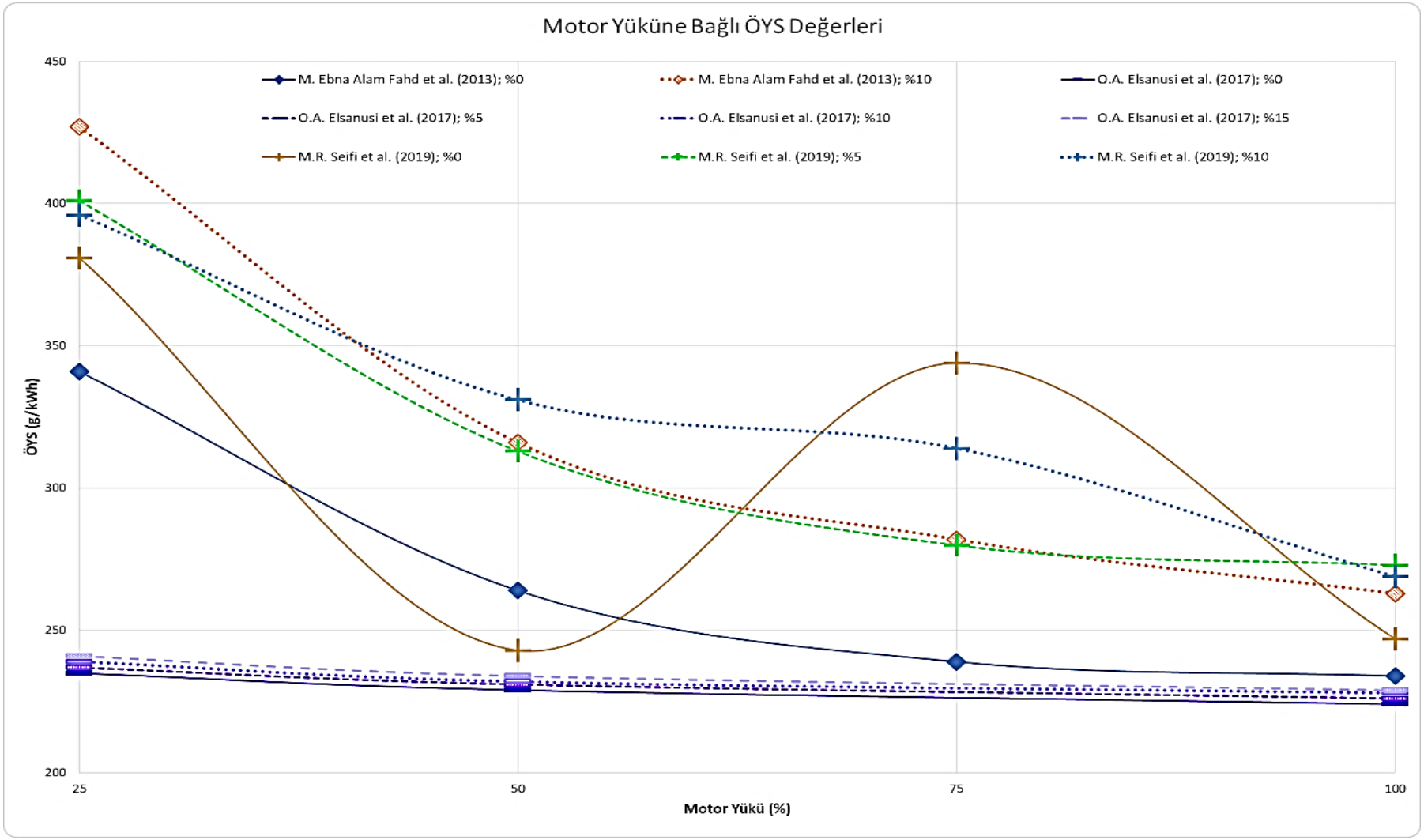


Motor Devri (d/dk)	800	1000	1200	1300	1400	1500	1600	1800	1900	2000	2100	2200	2500	2800	3200	3600
O.A. Elsanusi et al. (2017); %0-15		14,29									17,14					14,29
A. Alahmer et al. (2010); %0-15		17,65				12,5				0				0		0
V. Ayhan (2016); %0-15			13,79		13,33		10	13,79		13,79		14,29	11,11			
S. Tunca ve ark. (2017); %0-15		31,25		31,25			28		24,14			25				
S. Tunca (Tez) (2019); %0-15		30,3		30,3			30		23,33			28,57				

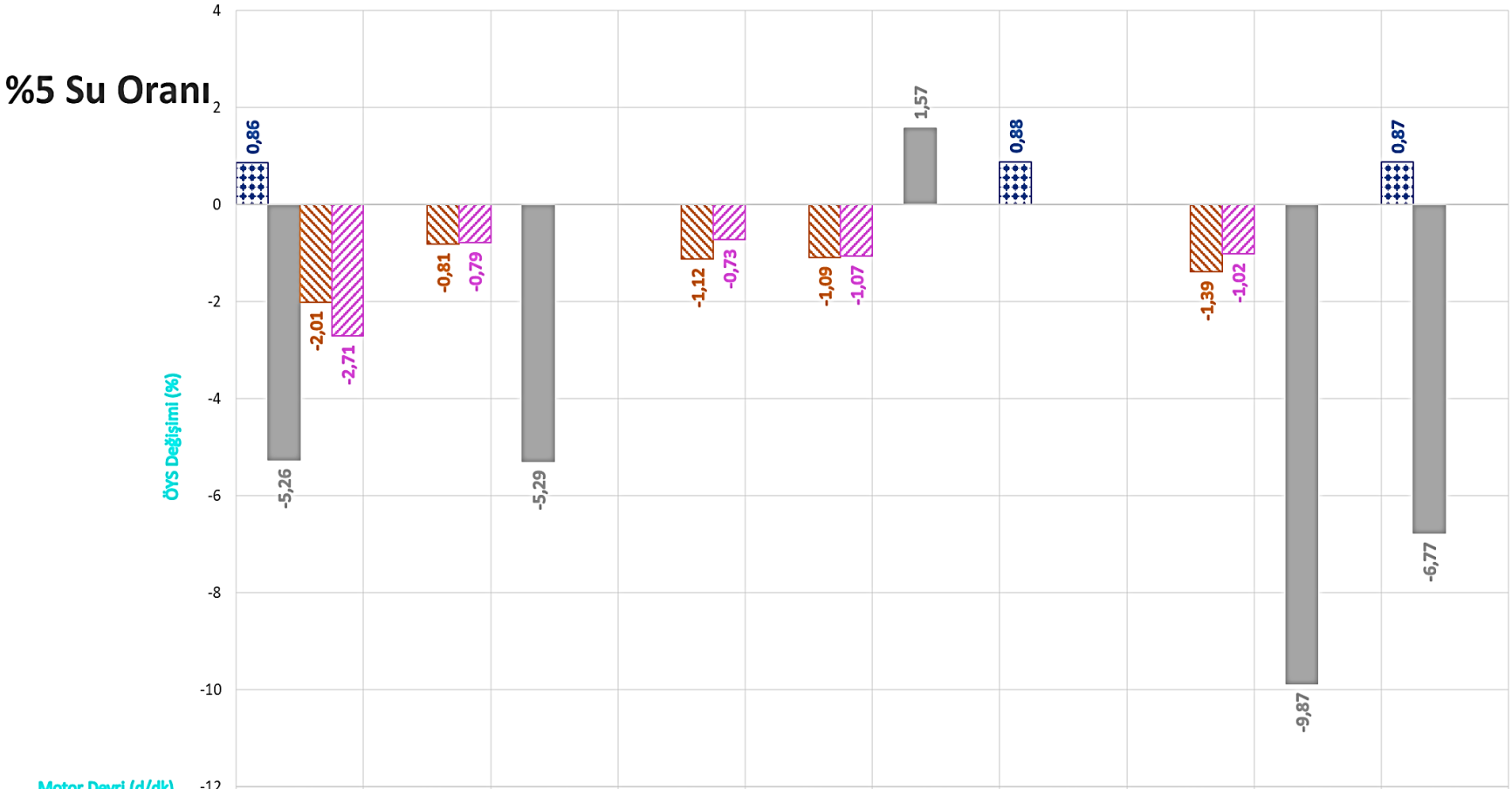
EK 4. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi motor performans değerleri.



EK 4. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi motor performans değerleri.

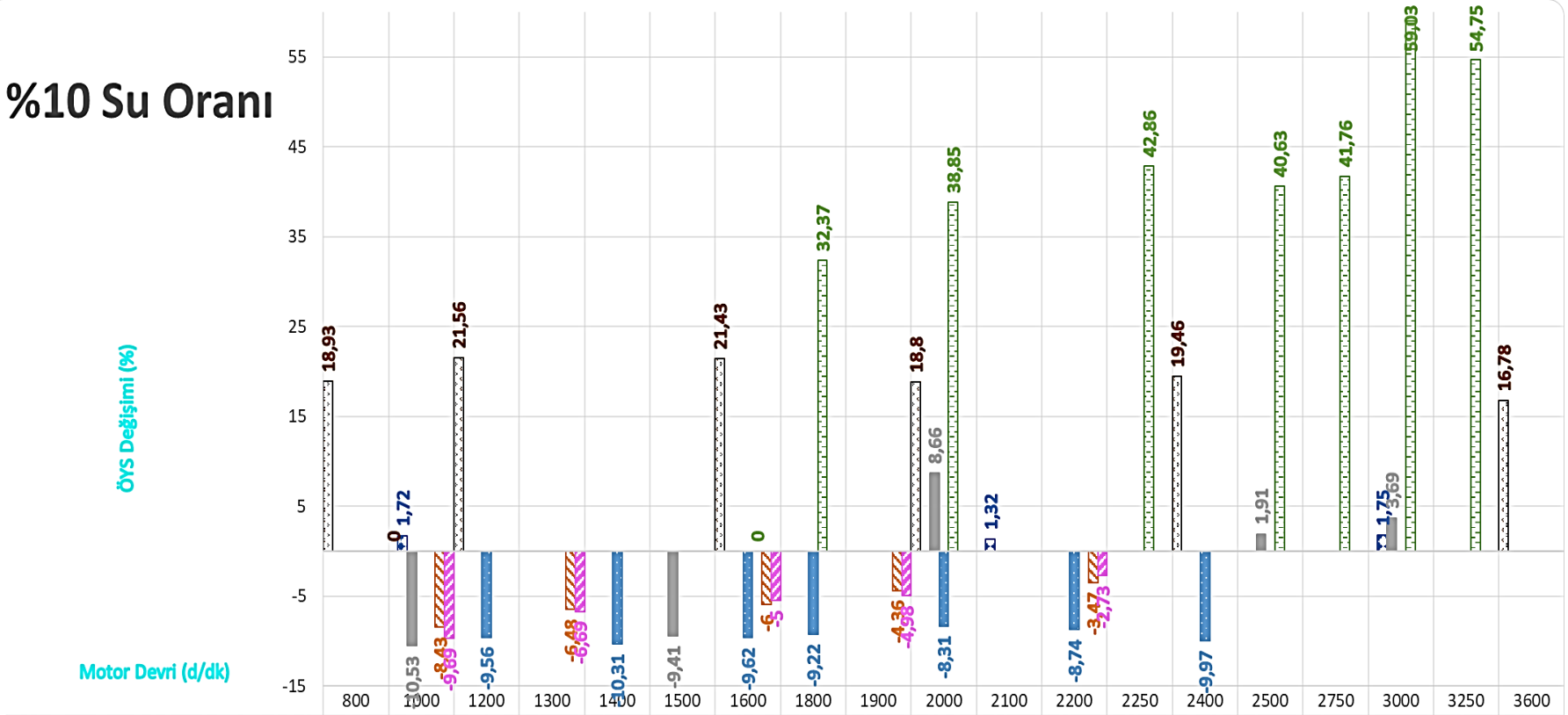


EK 4. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi motor performans değerleri.



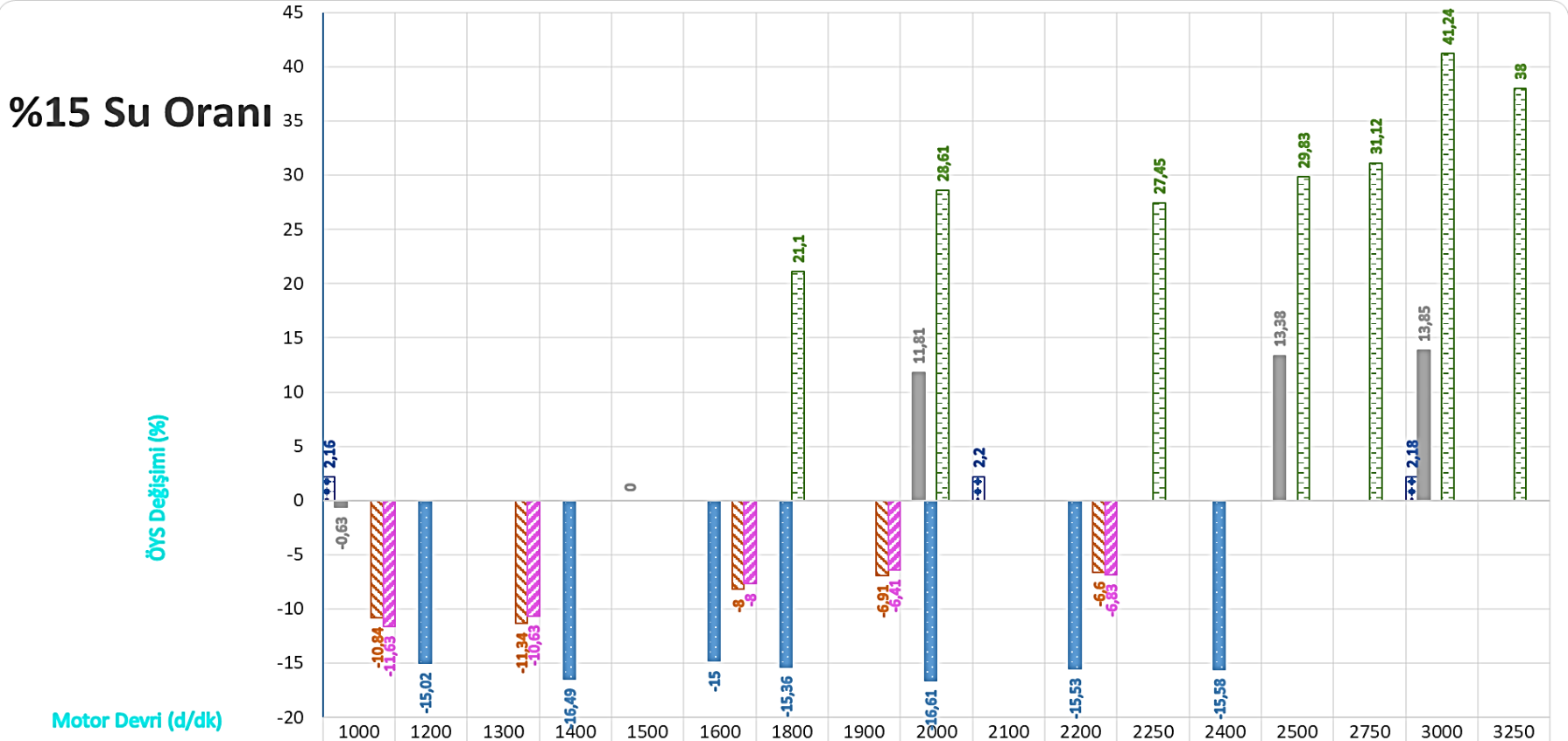
Motor Devri (d/dk)	1000	1300	1500	1600	1900	2000	2100	2200	2500	3000
O.A. Elsanusi et al. (2017); %0-5	0,86						0,88			0,87
A. Alahmer et al. (2010); %0-5	-5,26		-5,29			1,57			-9,87	-6,77
S. Tunca ve ark. (2017); %0-5	-2,01	-0,81		-1,12	-1,09			-1,39		
S. Tunca (Tez) (2019); %0-5	-2,71	-0,79		-0,73	-1,07			-1,02		

EK 4. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi motor performans değerleri.



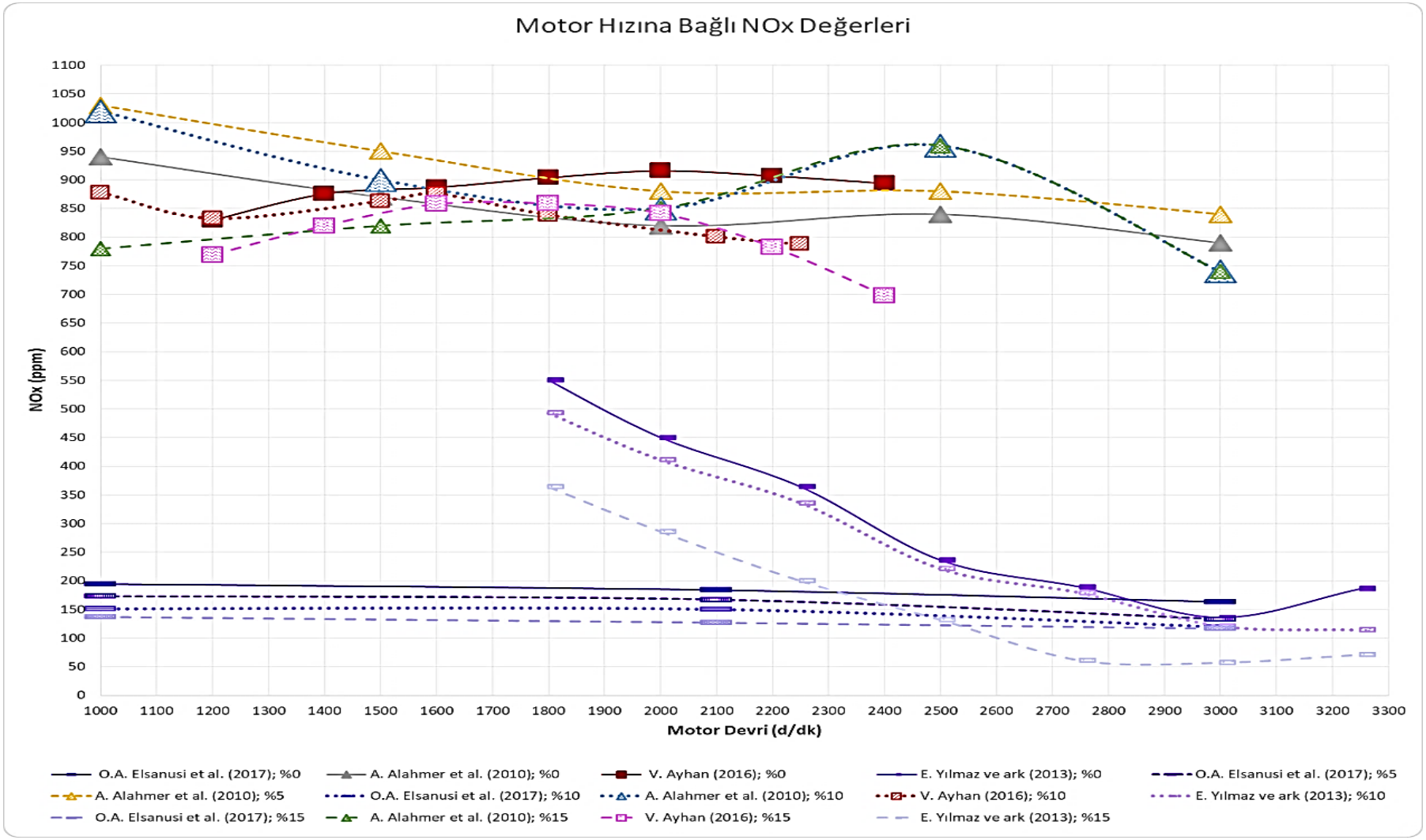
	800	1000	1200	1300	1400	1500	1600	1800	1900	2000	2100	2200	2250	2400	2500	2750	3000	3250	3600
M. Ebna Alam Fahd et al. (2013); %0-10	18,93	0	21,56				21,43			18,8				19,46					16,78
O.A. Elsanusi et al. (2017); %0-10		1,72									1,32						1,75		
A. Alahmer et al. (2010); %0-10		-10,53				-9,41				8,66					1,91		3,69		
V. Ayhan (2016); %0-10			-9,56		-10,31		-9,62	-9,22		-8,31		-8,74		-9,97					
E. Yılmaz ve ark. (2013); %0-10							0	32,37		38,85			42,86		40,63	41,76	59,03	54,75	
S. Tunca ve ark. (2017); %0-10		-8,43		-6,48			-6		-4,36			-3,47							
S. Tunca (Tez) (2019); %0-10		-9,69		-6,69			-5		-4,98			-2,73							

EK 4. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi motor performans değerleri.

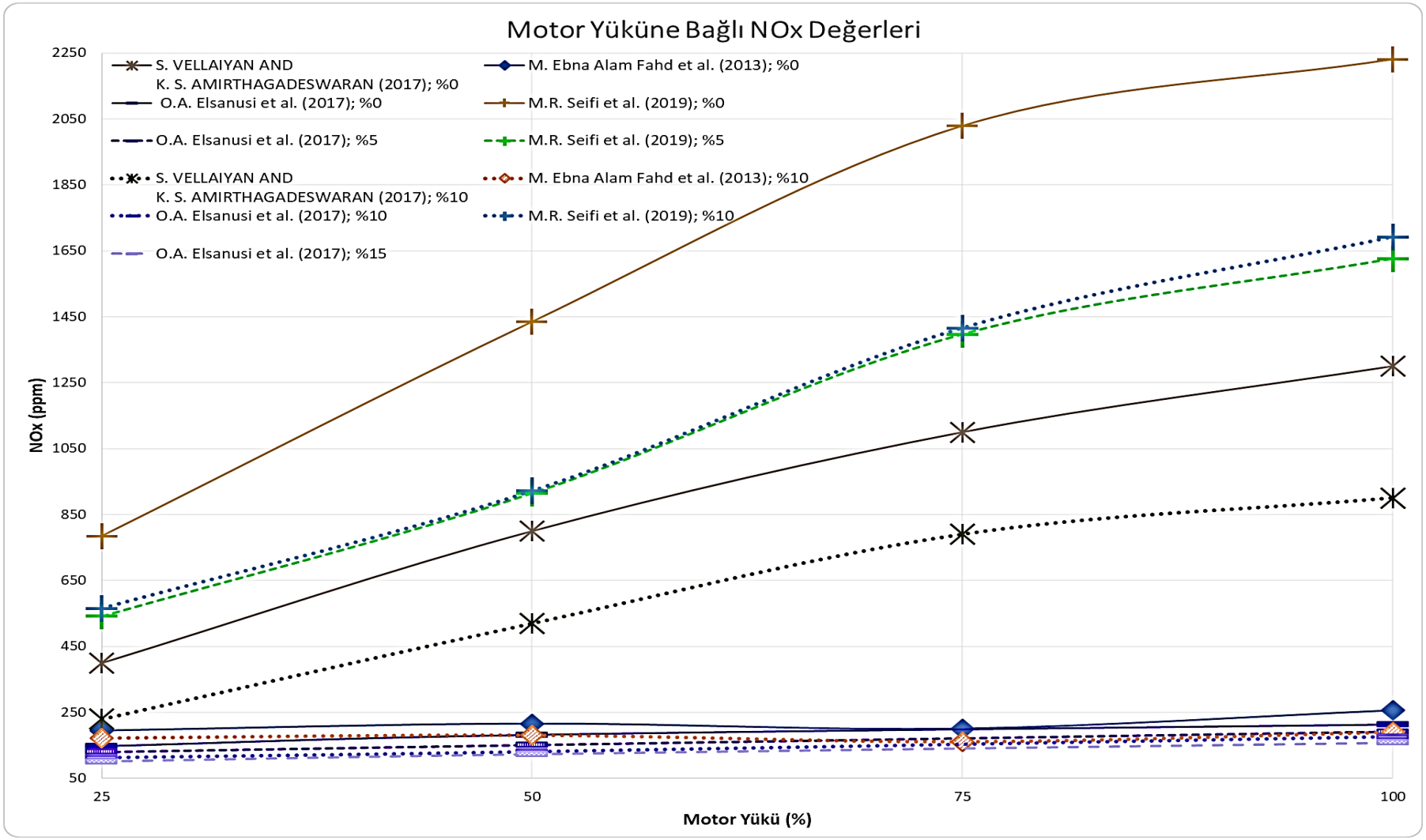


Motor Devri (d/dk)	1000	1200	1300	1400	1500	1600	1800	1900	2000	2100	2200	2250	2400	2500	2750	3000	3250
O.A. Elsanusi et al. (2017); %0-15	2,16									2,2						2,18	
A. Alahmer et al. (2010); %0-15	-0,63				0				11,81					13,38		13,85	
V. Ayhan (2016); %0-15		-15,02		-16,49		-15	-15,36		-16,61		-15,53		-15,58				
E. Yılmaz ve ark. (2013); %0-15							21,1		28,61			27,45		29,83	31,12	41,24	38
S. Tunca ve ark. (2017); %0-15	-10,84		-11,34			-8		-6,91			-6,6						
S. Tunca (Tez) (2019); %0-15	-11,63		-10,63			-8		-6,41			-6,83						

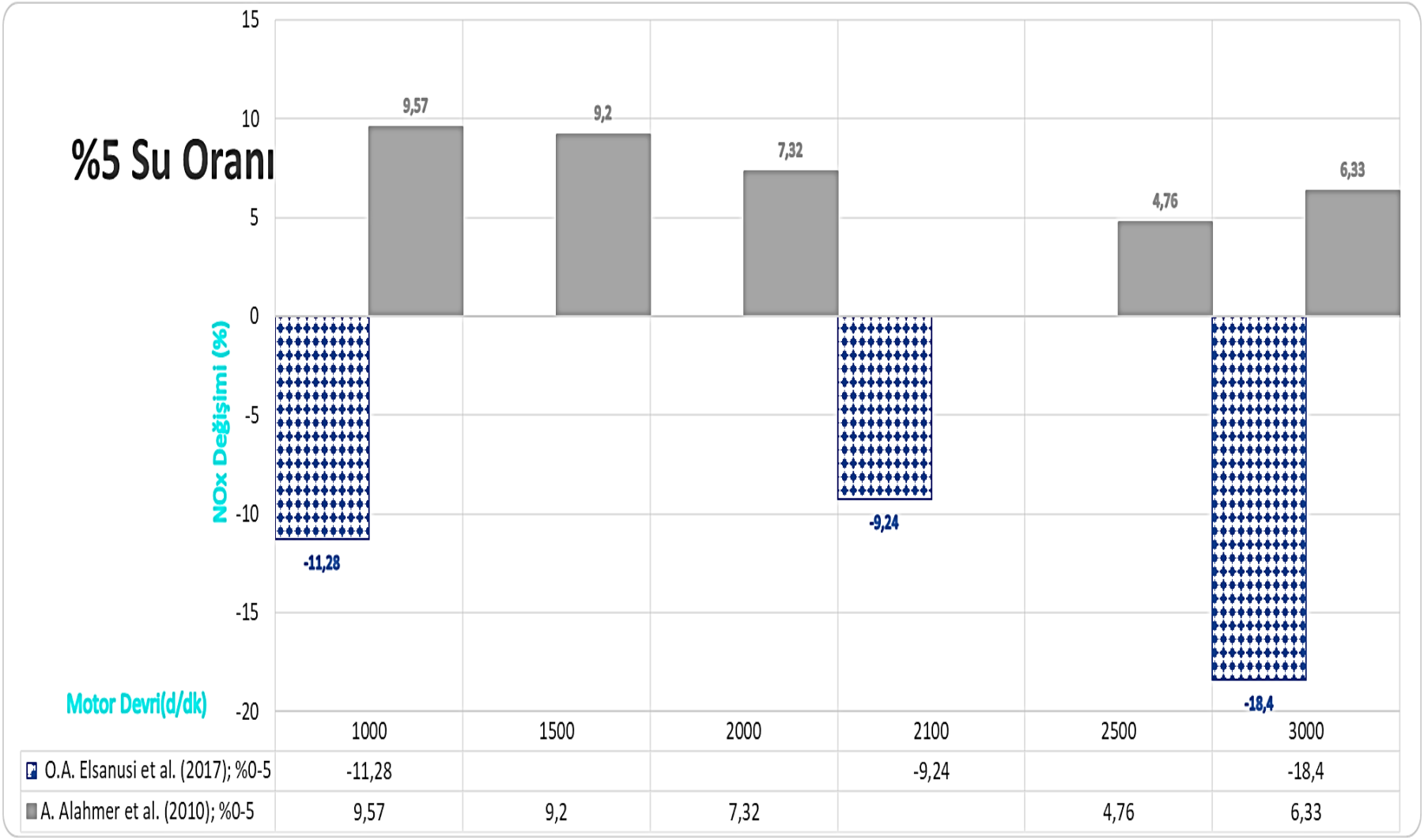
EK 5. Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi egzoz emisyonu verileri.



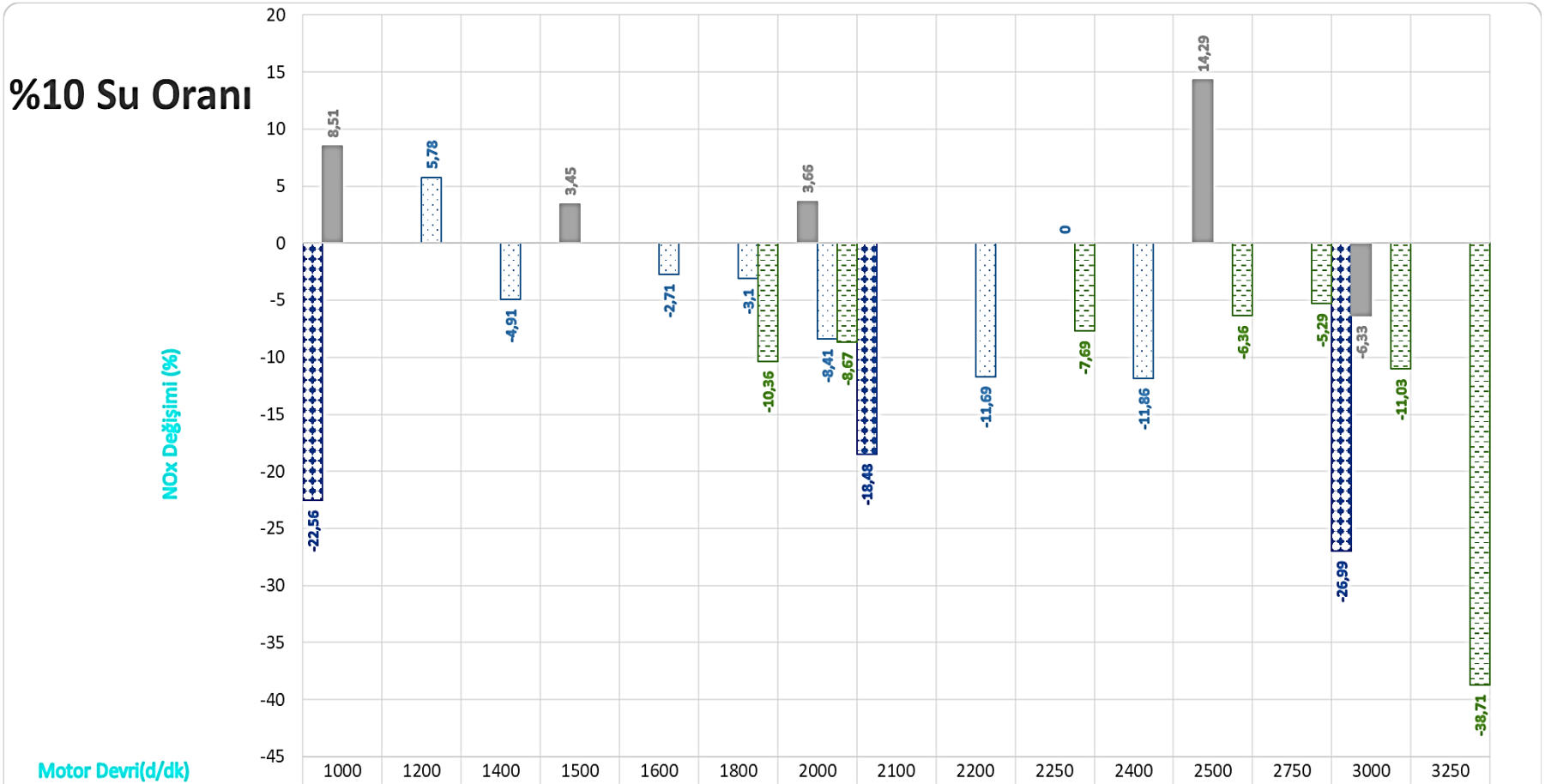
EK 5. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi egzoz emisyonu verileri.



EK 5. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi egzoz emisyonu verileri.

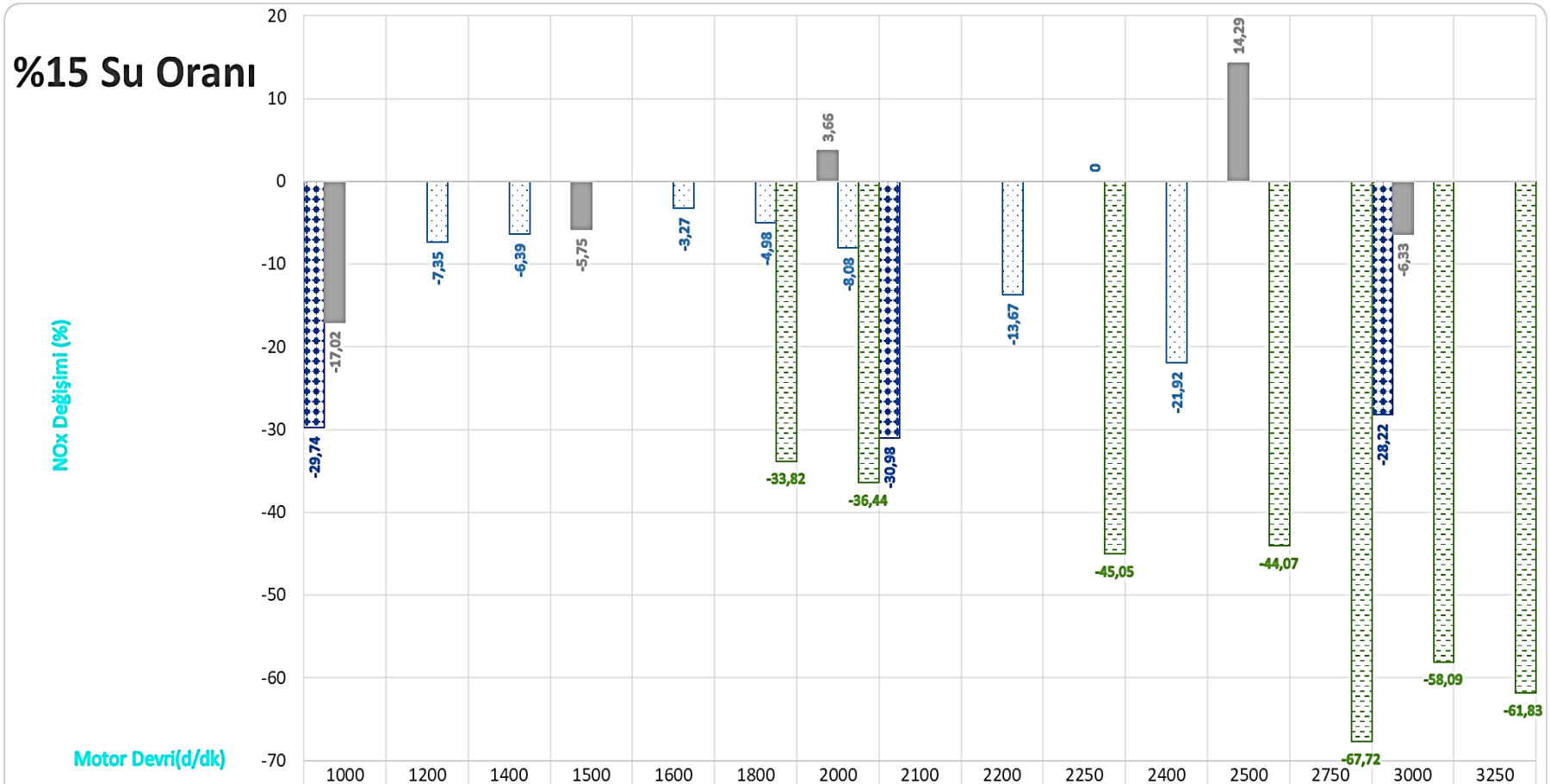


EK 5. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi egzoz emisyonu verileri.



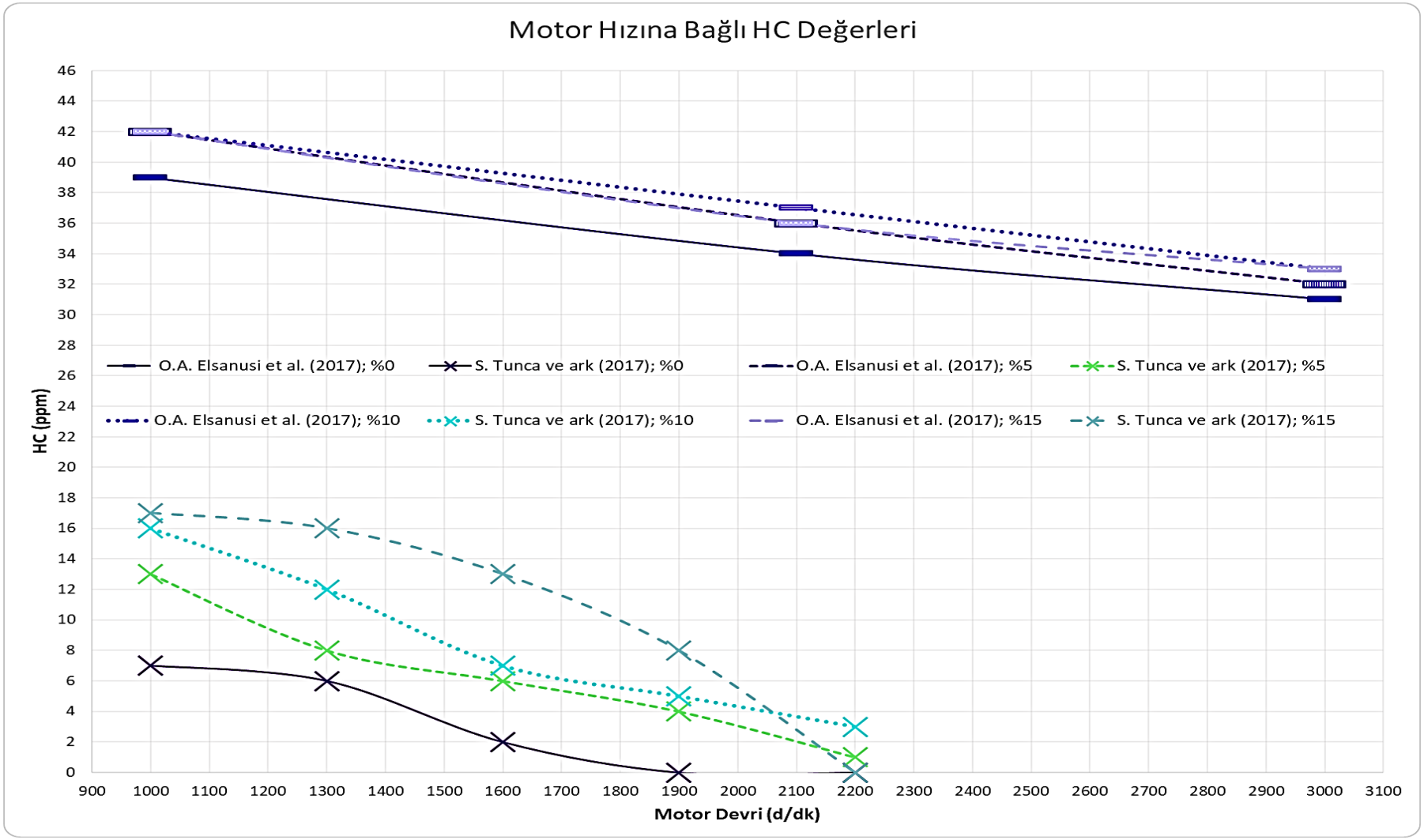
Motor Devri(d/dk)	1000	1200	1400	1500	1600	1800	2000	2100	2200	2250	2400	2500	2750	3000	3250
O.A. Elsanusi et al. (2017); %0-10	-22,56							-18,48						-26,99	
A. Alahmer et al. (2010); %0-10	8,51			3,45			3,66					14,29		-6,33	
V. Ayhan (2016); %0-10		5,78	-4,91		-2,71	-3,1	-8,41		-11,69	0	-11,86				
E. Yılmaz ve ark (2013); %0-10						-10,36	-8,67			-7,69		-6,36	-5,29	-11,03	-38,71

EK 5. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi egzoz emisyonu verileri.

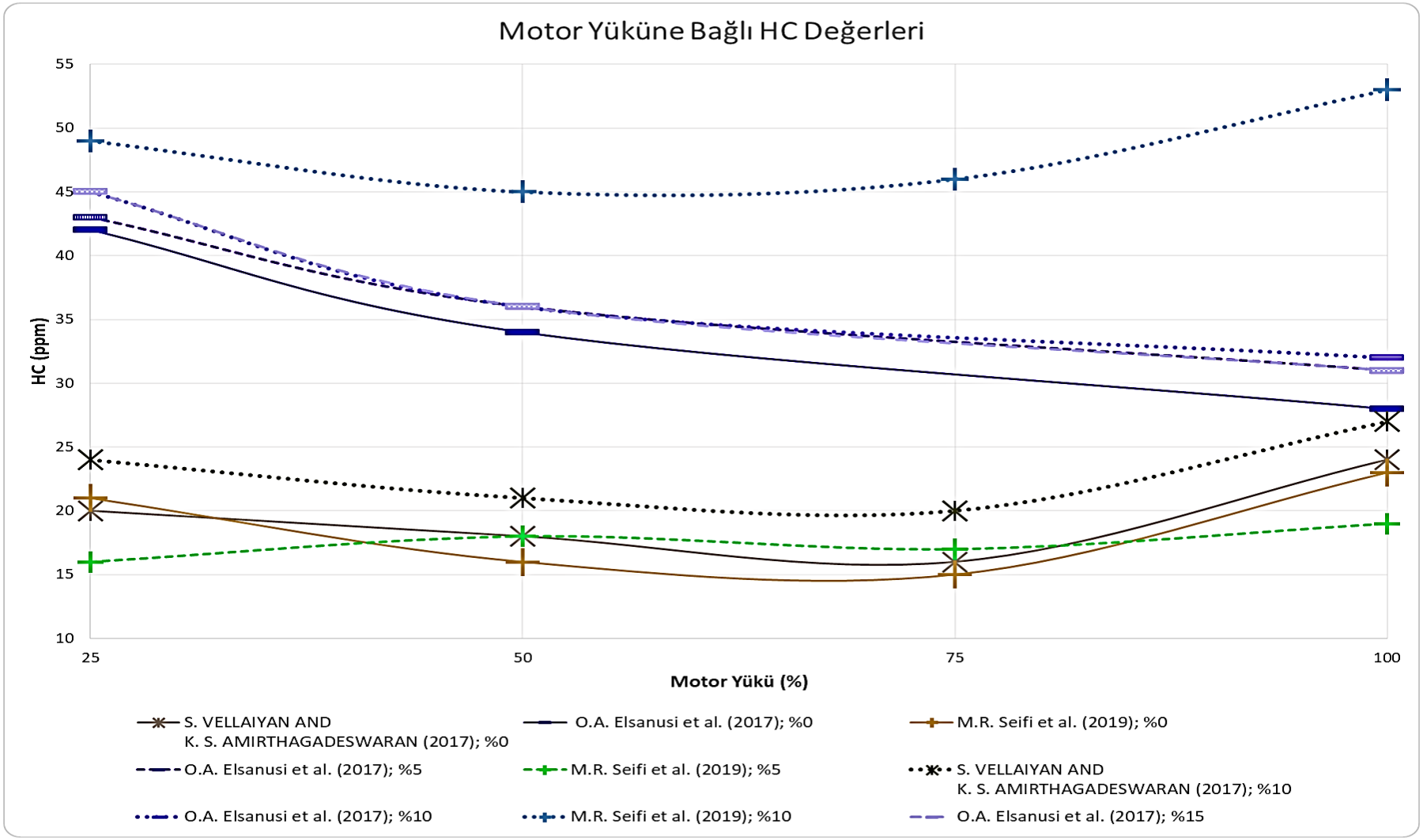


Motor Devri(d/dk)	1000	1200	1400	1500	1600	1800	2000	2100	2200	2250	2400	2500	2750	3000	3250
O.A. Elsanusi et al. (2017); %0-15	-29,74							-30,98						-28,22	
A. Alahmer et al. (2010); %0-15	-17,02			-5,75			3,66					14,29		-6,33	
V. Ayhan (2016); %0-15		-7,35	-6,39		-3,27	-4,98	-8,08		-13,67	0	-21,92				
E. Yılmaz ve ark (2013); %0-15						-33,82	-36,44			-45,05		-44,07	-67,72	-58,09	-61,83

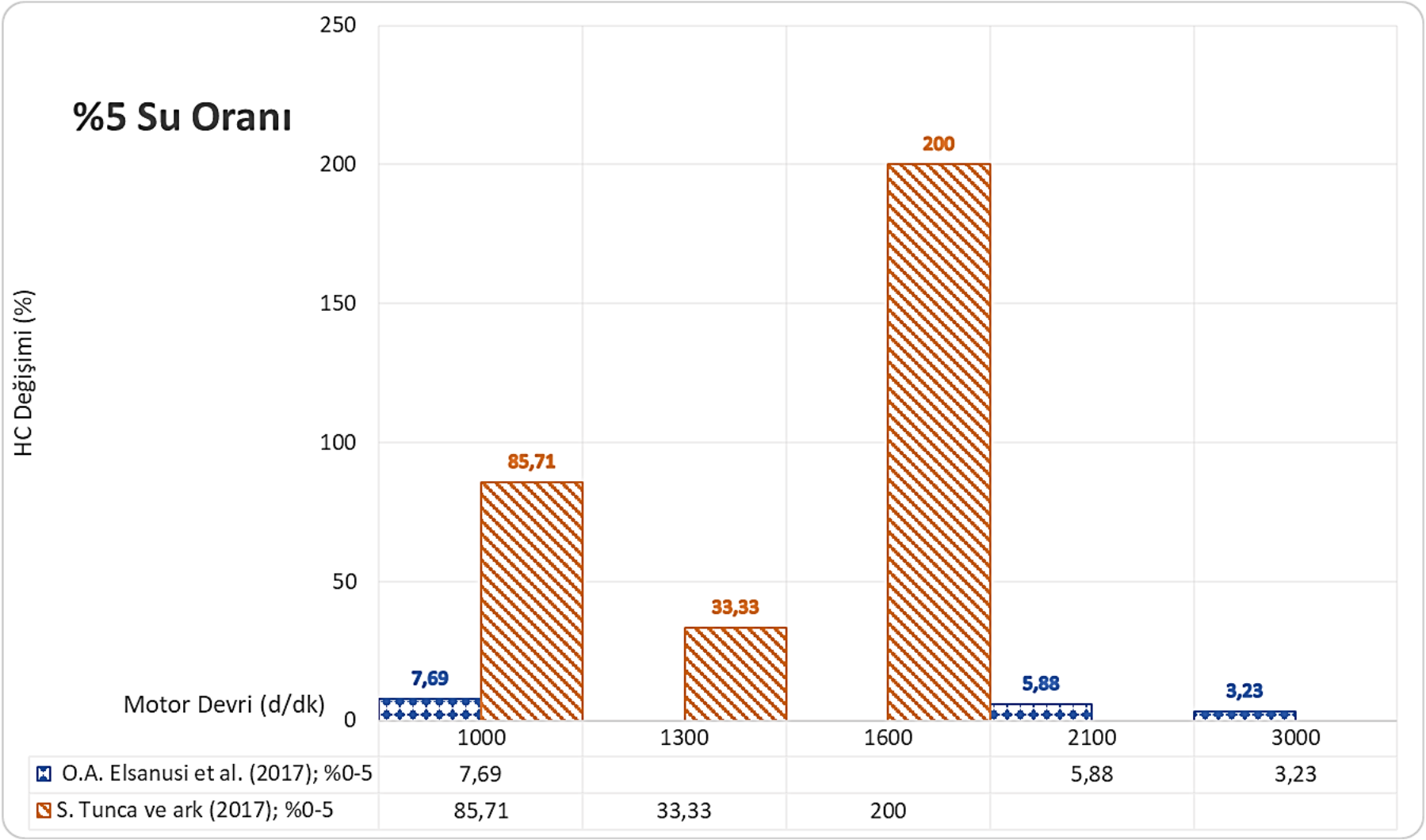
EK 5. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi egzoz emisyonu verileri.



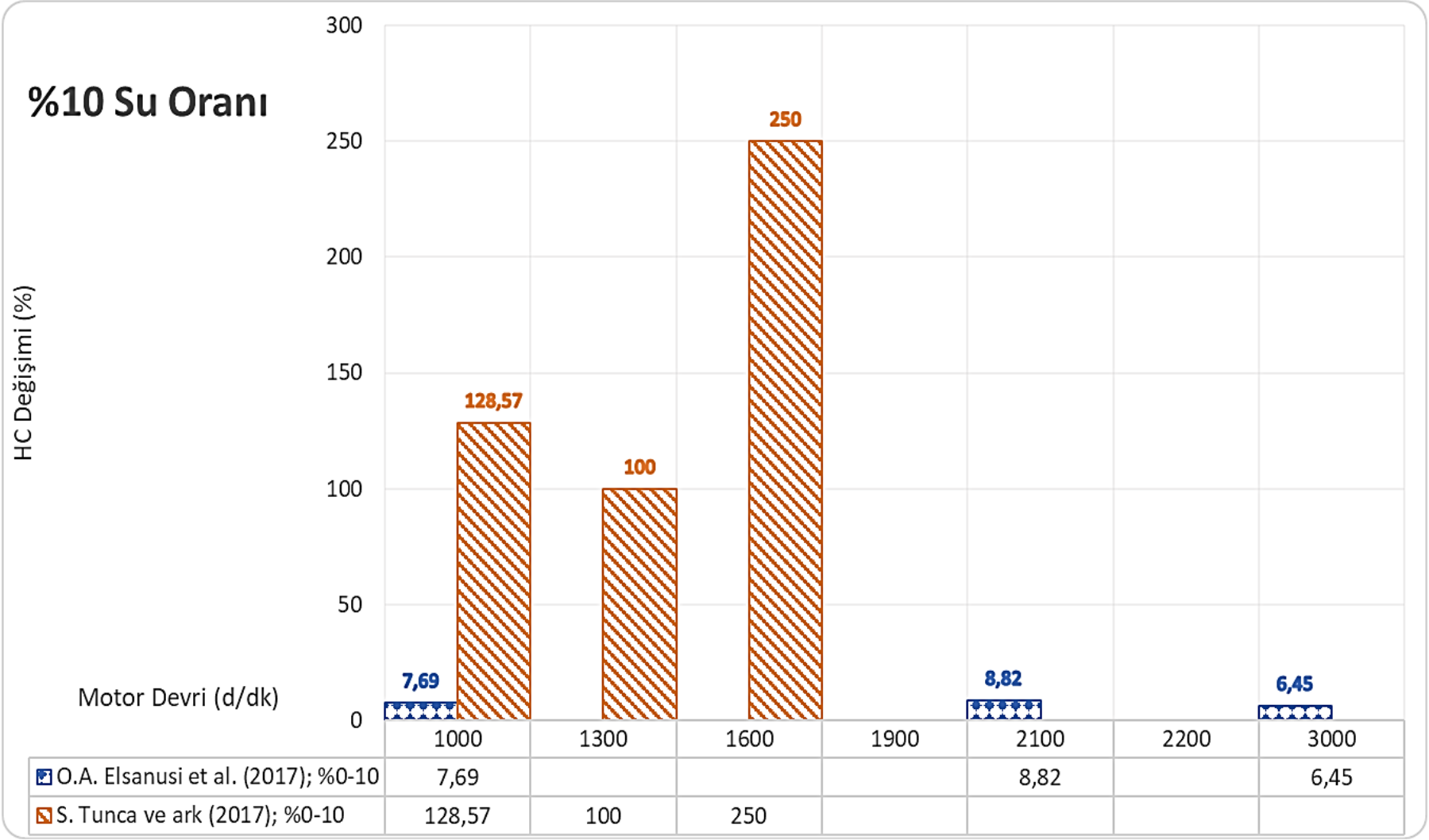
EK 5. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi egzoz emisyonu verileri.



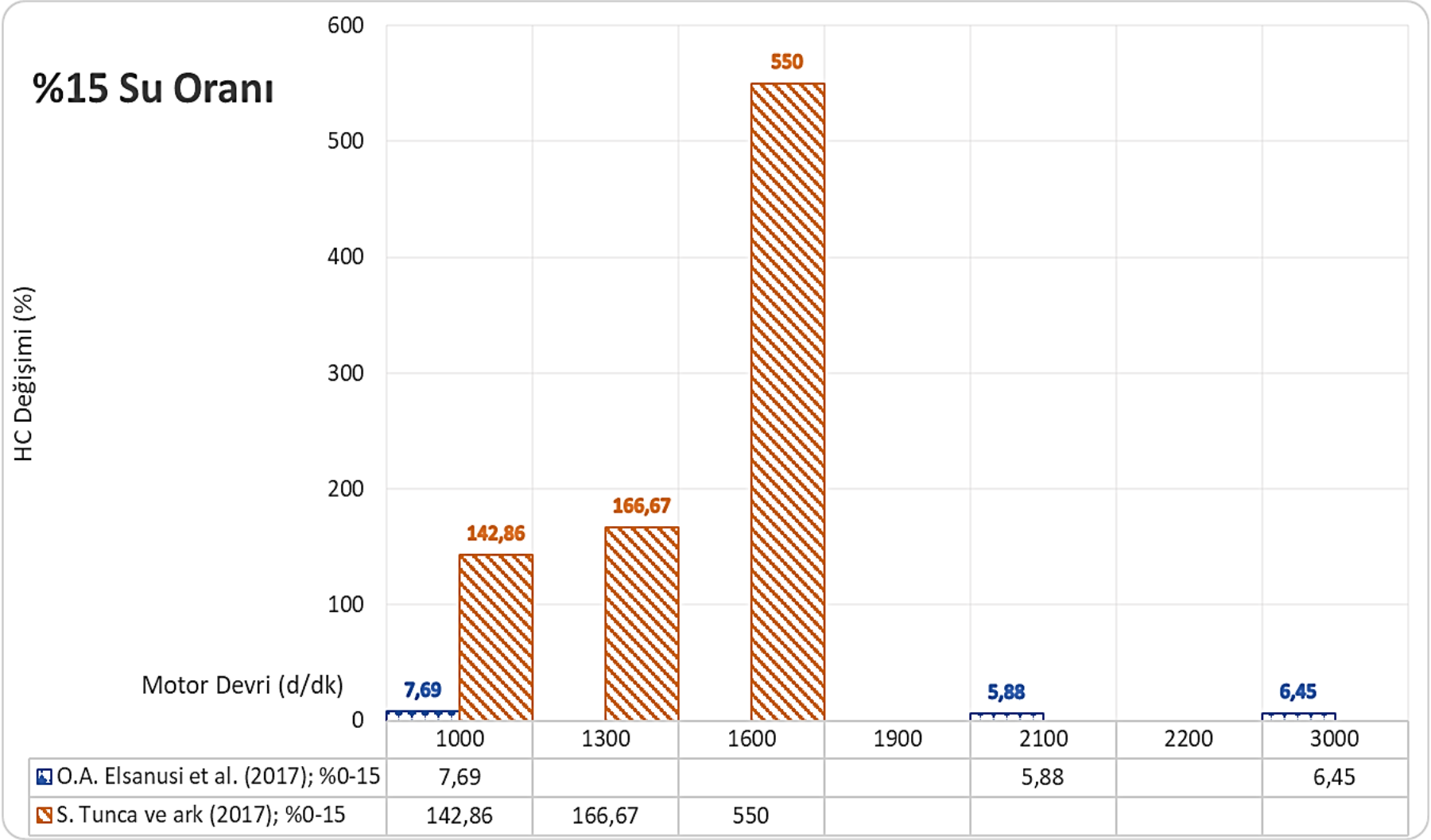
EK 5. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi egzoz emisyonu verileri.



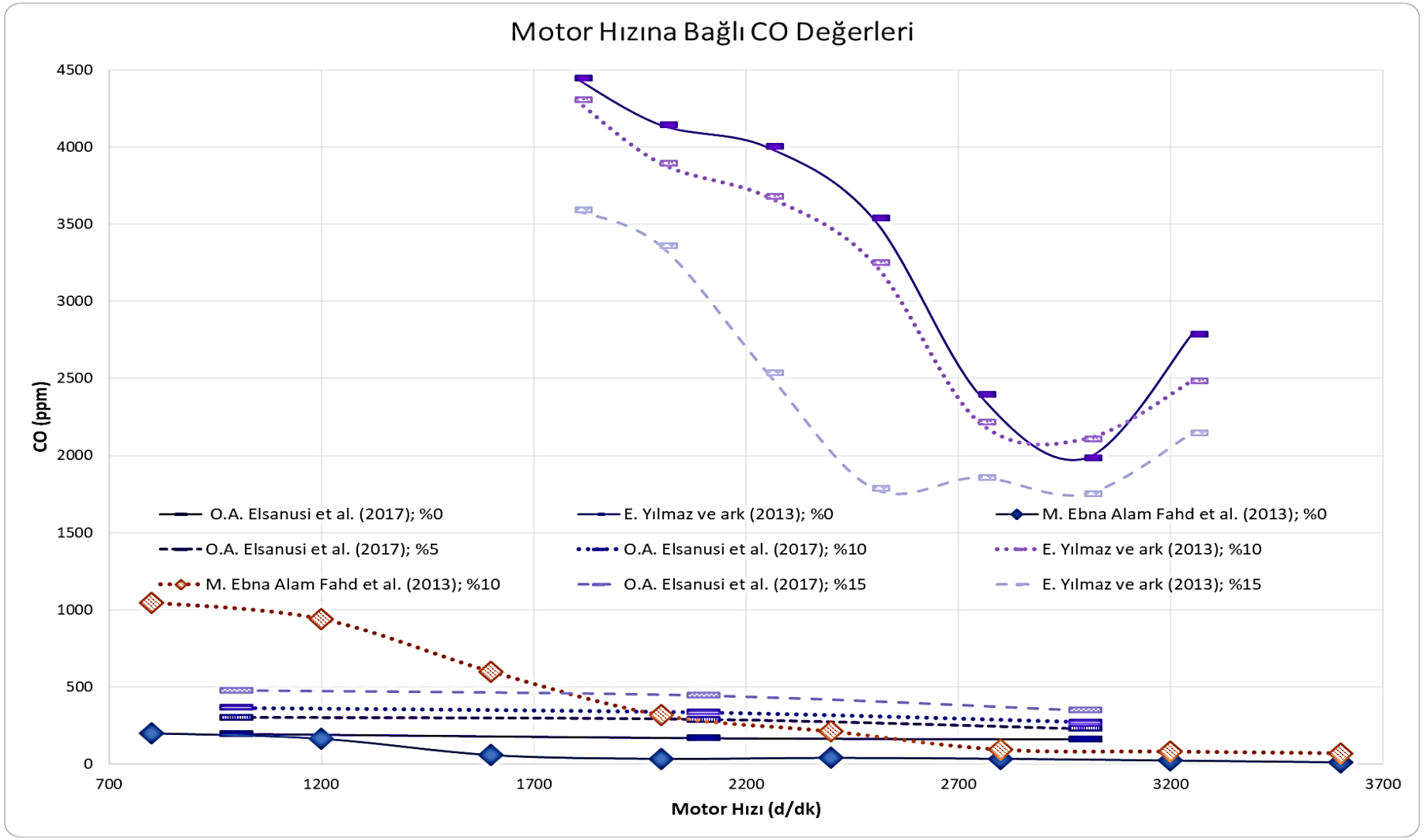
EK 5. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi egzoz emisyonu verileri.



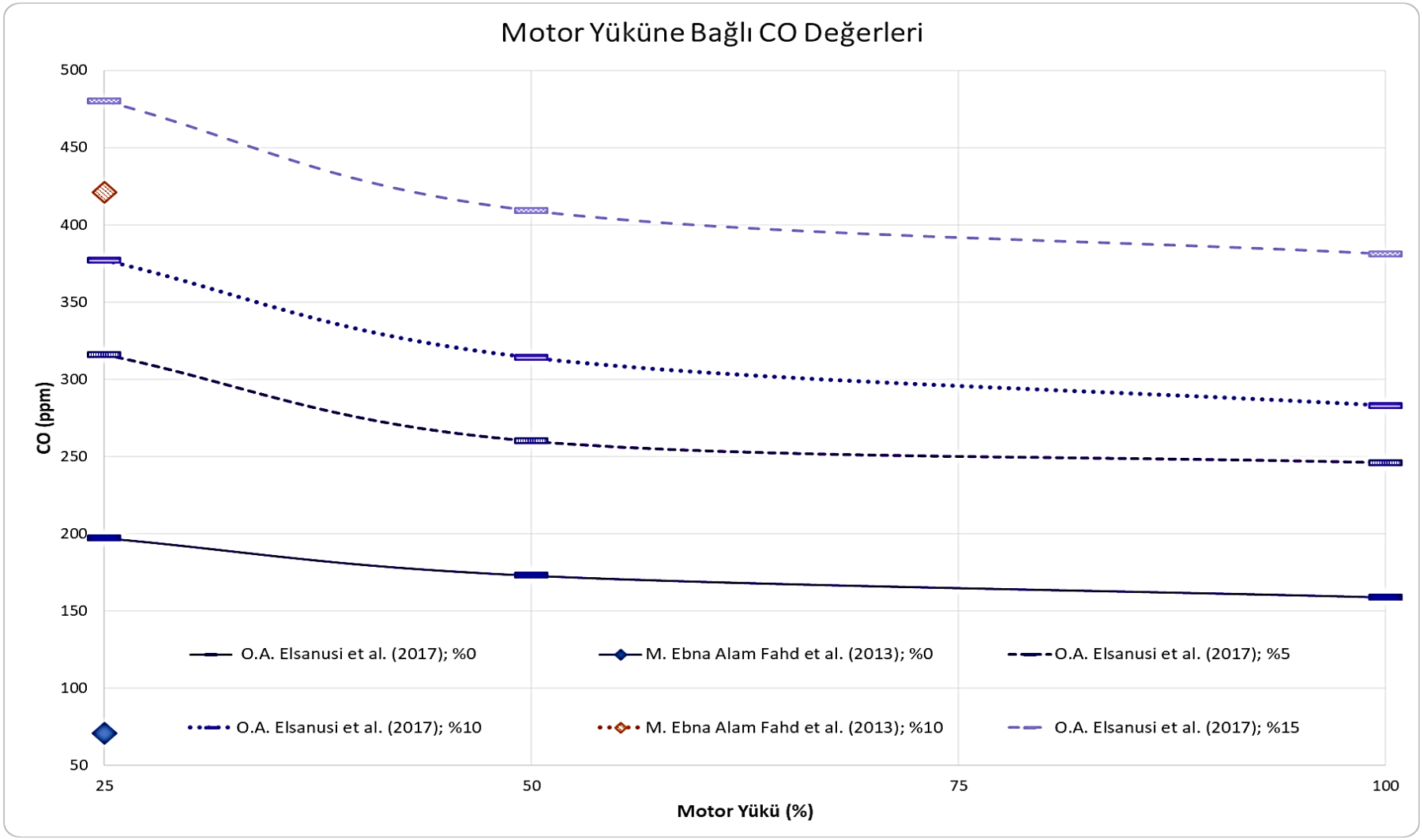
EK 5. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi egzoz emisyonu verileri.



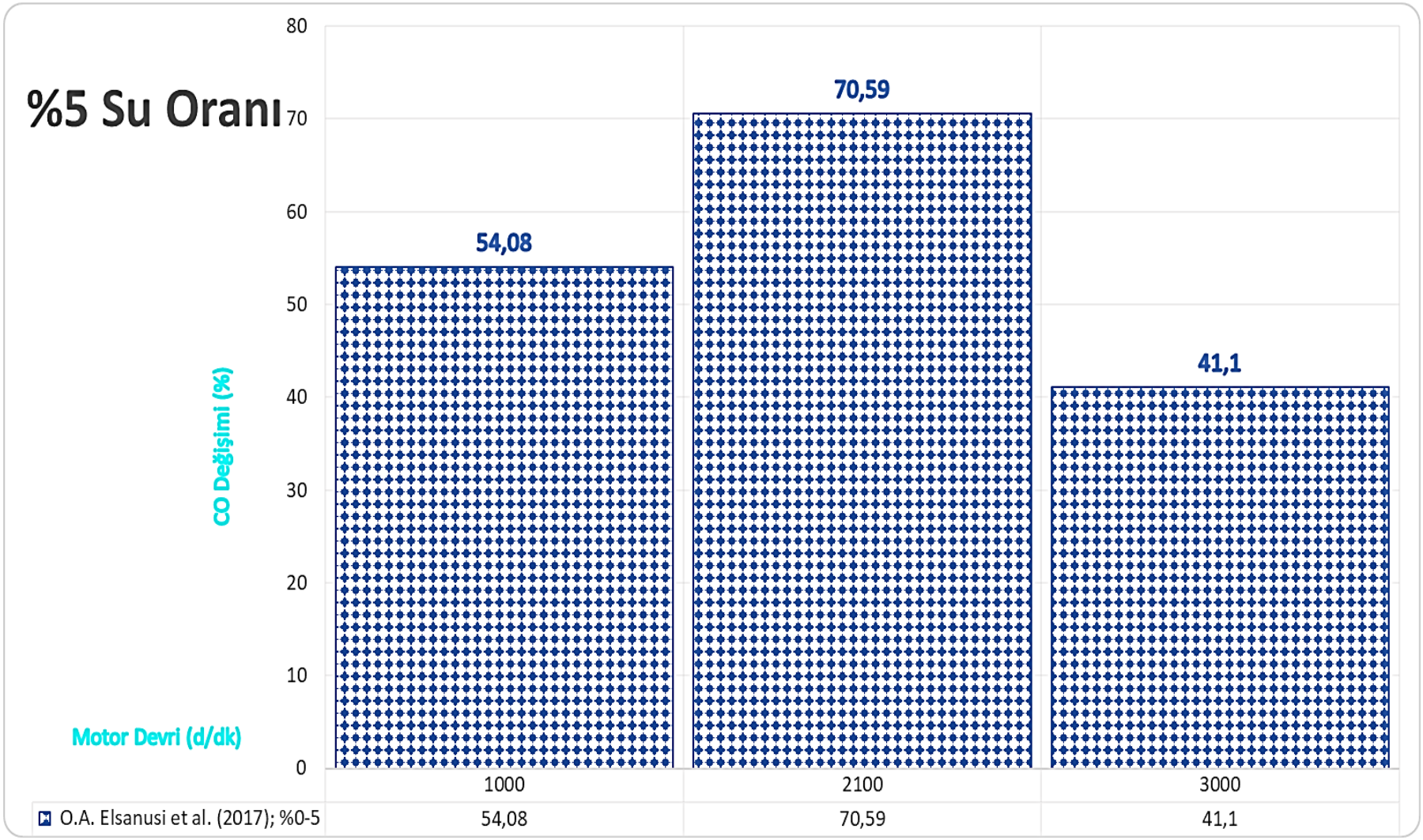
EK 5. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi egzoz emisyonu verileri.



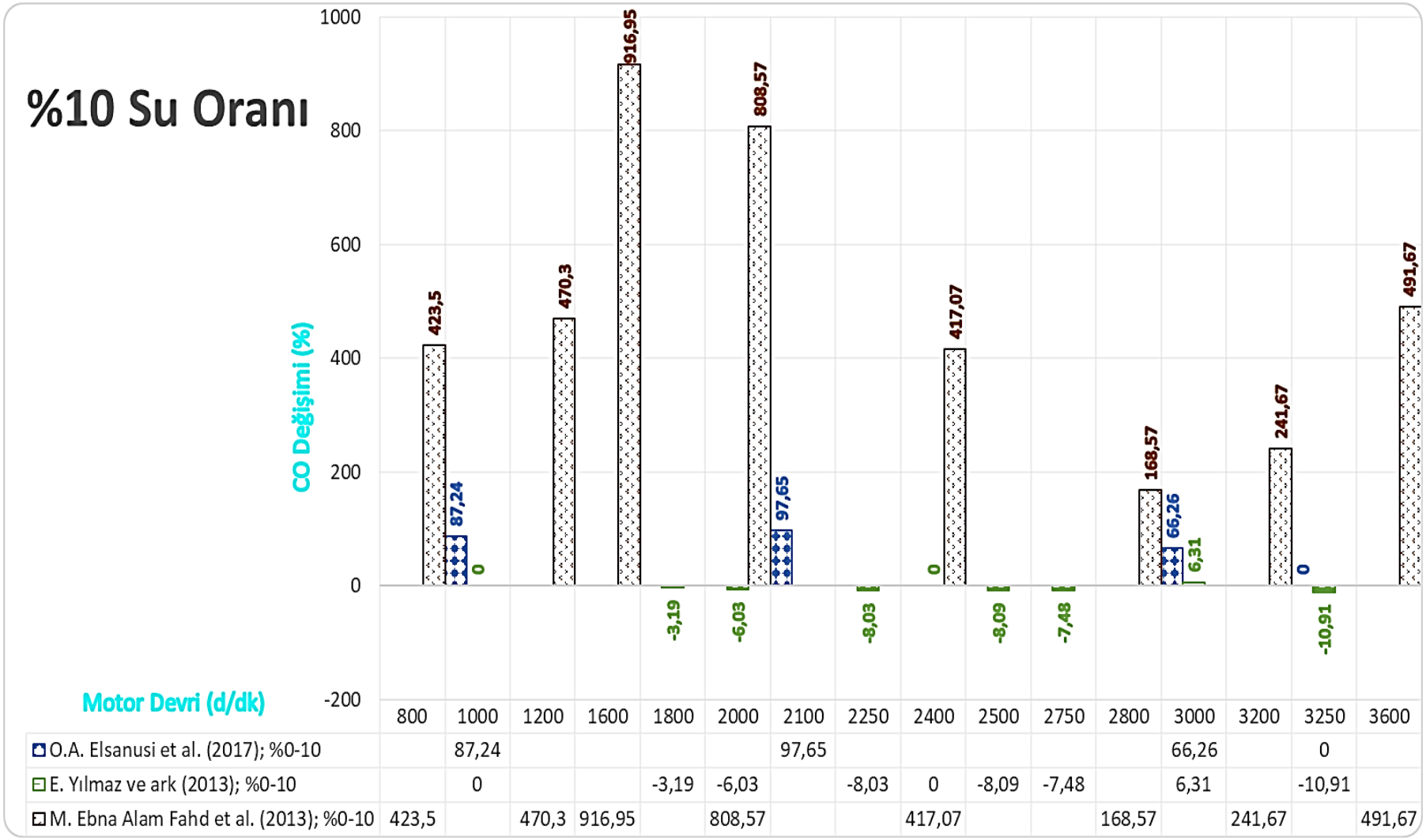
EK 5. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi egzoz emisyonu verileri.



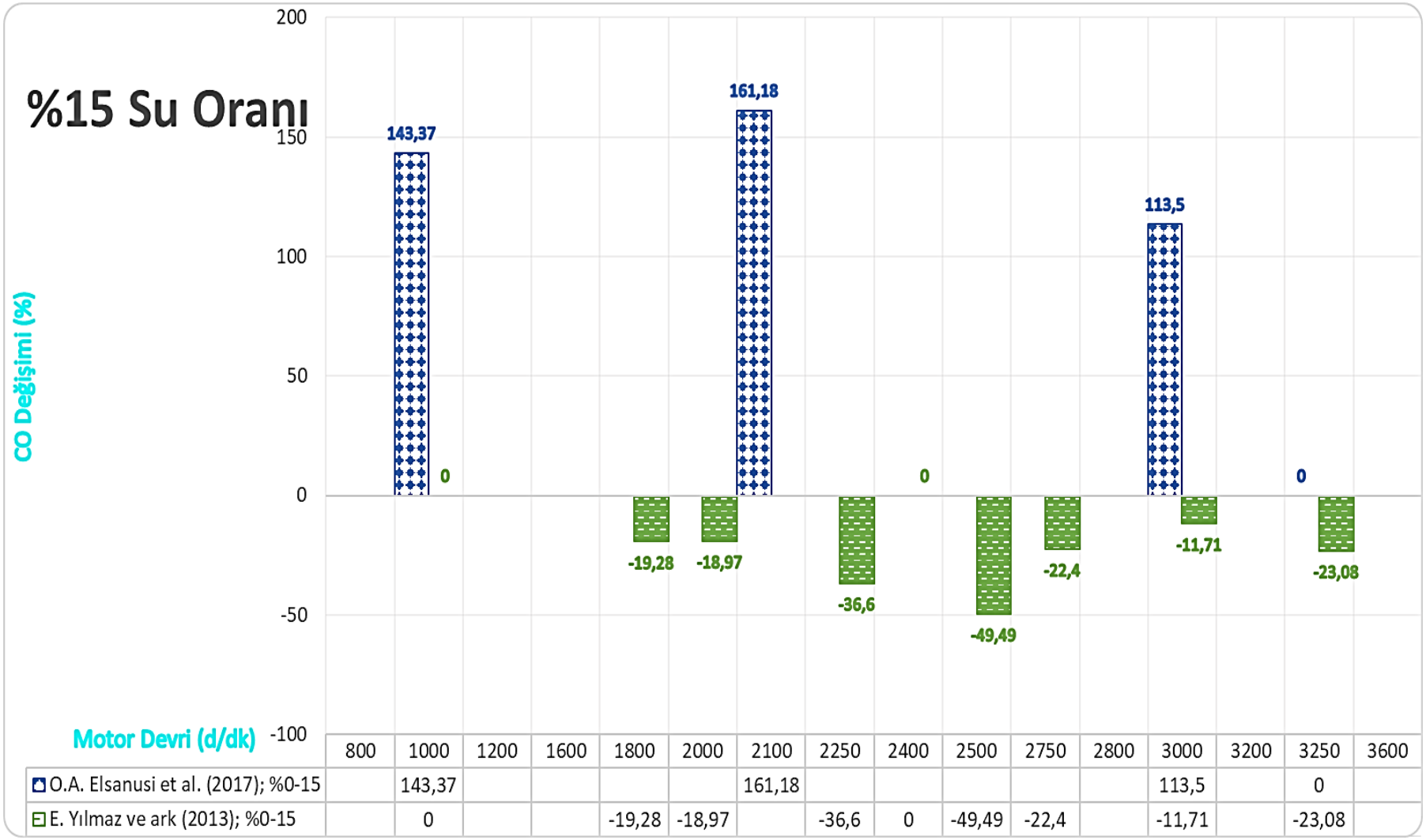
EK 5. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi egzoz emisyonu verileri.



EK 5. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi egzoz emisyonu verileri.

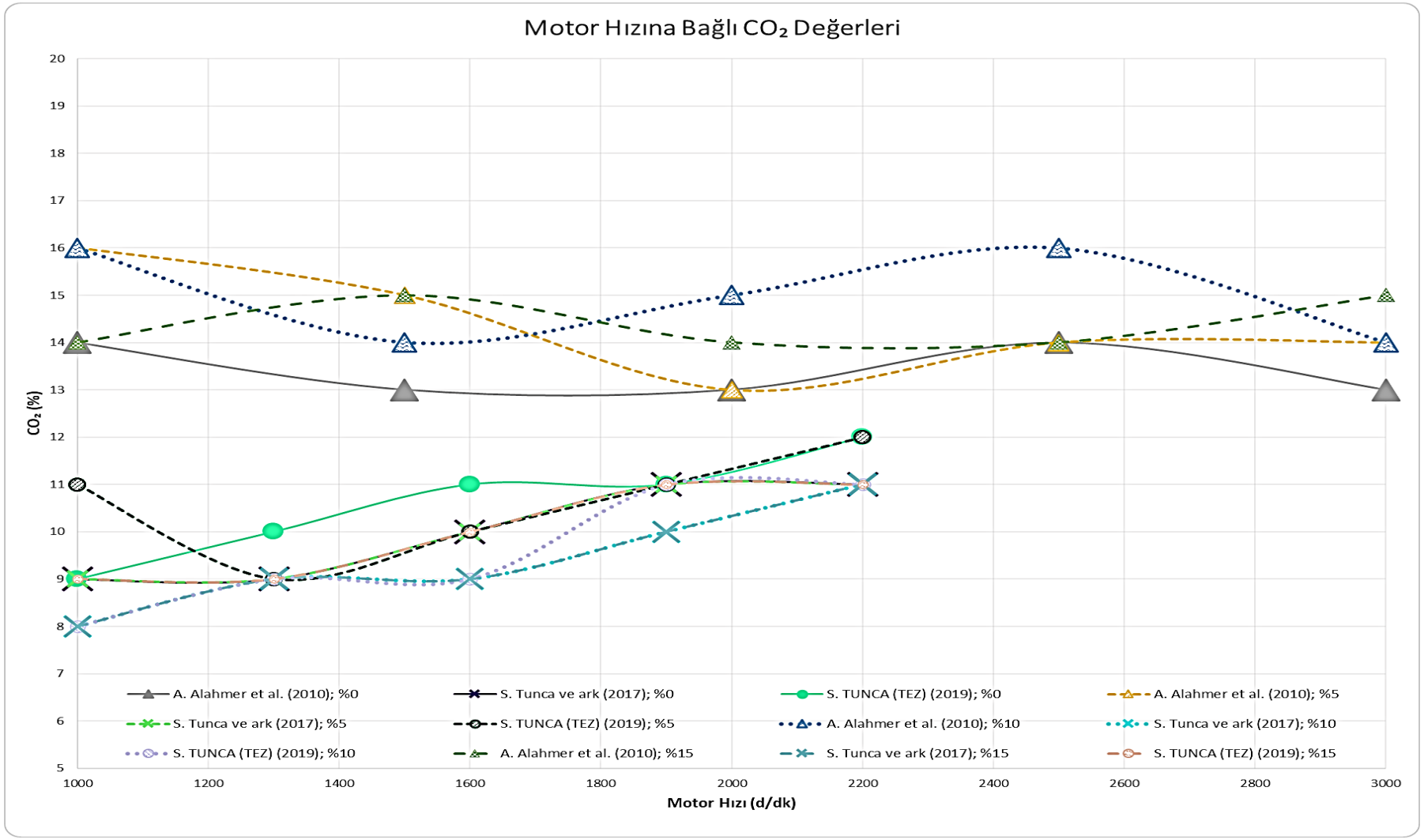


EK 5. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi egzoz emisyonu verileri.

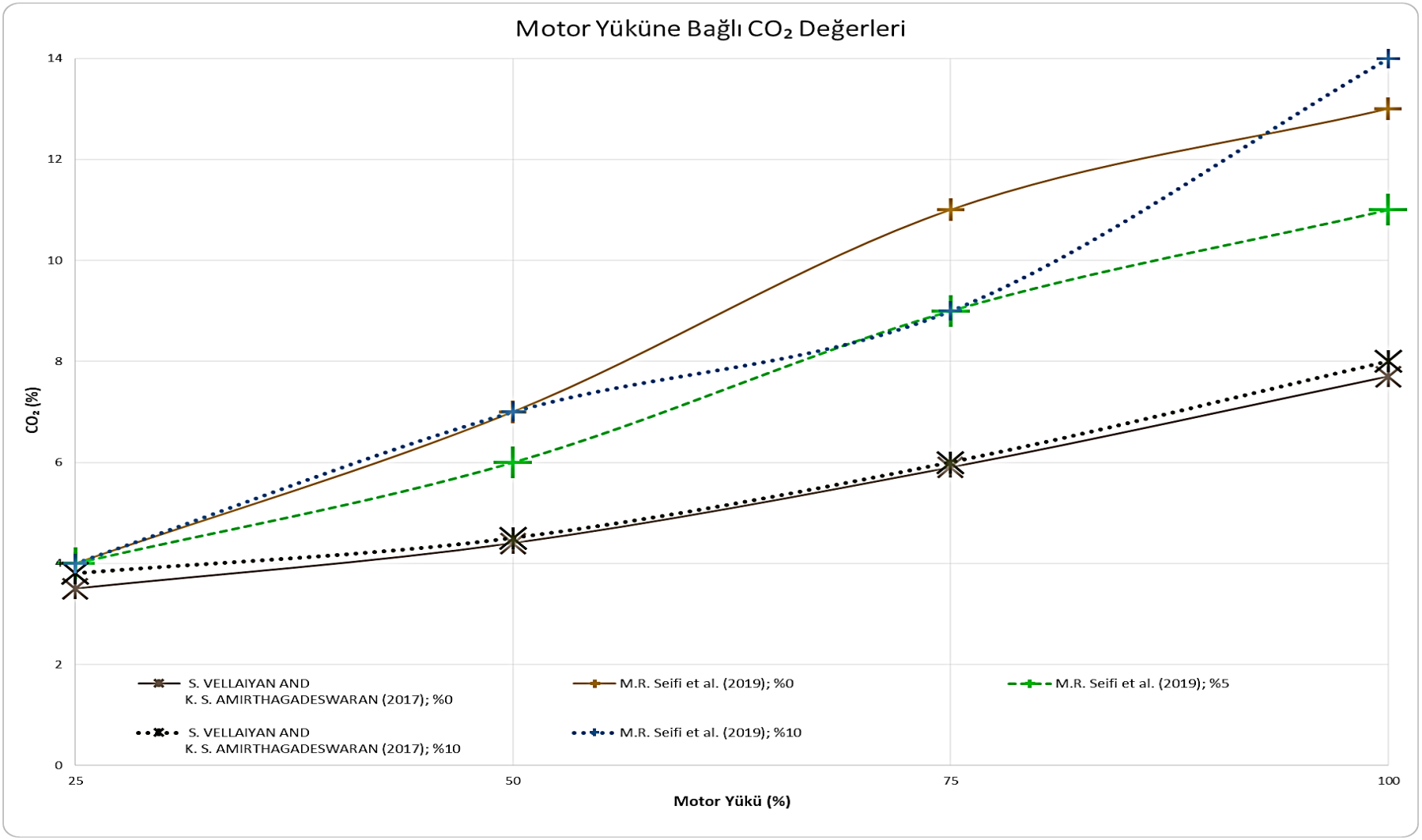


Motor Devri (d/dk)	800	1000	1200	1600	1800	2000	2100	2250	2400	2500	2750	2800	3000	3200	3250	3600
O.A. Elsanusi et al. (2017); %0-15		143,37					161,18						113,5		0	
E. Yılmaz ve ark (2013); %0-15		0			-19,28	-18,97		-36,6	0	-49,49	-22,4		-11,71		-23,08	

EK 5. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi egzoz emisyonu verileri.

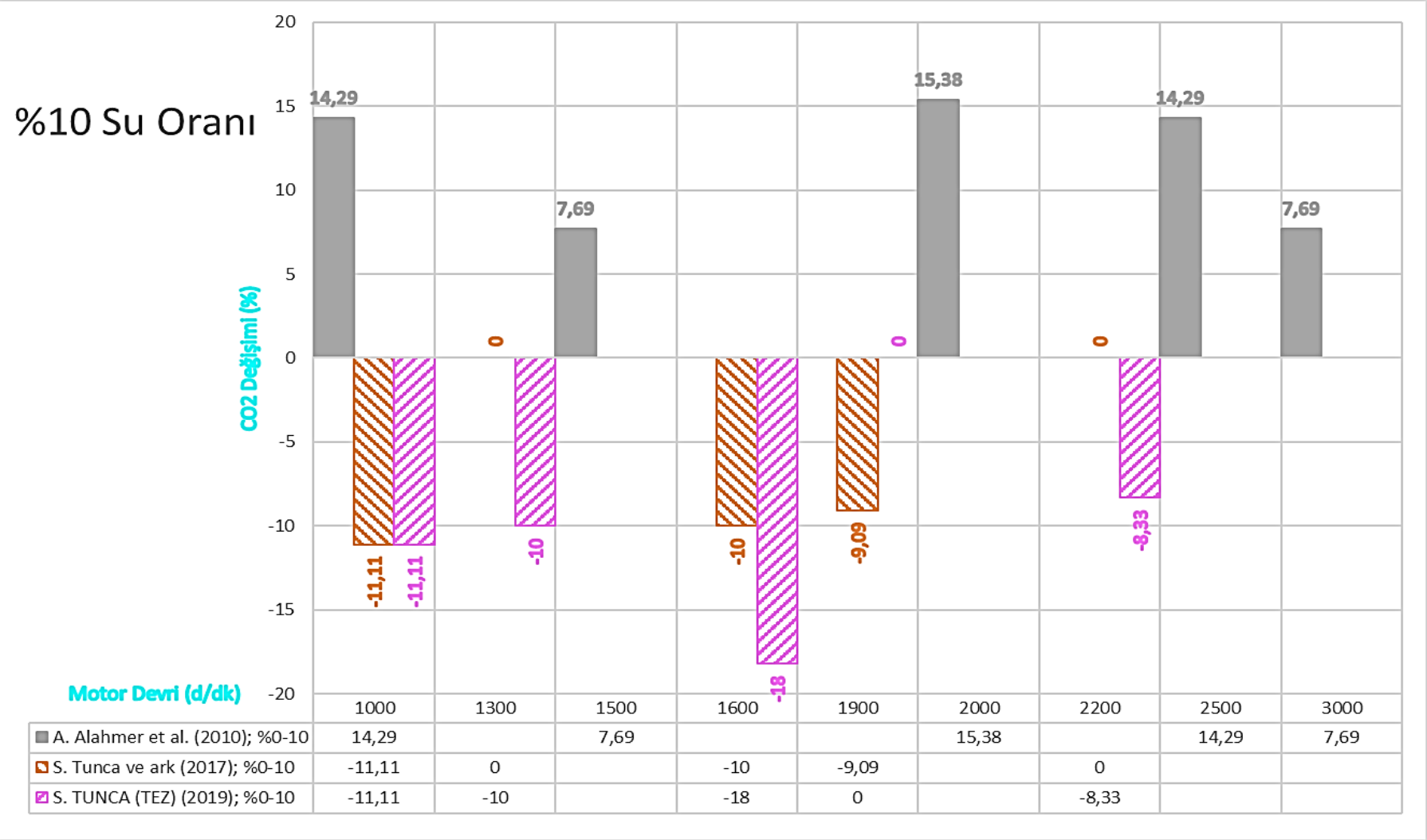


EK 5. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi egzoz emisyonu verileri.



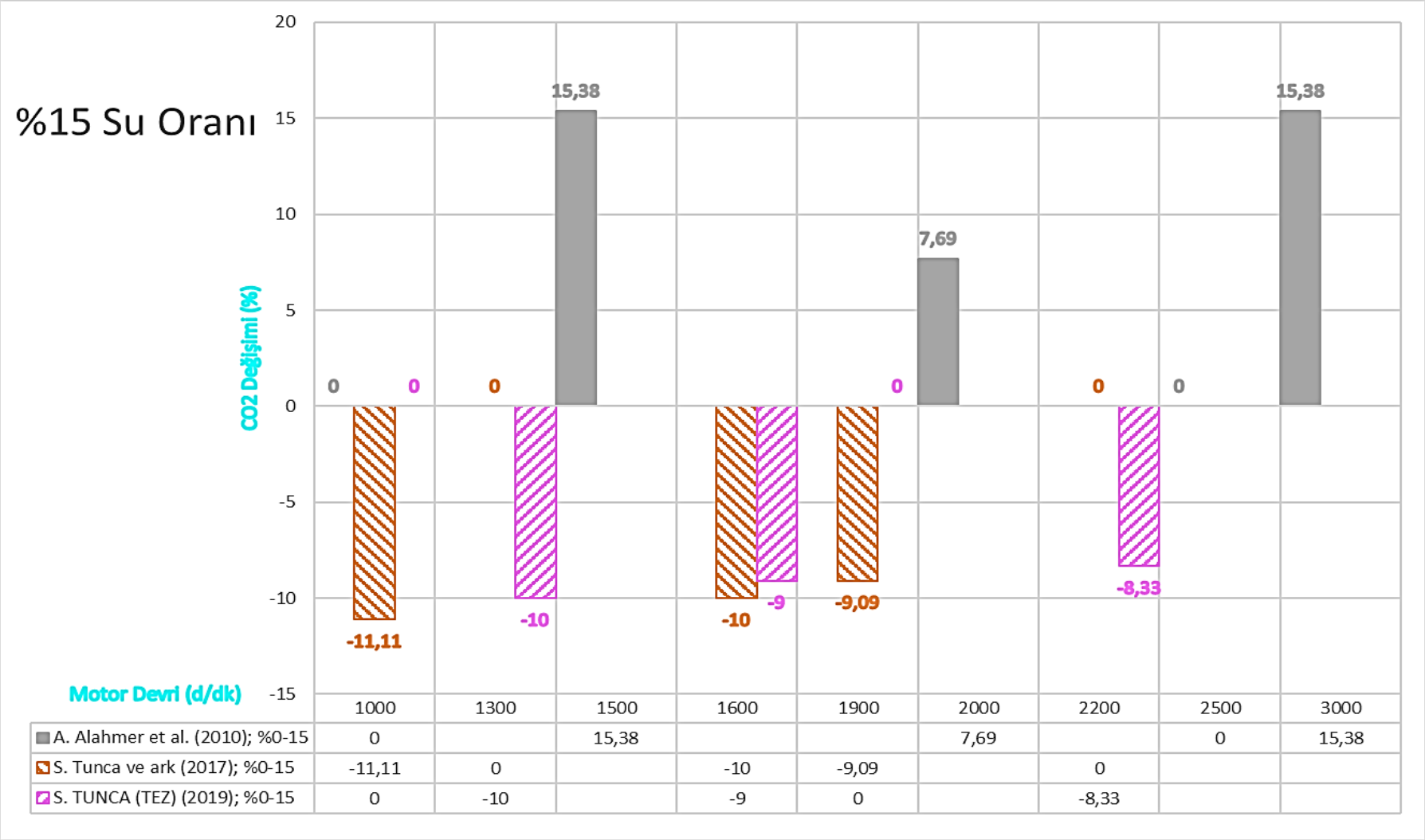
EK 5. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi egzoz emisyonu verileri.

EK 5. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi egzoz emisyonu verileri.

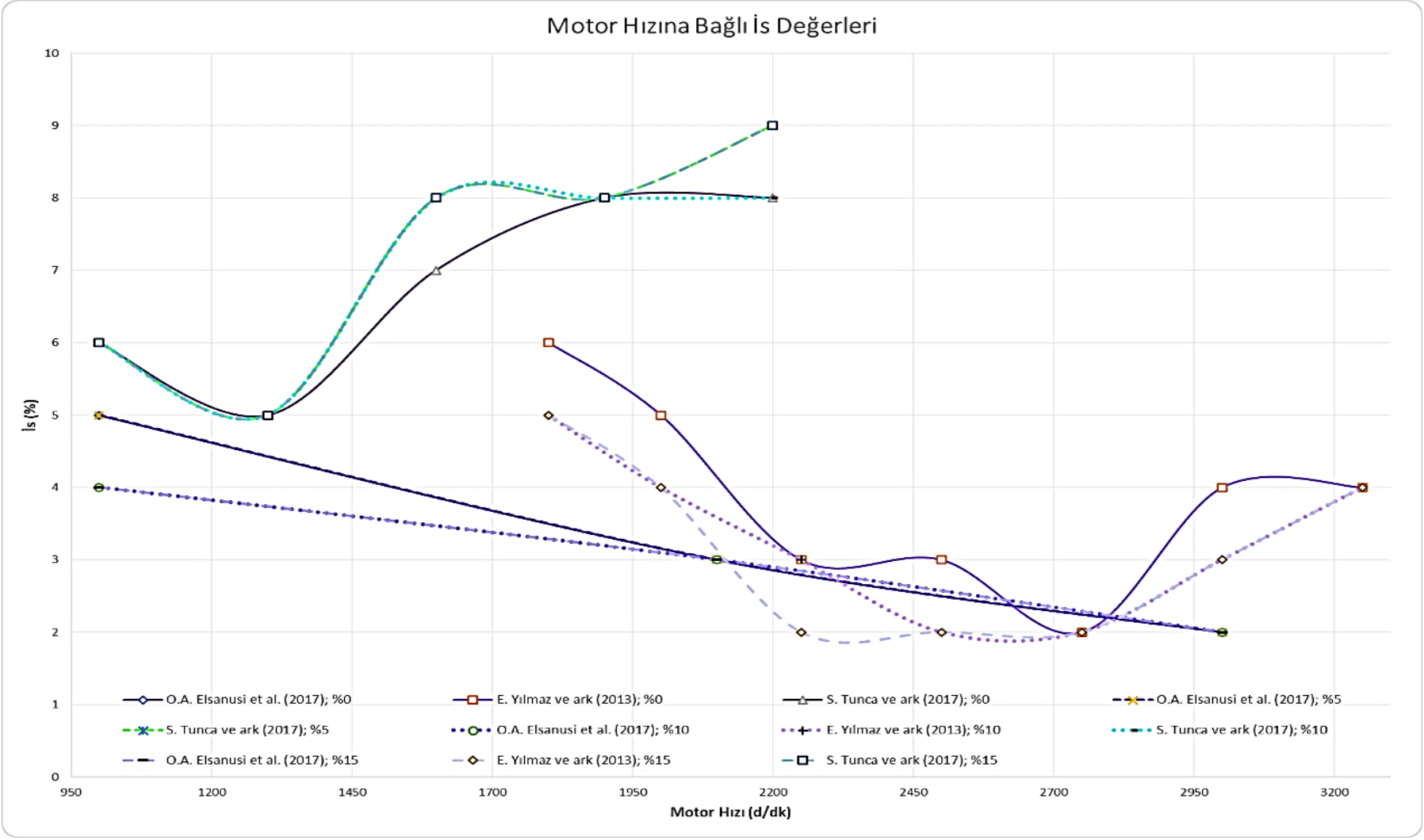


Motor Devri (d/dk)	1000	1300	1500	1600	1900	2000	2200	2500	3000
A. Alahmer et al. (2010); %0-10	14,29		7,69			15,38		14,29	7,69
S. Tunca ve ark (2017); %0-10	-11,11	0		-10	-9,09		0		
S. TUNCA (TEZ) (2019); %0-10	-11,11	-10		-18	0		-8,33		

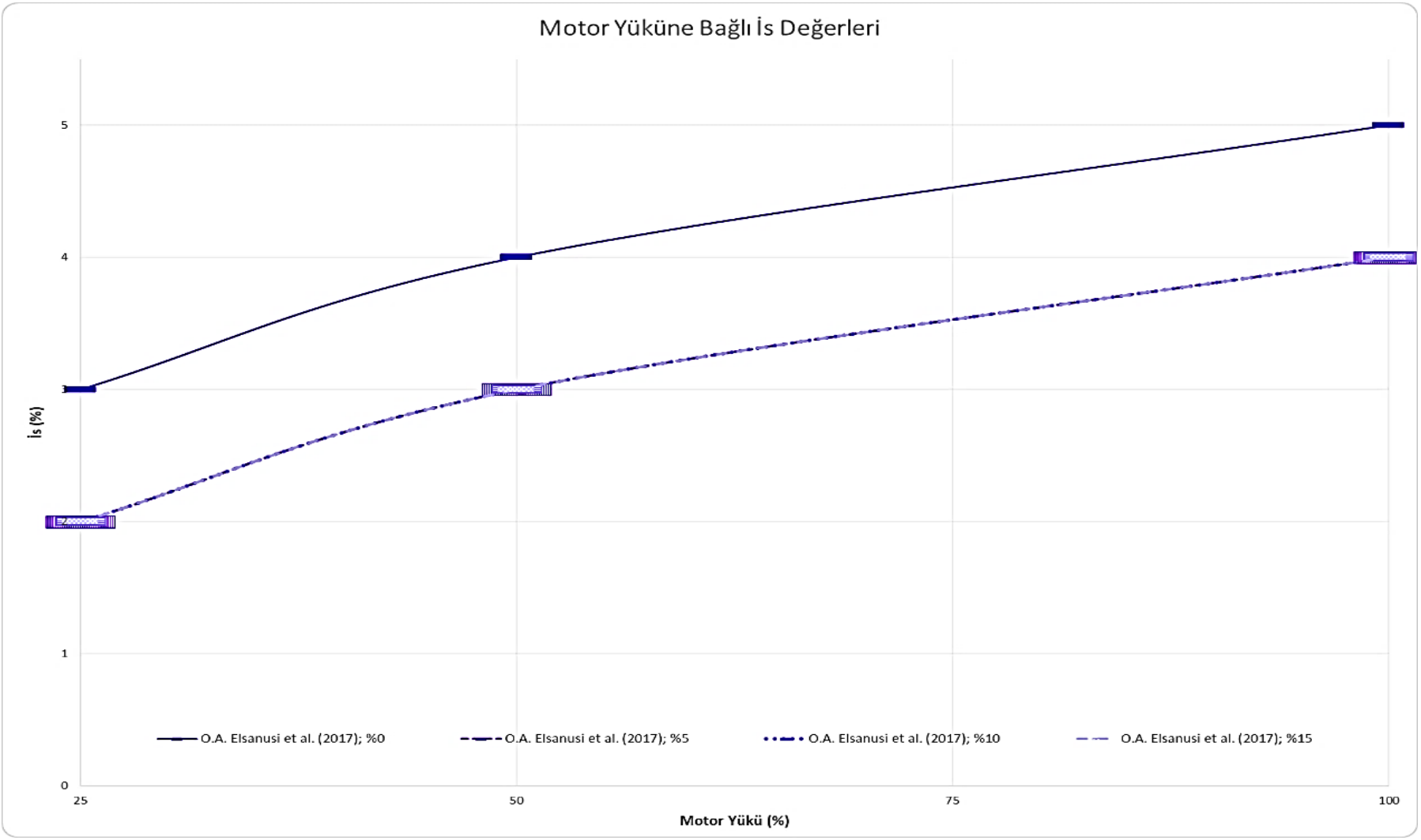
EK 5. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi egzoz emisyonu verileri.



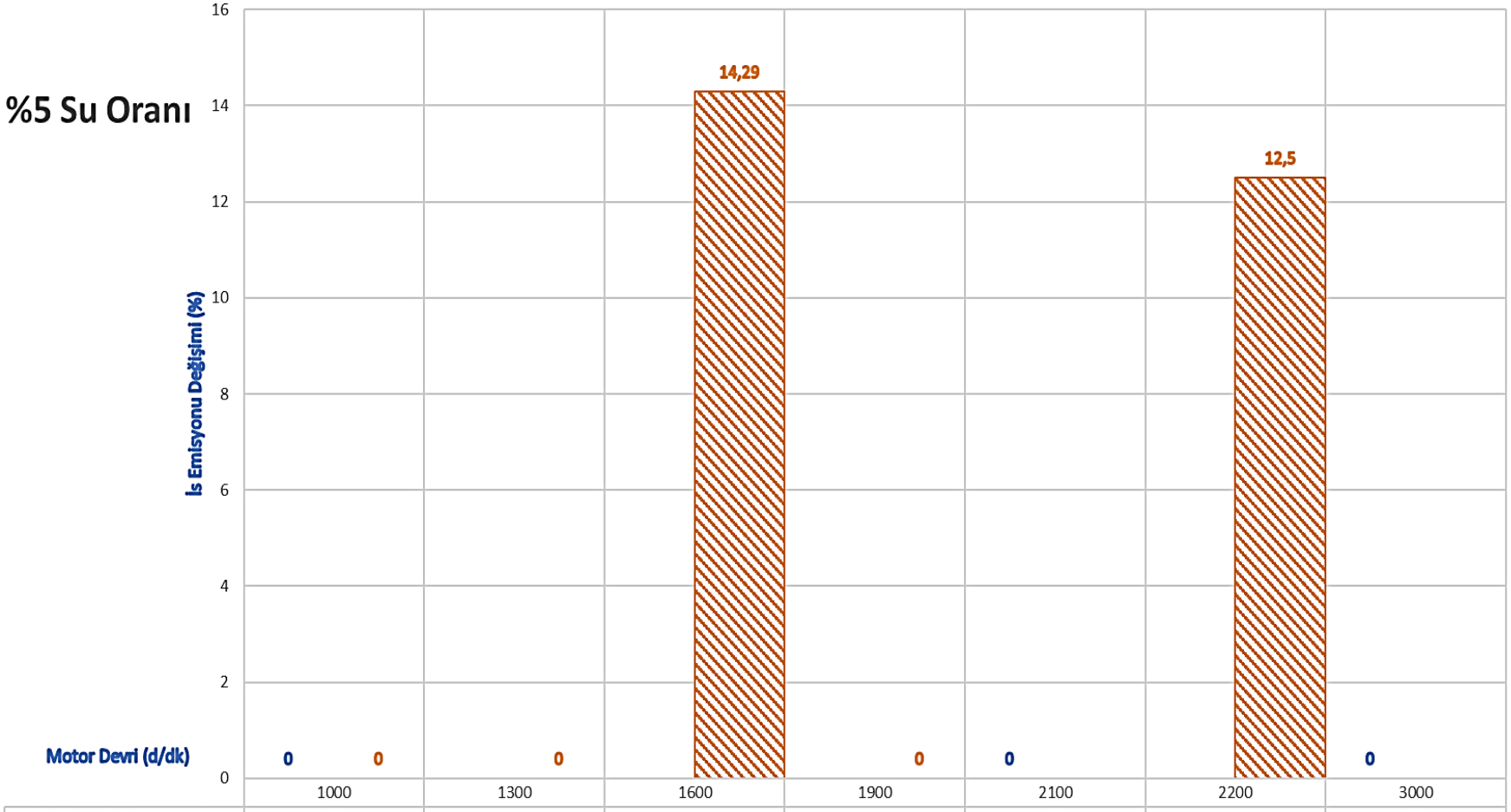
EK 5. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi egzoz emisyonu verileri.



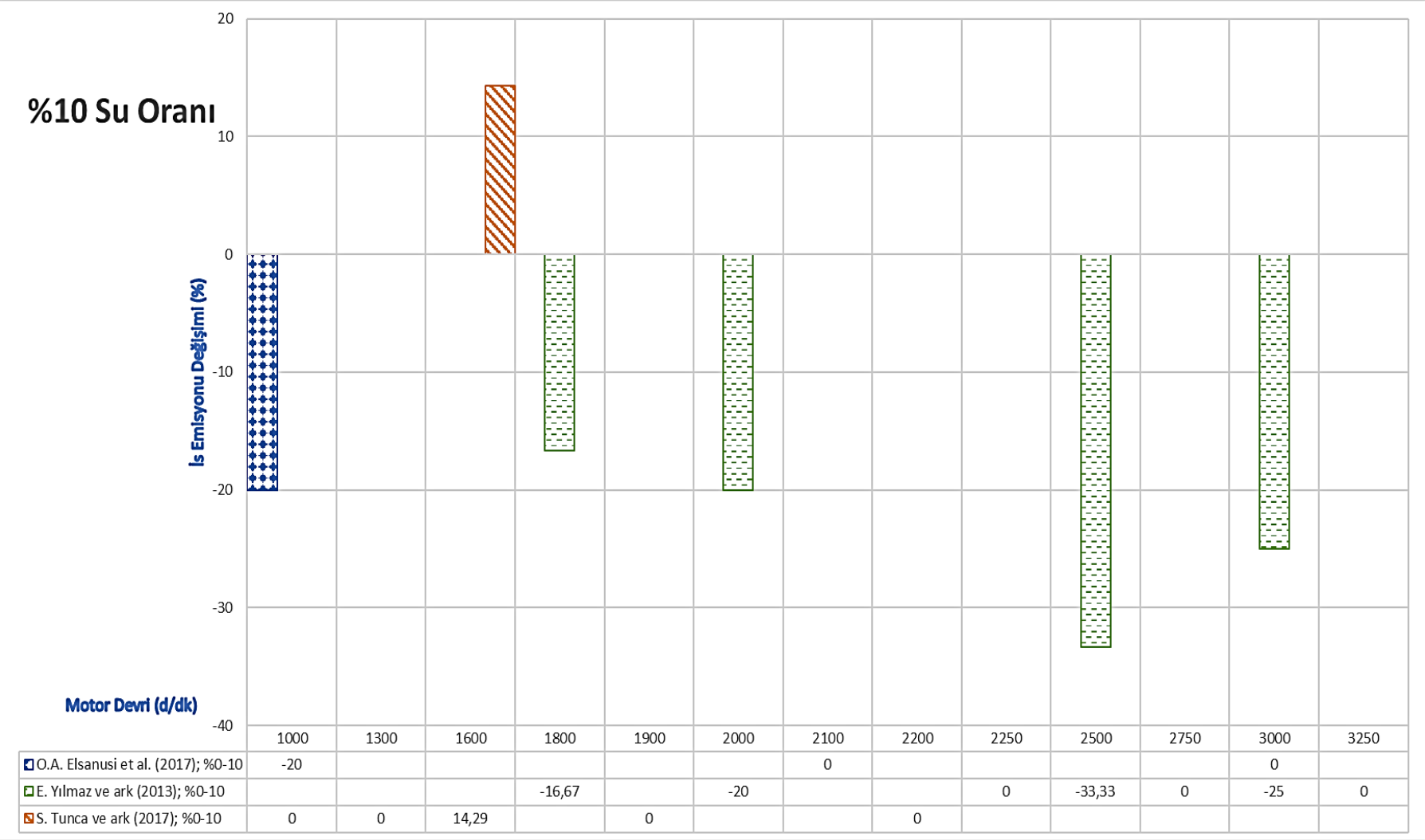
EK 5. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi egzoz emisyonu verileri.



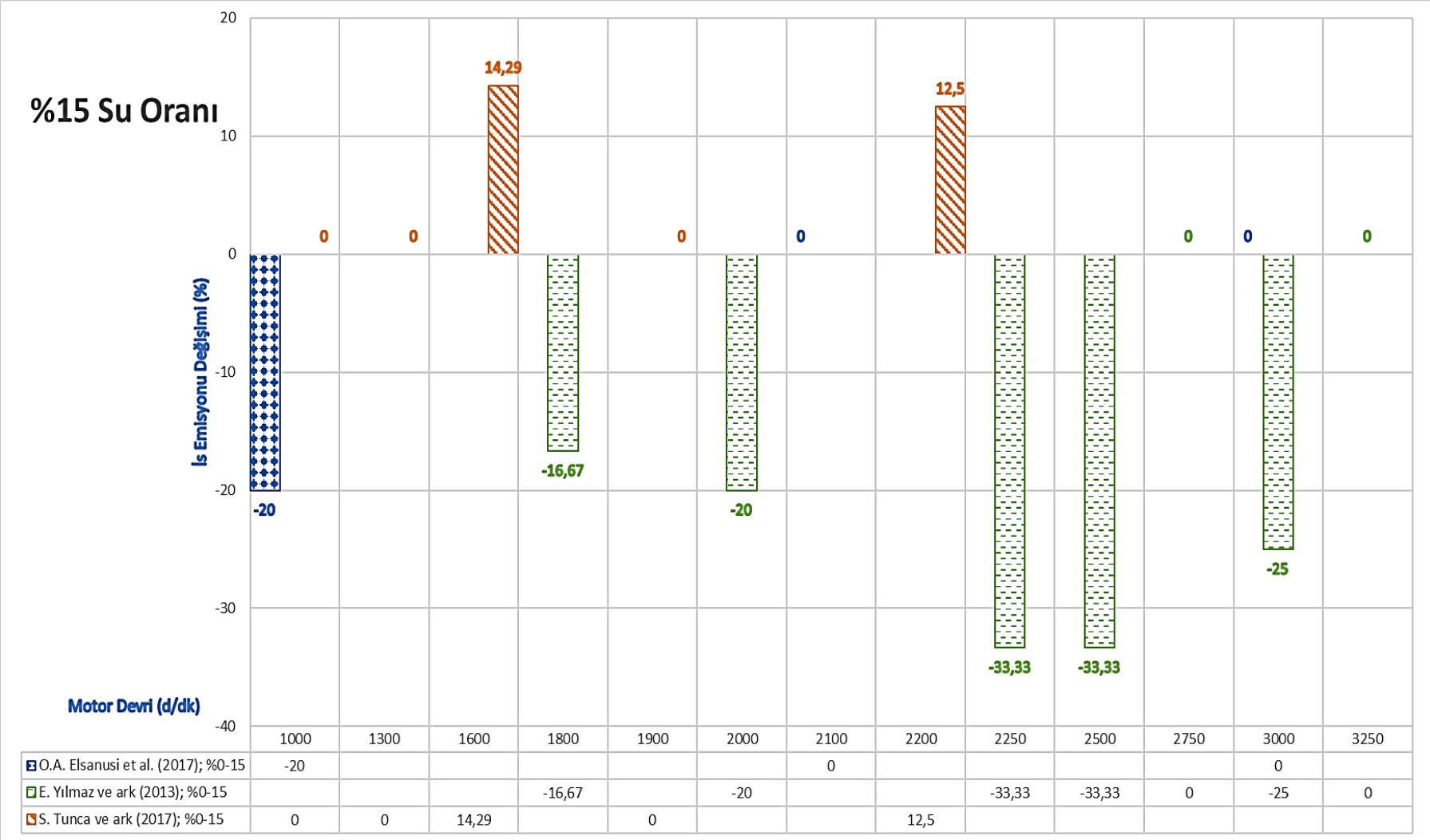
EK 5. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi egzoz emisyonu verileri.



EK 5. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi egzoz emisyonu verileri.



EK 5. (Devam) Literatüre bağlı emülsifiye yakıt yöntemi egzoz emisyonu verileri.



EK 6. Yakıt karışımları hazırlama süreci.

Tarih	Karışım No	Kompozisyon	Karışım Oranı (%)	Karışım Miktarı (lt)	Karıştırma Devri (dev/dk)	Karıştırma Öncesi Mazot Sıcaklığı	Karıştırma Sıcaklığı (ºC)	Karıştırma Sonu Sıcaklık (ºC)	Karışım Fotoğrafı	Ertesi Gün Fotoğrafı	NOT
22.03.2023	1	Mazot+Tween80+Saf su	94+1+5	2	1000	18	Oda Sıcaklığı	32			600ml mazot +100ml su+ 20ml surfaktan karıştırıldı. 1200ml karışmakta olan mazota yavaş yavaş eklendi. Tortulanma, sakızlanma görüldü, homojen karışım elde edilemedi. 1 gün sonra gözle görülür faz ayrışması mevcut.
	2		94+1+5	2	1000	19	45-50	48,8			1880 ml mazot 10 dk boyunca O.S.-50° ısıtılarak (1000d/dk) karıştırıldı. 20ml surfaktan 10ml olarak 2 seferde eklendi (toplam 10 dk, 50° mazot sıcaklığında). 100ml su 50° mazot+surfaktan karışımına 10 ml olarak 10 seferde eklendi (toplam 30dk). 45-50° derece sıcaklıkta mazot+surfaktan+su karışımı 1 saat boyunca (1000 d/dk) karıştırıldı. 1 gün sonunda az miktarda faz ayrışması mevcut.
23.03.2023	3	Mazot+Tween80+Saf su	89+1+10	2	1000	17	45-50	49,7			1780ml mazot O.S.-50° kadar ısıtılarak 15dk karıştırıldı (1000d/dk). 20ml surfaktan 50-55° sıcaklığındaki mazota 1ml şırınga ile toplam 10dk içinde eklendi. Mazot+Surfaktan karışımı 50-55° sıcaklıkta 15 dk boyunca (1000 d/dk) karıştırıldı. 200ml Su, 45-50° sıcaklıktaki mazot+surfaktan karışımına 10ml şırınga ile toplam 30dk içinde eklendi. 45-50° sıcaklıkta mazot+surfaktan +su karışımı (1000 d/dk) 1 saat boyunca karıştırıldı. (Toplam süre: 2 saat)
	4		89+1+10	2	1000	18	55-60	50,2			1780ml mazot 1000d/dk, O.S-50° kadar ısıtılarak 55-60° sıcaklıkta 15dk karıştırıldı. 20ml surfaktan 55-60° sıcaklık aralığındaki mazota 1ml şırınga ile toplam 10dk içinde ilave edildi (1000 d/dk). Mazot+surfaktan karışımı 55-60° sıcaklıkta 15 dk boyunca (1000 d/dk) karıştırıldı. 200ml Su, 50-55° sıcaklıktaki mazot+surfaktan karışımına 10ml şırınga ile toplam 30dk içinde ilave edildi. 45-50° sıcaklıkta mazot+surfaktan +su karışımı (1000 d/dk) 1 saat boyunca karıştırıldı. (Toplam süre: 2 saat)

EK 6. (Devam) Yakıt karışımları hazırlama süreci.

Tarih	Karışım No	Kompozisyon	Karışım Oranı (%)	Karışım Miktarı (lt)	Karıştırma Devri (dev/dk)	Karıştırma Öncesi Mazot Sıcaklığı	Karıştırma Sıcaklığı (°C)	Karıştırma Sonu Sıcaklık (°C)	Karışım Fotoğrafı	Ertesi Gün Fotoğrafı	NOT
16.05.2023	5	Mazot+NP10+Saf su	94+1+5	1,5	1250	21	35-40	39,7			1380ml mazot 1000d/dk, O.S-40° kadar ısıtılarak 30-40° sıcaklıkta 15dk karıştırıldı. 20ml surfaktan 40-42° sıcaklığındaki mazota 1ml şırınga ile toplam 10dk içinde ilave edildi (1200 d/dk). Mazot+surfaktan karışımı 40-45° sıcaklıkta 15 dk boyunca (1250 d/dk) karıştırıldı. 100ml Su, 40-45° sıcaklıktaki mazot+surfaktan karışımına 10ml şırınga ile toplam 30dk içinde ilave edildi. 35-40° sıcaklıkta mazot+surfaktan +su karışımı (1250 d/dk) 1 saat boyunca karıştırıldı. (Toplam süre: 2 saat)
17.05.2023	6		94+1+5	2	1000	20,8	20,8-50	49,5			1880ml mazot 1000d/dk, O.S-50° kadar ısıtılarak 30-35° sıcaklıkta 15dk karıştırıldı. 20ml surfaktan 33,5°C sıcaklığındaki mazota 1ml'lik şırınga ile toplam 45 dk içinde eklendi (1000 d/dk-54,3°). Mazot+Surfaktan karışımı 54,1-43,1°C sıcaklıkta 1 saat boyunca 1000 d/dk devirde karıştırıldı. 100ml Su, 43,1°C sıcaklıktaki mazot+surfaktan karışımına 10ml şırınga ile toplam 1 saat içinde eklendi (1000 d/dk-49,7°C). 45-52°C sıcaklıkta mazot+surfaktan +su karışımı (1000 d/dk) 2 saat boyunca karıştırıldı. (Toplam süre: 5 saat).
30.05.2023	7	Mazot+NP10+Saf su	89+1+10	2	1000	17,5	17,5-50				17,5°C sıcaklığında 1780 ml (17,5-40°C, 1000 d/dk) 15 dk boyunca karıştırıldı. 20ml surfaktan; yakıt 41-42°C iken 1ml şırıngayla (Her ekleme 1 dk sürer, yakıt 42-55°C iken), toplam 45 dk' da eklendi, (Her 1ml şırınga eklemesi arasında 2dk beklendi). Yakıt+surfaktan son sıcaklığı 48,7°C' dir. Yakıt+Surfaktan karışımı, 48,5-50°C sıcaklıkta 1 saat karıştırıldı (1000 d/dk). Yakıt+Surfaktan karışım sonu sıcaklığı 50,3°C'dir. Yakıt+Surfaktan karışımına su; 1000d/dk hızda, yakıt+surfaktan sıcaklığı 50°C iken eklenmeye başlandı. Bu esnada su ısıtıcıya koyularak ekleme sırasında suyun ısınarak karışım sıcaklığına gelmesi sağlandı (15-50°C arasında). Su, yakıt+surfaktan karışımına 45-50°C sıcaklıkta, 1000 d/dk hızda dönerken 10ml şırınga yardımıyla (Her ekleme 3dk sürer.), toplam 2 saat boyunca eklendi (Her 10ml şırınga eklemesi arasında 2dk beklendi). Son su ekleme karışım sıcaklığı 51,3°C. Yakıt+surfaktan+su karışımı 51,2°C ilk sıcaklığıyıyla 2 saat boyunca karıştırıldı. (Toplam süre: 6 saat).
31.05.2023	8	Mazot+Tween80+Saf su	84+1+15	2	1000-1100	18,5	18,5-50				18,5°C sıcaklığında 1680 ml mazot 17,5-34°C sıcaklıkta 1000 d/dk hızda 30 dk boyunca ısıtılarak karıştırıldı. Oda sıcaklığındaki 20ml surfaktan yakıta; yakıt 34,2°C sıcaklıkta iken 1ml şırınga yardımıyla (her ekleme 1 dk sürer), toplam 1 saat boyunca eklendi, ekleme sırasında yakıt sıcaklığı 34,2-52°C arasında seyretti (her 1ml şırınga eklemesi arasında 2dk beklendi, her şırınga toplam 3 dk sürer). Surfaktan ekleme sonu yakıt+surfaktan sıcaklığı 49,3°C'dir. Yakıt+Surfaktan karışımı 1000 d/dk hızda, 49-50°C sıcaklıkta 1 saat karıştırıldı. Yakıt+Surfaktan karışım sonu sıcaklığı 49,3°C'dir. Su, yakıt+surfaktan karışımına (45-55°C, 1000-1100 d/dk) 10ml şırınga yardımıyla (her ekleme 3dk sürer), toplam 1,30 saat boyunca eklendi (her 10ml şırınga eklemesi arasında 2dk beklendi). Son su ekleme karışım sıcaklığı 53,5°C. Yakıt+surfaktan+su karışımı 53,5°C ilk sıcaklığıyıyla 2 saat boyunca karıştırıldı. (Toplam süre: 6 saat).

EK 6. (Devam) Yakıt karışımları hazırlama süreci.

Tarih	Karışım No	Kompozisyon	Karışım Oranı (%)	Karışım Miktarı (lt)	Karıştırma Devri (dev/dk)	Karıştırma Öncesi Mazot Sıcaklığı	Karıştırma Sıcaklığı (°C)	Karıştırma Sonu Sıcaklık (°C)	Revize Krışımlar 01.06.2023 İlk Hali	Revize Krışımlar 01.06.2023 Ara Hali	Revize Krışımlar 01.06.2023 Son Hali	NOT
22.03.2023	1	Mazot+Tween80+Saf su	94+1+5	2	1000	18	Oda Sıcaklığı	32				Mevcut karışım 19,1°C ilk sıcaklığıyla karıştırma kabına döküldü. 50°C sıcaklığa kadar ısıtılarak 1000-1100d/dk karıştırma hızında 2 saat boyunca karıştırıldı. Homojen karışım elde edilemedi.
	2		94+1+5	2	1000	19	45-50	48,8				Mevcut karışım 18,5°C sıcaklıkta karıştırma kabına aktarıldı. 35°C sıcaklığa kadar ısıtlarak 1000-1100d/dk karıştırma hızında 2 saat boyunca karıştırıldı. Homojen karışım elde edilmedi. Böylece karışım 2 saat boyunca insan gücü ile ileri-geri hareketlerle karıştırılmaya devam edildi. İşlemler sonucunda homojen karışım elde edilemedi.
23.03.2023	3	Mazot+Tween80+Saf su	89+1+10	2	1000	17	45-50	49,7				Karışım 3 saat boyunca 15 dk karıştırma 15 dk dinlenme esasıyla resimdeki haliyle insan gücüyle ileri geri sallama vasıtasıyla karıştırılmıştır. Her verilen mola sonrası gözlenen karışım resimde görüldüğü surfaktan ve su partikülleri karışım devam ettikçe bünyelerine mazot moleküllerini de alarak büyümüş ve sonuç olarak tüm hacmi kaplamıştır.
	4		89+1+10	2	1000	18	55-60	50,2				Karışım 2 saat boyunca 15 dk karıştırma 15 dk dinlenme esasıyla resimdeki haliyle insan gücüyle ileri geri sallama vasıtasıyla karıştırılmıştır. Her verilen mola sonrası gözlenen karışım resimde görüldüğü surfaktan ve su partikülleri karışım devam ettikçe bünyelerine mazot moleküllerini de alarak büyümüş ve sonuç olarak tüm hacmi kaplamıştır.

EK 6. (Devam) Yakıt karışımları hazırlama süreci.

Tarih	Karışım No	Kompozisyon	Karışım Oranı (%)	Karışım Miktarı (lt)	Karıştırma Devri (dev/dk)	Karıştırma Öncesi Mazot Sıcaklığı	Karıştırma Sıcaklığı (°C)	Karıştırma Sonu Sıcaklık (°C)	Revize Krışımlar 01.06.2023			NOT
									İlk Hali	Ara Hali	Son Hali	
16.05.2023	5	Mazot+NP10+Saf su	94+1+5	1,5	1250	21	35-40	39,7				Karşım 1 saat boyunca 5 dk karıştırma 10 dk dinlenme esasıyla resimdeki haliyle insan gücüyle ileri geri sallama vasıtasıyla karıştırılmıştır. Her verilen mola sonrası gözlenen karışım resimde görüldüğü surfaktan ve su partikülleri karışım devam ettikçe bünyelerine mazot moleküllerini de alarak büyümüş ve sonuç olarak tüm hacmi kaplamıştır.
17.05.2023	6		94+1+5	2	1000	20,8	20,8-50	49,5	REVİZE KARIŞIMA GEREK DUYULMADI			
30.05.2023	7	Mazot+NP10+Saf su	89+1+10	2	1000	17,5	17,5-50					Karşım 3 saat boyunca 15 dk karıştırma 15 dk dinlenme esasıyla resimdeki haliyle insan gücüyle ileri geri sallama vasıtasıyla karıştırılmıştır. Her verilen mola sonrası gözlenen karışım resimde görüldüğü surfaktan ve su partikülleri karışım devam ettikçe bünyelerine mazot moleküllerini de alarak büyümüş ve sonuç olarak tüm hacmi kaplamıştır.
31.05.2023	8	Mazot+Tween80+Saf su	84+1+15	2	1000-1100	18,5	18,5-50					Karşım 2 saat boyunca 15 dk karıştırma 15 dk dinlenme esasıyla resimdeki haliyle insan gücüyle ileri geri sallama vasıtasıyla karıştırılmıştır. Her verilen mola sonrası gözlenen karışım resimde görüldüğü surfaktan ve su partikülleri karışım devam ettikçe bünyelerine mazot moleküllerini de alarak büyümüş ve sonuç olarak tüm hacmi kaplamıştır.