T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİZEL MOTORLARDA HAVA KÜTLE ÖLÇÜM SENSÖRÜ ADAPTASYONUN GELİŞTİRİLMESİ

EYÜP KOSİF

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ PROGRAMI

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ ORKUN ÖZENER

İSTANBUL, 2018

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİZEL MOTORLARDA HAVA KÜTLE ÖLÇÜM SENSÖRÜ ADAPTASYONUN GELİŞTİRİLMESİ

Eyüp KOSİF tarafından hazırlanan tez çalışması 12/06/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Otomotiv Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Orkun ÖZENER

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Orkun ÖZENER

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Muammer ÖZKAN

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Osman Akın KUTLAR

İstanbul Teknik Üniversitesi _____

ÖNSÖZ

Yüksek lisansım ve tez çalışmam boyunca benden desteğini esirgemeyen değerli hocam ve tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Orkun ÖZENER'e, süreç boyunca fikirleri, tavsiyeleri ve desteği için değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Levent YÜKSEK'e teşekkürlerimi sunarım.

Bütün bunların yanında, doğumumun ilk anından bu zamana kadar bana her türlü desteği esirgemeyen annem Suna KOSİF'e, babam İsmail KOSİF'e ve dünyaya geldiğinden beri temiz kalbiyle yanımda olduğunu hissettiren kardeşim Emre KOSİF'e, ayrıca yüksek lisansı benimle birlikte bitiren, benimle birlikte tez yazan, benimle birlikte endişelenen hayat arkadaşım, değerli eşim Emine KOSİF'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim ve tez sürecim boyunca fikirleri, yönlendirmeleri ve desteği için iş arkadaşım sayın Volkan ARAN'a, eğitim hayatım boyunca iş yerinde gerekli desteği ve hoşgörüyü fazlasıyla gösteren değerli ekip liderim Kayhan ÖZDEMİR'e ve tezi yazmamda ve veri toplamamda destek olan değerli FORD OTOSAN ailesine teşekkürü borç bilirim.

Ve daha ismini yazamadığım ama yanımda olan herkese ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz 2018

Eyüp KOSİF

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....vii

KISALTMA LİSTESİ.....viii

ŞEKİL LİSTESİ.....ix

ÇİZELGE LİSTESİ.....xiii

ÖZET.....xiv

ABSTRACT.....xvi

BÖLÜM 1

GİRİŞ.....1

1.1 Literatür Özeti.....1

1.1.1 Sıcak Yüzey ile Hava Kütlesi Ölçüm Sensörü.....3
1.1.2 Sıcak Yüzey ile Hava Kütlesi Ölçüm Sensörü Çalışma Yöntemi.....4
1.1.3 Kalman Filtresi.....4
1.1.4 Dizel Motorlarda Hava Debisi Kontrolü.....7
1.1.4.1 Motorun Hacimsel Verimi.....8
1.1.4.2 Aşırı Doldurma Basıncı.....8
1.1.4.3 Gaz Kelebeği.....8
1.1.4.4 Temiz Hava ve Egzoz Gazı Geri Dönüşü Miktarı.....8
1.1.5 Günümüzde Kullanılan Hava Debisi Algılayıcısı Adaptasyonu.....10

1.2 Tezin Amacı.....11

1.3 Orijinal Katkı.....12

BÖLÜM 2

METOD.....13

2.1 Referans Modelin Hesaplanması.....14

2.2 Hacimsel Verimin Modellenmesi……14
2.3 Durum - Uzay Denklemlerinin Oluşturulması……15
2.4 Kabuller……16
2.5 Kalman Filtresi Denklemlerinin Çalışmaya Uyarlanması……16
2.6 Durum Matrislerinin Yazılması……17
2.7 Deney Motoru……18
2.8 Dinamometre……19
2.9 Egzoz Emisyonları Ölçüm Cihazı (CO,CO2,NOX,THC)…… 20
2.10 Motor Kontrol Ünitesi Kontrolü……21
2.11 PUMA Test Otomasyonu Sistemi……21
2.12 Dinamometre Test Odası……22

BÖLÜM 3

SONUÇLAR..... 24

3.1 "M_hava=a*Mmaf" Düzeltme Denklemi Olarak Seçilirse……26
3.2 "M_hava=a*Mmaf+c" Düzeltme Denklemi Olarak Kullanılırsa……34
3.3 "$M_{hava} = a*(M_{maf})^2 + b*M_{maf}$" Düzeltme Denklemi Olarak Kullanılırsa……40
3.4 "$M_{hava} = a*(M_{maf})^2 + b*M_{maf} + c$" Düzeltme Denklemi Olarak Kullanılırsa……46
3.5 NEDC Testi ve MAF Sensörü Sapmasının Emisyonlar Üzerindeki Etkisi…… 54

BÖLÜM 4

TARTIŞMA VE ÖNERİLER 67

KAYNAKLAR……68

ÖZGEÇMİŞ.....69

SİMGE LİSTESİ

R_h	Isıtıcı direnci
R_s	Algılayıcı direnç
U_{BAT}	Batarya gerilimi
$R_{1,2,3}$	Direnç
U_A	Çıkış gerilimi
P	Basınç [Pa]
V	Hacim [m^3]
m	Kütle [kg]
R	Evrensel gaz sabiti [J/kgK]
T	Sıcaklık [K]
m_{hava}	Silindir içerisine alınabilen hava kütlesi [kg]
$m_{hava,i}$	İdeal şartlarda silindir içerisine alınabilen hava kütlesi [kg]
m_{maf}	Motor temiz hava algılayıcısından okunan hava debisi [kg/sa]
P_{mnf}	Aşırı doldurma basıncı (manifold basıncı) [Pa]
V_c	Silindir hacmi [m^3]
R_{hava}	Havanın evrensel gaz sabiti [J/kgK]
T_{hava}	aşırı doldurma sonrası veya ara soğutucu çıkışı hava sıcaklığı [K]
η	Motorun hacimsel verimi
N	Motor hızı (1/dk)
a	Strok sayısına bağlı katsayı (strok sayısı / 2)

KISALTMA LİSTESİ

CO	Karbonmonoksit
EGR	Exhaust Gas Recirculation
HC	Hidrokarbon
HFM	Hot-Film Airmass Meter
MAF	Mass Airflow
NOx	Azot Oksit Bileşikleri

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Sıcak yüzey ile hava kütlesi ölçüm sensörü.....3
Şekil 1.2 Köprü devresi.....4
Şekil 1.3 Kalman filtresi blok diyagramı.....5
Şekil 1.4 Kalman filtresi özet gösterimi.....7
Şekil 1.5 Motor ve egzoz gazı akışının sembolik gösterimi.....9
Şekil 1.6 Eğim sensörü ve Kalman filtresi çıktılarının karşılaştırılması.....11
Şekil 2.1 AVL APA 204/8 tipi dinamometre.....18
Şekil 2.2 Horiba Mexa 7100 DEGR egzoz emisyon ölçüm cihazı.....19
Şekil 2.3 ATI Vision genel görünüm.....20
Şekil 2.4 PUMA Open programı arayüzü.....20
Şekil 2.5 Test odası şeması.....21
Şekil 3.1 Motor hızı.....23
Şekil 3.2 Model çıktısı ve MAF sensörünün karşılaştırılması.....23
Şekil 3.3 75 kg/h sabit pozitif sapma durumunda model ve MAF sensörü çıktısı.....24
Şekil 3.4 Eğri oturtma yöntemi ile katsayı hesaplama.....25
Şekil 3.5 Kalman filtresi ile hesaplanan “a” değeri.....25
Şekil 3.6 Düzeltme işlemi sonrası MAF sensörü ve model çıktısı karşılaştırması.....26
Şekil 3.7 75 kg/h sabit negatif sapma durumunda model ve MAF sensörü çıktısı.....26
Şekil 3.8 Eğri oturtma yöntemi ile “a” katsayısının hesaplatılması.....27
Şekil 3.9 Kalman filtresi yöntemi ile hesaplatılan “a” değişkeninin zamana bağlı değişimi.....27
Şekil 3.10 “a” katsayısı ile düzeltme işlemi sonrasında model ve MAF sensör çıktısı karşılaştırılması.....28
Şekil 3.11 MAF sensörüne +%20’lik bir hata uygulandığında model çıktısı ve MAF sensörü çıktısı.....28
Şekil 3.12 Eğri oturtma yöntemi ile “a” katsayısının hesaplatılması.....29
Şekil 3.13 Kalman filtresi ile hesaplatılan “a” düzeltme katsayısı.....29

Şekil 3.14 Hesaplatılan “a” düzeltme katsayısı uygulandıktan sonra Maf sensörü çıktısı ve model çıktısının karşılaştırılması.....30
Şekil 3.15 MAF sensöründe -%20 sapma olması durumunda MAF sensörü çıktısı ve model çıktısının karşılaştırılması.....30
Şekil 3.16 Eğri uydurma yöntemi ile hesaplatılan “a” katsayısı.....31
Şekil 3.17 Kalman filtresi ile hesaplatılan “a” düzeltme katsayısının zaman içerisindeki değişimi.....31
Şekil 3.18 Düzeltme uygulandıktan sonra MAF sensörü ve model çıktısı karşılaştırılması.....32
Şekil 3.19 “a” ve “c” katsayılarının eğri oturtma ile hesaplanan sonuçları.....33
Şekil 3.20 Kalman filtresi ile hesaplatılan katsayılar.....33
Şekil 3.21 Düzeltme sonrası MAF sensörü ve model çıktısı karşılaştırması.....34
Şekil 3.22 75 kg/h negatif yöndeki sapma ile hesaplanan “a” ve “c” katsayıları.....34
Şekil 3.23 Kalman filtresi ile hesaplanan “a” ve “c” katsayıları ve zamana bağlı değişimleri.....35
Şekil 3.24 Düzeltme sonrası model çıktısı ve MAF sensöründen okunan değerlerin karşılaştırılması.....35
Şekil 3.25 +%20 sapma durumunda hesaplanan “a” ve “c” katsayıları.....36
Şekil 3.26 Kalman filtresi yöntemi ile hesaplanan “a” ve “c” katsayıları.....36
Şekil 3.27 Düzeltme sonrasında MAF sensörü ve model çıktısı karşılaştırması.....37
Şekil 3.28 -20% sapma uygulanması durumunda hesaplanan düzeltme katsayıları.....37
Şekil 3.29 Kalman filtresi ile hesaplatılan düzeltme katsayıları.....38
Şekil 3.30 Düzeltme sonrası MAF sensörü ve model çıktılarının karşılaştırılması.....38
Şekil 3.31 Eğri oturtma yöntemi ile hesaplanan “a” ve “b” katsayıları.....39
Şekil 3.32 Kalman filtresi yöntemi ile hesaplanan “a” ve “b” katsayıları.....39
Şekil 3.33 Düzeltme sonrası MAF sensörü ve model çıktısı karşılaştırması.....40
Şekil 3.34 Eğri oturtma yöntemi ile hesaplatılan “a” ve “b” katsayıları 40
Şekil 3.35 Kalman filtresi yöntemi ile hesaplatılan “a” ve “b” katsayıları.....41
Şekil 3.36 Hesaplanan katsayılar ile uygulanan düzeltme sonrasında MAF sensörü ve model çıktısının karşılaştırılması.....41
Şekil 3.37 Eğri oturtma ile hesaplanan “a” ve “b” katsayıları.....42
Şekil 3.38 Kalman filtresi yöntemi ile hesaplatılan “a” ve “b” katsayıları.....42
Şekil 3.39 Düzeltme sonrasında MAF sensörü ve model çıktısı karşılaştırması.....43
Şekil 3.40 -20% sapma için hesaplatılan “a” ve “b” katsayıları.....43
Şekil 3.41 Kalman filtresi yöntemi ile hesaplatılan düzeltme katsayıları.....44

Şekil 3.42 Düzeltme sonrasında MAF sensörü ve model çıktılarının karşılaştırılmaları.....44
Şekil 3.43 75 kg/h sapma durumunda hesaplatılan “a”, “b” ve “c” katsayıları.....45
Şekil 3.44 Kalman filtresi ile hesaplatılan düzeltme katsayıları.....45
Şekil 3.45 Eğri oturtma ve Kalman yöntemi ile hesaplanan katsayılar ile düzeltme Sonuçları.....46
Şekil 3.46 Düzeltme işlemi sonrasında model ve MAF sensörü çıktıları.....46
Şekil 3.47 -75 kg/h sapma için hesaplatılan düzeltme katsayıları.....47
Şekil 3.48 Kalman filtresi ile hesaplatılan düzeltme katsayıları.....47
Şekil 3.49 Düzeltme uygulandığı durumda MAF sensörü ve model çıktısının Karşılaştırılması.....48
Şekil 3.50 Pozitif yönde 20% sapma uygulanması durumunda hesaplatılan düzeltme katsayıları.....48
Şekil 3.51 Kalman filtresi ile hesaplatılan düzeltme katsayıları.....49
Şekil 3.52 Düzeltme sonrasında MAF sensörü ve model çıktılarının karşılaştırılması...49
Şekil 3.53 -20% sapma durumunda hesaplatılan düzeltme katsayıları.....50
Şekil 3.54 Kalman filtresi ile hesaplatılan düzeltme katsayıları.....50
Şekil 3.55 Düzeltme işlemi sonrasında MAF sensörü ve model çıktılarının Karşılaştırmaları.....51
Şekil 3.56 NEDC test profili.....52
Şekil 3.57 NEDC testi sırasındaki motor hızı grafiği.....53
Şekil 3.58 NEDC testi sırasındaki motor yükü grafiği.....53
Şekil 3.59 Test esnasında MAF sensörü ve model çıktıları.....53
Şekil 3.60 NEDC testi sırasında EGR Valfinin kapalı olduğu durumlarda MAF sensörü ve model çıktısının karşılaştırılması.....54
Şekil 3.61 Test esnasında ölçümlenen normalleştirilmiş anlık NOx emisyonu.....54
Şekil 3.62 Normalleştirilmiş toplam NOx emisyonu.....55
Şekil 3.63 Test esnasında ölçümlenen normalleştirilmiş anlık HC emisyonu.....55
Şekil 3.64 Normalleştirilmiş toplam HC emisyonu.....55
Şekil 3.65 NEDC testi sırasında MAF sensöründe %10 sapma olması durumunda MAF sensörü ve model çıktılarının karşılaştırılması.....56
Şekil 3.66 NEDC testi sırasında EGR Valfinin kapalı olduğu durumlarda MAF sensörü ve model çıktısının karşılaştırılması.....56
Şekil 3.67 Test esnasında ölçümlenen normalleştirilmiş anlık NOx emisyonu.....57
Şekil 3.68 Normalleştirilmiş toplam NOx emisyonu.....57

Şekil 3.69 Test esnasında ölçümlenen normalleştirilmiş anlık HC emisyonu.....58
Şekil 3.70 Normalleştirilmiş toplam HC emisyonu.....58
Şekil 3.71 NEDC testi sırasında MAF sensöründe %20 sapma olması durumunda MAF sensörü ve model çıktılarının karşılaştırılması.....59
Şekil 3.72 NEDC testi sırasında EGR Valfinin kapalı olduğu durumlarda MAF sensörü ve model çıktısının karşılaştırılması.....59
Şekil 3.73 Test esnasında ölçümlenen normalleştirilmiş anlık NOx emisyonu.....59
Şekil 3.74 Normalleştirilmiş toplam NOx emisyonu.....60
Şekil 3.75 Test esnasında ölçümlenen normalleştirilmiş anlık HC emisyonu.....60
Şekil 3.76 Normalleştirilmiş toplam NOx emisyonu.....60
Şekil 3.77 İdeal durum, %10 sapma ve %20 sapma durumlarında normalleştirilmiş toplam NOx emisyonlarının karşılaştırılması.....61
Şekil 3.78 İdeal durum, %10 sapma ve %20 sapma durumlarında normalleştirilmiş toplam HC emisyonlarının karşılaştırılması.....61
Şekil 3.79 %10 MAF sensörü sapması durumunda hesaplatılan düzeltme katsayıları...62
Şekil 3.80 Kalman filtresi yöntemi ile hesaplatılan katsayılar.....62
Şekil 3.81 Düzeltme işlemi sonrasında MAF sensörü ve model çıktısı karşılaştırması...63
Şekil 3.82 %20 MAF sensörü sapması durumunda hesaplatılan düzeltme katsayıları...63
Şekil 3.83 Kalman filtresi yöntemi ile hesaplatılan katsayılar.....64
Şekil 3.84 Düzeltme işlemi sonrasında MAF sensörü ve model çıktısı karşılaştırması...64

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 Hafif Yolcu Araçları Avrupa Birliği Emisyon Standartlarının Gelişimi.....2
Çizelge 2.1 AVL APA 204/8 tipi dinamometre teknik özellikleri.....18
Çizelge 2.2 Horiba 7100 DEGR cihazı sensörleri ve ölçüm aralıkları.....19
Çizelge 3.1 Hesaplanan düzeltme katsayılarının özeti.....51

ÖZET

DİZEL MOTORLARDA HAVA KÜTLE ÖLÇÜM SENSÖRÜ ADAPTASYONUN GELİŞTİRİLMESİ

Eyüp KOSİF

Makine Mühendisliği Otomotiv Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Orkun ÖZENER

Önerilen tez çalışması, araç hava kutusunda bulunan temiz hava debisi sensörünün (MAF), zaman içerisinde sapmasından kaynaklanan hatayı tespit ederek, motor çalışırken kendisini düzeltmesini sağlayacak çalışma ve algoritmayı içermektedir.

Zamanla oluşan kirlilik ve yıpranma sonucunda, sensör normalde okuması gereken değerden sapmalar göstermektedir. Bu durum, motor çalışırken istenilen hava – yakıt oranının zaman içerisinde değişmesi ve öngörülen değerden uzaklaşmasına bağlı olarak motordan salınan emisyon değerlerinin değişmesi, araç performansı değişiklikleri veya egzozdan siyah duman atılması ile sonuçlanabilir.

Bu çalışmada ise, motorun sensöründen okunulan değer, önceden kalibre edilmiş bir model ile sürekli olarak kıyaslanacak ve gerektiği durumda aradaki hata payını düzeltecek yönde sensör çıktısına düzeltme uygulanacaktır.

Bunun yapılabilmesi için motorun çalışması esnasında EGR valfinin kapalı olduğu durumdaki bütün noktalar incelenecektir. Ancak bu durumda binlerce, hatta milyonlarca nokta birikeceğinden, hafıza yönetimi için Kalman Filtre yöntemi uygulanarak sadece en son hesaplatılan düzeltme katsayıları ve standart sapmaları bellekte saklanacaktır. Böylece binlerce noktanın kendine has durumları da dikkate alınarak, sensör

düzeltmesi motorun bütün çalışma bölgesini kapsayacak şekilde yapılacak ve veri olarak da sadece son değer tutulmuş olacaktır. Bu sayede, motor kontrol ünitesinde çok miktarda bellek kullanımının önüne geçilmiş olacaktır.

Anahtar Kelimeler: MAF sensörü, MAF sensörü adaptasyonu

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF THE MASS AIRFLOW SENSOR ADAPTATION ON DIESEL ENGINE

Eyüp KOSİF

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Asst. Prof. Dr. Orkun ÖZENER

This thesis includes study and algorithm that detect and correct itself automatically of the deviation of the mass air flow sensor during engine is running.

As a result of the aging and deposits, sensor output shows deviation from its nominal value. This case affects the measured airflow signal and end up with changing of the air-fuel ratio during engine is running. As a result of this, engine emissions or vehicle performance may change.

In this study, measured airflow signal will be compared with model that has been calibrated earlier and correction will be applied in order to correct deviation between model and sensor output.

In order to make this, all EGR closed operation points to be logged and analyzed. But in this case, thousands of points' data will be saved. To prevent this, Kalman Filter method will be applied and only last calculated correction factors and standart deviations will be logged. Therefore, sensor deviation can be corrected for whole engine running area by using a lot of collected data and only a few output values will

be saved on the end of the day. With using this method, large amount of physical memory usage will be prevented on engine control unite.

Keywords: Mass airflow sensor, MAF sensor, MAF sensor deviation

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Günümüz dünyasında insanlığın en büyük ihtiyaçlarından birisi de ulaşım ve taşımacılıktır. Bütün dünyada insanlar gerek iş hayatının getirdiği zorunluluklar neticesinde gerekse kendi sosyal zamanlarında ulaşım veya taşımacılığı, dolayısıyla motorlu araçları kullanmak durumundadırlar.

1800'lü yılların sonlarına doğru geliştirilen benzinli ve dizel motorlar, o günden günümüze kadar kendilerine yaygın bir kullanım alanı bulmuşlardır. Küreselleşen dünyanın ihtiyaçlarını karşılayabilmek adına milyonlarca insan her gün farklı lokasyonlara ulaşabilmek veya mevcut taşınabilirleri başka bir yere iletebilmek amacıyla içten yanmalı motorlardan faydalanmaktadırlar.

İçten yanmalı motorlar yapıları gereği sonlu bir yakıta ihtiyaç duymaktadırlar ve bu yakıtların motor içerisinde yakılması sonucunda çevreye çeşitli gazlar salmaktadırlar. Her ne kadar avantajları göz ardı edilemeyecek kadar büyük olsa da hem fosil yakıt kaynaklarının kullanımı hem de atılan zararlı gazlar nedeniyle devletler tarafından çevreyi koruma amacıyla çeşitli sınırlamalar ve yaptırımlara dahildirler.

2016 yılında, Kuzey Amerika'da tüketilen günlük benzin miktarı 391.000.000 galon olarak raporlanmıştır[1]. Kullanılan bu benzin, motorin ya da benzer diğer yakıtlar petrol türevli olduğundan dünya üzerinde belirli miktarda rezerv vardır ve bu rezervleri daha verimli kullanabilmek adına ülkeler yakıt tüketimine bağlı olarak vergi oranı değişimi gibi çeşitli politikalar izlemektedirler.

Bütün bunların yanında, çevreye atılan zararlı gazlar küresel ölçekte insan sağlığını tehdit etmektedir. Bu zararı en aza indirilebilmek ve dünya üzerindeki araç üreticilerine aynı pazar için ortak ve eşit egzoz gazı emisyonu limitleri verebilmek adına yıllara göre güncellenen ve gittikçe daha da sıkılaşan emisyon standartları getirilmiştir. Yıllara göre güncellenen bu emisyon standartları Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1 Hafif Yolcu Araçları Avrupa Birliği Emisyon Standartlarının Gelişimi [2]

Araç Tipi	Aşama	Tarih	CO	THC	NMHC	NO_x	$HC+NO_x$	PM
Diesel	Euro 1	1992	3.16	-	-	-	1.13	0.18
	Euro 2	1996	1.0	-	-	-	0.7	0.08
	Euro 3	2000	0.64	-	-	0.50	0.56	0.05
	Euro 4	2005	0.50	-	-	0.25	0.30	0.025
	Euro 5	2009	0.50	-	-	0.180	0.230	0.005
	Euro 6	2014	0.50	-	-	0.080	0.170	0.005
Benzin	Euro 1	1992	3.16	-	-	-	1.13	-
	Euro 2	1996	2.2	-	-	-	0.5	-
	Euro 3	2000	2.3	0.20	-	0.15	-	-
	Euro 4	2005	1.0	0.10	-	0.08	-	-
	Euro 5	2009	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.005
	Euro 6	2014	1.0	0.10	0.068	0.060	-	0.005
* Emisyon değerleri g/km cinsinden verilmiştir.								

Çizelge 1.1'den de görülebileceği gibi salınabilecek egzoz gazı miktarları gün geçtikçe azalmaktadır. Bu değerlerin sağlanabilmesi adına araçlarda kullanılan teknolojiler de gelişmektedir.

Gelişen bu teknolojiler çok hassas hava ve yakıt kontrolüne imkân sağlamaktadır. Böylece kalibre edilen motor hem istenilen egzoz gazı standartlarını karşılayabilmekte hem de düşük yakıt tüketimi ve yüksek performans sağlayabilmektedir. Bu çıktıların yerine getirilebilmesi için de hem havayolundaki motor parçalarının, hem de yakıt yolundaki motor parçalarının belirli bir tolerans içinde çalışmaları ve işlevlerini yerine getirmeleri gerekmektedir.

Yanma olayının en önemli parametrelerinden birisi olan havanın da doğru bir şekilde ölçülüp kontrol edilmesi gerekmektedir. Motora alınan hava istenilen miktarlardan farklı olursa hem egzoz gazı emisyonları hem de motor davranışları değişecektir. Bu nedenle, özellikle kullanıma bağlı yaşlanmalar ve kirlenmeler sonucunda da hava debisinin doğru okunması önemlidir. Kirlilik ya da yaşlanma gibi etmenler sonucunda hatalı okunan hava debisine bağlı değişiklik gösteren motor çıktıları sonraki bölümlerde detaylı olarak karşılaştırılacaktır.

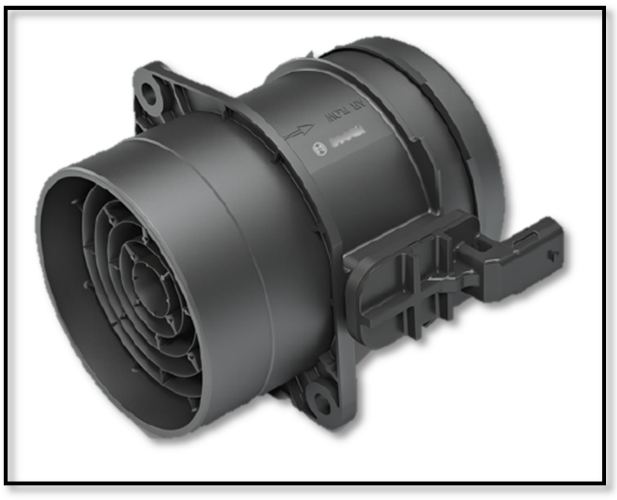
1.1.1 Sıcak Yüzey ile Hava Kütlesi Ölçüm Sensörü

HFM, Hot-Film Airmass Meter, sıcak yüzey ile hava kütlesi ölçümü olarak çevrilebilir. Bu sensörlerin geliştirilmesi, 1980'lerden itibaren kullanıma sunulan "Sıcak Tel ile Hava Kütlesi Ölçümü" temel alınarak yapılmıştır.

Sıcak tel ile hava kütlesi ölçümü, sahip oldukları akış ölçüm yetenekleri, yüksek debideki hava ölçme kabiliyetleri, düşük akışlardaki tutarlılığı, havayolunda düşük basınç kaybı yaratmaları, hareketli parça barındırmamaları ve uygun dizayn ile hızlı cevap verme süreleri ile tecrübe kazanılmış ve kullanılmakta olan algılayıcı türüdür. Bu yaklaşım, üretim seviyelerinde artmaya liderlik etmiştir. Özellikle Platinyum tel kullanımı, sorunsuz olarak uygulanmış, aynı zamanda yakma prosesi ile tel üzerindeki tortular çok düşük seviyelerde tutulabilmiştir.

Ancak bütün bunların yanında, bu yaklaşım ile çalışan sensörler, algılayıcı telin uzunluğuna bağlı olarak geniş dizayn edilmek zorunda olmaları, havayolundaki gaz kelebeği gibi diğer parçalar ile montajını zorlaştırmaktadır. Ayrıca, çok sayıda alt parça içerdiklerinden, sensör yapısı karmaşık hale gelmektedir.

Bu gibi nedenlerden dolayı, daha az maliyetli, daha basit tasarımlı, bakımı daha kolay olan "Sıcak Yüzey ile Hava Kütlesi Ölçümü" (Şekil 1.1) kullanılmaya başlanılmıştır [3].



Şekil 1.1 Sıcak yüzey ile hava kütlesi ölçüm sensörü [4]

1.1.2 Sıcak Yüzey ile Hava Kütlesi Ölçüm Sensörü Çalışma Yöntemi

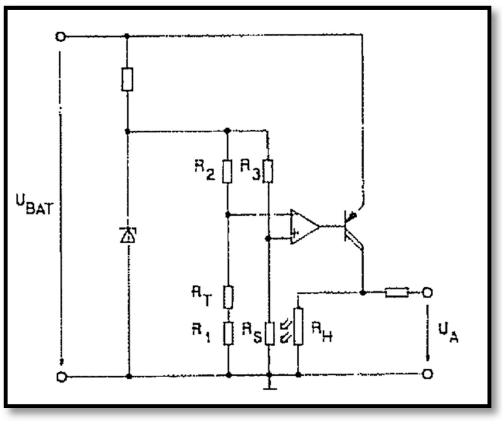
Bütün sıcaklık değişimini kullanarak hava kütlesi ölçümü yapan sensörler ısıtıcı direnç (R_h) ve algılayıcı direnç (R_s) yöntemi ile çalışmaktadır. Sıcak yüzey ile hava kütlesi ölçümü yapan sensörlerde, bu iki direnç elektriksel olarak birbirinden ayrılmış iki adet yüzey direnci ile temsil edilirler. Bu amaçla, her iki tarafa seramik kabın içerisinde yerleştirilmiştirler.

Temel olarak sıcak tel ve sıcak yüzey ile hava kütlesi ölçen sensörlerin çalışma mantığı birbiri ile aynıdır. İlgili yüzeye (ya da tele), sabit bir gerilim uygulanır ve bu gerilimden kaynaklanan akım ile sıcaklıkları artar. Bu yüzey de, ölçülmek istenilen hava kütlesinin akışına uygun olacak şekilde konumlandırılır.

Bu yüzey, pozitif sıcaklık katsayılı dirençtir. Bunun anlamı, yüzey sıcaklığı azaldıkça, yüzey direnci de buna bağlı olarak azalacaktır.

Algılayıcı direnç, ısıtıcı akımı değiştirerek çıkış gerilimini 0 Volt'ta tutan köprü devresinin (Şekil 1.2) bir parçasıdır. Eğer sensör üzerinden geçen hava kütlesi artarsa, algılayıcı direnç üzerindeki sıcaklık değeri, geçen hava sıcaklığının mevcut direnç sıcaklığından daha düşük olmasından dolayı azalacak, buna bağlı olarak da yüzeyin direnç değeri düşecektir. Bu durum, köprü devresindeki dengenin bozulmasına yol açarak yüzey sıcaklığının olması gereken değere ulaşana kadar ısıtma akımının artmasını sağlayacaktır. Böylece, ısıtma akımının artmasıyla ısıtıcı direnç üzerinde meydana gelen gerilim değişimi, geçen hava debisine karşılık gelecek bir sinyal üretir[3]. Bu sinyal, motor kontrol ünitesi tarafından değerlendirilerek ilgili hava debisine dönüştürülür.

Sensör üzerinden geçen hava debisini hesaplayabilmek için, havanın sıcaklığının da bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle, sensör ya da havayolu üzerinde, geçen havanın sıcaklığını ölçmek amacıyla sıcaklık sensörünün de kullanılması gerekmektedir.



Şekil 1.2 Köprü devresi

1.1.3 Kalman Filtresi

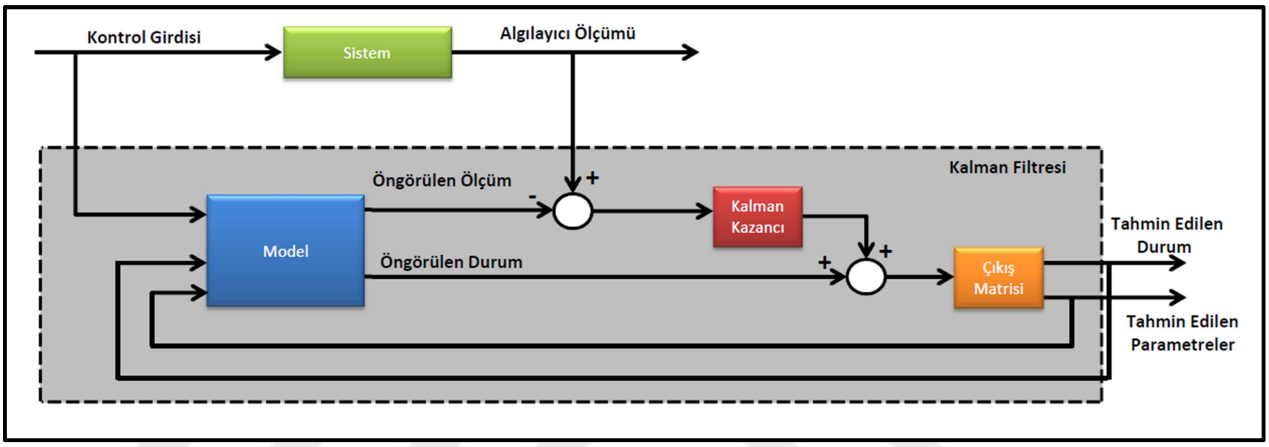
Kalman filtresi, modelin önceki bilgileriyle birlikte giriş ve çıkış bilgilerinden sistemin durumlarını tahmin edebilen filtredir. Geleneksel tahmin edicilerde olduğu gibi

filtreleme özelliğine rağmen, sistemin ölçülemeyen durumlarını tahmin etmek için çok güçlü ve yeteneklidir.

Filtre algoritması, iki basamaklı olarak çalışır. İlk basamakta, sistemin durumunu öngörür, ikinci basamakta ise mevcut sistem durum öngörüsünü hassaslaştırmak için ölçümden gelen gürültülü veriyi kullanır[5].

Algoritma, gürültülü veriler üzerinde özyinelemeli ve gerçek zamanlı çalışarak hataları filtreler ve sistemin fiziksel karakteristiklerinin modellenmesiyle üretilen gelecek durumun matematiksel modeline göre optimize eder.

Model tahmini gözlem ile karşılaştırılır. Elde edilen fark, "Kalman kazancı" olarak bilinen bir çarpan ile ölçeklendirilir. Daha sonra sıradaki tahminleri iyileştirmek için modele bir girdi olarak geri besleme uygulanır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3 Kalman filtresi blok diyagramı

Her bir zaman adımında, Kalman filtresi, gerçek bilinmeyen değerlerin tahminlerini belirsizlikleriyle beraber üretir. Sıradaki ölçümün sonucu gözlendiğinde, bu tahminler, belirsizliği düşük tahminlere daha fazla ağırlık vererek, ağırlıklı ortalama ile güncellenir.

Kalman filtresi, sensör füzyonu ve veri füzyonu için kullanılır. Tipik olarak, gerçek zamanlı sistemler bir sistemin durumunu elde etmek için tek bir ölçüm yapmak yerine birçok ardışık ölçüm üretir. Bu birçok ölçüm, daha sonra o zaman anında sistemin durumunu üretmek için matematiksel olarak birleştirilir.

Kalman filtresi, pek çok farklı alanda sistemin durumunu, değerlerini kestirebilen bir yöntemdir. Matematiksel olarak doğrusal sistemlerin durumlarını tahmin eder. Ayrıca, mevcut filtreleme yöntemleri içerisinde tahmin hatasını zamanla azaltabilen tek filtredir.

Kalman filtresi, küresel konum hesaplamaları, model tabanlı çalışan araç eylemcileri, dizüstü bilgisayarlardaki dokunma ile çalışan işaretleyici yüzeyleri, radyolar, video oyunları gibi pek çok çeşitli alanda kullanılmaktadır.

Kalman filtresi denklemleri zaman güncellemesi ve ölçüm güncellemesi olarak iki adımda incelenebilir.

Zaman güncellemesi denklemleri, belirli bir zamandaki mevcut durumun ileriye dönük çıktılarını hesaplamak ve hata kovaryansını hesaplayarak sonraki adım için ön tahminleri üretmekle sorumludur.

Ölçüm güncellemesi denklemleri ise geribildirimden sorumludur. Yani belirli bir andaki ön tahmin sonucu ile ölçüm sonucunu karşılaştırarak son tahmin sonucunu iyileştirir.

Bunlardan zaman güncellemesi denklemleri denklem (1.1) ve denklem (1.2) de verilmiştir [5]:

$$\hat{X}_k^- = A\hat{X}_{k-1} + Bu_k \tag{1.1}$$

$$P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q \tag{1.2}$$

Ölçüm güncellemesi eşitlikleri ise denklem (1.3), (1.4) ve (1.5) de verilmiştir:

$$K_k = P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1} \tag{1.3}$$

$$\hat{X}_k = \hat{X}_k^- + K_k(Z_k - H\hat{X}_k^-) \tag{1.4}$$

$$P_k = (1 - K_k H)\, P_k^- \tag{1.5}$$

Yukarıdaki beş adet denklemde, $\hat{X}_k^-$, k anında önceki bilgi birikimleri de kullanılarak hesaplanan ön durum tahminidir.

A,B ve H elemanları matrislerin genel gösterimleridir. Çoğu sinyal problemlerinde bunlar nümerik bir değerdir. A elemanı k-1 anındaki durumdan k anındaki duruma kadar olan sistem durumuyla ilgilidir. A matrisi zaman içerisinde güncellenebileceği gibi, sabit bir değer olarak da alınabilir. Bu çalışmada A matrisi sabit kabul edilecektir. B elemanı, opsiyonel kontrol girdisi ile ilgilidir. H elemanı ise ölçüm sonucu olan Z_k değişkeninin durum matrisidir. Bu matris, çalışma esnasında düzeltme yapılmak istenen denkleme göre sonraki bölümlerde düzenlenecektir.

Q elemanı işlem gürültüsü kovaryansı, R elemanı ise ölçüm gürültüsü kovaryansıdır. Q ve R elemanları matris ya da sayı olabilir. Bu elemanlar işlem sırasında güncellenebileceği gibi, sabit olarak da alınabilir. Nitekim, bu çalışmada sabit olarak kabul edileceklerdir.

u_k elemanı control sinyali girdisidir.

P_k^- elemanı ön tahmin hatası kovaryansıdır. P_k elemanı ise ön tahmin hatası kovaryansının güncellenmesi ile hesaplanan son tahmin hatası kovaryansıdır.

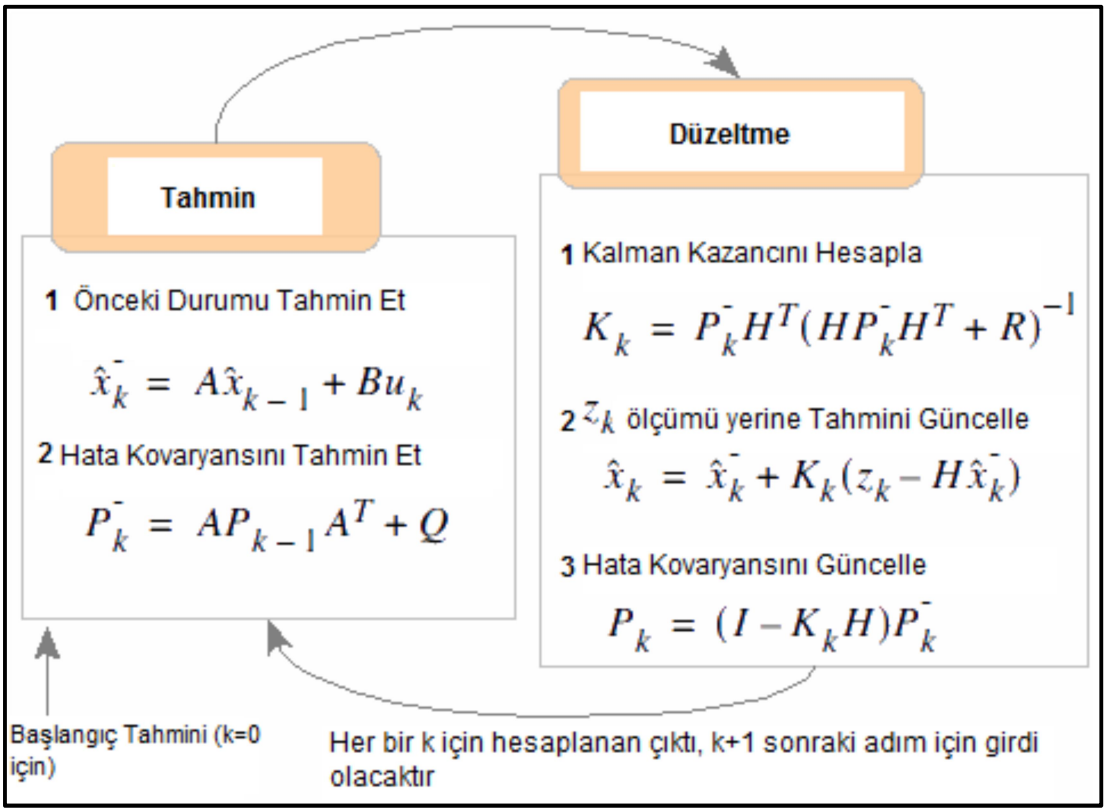
K_k elemanı, kazanç ya da harmanlama faktörüdür ve son tahmin hatası kovaryansı olan P_k elemanını minimize etmek amacıyla kullanılır.

$\hat{X}_k$ elemanı ise, k anındaki $\hat{X}_k^-$ ön durum tahmininin lineer kombinasyonudur ve ölçüm sonucu ve ön ölçüm tahmini arasındaki hata hesaba katılarak bulunur.

Denklem (1.4) deki $(Z_k - H\hat{X}_k^-)$ farkı ölçüm yeniliği veya artık olarak anılabilir. Bu ibare, ölçülen sonuç ile öngörülen system çıktısı arasındaki farktır. Bu farkın sıfır olması

demek, öngörülen değerle ölçülen değer arasında fark olmadığı yani yapılan tahminin tutarlı olduğu anlamına gelmektedir.

Kalman filtresi, her ne kadar filtre olarak geçse de, bir filtre değil, daha çok tahmin edicidir. Aynı zamanda tekrarlı bir metod olduğundan, bir önceki adımın çıktısı bir sonraki adımda girdi olarak kullanılabilir [6]. Bu durum genel olarak Şekil 1.4 deki gibi özetlenebilir.



Şekil 1.4 Kalman filtresi özet gösterimi [6]

1.1.4 Dizel Motorlarda Hava Debisi Kontrolü

Günümüz dizel motorları, günden güne sıkılaşan salınım seviyeleri ile birlikte, silindir içerisindeki yanmayı etkileyebilecek herhangi bir parametreyi çok hassas kontrol etmek durumundadırlar. Bu parametrelere örnek olarak yakıt miktarı, yakıt basıncı, yakıt püskürtme açısı, aşırı doldurma basıncı, alınan taze hava miktarı ve buna bağlı olarak hesaplanan egzoz gazı geri dönüş miktarı verilebilir.

Yukarıdaki parametrelerle birlikte, oksijenli yanma terminolojisinin olmazsa olmazı Oksijen'dir, yani motor içerisine alınan temiz havadır. Dizel motorlarında ise, içeri alınan hava miktarını etkileyen geometrik motor özellikleri ve elektrik veya hava vakum kontrollü eylemleyiciler bulunmaktadır. Bunları daha iyi anlamak adına birkaç başlıkta açıklayalım.

1.1.4.1 Motorun Hacimsel Verimi

Silindir içerisine alınan hava miktarının, teorik olarak alınması gereken hava miktarına oranıdır.

Motorun hacimsel verimi ne kadar yüksekse, silindir içerisine alabileceğiniz temiz hava miktarı da aynı oranda yüksek olacaktır.

Motor emiş sistemi geometrisi, hava filtresi yapısı, havayolu üzerindeki eylemleyiciler, turboşarj ara soğutucusu, emme valfi tasarımı gibi etkenler motorun hacimsel verimini etkilemektedir.

Bunlara bağlı olarak, içeri giren hava debisi ve motor dönüş hızına göre de hacimsel verim değişmektedir.

1.1.4.2 Aşırı Doldurma Basıncı

Günümüz dizel motorlarında kullanılan turboşarj/superşarj sistemleri ile birlikte silindir içerisine alınan hava miktarı arttırılabilir. Normal şartlarda, bu sistemlerin kullanılmadığı durum göz önüne alındığında, silindir içerisindeki pistonun alt ölü noktaya doğru hareketiyle temiz havanın alınacağı hacim genişleyecek, buna bağlı olarak da havayolundaki basınç, atmosfer basıncının altına düşecektir. Bu sayede elde edilen vakum basıncı ile birlikte silindir içerisine dış ortamdan hava emilecektir.

Bu sistemlerin kullanılmasıyla birlikte, hava hattında bulunan kompresör vasıtası ile dış ortamdan kompresör girişine hava emilecek ve emilen hava atmosfer basıncının üzerinde bir basınçla silindire dolmaya zorlanacaktır. Böylece, teorik olarak silindir içerisine alınabilecek havanın basıncının arttırılması sayesinde debisi de arttırılmış olunacaktır.

1.1.4.3 Gaz Kelebeği

Dizel motorlar, hava kontrolü prensibi ile çalışan Otto motorlarından farklı olarak yakıt kontrollü olarak çalışmaktadır. Özellikle düşük motor yüklerinde veya egzoz gazının daha sıcak olması gerektiği gibi farklı durumlarda hava/yakıt oranının düşürülmesi gerekmektedir. Eğer mevcut aşırı besleme basıncında alınan hava, istenilen miktarın üzerinde ise, havayolunda kullanılan kısıcı kelebek valf yardımı ile alınan havanın debisi istenilen hava miktarına kadar düşürülebilir.

1.1.4.4 Temiz Hava ve Egzoz Gazı Geri Dönüşü Miktarı

Gerek dizel, gerekse benzinli motorlarda motora alınan temiz hava miktarı, havayolu girişindeki algılayıcı ile ölçülmektedir. Ancak silindir içerisine alınan egzoz geri dönüş gazı miktarını ölçen herhangi bir algılayıcı bulunmamaktadır. Bunun yerine, motor kontrol ünitesi, geri döndürülen egzoz gazı miktarını algılayıcıdan gelen temiz hava debisi miktarından yola çıkarak hesaplar.

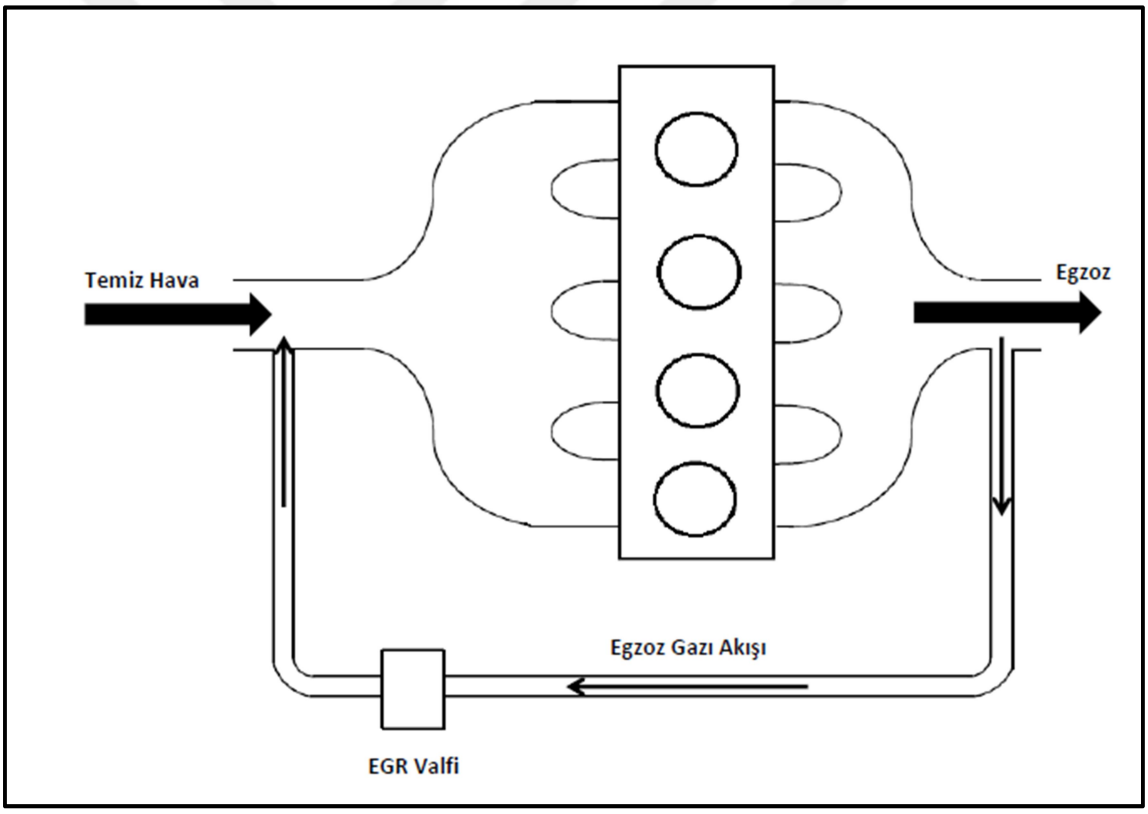
Teorik olarak, belirli kabuller yapılarak motor içerisine alınacak toplam hava miktarı hesaplanabilir. İdeal gaz kanunundan yola çıkarak basıncı (aşırı doldurma basıncı),

sıcaklığı, ideal gaz sabiti ve silindir hacmi bilinen bir motor için o anda silindir içerisine ne kadar hava alınacağı hesaplanabilir. Sonrasında bir silindir için bulunan bu değer, silindir sayısı ve motor devri ile çarpılarak o çalışma koşulu için motor içerisine ne kadar hava girdiği hesaplanabilir.

Hacimsel verim de direkt olarak alınabilecek hava miktarını etkilediğinden, burada denklem içerisine çarpan olarak eklenmelidir. Böylece, o çalışma koşulunda, motora giren toplam hava miktarı hesaplanmış olur.

Egzoz geridönüş miktarı ise, belirli basınç ve sıcaklık altında silindir içerisine alınabilecek toplam hava miktarı sınırlı olduğundan, toplam alınabilecek teorik havadan algılayıcıdan gelen temiz hava miktarı bilgisi çıkarılarak hesaplanır.

Diğer bir deyişle, EGR valfinin kapalı ve gaz kelebeğinin tamamen açık olduğu durumda, temiz hava sensöründen okunan değer kadar hava debisi silindir içerisine girmektedir. Ancak EGR valfi açılmaya başladığında, toplam hacim sabit olduğundan, silindir içerisine akan egzoz gazı kadar temiz hava miktarı azalacaktır. Böylece, hesaplanan toplam alınabilecek hava miktarından, temiz hava sensöründen gelen hava miktarı çıkarılarak egzoz gazı miktarı hesaplatılmış olur.



Şekil 1.5 Motor ve egzoz gazı akışının sembolik gösterimi

Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılabileceği üzere, temiz hava algılayıcısının okuduğu değer silindir içerisine alınan havayı ve buna bağlı olarak da akmasına izin verilen egzoz gazı miktarını belirler. Dolayısıyla, okunan temiz hava debisi değerlerindeki sapmalar, miktarına bağlı olarak hem motorun kalibre edilen çalışma noktasından farklı bir noktaya kaymasını, hem de akıtılan egzoz gazı miktarına göre NOx, CO, HC ve is gibi egzoz salınımlarını etkilemesine neden olur. Bu nedenle de, zaman içerisinde

algılayıcının kendisini, önceden o motora özgü olarak kalibre edilen referans bir modele göre düzeltmesi için çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir.

1.1.5 Günümüzde Kullanılan Hava Debisi Algılayıcısı Adaptasyonu

Zaman içerisinde sensör ve sensör parçaları üzerinde biriken parçacıklar, tuz, su vb. maddeler, gün geçtikçe algılayıcının okuduğu değeri etkilemektedir. Bu durumda, gerçekte motor içerisine alınan hava miktarı ile algılayıcıdan ölçülen ve içeriye alınan hava miktarı kabul edilen değer arasında fark oluşmaktadır. Bu nedenle, araçta bulunan elektronik kontrol ünitesi vasıtasıyla, araç üreticilerine göre farklı algoritmalar çalıştırılmakta ve algılayıcıdaki bu sapma gerçek zamanlı olarak giderilmeye çalışılmaktadır.

Bu algoritmalar, üreticiden üreticiye farklılık gösterse de genel çalışma mantığı olarak birbirlerine yakın çalışırlar. Ölçülen sensörün doğruluğunun kontrol edilebilmesi için öncelikle motorun o andaki çalışma şartlarına göre kıyaslanabilecek, önceden modellenmiş referans bir verinin olması gerekmektedir. Bu modelin girdileri Bölüm 1.1.4.4 de kısaca anlatılmıştır, ilerleyen bölümlerde daha detaylı hesaplatılacaktır.

Bölüm 1.1.4.4 de bahsedildiği gibi, hesaplanan egzoz gazı geri dönüş miktarı için de bu modelden yararlanılmaktadır. Bu model, motora alınabilecek toplam hava miktarını gösterdiğinden, modelin oluşturulması için toplanan veri EGR valfi kapatılarak toplanılmalıdır. Aksi takdirde, model hatalı hesaplanacak, buna bağlı olarak da hacimsel verim de yanlış hesaplanacaktır.

Referans veriyi sağlayan bu model, EGR kapalı durumda alınan toplam hava miktarını gösterdiğinden, hava debisi algılayıcısının adaptasyonu da aynı şekilde EGR kapalı durumda yapılmalıdır. Çünkü ideal durumda EGR kapalı iken sensör verisi ile modelin aynı olması beklenilmektedir.

Buna bağlı olarak, günümüzde kullanılan adaptasyon algoritmaları, motorun belirli çalışma bölgelerinde devreye girmektedir. Yani adaptasyon yapılabilmesi için, motor hızı ve yük gibi önceden belirlenmiş parametrelerin sağlanması gerekmektedir. Bu parametreler sağlandığında, adaptasyon fonksiyonu tarafından EGR valfi kapatılır ve sensörden ölçülen değer ve model ile hesaplanan değer mukayese edilir. Aradaki sapma miktarı hesaba katılarak birinci dereceden bir düzeltme faktörü hesaplanır ve bu nokta için bu değer saklanır.

Aynı şekilde, motorun diğer çalışma noktalarında da bu yöntem izlenilerek o noktalar için de düzeltme faktörü hesaplanır. Genel olarak, motorun farklı çalışma koşullarını sağlayacak noktalar seçilerek bu düzeltme katsayıları hesaplanır.

Seçilen noktalarda düzeltme katsayıları hesaplandıktan sonra, bu noktaların dışında da adaptasyonun uygulanabilmesi için, bulunan düzeltme katsayılarından bir eğri oluşturulur. Bu eğride, hesaplanan iki nokta arasında kalan herhangi bir nokta için düzeltme katsayısı doğrusal interpolasyon ile o nokta için hesaplanır. Böylece belirli birkaç noktada hesaplanan düzeltmeler, motorun genel çalışma bölgesine yayılmış olur.

1.2 Tezin Amacı

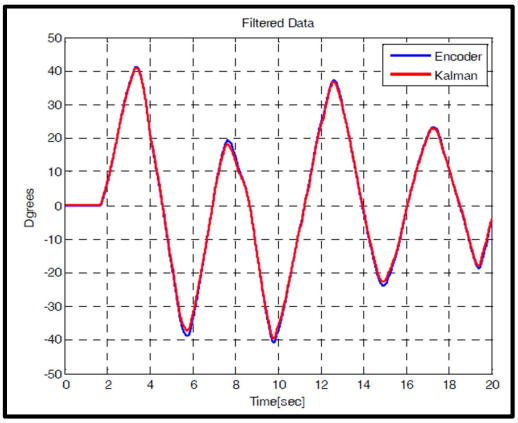
Önerilen tez çalışmasının amacı, günümüzde kullanılan hava debisi ölçüm sensörü adaptasyonunun geliştirilerek daha tutarlı sonuçlar elde edilmesini ve düzeltme işleminin motorun sadece belirli çalışma noktalarında değil, herhangi bir noktasında yapılabilmesini sağlamaktır.

Yapılacak olan düzeltme ile, zaman içerisinde eskiyen veya yaşlanan parçaya bağlı olarak çevreye salınan emisyon miktarının değişmemesi amaçlanmıştır. Hava kütlesi ölçüm sensörünün sapma yönüne göre motor istenenden daha fazla NOx emisyonu üretebilir, veya fazla EGR miktarından dolayı beklenenden fazla is oluşumuna sebebiyet verebilir. NOx salınımının çevreye verdiği zararın yanında, fazla is oluşumu da motorda güç düşüklüğü ve DPF sorunlarına yol açabilmektedir.

Ayrıca, önerilen yöntem ile motorda hiçbir zaman bu fonksiyon kaynaklı EGR valfi kapatılmayacaktır. Mevcut sistemin aksine bu sistem, EGR valfini kapatıp düzeltme yapmayacak, onun yerine EGR valfinin kapalı olduğu herhangi bir anda ve noktada düzeltme işlemi için katsayı hesaplamasını gerçekleştirecektir.

Fonksiyon kaynaklı EGR valfi kapatılmadığından, anlık olarak motorda tork değişimi, aşırı doldurma basıncı değişimi vb. durumlar meydana gelmeyecektir. Böylece kullanıcıya rahatsızlık verebilecek herhangi bir durum söz konusu olmayacaktır.

Aynı şekilde, Kalman filtresinin tahmin ya da öngörü yeteneği benzer çalışmalarda da kullanılmıştır. Örneğin iki tekerlekli bir robotta kullanılan jiroskop ve eğim sensörlerinde meydana gelen sapmaları giderebilmek adına Kalman filtresi kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışma ile ilgili sensör ve Kalman filtresi tahmini grafiği Şekil 1.5'de verilmiştir [7].



Şekil 1.5 Eğim sensörü ve Kalman filtresi çıktılarının karşılaştırılması

Yine benzer şekilde Virginia Commonwealth Üniversitesi'nde yapılan çalışmada yakın-kızılötesi spektrometresinde meydana gelebilecek sapmaları düzeltebilmek amacıyla Kalman filtresi kullanılmıştır[8]. İlgili çalışmada, farklı değerler için rastgele sapma miktarları uygulanmış ve Kalman filtresi ile sapma giderilmeye çalışılmıştır.

1.3 Orijinal Katkı

İçten yanmalı motorun en önemli parçalarından olan MAF sensörü, motorun olmazsa olmaz bileşenlerinden birisidir ve zaman ve çeşitli etmenlere bağlı olarak sensörün okuduğu değerde sapma olması kaçınılmazdır. Günümüzde bu sapmayı giderebilmek amacıyla her ne kadar çeşitli yöntemler uygulansa da halihazırdaki yöntemlerin hepsi çok spesifik çalışma koşullarına ihtiyaç duymaktadır ve düzeltme yapabilmek için motorda fazladan aksiyonlar almaktadır.

Bu çalışma ile, motorun çalışma noktalarından ve özel koşullardan bağımsız olarak, motorun herhangi bir çalışma anında sensördeki sapmayı giderebilmek amacıyla düzeltme uygulanabilmektedir. Ayrıca, diğer çalışmalardan farklı olarak bu yöntemde sensörün geçmişteki sapma bilgisi de hesaba katılarak daha tutarlı ve sensörün tüm okuma aralığındaki değerler için düzeltme yapılabilmektedir.

BÖLÜM 2

METOD

Motor hava kütlesi algılayıcısında meydana gelebilecek sapmanın saptanabilmesi ve sonrasında bu sapmanın düzeltilebilmesi için referans bir değere ihtiyaç vardır. Adaptasyon algoritmasının, hava kütlesi algılayıcısına yanlış veya gereksiz düzeltme uygulamasının engellenmesi için oluşturulan modelin doğruluğu büyük önem taşımaktadır. Aksi halde, aslında doğru değer okuyan algılayıcının adaptasyon algoritması ile bozulmasına veya okuması gereken değerden farklı bir değere düzeltilmesine neden olunur.

Ayrıca, oluşturulan modelin, sadece modellemede kullanılan motorda değil, aynı zamanda aynı motor modelindeki farklı motorlar ve o motorun kullanıldığı araçlarda da doğru sonuç vermesi gerekir. Böylece, kullanılan algoritmanın araç seri üretiminden sonra piyasaya sürülen milyonlarca araçta da aynı şekilde ve doğru çalıştığından emin olunur.

Bu sebeple, model oluşumu esnasında kullanılan araç veya motor dinamometresinin çalışmaya başlanılmadan bütün kontrollerinin yapılması, motor üzerinde herhangi bir kaçak olmadığından emin olunması, ayrıca kullanılacak yardımcı ekipman var ise onların da kalibrasyonlarının yapılıp doğru değerler verdiğinden emin olunması gerekir.

Bunun yanında modelleme işlemi eğer motor dinamometresinde yapılacaksa, motor üzerinde kullanılan parçaların araç seviye parça olması ve yerleşimlerinin de araç mimarisine göre yapılmış olması gerekir. Örneğin, aşırı doldurma sistemi sonrası ara soğutucu kullanılacaksa, bu parçanın yerleşiminin araçla aynı olması, bunun yanında kullanılan bütün boru ve diğer ekipmanların araçta kullanılan parça ile aynı olması, eğer bu mümkün değilse uzunluk ve çap gibi özelliklerinin araç seviyesi parçalar ile örtüşmesi gerekmektedir.

Böylece, hava emiş sisteminde oluşacak olan basınç kaybı ve sistemdeki toplam hacim araçla aynı tutularak, oluşturulan modelin ve hesaplanan hacimsel verimin araçta da düzgün çalışması sağlanabilir.

Bununla birlikte, eğer hacimsel verim ve bahsi geçen model projenin ilk safhalarında hesaplandıysa, zaman içerisinde değişebilen parça seviyelerinden ve prototip – seri üretim parça farklarından dolayı projenin ilerleyen dönemlerinde tekrar kontrol edilmesi gerekebilir.

2.1 Referans Modelin Hesaplanması

Burada kullanılacak ve hesaplanacak olan referans model, önceki bölümlerde de belirtildiği gibi aslında motora toplam ne kadar hava alındığını göstermektedir. Gerekli girdiler motor üzerindeki algılayıcılar vasıtası ile ölçümlendiğinden ideal gaz denklemi kullanılarak belirli bir sıcaklık, basınç ve hacimdeki hava kütlesi hesaplanabilir:

$$P.V = m.R.T \tag{2.1}$$

$$m = \ (P.V)/(R.T) \tag{2.2}$$

Formül 2.2 nin indisleri motor için düzenlenir, motor hızı ve strok sayısı da denkleme eklenir ve birim dönüşümü yapılırsa formül 2.3 elde edilebilir. Bu durumda alınabilecek maksimum hava miktarı hesaplatılmış olur.

$$m_{hava,i} = (P_{mnf}.V_c.N.60)/(R_{hava}.T_{hava}.a) \tag{2.3}$$

Motorun herhangi bir çalışma noktası için, algılayıcılar ile ölçülen aşırı doldurma basıncı ve sıcaklığı, motor karakteristiği olan silindir hacmi ve hava için evrensel gaz sabiti olan 287 J/kgK değeri formül 2.3 de yerlerine koyularak o andaki hava miktarı hesaplanabilir.

Eğer içten yanmalı motorda hava akış halinde değil de durağan olsaydı, yani motor kapalı bir kap gibi davransaydı, ya da kullanılan parçaların hepsi ideal olup hiç basınç ve akış kaybı yaşatmasaydı (hacimsel verim 1 olsaydı) formül 2.3 de hesaplanan değer direkt olarak kullanılabilirdi.

Ancak gerçek dünyada içten yanmalı motorda sürekli bir akış hava akışı olduğundan ve kullanılan parçalar kayıp yarattığından bu etmenlerin de denkleme eklenmesi gerekmektedir. Bu durumda da hacimsel verimin doğru modellenmesi, direkt olarak denkleme çarpan olarak eklendiğinden referans değer üzerinde önemli etkisi olmaktadır. Bunun sonucunda gerçekte motor içerisine alınan hava miktarı formül 2.4 deki gibi olacaktır:

$$m_{hava} = \eta.m_{hava,i} \tag{2.4}$$

Formül 2.3 de bilinmeyen girdiler algılayıcılar ile ölçüldüğünden, algılayıcı doğru okuduğu sürece model çıktısında hata riski pek yoktur. Ancak hacimsel verimin kendisi başlı başına hesap olduğundan ve motorda anlık olarak hesaplanmayıp oluşturulan tablolardan okunduğundan hacimsel verimde hata yapma olasılığı daha yüksektir. Ayrıca parçadan parçaya, araçtan araca farklılıklar oluşabileceğinden, ya da kullanılan hava filtresinin kirli veya temiz olduğundan hacimsel verim farklı araçlarda bir miktar değişebilir. Ancak bu değişiklik ihmal edilebilecek büyüklüktedir. Yine de algoritmanın bu ve bu gibi durumlara hassas olması önlenmek istenirse minimum hata miktarı tanımlanabilir. Böylece bu limitten küçük olan hata durumlarında algoritmanın devreye girmesi engellenmiş olur.

2.2 Hacimsel Verimin Modellenmesi

Hacimsel verim, alınan gerçek hava miktarının teorik olarak alınabilecek maksimum hava miktarına oranıdır.

$$\eta = \frac{m_{maf}}{m_{hava,i}} \quad (2.5)$$

Formül 2.3 den $m_{hava,i}$ 4 stroklu bir motor için denklemde yerine koyulur ve birim dönüşümleri yapılırsa:

$$\eta = \frac{m_{maf}.R_{hava}.T_{hava}.2}{P_{mnf}.V_c.N.60} \quad (2.6)$$

Hacimsel verim, motor hızı ve yüküne göre değişebildiğinden dolayı motorun tek çalışma noktasında hacimsel veriminin hesaplanması diğer çalışma şartları için doğru sonuç vermeyecektir. Bunun yerine, günümüzde kullanılan yeni nesil araçların çoğunda olduğu gibi motorun genel çalışma bölgesi dikkate alınarak her çalışma noktası için farklı hacimsel verim hesaplatılabilir. Bunun için de EGR valfi kapalı iken hacimsel verimin hesaplanacağı noktalardan veri toplanır ve hacimsel verim hesaplanarak tablo şeklinde depolanır. Böylece farklı çalışma noktalarına özgü hacimsel verim hesaplatılmış olur ve tutarlılığı artar.

2.3 Durum – Uzay Denklemlerinin Oluşturulması

Önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi, MAF sensöründen okunan değer aynı şartlar için hesaplanan model çıktısı ile kıyaslanacak ve eğer sapma varsa modele göre düzeltme uygulanacaktır. Bu durumda, sensör ve model çıktıları arasındaki bağıntılar aşağıdaki gibi yazılabilir. Bu denklemlerden hangilerinin kullanılacağı uygulamaya göre değişebilir. Teorik olarak her biri ayrı ayrı kullanılabilir ancak iki veya daha fazla dereceden düzeltme katsayısı uygulamak uzun dönem kullanımlarında daha iyi sonuçlar verecektir. Bildiğimiz gibi, parabolik bir denklem oturtmak, doğrusal bir denklem oturtmaya göre daha fazla noktayı kapsayabilir. Aynı zamanda, denklemlere sabit değer eklemek, bu şekildeki sabit kaymaları düzeltmek için kullanışlı olabilmektedir. Sonraki bölümlerde bunlarla ilgili örneklere ve karşılaştırmalarına değinilecektir. Kullanılabilecek örnek denklemlerden birkaç tanesi yazılırsa:

$$M_{hava} = a * M_{maf} \quad (2.7)$$

$$M_{hava} = a * M_{maf} + c \quad (2.8)$$

$$M_{hava} = a * \left(M_{maf}\right)^2 + b * M_{maf} \quad (2.9)$$

$$M_{hava} = a * \left(M_{maf}\right)^2 + b * M_{maf} + c \quad (2.10)$$

Yukarıdaki denklemlerde a ve b MAF sensörü çıktılarını düzeltmek için hesaplanacak olan düzeltme katsayılarıdır. c ise eklenebilecek olan sabit sayıdır ve bu sayı da aynı şekilde MAF sensörü sapmasını sıfıra yaklaştırmak için kullanılacaktır. Bu üç katsayı, zaman içerisinde sürekli olarak algoritma tarafından güncellenecek ve böylece her durumda MAF sensörünün sapmasının önüne geçilmeye çalışılacaktır.

İdeal durumda MAF sensörünün çıktısı ile model çıktısının aynı olması beklenir. Bu durumda örneğin denklem 2.10 için a katsayısı "0", b katsayısı "1" ve c sabit sayısı "0" olacaktır. Zaman içerisindeki sapma miktarı ve karakteristiğine göre bu katsayılar otomatik olarak güncellenecek ve MAF sensörü çıktısı ile model çıktısının aynı olması sağlanmaya çalışılacaktır.

2.4 Kabuller

Teoride, işlem gürültü kovaryansı matrisi "Q" ve ölçüm gürültü kovaryansı matrisi "R" zaman içerisinde sürekli güncellenebilir, ancak bu çalışmada bu matrisler sabit kabul edileceklerdir.

Tahmin hatası kovaryansı "P" başlangıç koşulları için 1 olarak seçilmiştir. İşlem sırasında oluşturulan çıktılara göre kendisini güncelleyecektir. 1 olarak seçilen değer, diğer girdilerin matris olarak kullanılması durumunda 1'e karşılık gelecek şekilde matris gösterimi ile yazılacaktır. Bu durum, sadece hesaplanacak ilk değerlerin hata miktarını etkileyecektir, sonrasında Kalman filtresi hatayı azaltacak yönde çalışmaya devam edeceğinden son bulunacak olan değerlerde bu durum giderilmiş olacaktır.

Ölçüm gürültüsü kovaryansı "R" başlangıç koşulları için 1 olarak seçilmiştir. Bütün işlemler boyunca 1 olarak kalacaktır.

Ön durum tahmini olan $\hat{X}_k^-$ değeri başlangıç için 0.0001 olarak kabul edilmiştir. Yine aynı şekilde işlem esnasında Kalman filtresi tarafından güncellenecektir.

Yukarıda başlangıç koşulları için seçilen bütün değerler, sistemin geneli düşünüldüğünde mantıklı olabilecek şekilde seçilmiştir. Tabii ki bunun dışındaki seçilen değerler de aynı şekilde çalışacaktır. Burada seçilen değerlerin farklı olmasından dolayı oluşabilecek olan fark sadece ilk hesaplamalarda bulunan katsayıların hata miktarlarını etkileyecektir. Günün sonunda sapmayı düzeltecek olan katsayılar doğru bir şekilde bulunmuş olacaktır. Hesaplanan ilk değerlerin negatif etkisini göz ardı etmek için kullanılacak olan aracın yazılımına zaman bazlı filtre eklenerek ilk birkaç dakika için hesaplanan değerler düzeltme için kullanılmayabilinir.

Ayrıca, hesaplanacak olan katsayıların türevleri sıfır olarak kabul edilecektir.

2.5 Kalman Filtresi Denklemlerinin Çalışmaya Uyarlanması

Kalman Filtresi başlığı altına verilen ve ölçüm güncelleme denklemleri olan denklem (1.3), (1.4) ve (1.5) kolaylık olması açısından aşağıda yeniden yazılmışlardır.

$$K_k = P_k^- H^T (H P_k^- H^T + R)^{-1} \quad (1.3)$$

Yukarıda verilen denklem (1.3) de Kalman kazancı hesaplatılacaktır. Tekrarlı bir metod olduğundan, tahmin hata kovaryansı olan "P_k" ve durum matrisi olan "H" matrisi her güncellendiğinde Kalman kazancı da güncellenecek ve güncellenmiş hali ile sonraki adımda kullanılacaktır. Bu denklemde durum matrisi olan "H", şekil olarak güncellenmese de değer olarak değişecektir. Bu matrisin oluşturulmasından sonraki bölümde ayrıca bahsedilecektir.

Ölçüm gürültüsü kovaryansı olan "R" matrisi de yukarıda sabit olarak kabul edildiğinden sabit değer olarak kalacaktır.

$$\hat{X}_k = \hat{X}_k^- + K_k(Z_k - H\hat{X}_k^-) \quad (1.4)$$

Eşitlik (1.4) deki durum tahmini olan $\hat{X}_k$, hesaplatılacak olan katsayıları barındıracak matris olacaktır ve "k" anındaki güncellenmiş olan son katsayıları verecektir. Ölçüm yeniliği ya da artık olarak anılan "$(Z_k - H\hat{X}_k^-)$" ifadesi; model çıktısı olan "Z_k" ve MAF

sensöründen gelen değerleri içeren "H" matrisi ile k anındaki ön hesaplama sonucu olan "$\hat{X}_k^-$" nın çarpımının farkı olacaktır. Yani k anındaki model çıktısı olan değer ile MAF sensöründen okunup düzeltme uygulanan değer arasındaki fark olacaktır.

$$P_k = (1 - K_k H)\, P_k^- \tag{1.5}$$

Tahmin hata kovaryansı olan "P_k", her adımda güncellenip değeri değişen H matrisi ve Kalman kazancının değişmesi ile birlikte güncellenmektedir. Bir önceki değer, bir sonraki adımda girdi olarak kullanılmaktadır.

2.6 Durum Matrisinin Yazılması

Oluşturulacak olan durum matrisi "H", düzeltme uygulamak amacıyla seçilecek olan denklem (2.7), (2.8), (2.9) veya (2.10) a göre şekillenecektir. Diğer bir deyişle, ilgili düzeltme denklemlerini sağlayacak olan matris olacaktır. Bu matrisin boyutuna bağlı olarak da, yazılacak olan diğer matrislerin boyutu matematiksel işlem yapabilmek adına güncellenecektir.

Bu bölümde matrislerin nasıl yazılabileceği iki örnekle açıklanacaktır. Sonraki bölümlerde ise burada uygulanan yöntem aynen aktarılarak bu matrisler ilgili denklemlere göre uyarlanacak ve birbirlerine göre karşılaştırılmaları sunulacaktır.

Eğer denklem (2.9) örnek olarak seçilip kolaylık olması açısından aşağıda tekrarlanırsa oluşturulacak olan matrisler şu şekilde olacaktır:

$$M_{hava} = a * \left(M_{maf}\right)^2 + b * M_{maf} \tag{2.9}$$

$$H = \begin{bmatrix} M_{maf}^2 & M_{maf} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{2.11}$$

$$\hat{X}_k^- = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \tag{2.12}$$

"Kabuller" bölümünde de belirtildiği üzere başlangıç koşulları için a ve b sayıları 0.0001 olarak seçilmiştir. Bu durumda ilgili matris yeniden yazılırsa eşitlik (2.13)'deki gibi olacaktır.

$$\hat{X}_k^- = \begin{bmatrix} 0.0001 \\ 0.0001 \end{bmatrix} \tag{2.13}$$

Böylece "H" ve "X_k" matrislerinin çarpımından "$a * \left(M_{maf}\right)^2 + b * M_{maf}$" elde edilecektir. Bu sonuç da kullanılmak istenilen düzeltme denklemini vermektedir. Yine seçilecek olan denkleme göre yazılan bu matrislere uygun olarak ön tahmin hata kovaryansı "P_k^-" ve ölçüm gürültü kovaryansı "R" matrislerinin boyutları da ayarlanacaktır. Bu durumda ilgili matrisler denklem (2.14) ve (2.15) de olduğu gibi yazılabilir. Bu işlem, matrisler arası çarpımı gerçekleştirebilmek için gereklidir. Yine bu matrisler önceki bölümlerde belirtilen kabuller referans alınarak oluşturulmuştur.

$$P_k^- = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2.14}$$

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2.15}$$

Böylece, ilgili girdiler denklem (1.3), (1.4) ve (1.5) de yerlerine yazılarak işlemler yapılabilir.

Aynı matrisler, denklem (2.10) için yazılırsa eşitlik (2.16), (2.17), (2.18) ve (2.19) daki gibi olacaktır.

$$H = \begin{bmatrix} M_{maf}^2 & M_{maf} & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{2.16}$$

$$\hat{X}_k^- = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \tag{2.17}$$

$$P_k^- = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2.18}$$

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2.19}$$

Böylece, denklem (2.9) için (1.3), (1.4) ve (1.5)'deki Kalman filtresi denklemleri yeniden yazılıp matrisler yerlerine koyulursa aşağıdaki üç denklem oluşacaktır.

$$K_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{maf}^2 & 0 \\ M_{maf} & 0 \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} M_{maf}^2 & M_{maf} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{maf}^2 & 0 \\ M_{maf} & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \right)^{-1} \tag{2.20}$$

Böylece Kalman kazancı hesaplatılmış olacaktır.

$$\hat{X}_k = \begin{bmatrix} 0.0001 \\ 0.0001 \end{bmatrix} + K_k (M_{hava} - \begin{bmatrix} M_{maf}^2 & M_{maf} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.0001 \\ 0.0001 \end{bmatrix}) \tag{2.21}$$

Denklem (2.21) de başlangıç değeri olarak 0.0001 alınan katsayılar, ilgili denklemin çözülmesi ile güncellenecektir. Bir sonraki adımda ise, güncellenen bu katsayılar, yukarıdaki denklemde 0.0001 değerinin yerine yazılacak ve sonraki adım için yeniden güncellenecektir.

$$P_k = (1 - K_k \begin{bmatrix} M_{maf}^2 & M_{maf} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}) \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2.22}$$

Denklem (2.22)de başlangıç değeri olarak 1 kabul edilen tahmin hata kovaryansı, ilgili denklemde her adım için yeniden güncellenecek ve sonraki adımlarda güncellenen her bir değer bir önceki değerin yerine koyularak sonraki değerler hesaplatılacaktır.

Yukarıdaki denklemlerden de anlaşılacağı üzere, başlangıç değeri olarak seçilen değerler her adımda güncellenecektir. Böylece ideal ortamda ve uzun tekrarlamalarda seçilen başlangıç değerlerinin sonucu etkilemeyeceği görülecektir.

2.7 Deney Motoru

Çalışma sırasında 4 stroklu, sıralı 4 silindirli 2 litre silindir hacmine sahip dizel binek araç motoru kullanılmıştır. İlgili motor, değişken geometrili turboşarj ve soğutuculu EGR sistemine sahiptir. Yakıt sistemi olarak ortak hat yakıt püskürtme sistemini barındırmaktadır. Motor henüz geliştirme aşamasında olduğundan daha detaylı bilgi verilememektedir.

2.8 Dinamometre

Dinamometrede yapılan çalışmalar Ford Otosan AŞ. Gölcük tesislerindeki AVL DynoExact APA 204/8 tipi dinamometresinde tamamlanmıştır. İlgili dinamometrenin özellikleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2.1 AVL APA 204/8 tipi dinamometre teknik özellikleri [2]

Özellik	***Değer/Model***
Tipi	AVL DynoExactAPa 204/8
Moment	934 Nm @ 0-4000 dev/dak
Güç	220 kW (295hP)@4000-9000 d/d
Frenleyici Tipi	Asenkron
Kontrol Şekli	Aktif-Pasif
Bölge Sayısı	4
Voltaj Devresi	IGBT
Tork Hesabı	1kHz-4kHz
Tork Tepkisi	<3ms
Harmonikler	<4,5%
Koruma Sınıfı	IP 23
Soğutma Tipi	Fanlı-Cebri
Yatak Sıcaklığı Ölçüm Tipi	PT100
İç Sıcaklık ölçüm Tipi	PTC Rezistör
Hız Ölçümü	1024 Pulse /Optik Enkoder
Çalışma Sıcaklık Aralığı	+5 /+40 ℃
Çalışma Nem Aralığı	max.95% (yoğunlaşmamış)
Aşırı Yükleme Kapasitesi	25% (15 dak.da 1 dak.)
Yük hücresi *(Tork Ölçümü için)* Sıcaklık Kayması • Hassasiyette • Sıfır noktasında	C3 sınıfı <0,008 % <0,012 5%
Toplam Sistem Hassasiyeti	0,3 %FS



Şekil 2.1 AVL APA 204/8 tipi dinamometre

2.9 Egzoz Emisyonları Ölçüm Cihazı (CO,CO2,NOX,THC)

NEDC testleri esnasında alınan emisyon verileri için Horiba MEXA 7100 DEGR cihazı kullanılmıştır. Bu çalışmada yalnızca NOx ve HC verileri sunulmuştur. İlgili cihazın özellikleri ve genel görünümü aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2.2 Horiba 7100 DEGR cihazı sensörleri ve ölçüm aralıkları [2]

Ölçülen Gaz	Kullanılan Analizör	Ölçüm Aralığı
CO (Düşük)	NDIR	0-2000 ppm
CO (Yüksek)	NDIR	2000-15000 ppm
CO_2	NDIR	0-20 % hacim
NO / NO_x	CLD	0-15000ppm
THC	FID	0-15000ppm
O_2	MPD	0-5 % hacim

İlgili cihazda kullanılan sensör tiplerinin kısaltmaları şu şekildedir.

• NDIR: Non-Dispersive Infrared Detector (Saçılımsız kızılötesi dedektörü)

• CLD: Chemiluminescence Detector (Kemilüminesans/kimyasal ışıldama dedektörü)

• FID: Flame Ionisation Detector (Alev iyonizasyon dedektörü)

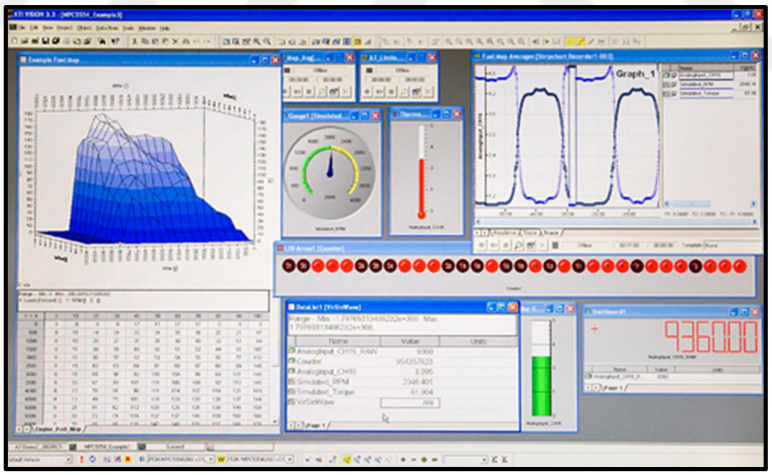
• MPA: Magnophneumatic Detector (Magnopnömatik dedektörü)



Şekil 2.2 Horiba Mexa 7100 DEGR egzoz emisyon ölçüm cihazı

2.10 Motor Kontrol Ünitesi Kontrolü

Çalışma esnasında kullanılan motor kontrol üniteleri erişime açık halde olup kalibrasyon çalışmaları ve parametrelerin değiştirilmesi için ATI Vision programı kullanılmıştır.



Şekil 2.3 ATI Vision genel görünüm [9]

2.11 PUMA Test Otomasyonu Sistemi

Test esnasında dinamometre ve motorun kontrolü, emisyon cihazları, basınç ve sıcaklık ölçerlerin kontrolü ve verilerinin alınıp kaydedilmesi amacıyla PUMA Open yazılımı kullanılmıştır.

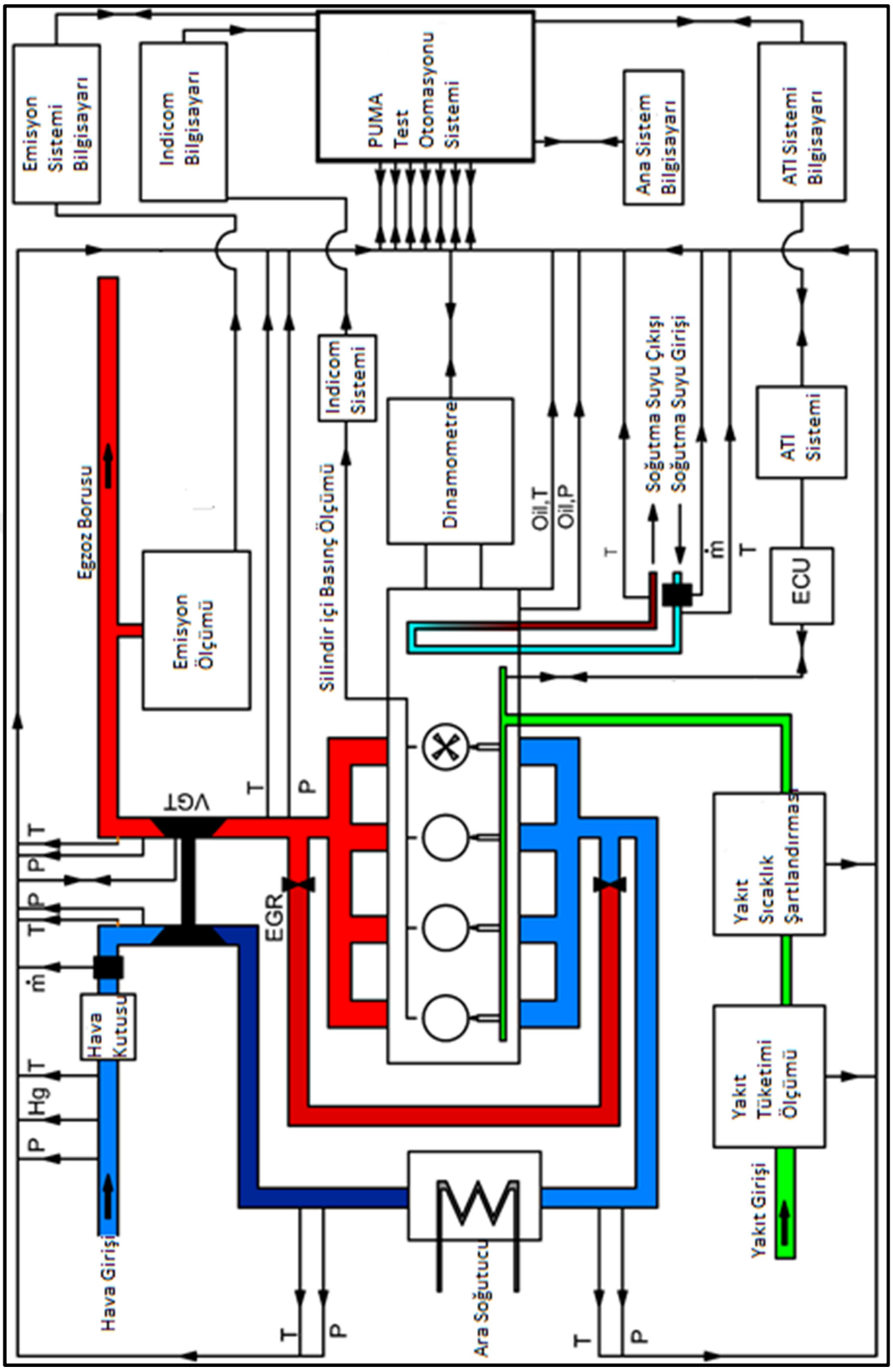


Şekil 2.4 PUMA Open programı arayüzü [2]

PUMA Open programı yardımıyla tüm cihazlar ve dinamometre tek bir yerden kontrol edilmiş, aynı zamanda önceden yazılan NEDC testi ilgili program vasıtasıyla koşulmuş ve verileri kaydedilmiştir.

2.12 Dinamometre Test Odası

Testler esnasında kullanılan dinamometrenin şeması sonraki sayfada verilmiştir [2].



Şekil 2.5 Test odası şeması

BÖLÜM 3

SONUÇLAR

Bu bölümde gösterilecek olan bütün veriler 2.0 litre Turbo-dizel motorlu araçtan ve aynı motora sahip dinamometreden toplanmıştır. İlgili motor üzerindeki motor kontrol ünitesi özel amaç doğrultusunda hazırlanmış olup içerisindeki bütün parametrelere erişim imkanı vermektedir. Böylece model çıktısı olarak adlandırılan parametre ayrıca tekrar hesaplatılmamış, motor kontrol ünitesi içerisindeki aynı yöntemle hesaplayan kanaldan alınmıştır.

İlgili çalışma için öncelikle 3785 noktadan oluşan genel sürüş verisi toplanılmıştır. Sürüş esnasında veri toplama hızı olarak 10 Hz seçilmiştir. Bu verilerin toplanılması sırasında, EGR valfi tamamen kapatılmış olup özel bir sürüş profili gözetilmeksizin şehir içerisinde bilgi toplanılmıştır. İlgili verinin motor hızı profili Şekil 3.1'de verilmiştir.

İkinci çalışma olarak aynı durum motor dinamometresinde NEDC testi koşularak MAF sensöründe sapma yokken, %10 sapma ve %20 sapma varken karşılaştırmaları yapılmıştır. Bunun sonucunda motor emisyonlarının değişimleri gözlenmiş olup detayları ilerleyen sayfalarda verilmiştir. Sonrasında yine aynı şekilde alınan veriler algoritmaya beslenerek MAF sensöründeki sapmayı giderecek şekilde düzeltme katsayıları hesaplatılmıştır. Seçilecek olan düzeltme denklemi ise ilk çalışma sonrasında uygun olan ve en iyi sonuç veren denklem olacaktır.

Verilerin işlenmesi ve model çıktılarının hesaplatılması için MATLAB R2017a programı kullanılmıştır. Her bir durum için, düzeltme katsayıları öncelikle MATLAB programında eğri oturtma yöntemi ile hesaplatılacak sonrasında da algoritmanın hesapladığı düzeltme katsayıları ile karşılaştırılacak ve algoritmanın doğru sonuçları hesapladığı ispatlanacaktır.

Bu çalışmada öncelikle daha önceden toplanılmış olan veriler işlenerek sonuçlar elde edilmiştir. Aşağıdaki grafiklerde gösterilecek olan sonuçlar bu şekilde elde edilmiştir. Ancak algoritmaya tekrarlı olarak bir döngü içerisinde veri beslenildiğinden bu durum sonuçlar etkilemeyecektir. Gerçek araçta kullanılacak olan durumda ise sadece algoritmadaki döngü kısmı ortadan kaldırılarak verilerin anlık olarak akması sağlanacaktır.

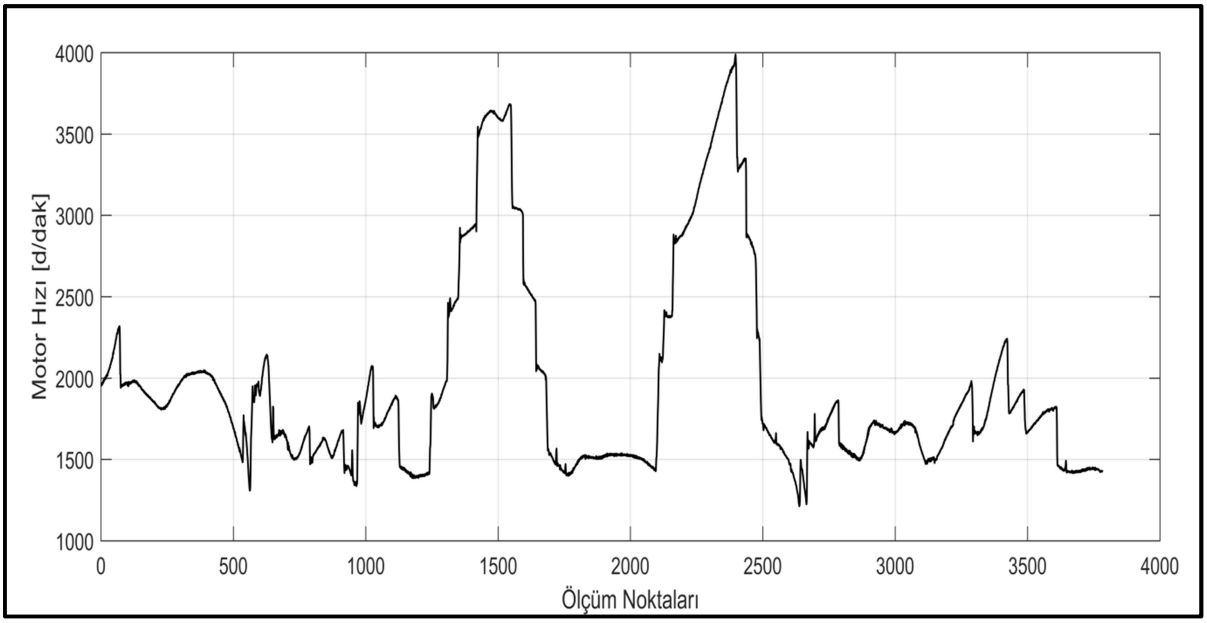
Şekil 3.2'de gösterilecek olan durum, birinci çalışma için motorun MAF sensöründe herhangi bir sapma olmadığı durumu göstermektedir. Böylece MAF sensöründe sapma

yokken dahi hacimsel verim modelinden gelen hata paylarıyla oluşacak olan model ve MAF sensörü çıktıları karşılaştırılmıştır.

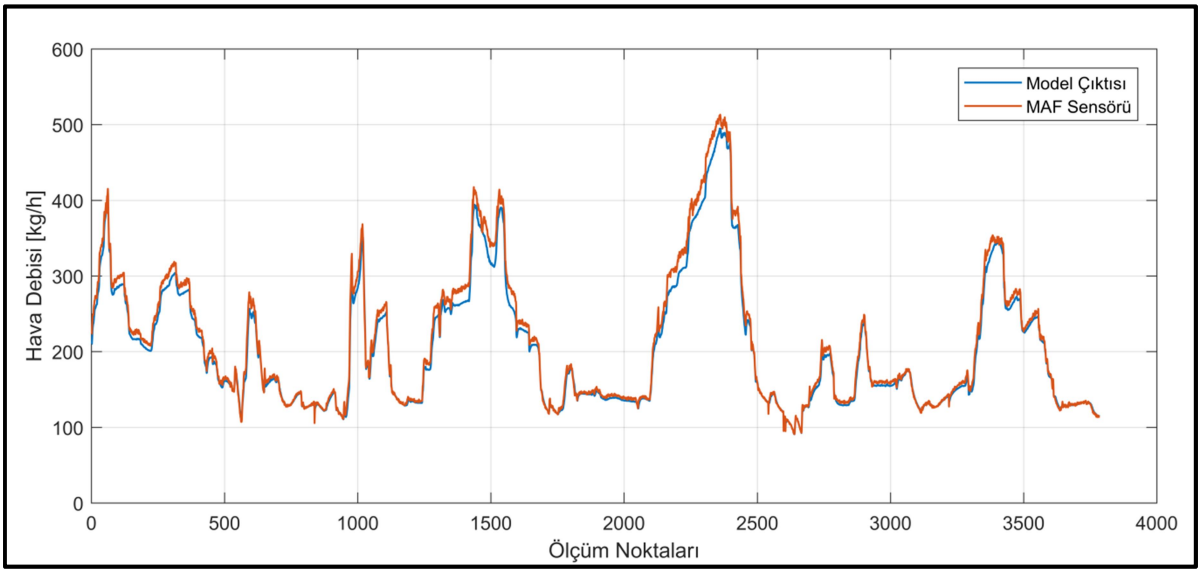
Başlangıç durumu Şekil 3.2'de gösterildikten sonra MAF sensörüne öncelikle pozitif ve negatif yönde 75 kg/h sabit sapma uygulanacak ve bu sapmayı giderebilmek için hesaplanan düzeltme katsayıları gösterilerek MATLAB ve algoritma çıktıları karşılaştırılacaktır.

Sonraki adım olarak da MAF sensörü çıktısına %20'lik bir hata her iki yönde uygulanarak düzeltme katsayıları karşılaştırılacaktır.

Durum-uzay denklemi olarak da denklem (2.7), (2.8), (2.9) ve (2.10) ayrı ayrı kullanılarak sonuçları kıyaslanacaktır.



Şekil 3.1 Motor hızı



Şekil 3.2 Model çıktısı ve MAF sensörünün karşılaştırılması

Şekil 3.2'den de görülebileceği gibi, bazı bölgelerde model çıktısı ile MAF sensörünün ölçümü arasında fark olabilmektedir. İlgili bölgeler için hacimsel verim kalibrasyonu güncellenerek bu durum giderilebilir.

Bu çalışmada ilgili bölgelerdeki hacimsel verim kalibrasyonu doğru kabul edilerek devam edilecektir. Önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi daha hassas düzeltme uygulanabilmesi için hacimsel verim kalibrasyonunun doğru yapılmış olması gerekmektedir.

Çalışmanın kalan bölümlerinde model çıktısı hiçbir zaman güncellenmeyecektir. Yani bu çalışma için referans data her zaman Şekil 3.2'den de görülebileceği üzere model çıktısı olacaktır. MAF sensöründeki sapma algoritma ile giderildikten sonra da referans veri ile üst üste çizdirilerek son durumda okunan değerler gösterilecektir.

3.1 "$M_{hava} = a * M_{maf}$" Düzeltme Denklemi Olarak Seçilirse

Bu durumda önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi ilgili matrisler düzenlenirse aşağıdaki sonuçlar elde edilir:

$$H = \begin{bmatrix} M_{maf} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

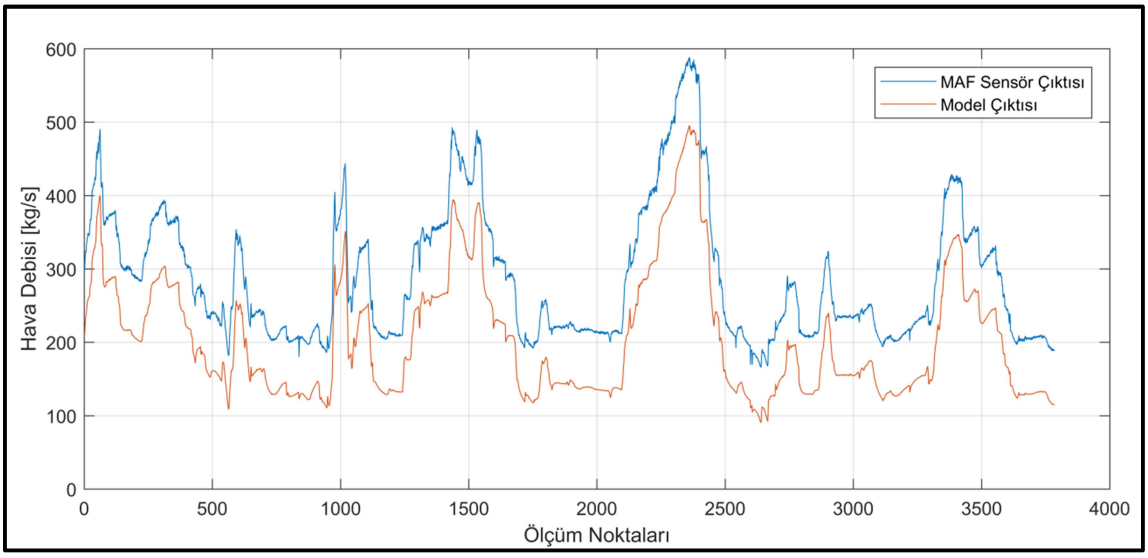
$$\hat{X}_k^- = \begin{bmatrix} a \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

$$P_k^- = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

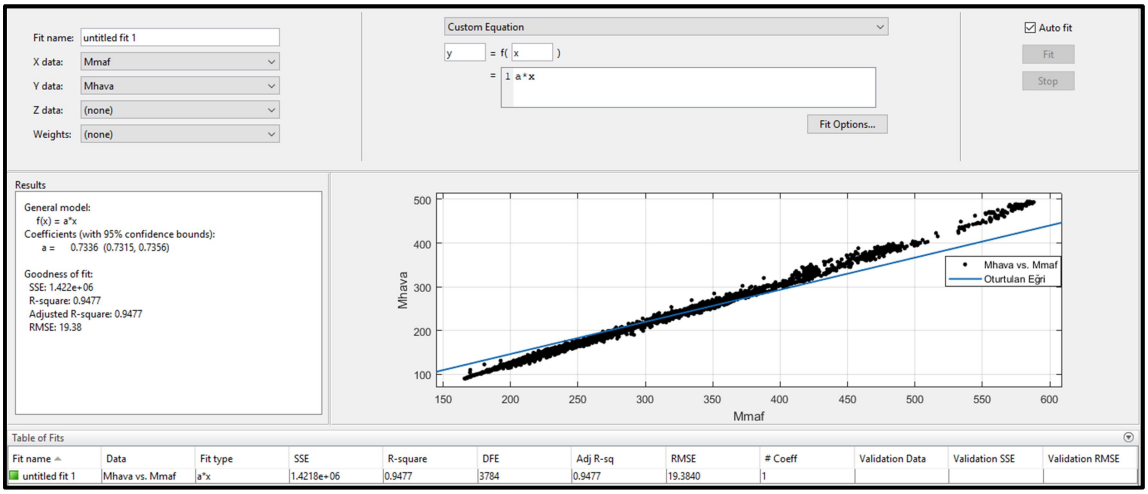
İlgili matrisler düzenlendikten sonra Kalman filtresi formüllerine yazılarak katsayı hesaplatılabilir.

Eğer pozitif yönde 75kg/h sapma uygulanırsa yeni durumda model ve MAF sensörü çıktısı Şekil 3.3'deki gibi olacaktır.



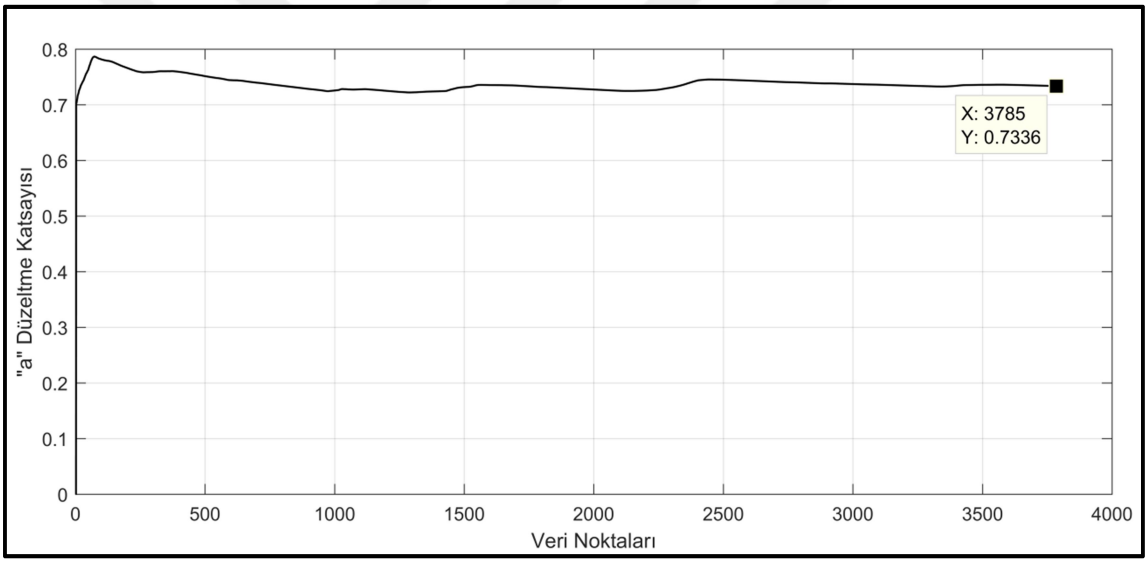
Şekil 3.3 75 kg/h sabit pozitif sapma durumunda model ve MAF sensörü çıktısı

75 kg/h pozitif sapma durumunda düzeltme katsayıları eğri oturtma yöntemi ile MATLAB programında hesaplatılırsa:



Şekil 3.4 Eğri oturtma yöntemi ile katsayı hesaplama

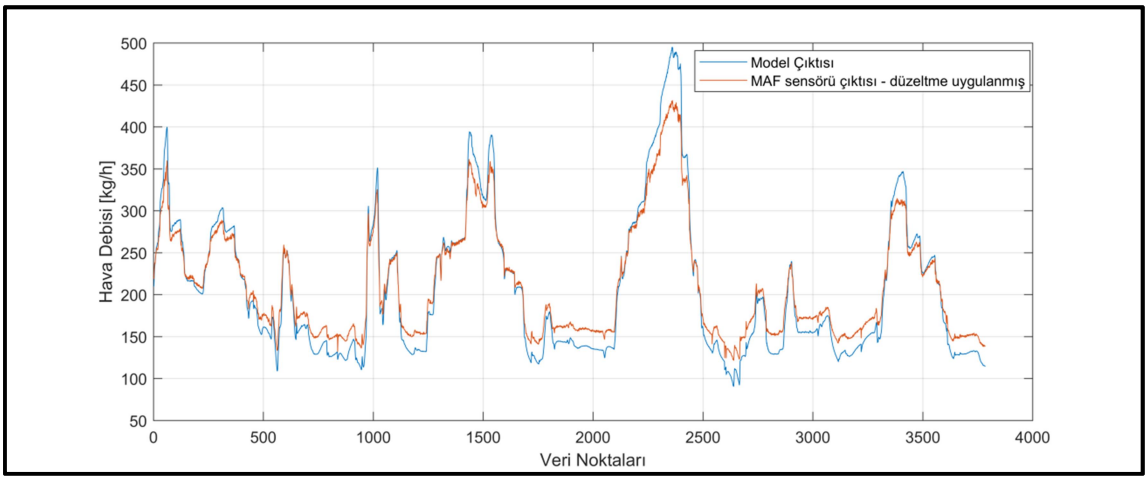
Şekil 3.4'den de görüleceği üzere "a" katsayısı 0.7336 olarak 0.9477 R^2 ile hesaplandı. Aynı veriler Kalman filtresi yöntemi ile çözülürse Şekil 3.5'deki durum elde edilir.



Şekil 3.5 Kalman filtresi ile hesaplanan "a" değeri

Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'den de görülebileceği gibi her iki yöntem ile aynı düzeltme katsayıları hesaplatılmıştır. Önceki bölümlerde değinildiği gibi "a" düzeltme katsayısına başlangıç değeri olarak 0.0001 atanmıştır. Sonrasında algoritma çok kısa zamanda katsayıyı güncelleyerek aynı sonuca ulaşmıştır. Bu grafik, zaman içerisinde "a" düzeltme katsayısının nasıl değiştiğini göstermektedir.

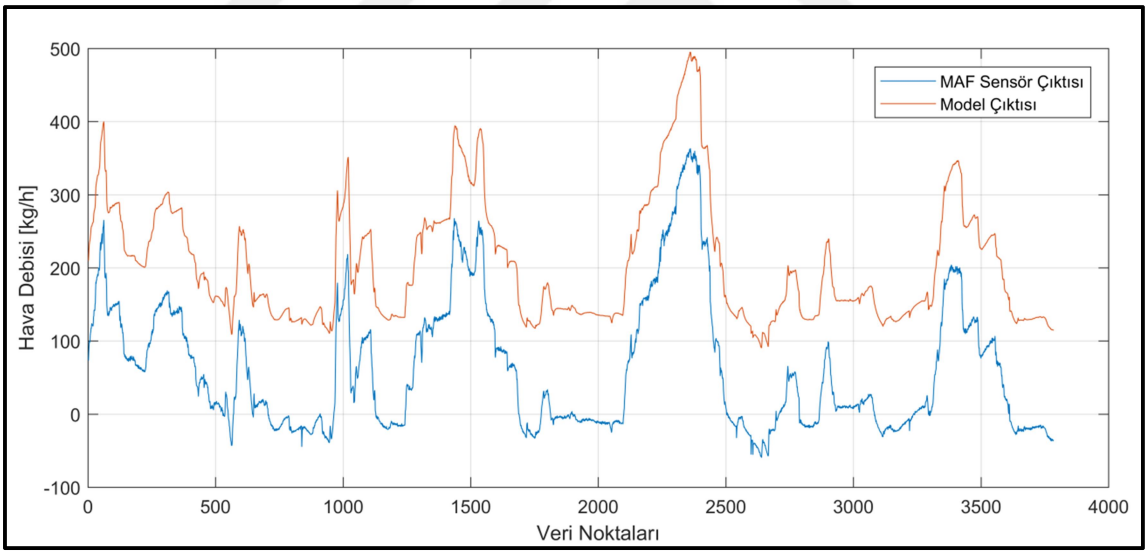
Hesaplatılan bu düzeltme katsayısı denklemde yerine koyulup model çıktısı ve düzeltilen MAF sensörü çıktısı yeniden çizilirse Şekil 3.6 elde edilir.



Şekil 3.6 Düzeltme işlemi sonrası MAF sensörü ve model çıktısı karşılaştırması

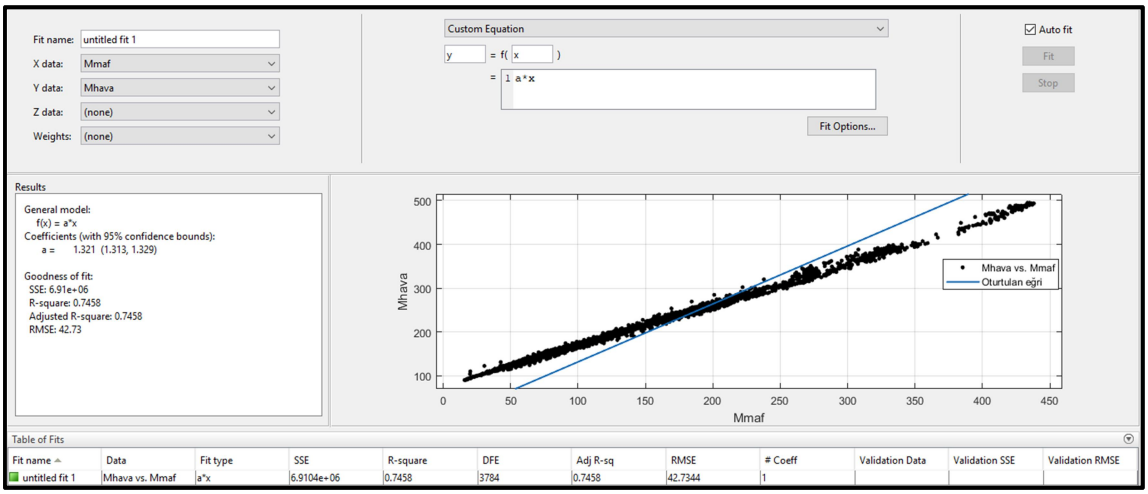
Düzeltme denklemi olarak birinci dereceden bir denklem kullanıldığından bulunan sonuçların güvenilirlik oranları daha yüksek dereceden seçilen denklemlere göre daha düşük olacaktır. Bu nedenle genel olarak iyileşmeler görülse de bazı bölgelerin hata oranlarının hala yüksek olduğu saptanabilir. Bu nedenle sonraki adımlarda kullanılacak olan denklemlerden birisinin kullanılması tavsiye edilir.

Negatif yönde 75 kg/h sapma uygulanırsa MAF sensörü çıktısı ve model çıktısı Şekil 3.7'deki gibi gösterilebilir:



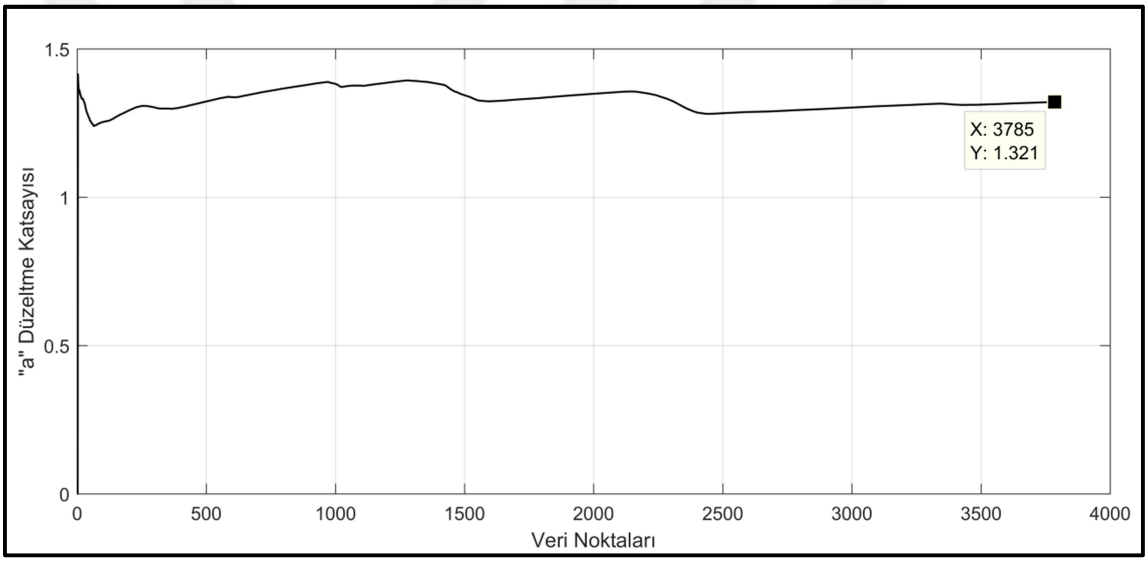
Şekil 3.7 75 kg/h sabit negatif sapma durumunda model ve MAF sensörü çıktısı

Eğri oturtma yöntemi ile "a" katsayısı hesaplatılırsa Şekil 3.8 elde edilir.



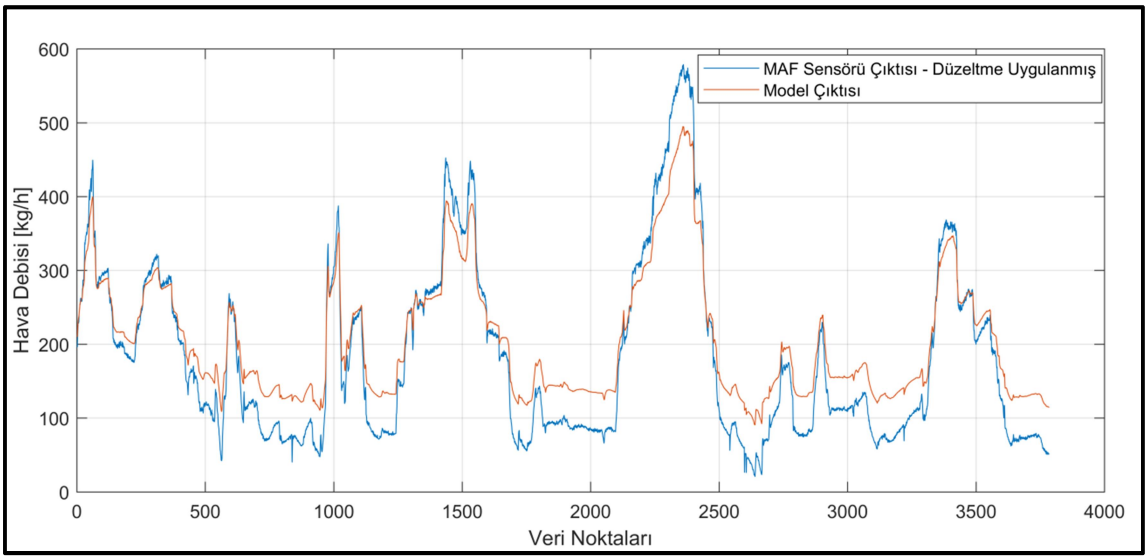
Şekil 3.8 Eğri oturtma yöntemi ile "a" katsayısının hesaplatılması

Şekil 3.8'den de görüleceği gibi "a" katsayısı 1.321 olarak 0.7458 R^2 ile hesaplatılmıştır. Aynı veriler Kalman filtresi ile hesaplatılırsa Şekil 3.9 elde edilir.



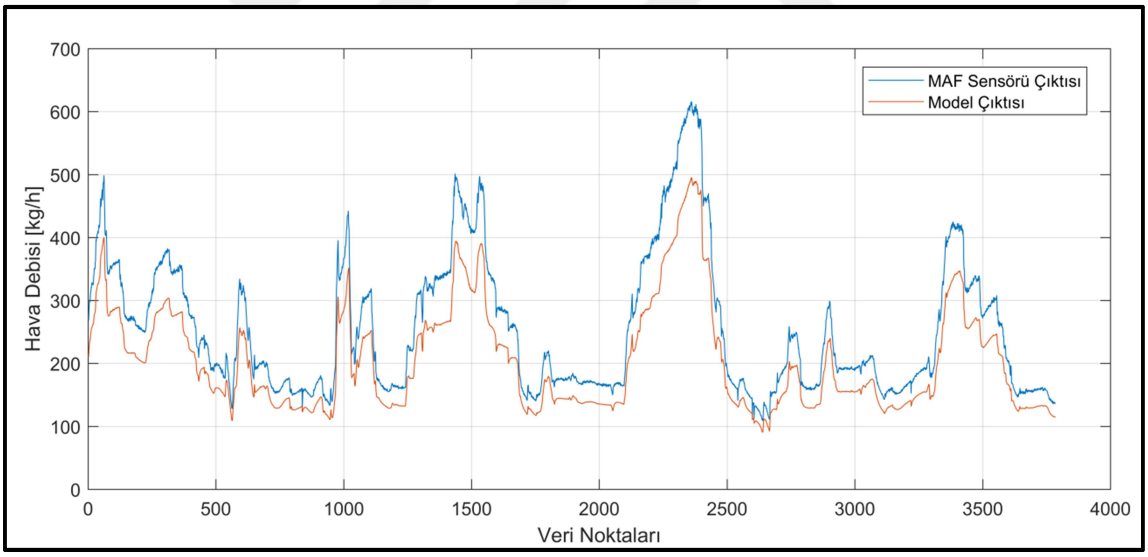
Şekil 3.9 Kalman filtresi yöntemi ile hesaplatılan "a" değişkeninin zamana bağlı değişimi

Şekil 3.9'dan da görüleceği gibi her iki yöntemle de aynı katsayılar (1.321) hesaplatılmıştır. Hesaplatılan "a" katsayısı denklemde yerine koyulduğunda model çıktısı ve düzeltilmiş MAF sensörü çıktısı aşağıdaki gibi gösterilebilir.



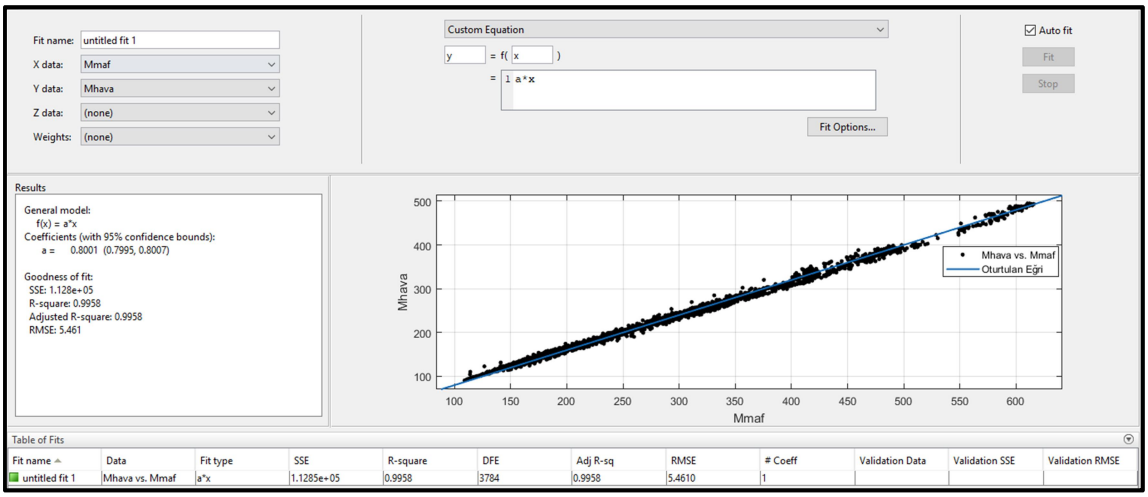
Şekil 3.10 “a” katsayısı ile düzeltme işlemi sonrasında model ve MAF sensör çıktısı karşılaştırılması

MAF sensörüne pozitif yönde %20’lik bir sapma uygulanırsa Şekil 3.11’deki durum elde edilir. Bu durumda MAF sensöründen okunulan değerin küçük olduğu durumda sapma miktarı daha küçük, okunulan değerin büyük olduğu durumda sapma miktarı da büyük olacaktır.



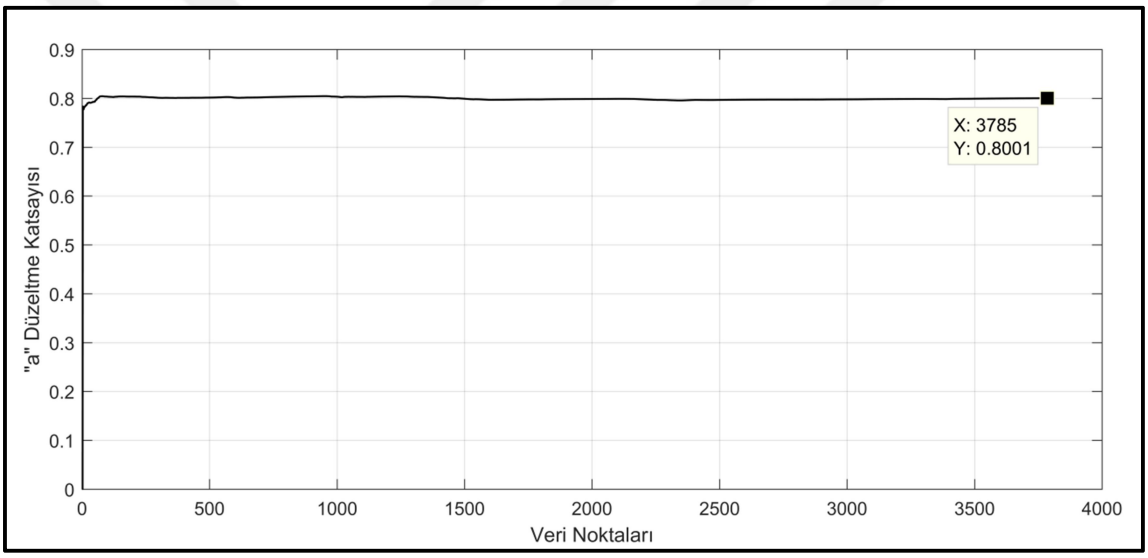
Şekil 3.11 MAF sensörüne +%20’lik bir hata uygulandığında model çıktısı ve MAF sensörü çıktısı

Bu durumda düzeltme katsayıları MATLAB ile eğri oturtularak hesaplatılırsa Şekil 3.12 elde edilir.



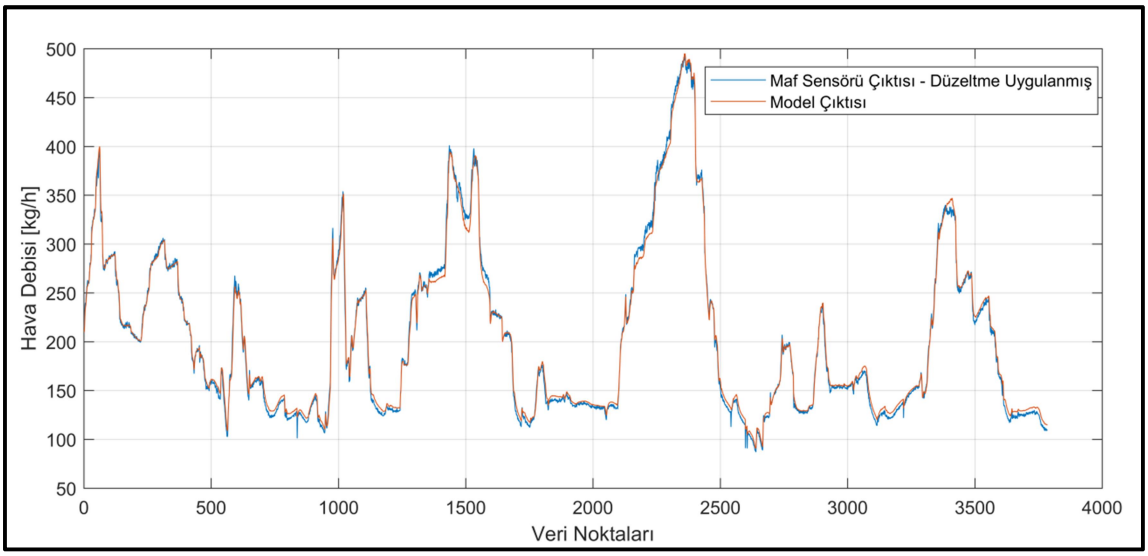
Şekil 3.12 Eğri oturtma yöntemi ile "a" katsayısının hesaplatılması

Yukarıdaki yöntem ile düzeltme katsayısı "a" 0.8001 olarak 0.9958 R^2 ile hesaplatılmıştır. Aynı veri Kalman filtresi ile hesaplatılırsa:



Şekil 3.13 Kalman filtresi ile hesaplatılan "a" düzeltme katsayısı

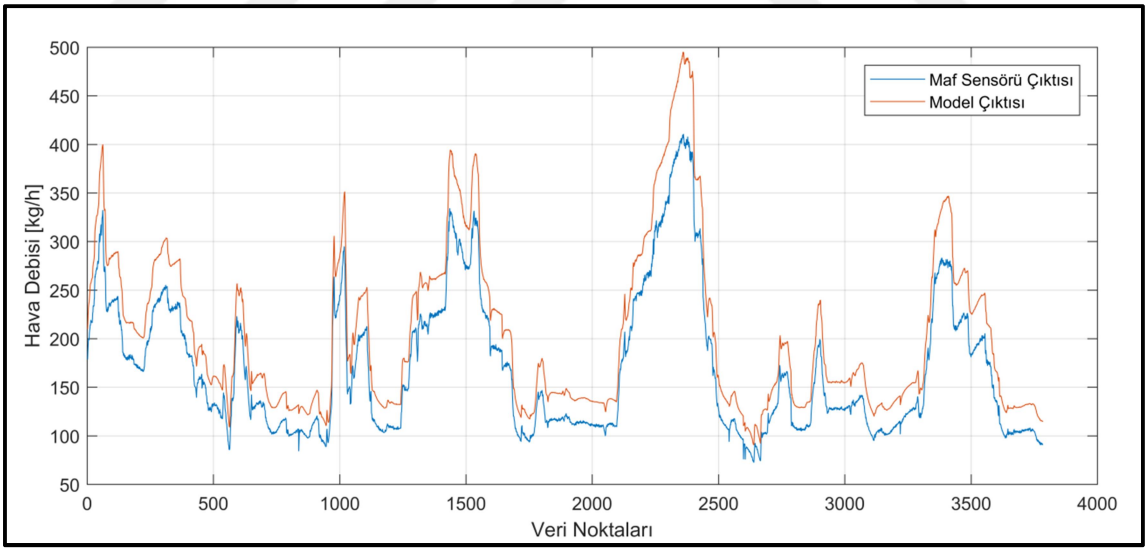
Şekil 3.13 den de görülebileceği gibi aynı sonuç hesaplatılmıştır. Bu hesaplatılan düzeltme katsayısı MAF sensörü çıktısına uygulanırsa düzeltme uygulanmış durumda model çıktısı ve MAF sensörü çıktısı aşağıdaki gibi olacaktır.



Şekil 3.14 Hesaplatılan "a" düzeltme katsayısı uygulandıktan sonra Maf sensörü çıktısı ve model çıktısının karşılaştırılması

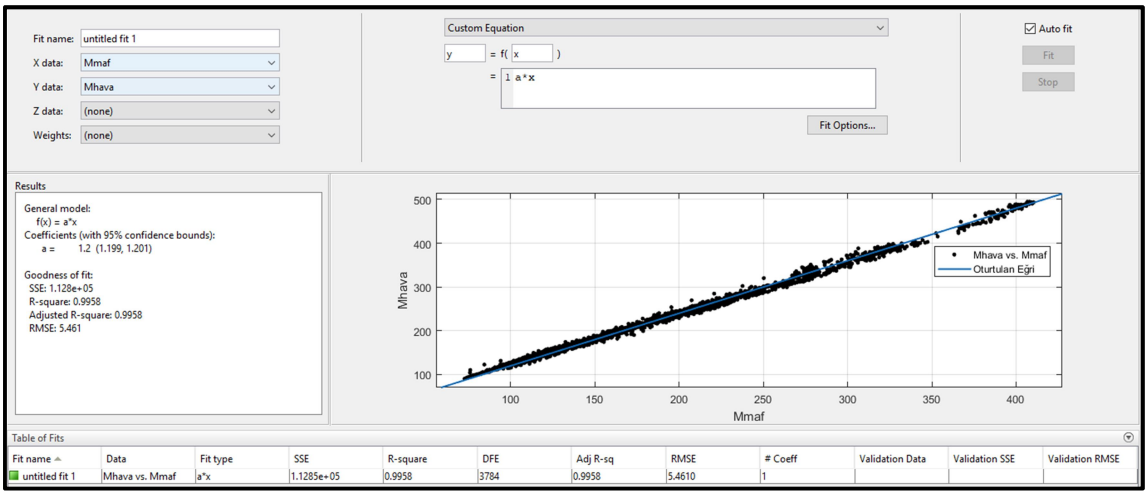
Şekil 3.14'den de görülebileceği üzere, "y=a.x" şeklindeki düzeltme denklemi beklenildiği gibi hata çarpan olarak geldiğinde daha iyi sonuçlar vermektedir. Eğer hata fark olarak oluşursa bu denklem yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle "y=a.x+b" şeklinde bir düzeltme denklemi her iki durumu da kapsayabilmek adına kullanılabilir. Sonraki bölümde bu denklem üzerinden gidilecektir.

Yine aynı şekilde negatif yönde %20'lik sapma uygulanırsa Şekil 3.15'deki durum elde edilir.



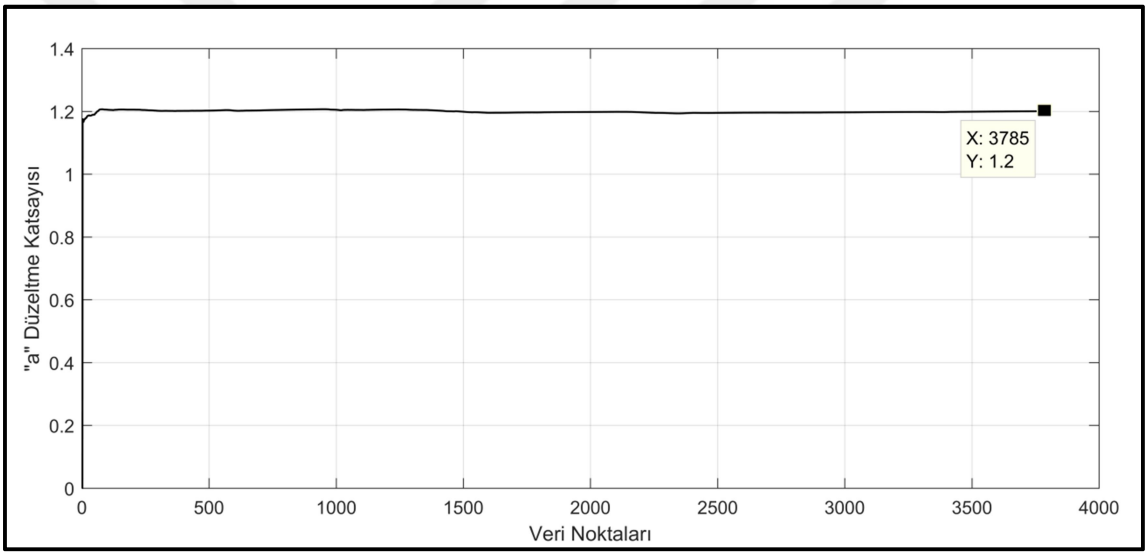
Şekil 3.15 MAF sensöründe -%20 sapma olması durumunda MAF sensörü çıktısı ve model çıktısının karşılaştırılması

Bu durumda, düzeltme katsayısı "a" hesaplatılırsa:



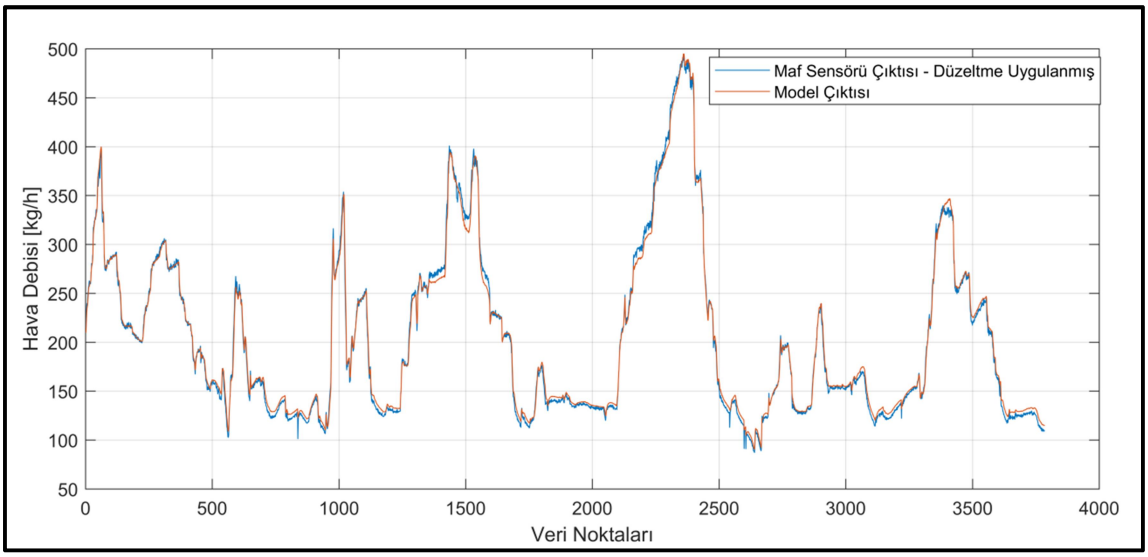
Şekil 3.16 Eğri uydurma yöntemi ile hesaplatılan "a" katsayısı

Şekil 3.16'dan da görüleceği gibi "a" katsayısı 1.2 olarak 0.9958 R^2 ile hesaplatılmıştır. Benzer şekilde Kalman filtresi ile hesaplatılırsa:



Şekil 3.17 Kalman filtresi ile hesaplatılan "a" düzeltme katsayısının zaman içerisindeki değişimi

Her iki yöntemle de aynı katsayılar hesaplatılmıştır. Hesaplatılan bu katsayısı MAF sensörüne düzeltme olarak uygulanırsa yeni durumda model çıktısı ve MAF sensörü çıktısı Şekil 3.18'deki gibi olacaktır.



Şekil 3.18 Düzeltme uygulandıktan sonra MAF sensörü ve model çıktısı karşılaştırılması

3.2 "$M_{hava} = a * M_{maf} + c$" Düzeltme Denklemi Olarak Kullanılırsa

Bu denklemin kullanılması durumunda matrisler aşağıdaki gibi güncellenebilir (Denklem 3.3 ve Denklem 3.4 okumada kolaylık olması açısından önceki bölümlerden değiştirilmeden alınarak yeniden yazılmıştır):

$$H = \begin{bmatrix} M_{maf} & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

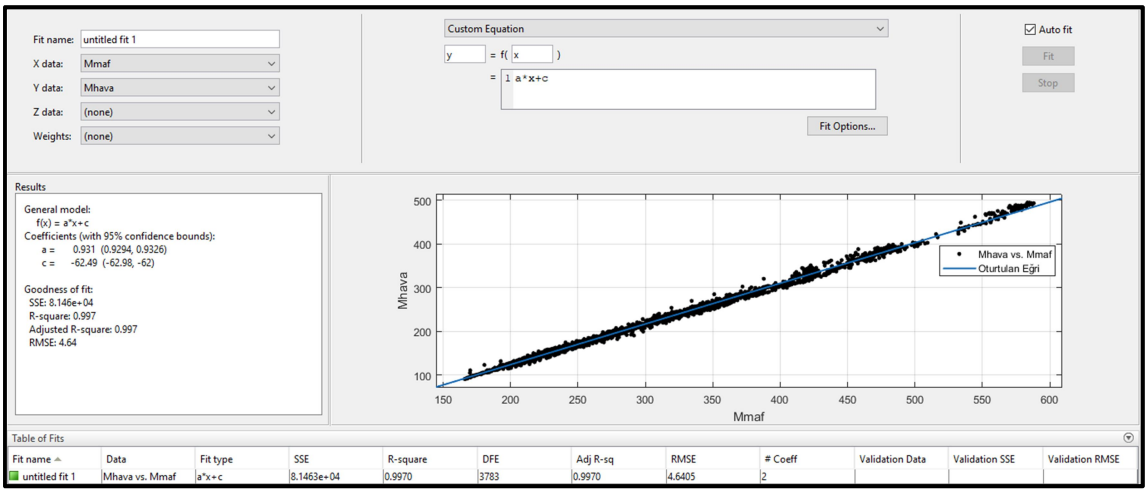
$$\hat{X}_k^- = \begin{bmatrix} a \\ c \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

$$P_k^- = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

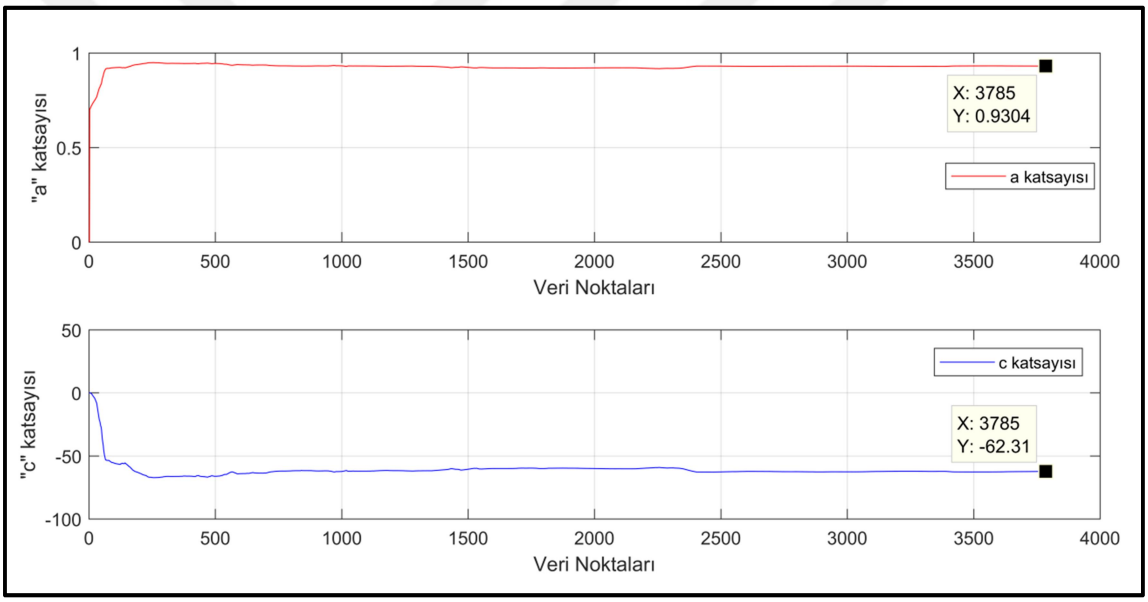
Bu bölümde, önceki bölümde olduğu gibi aynı şekilde MAF sensörüne sapmalar uygulanarak "y=a.x+c" şeklindeki denklemle düzeltme uygulanacaktır.

MAF sensörüne pozitif yönde 75 kg/h'lik sapma verildiğinde MAF sensörü ve model çıktıları Şekil 3.3 de verilmiştir. Bu durumda ilgili denkleme göre düzeltme katsayıları hesaplanırsa:



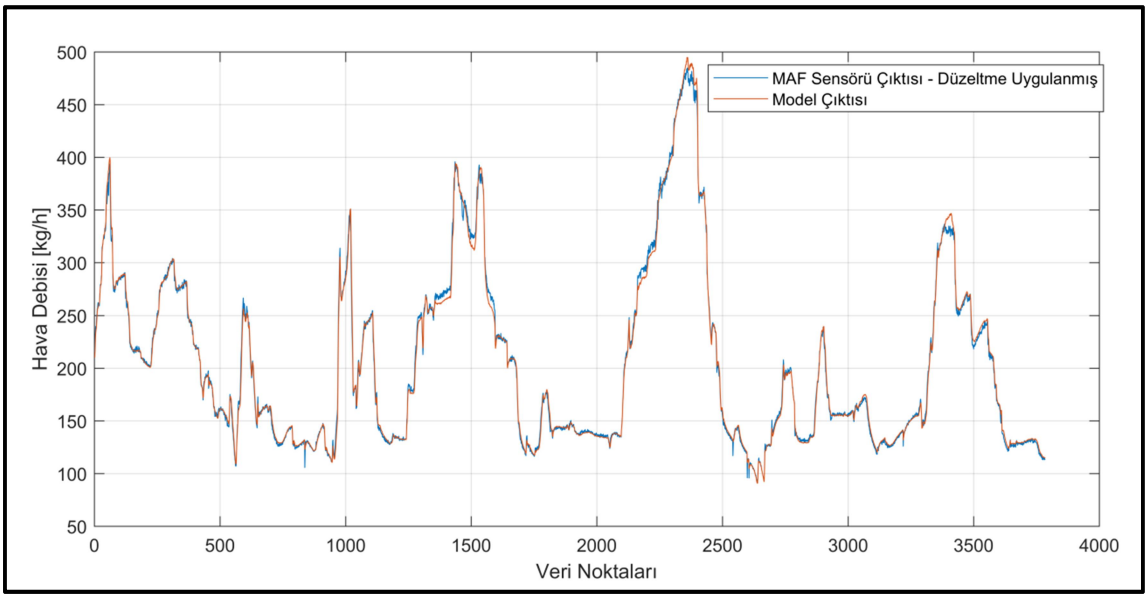
Şekil 3.19 “a” ve “c” katsayılarının eğri oturtma ile hesaplanan sonuçları

Bu yöntem ile “a” katsayısı 0.931 ve “c” katsayısı -62.49 olarak 0.997 R^2 ile hesaplatılmıştır. Aynı durum Kalman filtresi ile hesaplanırsa:



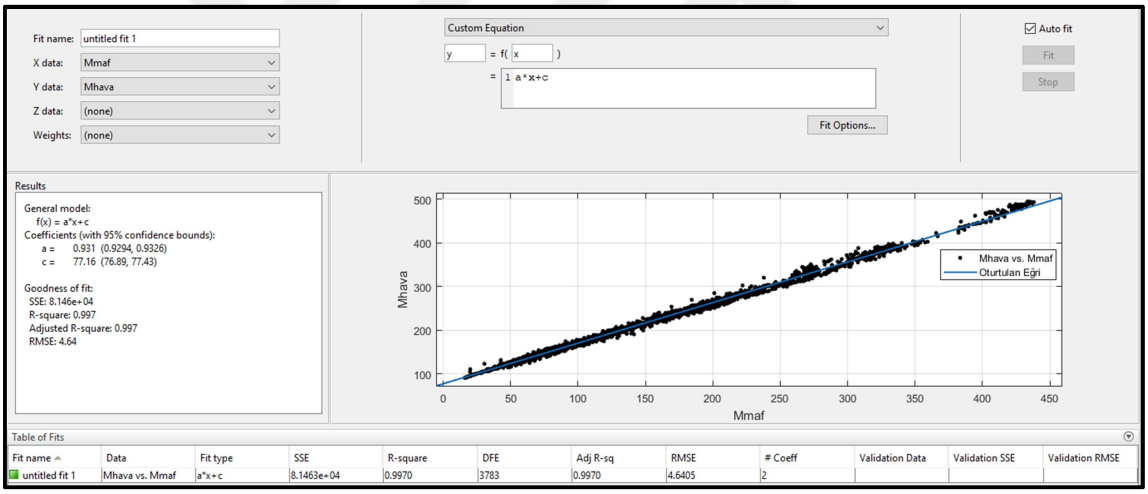
Şekil 3.20 Kalman filtresi ile hesaplatılan katsayılar

Bulunan bu katsayılar ile MAF sensörüne düzeltme uygulandığında yeni sonuçlar Şekil 3.21’deki gibi olacaktır.



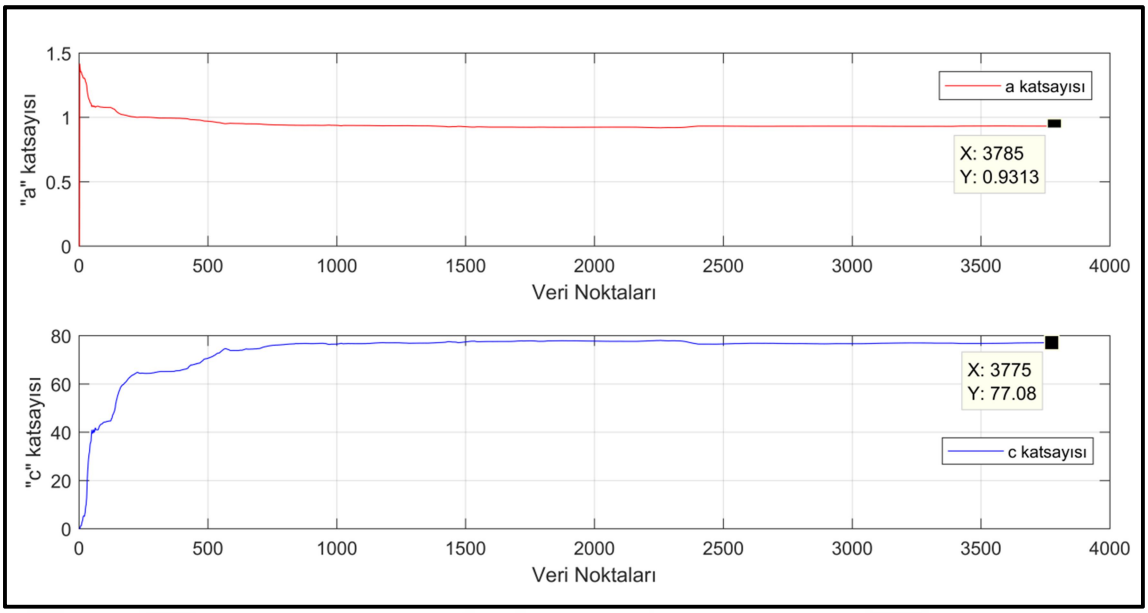
Şekil 3.21 Düzeltme sonrası MAF sensörü ve model çıktısı karşılaştırması

MAF sensörüne -75 kg/h (negatif yönde) sapma verilirse MAF sensörü ve model çıktısı Şekil 3.7'deki gibi olacaktır. Bu durumda katsayılar aşağıdaki gibi hesaplanabilir:



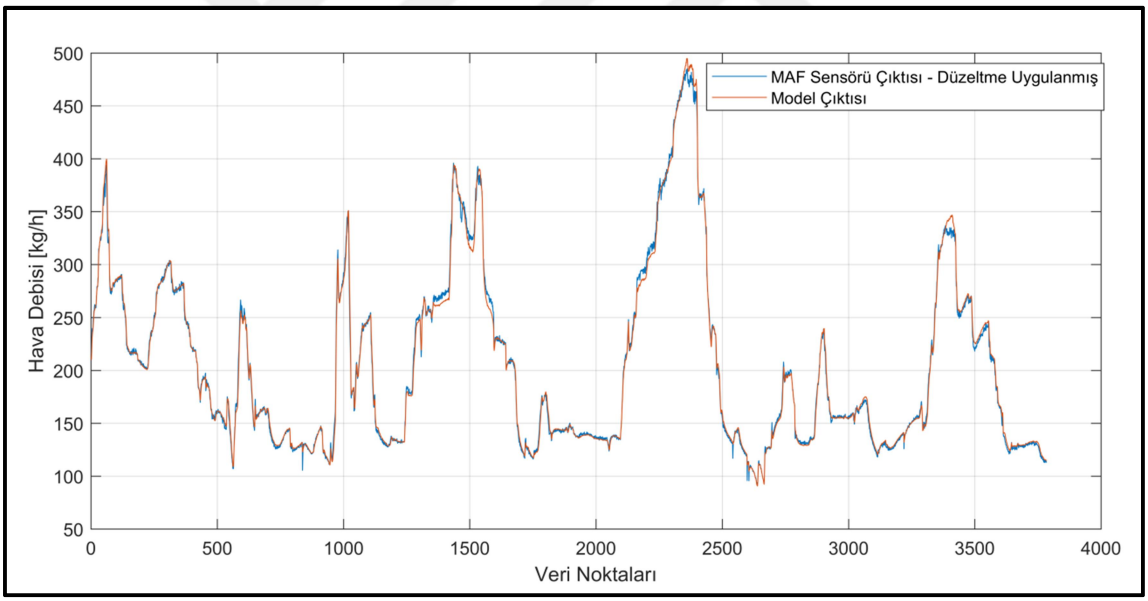
Şekil 3.22 75 kg/h negatif yöndeki sapma ile hesaplanan "a" ve "c" katsayıları

"a" katsayısı 0.931 ve "c" katsayısı ise 77.16 olarak 0.997 R^2 ile hesaplanmıştır. Aynı katsayılar Kalman filtresi yöntemi ile hesaplanırsa:



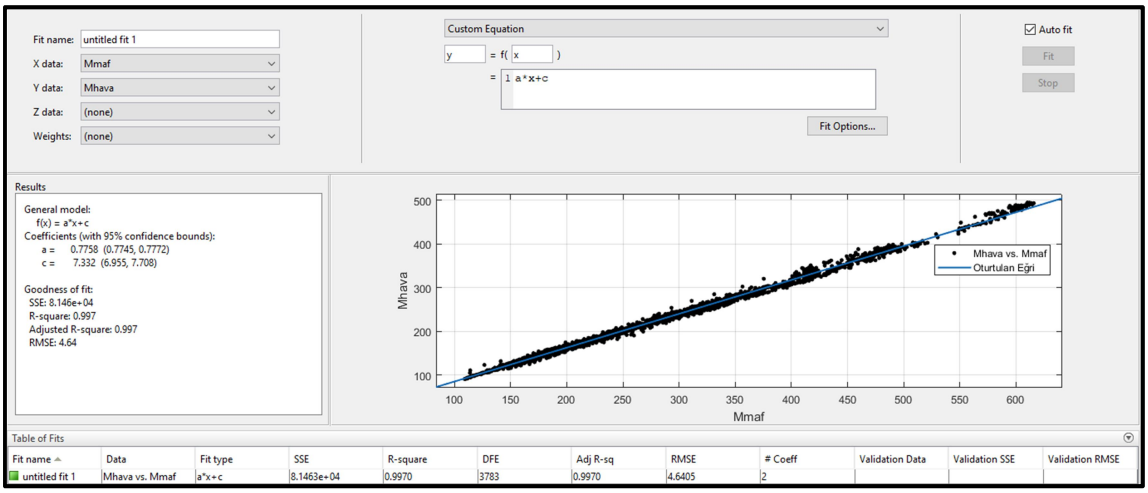
Şekil 3.23 Kalman filtresi ile hesaplanan “a” ve “c” katsayıları ve zamana bağlı değişimleri

Hesaplanan bu katsayılar MAF sensörü sapmasını düzeltmek için uygulanırsa sensör çıktısı ve model çıktısı aşağıdaki gibi olacaktır:



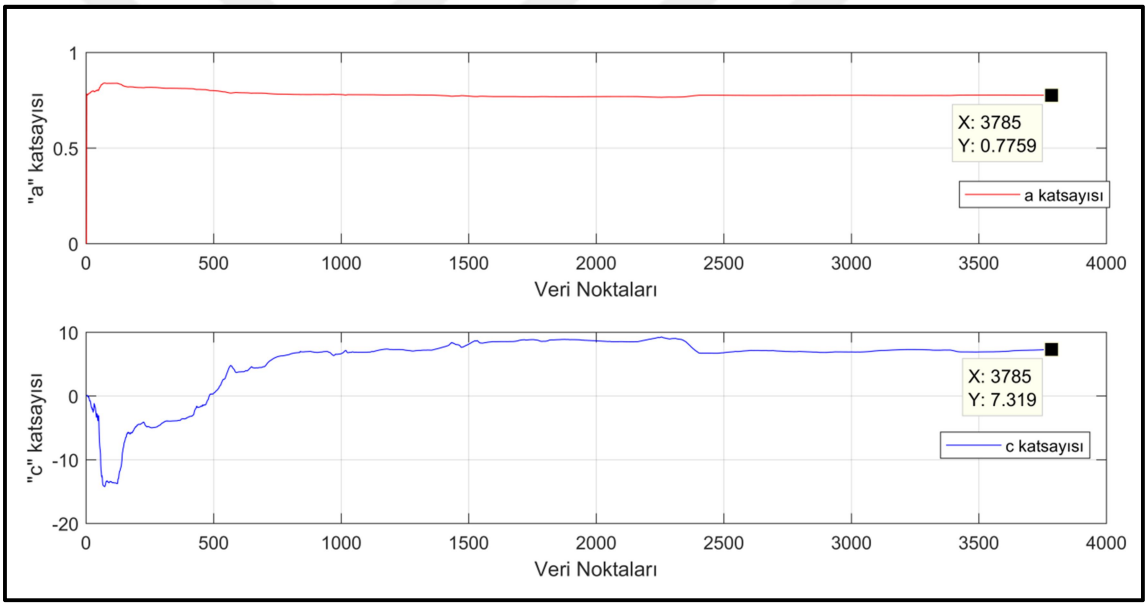
Şekil 3.24 Düzeltme sonrası model çıktısı ve MAF sensöründen okunan değerlerin karşılaştırılması

Bu düzeltme denklemi için MAF sensörüne pozitif yönde %20 hata eklenirse MAF sensörü ve model çıktısı Şekil 3.11’deki gibi olacaktır. Bu durum için düzeltme katsayıları hesaplanırsa:



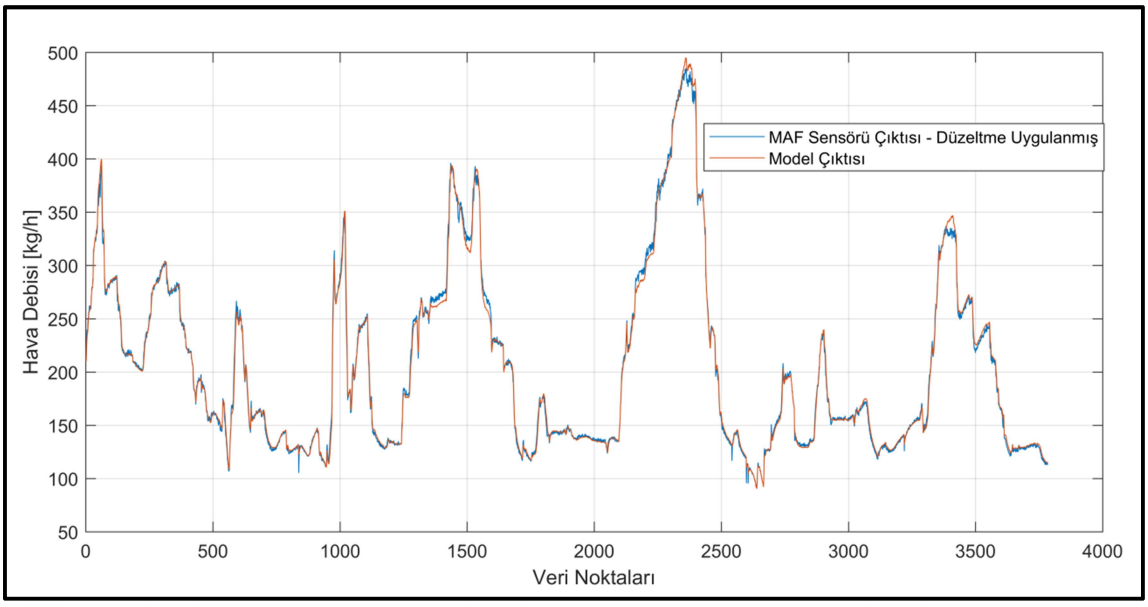
Şekil 3.25 +%20 sapma durumunda hesaplanan “a” ve “c” katsayıları

Şekil 3.25’den de görülebileceği gibi “a” katsayısı 0.7758 ve “c” katsayısı 7.332 olarak 0.997 R^2 ile hesaplatılmıştır. Aynı durum için Kalman filtresi ile hesaplatılan değerler Şekil 3.26’da verilmiştir.



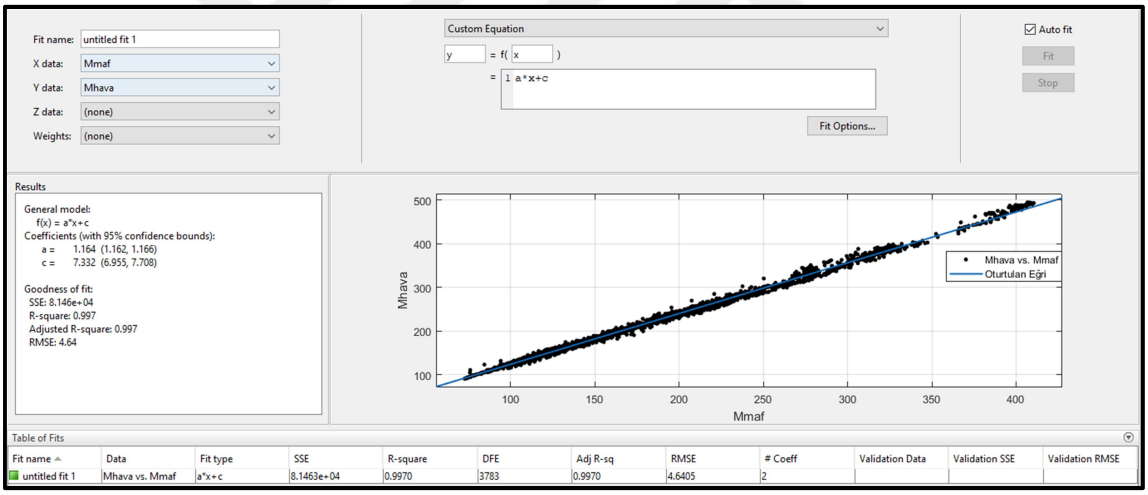
Şekil 3.26 Kalman filtresi yöntemi ile hesaplanan “a” ve “c” katsayıları

Şekil 3.25 ve Şekil 3.26’dan da görülebileceği gibi her iki yöntem ile de çok benzer katsayılar hesaplatılmıştır. Bu hesaplatılan katsayılar MAF sensörüne düzeltme olarak uygulandığında Şekil 3.27’deki durum elde edilir.



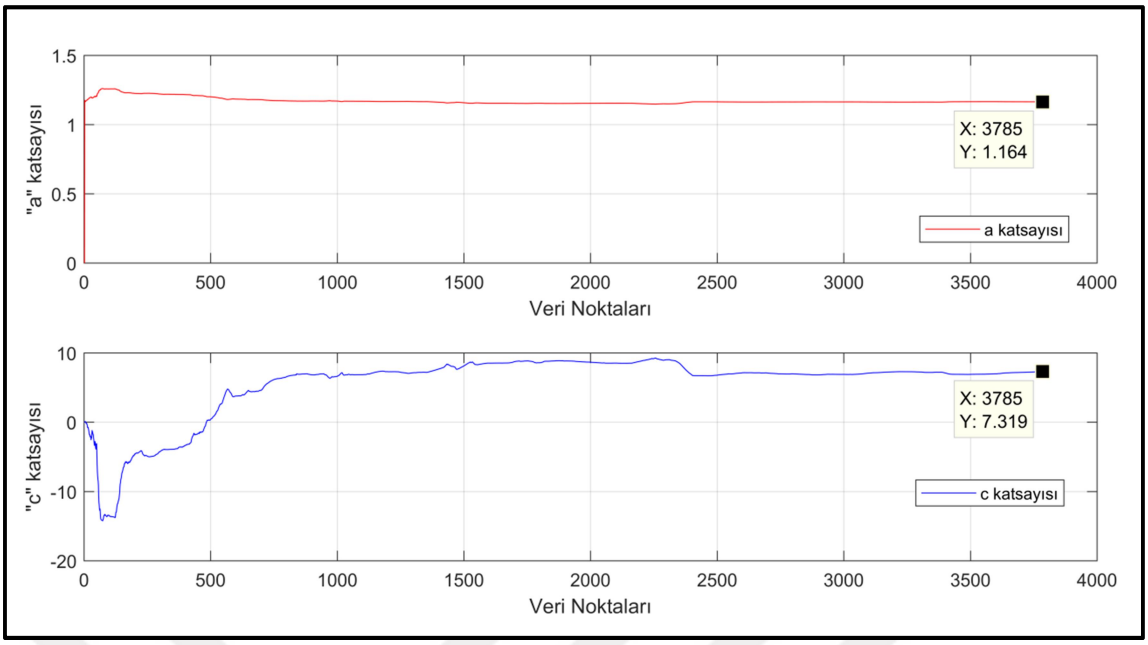
Şekil 3.27 Düzeltme sonrasında MAF sensörü ve model çıktısı karşılaştırması

Negatif yönde 20% sapma uygulanırsa MAF sensörü ve model çıktısı karşılaştırması Şekil 3.15'de verilmiştir ve bu durumda düzeltme katsayıları aşağıdaki gibi hesaplanabilir.



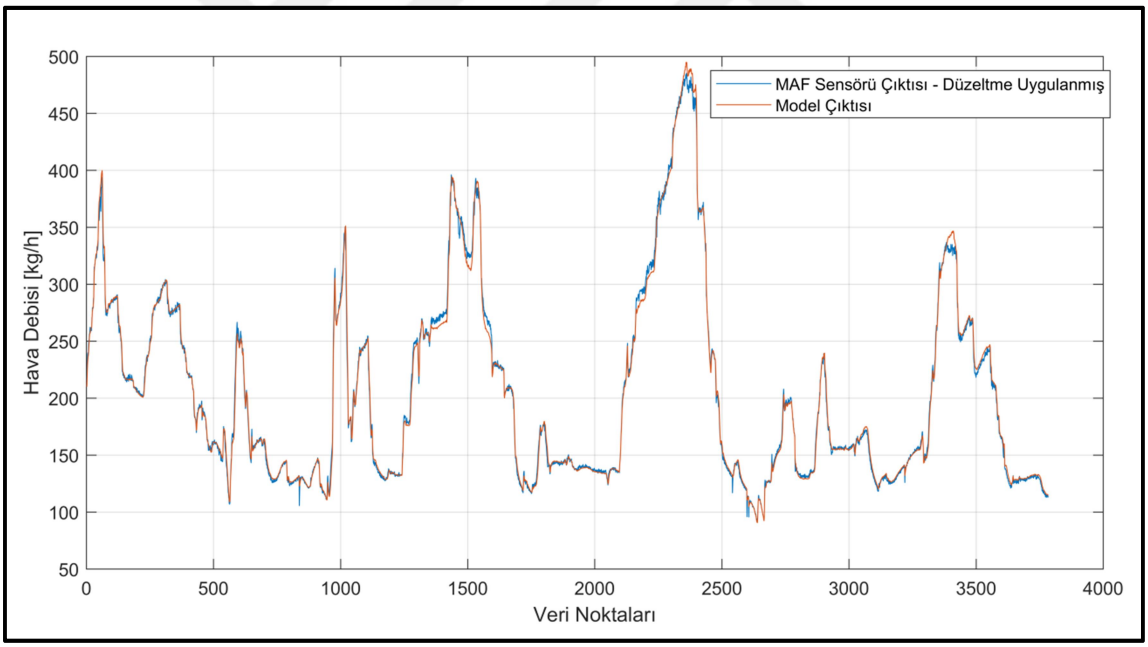
Şekil 3.28 -20% sapma uygulanması durumunda hesaplanan düzeltme katsayıları

"a" katsayısı 1.164 ve "c" katsayısı 7.332 olarak 0.997 R^2 ile hesaplatılmıştır. Aynı katsayılar Kalman filtresi ile hesaplatılırsa Şekil 3.29 elde edilir.



Şekil 3.29 Kalman filtresi ile hesaplatılan düzeltme katsayıları

Hesaplatılan bu katsayılar denklemde yerlerine yazılıp MAF sensörü çıktısına düzeltme uygulanırsa MAF sensörü ve model çıktısı sonuçları Şekil 3.30'daki gibi olacaktır.

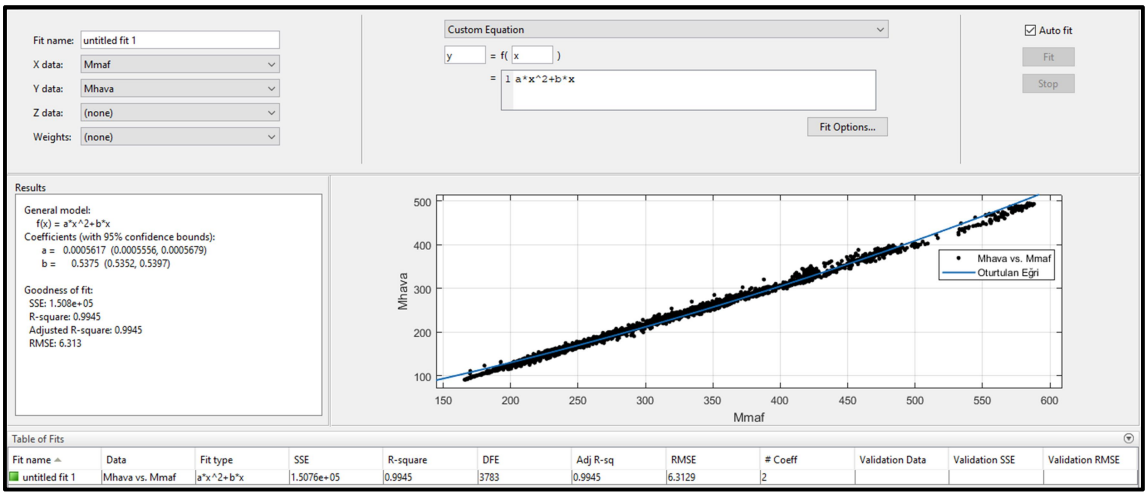


Şekil 3.30 Düzeltme sonrası MAF sensörü ve model çıktılarının karşılaştırılması

3.3 "$M_{hava} = a * (M_{maf})^2 + b * M_{maf}$" Düzeltme Denklemi Olarak Kullanılırsa

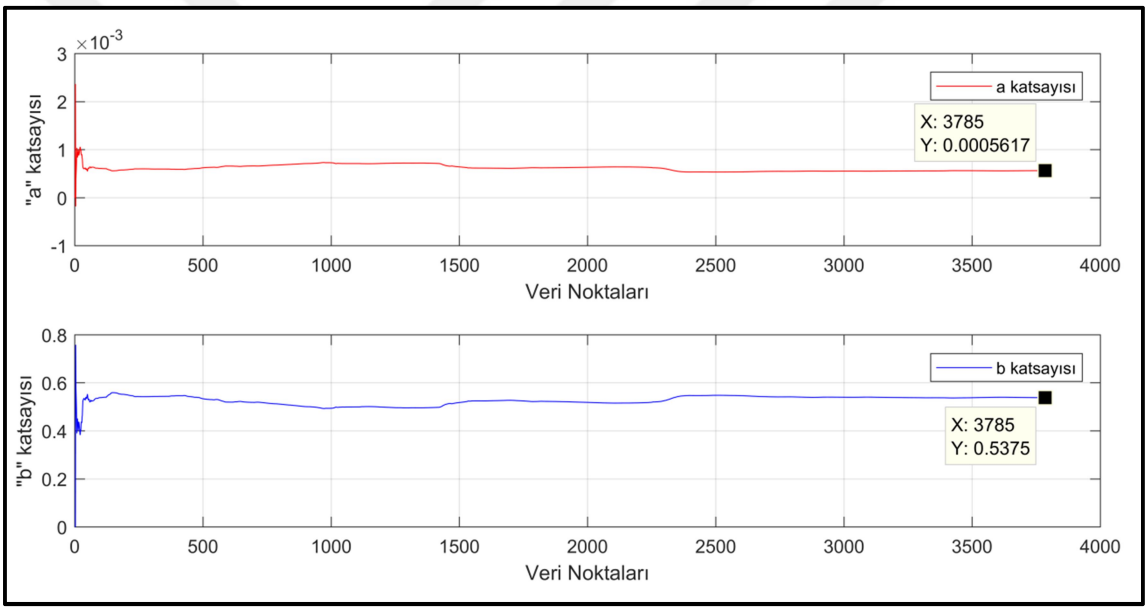
Bu düzeltme denklemleri için düzenlenen matrisler Denklem (2.9), Denklem (2.11) ve Denklem (2.12) de verilmiştir. Bu matrisler Kalman filtresi denklemlerinde önceki bölümlerde gösterildiği gibi yerlerine yazılarak katsayılar hesaplatılabilir.

Bu denklem için +75 kg/h sapma durumunda MAF sensörü ve model çıktısı karşılaştırması Şekil 3.3'de verilmiştir ve bu durumda düzeltme katsayıları "a" ve "b" aşağıdaki gibi hesaplanabilir.



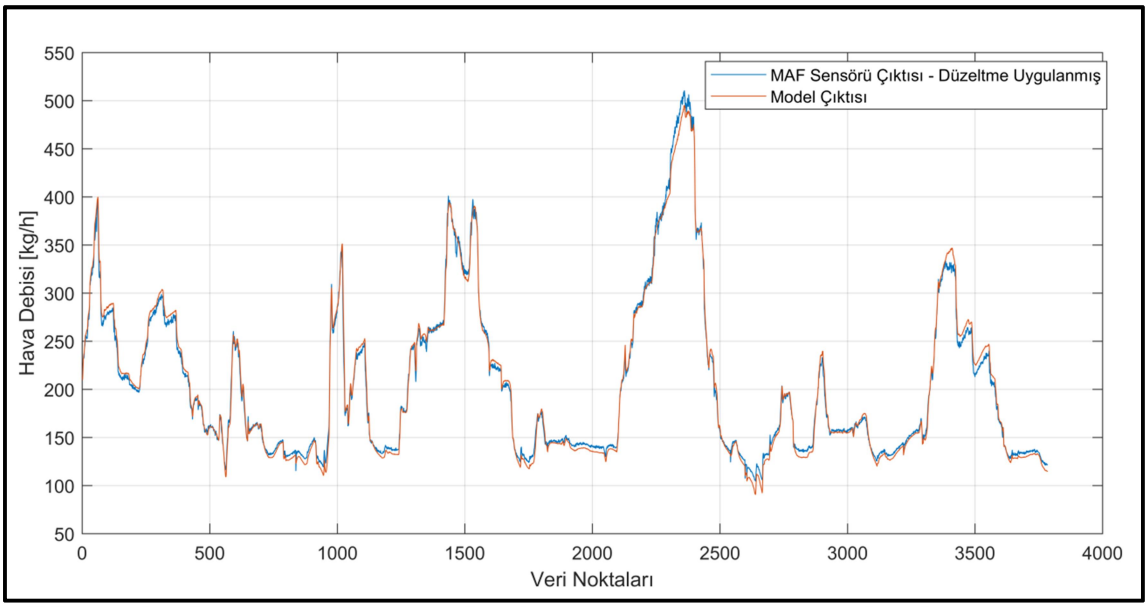
Şekil 3.31 Eğri oturtma yöntemi ile hesaplanan “a” ve “b” katsayıları

75 kg/h pozitif sapma için “a” katsayısı 0.0005617 ve “b” katsayısı 0.5375 olarak 0.9945 R^2 ile hesaplatılmıştır. Aynı durum Kalman filtresi ile hesaplatılırsa Şekil 3.32 elde edilir.



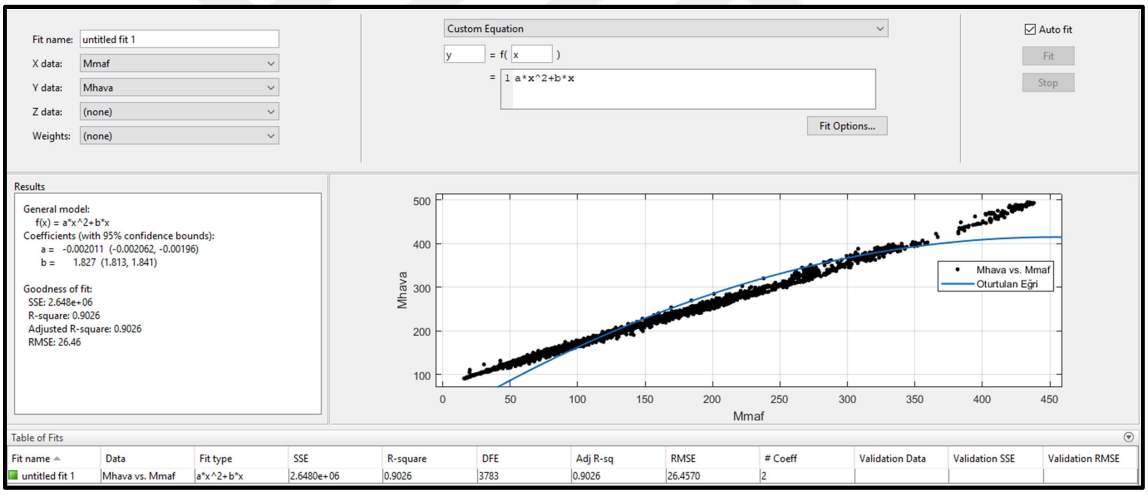
Şekil 3.32 Kalman filtresi yöntemi ile hesaplanan “a” ve “b” katsayıları

Her iki yöntem ile iki katsayı da aynı olarak hesaplatılmıştır. Bu hesaplatılan katsayılar MAF sensörünü düzeltmek için denklemde yerlerine yazılırsa MAF sensörü çıktısı ve model çıktısı Şekil 3.33’daki gibi olacaktır.



Şekil 3.33 Düzeltme sonrası MAF sensörü ve model çıktısı karşılaştırması

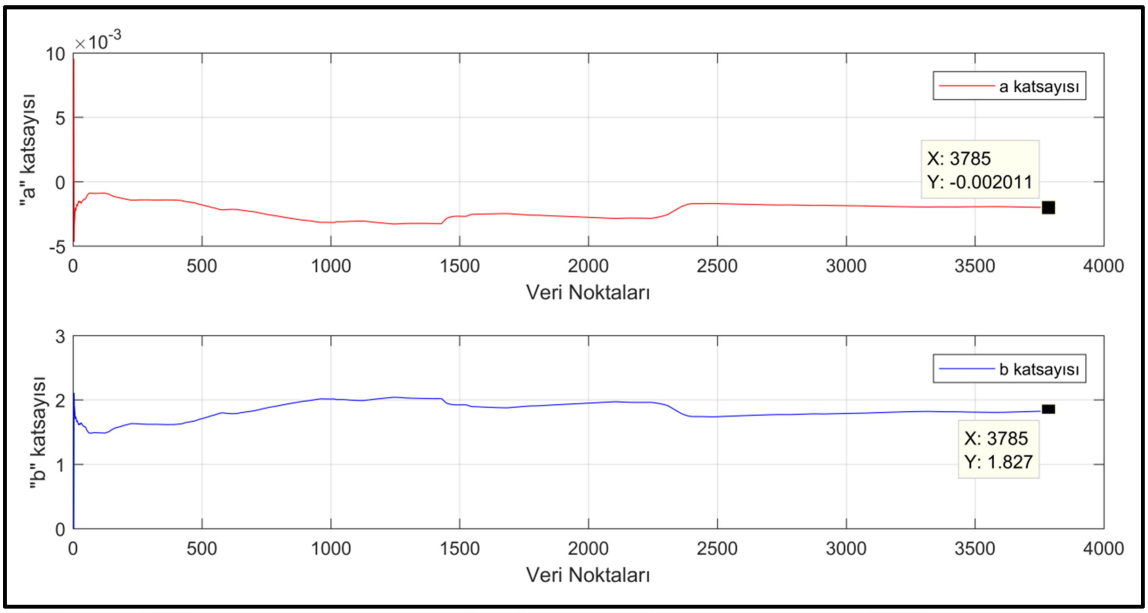
-75 kg/h sapma MAF sensörüne uygulandığında MAF sensörü ve model çıktısı karşılaştırılması Şekil 3.7'de verilmiştir. Bu durum için düzeltme katsayıları hesaplatılırsa:



Şekil 3.34 Eğri oturtma yöntemi ile hesaplatılan "a" ve "b" katsayıları

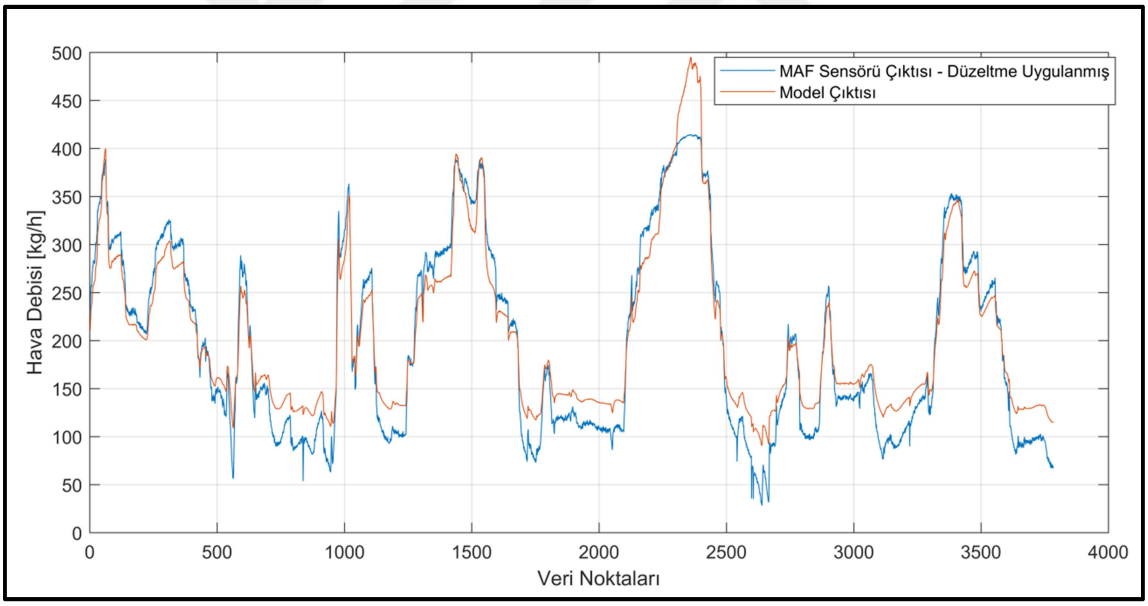
"a" katsayısı -0.002011 ve "b" katsayısı 1.827 olarak 0.9026 R^2 ile hesaplatılmıştır.

Aynı yöntem +75kg/h sapma için daha güzel sonuç verirken -75 kg/h sapma için daha kötü sonuç vermektedir. Aynı katsayılar Kalman filtresi ile hesaplatılırsa Şekil 3.35 elde edilebilir.



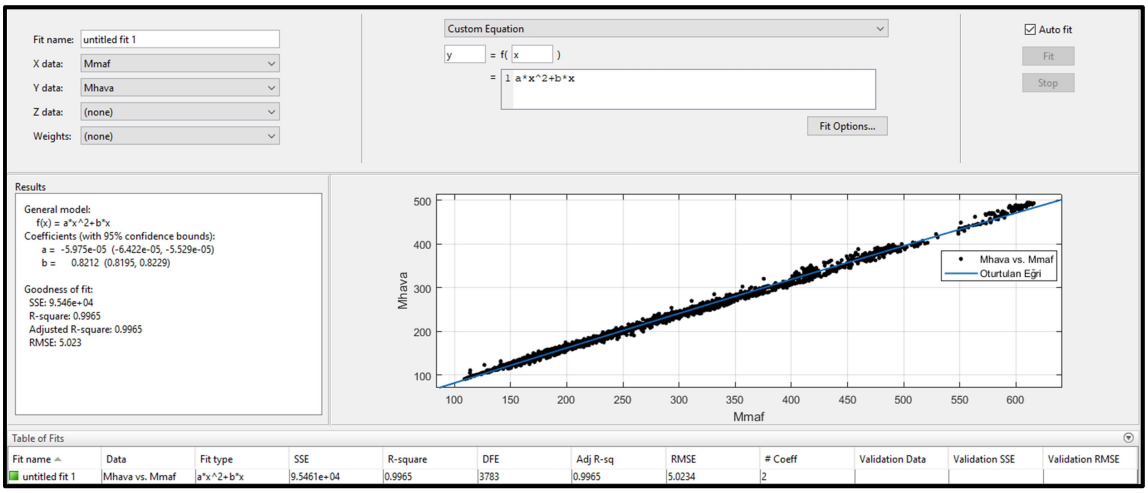
Şekil 3.35 Kalman filtresi yöntemi ile hesaplatılan “a” ve “b” katsayıları

Her iki yöntemde de aynı sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar MAF sensörü çıktısına düzeltme olarak uygulanırsa sensör ve model çıktısı karşılaştırılması Şekil 3.36’deki gibi olacaktır.



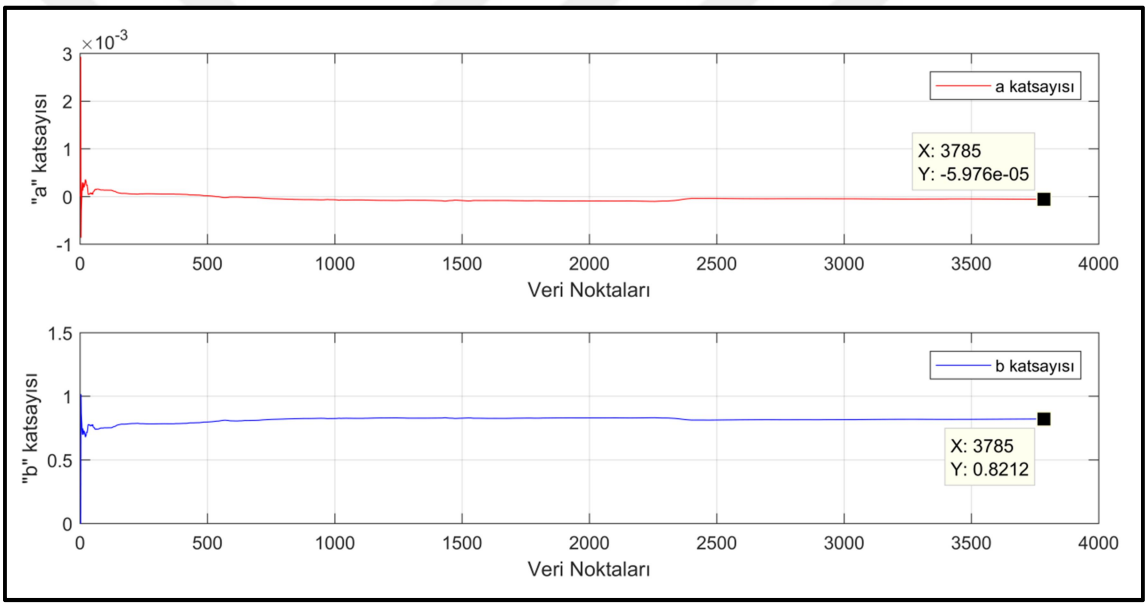
Şekil 3.36 Hesaplanan katsayılar ile uygulanan düzeltme sonrasında MAF sensörü ve model çıktısının karşılaştırılması

MAF sensörüne +20% olacak şekilde sapma verilirse Şekil 3.11 elde edilir. Bu durum için düzeltme katsayıları hesaplanırsa:



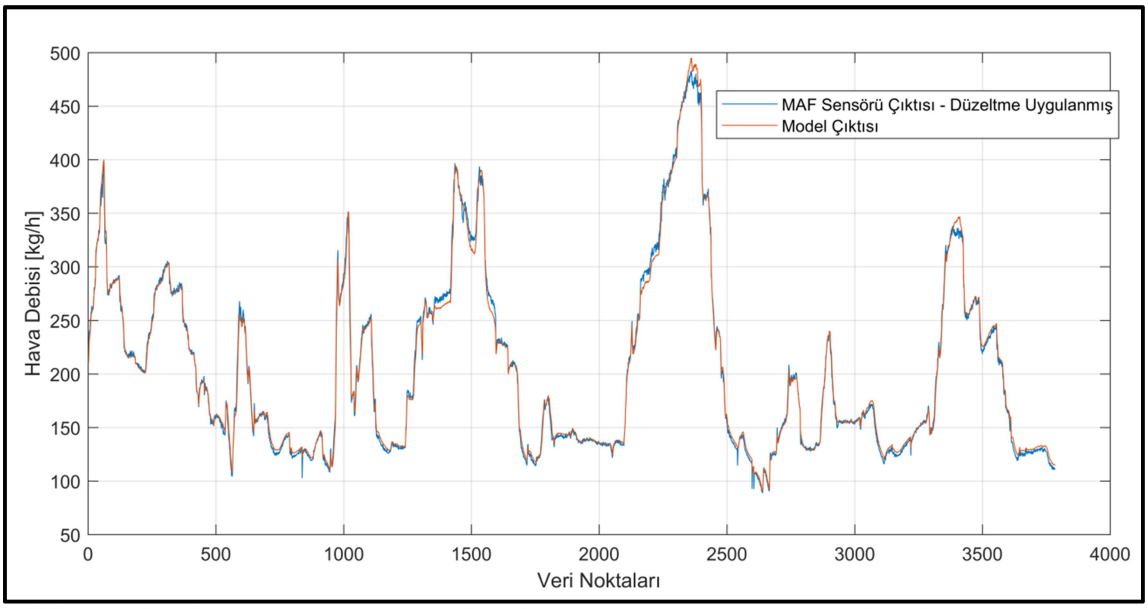
Şekil 3.37 Eğri oturtma ile hesaplanan “a” ve “b” katsayıları

Bu yöntem ile “a” katsayısı -5.975x10^{-5} ve “b” katsayısı 0.8212 olarak 0.9965 R^2 ile hesaplatılmıştır. Aynı veriler ile Kalman filtresi yardımı ile hesaplatılırsa:



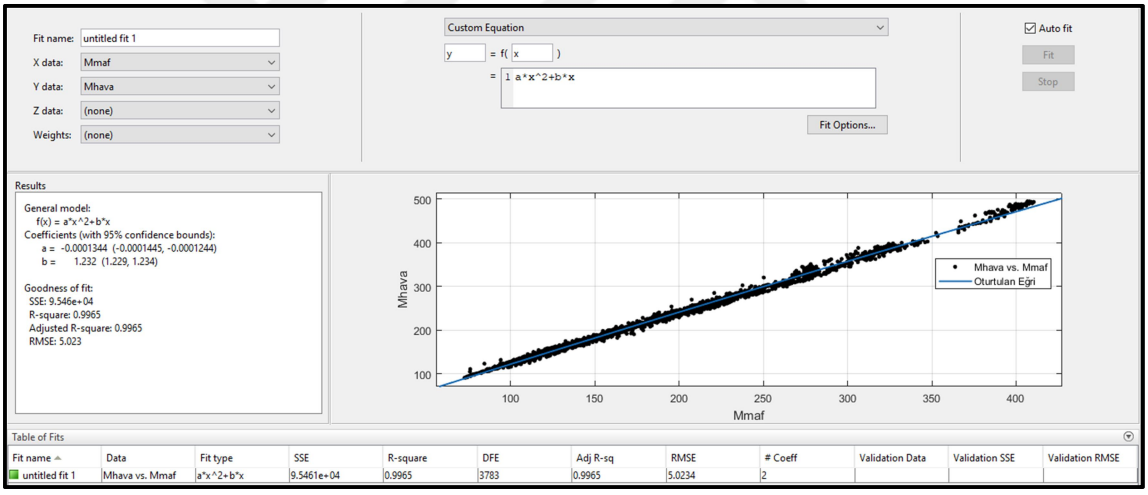
Şekil 3.38 Kalman filtresi yöntemi ile hesaplatılan “a” ve “b” katsayıları

Her iki yöntem ile de aynı sonuca varılmıştır. Bulunan bu katsayılar ilgili denklemde yerlerine yazılıp MAF sensörü çıktısı ve model çıktısı Şekil 3.39’da yeniden çizdirilirse:



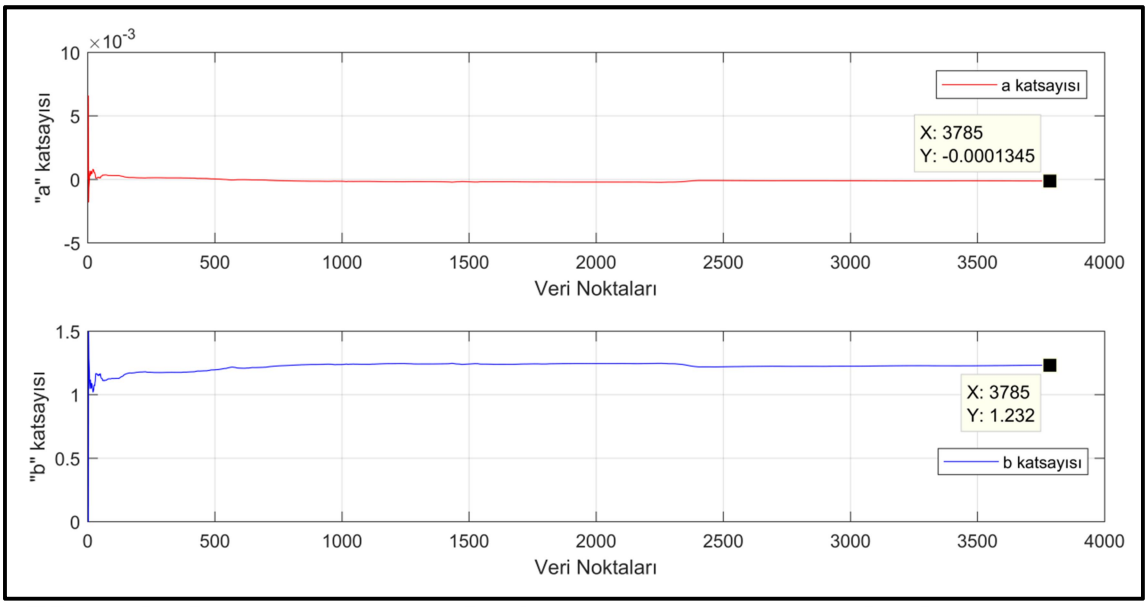
Şekil 3.39 Düzeltme sonrasında MAF sensörü ve model çıktısı karşılaştırması

Bu denklem için son senaryo olan -20% sapma MAF sensörüne uygulanırsa Şekil 3.15 elde edilir. Bu durumda düzeltme katsayıları hesaplatılırsa Şekil 3.40'deki sonuçlar elde edilir.



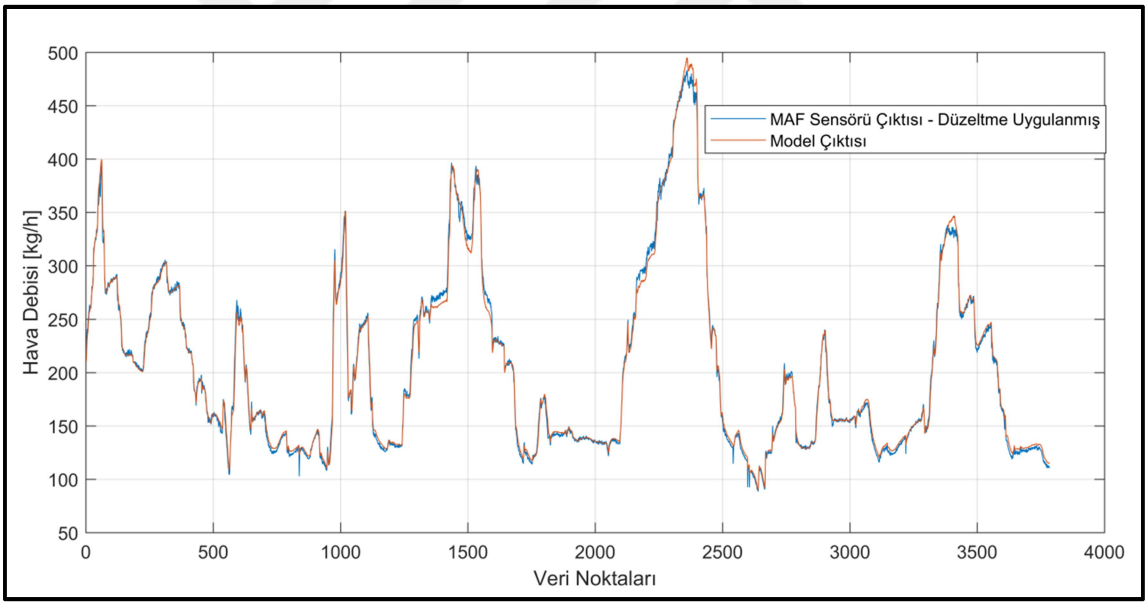
Şekil 3.40 -20% sapma için hesaplatılan "a" ve "b" katsayıları

"a" katsayısı -0.0001344 ve "b" katsayısı 1.232 olarak 0.9965 R^2 ile hesaplatılmıştır. Aynı katsayılar Kalman filtresi yöntemi ile hesaplatılırsa:



Şekil 3.41 Kalman filtresi yöntemi ile hesaplatılan düzeltme katsayıları

Her iki yöntem ile de yine aynı şekilde aynı sonuca ulaşılmıştır. Bu katsayılar denklemde yerlerine koyulup MAF sensörüne düzeltme uygulandığında sonuçlar Şekil 3.42'daki gibi olacaktır.

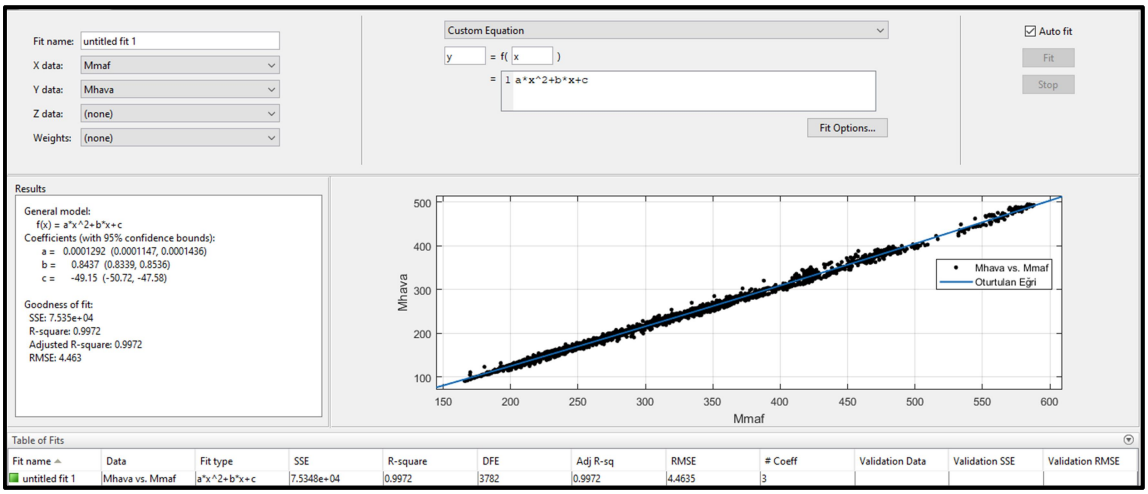


Şekil 3.42 Düzeltme sonrasında MAF sensörü ve model çıktılarının karşılaştırılmaları

3.4 "$M_{hava} = a * (M_{maf})^2 + b * M_{maf} + c$" Düzeltme Denklemi Olarak Kullanılırsa

İlgili denklemin düzeltme denklemi olarak seçilmesi durumunda güncellenen matrisler Denklem (2.16), (2.17), (2.18) ve (2.19) da verilmiştir. İlgili matrisler Kalman filtresi formülünde yerlerine yazılarak hesaplamalar yapılabilir.

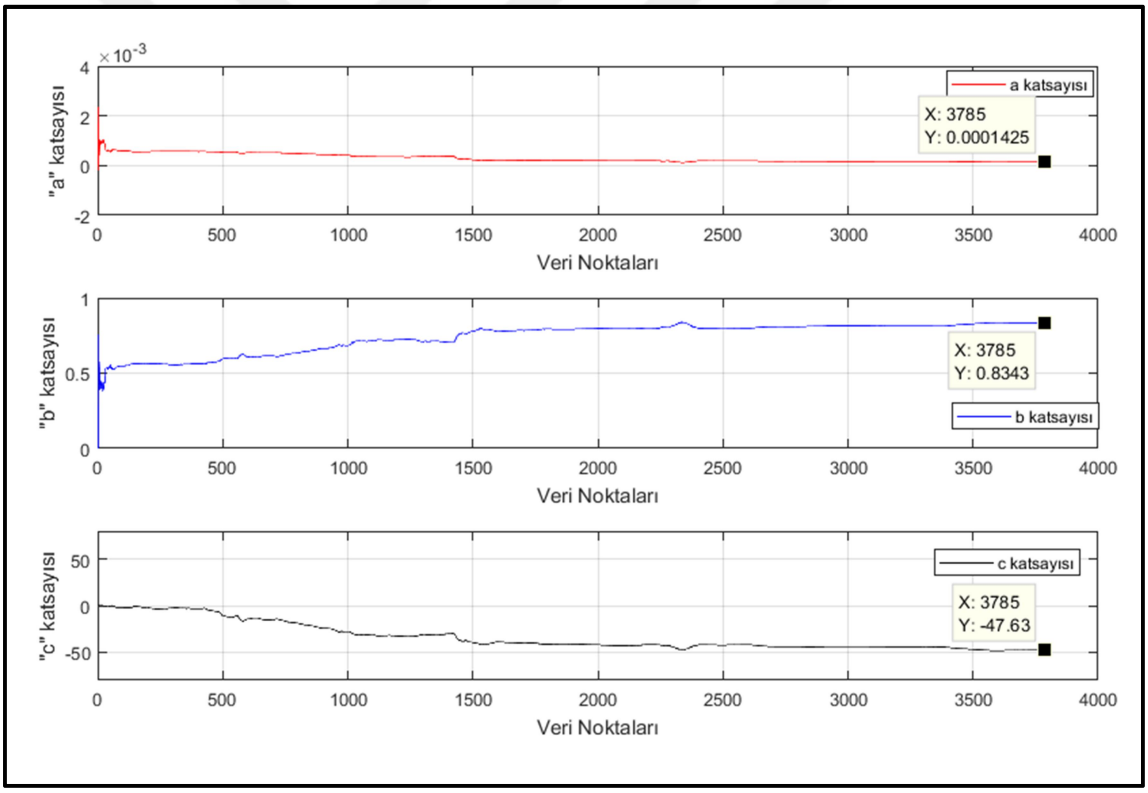
Diğer üç denklem için yazıldığı gibi yine MAF sensörüne 75 kg/h sapma eklenirse MAF sensörü çıktısı ve model çıktısı karşılaştırması Şekil 3.3'deki gibi olacaktır. Bu durumda düzeltme katsayıları hesaplatılırsa:



Şekil 3.43 75 kg/h sapma durumunda hesaplatılan “a”, “b” ve “c” katsayıları

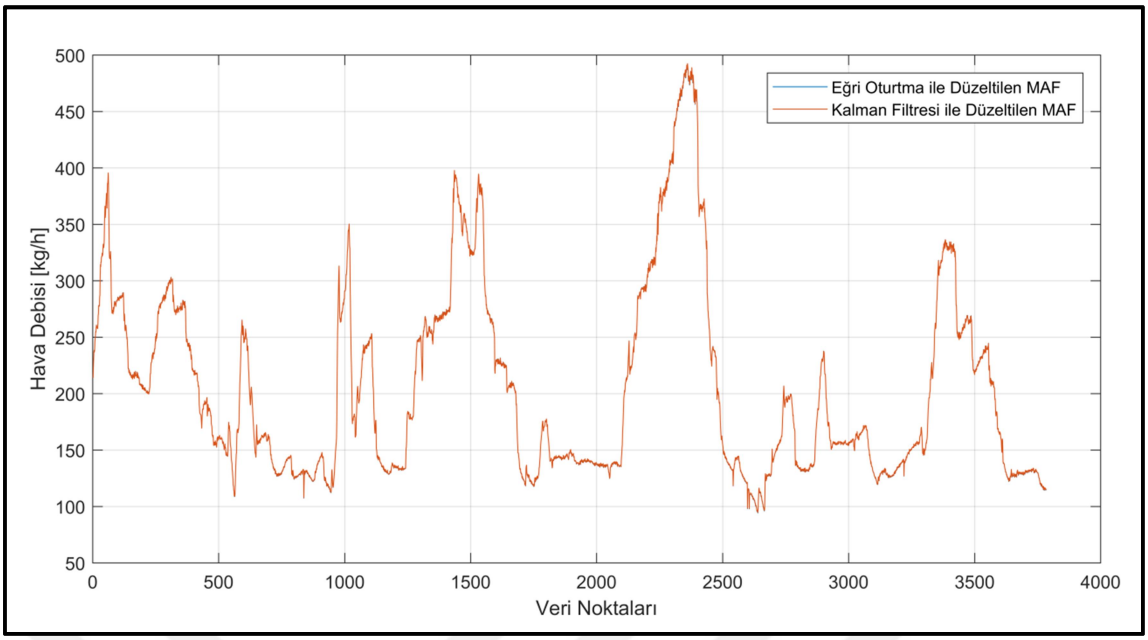
“a” katsayısı 0.0001292, “b” katsayısı 0.8437 ve “c” katsayısı -49.15 olarak 0.9972 R^2 ile hesaplatılmıştır.

Aynı katsayılar Kalman filtresi yardımı ile hesaplatılırsa Şekil 3.44 elde edilir.



Şekil 3.44 Kalman filtresi ile hesaplatılan düzeltme katsayıları

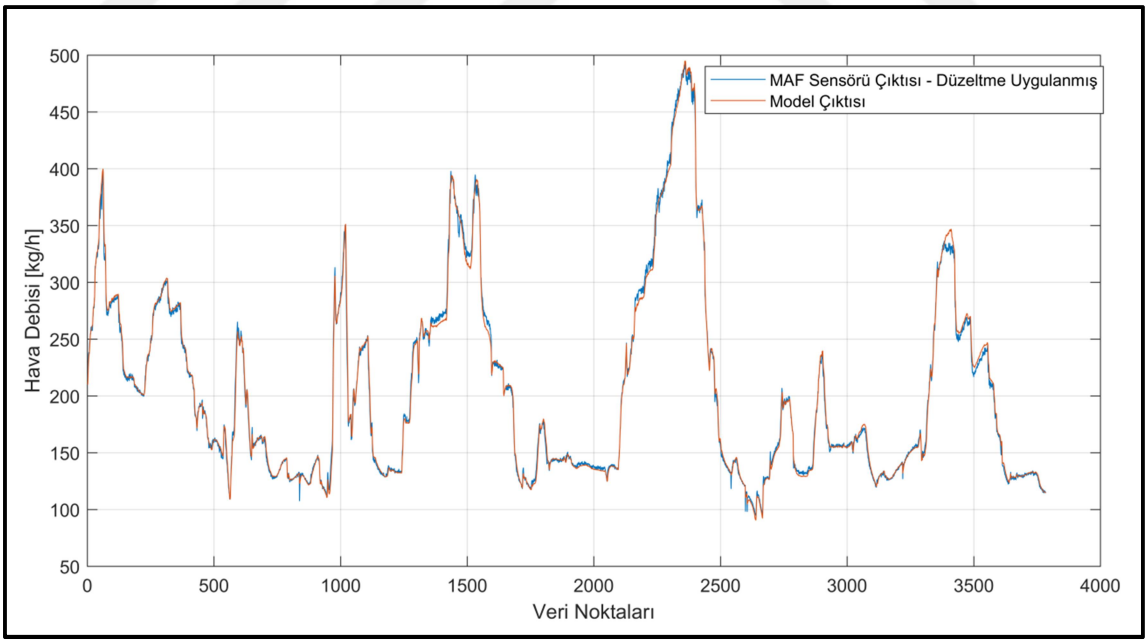
Her iki hesaplama yöntemi ile de birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Aradaki fark ihmal edilebilir derecede görünse de düzeltme katsayısı olarak iki yöntemin çıktıları birbiriyle Şekil 3.45 de kıyaslanmıştır.



Şekil 3.45 Eğri oturtma ve Kalman yöntemi ile hesaplanan katsayılar ile düzeltme sonuçları

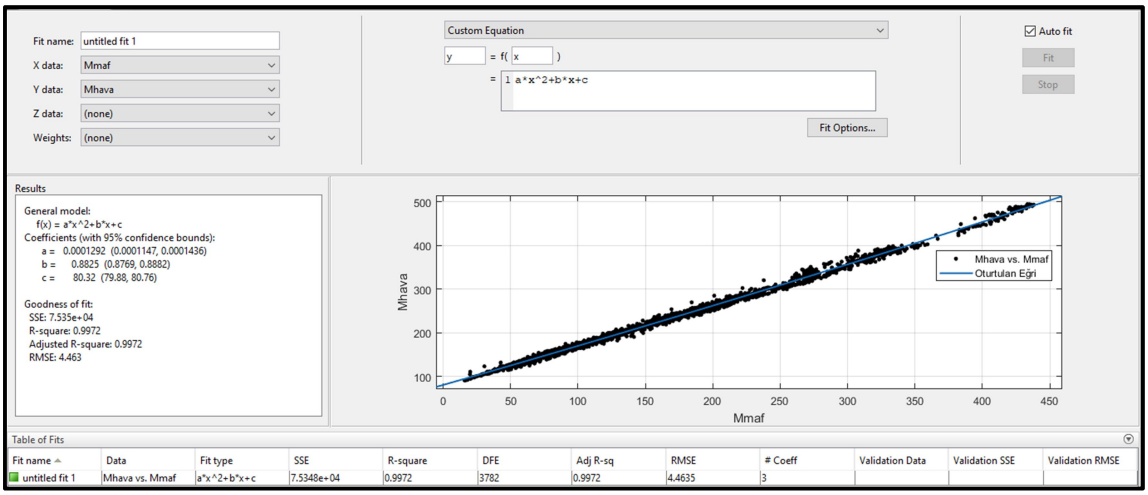
Şekil 3.45'den de görülebileceği gibi her iki yöntem ile hesaplanan katsayılar denklemde yerlerine koyulduğunda sonuç olarak aynı MAF sensörü çıktılarını vermektedir.

Kalman filtresi ile hesaplanan katsayılar ile düzeltme sonrasında MAF sensörü çıktısının model çıktısı ile karşılaştırılması Şekil 3.46'de verilmiştir.



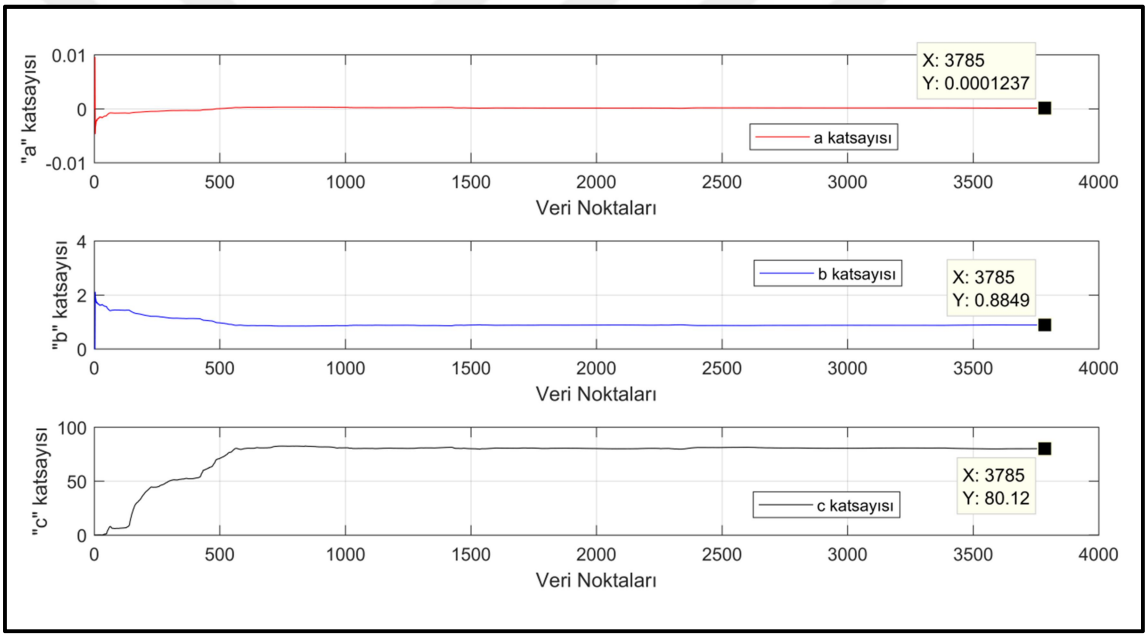
Şekil 3.46 Düzeltme işlemi sonrasında model ve MAF sensörü çıktıları

Negatif yönde 75 kg/h sapma uygulandığı durumda MAF sensörü ve model çıktıları Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Bu durum için düzeltme katsayıları hesaplanırsa:



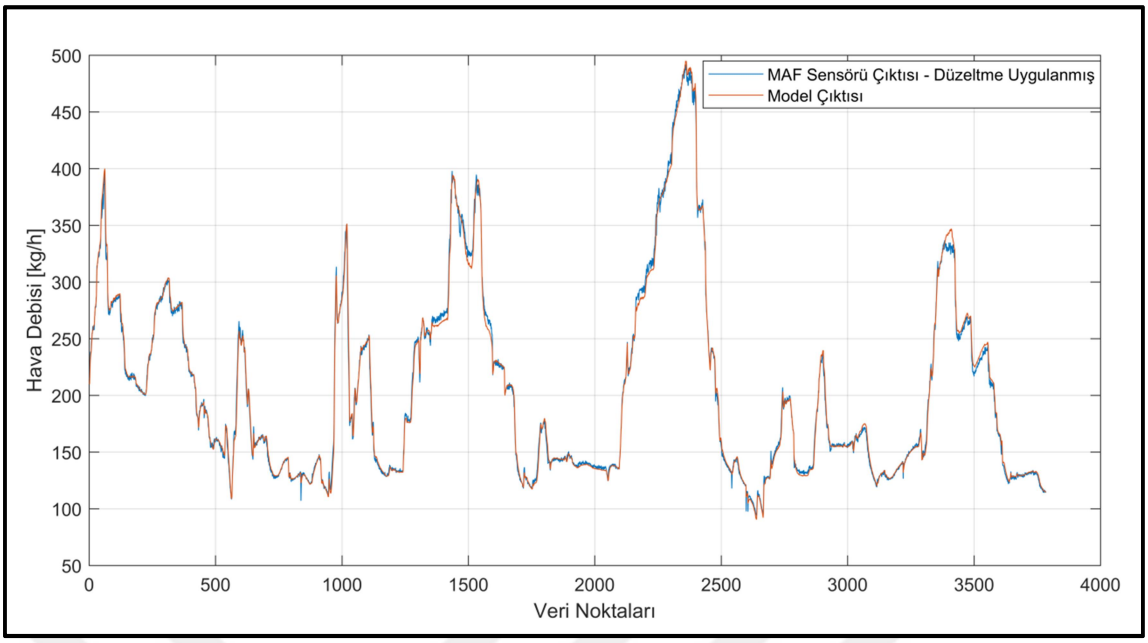
Şekil 3.47 -75 kg/h sapma için hesaplatılan düzeltme katsayıları

"a" katsayısı 0.0001292, "b" katsayısı 0.8825 ve "c" katsayısı 80.32 olarak 0.9972 R^2 ile hesaplatılmıştır. Aynı katsayılar Kalman filtresi ile hesaplatılırsa Şekil 3.48 elde edilir.



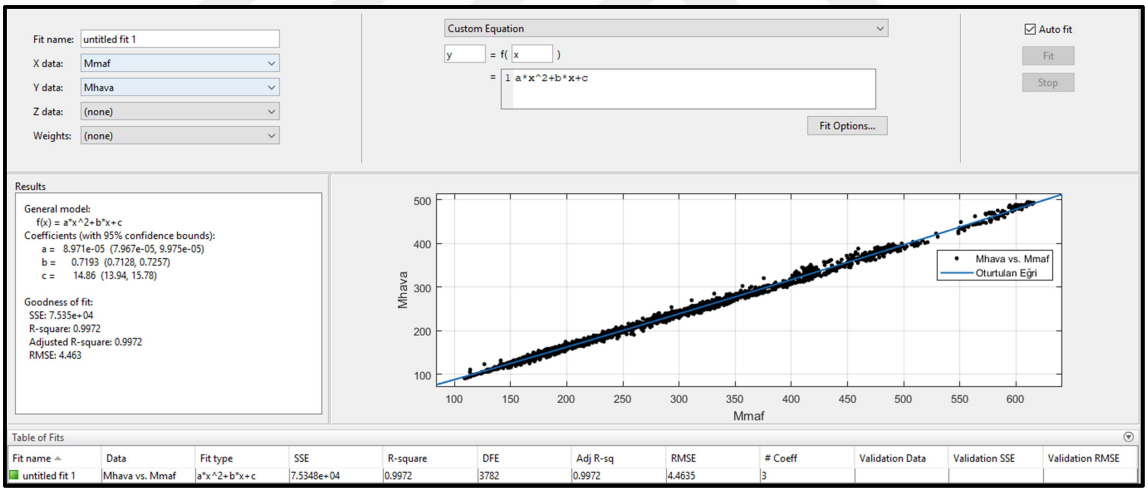
Şekil 3.48 Kalman filtresi ile hesaplatılan düzeltme katsayıları

Her iki yöntem ile de çok benzer sonuçlar elde edilmiştir. Kalman filtresi ile hesaplanan katsayılar ilgili denklemde yerlerine yazılıp MAF sensörüne düzeltme uygulanırsa MAF sensör çıktısı ve model çıktısı aşağıdaki gibi olacaktır.



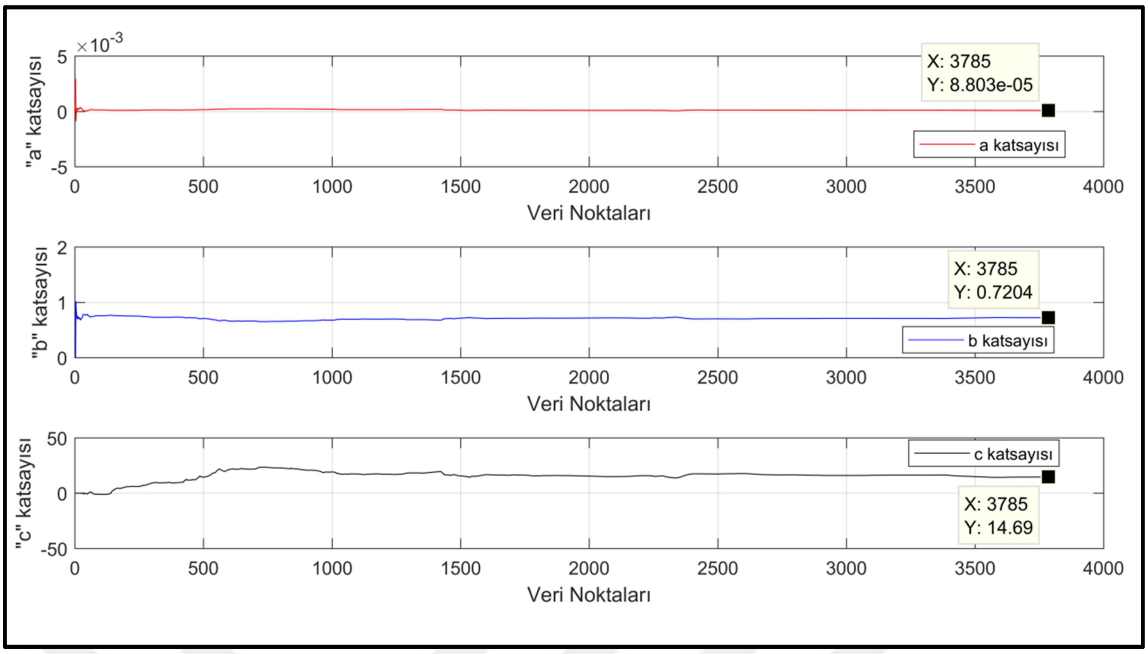
Şekil 3.49 Düzeltme uygulandığı durumda MAF sensörü ve model çıktısının karşılaştırılması

Üçüncü senaryo olarak MAF sensörüne +20% sapma uygulanırsa MAF sensörü ve model çıktısı karşılaştırması Şekil 3.11'deki gibi olacaktır. Bu durumda hesaplatılan düzeltme katsayıları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



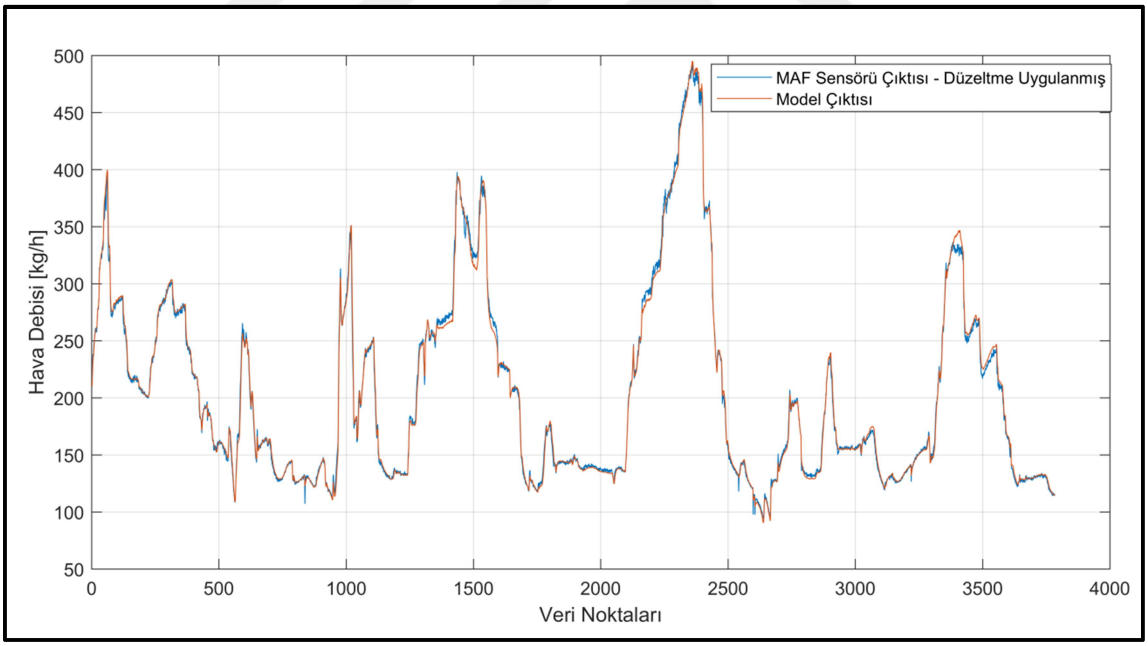
Şekil 3.50 Pozitif yönde 20% sapma uygulanması durumunda hesaplatılan düzeltme katsayıları

"a" katsayısı 8.971×10^{-5}, "b" katsayısı 0.7193 ve "c" katsayısı 14.86 olarak 0.9972 R^2 ile hesaplatılmıştır. Aynı katsayılar Kalman filtresi yöntemi ile hesaplatılırsa Şekil 3.51'deki sonuçlar elde edilir.



Şekil 3.51 Kalman filtresi ile hesaplatılan düzeltme katsayıları

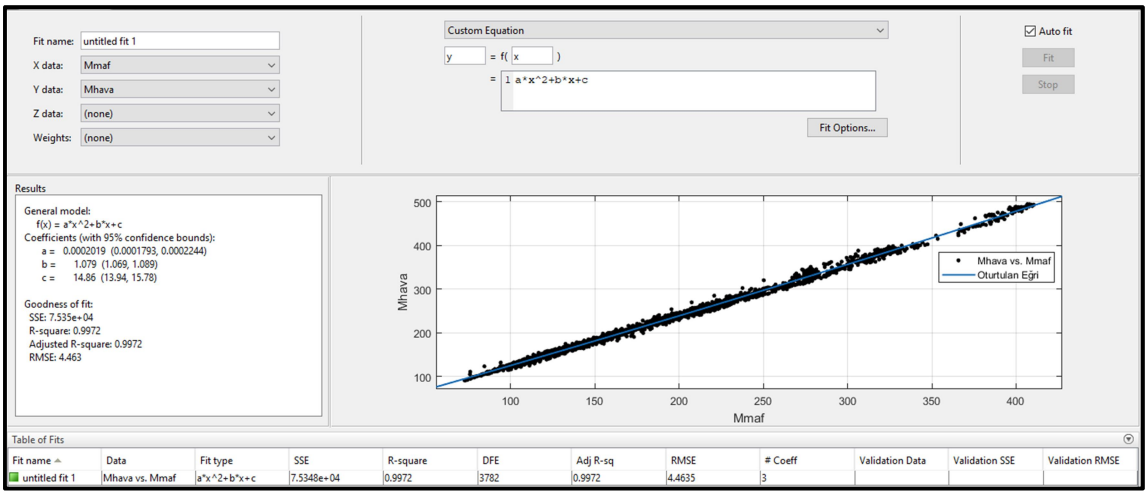
Hesaplatılan bu düzeltme katsayıları MAF sensörünü düzeltmek amacıyla ilgili denklemde yerlerine yazılırlarsa MAF sensörü ve model çıktısı karşılaştırması Şekil 3.52'daki gibi olacaktır.



Şekil 3.52 Düzeltme sonrasında MAF sensörü ve model çıktılarının karşılaştırılması

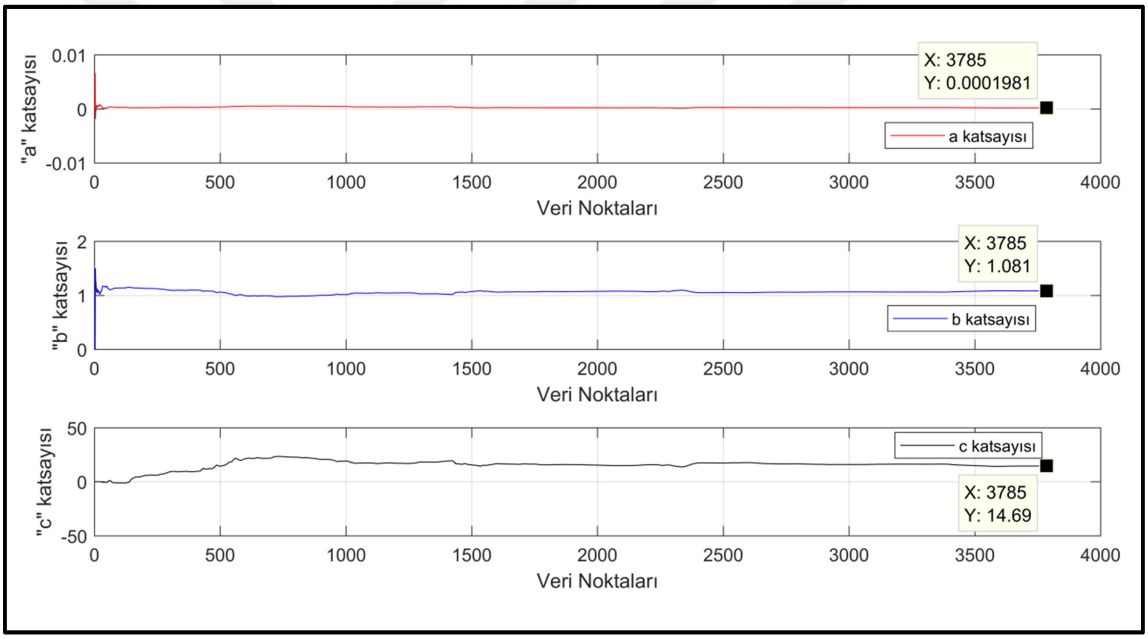
Şekil 3.52'dan da görülebileceği gibi MAF sensöründeki sapma çok büyük ölçüde giderilmiştir.

Son olarak negatif yönde 20% sapma uygulanırsa MAF sensörü ve model çıktılarının karşılaştırılması Şekil 3.15'de verilmiştir. Bu durumda düzeltme katsayıları hesaplatılırsa:



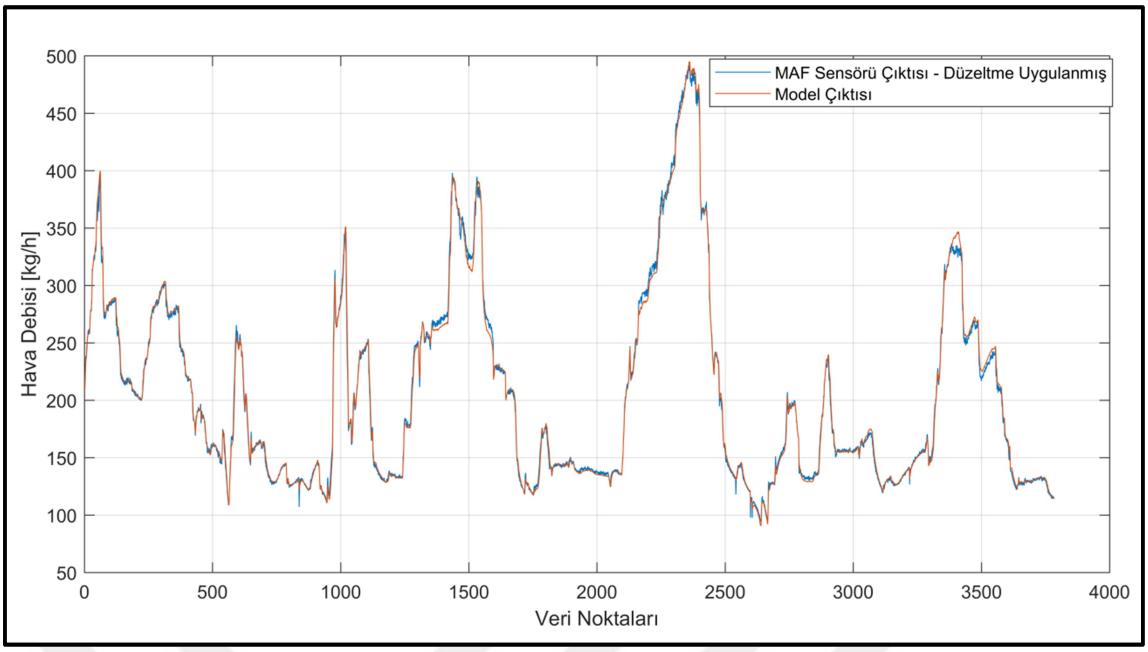
Şekil 3.53 -20% sapma durumunda hesaplatılan düzeltme katsayıları

"a" katsayısı 0.0002019, "b" katsayısı 1.079 ve "c" katsayısı 14.86 olarak 0.9972 R^2 ile hesaplatılmıştır. Aynı katsayılar Kalma filtresi ile hesaplatılırsa sonraki şekildeki sonuçlar elde edilir.



Şekil 3.54 Kalman filtresi ile hesaplatılan düzeltme katsayıları

Hesaplatılan bu katsayılar ile düzeltme işlemi uygulanırsa yeni durumda MAF sensörü ve model çıktıları Şekil 3.55'deki gibi olacaktır.



Şekil 3.55 Düzeltme işlemi sonrasında MAF sensörü ve model çıktılarının karşılaştırmaları

Sonuç olarak toplam dört düzeltme denkleminin her birisi için dört farklı senaryo denenmiş ve algoritmanın sapmayı düzeltmesi hedeflenmiştir. Aynı zamanda kullanılan denklemin sapmanın karakteri ile nasıl tepki verdiği de gösterilmiştir. Yukarıda verilen tüm bilgilerin çıktıları kolay karşılaştırabilmek adına tabloda toplanmıştır. Burada tutarlılık olarak R^2 değerleri karşılaştırılacaktır. Çıkacak olan sonuçlara göre seçilecek olan düzeltme denklemi NEDC testi esnasındaki MAF sensör sapmasını düzeltmek için kullanılacaktır.

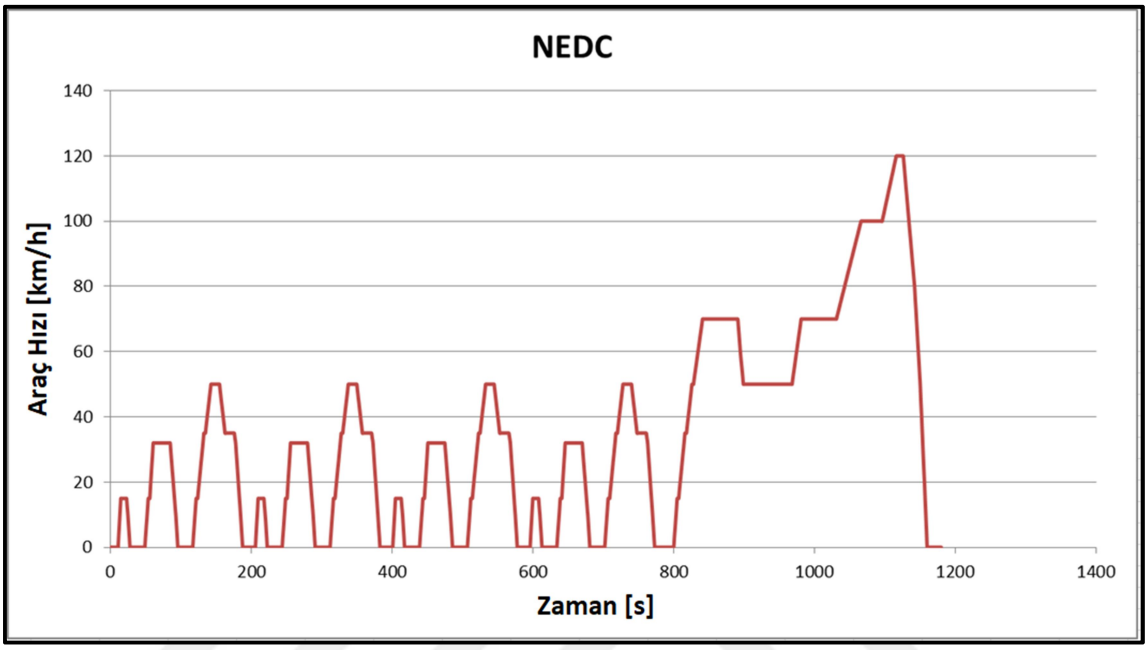
Çizelge 3.1 Hesaplanan düzeltme katsayılarının özeti

		75			-75			+ %20			- %20		
		Eğri Oturtma	Kalman Filtresi	R^2	Eğri Oturtma	Kalman Filtresi	R^2	Eğri Oturtma	Kalman Filtresi	R^2	Eğri Oturtma	Kalman Filtresi	R^2
y=ax	a	0.7336	0.7336	0.9477	1.321	1.321	0.7458	0.8001	0.8001	0.9958	1.2	1.2	0.9958
y=ax+c	a	0.931	0.9304	0.997	0.931	0.9313	0.997	0.7758	0.7759	0.997	1.164	1.164	0.997
	c	-62.49	-62.31		77.16	77.08		7.332	7.319		7.332	7.319	
$y=ax^2+bx$	a	0.0005617	0.0005617	0.9945	-0.00201	-0.00201	0.9026	$-5.975x10^{-5}$	$-5.976x10^{-5}$	0.9965	-0.0001344	-0.0001345	0.9965
	b	0.5375	0.5375		1.827	1.827		0.8212	0.8212		1.232	1.232	
$y=ax^2+bx+c$	a	0.0001292	0.0001425	0.9972	0.000129	0.000124	0.9972	$8.971x10^{-5}$	$8.803x10^{-5}$	0.9972	0.0002019	0.0001981	0.9972
	b	0.8437	0.8343		0.8825	0.8849		0.7193	0.7204		1.079	1.081	
	c	-49.15	-47.63		80.32	80.12		14.86	14.69		14.86	14.69	

Tablo 3.1'den de görülebileceği gibi, en iyi sonuçları "y=ax+c" ve "$y=ax^2+bx+c$" şeklindeki denklemler vermektedir. Her iki denklem için de sonuçlar çok yakın olduğundan, motor kontrol ünitesindeki işlem yükünü azaltmak amacıyla "y=ax+c" şeklindeki denklem ile devam edilecektir.

3.5 NEDC Testi ve MAF Sensörü Sapmasının Emisyonlar Üzerindeki Etkisi

MAF sensörü sapmasının egzoz emisyonları üzerindeki etkisini daha net ortaya koyabilmek adına motor dinamometresinde NEDC testleri koşulmuştur. İlk olarak MAF sensöründe herhangi bir sapma yokken, sonrasında MAF sensöründe %10 ve %20 sapma varken toplam üç adet NEDC testi koşturulmuştur. NEDC testinin araç hızı – zaman grafiği Şekil 3.66'da verilmiştir [10].



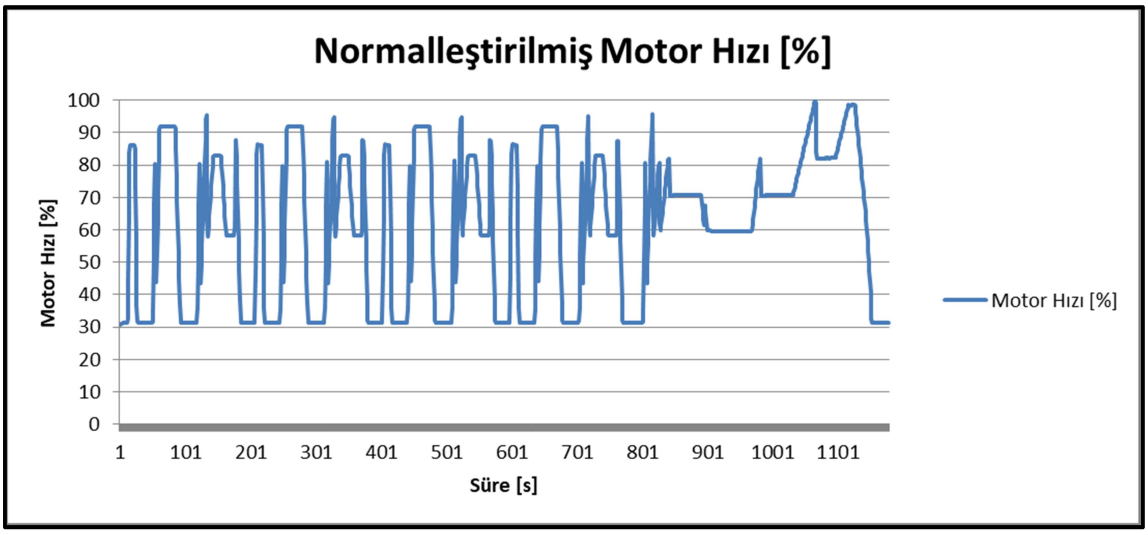
Şekil 3.56 NEDC test profili

Bu çalışmada koşulan NEDC testleri motor dinamometresinde koştuğundan araç hızı çıktısı olmayacaktır. Bu nedenle, NEDC testinin motor dinamometresi üzerinde koşulabilmesi için öncelikle araçtan NEDC test sonuçları alınmış, sonrasında bu verinin motor hızı ve motor yükü değerlerine göre dinamometrede yeniden bir test yazılmış ve bu şekilde koşturulmuştur.

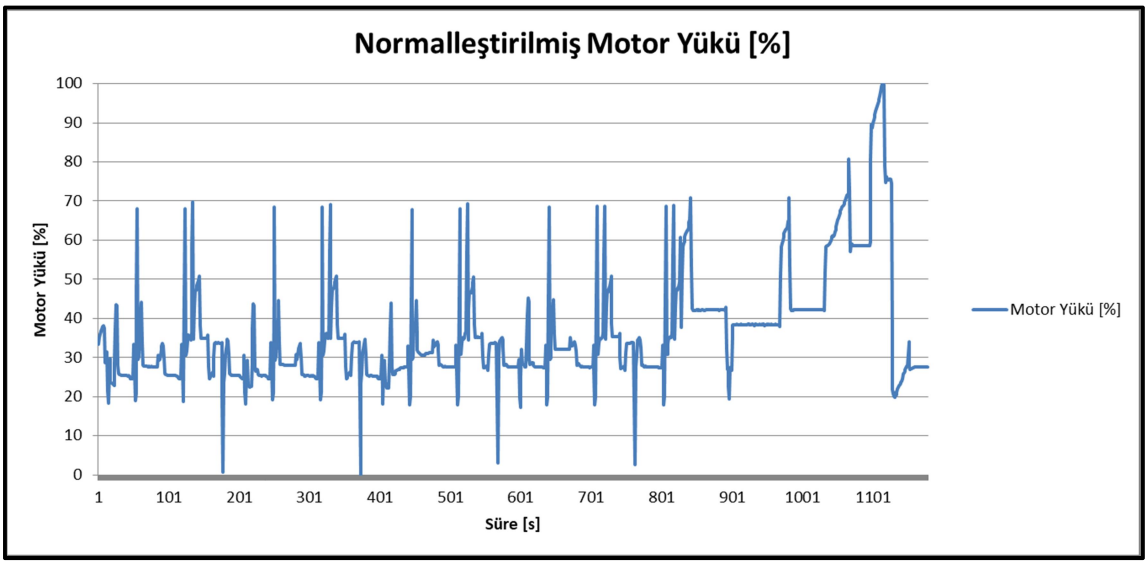
Her üç test de aynı motor hızı ve motor yükünde koştuğundan, testler arasında motor hızı ve yükü bakımından herhangi bir farklılık bulunmamaktadır.

İlgili veriler şirket gizliliği nedeniyle direkt olarak gösterilemeyecek olup normalleştirme işlemine tabi tutularak verilmiştir. Normalleştirme işlemi sırasında en büyük motor hızı test esnasındaki en yüksek motor hızı olarak alınmış, en küçük motor hızı ise 0 olarak alınmıştır. Aynı durum motor yükü ve emisyon verileri için de geçerlidir.

Şekil 3.57 ve Şekil 3.58'de koşulan testlerin normalleştirilmiş motor hızı ve normalleştirilmiş motor yükü verileri sunulmuştur.

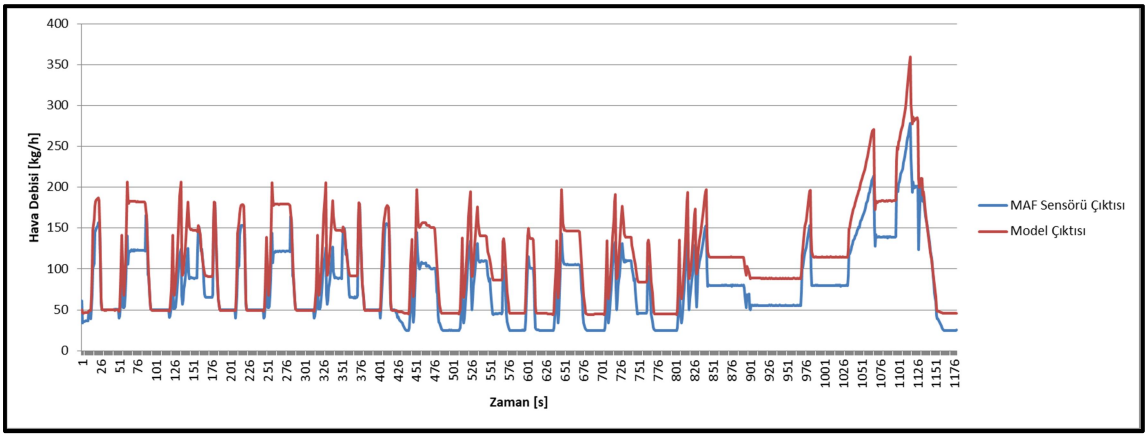


Şekil 3.57 NEDC testi sırasındaki motor hızı grafiği



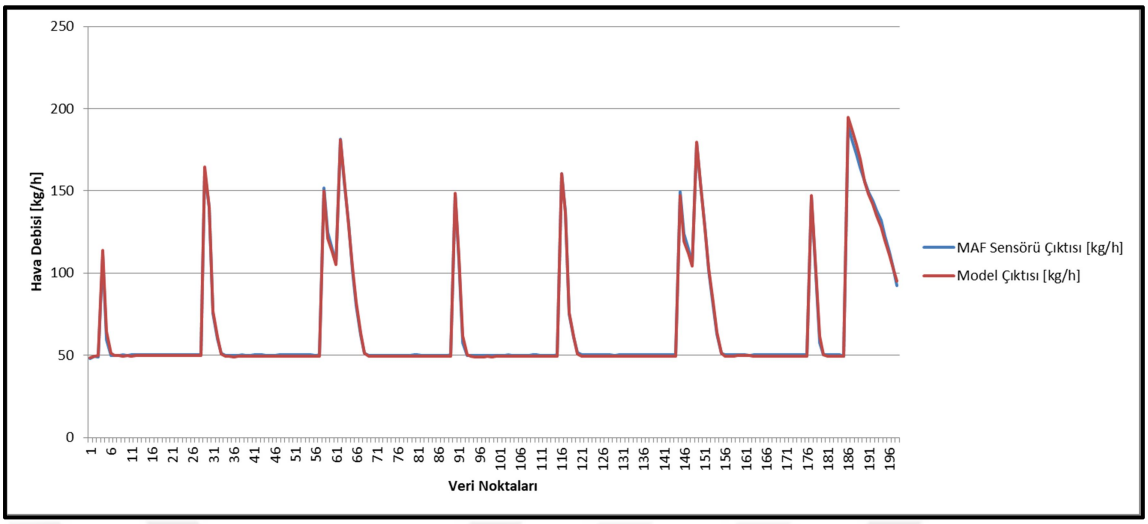
Şekil 3.58 NEDC testi sırasındaki motor yükü grafiği

Şekil 3.59'da test esnasında motorun aldığı hava miktarı ve model çıktısı karşılaştırması verilmiştir.



Şekil 3.59 Test esnasında MAF sensörü ve model çıktıları

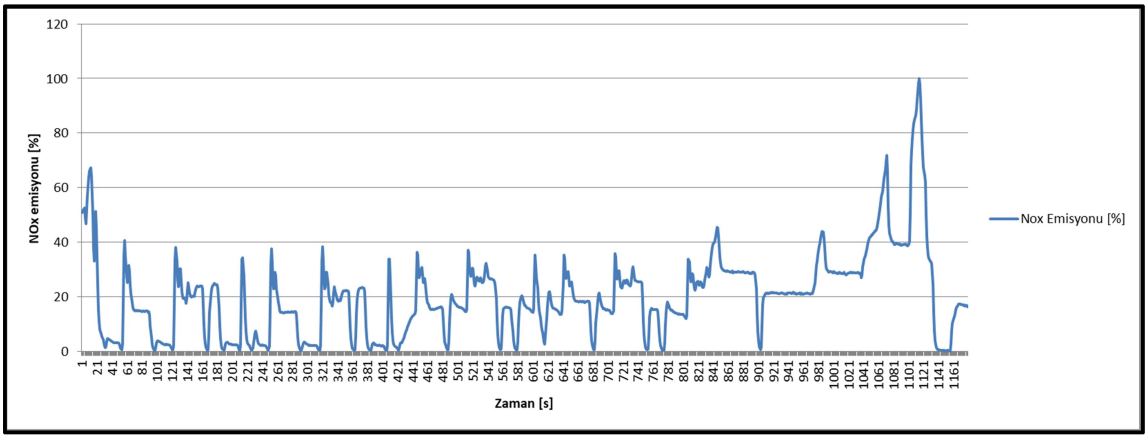
Eğer EGR valfinin kapalı olduğu bölgelerin MAF sensörü ve model çıktısı grafiği çizdirilirse Şekil 3.60 elde edilir.



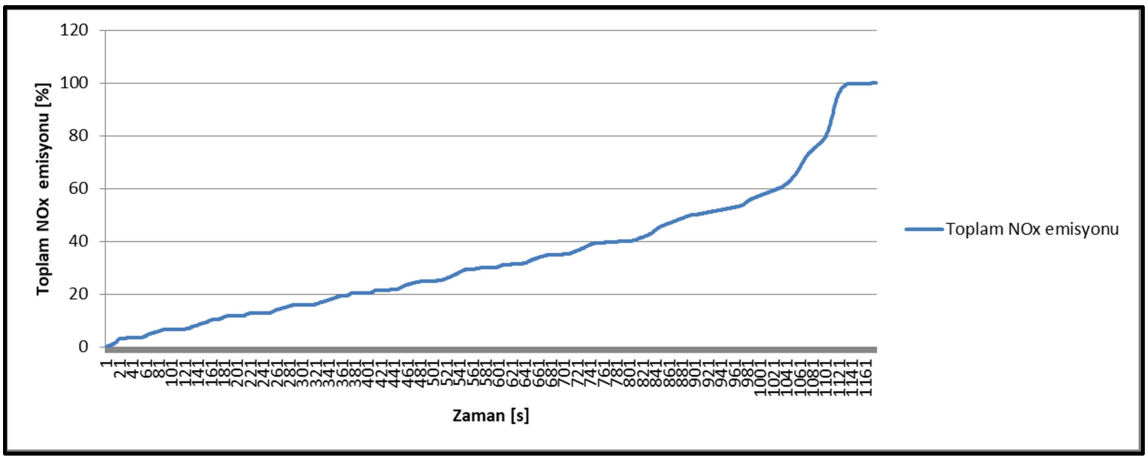
Şekil 3.60 NEDC testi sırasında EGR Valfinin kapalı olduğu durumlarda MAF sensörü ve model çıktısının karşılaştırılması

Şekil 3.59'da MAF sensöründe herhangi bir sapma olmamasına rağmen model çıktısı ile arasında fark görünmektedir. Bunun nedeni önceki bölümlerde anlatıldığı gibi EGR valfinin açık olmasıdır. Diğer bir deyişle aradaki fark, toplam akıtılan EGR gazı debisine eşittir.

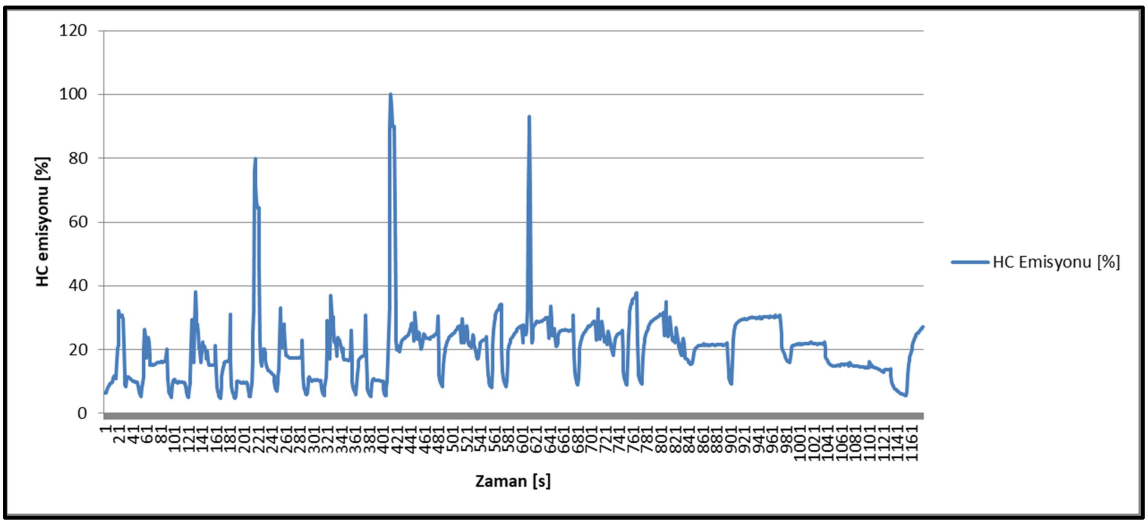
İdeal durumdaki bu test için anlık NO_x ve HC emisyonları ppm biriminde normalleştirilerek aşağıda çizdirilmiştir. Sonraki iki test için emisyon verileri, testler arasında karşılaştırma yapabilmek amacıyla burada çıkan değerler üzerinden normalleştirilerek sunulacaktır.



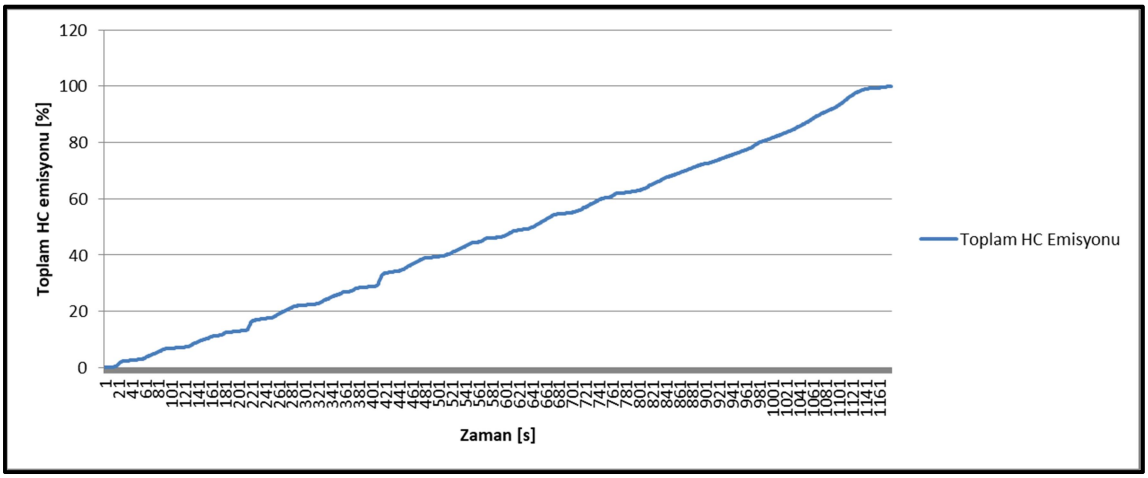
Şekil 3.61 Test esnasında ölçümlenen normalleştirilmiş anlık NOx emisyonu



Şekil 3.62 Normalleştirilmiş toplam NOx emisyonu

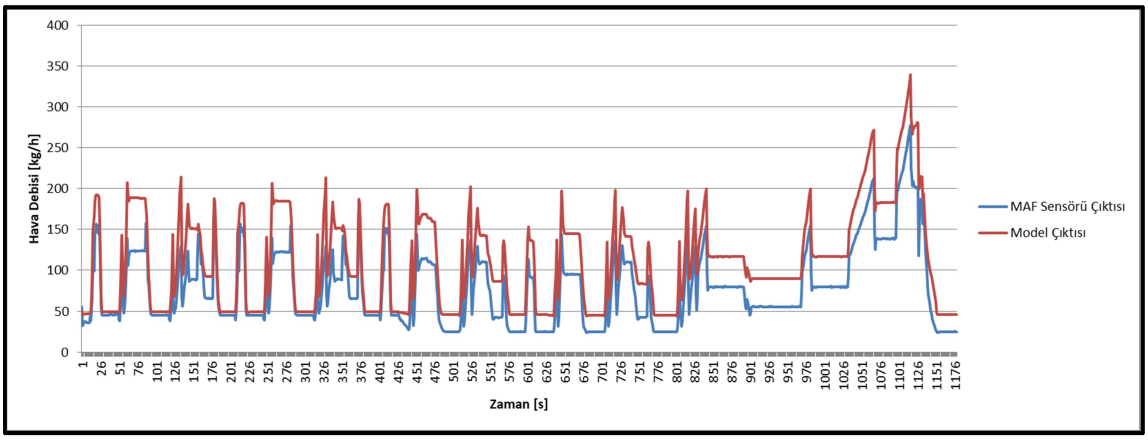


Şekil 3.63 Test esnasında ölçümlenen normalleştirilmiş anlık HC emisyonu



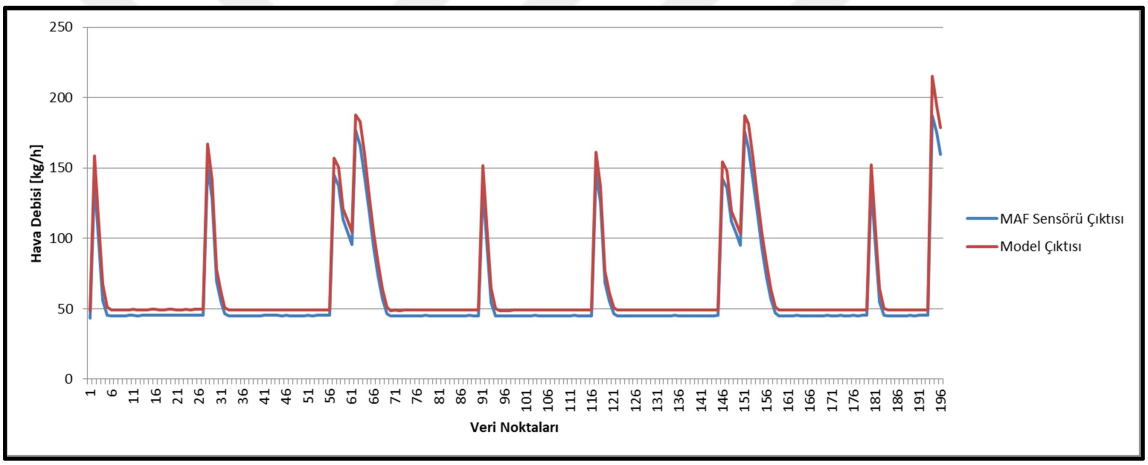
Şekil 3.64 Normalleştirilmiş toplam HC emisyonu

Eğer aynı test, negatif yöndeki %10'luk bir MAF sensörü sapması ile koşarsa MAF sensörü ve model çıktısı karşılaştırmaları Şekil 3.65'deki gibi olacaktır.



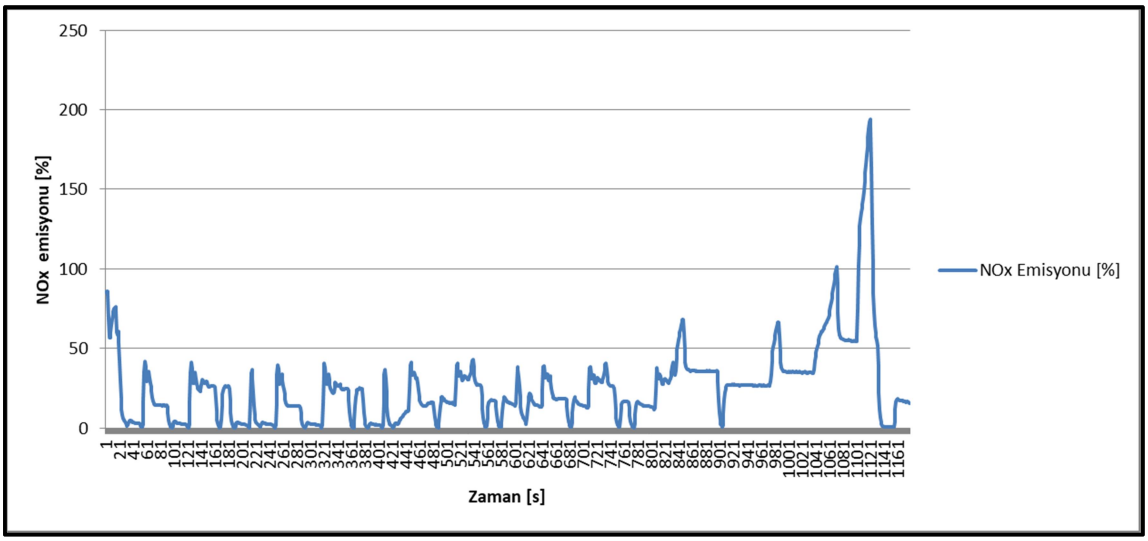
Şekil 3.65 NEDC testi sırasında MAF sensöründe %10 sapma olması durumunda MAF sensörü ve model çıktılarının karşılaştırılması

Yukarıdaki grafik, sadece EGR valfinin kapalı olduğu durumlar için çizdirilirse Şekil 3.66 elde edilir.



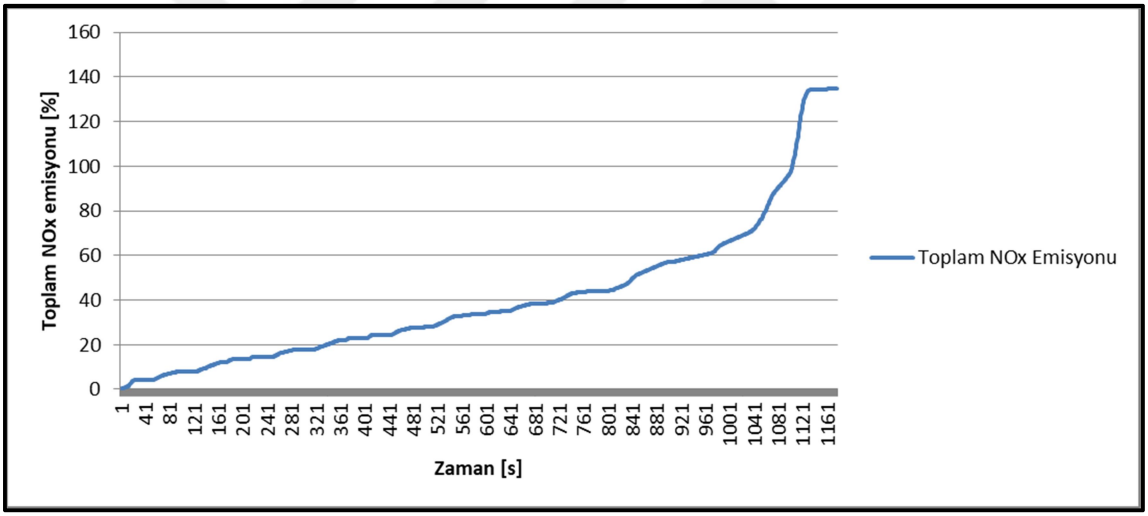
Şekil 3.66 NEDC testi sırasında EGR Valfinin kapalı olduğu durumlarda MAF sensörü ve model çıktısının karşılaştırılması

Yukarıdaki grafikten de görülebileceği üzere Şekil 3.60'den farklı olarak MAF sensörü çıktısı ve model çıktısı arasında MAF sensörü sapmasından kaynaklı fark bulunmaktadır.



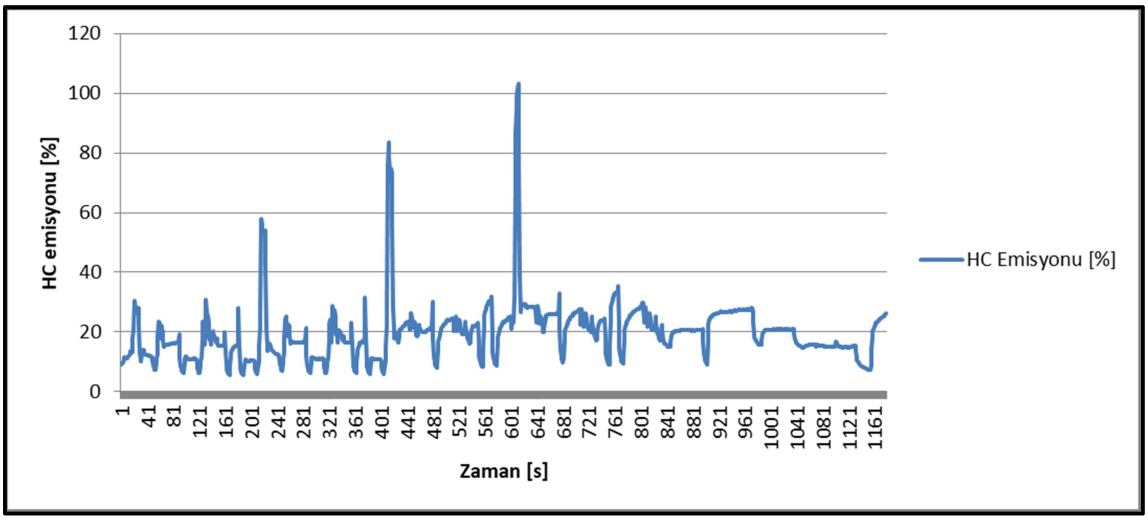
Şekil 3.67 Test esnasında ölçümlenen normalleştirilmiş anlık NOx emisyonu

Şekil 3.67'den de görülebileceği gibi normalleştirilmiş değerler %100'ün üzerinde çıkmaktadır. Bunun nedeni ise daha önceden açıklanıldığı gibi testler arasında karşılaştırma yapabilmek amacıyla ilk koşan NEDC testinin sonuçları referans alınarak ikinci ve üçüncü test sonuçları normalleştirilmiştir.

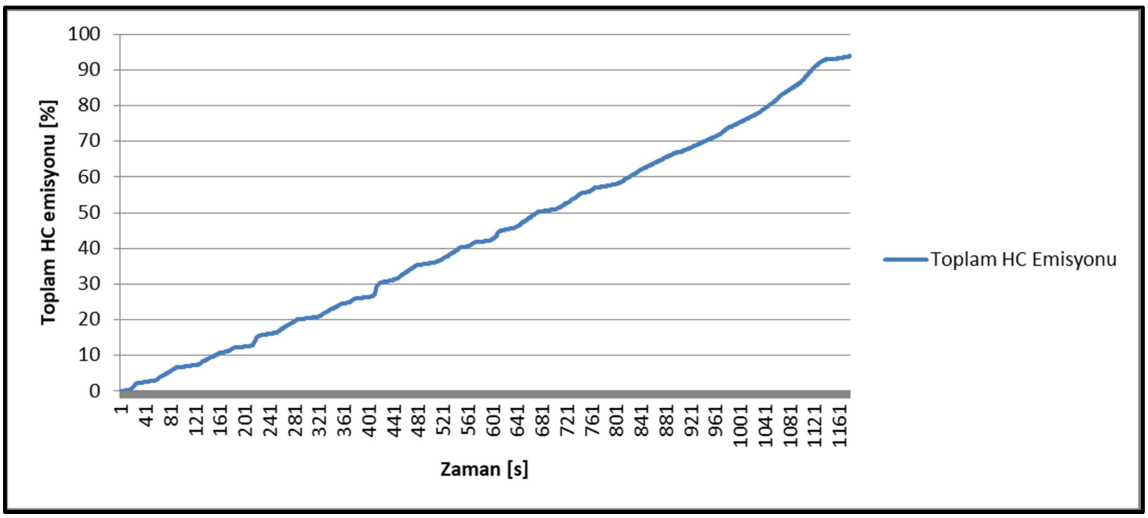


Şekil 3.68 Normalleştirilmiş toplam NOx emisyonu

Şekil 3.68'den görülebileceği gibi MAF sensöründeki %10 sapmadan dolayı NEDC testi boyunca motordan çıkan toplam NOx emisyonu bir önceki teste kıyasla yaklaşık olarak %37 artış göstermiştir.



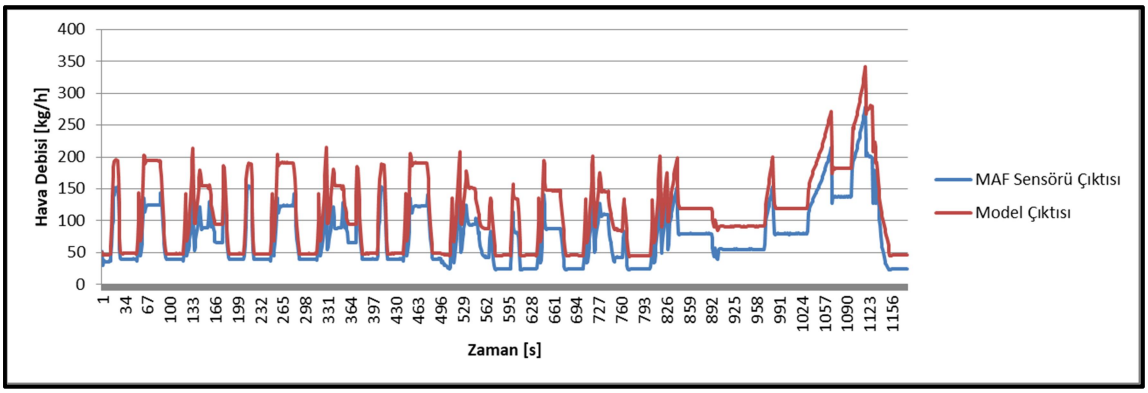
Şekil 3.69 Test esnasında ölçümlenen normalleştirilmiş anlık HC emisyonu



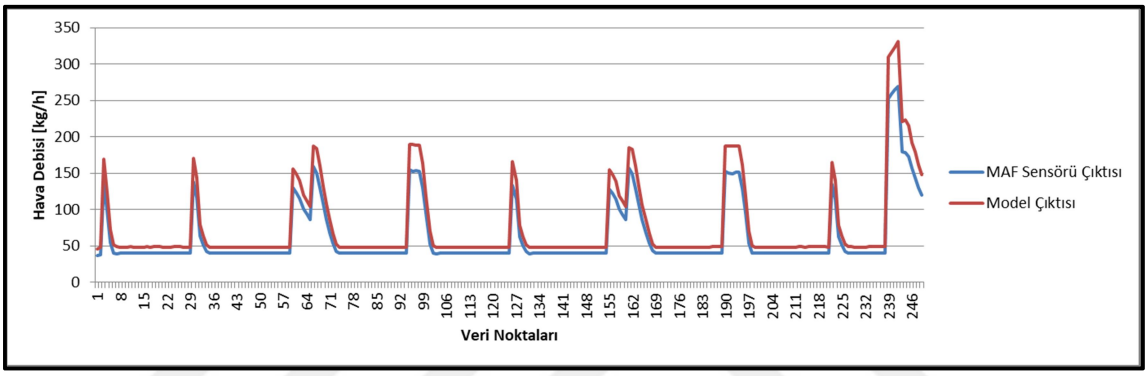
Şekil 3.70 Normalleştirilmiş toplam HC emisyonu

Şekil 3.70'e bakıldığında %37'lik NOx emisyonu artışıyla birlikte yaklaşık %7 oranında HC emisyonlarının azaldığı gözlenmiştir. HC ve NOx emisyonlarının ters orantılı olarak değiştiği bilindiğinden çıkan sonuçlar tutarlılık göstermektedir.

Aynı grafikler MAF sensöründe %20'lik bir sapma olduğunda aşağıdaki gibi şekillenecektir.

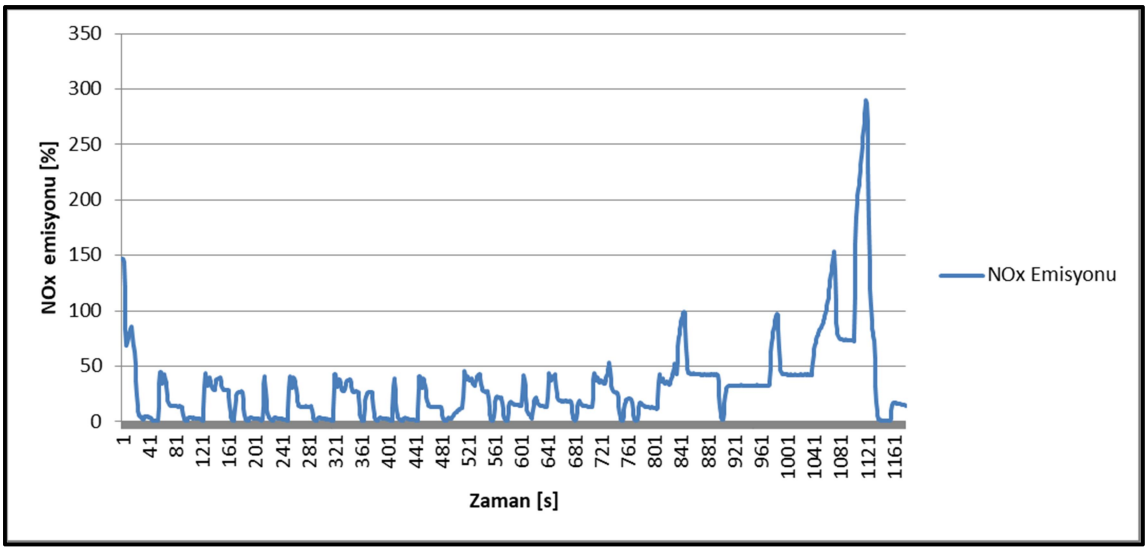


Şekil 3.71 NEDC testi sırasında MAF sensöründe %20 sapma olması durumunda MAF sensörü ve model çıktılarının karşılaştırılması

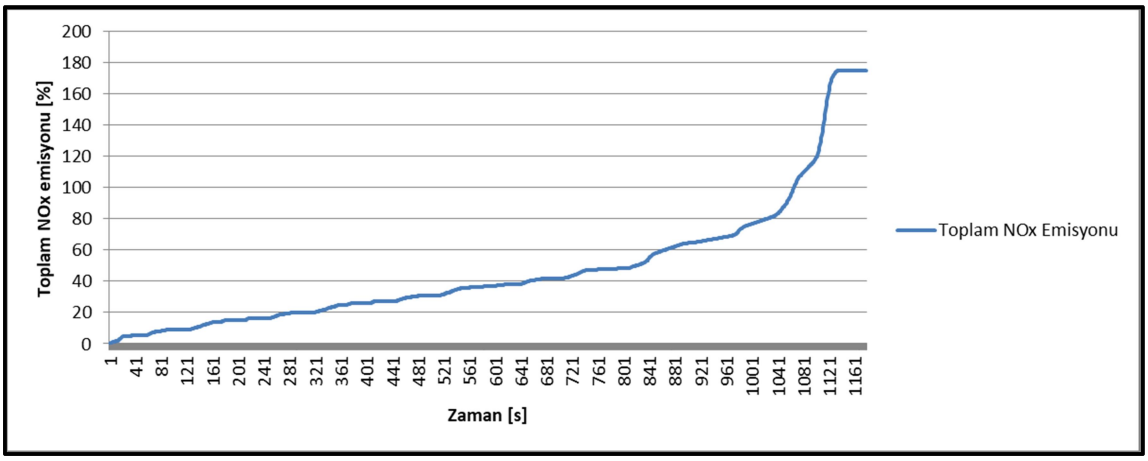


Şekil 3.72 NEDC testi sırasında EGR Valfinin kapalı olduğu durumlarda MAF sensörü ve model çıktısının karşılaştırılması

Şekil 3.72'de görüldüğü gibi, MAF sensöründeki sapmanın artmasıyla birlikte model çıktısı ile MAF sensörü çıktısı arasındaki fark Şekil 3.66'ya kıyasla daha büyüktür.

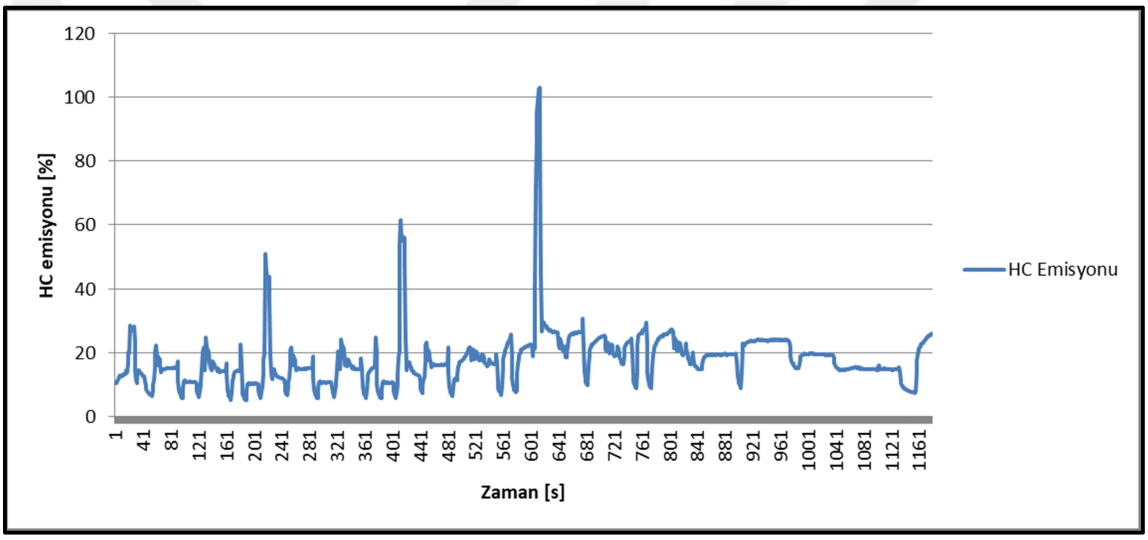


Şekil 3.73 Test esnasında ölçümlenen normalleştirilmiş anlık NOx emisyonu

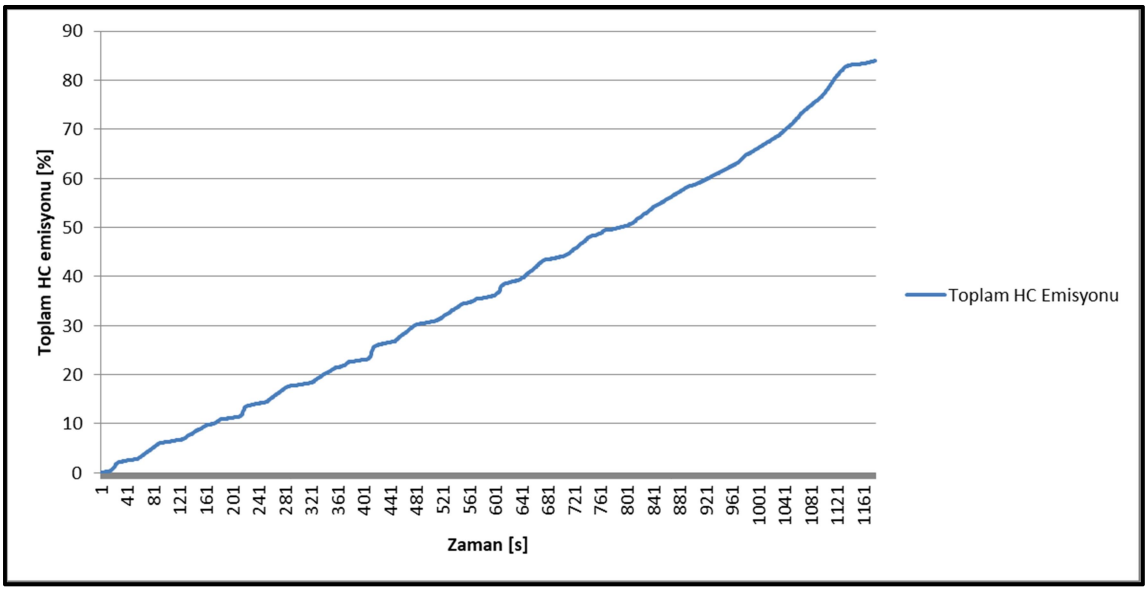


Şekil 3.74 Normalleştirilmiş toplam NOx emisyonu

Şekil 3.74'den de görülebileceği gibi, MAF sensöründe %20'lik bir sapma olması durumunda toplam NOx emisyonları yaklaşık olarak %78 artmaktadır.



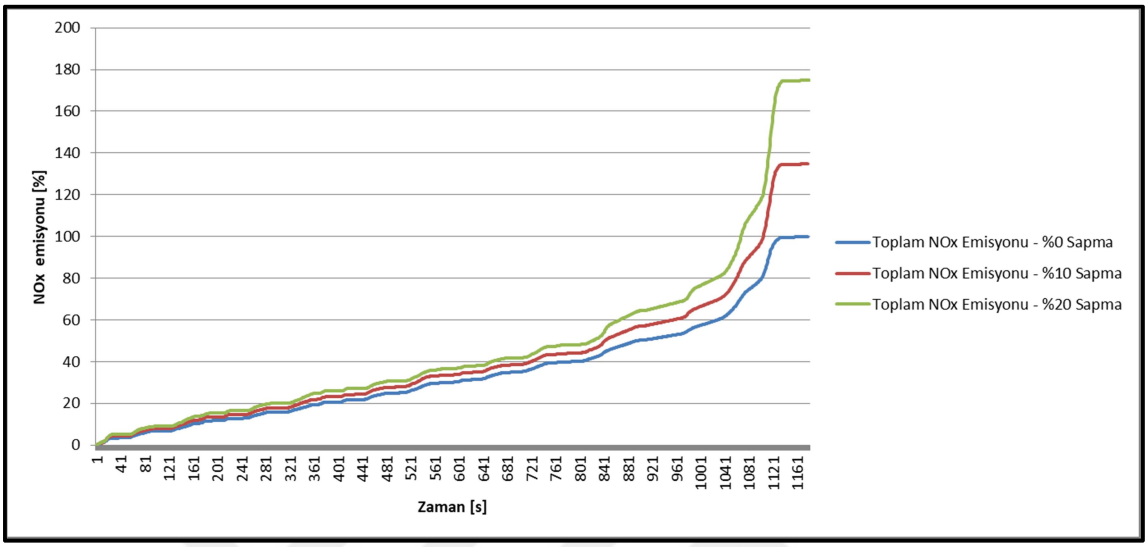
Şekil 3.75 Test esnasında ölçümlenen normalleştirilmiş anlık HC emisyonu



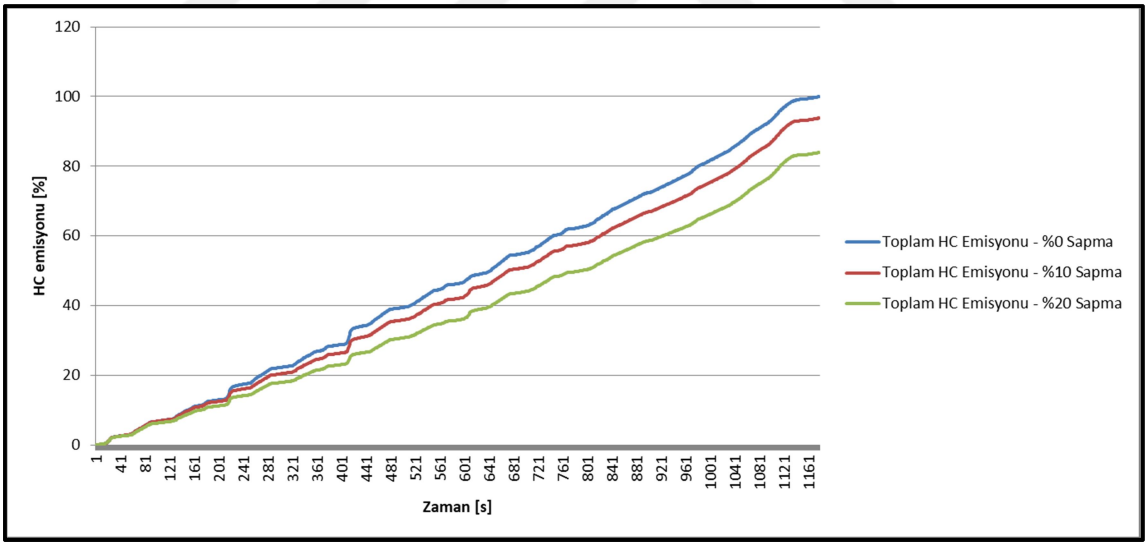
Şekil 3.76 Normalleştirilmiş toplam NOx emisyonu

Yukarıdaki şekilden de görülebileceği gibi NOx emisyonlarının artmasıyla HC emisyonları yaklaşık olarak %17 azalmıştır.

Her üç test için de toplam motordan çıkan NOx ve HC emisyonları üst üste çizdirilirlerse Şekil 3.77 ve Şekil 3.78 elde edilir.

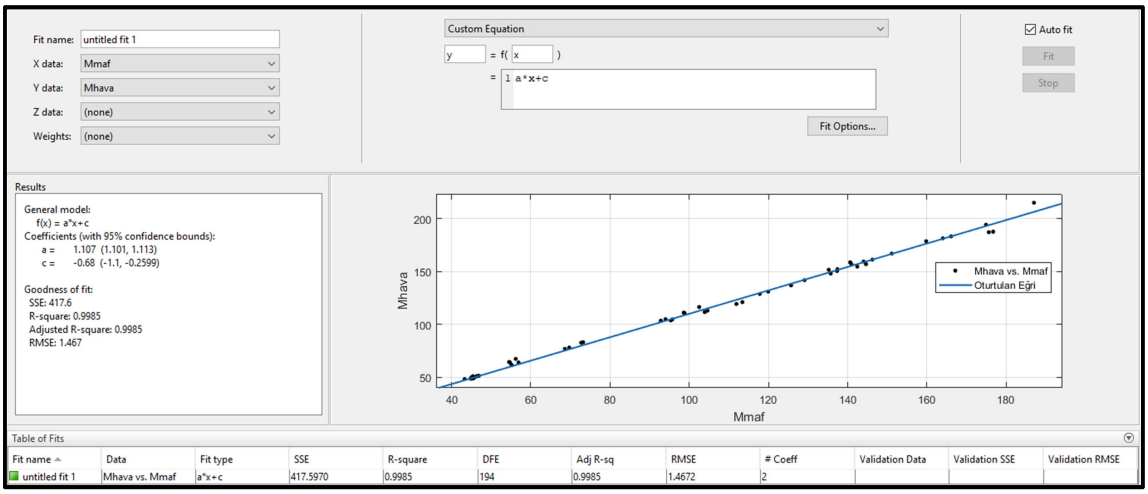


Şekil 3.77 İdeal durum, %10 sapma ve %20 sapma durumlarında normalleştirilmiş toplam NOx emisyonlarının karşılaştırılması



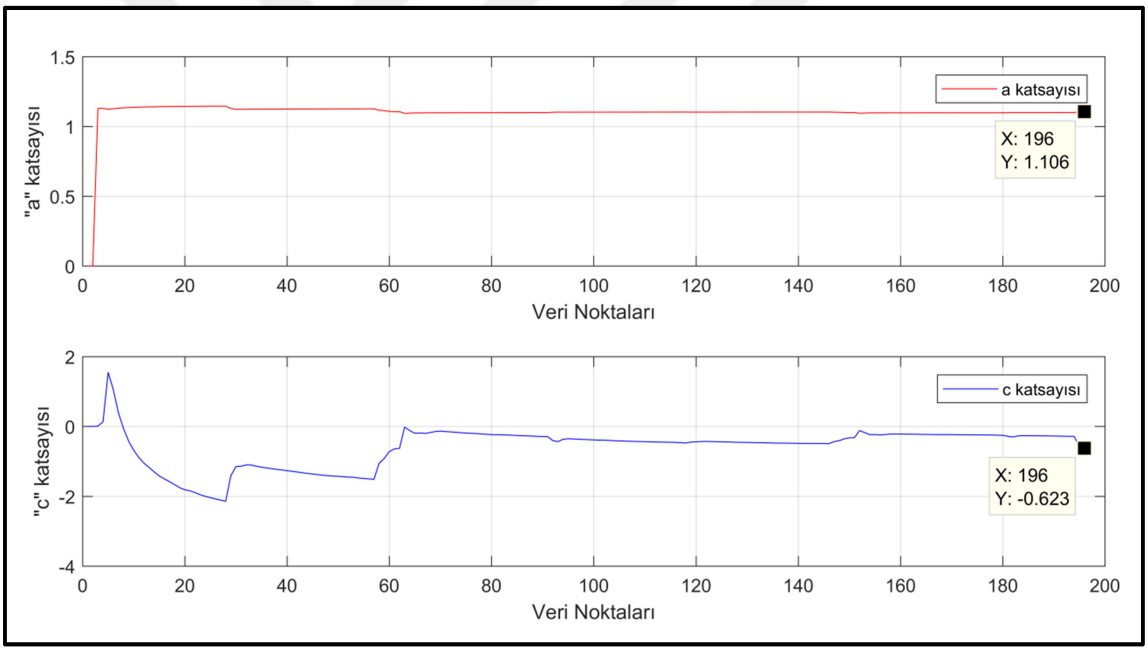
Şekil 3.78 İdeal durum, %10 sapma ve %20 sapma durumlarında normalleştirilmiş toplam HC emisyonlarının karşılaştırılması

MAF sensöründeki %10 sapma durumunda sensör sapmasını düzeltmek için katsayılar hesaplanırsa Şekil 3.79 elde edilir. Hesaplama esnasında, daha önce belirtildiği gibi "y=ax+c" şeklindeki denklem kullanılacaktır.



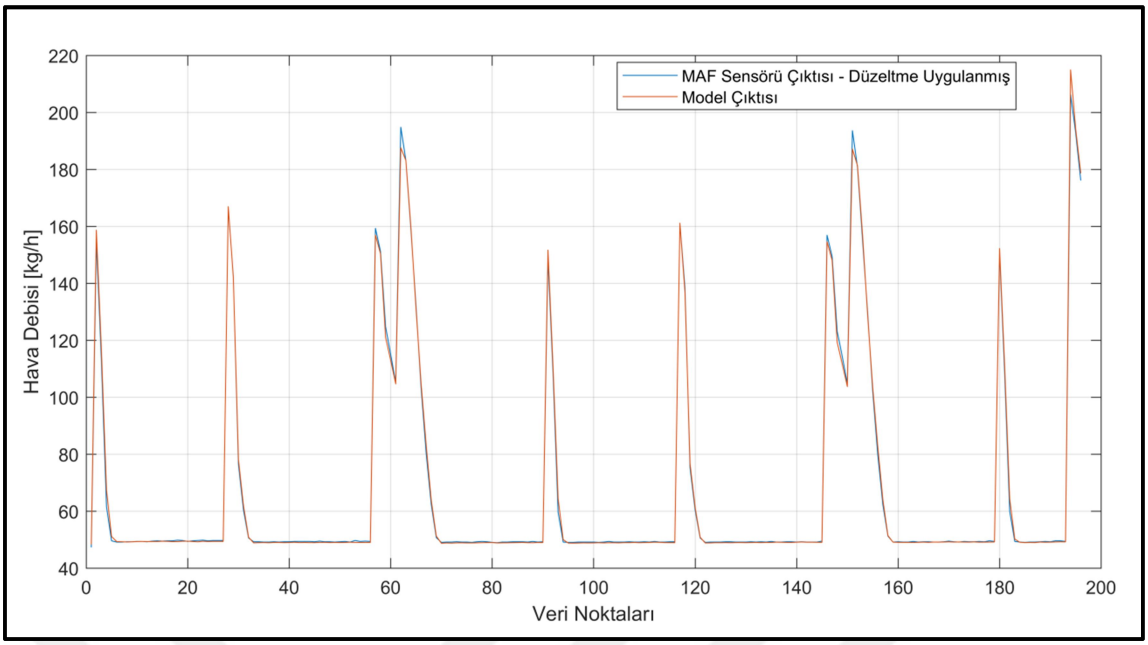
Şekil 3.79 %10 MAF sensörü sapması durumunda hesaplatılan düzeltme katsayıları

"a" katsayısı 1.107 ve "c" katsayısı -0.68 olarak 0.9985 R^2 ile hesaplatılmıştır. Hesaplamanın yapılabilmesi için NEDC testi esnasında EGR valfinin kapalı olduğu durumlar algoritmaya girdi olarak beslenilmiştir. Aynı katsayılar Kalman filtresi ile hesaplatılırsa:



Şekil 3.80 Kalman filtresi yöntemi ile hesaplatılan katsayılar

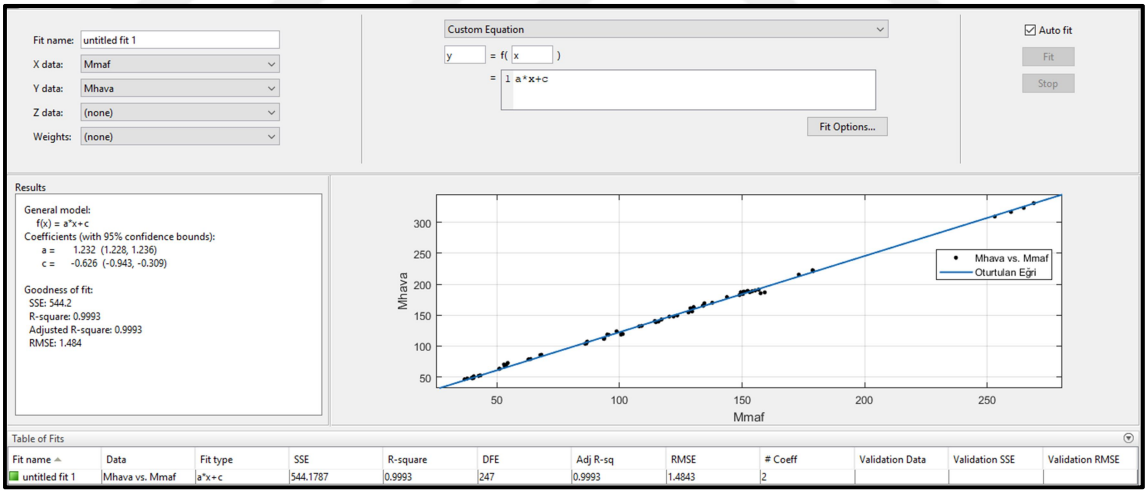
Her iki yöntem ile çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Hesaplatılan bu katsayılar MAF sensörü sapmasını düzeltmek için ilgili denklemde yerlerine yazılırlarsa Şekil 3.81 elde edilir.



Şekil 3.81 Düzeltme işlemi sonrasında MAF sensörü ve model çıktısı karşılaştırması

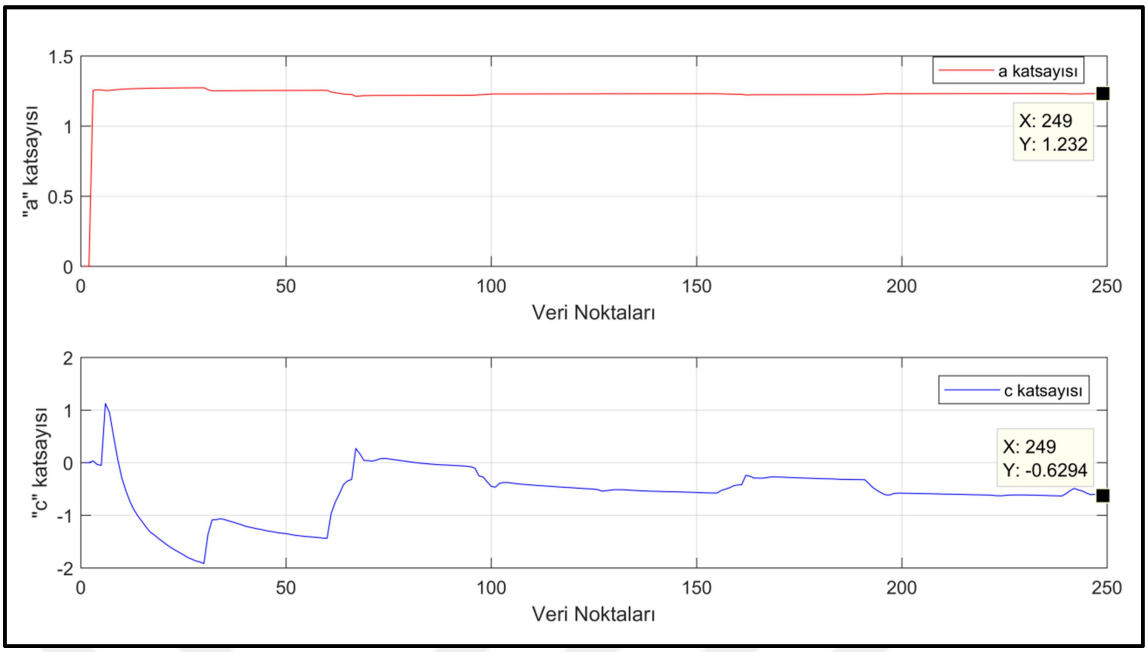
Şekil 3.81'den de görüleceği gibi Şekil 3.76'da gösterilen sapmalar önemli ölçüde giderilmiştir.

MAF sensörünün %20 hatalı olduğu durumda sensör çıktısı ve model çıktısı karşılaştırılması Şekil 3.72'de verilmiştir. Bu durum için düzeltme katsayıları hesaplatılırsa:



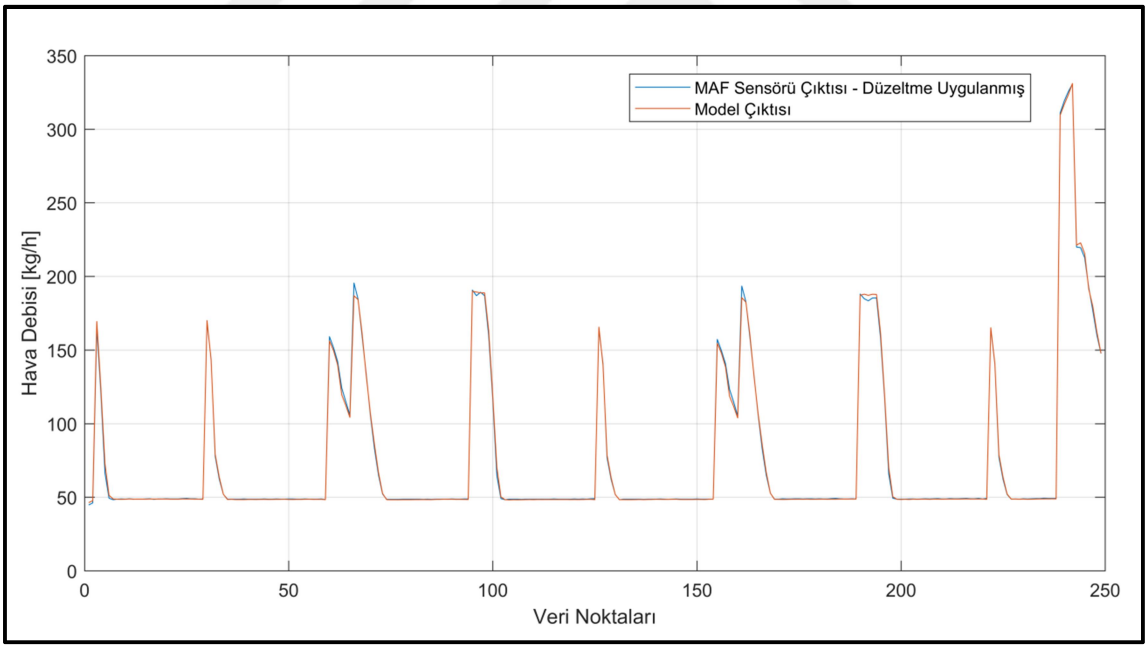
Şekil 3.82 %20 MAF sensörü sapması durumunda hesaplatılan düzeltme katsayıları

"a" katsayısı 1.232 ve "c" katsayısı -0.626 olarak 0.9993 R^2 ile hesaplatılmıştır. Aynı katsayılar Kalman filtresi ile hesaplatılırsa Şekil 3.83 elde edilir.



Şekil 3.83 Kalman filtresi yöntemi ile hesaplatılan katsayılar

Her iki yöntem ile de aynı katsayılar hesaplatılmıştır. Hesaplatılan bu katsayılar ilgili denklemde yerlerine yazılıp MAF sensörüne düzeltme uygulandığında MAF sensörü ve model çıktısı karşılaştırması aşağıdaki gibi olacaktır.



Şekil 3.84 Düzeltme işlemi sonrasında MAF sensörü ve model çıktısı karşılaştırması

Hatalı durumdaki karşılaştırmayı gösteren Şekil 3.72'deki grafik uygulanan düzeltme katsayıları ile önemli ölçüde düzeltilmiştir.

BÖLÜM 4

TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Günümüz dizel motorları, motor kontrol ünitesi yardımı ile motor ve araç üzerindeki bütün sensörlerden gelen veriyi kullanarak önceden kalibre edilmiş değerlere göre çıktı sağlamaya çalışırlar. Bu nedenle sensörlerden ölçülen değerlerin doğruluğu büyük önem taşımaktadır.

Çeşitli sebeplerden dolayı MAF sensöründe meydana gelen sapmalar motor sağlığı ve motorun sunduğu performans/emisyon değerleri açısından göz ardı edilemeyecek değişikliklere neden olmaktadır. Yukarıdaki örneklerde insan sağlığı üzerinde zararlı etkisi olan NOx gazının MAF sensörü sapmasıyla nasıl değiştiği gösterilmiştir. Aynı şekilde diğer emisyon gazlarının değişimi de sıralanabileceği gibi bu durumun son kullanıcı olan müşteriye etkisi (performans vb.) de göz ardı edilmemelidir.

Parçaların zamana bağlı yıpranmalarının önlenemeyeceği bir gerçek olduğundan, bu çalışmada anlatıldığı gibi çeşitli yöntemlerle bu yıpranmaların etkileri en aza indirilebilir.

Bu tez çalışmasına konu olan algoritma, birçok farklı senaryo için denenmiş, karşılaştırmalı sonuçları verilerek doğru çalıştığı ispatlanmış ve kullanılması durumunda ideal çıktılara çok yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Kullanılan Kalman filtresi yöntemi ile EGR valfinin kapalı olduğu bütün durumlar hesaplamaya dahil edilmiş, ancak depolanmadıkları için hafıza yönetimine negatif etkide bulunmamışlardır.

Aynı şekilde, kullanılabilecek olan düzeltme denklemlerinin de karşılaştırılması yapılmış, bu çalışmada kullanılan verilere göre en ideal denklem seçilmiştir. Bu denklemler arttırılıp çeşitlendirilebilecekleri gibi, toplam ya da çarpım olarak gelen sapmaların hepsini telafi edebilmeleri için en azından birinci dereceden bir katsayıya ve sabit bir sayıya ihtiyaç duymaktadırlar.

Bu yöntemi kullanmanın herhangi bir dezavantaj doğuracağı düşünülmemektedir. Hesaplatılan katsayıların hepsi düzeltme katsayısı olarak uygulanmadan önce belirli kontrollerden geçirilip olası büyük bir arıza durumunda düzeltme uygulanmadan farklı aksiyonların alınması sağlanabilir. Bunun için de katsayıların belirli limitler içerisinde kaldığı sürekli olarak kontrol edilebilir.

KAYNAKLAR

[1] US Energy Information Administration, https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=oil_use, 1 Mayıs 2018.

[2] Ozener, O., (2013). Diesel Motorlarında Pilot Püskürtmenin Performans ve Emisyon Açısından Optimizasyonu, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[3] Sauer, R., (1988), Hot Film Air Mass Meter – A Low-Cost Approach to Intake Air Measurement, International Congress and Exposition, Detroit, Michigan.

[4] Robert Bosch GmbH, (2015), HFM-8 Hot Film Mass Air-flow Sensor, Stuttgart.

[5] Welch, G. ve Bishop, G., (2001), An Introduction to Kalman Filter, ACM Inc., University of North Carolina at Chapel Hill.

[6] Çayıroğlu, İ., (2012), " Kalman Filtresi ve Programlama", Fen ve Teknoloji Bilgi Paylaşımı, 3-4.

[7] Lee, H.J. ve Jung, S., (2009), "Gyro Sensor Drift Compensation by Kalman Filter to Control a Mobile Inverted Pendulum Robot System", ResearchGate, 3-4.

[8] Rutan, S.C., Bouveresse, E., Andrew, K.N., Worsfold, P.J. ve Massart, D.L., (1996), "Correction For Drift İn Multivariate Systems Using The Kalman Filter" Elsevier.

[9] Accurate Technologies, https://www.accuratetechnologies.com/ECUCalibration, 1 Mayıs 2018.

[10] Car Engineer, http://www.car-engineer.com/the-different-driving-cycles/, 1 Nisan 2018.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Eyüp KOSİF

Doğum Tarihi ve Yeri :15.03.1991

Yabancı Dili :İngilizce

E-posta :eyupkosif@windowslive.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2018
Lisans	Makine Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2013
Lise	Fen Bilimleri	Afyonkarahisar A.Ö.L	2009

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2013	Ford Otomotiv San. AŞ.	Motor Kontrol ve Kalibrasyon Müh.