

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİZEL MOTOR KALİBRASYONUNDA
İKİ AŞAMALI MODELLEME**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Serkan TABAK

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. İmdat TAYMAZ

Haziran 2007

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİZEL MOTOR KALİBRASYONUNDA
İKİ AŞAMALI MODELLEME**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Serkan TABAK

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ

Bu tez 08 / 06 / 2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Yrd.Doç. Dr. İmdat TAYMAZ
Jüri Başkanı**

**Doç.Dr. Recep KAZAN
Üye**

**Prof. Dr. Ümit KOCABIÇAK
Üye**

TEŞEKKÜR

Lisans eğitimime başladığım günden bugüne kadar, her zaman çok sevdiğim makina mühendisliği mesleğinin yüksek lisans basamağında, başta beni bu çalışma konusuna yönlendiren ve her zaman yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. İmdat TAYMAZ olmak üzere, test çalışmalarında yardımını esirgemeyen Motor-Transmisyon ve Araç Son Kontrol Kısım Amiri Ordudonatım Teknisyen Başçavuş Atilla CEYLAN'a, Motor Teknisyeni Aydın BENZER'e, işçi Orhan TANIŞIR'a, işçi Mehmet AK'a, işçi Mehmet TEKDAL'a, işçi Salih ÖZTÜRK'e, çalışmalarım sırasında en büyük desteği sağlayan değerli aileme ve önemli üretimler gerçekleştirerek ülkemiz ekonomisine büyük katkılar sağlayan Türk Kara Kuvvetleri Komutanlığı 1nci Ana Bakım Merkezi Komutanlığı'nın diğer bütün özverili personeline teşekkür ederim.

Güzel ve etkili bilimsel çalışmaların çoğalarak başarılı adımlar atılmasıyla ülkemizin uluslararası bilim arenasında hak ettiği yerlere gelmesini temenni eder, bütün üniversitelerimizde görev yapan değerli öğretim görevlilerine çalışmalarında başarılar dilerim.

Haziran, 2007

Serkan TABAK

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
TABLolar LİSTESİ	xvii
RESİMLER LİSTESİ.....	xix
ÖZET	xx
SUMMARY	xxi

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Tez Çalışmasının Amacı	5
1.3. Tez Çalışmasının Kapsamı	5

BÖLÜM 2.

TEORİ VE PRENSİPLER	7
2.1. Dizel Motorlarda Yanma	7
2.1.1. Gecikme zamanı.....	7
2.1.2. Hızlı yanma süreci	7
2.1.3. Kontrollü yanma süreci	8
2.2. Püskürtme Açısı	8
2.2.1. Ateşleme avansı kavramı	9
2.2.2. Püskürtme açısının değiştirilmesinin yanmaya etkileri	9

BÖLÜM 3.

KALİBRASYON, VERİ TOPLAMA VE MODELLEME TEKNİKLERİ

3.1. Kalibrasyon.....	11
3.1.1. Veri toplama	12

3.1.2. Veri eleme	14
3.1.3. Regresyon analizi (model uydurma)	16
3.1.4. Optimizasyon ve kalibrasyon	18
3.2. Motor Haritalama Yaklaşımındaki Problemler	20
3.2.1. Yanlış tanım bölgesi seçimi	20
3.2.2. Uydurulan modelin yorumlanması	22
3.2.3. Modelin genişletilmesi.....	24
3.2.4. Standart tekniklerin uygulanması	24
3.2.5. Verinin hiyerarşik doğası.....	25
3.3. Motor Haritalama için İki Aşamalı Model Yaklaşımı	25
3.3.1. Deney dizaynı ve motor modellemenin kullanım amaçları	26
3.3.2. İki aşamalı modellemenin tanıtılması	27
3.3.3. İki aşamalı bir model nasıl yapılandırılır?	28
3.3.4. Motorlar için iki aşamalı modelleme	32
3.3.5. Lokal modeller	33
3.3.5.1. Lokal değişken modelleme	34
3.3.5.2. Tepki nesneleri.....	34
3.3.6. Global modeller	35
3.3.6.1. İki aşamalı modeller	36
3.3.6.2. Global model seçimi	38
3.3.6.3. Değişkenler için başlangıç değerleri	38
3.3.6.4. Quasi-Newton algoritması	38
3.3.6.5. İstenen geliştirme algoritması	39
3.4. İki Aşamalı Modellemede Kullanılan Lokal ve Global Model Tipleri.....	39
3.4.1. Global model kurulumu	40
3.4.2. Global lineer modeller	41
3.4.2.1. Polinomlar	41
3.4.2.2. Hibrid eğrileri	42
3.4.3. Radyal tabanlı fonksiyonlar	42
3.4.3.1. Radyal temel fonksiyon klavuzu	44
3.4.3.2. Gaussian fonksiyonu	46
3.4.3.3. İnce plaka eğrisi (thin plate spline)	47
3.4.3.4. Lojistik temel fonksiyonu	47

3.4.3.5. Wendland fonksiyonu	47
3.4.3.6. Çoklu ikinci derece (multiquadric) fonksiyonu	49
3.4.3.7. Karşıt çoklu ikinci derece fonksiyonu	51
3.4.4. Hibrid radyal tabanlı fonksiyonlar	51
3.4.5. Çoklu lineer modeller	52
3.4.6. Serbest düğüm eğrisi	52
3.4.7. Lokal model kurulumu	53
3.4.7.1. Polinomlar	53
3.4.7.2. Polinom eğrileri	54
3.4.7.3. Kısaltılmış güç serileri	55
3.4.7.4. Kısaltılmış güç serilerinin temel eğrileri.....	56
3.4.7.5. Serbest düğüm eğrisi	57
3.4.8. Artan modeller	57
3.4.8.1. Üç parametrelili lojistik model	58
3.4.8.2. Morgan-Mercer-Flodin modeli	59
3.4.8.3. Dört parametrelili lojistik eğri	60
3.4.8.4. Richards eğrileri	61
3.4.8.5. Weibul artan eğrisi	62
3.4.8.6. Üstel artan eğrisi	62
3.4.8.7. Gompertz artan modeli	63
3.4.9. Lineer modeller	64
3.4.10. Ortalama eğri uydurma modeli	64
3.4.11. Çoklu modeller	65
3.5. Lineer Regresyon.....	66
3.6. <i>MBC</i> Toolbox Terimleri ve İstatistiksel Tanımlamaları	67
3.7. Tahmin Edilen Hata Değişimi (<i>PEV</i>)	67
3.8. <i>PRESS</i> İstatistiği	70

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	72
4.1. Deney Ortamının Tanıtılması	72
4.1.1. Leopard tankı ile ilgili genel bilgiler	72
4.1.2. MB 838 CaM 500 motoruna ait teknik özellikler	73

4.1.3. İnci Ana Bakım Merkezi Komutanlığı'nın tanıtılması	75
4.1.4. Motor-Transmisyon Test Atelyesi'nin tanıtılması	75
4.1.5. Motor test kabininin tanıtılması	78
4.1.6. Test arabası ve test konsolu	79
4.1.7. Frenleme ünitesi (hidrolik dinamometre)	79
4.1.8. Motor yağı ünitesi	83
4.1.8.1. Temiz yağ deposu	83
4.1.8.2. Kirli yağ deposu	84
4.1.8.3. Ön yağlama deposu	84
4.1.8.4. Yağ seviye göstergeleri	85
4.1.8.5. Yağ pompaları	85
4.1.8.6. Yağ basınç göstergeleri (manometreler).....	85
4.1.9. Su dengeleme sistemi	87
4.1.10. Kabin içi eşanjörlü su soğutma sistemi	87
4.1.11. Kabin içi yakıt soğutma sistemi	89
4.1.12. Kabin içi yakıt sarfiyatı ölçme sistemi.....	91
4.1.13. Test sisteminde kullanılan algılayıcılar	91
4.1.14. Kabin içi kumanda paneli	93
4.1.15. Ana kumanda paneli	93
4.1.16. Ana kumanda yazılımı	95
4.1.17. Ana kumanda donanımı	97
4.1.18. Havalandırma ve egzoz sistemi	98
4.1.19. Merkezi motor soğutma suyu sistemi	100
4.1.20. Merkezi motor yağı sistemi	101
4.1.21. Merkezi motor yakıt sistemi	102
4.2. Testlerde Kullanılan Sarf Malzemeleri	103
4.2.1. Motor yağı	103
4.2.2. Antifriz	104
4.2.3. Dizel yakıtı.....	104
4.3. Egzoz Emisyonlarının Ölçülmesi	106
4.3.1. Yanma olayının tanımlanması	106
4.3.2. Emisyon ölçüm cihazı	107
4.3.3. Gaz emisyon ölçümünün yapılması	110

4.4. Motor Üzerinde Ateşleme Açısının Değiştirilmesi İşlemi	111
---	-----

BÖLÜM 5.

İKİ AŞAMALI MODELLEME	115
5.1. Bilgisayar Programının Tanıtılması	115
5.1.1. Model Browser arayüzünün tanıtılması	115
5.1.2. CAGE arayüzünün tanıtılması	116
5.1.3. Motorlarda kalibrasyon kavramı	116
5.1.4. <i>MBCT</i> kullanımı ile çözüm metodu	116
5.1.5. Motor haritalama (engine mapping) kavramı ve amacı	118
5.2. Deneyin Yapılması ve Modellerin Oluşturulması	118
5.2.1. Deney dizaynı	118
5.2.2. Veri toplama	119
5.2.3. Veri modelleme	119
5.2.3.1. Egzoz sıcaklıklarının iki aşamalı modellenmesi	120
5.2.3.2. Veri dosyasının <i>MB</i> 'a transfer edilmesi	122
5.2.3.3. Yeni bir test planının oluşturulması	124
5.2.3.4. Lokal modelin oluşturulması	124
5.2.3.5. Lokal model girdisinin belirtilmesi	126
5.2.3.6. Lokal model tipinin belirtilmesi	127
5.2.3.7. Global modelin oluşturulması	127
5.2.3.8. Global model girdisinin belirtilmesi	128
5.2.3.9. Global model tipinin belirtilmesi	128
5.2.3.10. Veri seçme işlemi	129
5.2.3.11. Tepki (response) modelinin belirtilmesi	132
5.2.3.12. Lokal modelin doğrulanması	134
5.2.3.13. Global modelin doğrulanması	135
5.2.3.14. İki aşamalı modelin seçilmesi ve elenmesi	138
5.2.3.15. İki aşamalı modelin yapılandırılması	138
5.2.3.16. Response Surface (tepki yüzeyi) ekranı	139
5.2.3.17. Cross Section (model kesiti) ekranı	139
5.2.3.18. İki aşamalı modelin seçilmesi	142
5.2.3.19. Response (tepki) modelinin doğrulanması	143

5.2.3.20. Karşılaştırmak için yeni modeller oluşturmak	143
5.2.3.21. Yeni lokal modellerin oluşturulması	143
5.2.3.22. Lokal modellerin karşılaştırılması	147
5.2.3.23. Over Fitting probleminin teşhis edilmesi	148
5.2.3.24. Diğer karşılaştırma parametreleri	149
5.2.3.25. Yeni global modellerin oluşturulması	150
5.2.3.26. “Extempl” için en iyi iki aşamalı modelin belirlenmesi	157
5.2.3.27. “Extemp” için en iyi iki aşamalı modelin belirlenmesi.....	160
5.2.3.28. Yakıt tüketiminin iki aşamalı modellenmesi	163
5.2.3.29. Şablon test planının oluşturulması	163
5.2.3.30. “Fuelcon” yakıt tüketimi test planının oluşturulması	164
5.2.3.31. “Fuelcon” için en iyi iki aşamalı modelin belirlenmesi	165
5.2.3.32. “Spfuelcon” spe. yakıt tüketimi test plan. oluşturulması	168
5.2.3.33. “Spfuelcon” için en iyi iki aşamalı modelin belirlenmesi...168	
5.2.3.34. “Col” emisyonu test planının oluşturulması	171
5.2.3.35. “Col” için en iyi iki aşamalı modelin belirlenmesi	171
5.2.3.36. “Cor” emisyonu test planının oluşturulması.....	174
5.2.3.37. “Cor” için en iyi iki aşamalı modelin belirlenmesi.....	174
5.2.3.38. “Nol” emisyonu test planının oluşturulması	177
5.2.3.39. “Nol” için en iyi iki aşamalı modelin belirlenmesi	177
5.2.3.40. “Nor” emisyonu test planının oluşturulması	180
5.2.3.41. “Nor” için en iyi iki aşamalı modelin belirlenmesi	180
5.2.3.42. “Noxl” emisyonu test planının oluşturulması.....	183
5.2.3.43. “Noxl” için en iyi iki aşamalı modelin belirlenmesi	183
5.2.3.44. “Noxr” emisyonu test planının oluşturulması	186
5.2.3.45. “Noxr” için en iyi iki aşamalı modelin belirlenmesi	186

BÖLÜM 6.

KALİBRASYON TABLOLARININ OLUŞTURULMASI	189
6.1. İki aşamalı modellerin transfer dosyalarına dönüştürülmesi	189
6.2. Kalibrasyon tablosu hazırlamanın getirdiği kazanımlar	190
6.3. Motor tepki modellerinin CAGE arayüzüne taşınması.....	191
6.4. Trade-Off (alış-veriş) kalibrasyonu	192

6.4.1. Trade-Off kalibrasyonunun tanımlanması	192
6.4.2. Trade-Off_1 kalibrasyonunun oluşturulması.....	193
6.4.3. Trade-Off_1 kalibrasyonunun yapılması	195
6.4.4. Trade-Off_2 kalibrasyonunun yapılması	203
6.4.5. Trade-Off_3 kalibrasyonunun yapılması	206
6.5. Kalibrasyonların İhraç Edilmesi	208
BÖLÜM 7.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	209
KAYNAKLAR	216
EKLER	218
ÖZGEÇMİŞ	235

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a_j	:Uyum fonksiyonu
C_i	: $(n_i \times n_i)$ değişken matrisi
c	:Sol taraf polinom derecesi
CO	:Karbonmonoksit
D	:Değişken kovaryans matrisi
D_{STS}	:Standard iki aşamalı değişken kovaryans matrisi
$diag\{x\}$:Diagonal matrisi
e_i	:Hata vektörü
g	:Lojistik fonksiyonunun tepki nesnesi
G	:Üçgensel matris
h	:Sağ taraf polinom derecesi
HC	:Hidrokarbon
IL	:Tamamlanmamış yanma kaybı
i	:Test sayısı
j	:Gözlem sayısı
k	:Düğüm yerleşim vektörü
K	:Ölçüm parametresi
l	:Motora uygulanan yük
$\log L$:Olasılık fonksiyonu
m_i	:i. testte yapılan gözlem sayısı
n	:Motor hızı (rpm)
NO	:Azotoksit
NOx	:Azotoksitler
p_i	:Taramaya ait tepki nesnesi vektörü
P	:n tane p_i vektörünün birbirlerinin üstüne konmasıyla elde edilen vektör
r	:Tepki nesnesi sayısı
SL	:Stack loss (baca kaybı)
S	:Ateşleme avansı ($^{\circ}$)

x	:n-boyutsal vektörü
X_i	:i. ateşleme avansı taramasındaki motor çalışma koşulları vektörü
$\text{Var}(p_i)$:Taramaya ait tepki nesnesi vektörünün değişimi
W	:Blok diyagonal matrisi
$y_i^{(j)}$:i. testte j . gözlem esnasında elde edilen sistem tepkisi
\bar{y}	:Aktif vektör
Z	: n tane X_i matrisinin üst üste konulmasıyla elde edilen matris
$s_i^{(j)}$: j . bağımsız değişken
θ_i	:Uyum parametre vektörü
γ_i	:Tesadüfi hata vektörü
ε_i^j	:Normal dağılımlı değişken vektörü
σ^2	:Katsayı değişimi
ξ_i	:Dağılım parametreleri vektörü (değişimin heterojenliği)
β	:Global parametre vektörü (regresyon katsayısı)
ϖ	:Dağıtma parametresi vektörü
μ	:Radyal temel fonksiyonun merkezi olarak adlandırılan bir n-boyutsal vektörü
$\ \cdot \ $:Öklit mesafesi
Φ	:Pozitif sistem girdisi değerlerini tanımlayan değişken fonksiyon
β_j	: j . radyal temel fonksiyona bağlı ağırlık
σ	:Genişlik parametresi
λ	:Düzeltilme parametresi
β	:Alt asimptot değeri (2.6.8.2'de)
δ	:Eğrinin eğilme noktasının konumu kontrol eden parametre
ϕ	:Yanma işleminde eşitlik oranı
η	:Verim
λ	:Hava fazlalık katsayısı
α	:Üst asimptot değeri
α	:Final ölçü

γ	:Eğrinin eğrilme noktasının x ordinatı
<i>AFR</i>	:Hava-yakıt oranı
<i>AÖN</i>	:Alt ölü nokta
<i>ECU</i>	:Elektronik kontrol ünitesi
<i>EGR</i>	:Egzoz gaz geri dönüşümü
<i>MB</i>	:Model Browser
<i>MBT</i>	:Maksimum frenleme torkundaki ateşleme avansı
<i>MBCT</i>	:Model Based Calibration Toolbox programı
<i>MMF</i>	:Morgan-Mercer-Flodin modeli
<i>MSE</i>	:Ölçülen kare hatası
<i>MLE</i>	:Maksimum olasılık hesabı
<i>PRESS</i>	:Kareler toplamının tahmin edilen hatası
<i>PEV</i>	:Tahmin edilen hata değişimi
<i>PLC</i>	:Programmable Logic Controller
<i>RBF</i>	:Radyal temel fonksiyon
<i>RMSE</i>	:Ortalama karekök hatası
<i>RPM</i>	:Dakikadaki devir sayısı
<i>RMSE</i>	:Ortalama karekök hatası
<i>SSE</i>	:Toplam kare hatası
<i>SAE</i>	:Amerikan otomotiv mühendisleri birliği standardı
<i>SPK</i>	:Ateşleme avansı veya açısı
<i>TS</i>	:Türk standartları
<i>ÜÖN</i>	:Üst ölü nokta
<i>US</i>	:United States

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Teorik motor kontrolör tablosu	2
Şekil 2.1.	Yanma işlemi ve silindir içi basınç değişim grafiği	8
Şekil 2.2.	Yanma odası kesiti ve ateşleme avansı	10
Şekil 3.1.	Lokal model uydurulmuş bir tarama testine örnek eğri	29
Şekil 3.2.	Hız, yük, <i>AFR</i> uzayındaki örnek bir test planı	31
Şekil 3.3.	Hız, yük, tork uzayındaki maksimum tork global modeli	31
Şekil 3.4.	Hız, yük, <i>AFR</i> uzayındaki <i>MBT</i> / motor hızı grafiği	32
Şekil 3.5.	Polinom eğrileri	41
Şekil 3.6.	Tek düğümlü ve üçüncü-sıra temel fonksiyon eğrisinin şekli	43
Şekil 3.7.	Sistem tepkisi-yük(<i>l</i>)-hız(<i>n</i>) hibrid eğrilerinden oluşan yüzey	43
Şekil 3.8.	Bir <i>RBF</i> modeline ait yüzey şekli	45
Şekil 3.9.	Örnek bir Gaussian fonksiyonu	46
Şekil 3.10.	Örnek bir ince-plaka (thin plate) fonksiyonu	48
Şekil 3.11.	Örnek bir lojistik radyal temel fonksiyonu	48
Şekil 3.12.	Örnek bir Wendland fonksiyonu	50
Şekil 3.13.	Örnek bir multiquadratic fonksiyonu	50
Şekil 3.14.	Örnek bir karşıt çoklu ikinci derece fonksiyonu	51
Şekil 3.15.	Örnek bir serbest düğüm eğrisi modeli	52
Şekil 3.16.	Örnek bir tork / ateşleme avansı eğrisi	55
Şekil 3.17.	Örnek bir artan model eğrisi	58
Şekil 4.1.	Motor-Transmisyon Test Atölyesi'nin bağlı olduğu birimler	76
Şekil 4.2.	Motor-Transmisyon Test Atölyesi yerleşim planı	77
Şekil 4.3.	Motor test kabini ve yardımcı üniteler	77
Şekil 4.4.	Test arabası, test konsolu ve motor	80
Şekil 4.5.	Motor test konsolu sabitleme sistemi	80
Şekil 4.6.	Motor-dinamometre bağlantısı	81
Şekil 4.7.	Yakıt soğutma sisteminin çalışma prensibi	90
Şekil 4.8.	Motor testi ana sayfası	96

Şekil 4.9.	Motor testi baskı sayfası	96
Şekil 4.10.	Havalandırma ve egzoz sistemi kontrol ekranı	99
Şekil 4.11.	Motor soğutma suyu sistemi kontrol ekranı	101
Şekil 4.12.	Motor yağlama sistemi kontrol ekranı	102
Şekil 4.13.	Merkezi motor yakıt sistemi kontrol ekranı	103
Şekil 4.14.	Filtreli gaz probu	109
Şekil 5.1.	Motorlarda kalibrasyon kavramı	117
Şekil 5.2.	<i>MBCT</i> çözüm metodunun işlem akış şeması	117
Şekil 5.3.	<i>MB</i> penceresi ve Data Editor'un açılması	121
Şekil 5.4.	Data Editor penceresi ve Data Import Wizard'ın açılması	122
Şekil 5.5.	Data Import Wizard ve Excel veri dosyasının yüklenmesi	123
Şekil 5.6.	Data Editor penceresinde doksan adet testin grafiksel gösterimi	123
Şekil 5.7.	Data Editor penceresinde 3D grafiksel gösterim	125
Şekil 5.8.	New Test Plan penceresi.....	125
Şekil 5.9.	"Default" durumdaki iki aşamalı test planının görünüşü	126
Şekil 5.10.	Lokal model girdisinin belirtilmesi	127
Şekil 5.11.	Global model girdisinin belirtilmesi	129
Şekil 5.12.	Global Model Setup ekranı ve Minimize <i>PRESS</i> 'in seçimi	129
Şekil 5.13.	Data Wizard diyalog kutusu	131
Şekil 5.14.	Data Wizard-Select Input Signals diyalog kutusu	131
Şekil 5.15.	Data Wizard-Select Response Models diyalog kutusu	133
Şekil 5.16.	Extmpr ve extempl modellerinin oluşturulması	133
Şekil 5.17.	Model ağacında lokal ve global modellerin görünüşü	134
Şekil 5.18.	(1) numaralı teste ait olan lokal modelin doğrulanması	135
Şekil 5.19.	Beta_1 tepki nesnesine göre global modelin doğrulanması	136
Şekil 5.20.	Uzak noktaların yok edilmesi	137
Şekil 5.21.	Select tuşu ile model selection ekranına geçiş	140
Şekil 5.22.	Model Selection (iki aşamalı model seçim) ekranı	140
Şekil 5.23.	Response Surface (tepki yüzey) ekranı	141
Şekil 5.24.	Cross Section (model kesiti) ekranı	141
Şekil 5.25.	İki aşamalı model ikonu	142
Şekil 5.26.	Response (tepki) modelinin doğrulanması	144
Şekil 5.27.	Lokal Model Set Up diyalog kutusu	144

Şekil 5.28.	Değişik Lokal Model Set Up diyalog kutusu	146
Şekil 5.29.	Extempl için oluşturulan iki aş. mod. ve istatistiksel değerleri	147
Şekil 5.30.	“s_i” değerinin karşılaştırılması	148
Şekil 5.31.	Global Model Set Up diyalog kutusu	151
Şekil 5.32.	<i>MB</i> ağacında global modellerin görünüşü	154
Şekil 5.33.	Extempl/Quadratic/Beta_1 modelinin istatistiksel değerleri	156
Şekil 5.34.	Build Models diyalog kutusu	156
Şekil 5.35.	Quadratic Lokal modelinin istatistiksel değerleri	156
Şekil 5.36.	“Extempl” için “FK1” modeline ait örnek 2-D diyagramlar	159
Şekil 5.37.	“Extempl” için “FK1” modeline ait örnek 3-D diyagram	160
Şekil 5.38.	“Extemprr” için “FK1” modeline ait örnek 3-D diyagram	161
Şekil 5.39.	“Extemprr” için “FK1” modeline ait örnek 2-D diyagramlar.....	162
Şekil 5.40.	“Fuelcon” için şablon test planının seçilmesi	165
Şekil 5.41.	“Fuelcon” için “FK1” modeline ait örnek 3-D diyagram	166
Şekil 5.42.	“Fuelcon” için “FK1” modeline ait örnek 2-D diyagramlar	167
Şekil 5.43.	“Spfuelcon” için “FK1” modeline ait örnek 3-D diyagram	169
Şekil 5.44.	“Spfuelcon” için “FK1” modeline ait örnek 2-D diyagramlar.....	170
Şekil 5.45.	“Col” için “Spline” modeline ait örnek 3-D diyagram	172
Şekil 5.46.	“Col” için “Spline” modeline ait örnek 2-D diyagramlar	173
Şekil 5.47.	“Cor” için “FK1” modeline ait örnek 3-D diyagram	175
Şekil 5.48.	“Cor” için “FK1” modeline ait örnek 2-D diyagramlar	176
Şekil 5.49.	“Nol” için “FK1” modeline ait örnek 3-D diyagram	178
Şekil 5.50.	“Nol” için “FK1” modeline ait örnek 2-D diyagramlar	179
Şekil 5.51.	“Nor” için “FK1” modeline ait örnek 3-D diyagram.....	181
Şekil 5.52.	“Nor” için “FK1” modeline ait örnek 2-D diyagramlar.....	182
Şekil 5.53.	“Noxl” için “Spline” modeline ait örnek 3-D diyagram	184
Şekil 5.54.	“Noxl” için “Spline” modeline ait örnek 2-D diyagramlar	185
Şekil 5.55.	“Noxr” için “FK1” modeline ait örnek 3-D diyagram	187
Şekil 5.56.	“Noxr” İçin “FK1” Modeline Ait Örnek 2-D Diyagramlar	188
Şekil 6.1.	Export Model diyalog kutusu	190
Şekil 6.2.	CAGE arayüzünde tepki modellerinin görünüşü	192
Şekil 6.3.	“Table Setup” diyalog kutusu	194
Şekil 6.4.	“Select Filling Item” kutusu	194

Şekil 6.5.	Tradeoff_1 kalibrasyonu için model gösterme işlemi	194
Şekil 6.6.	Tradeoff_1 kalibrasyonu için tork normalizer çizgileri	196
Şekil 6.7.	Tradeoff_1 kalibrasyonu $N=850$ rpm, $T=200$ Nm optimizasyonu	197
Şekil 6.8.	Tradeoff_1 kalibrasyonu $N=1800$ rpm, $T=600$ Nm optimizasyonu ..	197
Şekil 6.9.	Tradeoff_1 kalibrasyon 3D yüzeyi	199
Şekil 6.10.	Tradeoff_1 kalibrasyonu $N=850$ rpm, $T=600$ Nm optimizasyonu	201
Şekil 6.11.	Tradeoff_1 kalibrasyonu $N=850$ rpm, $T=800$ Nm optimizasyonu	201
Şekil 6.12.	Düzeltilmiş Tradeoff_1 kalibrasyon 3D yüzeyi	202
Şekil 6.13.	Tradeoff_1 kalibrasyon 3D yüzeylerinin karşılaştırılması	202
Şekil 6.14.	Tradeoff_2 kalibrasyon 3D yüzeyi	204
Şekil 6.15.	Düzeltilmiş Tradeoff_2 kalibrasyon 3D yüzeyi.....	205
Şekil 6.16.	Tradeoff_2 kalibrasyon 3D yüzeylerinin karşılaştırılması	205
Şekil 6.17.	Tradeoff_3 kalibrasyon 3D yüzeyi.....	207
Şekil 7.1.	Motor hızı, tork ve yakıt tüketimi grafiği	214

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	Motor haritalama çalışmalarında yapılan tarama testlerini gösteren tablo (matris optimizasyonu verileri)	15
Tablo 3.2.	Motor testi numaralandırma sistemi tablosu.....	15
Tablo 3.3.	Motor testi dosyalama ve klasörleme sistemi tablosu	15
Tablo 3.4.	Veri kümesinden elenen kararsız motor testlerini gösteren tablo.....	17
Tablo 3.5.	İki aşamalı modellemede kullanılan model tipleri	40
Tablo 3.6.	Wendland fonksiyonları	49
Tablo 3.7.	MBC Toolbox terimleri ve istatistiksel tanımlamaları	68
Tablo 4.1.	Leopard tankına ait bazı teknik özellikler	73
Tablo 4.2.	MB 838 CaM 500 motoruna ait teknik özellikler	74
Tablo 4.3.	Hidrolik dinamometre teknik özellikleri	80
Tablo 4.4.	Motor yağı ünitesinde kullanılan yağ pompalarının kapasiteleri	86
Tablo 4.5.	Yağ basınç göstergelerinin çalışma basınç değerleri	86
Tablo 4.6.	Yakıt soğutma sisteminin teknik özellikleri	90
Tablo 4.7.	Sistemde kullanılan algılayıcılar (transducers).....	92
Tablo 4.8.	Ana kumanda donanımı bileşenleri	97
Tablo 4.9.	Motor yağlarının SAE viskozite dereceleri (SAE J 300)	104
Tablo 4.10.	Antifrizlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri (TS 3582).....	105
Tablo 4.11.	F54 Dizel motor yakıtına ait teknik özellikler	105
Tablo 4.12.	Gaz algılayıcıları, hücre tipleri ve ölçüm aralıkları.....	109
Tablo 5.1.	Motor parametrelerinin kısaltmaları	121
Tablo 5.2.	Uzak noktaların yok edilmesi ile istat. değ. oluşan farklar.....	138
Tablo 5.3.	“Exempl” tepki modelinin lokal modelleri ve istat.değerleri	157
Tablo 5.4.	“Exemprr” tepki modelinin lokal modelleri ve istat. değerleri	161
Tablo 5.5.	“Fuelcon” tepki modelinin lokal modelleri ve istat. değerleri.....	166
Tablo 5.6.	“Spfuelcon” tepki modelinin lokal modelleri ve istat.değerleri	169
Tablo 5.7.	“Col” tepki modelinin lokal modelleri ve istatistiksel değerleri.....	172
Tablo 5.8.	“Cor” tepki modelinin lokal modelleri ve istatistiksel değerleri	174

Tablo 5.9.	“Nol” tepki modelinin lokal modelleri ve istatistiksel değerleri	178
Tablo 5.10.	“Nor” tepki modelinin lokal modelleri ve istatistiksel değerleri	181
Tablo 5.11.	“Noxl” tepki modelinin lokal modelleri ve istatistiksel değerleri ...	184
Tablo 5.12.	“Noxr” tepki modelinin lokal modelleri ve istatistiksel değerleri ...	187
Tablo 6.1.	Tradeoff_1 kalibrasyon (look-up) tablosu	199
Tablo 6.2.	Düzeltilmiş Tradeoff_1 kalibrasyon tablosu	202
Tablo 6.3.	Tradeoff_2 kalibrasyon tablosu	204
Tablo 6.4.	Düzeltilmiş Tradeoff_2 kalibrasyon tablosu	205
Tablo 6.5.	Tradeoff_3 kalibrasyon tablosu	207
Tablo 7.1.	Tradeoff_3 kalibrasyon tablosu	211
Tablo 7.2.	Yokuş aşığı hareket durumunda motora ait ateşleme avansı, yakıt tüketimi ve spesifik yakıt tüketimi değerleri	212
Tablo 7.3.	Düz yolda hareket durumunda motora ait ateşleme avansı, yakıt tüketimi ve spesifik yakıt tüketimi değerleri	212
Tablo 7.4.	Yokuş yukarı hareket durumunda motora ait ateşleme avansı, yakıt tüketimi ve spesifik yakıt tüketimi değerleri	212
Tablo 7.5.	Aracın hareket durumuna göre ateşleme avansı ve yakıt tüketimi değerlerinin karşılaştırılması	213

RESİMLER LİSTESİ

Resim 4.1.	Leopard 2 tankı	72
Resim 4.2.	Leopard tankına ait “MB 838 CaM 500” motoru	73
Resim 4.3.	Motor test kabininin görünüşü	78
Resim 4.4.	Motor-dinamometre titreşim sönümleyici beton kütlesi	82
Resim 4.5.	Motor-dinamometre ve test konsolu	82
Resim 4.6.	Test kabini içindeki motor yağı ünitesi	82
Resim 4.7.	Temiz yağ deposu yağ ısıtma sisteminin görünüşü	83
Resim 4.8.	Ön yağlama deposunun görünüşü	86
Resim 4.9.	Su dengeleme sistemi	88
Resim 4.10.	Antifriz doldurma haznesi	88
Resim 4.11.	Kabin içi eşanjörlü su soğutma sistemi	89
Resim 4.12.	Kabin içi yakıt soğutma sistemi	90
Resim 4.13.	Yakıt sarfiyatı ölçüm cihazı	91
Resim 4.14.	Kabin içi kumanda paneli	94
Resim 4.15.	Ana kumanda paneli	94
Resim 4.16.	Havalandırma ve egzoz sistemi	99
Resim 4.17.	Antifriz oranı ölçüm cihazı	105
Resim 4.18.	Gaz analiz cihazı	108
Resim 4.19.	Egzoz borusu ve emisyon ölçüm deliği	110
Resim 4.20.	Emisyon ölçümünün yapılması	110
Resim 4.21.	Motorun senteye getirilmesi	112
Resim 4.22.	Ateşleme avansının ayarlanması	112
Resim 4.23.	Yakıt pompası birinci elemanının sökülmesi	112
Resim 4.24.	Yakıt pompası birinci elemanı yerine komparatör saati takılması	113
Resim 4.25.	Pompa kam mili basma miktarının ayarlanması	114
Resim 4.26.	Pompa kam milinin bakır civatayla sabitlenmesi	114

ÖZET

Anahtar kelimeler: Motor Haritalama, İki Aşamalı Model, Kalibrasyon, ECU

Bu çalışmada, Leopard1A1 tankına ait MTU marka MB838 CaM 500 model dizel motorunun “motor haritalama modeli” iki aşamalı model yaklaşımı ile modellenmiştir. Bu motor haritalama modelinin oluşturulması amacıyla İnci Ana Bakım Merkezi Komutanlığı Arifiye / SAKARYA tesislerindeki Motor-Transmisyon Test Atelyesi’nde yaklaşık 5 ay süre ile motor testleri yapılmış ve elde edilen veriler kullanılarak MATLAB Model Based Calibration Toolbox programında iki aşamalı modelleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Model Browser’da elde edilen modeller, MATLAB Cage Browser programına aktarılarak bir elektronik kontrol ünitesi için gereken kalibrasyon tablolarının elde edilmesi safhasında kullanılmışlardır. Dizel motorun ateşleme açısı, torku ve hızına göre olan egzost sıcaklığı, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarının iki aşamalı modelleri oluşturulmuştur. Lokal modelin girdisi olarak ateşleme açısı, global modelin girdileri ise tork ve motor hızı olarak belirlenmiş ve değişik birçok matematiksel model denenerek gerçek verilere en uygun matematiksel eğriler elde edilmeye çalışılmıştır. Oluşturulan matematiksel modeller kullanılarak, kalibrasyon tabloları optimizasyon yöntemiyle elde edilmiştir. Yapılan çalışma sonunda, iki aşamalı modelleme metoduyla motor davranışı ayarlanabilir motor parametrelerinin bir fonksiyonu olarak elde edilmiş olup, oluşturulan tahmin gücü yüksek iki aşamalı modellerin ve kalibrasyon (look-up) tablolarının oldukça mantıklı değerler verdiği görülmüştür.

DIESEL ENGINE CALIBRATION WITH TWO-STAGE MODELLING APPROACH

SUMMARY

Key Words : Engine Mapping, Two-Stage Modelling, Calibration, ECU

In this study, an engine mapping model, where the dataset used for constructing the engine mapping model was collected from Leopard1A1 Tank's MTU, MB838 CaM 500 model diesel engine, is created by using two-stage modelling. The engine tests lasted approximately 5 months were realized in the Engine Test Rig in the 1st Main Maintenance Center Command in Arifiye / SAKARYA. These models which built in the Model Browser imported into the CAGE Browser part of the toolbox to produce optimized calibration tables for a planning electronical engine controller. The exhaust temperature, fuel consumption and exhaust emissions were modelled according to the spark angle, torque and engine speed. While the spark angle as the input of local model, the torque and engine speed are the inputs of global model are identified. The mathematical curves that were obtained from the two stage models trying different mathematical model types are fitted best to the real test values. At the end of the study, it is obtained that engine behaviour using two stage modelling as a function of the adjustable engine parameters method and realized the calibration look-up tables. As a result, it is determined that these two stage models which provides very good predictions gives logical values, results and look-up tables which are ready to upload to the ECU.

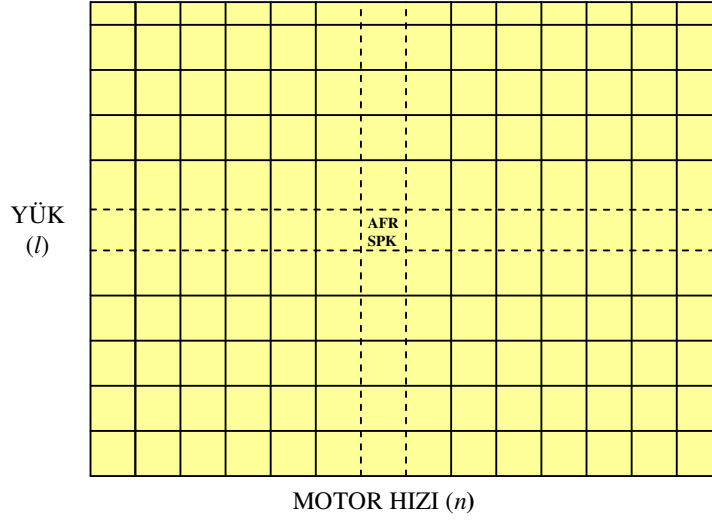
BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Giriş

"Motor haritalama (engine mapping)", motor davranışının ayarlanabilir motor parametrelerinin bir fonksiyonu olarak modellenmesi işlemidir. Bu tanımlı ilk olarak 1982 yılında T.D.Barker yapmıştır. Diğer bir deyişle, motorun çalışması esnasında değişkenlik gösteren çıktı değerlerinin girdi değerlerine bağlı olarak bir tahminidir. Buna örnek olarak; karbonmonoksit (*CO*) emisyon miktarının motor hızı ve yakıt karışım oranının değişimine göre değişmesi verilebilmektedir[1].

Motor haritalanmasının ana uygulama alanlarından biri, motorun uygun çalışma aralıklarında çalışması şartıyla, yakıt verimliliğini ve egzoz gazı emisyonlarını optimize etmekte kullanılan "motor elektronik kontrol üniteleri (*ECU*)"nin kalibrasyon işleminin yapılması amacıyla kullanıldığı görülmektedir. Burada geçen "uygun çalışma aralıkları" tabirinden kasıt, kanunlarla belirlenmiş emisyon değerleri veya motorun sağlıklı çalışması için doğal olarak gereken değer aralıklarıdır[1].

Motor kontrolünün temeli, basit olarak ifade edilirse; motor hızı, yükü, torku ve motora giren hava miktarının kontrol edilmesidir. Motorun çalışması sırasında elde edilen bütün çıktılar, bahsi geçen bu girdilerin değişimine bağlı olarak kontrol edilmeye çalışılır. Örneğin; hava-yakıt oranı, ateşleme zamanı vb. verilebilir. Bu parametrelerin değerleri motor kontrolörü tarafından her motor hızı ve yükü için ayarlanmaya çalışılır. Aşağıdaki Şekil 1.1'de teorik bir motor kontrolör tablosu verilmiştir. Tablodaki hücre iki kalibrasyon değeri içerir; bunlar hava-yakıt oranı (*AFR*) ve ateşleme açısı (*SPK*)dır. Daha sonra da bahsedileceği gibi, bu tez çalışmasındaki test imkan ve kabiliyetleri dahilinde, motor test düzeneğinde sadece motor hızı ve torku değiştirilebildiğinden, hava-yakıt oranı ve yük testlerde değişken olarak yer almamaktadır[1].



Şekil 1.1. Teorik motor kontrolör tablosu [1]

Bir motor kontrolörünün kalibrasyonu yukarıdaki tablonun (Şekil 1.1) ayrıntılı olarak gerçekleştirilmesine dayanır. Optimizasyon problemi, karmaşık kriterler ve kısıtlamalar gözetilerek en iyi kalibrasyonu bulmaktır. Motor haritalama modellerine bu kriterlere göre kalibrasyonu değerlendirme aşamasında ihtiyaç duyulur[1].

Motor haritalama için mevcut yaklaşım geniş polinom modellerin kullanılmasıdır, bu durum da bazı problemleri beraberinde getirir, uydurulan modelin yorumlama zorluğu bunlardan biridir. Bu yaklaşım uydurulmuş polinomun karmaşıklığı nedeniyle araştırmayı daha zor bir hale getirir[1].

Yapılan bu çalışma, mühendislik yöntemleri kullanılarak en iyi matematiksel modellerin oluşturulmasını, bu modellerden yararlanılarak motor elektronik kontrol ünitesinin en uygun şekilde kalibrasyon yapılmasını ve gerekli olan motor haritalarının elde edilmesini amaçlamaktadır. Bu maksatla yapılan çalışmaların başlıca amacı; mühendisleri verileri keşfetmeye cesaretlendiren ve istatistiksel tekniklerle diyagramları kullanarak araştırmaya yönlendiren yeni bir metodoloji geliştirmeye sevk etmektir. Ayrıca bu yaklaşım, deneysel dizayn ve tepki yüzeyi metodolojisi gibi ampirik model kurulumlarını gerektiren bir ortam kurmayı arzular ki; bu anlayışla çalışmalara ilk olarak Box (1978) ve Box-Draper (1987) başlamıştır.

Daha sonra motor haritalamayı bu fikirlere dayalı olarak açıklamaya çalışan D.M. Grove ve T.P. Davis (1992)'in çalışmaları gelişime katkı sağlamıştır[1].

Motor haritası çıkarılmasında lineer yaklaşımla başarılı çalışmalar yapan Crowder-Hand (1990) ve Goldstein (1995)'in yanında Davidian and Giltinan (1995)'in oluşturduğu “doğrusal olmayan tekrarlanmış ölçümler modeli” gibi çalışmalarla da günümüze ışık tutan yayınlar oluşturulmuştur. Bu modele göre; birinci aşamadaki bütün deneysel birimlerde doğrusallık mevcut değildir, tekrarlanmış ölçümler analizi ile bağlı özelliklerin tahmini yapılmaya çalışılır. Tahmini yapılan bağlı özellikler çok değişkenli lineer modellerden türetilir. Parametre tahmini, iki aşamalı modeli birleştiren bilgi analiz modellerindeki zıtlıklar ve tekil tahminler temel alınarak hesaplanmaya çalışılır. Motor haritalama çalışmalarında çoğunlukla bu yöntem tercih edilir[1].

Yukarıdaki paragraflarda bahsedilen çalışmaların yanında, Holliday (1994-1995)'in çalışmaları ve F. Jacquelin, R.Burk ve R.J. Wakeman'in (2003) kam açısı değişme hızının yakıt tüketimine ve azotoksit (*NO*) emisyonuna etkisi ile motor performansının öngörülmesine yardımcı olan simülasyon tekniklerinin açıklandığı çalışmaları bulunmaktadır. M. Guerrier ve P. Cawsey (2004) ise motor haritalamada kullanılan yöntemlerle ilgili pratik örnekler hakkında çalışmalar yapmışlardır. P.J. Maloney'in 2004 yılında tork bilgisine dayalı bir dizel motorun kontrolü hakkında çalışmalarını anlatan makalesi yayınlanmıştır. 2005 yılında ise P.J. Shayler, T.D. Brooks, G.J. Pugh ve R. Gambrill yüksek basınç common-rail kullanımı ile elde edilen yakıt enjeksiyon stratejilerinin dizel emisyonuna ve yakıt sarfiyatına etkilerini araştıran çalışmalar yaparak bu konu ile ilgili gelişmelere katkıda bulunmuşlardır[1].

Motor haritalama ve kalibrasyonu hakkında yapılan literatür çalışmaları çok eskilere dayanmamakta ve oldukça sınırlı kalmaktadır. Bugüne kadar yapılan çalışmaların ışığında ve günümüz teknolojisinin bir ürünü olan “MATLAB[®] Model Based Calibration Toolbox” programından yararlanarak “MTU[®] marka, MB-838 CaM 500 model, Leopard 1A1 tank motoru”nun motor haritası çıkarılmaya çalışılacaktır.

Yapılacak olan tez çalışması dört safhadan oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla; “veri toplama, veri eleme, model uydurma ve kalibrasyon” dur.

“Veri toplama”; motor kararlı ve dengeli bir şekilde çalışırken gözlem noktalarından verilerin kaydedilmesidir.

“Veri eleme” basamağında; bütün test sonuçları tek tek ele alınarak yapılan tutarlılık kontrolünde her testte sabit kalması gereken değişkenlerin belli bir tolerans değerinden fazla sapma gösterip göstermediği kontrol edilir. Örneğin; egzoz sıcaklıklarının giriş sıcaklıklarından daha yüksek olması gibi mantıklı sonuçlar aranır.

“Model uydurma (regresyon analizi)” basamağında; tüm giriş değişkenlerini (püskürtme başlangıcı, motor hızı, yakıt basıncı, yakıt miktarı v.b.) bir arada hesaba katan matematiksel motor haritalama modelleri oluşturulur. Bu modellerin oluşumu için yüzlerce veri noktası gereklidir.

“Kalibrasyon” basamağı ise; oluşturulan motor haritalama modelleri temel alınarak istenen değişken kombinasyonuna (devir ve tork) göre en iyi yakıt ekonomisini veren parametre (ateşleme avansı, yakıt basıncı v.b.) ayarlarının belirlenmesidir. Yakıt ekonomisi ve emisyon miktarları matematiksel modele göre hesaplanır. Daha sonra, hesaplanmış bu verilerin doğruluğu, araç üstü motor testleriyle doğrulanmaya çalışılır.

Günümüzde uygulanan mevcut motor haritalama yaklaşımlarında bazı sorunlar yaşanmaktadır. Örneğin; motor teknolojisinin gelişimi sonucunda yeni motorlarda değiştirilebilen parametre sayısının çok fazla olması, test edilmesi gereken nokta sayısını artırarak testlerin uzun ve pahalı bir proses olmasına neden olmakta, oluşturulan modellerin yorumlanmasını güçleştirmektedir.

Mevcut yaklaşımın kompleks oluşunun bir başka sonucu da genişletilmesinin zor oluşudur. Örneğin; modelin motor çıkışını etkileyen valf zamanlaması değişkenini de içermesi istenebilir. Fakat, zaten büyük miktarda veri ihtiyacı ve çok sayıda terimin

uydurulması, başka bir motor parametresinin veya daha fazla terimin nasıl ilişkilendirileceğini görmeyi zorlaştırmaktadır.

Bahsedilen sorunları yok etmek için motor haritalamada iki aşamalı modelleme (two-stage modelling) yaklaşımının kullanılması gündeme gelmiştir.

İki aşamalı modelleme yaklaşımında veri toplama işlemi genellikle, motor kontrol değişkenlerinden bir tanesinin sürekli değiştirilmesi, diğerlerinin ise sabit tutulması şeklinde uygulanır.

İki aşamalı modeller, matematiksel eğrilerin bazı geometrik özelliklerini kullanarak herkesin daha kolay anlayabileceği somut ve yorumlanabilen modeller oluştururlar. Bununla birlikte, iki değişim kaynağı arasında oluşan hiyerarşik hata yapısını göz önüne almak suretiyle daha doğru, daha iyi sonuçlanan modeller oluşturulmasını sağlarlar.

1.2. Tez Çalışmasının Amacı

Bu tez çalışmasının amacı; motor haritalama ve kalibrasyonu için MATLAB[®] programında mevcut olan Model Based Calibration Toolbox modülünü kullanarak elde edilen test sonuçlarını uygun matematiksel modellere çevirmek ve bu modeller yardımıyla *ECU* kalibrasyonu için gerekli olan motor haritalarını oluşturmaktır.

1.2. Tez Çalışmasının Kapsamı

Bu çalışmada, MATLAB[®] programında mevcut olan Model Based Calibration Toolbox modülü kullanılarak, Kara Kuvvetleri Komutanlığı 1nci Ana Bakım Merkezi Komutanlığı Arifiye / Adapazarı'nda bulunan kara savaş araçlarından Almanya üretimi Leopard 1A1 tankına ait MTU[®] marka, MB-838 CaM 500 model

bir dizel motorun minimum yakıt sarfiyatı ile maksimum güç elde edebilmesi için, motor test kabiniinde değişik püskürtme açılarına göre testleri yapılacak, test sonuçlarına göre veriler toplanacaktır. Toplanan bu verilere göre uygun matematiksel modeller ve bu modelleri temel alan kalibrasyon tabloları oluşturulacaktır.

Bu çalışma, “Üniversite-Sanayi İşbirliği Projesi” kapsamında T.C. Sakarya Üniversitesi'nin “31 Mart 2005 tarihli, B.30.2.SAÜ.0.00.00.01/00-540/1424 sayılı” yazısıyla yaptığı girişim sonucunda, T.C. Kara Kuvvetleri Komutanlığı İkmal ve Bakım Komutanlığı'nın “25 Nisan 2005 tarihli ve BKM.YNT.:6048-131-05/Klt. Ynt. Ş. (139) sayılı” emrine göre başlatılmış ve tamamlanmıştır.

BÖLÜM 2. TEORİ VE PRENSİPLER

2.1. Dizel Motorlarda Yanma

Dizel motorda yanma işleminin uygun şekilde gerçekleşmesi için, uygun oranda karışmış olan yakıt-hava karışımının uygun sıcaklıkta alevlenmesi gerekir. Yanma hızı, yakıt-hava karışım hızına bağlıdır. Uygun alevlenme ortamında alevlenme tek noktadan değil, çok noktadan başlar[2].

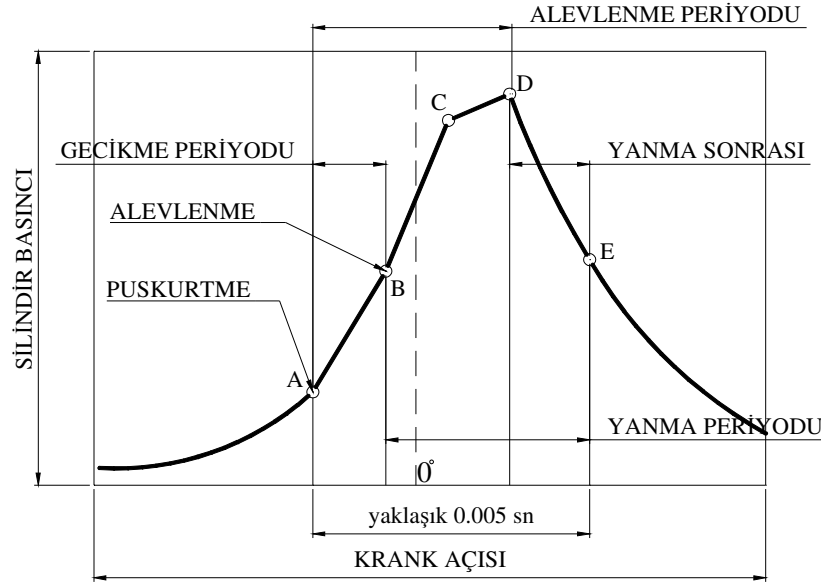
Dizel motorda yanma işlemi üç ana süreçte gerçekleşir; gecikme zamanı, hızlı yanma süreci ve kontrollü yanma süreci[2].

2.1.1. Gecikme zamanı

Sıkıştırma strokunun sonuna doğru, yakıt ilk püskürtüldüğünden alevlenene kadar ki geçen sürece “gecikme zamanı” adı verilir. (Bkz. Şekil 2.1, A-B noktaları arası) Yaklaşık olarak, yakıtın buharlaşması ve sıkıştırılma suretiyle ısınan hava ile uygun şekilde karışması için geçen süre 0.002 sn.’dir[2].

2.1.2. Hızlı yanma süreci

Sıkıştırılan havanın sıcaklığı yeterince yüksek ve yakıt-hava karışım oranı uygun ise yanma başlar. Yakıt ilk yandığında basınç hızlı şekilde yükselir ve bilinen dizel motor sesini oluşturur(Bkz. Şekil 2.1, B-C noktaları arası)[2].



Şekil 2.1. Yanma işlemi ve silindir içi basınç değişim grafiği [2]

2.1.3. Kontrollü yanma süreci

Bu süreç boyunca enjektör, yanma odasına yakıt püskürtmeye devam eder. Fakat, bu zengin yakıt, hava ile karışmadan alev almaz. Silindir içindeki mevcut yanma gazları yüksek derecede türbülans etkisi oluşturur ve yakıtın hava ile karışarak yanmasını sağlar. Bu süreçteki silindir basıncı artış hızı, hızlı yanma sürecine göre daha düşüktür. (Bkz. Şekil 2.1, C-D noktaları arası) Oluşan kontrollü yanma sırasında büyük bir enerji açığa çıkar. Yakıt ve hava tükendiği zaman silindir basıncı ve sıcaklığı düşer, silindir hacmi azalır(Bkz. Şekil 2.1, D-E noktaları arası)[2].

2.2. Püskürtme Açısı

Şekil 2.1'de gösterildiği gibi, pistonun $\ddot{U}\ddot{O}N'$ ya geldiği durumda, krank milinin açı değeri 0° 'dir. Püskürtme 0° 'den önce başlar ve 2.1.1 kısmında bahsedilen gecikme zamanı suretiyle hava ve yakıtın uygun şekilde karışması sağlanır (A-B bölgesi). Böylece piston 0° 'ye ulaştığı zaman yaklaşık olarak hızlı yanma sürecinin

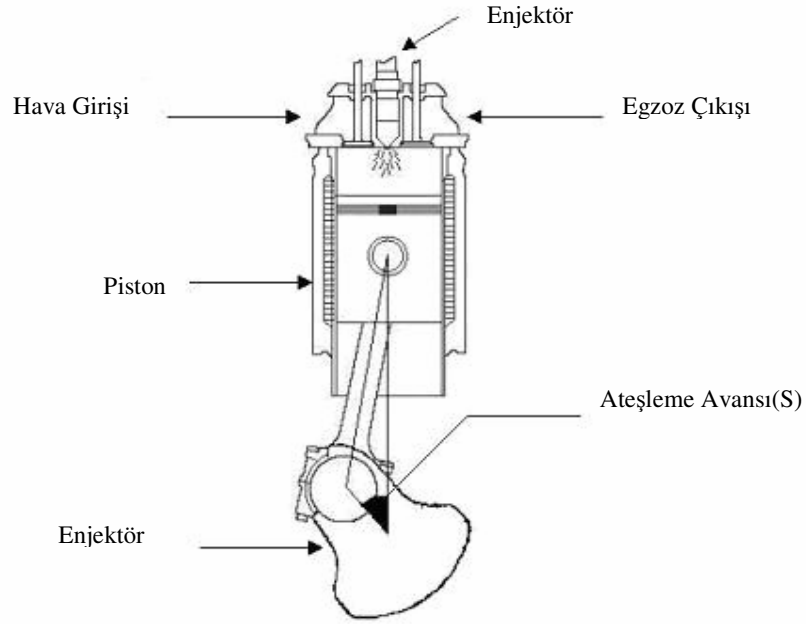
(Bkz. Şekil 2.1) ortalarında bulunmaktadır (B-C bölgesi). Bu çalışmada kullanılan MB 838 Cam 500 tipi motorda püskürtme açısının fabrika çıkışı standart ayar değeri “-10°”dir. Böylece, püskürtme işleminin 0°’den 10° önce yapıldığı anlaşılmaktadır. Kısım 2.2.1’de bu durum biraz daha detaya inilerek, motor yanma odası ve krank mili hareketine göre izah edilecektir[2].

2.2.1. Ateşleme avansı kavramı

Ateşleme avansı, püskürtme açısı kavramıyla aynı anlama gelmekte olup, ateşleme yapıldığı andaki krank milinin dönme açısını ifade etmektedir. Daha detaylı bir tanımla; püskürtme anında, piston hareket eksenini ile krank mili eksenini arasında oluşan açıdır. Pistonun en üst noktada olması, krank mili eksenini ile piston hareket eksenininin çakışması durumudur ki; bu da “0°”ye karşılık gelmektedir.(Bkz. Şekil 2.2) Ateşleme avansının her zaman 0°’den önce olması gerekmektedir. Dizel motor çalışma prensibi, bu kural üzerine kurulmuştur. Şekil 2.2, ateşleme esnasında yanma odasının bir kesitini göstermektedir. Piston, silindir içinde yukarı doğru hareketi esnasında yanma karışımını sıkıştırmakta, yeterli ısı ve basınca ulaşan havaya yakıt püskürtülmekte ve ateşleme meydana gelmektedir. “S” ile gösterilen açı ateşleme avansıdır. Bu nedenle, büyük ateşleme avansı değerlerinde, ateşlemenin piston silindirin alt ölü bölgesine (AÖN) yakın bir yerde iken yapıldığı, küçük değerlerde ise, ateşlemenin piston üst ölü noktaya (ÜÖN) yakın bir yerde iken yapıldığı anlaşılmalıdır[1].

2.2.2. Püskürtme açısının değiştirilmesinin yanmaya etkileri

Püskürtme açısının değiştirilmesiyle motor çalışmasında bazı değişiklikler meydana gelecektir. Şekil 2.1’de gösterildiği gibi, yanma işlemi yaklaşık olarak 0.005 sn gibi çok kısa bir süre içerisinde gerçekleşmektedir. Püskürtme açısında yapılacak herhangi bir değişiklik bu sürenin uzamasına veya kısalmasına neden olacak, bu durum yanmaya direkt olarak etki edecektir.



Şekil 2.2. Yanma odası kesiti ve ateşleme avansı [1]

Püskürtme açısının (-) değerden 0° 'ye doğru yaklaştırılması durumunda (örneğin, motorun standart açısı olan -10° 'den -8° 'ye getirilmesi) tahmini olarak şu durum gerçekleşebilir; yanma gecikmesi süresi (2 msn) kısalacak, böylece yanma odası içindeki türbülans süresi ve yakıt ile havanın homojen bir şekilde karışma süresi azalacak, yakıtın hava ile karışması daha az homojen olacak ve yanma kalitesi bu durumdan kötü şekilde etkilenecektir. Bu durumda yakıtın hepsi yakılamayarak "zengin yanma" durumu meydana gelecek ve yakıtın bir kısmı yanmamış şekilde atmosfere verilecektir. Bunun sonucunda da, emisyon değerlerindeki karbon oranı artacak ve emisyon değerleri olumsuz yönde etkilenecektir. Motor üzerinde yapılan testlerin sonuçları incelendiğinde, motor performansı üzerindeki muhtemel etkilerin ne derecede gerçekleştiği görülecektir.

BÖLÜM 3. KALİBRASYON, VERİ TOPLAMA VE MODELLEME TEKNİKLERİ

3.1. Kalibrasyon

Motor haritalama işleminin ana uygulaması, elektronik motor kontrol ünitesinin (*ECU*) kalibrasyonu için gerekli olan ampirik modelleri sağlamaktır.

Motor kontrol ünitesi “look-up (kalibrasyon)” tablolarını içerir, ana görevi; püskürtme açısını ve yanma odasına giren hava-yakıt karışımını, yakıt ekonomisini ve motor performansını optimize edecek şekilde kontrol etmektir. Bu işlem, geri beslemeye dayanan kontrol sisteminden farklı olarak, motor kontrolüne hafıza tabanlı bir yaklaşımdır[1].

Hafıza tabanlı sistemlerin, geri beslemeli kontrol sistemlere göre avantajlarından bir tanesi, motorun çıktı değerlerini ölçme gereksinimini duymamalarıdır. Ayrıca, yasalara göre emisyon testlerinin biçimi ve yakıt ekonomisinin hesaplama yöntemi geri beslemeli bir motor kontrolünü zor uygulanır hale getirmektedir. Hafıza tabanlı bir sistemin dezavantajı ise; aynı tipteki motorlar arasında üretim değişikliğine izin vermemesidir. Aynı zamanda hafıza tabanlı bir sistem, kendini motorda oluşan kurum, aşınmalar vb. yaşlanma etkilerine karşı güncelleyememektedir.

Basitleştirilmiş bir motor çevriminde, *ECU* motorun dönme hızını (rpm) ve her emme strokunda yanma odasına giren hava miktarını (motor yükü) ölçecek, sonra programlanmış kalibrasyon tablolarından yararlanarak, kalibrasyon parametrelerini ayarlayacaktır. Kalibrasyon parametreleri, *ECU* tarafından kontrol edilebilen motor çalışma koşullarıdır. Kalibrasyon parametrelerine örnek olarak, hava-yakıt karışımı (*AFR*) ve ateşleme avansı (*S*) verilebilir. Bunun yanında, motor karmaşıklığına ve bunun çözülmesine bağlı olarak oluşturulabilecek pek çok farklı kalibrasyon parametresi de vardır[1].

Kalibrasyon prosesinin amacı, kısıtlamalara bağılı olarak en iyi yakıt ekonomisini ve motor performansını sağlayan tabloları elde etmektir. Bu tabloların elde edilmesinin yolu, motor parametrelerinin lokal ve global düzeyde çok iyi şekilde matematiksel modellerinin oluşturulmasıdır. Uygulanan kısıtlamalara örnek olarak; belirli gazların emisyon limitleri, egzoz sıcaklığındaki limitler, motorun çalışma bölgesinin getirdiği limitler ve sürüş limitleri verilebilir. Kanunlarla kısıtlanmış gazlar; azotoksitler (NO_x), karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) gazlarıdır. Yakıt tüketimi ve egzoz gazı emisyonları bir sürüş çevrimi boyunca ölçülür. Bu kompleks kriterler, optimizasyon işlemi motor üzerinde deneyler yapılmasından ziyade, bir regresyon modelinin kullanılmasını gerekli kılan nedenlerden biridir[1].

Dolayısıyla motor haritalama modeli, motorun davranışını; motor hızı, motora giren hava miktarı, hava-yakıt karışımı, geri dönüşümü yapılan egzoz gazı miktarı ve ateşleme avansı cinsinden tanımlar. Motor davranışının modellenmesi gereken özellikleri ise, güç çıkışı, yakıt tüketimi, yasalarla kısıtlanmış egzoz gazı emisyonları ve egzoz sıcaklığıdır. Bu tez çalışmasında, deney düzeneği ve motor test ünitesinin imkan ve kabiliyetleri çerçevesinde yakıt tüketimi, egzoz gazı emisyonları ve egzoz sıcaklıkları modellenmeye çalışılmış, tork ise global girdi olarak kullanılmıştır. Bu konu ile ilgili detaylar ilerideki bölümlerde ayrıntılı bir şekilde açıklanacaktır.

Motor haritalama prosesi; veri toplama, veri eleme, regresyon analizi (model uydurma) ve kalibrasyon olmak üzere dört adet alt prosesten oluşmaktadır.

3.1.1. Veri toplama

Veriler bir mühendis veya teknik personelin denetimi altında dinamometreden toplanırlar. Operatör, eğer motor kararlı bir şekilde çalışıyor ise, veri noktalarını kaydeder ve her gözlem kaydedilmeden önce, motorun dengeli bir şekilde çalışmasına izin verilir. Bu çalışmada, bahsi geçen duruma çok dikkat edilerek, bütün değerler motorun kararlı çalışması durumunda elde edilmiştir. Fakat, bazı sınır değerlerde motorun çalışmasında anormallikler görülmüş, motor kararlı şekilde

çalışmamıştır. Tablo 3.4'te verilen bu gibi durumlarda, motora zarar vermemek için test durdurulmuş ve sonuç alınmamıştır. Bu testler, veri kümesinden elendikten sonra modeller oluşturulmuştur.

Veriler, “matris optimizasyonu verileri” adıyla anılmakla beraber, püskürtme açısı değerinin belli bir aralıkta taranması şeklinde toplanır. Sabit bir püskürtme açısında değerlerin taranması, motor hızı (N), hava-yakıt karışım oranı (AFR) ve hava akışı (yük) sabit tutularak sağlanır ki; bu çalışmada kullanılan test düzeneğinde AFR ve yük test başlangıcında ayarlanabilen parametreler değildir. Bunun yerine, Tablo 3.1'de gösterildiği gibi, püskürtme açısı ve tork en yüksek - en düşük uygulanabilir değerler arasında sabit tutulurken; motor hızı, yakıt tüketim oranı, egzoz gazı sıcaklıkları vb. parametrelerin değişimleri ölçülmüştür. Mevcut bir motor haritası için uygun olan veri kümesi “ikiyüzelli ile üçyüzelli” arasında ayrı ateşleme avansı değeri içermelidir. Bu tez çalışmasında elde edilen veri kümesi ise “sekizyüzon” adet ayrı ateşleme avansı değeri içerir. (Bkz. EK-A) Bu sayıdaki bir veri kümesini toplamak ise, önemli ölçüde zaman ve kaynağın harcanmasına neden olmaktadır. Giriş kısmında bahsedildiği gibi, bu tez çalışması kapsamındaki testler yaklaşık olarak beş ay sürmüştür. Test çalışmaları sırasında iki adet personel görev yapmış; bu personellerden biri test standı başında uygulama parametrelerini sisteme girerken, diğeri ise silindir içi kompresyon, duman oranı ve emisyon ölçümlerini gerçekleştirmiştir. Yapılan yaklaşık bir hesaplamayla; testler için harcanan yakıt masrafı, testin yapıldığı tarihin parasal değerine göre “7.000 Yeni Türk Lirası” civarındadır. Bu değere işçilik ve diğer harcamalar dahil edilmemiştir.

Tablo 3.1'de motor test kabiniinde gerçekleştirilen testler gösterilmiştir. Verilen on adet püskürtme açısı değeri için, tabloda gösterilen her tork değeri ve her motor devri uygulanmış, “tarama” yöntemiyle testler gerçekleştirilmiştir. Her test sonunda, motor kararlı çalışma halindeyken, egzoz gazı sıcaklık değerleri, yakıt tüketimi değerleri ve emisyon değerleri, motorun hem sağ hem de sol tarafı için ölçülmüştür. Elde edilen bütün test değerlerinin “Microsoft Excel” programında oluşturulan listesi “EK-A” olarak tez çalışmasına eklenmiştir. Bunun yanında, testler gerçekleştirilirken herhangi bir karışıklığa meydan vermemek için, Tablo 3.2'de gösterilen

numaralandırma sistemi geliştirilmiş, testler bu sisteme göre gerçekleştirilmiş ve belgelendirilmiştir.

Tablo 3.2’de verilen numaralandırma sistemi şu şekilde kullanılmıştır; örneğin; +2° püskürtme açısında, 600 Nm tork değerinde ve 1400 rpm motor devrinde yapılan bir testin kodu “2C4”tür. Testler çıktı belgelerinde bu kurala göre numaralandırılmıştır. Bunun yanında, test çıktılarının dosyalanması işlemi için de, Tablo 3.3’teki numaralandırma sistemi kullanılmıştır.

Tablo 3.3’te verilen dosya numaralandırma sistemi şu şekilde kullanılmıştır; örneğin; -4° püskürtme açısında ve 1800 Nm tork değerinde yapılan bir teste ait dokümanların bulunduğu klasörün numarası “08.09” dur. Testler sırasında tutulan kontrol listelerine ait bir örneğin taranmış çıktısı EK-B, örnek bir test çıktısı dokümanı ise EK-C olarak çalışmaya eklenmiştir.

Gerçekleştirilen 810 adet motor testi, aşağıdaki tablolarda belirtilen numaralandırma sistemleri sayesinde, herhangi bir doküman veya işlem sırası karışıklığı yaşanmadan başarıyla bitirilmiştir.

3.1.2. Veri eleme

Veri eleme, elde edilen veri dizisi arasından modelleme işlemi için kullanılacak mantıklı verilerin seçilmesi anlamına gelmektedir. Bu çalışmada elde edilen 810 adet veri kümesi arasından bazı değerler elenmelidir. Çünkü, elenecek olan verilerin elde edildiği testlerde motor kararlı çalışmamıştır ve “anvele” adı verilen düzensiz titreşimli çalışma meydana gelmiştir. Bu durumlarda, motora herhangi bir zarar gelmemesi amacıyla çalışma durdurulmuştur. Tablo 3.4’te kararsız durumda olan ve sağlıklı veri alınamayan testler verilmiş olup, bu test değerleri veri kümesinden çıkartılmıştır. Modelleme işlemi, toplam 810 adet veri dizisi içeren test kümesi arasından, 9 adet kararsız durum testi elendikten sonra, kalan 801 adet kararlı durum

Tablo 3.1. Motor haritalama çalışmalarında yapılan tarama testlerini gösteren tablo (matris optimizasyonu verileri)

PÜSKÜRTME AÇISI (°)	TORK DEĞERİ (Nm)	MOTOR DEVRİ (rpm)
-10, -8, -6, -4, -2, 2, 4, 6, 8, 10	200	850, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2480
	400	850, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2480
	600	850, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2480
	800	850, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2480
	1000	850, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2480
	1200	850, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2480
	1400	850, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2480
	1600	850, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2480
	1800	850, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2480
	2000	850, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2480

Tablo 3.2. Motor testi numaralandırma sistemi tablosu

PÜSKÜRTME AÇISI (°)	-10	+2	+4	+6	+8	+10	-2	-4	-6	-8
TEST KODU	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TORK DEĞERİ (Nm)	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
TEST KODU	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
DEVİR DEĞERİ (rpm)	850	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2480
TEST KODU	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Tablo 3.3. Motor testi dosyalama ve klasörleme sistemi tablosu

PÜSKÜRTME AÇISI (°)	-10	+2	+4	+6	+8	+10	-2	-4	-6	-8
TEST KODU	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
TORK DEĞERİ (Nm)	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
TEST KODU	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10

testi kullanılarak yapılmıştır. EK-A'daki tabloda da görülebileceği gibi, her ne kadar test çalışmalarında veri alındıysa da, modellemede kullanılan testlerde motor devri 2480 rpm olan testler bulunmamaktadır. Tablo 3.4'te kırk adet olarak görülen kararsız durum testlerinden, sadece dokuz adeti 2000 rpm ve 2400 rpm motor devrine sahip olup, bundan dolayı veri kümesinden dokuz adet test elenmiştir. EK-A'da bu testlere ait satırlar sarı renk ile belirtilmiştir. Dikkate edilirse, elenen bu testlerin hepsi, "log no"su 81 ve 90 olan test grubundandır. Bundan dolayı, 80 ve 91 numaralı test grupları "outliers (uzak noktalar)" olarak işaretlenerek modellemelerden önce veri dizisinden çıkarılmışlardır.

Veri eleme aşamasında belirtilmesi gereken bir husus da şudur; Tablo 3.4'te gösterilmemesine rağmen, $+10^\circ$ püskürtme açısında yapılan testlerin hepsinde de motor kararsız durum göstermiştir. Bundan dolayı, bahsi geçen püskürtme açısında testler gerçekleştirilememiş ve hiçbir değer alınamamıştır. EK-A' da verilen 810 adet test içeren veri dizisinde de $+10^\circ$ püskürtme açısına ait testler bulunmamaktadır.

3.1.3. Regresyon analizi (model uydurma)

Veriler toplanıp elendikten sonra, bu verilere göre polinom regresyon modelleri uydurulur. Bu modeller, motor elektronik kontrol ünitesinin kalibrasyonunu belirlemek için gerekli olan optimizasyon işleminde kullanılırlar.

Bu tarz regresyon metodolojisi yaklaşımı, ilk kez Blumberg (1978) ve sonra da Mencik (1979) tarafından ortaya konmuştur.

Uydurulan modeller motor devri, tork, hava-yakıt oranı ve püskürtme açısı cinsinden polinomlardır. Modellenen tepki parametreleri ise, karbonmonoksit (CO), hidrokarbon (HC), azotoksitler (NO_x) gibi emisyon parametrelerinin yanında, egzoz gazı sıcaklığı ve yakıt tüketimi gibi parametrelerdir. Emisyonlar için CO , HC , NO_x logaritmaları alınır.

Tablo 3.4. Veri kümesinden elenen kararsız motor testlerini gösteren tablo

TEST KODU	PÜSKÜRTME AÇISI (°)	MOTOR DEVRİ (rpm)	İSTENİLEN TORK DEĞERİ (Nm)	ELDE EDİLEN TORK DEĞERİ (Nm)	AÇIKLAMALAR
7.G.10	-2	2480	1400	1298	İstenilen tork değerine ulaşamadı, motor aşırı titreşimli çalıştı, kararlı çalışma performansı yakalanamadı, emisyon ölçümü yapılamadı.
7.H.10		2480	1600	1404	
7.I.9		2400	1800	1724	
7.I.10		2480	1800	1331	
7.J.9		2400	2000	1812	
7.J.10		2480	2000	1236	
8.G.10	-4	2480	1400	1253	İstenilen tork değerine ulaşamadı, motor aşırı titreşimli çalıştı, kararlı çalışma performansı yakalanamadı, emisyon ölçümü yapılamadı.
8.H.10		2480	1600	1288	
8.I.10		2480	1800	1327	
8.J.9		2400	2000	1901	
8.J.10		2480	2000	1610	
9.G.10	-6	2480	1400	1407	Motor kararlı çalışma performansı gösteremedi. Test durduruldu. İstenilen tork değerine ulaşamadı, motor aşırı titreşimli çalıştı, kararlı çalışma performansı yakalanamadı, emisyon ölçümü yapılamadı.
9.H.10		2480	1600	1413	
9.I.10		2480	1800	1476	
9.J.9		2400	2000	1916	
9.J.10		2480	2000	1689	
10.G.10	-8	2480	1400	1336	İstenilen tork değerine ulaşamadı, motor aşırı titreşimli çalıştı, kararlı çalışma performansı yakalanamadı, emisyon ölçümü yapılamadı.
10.H.10		2480	1600	1440	
10.I.10		2480	1800	1654	
10.J.7		2000	2000	1780	
10.J.10		2480	2000	1691	
2.H.10	+2	2480	1600	2401	İstenilen tork değerine ulaşamadı, motor aşırı titreşimli çalıştı, kararlı çalışma performansı yakalanamadı, emisyon ölçümü yapılamadı.
2.J.10		2480	2000	1742	
3.F.10	+4	2480	1200	-	İstenilen tork değerine ulaşamadı, motor aşırı titreşimli çalıştı, kararlı çalışma performansı yakalanamadı, emisyon ölçümü yapılamadı.
3.G.10		2480	1400	-	
3.H.10		2480	1600	-	
3.I.9		2400	1800	-	
3.I.10		2480	2000	-	
4.F.10	+6	2480	1200	718	İstenilen tork değerine ulaşamadı, motor aşırı titreşimli çalıştı, kararlı çalışma performansı yakalanamadı, emisyon ölçümü yapılamadı.
4.G.10		2480	1400	1087	
4.H.10		2480	1600	1425	
4.I.10		2480	1800	904	
4.J.9		2400	2000	1510	
4.J.10		2480	2000	726	
5.G.10	+8	2480	1400	1199	İstenilen tork değerine ulaşamadı, motor aşırı titreşimli çalıştı, kararlı çalışma performansı yakalanamadı, emisyon ölçümü yapılamadı.
5.H.10		2480	1600	1255	
5.I.9		2400	1800	1657	
5.I.10		2480	1800	1216	
5.J.9		2400	2000	1684	
5.J.10		2480	2000	1383	

Kullanılan polinomlar değişebilir, fakat tipik olarak herhangi bir değişkenin ikiden büyük üssünün görünmediği dördüncü dereceden polinomlar olacaklardır. Bununla birlikte, $\log(NO_x)$ ifadesinin regresyonu, üçüncü dereceye kadar tork terimi içermektedir.

Oluşturulan model eğrilerinin gerçek veri eğrilerine uydurulma kalitesinin incelenmesi, ilerideki kısımlarda daha detaylı olarak anlatılacaktır. Her bir veri noktası ile model arasındaki ortalama hatayı hesaplayan *RMSE* (Root Mean Square Error) kavramı, değişik matematiksel model denemelerinden elde edilen değerlerin karşılaştırılması yoluyla elde edilir. Teoride bu yaklaşımın şöyle bir dezavantajı olabilir; bu model uydurma ve yeniden değerlendirme prosesi, ilgili mühendis veya teknik personel tarafından geniş bir veri kümesi üzerinde, veriye modelin en iyi şekilde uydurulduğuna kanaat getirildiği ana kadar tekrarlanır. Bundan dolayı, bu proses oldukça subjektif bir yaklaşımdır ve veriyi iyi uydururken, öngörüsül gücü az bir model üretilmesi ihtimaller dahilindedir.

3.1.4. Optimizasyon ve kalibrasyon

Herhangi bir optimizasyon prosesinin kalbi “değerlendirme”dir. En iyi kalibrasyonu bulmak için, bazı kriterlere göre kalibrasyonları değerlendirebilecek yollar mevcut olmalıdır. Böylece, objektif olarak farklı kalibrasyonlar karşılaştırılabilir. Bu durumda mümkün olan her kalibrasyon değerlendirilir ve seçilen kriteri minimize (veya maksimize) eden kalibrasyon seçilir. Buna göre, optimizasyon probleminin boyutu, motor kontrolör tablosundaki hücre sayısının, hücre içindeki parametre sayısı ile çarpımına eşittir. Pratikte mümkün olan tüm kalibrasyonları birer birer sıralamak imkansızdır, bazı optimizasyon tekniklerinden yararlanmak gerekir.

Optimizasyon tekniği, Cassidy (1977) tarafından sunulan “Lagrangian” çarpanları temeline dayanan bir metottan türetilmiştir. Bu konu ile ilgili ilk uygulamalar “Calaid” (1988-Cullen ve 1990-Ford) yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Cassidy, kalibrasyonu değerlendirmek amacıyla deneyler yapmak için motora bağlanmış bir

mini-bilgisayar kullanırken, Ford tekniği; bir kalibrasyonu değerlendirmek için motor haritalama modelini kullanmaktadır[1].

Calaid yöntemi, yasal emisyon seviyeleri ve motor çalışma bölgesinin getirdiği kısıtlamalar kapsamında yakıt ekonomisini optimize etmektir. Yakıt ekonomisi ve emisyon seviyeleri bir sürüş çevrimi boyunca toplanarak hesaplanmaktadır. Bu yöntemde kullanılan sürüş çevrimi “US Federal Metro ve Otoyol Test Çevrimi”dir [1].

Calaid yöntemi, yakıt ekonomisi regresyon modelini kullanarak, istenen her motor devri ve tork kombinasyonu için en iyi yakıt ekonomisini veren egzoz gazı geri dönüşümü, hava-yakıt oranı ve püskürtme açısı ayarlarını belirleyerek başlar; bu kalibrasyon mümkün olan en iyi yakıt ekonomisini sağlar. Calaid çalışması, bu yakıt ekonomisi ve kısıtlanmamış durumdaki sonuç emisyon miktarlarını motor haritalama modelini kullanarak hesaplamıştır. Başlangıç kalibrasyonundan sonra, toplam emisyonların yasal limitler içinde kaldığı optimum yakıt ekonomisi kalibrasyonunu belirlemiştir. Buradaki en önemli nokta, sistemin optimizasyon sırasındaki ateşleme avansının sürekli olarak en iyi yakıt ekonomisini veren ateşleme avansı olarak ayarlanmış olmasıdır[1].

Yapılan bu tez çalışmasında uygulanan yöntemler ve elde edilen modeller, Calaid’in çalışmalarına oldukça benzemektedir. Motor üzerinde yapılan testlerden elde edilen veri kümesi incelenmiş, uygun olmayan veriler kümeden çıkartılmış, iki aşamalı modelleme yöntemi ile değişik modeller oluşturulmuş ve aralarında en iyi değerler veren modeller seçilmiştir. Bu modeller temel alınarak yapılan optimizasyon işleminde ateşleme avansının sürekli olarak en iyi yakıt ekonomisini veren ateşleme avansı olarak ayarlanmasına dikkat edilmiştir. Optimizasyon sonrasında, oldukça mantıklı değerler veren kalibrasyon tabloları oluşturulmuştur.

3.2. Motor Haritalama Yaklaşımındaki Problemler

Bir önceki kısımda, kalibrasyon işlemini gerçekleştirebilmek için mevcut olan metotlar incelenmiştir. Bu kısımda ise, motor haritalama üzerine yoğunlaşarak, kalibrasyon işleminin modelleme tarafı incelenecektir.

Modelleme işlemi çok geniş polinomlar kullanır. Çalışmanın hedefi, motor haritalama kullanılarak geliştirilen metodoloji yardımıyla kalibrasyon işlemini oluşturmaktır. Bunun nasıl yapıldığı açıklanmadan önce, bu konu ile ilgili anahtar durumlar ile mevcut motor haritalama yaklaşımındaki bazı problemlerden bahsetmek gerekmektedir. Bu problemlerin bazıları, değişik birçok parametreler içeren modelin geniş doğasından kaynaklanır. Diğer problemler ise, yakıt ekonomisini içeren uygunsuz tepki modelleridir[1].

3.2.1. Yanlış tanım bölgesi seçimi

Yakıt ekonomisi kavramı iki şekilde ele alınabilir; sabit bir yakıt miktarı için maksimum gücü sağlamak veya en düşük yakıt miktarı kullanılarak sabit bir güç elde etmek. Birinci durumda güç çıkışı (tork), yakıt girişinin bir fonksiyonu olarak ele alınır. Modelleme alanı “yük tanım bölgesi”dir. Alternatifi ise, yakıt ihtiyacını üretilen gücün bir fonksiyonu olarak düşünmektir. Bu durumda ise modelleme alanı “tork tanım bölgesi”dir. Yapılan bu tez çalışmasında, ikinci alternatif olan tork tanım bölgesi kavramı esas alınarak çalışmalar yönlendirilmiştir. Çünkü, testlerin gerçekleştirildiği mevcut motor test kabini, güç çıkışı torku ve motor devir değeri test başlangıcında ayarlanabilir parametrelerdir. Öncelikli olarak, motordan bu iki parametre sağlıklı olarak elde edilmeye çalışılmakta, yakıt tüketimi ve emisyonlar gibi parametreler bunların fonksiyonları olarak kalmaktadır. Yakıt tüketimi test başlangıcında ayarlanabilir bir parametre olmayıp, test esnasında görülebilen olası yakıt tüketimi problemlerinde, yakıt pompasının enjektörlere gönderdiği yakıt miktarının düzenlenmesiyle sorun giderilmeye çalışılmaktadır. Sistemin bu şekilde

dizayn edilmesindeki en büyük neden; “test motorunun tank gibi bir savaş aracına ait olması ve tank motorundan beklenenin öncelikle yakıt ekonomisi değil, güç çıkış torku olmasıdır.” Yakıt ekonomisi kavramı daha çok sivil otomotiv çalışmalarında önem kazanmaktadır.

Teoride yapılan çalışmalarda ise, modelleme aşamasından önce toplanan veriler yük tanım bölgesinin içindedir; yük sabit tutulurken değişen tork değerleri ölçülür. Fakat modelleme tork tanım bölgesinde gerçekleştirilmektedir, yakıt akış oranı tepki olarak, güç çıkış torku ise bir girdi olarak göz önüne alınmaktadır. Bu yaklaşım, temel olarak yanlış bir yaklaşımdır, doğru girdi sürücü tarafından kontrol edilen ve motora hava akışını (yük) değiştiren, gaz kelebeği açısıdır (benzinli motorlarda). Bu modeller tork tanım bölgesinde kalibrasyonlar üretmek için kullanılmakta ve daha sonra bu kalibrasyon yük tanım bölgesindeki bir kalibrasyona dönüştürülmektedir. Bu tanım bölgesi değişimleri kalibrasyon prosesine gereksiz bir karmaşıklık getirmekte ve büyük oranda anlaşılabilirliğini azaltmaktadır[1].

Modellemenin diğer tepkileri göz önüne alındığında, tork tanım bölgesini kullanan motor haritalama da benzer yorumlama problemlerine neden olmaktadır. Motor tarafından yayılan egzoz gazlarını, motor tarafından üretilen gücün bir fonksiyonu olarak düşünmek, motora giren havanın bir fonksiyonu olarak düşünmekten daha zor olacaktır. Bu durumda, motor yükünün bağımsız değişken olarak ve torkun bir tepki olarak modellenmesinin tercih edilmesi daha uygun olacaktır. Bu durumun tercih edilmesi için bir çok neden varken, motor davranışını yükün bir fonksiyonu olarak tanımlayan bir modelden kalibrasyon üretilmesi doğrulanmalıdır. Aslında iki aşamalı modelin, motor kontrolör tablosu ile aynı tanım bölgesinde bulunması, konvansiyonel metoda göre daha doğru bir yöntemdir. Bu nedenle; optimizasyon işleminin tork tanım bölgesinde gerçekleştirilerek sonuç kalibrasyonun yeniden yük tanım bölgesine çevrilmesi yerine, doğru tanım bölgesinde gerçekleştirilmesi tercih edilmektedir[1].

3.2.2. Uydurulan modelin yorumlanması

Ampirik modelleme probleminde başlangıç olarak yapılması gereken işlerden birisi; problemin fiziği ile ilgili mevcut bilgilerin, daha önce yapılmış grafiksel çalışmaların veya daha önceki çalışmalarda elde edilmiş tecrübelerden çıkarılabilecek bilgilerin bulunup bulunmadığının ele alınmasıdır. Varsayılan model verilen bu gibi bilgilere göre mantıklı olmalıdır. Bir model uydurulduktan sonra, tutarlılığının tespiti için bu başlangıç bilgileri kullanılarak kontroller yapılmalı ve herhangi bir farklılık olup olmadığı tatmin edici bir açıklama için araştırılmalıdır[1].

İçten yanmalı motorlar gibi üzerinde çok çalışmalar yapılmış bir konuda model oluşturmadan önce, gerekli olan bilginin temelini mevcut mühendislik bilgileri oluşturmaktadır. Ancak, mevcut mühendislik bilgileri ile modelin birleştirilmesi, kısmen modelin geniş polinomlu doğası ve kısmen de modellemenin tork alanında gerçekleşmesinden dolayı oldukça zordur[1].

Örnek olarak verinin başlangıç incelemesi ele alınabilir. Veri toplandıktan sonra yapılacak olan çalışma, tüm testlerin grafiksel hale getirilmesidir. Bunu yaptıktan sonra, modelden bu tarama testlerinin şeklini tanımlaması beklenir. Yakıt ekonomisi modeli için bu bir sorundur. Çünkü, veri kümesi içindeki tepki değişkeni (tork) ile modeldeki tepki değişkeni (yakıt akışı) farklıdır. Bunun sebebi; veriler değişik bölgelerden toplanırken, modelde kullanılan değer tektir. Benzer şekilde, polinomlu diğer tepki testleri için de belirli herhangi bir şekil mevcut değildir. Modelin ateşleme avansı ve tork gibi iki sistem girdisi de değişmektedir. Fakat, en azından diğer tepkilerden (örneğin *CO*) en az bir tanesi için ampirik kanıtlar çok basit bir ateşleme avansı şekli ortaya koyarlar. Bu bir sabit veya ateşleme avansının lineer bir ifadesidir[1].

Eğer daha önceki mühendislik bilgileri göz önüne alınırsa, model sebebiyle oluşan önemli bir problemle daha karşılaşılır. Örneğin, bir motorun fiziksel yapısı, yakıt akışı arttıkça gücün artması yönündedir. Fakat, mevcut durumda kullanılan

uydurulmuş model biçiminin bu basit ilişkiyi içerip içermediğinin bile ortaya konması zordur[1].

Değişkenler arasındaki bağıntularla ilgili mühendislik tecrübelerinin çoğu, sistem çıktılarının ve ateşleme avansının diğer parametrelerin değişmesiyle ne kadar değiştiği durumunu inceler. Çünkü, verinin çoğunluğu bu yöntemle toplanmaktadır. Ayrıca verinin başlangıç incelemesi, bu yöntemle toplanan veri hakkında bilgi sağlamaktadır[1].

Örnek olarak; mühendislik çalışmalarının ilgilendiği bir alan olan, “belli bir motor çalışma koşulundaki maksimum torku veren ateşleme avansı” verilebilir. Bu ateşleme avansı değeri *MBT* (maksimum frenleme torku zamanlaması) olarak anılır ve aynı zamanda kalibrasyon için bir başlangıç noktasıdır. *MBT* değeri, bir referans noktası olarak kullanılmaktadır ve diğer sistem çıktıları *MBT* de en yüksek duruma gelirler[1].

Motor yanma odasında yakıtın yanmasıyla ilgili basit ve anlaşılır açıklamalar vardır. Örneğin; maksimum gücü elde etmek için, silindir içindeki gazın maksimum sıkıştırıldığı anda, pistonunun odanın üst ölü noktasına en yakın durumda olması gerekmektedir. Motor devri değiştikçe yanma oranının sabit olduğu farz edilirse, maksimum gücü elde etmek için daha hızlı hareket eden pistonun, üst ölü noktaya gelmeden daha önce (daha büyük ateşleme avansı değerinde) bujilerin ateşlenmesi gerekir. Bu nedenle *MBT*, motor devrinin artan bir fonksiyonudur. Benzer düşünceler diğer bağıntılar için de ortaya konabilir[1].

Mevcut modelin bu tarz bilgileri içermesi imkansızdır ve bu bağıntıların uydurulmuş modelde bulunduğunu kontrol etmek zordur. Bunları, uydurulmuş modelin katsayıları cinsinden ifade etmek olası değildir. Bu nedenle yararlanılmayan geniş bir bilgi kaynağı vardır[1].

Yanmanın fizik ve kimyasına dayanan bilgisayar simülasyon modelleri, bu bilgilerin modellemenin içine direkt olarak tanıtılmasında bir yol olarak kullanılmıştır. Fakat kalibrasyon için gerekli doğruluğu sağlayamamışlardır. Bu modellerin, ilerideki

ampirik model oluşturulma çalışmalarında yardımcı olarak kullanılabilirler ümit edilmektedir[1].

3.2.3. Modelin genişletilmesi

Mevcut modelin kompleks oluşunun bir başka sonucu da genişletilmesinin zor oluşudur. Modern bir motor çok fazla ayarlanabilir motor parametresine sahiptir. Örneğin; modelin, motor çıktısını etkileyen valf zamanlaması değişkenini içermesi istenebilir.

Aynı zamanda işlem, mevcut olan farklı motor dizayn tiplerinin modellenmesini sağlamak açısından yeterli ölçüde çeşitlilik içermemektedir. Örneğin; turboşarjlı bir motorda, turbosarjın çalışıp çalışmadığını belirtmek imkansız olduğundan modellemek zordur[1].

3.2.4. Standart tekniklerin uygulanması

Mevcut motor haritalama metodolojisi yüzünden, deneysel dizayn ve tepki yüzeyi metodolojisi gibi standart istatistiksel yöntemlerin uygulanması zordur. Bu teknikler ampirik model yapısının kabul edilmiş, temel çalışmalarını şekillendirirler[1].

Bahsedilen zorluğun sebebi, motorun çalıştırılabildiği ateşleme avansı değerlerinin diğer motor parametrelerinin bir fonksiyonu olmasıdır. Aynı şekilde, elde edilebilen tork değerleri dizisi de diğer motor parametrelerinin (örneğin hızın) bir fonksiyonudur. Özellikle; tork modelin bir girdisi olarak düşünülürse, kullanılan deney uzayı son derece düzensizdir. Düzgün geometrik şekilleri temel alan standart deneysel dizaynları kullanmak zordur[1].

Aynı zamanda, motor haritalama deneyi yakıt akış hızı gibi bir tepki değişkenini içerdiğinde, sabit ve ölçülen sistem girdilerinden birisini standart deneysel dizaynla sağlamak zordur[1].

3.2.5. Verinin hiyerarşik doğası

Önemli istatistiksel bir sorun da; modelin mevcut haliyle verinin hiyerarşik yapısını göz önüne almamasıdır. Model, normal en küçük kareler regresyon yöntemi kullanılarak uydurulur. En küçük kareler regresyon yönteminin geçerli olması için, gözlemlerin karşılıklı ilişkisinin olmaması varsayımının yapılması gerekir. Bununla beraber, verinin bu yapısı ile aynı test içindeki noktaların karşılıklı ilişkisi olması muhtemeldir. Bu sebeple, mevcut haliyle şu anki yaklaşım temel olarak geçersizdir.

Çok aşamalı modeller, tam olarak bu tip yapıya sahip verileri ele almak için geliştirilmiştir. Goldstein, normal regresyon yöntemlerinin bu tip veriler için neden uygun olmadığı konusunda bir tartışma oluşturmuştur. Çok aşamalı modellerin özel bir sınıfı olan tekrarlı ölçüm modelleri, amaç bir regresyon modeli olduğunda bu tip veriye uygulanan en yaygın model sınıfıdır[1].

3.3. Motor Haritalama için İki Aşamalı Model Yaklaşımı

Yüksek doğruluklu motor modelleri, kalibrasyona harcanan eforun azaltılması ve motor geliştirme zamanının düşürülmesi için anahtar bir elemandır.

ECU kalibrasyonu için harcanan zaman, yeni motor kontrol bileşenlerinden dolayı artmaktadır. Yeni kontrol bileşenleri; motor performansının artmasına, egzoz emisyonlarının azalmasına ve yakıt tüketiminin iyileştirilmesine güç katmaktadır. Yeni bileşenlerden elde edilen mevcut kazanımlar, gelişmiş modelleme ve optimizasyon tekniklerini gerekli kılmaktadır. Gelişmiş modelleme teknikleri, karışık ve lineer olmayan motor davranışlarının iyi anlaşılmasını öne sürer. Yüksek

doğruluklu modeller, sınırlandırılmış optimizasyonla tespit edilen kontrol parametreleri için, optimal ayarlamalı temel kalibrasyon haritalarını içeren dizayn işlemlerinde kullanılabilirler[3].

3.3.1. Deney dizaynı ve motor modellemenin kullanım amaçları

Deney dizaynı ve motor modelleme yaklaşımları, birçok kontrol edilebilir değişkene sahip karışık motorlar için geliştirilen optimal motor kalibrasyonlarının, en düşük maliyet ve zamanla gerçekleştirilmesini sağlarlar[3].

Motor testlerinin gerçekleştirilmesi oldukça pahalı bir işlemdir. Bu aşamada “Deney Dizayn Metodolojisi”, en kısa sürede maksimum bilgiyi elde edebilecek en etkili test noktalarının seçimi çalışmalarında yardımcı olmaktadır. Böylece, motor karmaşıklığı (sistem girdi sayısı) ve testlerin mal oluşu (toplam test sayısı) arasındaki üstel bağımlılık ortadan kaldırılabilir. Model uydurmaya yetecek miktarda ve istatistiksel olarak en kullanışlı verilerin toplanması sağlanabilir[3].

Deney dizayn test noktaları, gerçekçi olmayan operasyon noktalarında çalışarak motora zarar verebilen pahalı arızalar ve problemlerden sakınılmasını temel alan önceki deneyimlere göre sınırlandırılabilir[3].

İstatistiksel modellemede kullanılan motor verilerinin davranışı, bu konuda çok önemli bir yer ihtiva eden ve emisyon sınırlandırmalarının optimal olarak nasıl ayarlandığını ortaya koyan motor performans ve kalibrasyon ayarı etkileşimlerinin tanımlanmasına yardımcı olur[3].

Aynı zamanda, testlerden elde edilen motor verilerinden oluşturulan doğru istatistiksel modeller, motorun düzgün çalışmadığı kalibrasyon tablolarının sınır bölgeleri ile motorun sağlıklı çalıştığı operasyon bölgeleri arasındaki yumuşak geçişi sağlayan kalibrasyon tablolarının geliştirilmesinde de kullanılabilir[3].

En yüksek performansı garanti eden, metodik ve tekrar edilebilen işlemlerle oluşturulmuş motor modellerinden elde edilen optimal kalibrasyonlar, motorlarda emisyonları, sürdürülebilirliği ve malzeme kullanım sınırlamalarını konu alırlar[3].

3.3.2. İki aşamalı modellemenin tanıtılması

Kalibrasyon tablolarının oluşturulabilmesi için öncelikle, motorun devir, ateşleme avansı, kam mili zamanlaması vb. değişik değerlerindeki motor çıkış torku ve egzoz sıcaklığı davranışının doğru olarak modellenmesine ihtiyaç duyulur. İhtiyaç duyulan bu modellerin oluşturulmasındaki ilk adım, en yararlı test noktalarının seçilmesi için yapılan “deneysel dizayn” oluşturma işlemidir[3].

Deney dizaynına başlamadan önce yapılması gereken çalışma “iki aşamalı test planı” oluşturma işlemidir. Bunun için, kullanılacak modelin tipi ve model girdileri tanımlanır[3].

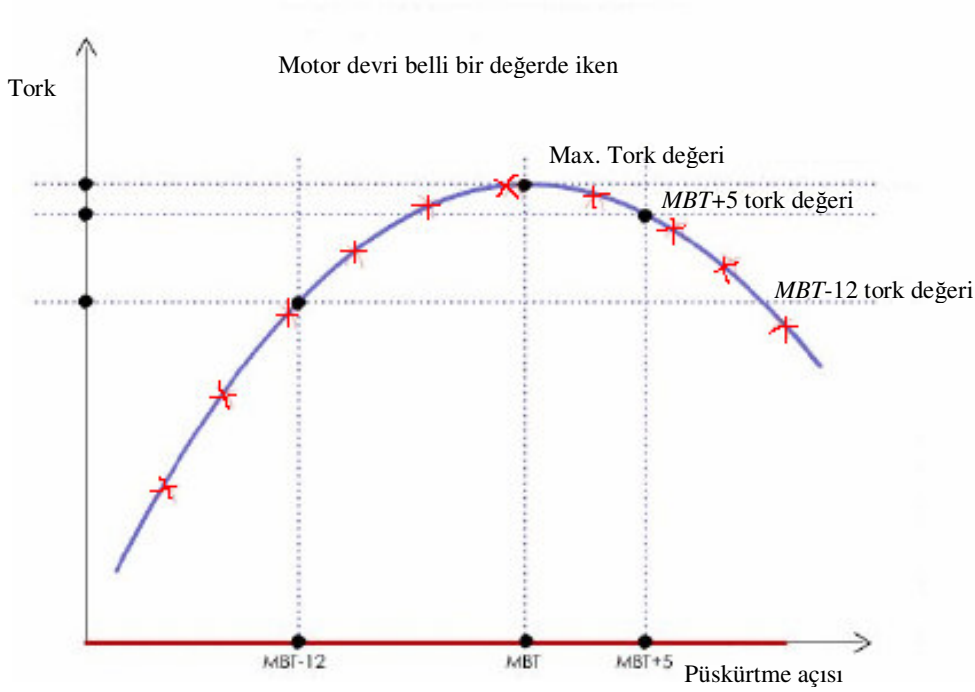
“İki aşamalı test planı” nedir? MATLAB® Calibration Toolbox Model Browser programında model kurabilmek için bir test planı kullanılır. İki aşamalı yöntem, motor verilerinin toplandığı alışılmış yöntemle başvurur. Örneğin; her testte, ateşleme avansı (lokal değişken), diğer değişkenler (motor devri ve yükü gibi) sabit tutulurken taranır ve bunlar global değişkenler olarak tanımlanır. Her test, global değişkenlerdeki değişik bir noktada icra edilir. İstatistiksel modellerin kurulumu, bu tekil taramaların hesaba katılarak işlemdeki mühendislik bilgisinin birleştirilebilmesine olanak sağlar. Böylece, sadece eğrilerin matematiksel özelliklerine tabii olmak yerine, tork / ateşleme avansı taramaları diyagramlarda görülebilir ve modellemede *MBT* gibi değişkenler de kullanılabilir. Bu sayede, motor değişken parametrelerinin umulan davranışları hakkında iyi bir model seçmeye yardımcı olmak açısından, daha önce elde edilmiş tecrübe bilgileri de bu çalışmalarda kullanılabilir[3].

Yapılan taramalardaki uzak noktalar kolayca tanımlanabilir. Model Browser programı elde bulunan veriyi görselleştirerek, kullanıcıya şüpheli taramaların araştırılması ve teşhis edilmesi konusunda yardımcı olur. Ayrıca kullanıcıya, veriye en uyumlu modelin hangisi olduğuna karar verme aşamasında da yardımcı olur. Daha çok kontrol edilebilir değişken içeren daha kullanışlı günümüz motorlarındaki karmaşık verilerin araştırılmasında bu görsel yardımcıları çok işe yaramaktadır[3].

Modellerin kurulumunda, verilerin toplandığı yöntemin hesaba katılması daha güvenli modellerin oluşturulmasına yardımcı olur. Ayrı ayrı taramalar arasındaki hataların ve tarama içi hataların bölünmesine izin verilebilmesi de istatistiksel olarak çok doğru bir işlemdir. Modeller kurulurken, iki aşamalı bir test planı kullanılır, çünkü veriler buna çok uygundur. Ateşleme avansı, diğer değişkenler sabit tutulurken değiştirilir, böylece toplanan veriler hiyerarşik bir yapıdadır. Modellerimiz de bu bilgiyi kapsama eğilimindedir. İki aşamalı modellemenin nasıl yapıldığı ve MATLAB® Calibration Toolbox Model Browser programı ile ilgili daha detaylı bilgi Bölüm 5'te verilecektir. Motor testleri sonunda elde edilmiş veriler kullanılarak modeller oluşturulacak ve modellerin oluşturduğu matematiksel eğriler yorumlanacaktır.

3.3.3. İki aşamalı bir model nasıl yapılandırılır?

Lokal modeller her testteki veriye en iyi uyan eğriyi bulurlar. Bu durumda her test, torkun; püskürtme açısı, motor devri, motor yükü, hava-yakıt oranı gibi değişkenlerin değerlerinin sabit tutulması durumunda yapılan taramaları suretiyle gerçekleştirilmektedir. Yapılan bu tez çalışmasında, motor üzerinden manuel olarak ayarlanan püskürtme açısı değeri, örneğin; -2° 'de iken, 850-2480 rpm arasındaki on adet motor devri değerinde (Bkz. Tablo 3.1), 200-2000 Nm arasındaki on adet tork değeri ayrı ayrı uygulanarak taramalar gerçekleştirilmiştir. Böylece, bu çalışmadaki her tarama dizisi; $“1 \text{ (püskürtme açısı)} \times 10 \text{ (motor devri)} \times 10 \text{ (tork değeri)} = 100”$ adet test içermektedir. Şekil 3.1, tek bir taramanın lokal modele uydurulmuş örnek eğrisini göstermektedir.



Şekil 3.1. Lokal model uydurulmuş bir tarama testine örnek eğri [3]

Lokal modeller, global modellerin türetilmesi için katsayılar temin ederler. Bu lokal model eğrilerini tanımlayan denklemler, “max ve knot” gibi eğri tepe noktasındaki tork ve *MBT* ateşleme avansı bilgilerini içeren kesin katsayılar barındırırlar.

Global model uzayındaki değişik yerlerde oluşturulan ve her teste uydurulan lokal modeller Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Her lokal modelin *MBT* ve tepe noktası torku için katsayıları mevcuttur. Bu katsayılar, global modellerin uydurulmasında bilgi olarak kullanılırlar. *MBT* ve tepe noktası torku gibi katsayılar, modellemenin ikinci aşamasının daha bilinçli yapılmasında kullanılırlar ki; bir mühendis, *MBT* püskürtme avansı gibi bir özelliğin, global faktör uzayında bazı anlaşılması güç eğri uydurma parametreleriyle nasıl değişim gösterdiğini daha kolay anlayabilmektedir. Mühendisler, bu ve buna benzer değişkenlerin yardımıyla, bir modelin bir motorun davranışını ne kadar iyi tanımladığına karar verirler. Böylece, daha bilinçli olarak yapılan çalışmalar, oluşturulan modellerin güvenilirliğini artırır.

Global modellerdeki eğrilerin, test verilerine en iyi uyum gösterdiği durum ele alınsın ve buna örnek olarak her test için *MBT* verilsin. Lokal modellerin değişik

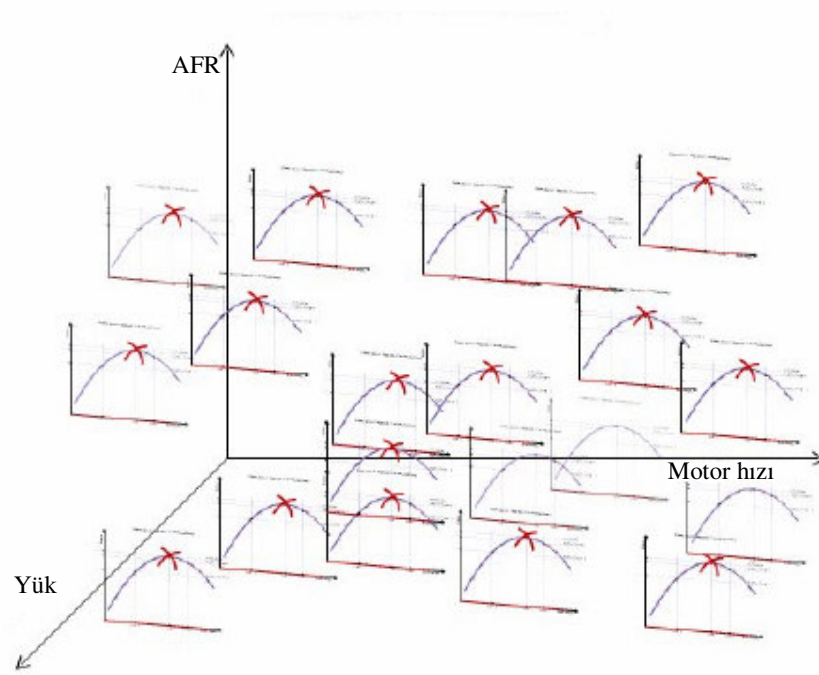
katsayılarına uydurulan çeşitli global modellerin üretilmesi işlemi, her katsayı için tekrarlanır. Bu katsayılar, lokal modellerin tepki özelliklerini (response) içermektedirler. Şekil 3.3 hız / yük global uzayından geçen maksimum tork için örnek bir global modeli göstermektedir.

İki aşamalı model, bütün global modeller üzerinden oluşturulmuş ve bütün global değişkenlerin davranış tarzını açıklayan bir yüzeydir.

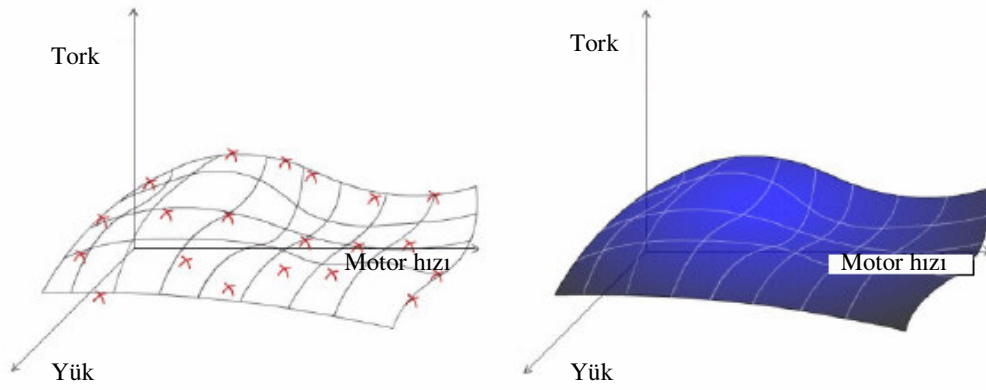
Lokal ve global modelleri iki boyutlu dilimlerin bir dizisi olarak düşünmek oldukça yararlı bir yöntemdir. Burada, global model dilimlerinin eğrilerinden oluşturulan üç boyutlu yüzeyler iki aşamalı modellerdir. Daha fazla ölçüyü görselleştirmek zordur. Şekil 3.4'teki örnekte; *MBT*, tepe noktası torku, *MBT*'nin öncesi ve sonrasındaki bir derecedeki tork değeri gibi lokal tork / ateşleme eğrileri için mevcut bulunan global modellerin, hız / yük global uzayında nasıl değişim gösterdiği görülmektedir. Şekilde, sağ tarafta gösterilen *MBT*'ye ait global modelin 2 boyutlu grafikleri, *MBT*'nin motor hızıyla nasıl değiştiğini göstermektedir.

İki aşamalı model, ateşleme avansına karşılık yeni bir tork eğrisi üretilmesi için, sabit bir değerdeki her katsayı için değer alabilir. Bu, iki aşamalı model yüzeyinin bir dilimidir.

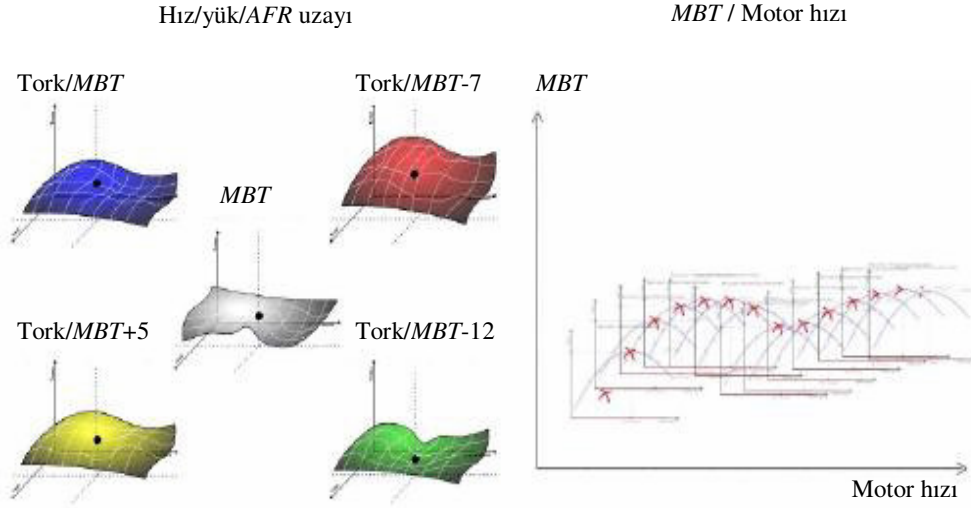
Diğer yönden, iki aşamalı model lokal uyum ve gerçek veriyle karşılaştırılmak suretiyle test edilebilmektedir. Örneğin; bir operasyon noktasında *MBT*, tepe noktası torku değerleri ve iki aşamalı model eğrilerinden yararlanarak, lokal tork / ateşleme avansı eğrisi yapılandırılabilir. Ardından, bu yeniden yapılandırılmış eğrinin orijinal eğri ve veriye göre geçerliliğinin tespiti yapılır. İki aşamalı model, testler arasında veri içermeyen ara değerlerdeki tarama işlemleri için sistem tepkilerinin tahmin edilmesinde de kullanılabilirler. Eğer, iki aşamalı modelin lokal taramaların karşılaştırılması sonucunda doğru uyum gösterdiği görülürse, bu motor davranışının global değişkenler üzerinden iyi tanımlandığı işaretini vermektedir[3].



Şekil 3.2. Hız, yük, *AFR* uzayındaki örnek bir test planı [3]



Şekil 3.3. Hız, yük, tork uzayındaki maksimum tork global modeli [3]



Şekil 3.4. Hız, yük, AFR uzayındaki MBT/motor hızı grafiği [3]

3.3.4. Motorlar için iki aşamalı modelleme

Lindstrom ve Bates [8], değişken deneysel şartlar altında tekrarlanabilir bazı testlerden elde edilen veriler gibi, tekrarlanabilir ölçümleri tanımlamışlardır. Tekrarlanmış ölçümlerin önemli bir sınıfı, uzaydaki pozisyon veya zamanla sıralanmış gözlemlere dayanan boylamsal verilerdir[3].

Bu şekilde modellenen veri, ölçülen sistem tepkisi “y” ve tekrarlanan ölçüm faktörü veya değişken “x” arasındaki ilişkinin karakterize edilmesini içermektedir. Sıklıkla, y ve x arasındaki altı çizilen sistematik bağ lineer değildir. Bazı durumlarda, ilişkili lineer olmayan model, fiziksel veya mekaniksel zeminden türetilir. Fakat, diğer şartlarda bir lineer olmayan ilişkinin, veri için uygun ampirik tanımlamanın temini açısından kolayca kabul edilmesi mümkündür. Tekrarlanmış gözlemlerin mevcudiyeti, deneysel verideki değişimin karakterize edilmesinde özel bir önem gerektirir. Özel olarak, testler arasındaki rasgele değişim ile verilen bir testin ölçümleri arasındaki değişimin açıklıkla belirtilmesi büyük önem arz eder. Sonuç prosedürleri, bu değişken komponentleri uygun hiyerarşik istatistiksel modellerle beraber barındırır. Bu fikir, tekrarlanmış ölçüm verisinin arkasındaki temel fikirdir.

Holliday [1,9] muhtemelen, motor ateşleme ve enjeksiyon verilerine lineer olmayan tekrarlanmış ölçümler analizi prosedürlerini uygulayan ilk bilim adamıydı. Holliday'in çalışmalarının merkezi, motor haritalama deneylerinden elde edilen verilerin modellenmesiydi. Bu deneylerde; motor hızı, yük ve hava/yakıt oranı sabit bırakılırken, ateşleme avansı değiştirilmekteydi. Değişik motor tepki karakteristikleri, örneğin; tork ve emisyon miktarları gibi, her ateşleme ayarında ölçülmekteydi. Holliday, her tarama işlemi için tepki karakteristiklerini ateşleme avansının bir fonksiyonu olarak modelledi. Bireysel tarama parametrelerindeki değişimler, global motor operasyon değişkenleri olan hız, yük ve hava/yakıt oranının bir fonksiyonu olarak modellenmiştir. Bu kurallar, diğer değişkenler sabit değerlerde tutulurken, tek bir motor kontrol değişkeninin taranması yöntemiyle elde edilen verilerle yapılan diğer kararlı durum motor modelleme çalışmaları içinde genelleştirilebilmektedir[3].

3.3.5. Lokal modeller

Bağımsız bir değişkenin fonksiyonu olarak, bir veri tarama işlemine göre lokal yoldan yapılan sistem tepki modellerine “lokal modeller” denir. Aşağıdaki (3.1) denklemi bir lokal modeli ifade etmektedir;

$$y_i^{(j)} = f_i(s_i^{(j)}, \theta_i) + \varepsilon_i^{(j)} \quad j = 1, 2, \dots, m_i \text{ için} \quad (3.1)$$

Burada; i indisi hangi test olduğunu, j indisi kaçınıcı gözlem olduğunu, m_i i . testte yapılan gözlem sayısını, $s_i^{(j)}$ j . bağımsız değişkeni (örn; ateşleme avansı), θ_i ($r \times 1$) parametre vektörünü, $y_i^{(j)}$ i . testte j . gözlem esnasında elde edilen sistem tepkisini, $\varepsilon_i^{(j)}$ bir vektör olup normal dağılımlı değişkeni ifade etmektedir. (3.1) denklemi, eğri uydurma parametrelerinin lineer veya lineer olmayan bir fonksiyonu olabilir[3].

3.3.5.1. Lokal değişken modelleme

Lokal model, i . test boyunca alınan ölçümlerle bağlantılı olan sistematik ve tesadüfi değişimlerin her ikisini de açıklar. Sistematik değişim f fonksiyonuyla karakterize edilirken, değişim ε_i tesadüfi hata vektörüyle yapılan dağıtımsal varsayımlar yoluyla karakterize edilir. Lokal değişim (3.2) denkleminde gösterilmiştir;

$$\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2, C_i, (\beta_i, \xi_i)) \quad (3.2)$$

Burada; C_i bir $(n_i \times n_i)$ değişken matrisini, σ^2 katsayı değişimini, ξ_i değişimin heterojenliğini ve seri olarak veriler arasında bağ olasılığı oluşturan dağıtma parametresi vektörünü ifade etmektedir[3].

“MATLAB[®] Calibration Toolbox Model Browser” programı aşağıdaki değişken model tiplerini destekler;

$$\text{- Güç Değişim Modeli} \quad \rightarrow \quad c_i = \text{diag}\{f(x_i, \beta_i)^{\delta_1}\} \quad (3.3)$$

$$\text{- Üstel Değişim Modeli} \quad \rightarrow \quad c_i = \text{diag}\{\exp(f(x_i, \beta_i)\xi_1)\} \quad (3.4)$$

$$\text{- Karışık Değişim Modeli} \quad \rightarrow \quad c_i = \text{diag}\{\xi_1 + f(x_i, \theta_i)\xi_2\} \quad (3.5)$$

Burada, $\text{diag}\{x\}$ diagonal matristir.

3.3.5.2. Tepki nesneleri

Mühendislik gözüyle bakıldığında, eğri uyum parametreleri genel olarak önceden sezilebilen bir yoruma sahip değillerdir. Bundan öte, eğrilerin geometrik özelliklerinin karakterize edilmesi daha çok ilgilenilen bir alandır. Crowder ve Hand [10]’in “tepki nesneleri” terminolojisi bu geometrik özellikleri açıklamakta kullanılır. Genel olarak, i . taramaya ait olan p_i tepki nesnesi vektörü, (3.6) denkleminde verildiği gibi, karşılayan eğri uyum parametre vektörü θ_i ‘nin lineer olmayan fonksiyonu (g)’ dir ;

$$p_i = g(\theta_i) \quad (3.6)$$

3.3.6. Global modeller

Global model oluşturma, sistem tepki nesnelindeki değişimlerin global değişkenlerin bir fonksiyonu olarak modellenmesi işlemidir. Tepki nesnelere, eğri uyum parametrelerinden öte, modelleme prosedürünün ikinci aşamasında oluşturulur, çünkü bunlar mühendislik yorumu gerektiren kavramlardır. Bu durum, modelleme işleminin ikinci aşamasının önsezgisel kalmasını sağlar. Böylece bir mühendis, *MBT*'nin anlaşılması zor olan eğri uyum parametresi tahmini işleminde, motor operasyon sırasına göre davranış biçimi olan bir tepki nesnesinin nasıl olduğuna dair daha iyi bilgi sahibi olabilir[3].

MBC Toolbox programında mevcut olan global modellerden bir tanesindeki global ilişki aşağıdaki gibi açıklanabilir. Bu kısımda sadece, aşağıda sunulan lineer modellerle ilgilenilecektir;

$$p_i = X_i \beta + \gamma_i \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, r \quad (3.7)$$

Burada, X_i i . ateşleme avansı taramasındaki motor operasyon şartları hakkında bilgi içerir, β uyum prosedürü ile tahmin edilen global parametre vektörüdür, γ_i normal olarak dağıtılmış tesadüfi hatalar vektörüdür. γ için hata dağılımı hakkında bazı varsayımlar yapma gereği vardır ve bu (3.8) de gösterilen tipik normal dağılımla ifade edilir;

$$\gamma_i \sim N_r(0, D) \quad (3.8)$$

Burada, r tepki nesnesi sayısıdır, D boyutları ($r \times r$) olmakla beraber değişken matrisi tanımlamakta olup, simetrik ve pozitif tanımlıdır. D matrisinin köşegenindeki terimler, bireysel tepki nesnelere tahmini ile bağlantılı olan ve testten teste olan

değişimi ifade eder. Köşegen dışı terimler ise, tepki nesnesi çiftleri arasındaki değişimi ifade eder. Bu çoklu değişim analiziyle yapılan ek değişken terimlerin tahmini, parametre tahminindeki doğruluğu artırır[3].

3.3.6.1. İki aşamalı modeller

İki modeli birleştirmek için gerekli olan ilk şey tepki nesnesi vektörü p_i ile ilgili olan dağıtım varsayımlarını gözden geçirmektir. p_i 'nin değişimi ($\text{Var}(p_i)$) (3.9)'da gösterildiği gibidir;

$$\text{Var } p_i = \left[\frac{\partial g(\theta_i)}{\partial \theta} \right] \sigma^2 C_i \left[\frac{\partial g(\theta_i)}{\partial \theta} \right]^T \quad (3.9)$$

Burada, $\sigma^2 C_i$, $\text{Var } p_i$ 'yi ifade etmektedir. Böylece, p_i (3.10)'daki gibi dağıtılır;

$$p_i \sim N_r(p_i, \sigma^2 C_i) \quad (3.10)$$

Burada, C_i θ_i değişkeni üzerinden f_i 'ye ve yine θ_i 'nin tepki nesnesi p_i 'ye dönüşümü üzerinden g_i 'ye bağlıdır. C_i 'nin tespiti için iki standart varsayım kullanılmaktadır. Bunlar; maksimum olasılık tahmininin değişimi için asimptot yaklaşımı ve maksimum olasılık tahmini fonksiyonlarının değişimi için yapılan yaklaşımlardır. Bu yaklaşımlar, Taylor Serilerinin g_i genişlemesinin temeli üzerine kurulmuşlardır. Ek olarak, lineer olmayan f_i ve g_i için, C_i bilinmeyen θ_i 'ye bağlıdır. Bundan dolayı, C_i yerine θ_i tahmini kullanılabilir. Bu yaklaşımlar, σ^2 'nin küçük olduğu veya her taramadaki (m_i) nokta sayısının geniş olduğu durumlar için daha uygundur[3].

Parametre tahmini konusuyla ilgili olarak γ_i 'nin ε_i^j 'den bağımsız olduğunu varsayılır. Bu durumda, tepki nesnesinin dağılımı (3.11) deki gibidir;

$$p_i \sim N(X_i, \beta, \sigma^2 C_i + D) \quad (3.11)$$

Bütün testlerin eş zamanlı olduğu düşünülürse (3.11) denklemi aşağıdaki formda yazılabilir;

$$P \sim N(Z\beta, W(\varpi)) \quad (3.12)$$

Burada, P n tane p_i vektörünün birbirlerinin üstüne konmasıyla elde edilen vektör, Z n tane X_i matrisinin üst üste konulmasıyla elde edilen matristir, W matrisi diyagonalında $\sigma^2 C_i + D$ ifadeleri olan blok diyagonal matrisidir. ϖ ise dağıtma parametrelerinin bir vektörüdür. Çok değişkenli normal dağılım için (3.12) eşitliği negatif olasılık fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$\log L(\beta, \varpi) = \log|W| + (P - Z\beta)'W^{-1}(P - Z\beta) \quad (3.13)$$

Böylece, maksimum olasılık tahminleri $\log L(\beta, \varpi)$ yi en aza indiren β_{ML} ve ϖ_{ML} vektörleridir. Genel olarak, dağıtma parametrelerinden daha çok uyum parametreleri mevcuttur ve β 'nin boyutları ϖ 'dan çok daha büyüktür. Ayrıca, $\log L(\beta, \varpi)$ 'nin en aza indirilmesinde, içerilen parametre sayısının en aza indirilmesi büyük bir avantaj sağlamaktadır. Burada anahtar durum, (3.13) denklemini β 'ya bağlı kalarak, pozisyon olarak lineer hale getirmektir. Böylece denklem (3.14) de gösterilen hale dönüşecektir;

$$\beta = (Z'W^{-1}Z)^{-1}(Z'W^{-1}P) \quad (3.14)$$

Burada ise anahtar durum şu olacaktır; olasılık sadece dağıtma parametresi vektörü ϖ 'ye bağlıdır. Eğer, olasılık ϖ_{ML} 'ye indirgenirse, $W(\varpi_{ML})$ bilinirken, (3.14) eşitliği de β_{ML} 'yi tespit etmekte kullanılmaktadır[3].

3.3.6.2. Global model seçimi

(3.13) numaralı eşitliği indirgemeye kalkışmadan önce, öncelikle gerekli olan husus X_i matrisinin formunu belirlemektir. Bu, her bir tepki nesnesi için bir global ifade belirlemekle aynı anlama gelmektedir. Her tepki nesnesi için global model biçimi seçilmesinde “değişken adımlı regresyon” yöntemi kullanılır. Uygun “*PRESS* istatistiği”nin seçilmesi model oluşturmanın ana kuralıdır. Bahsi geçen bu kural, değişken metotlar kullanarak olası modellerin kurulmasında kullanılır. Maksimum olasılık metotları ise bu modellerin parametrelerinin tahmininde kullanılmaktadır[3].

3.3.6.3. Değişkenler için başlangıç değerleri

Global değişkenlere ait ilk tahminler Steimer [11]’in standart iki aşamalı tahmini kullanılarak yapılmıştır[3].

$$D_{STS} = \frac{1}{r-1} \sum_{i=1}^r (p_i - X_i \beta)(p_i - X_i \beta)^T \quad (3.15)$$

Burada, β bütün global değişken modellerden elde edilen tahmindir.

3.3.6.4. Quasi-Newton algoritması

(3.15) denkleminin indirgenmesindeki ima edilen durum, D ’nin pozitif tanımlı olmasıdır. D ’nin pozitif olması durumu, bir üst üçgensel G matrisi mevcut olduğunda meydana gelir. Aşağıdaki denklem bunu göstermektedir;

$$D = G'G \quad (3.16)$$

Bu çarpanlara ayırma durumu Quasi-Newton Algoritması'nda kullanılır. Öncelikle bu yaklaşımın yararı şudur; D ile çalışmaya göre G ile çalışmak daha sınırsızdır[3].

3.3.6.5. İstenen geliştirme algoritması

İstenen geliştirme algoritması, olasılık fonksiyonunun geliştirilmiş çözümü üzerinden birleştirme yapan tekrarlanmış bir metottur. Her tekrarlama iki adımda gerçekleştirilir;

- a. Adım 1: İsteme (expectation) adımıdır. Verilen mevcut parametre tahminleri için “tepki nesnesi tahmini” üretilen safhadır.
- b. Adım 2: Geliştirme (maximization) adımıdır. Yeni tepki nesneleri için, parametrelerin (global model parametreleri ve değişken matris) yeni tahminlerinin oluşturulmasını sağlar.

Bu adımlar, toleranslardan daha az olan olasılık fonksiyonu değerinin artışına kadar tekrarlanır. İstenildiğinde bu konu ile ilgili daha detaylı bilgi [12] numaralı kaynakta bulunabilecektir[3].

3.4. İki Aşamalı Modellemede Kullanılan Lokal ve Global Model Tipleri

İki aşamalı modelleme için Tablo 3.5'te gösterilen model tipleri mevcuttur. Burada; (1) üstel rakamıyla gösterilen “çoklu modeller” lokal modeller için global tipe geçişi sağlarlar.

(2) üstel rakamıyla gösterilen “polinomlar ve polinom eğrileri” tek girdi faktörlü lokal modeller için özel lineer model tipleridir. Bu modeller çok faktörlü lokal modeller için lineer model seçiminde kullanılırlar.

(3) üstel rakamıyla gösterilen “kullanıcı tanımlı ve geçici modeller” kullanılırken MATLAB[®] Calibration Toolbox Model Browser programında bu özelliklerin yüklü

Tablo 3.5. İki aşamalı modellemede kullanılan model tipleri [6]

MODEL TİPİ	BİR AŞAMALI	İKİ AŞAMALI GLOBAL ve 2nci AŞAMA	İKİ AŞAMALI LOKAL ve 1inci AŞAMA
Lineer Model (Linear Model)	Mevcut	Mevcut	Mevcut
Radyal Temel Fonksiyon (Radial Basis Function)	Mevcut	Mevcut	–
Hibrid RBF (Hybrid RBF)	Mevcut	Mevcut	–
Çoklu Lineer Modeller (Multiple Linear Models)	Mevcut	Mevcut	–
Serbest Düğüm Eğrisi (Free knot spline)	Mevcut-sadece tek faktörlü	Mevcut-sadece tek faktörlü	Mevcut-sadece tek faktörlü
Sinir Ağı (Neural net)	Mevcut	–	–
Ortalama Eğrisi (Average fit)	–	–	Mevcut
Çoklu Modeller (Multiple models ¹)	–	–	Mevcut
Artan Modeller (Growth models)	–	–	Mevcut-sadece tek faktörlü
Polinomlar (Polynomial ²)	–	–	Mevcut-sadece tek faktörlü
Polinom Eğrileri (Polynomial spline ²)	–	–	Mevcut-sadece tek faktörlü
Kısaltılmış Güç Serileri (Truncated power series)	–	–	Mevcut-sadece tek faktörlü
Kullanıcı Tanımlı (User defined ³)	Mevcut-sadece tek faktörlü	–	Mevcut
Geçici (Transient ³)	Mevcut-tek zaman faktörlü	–	Mevcut

olup olmadığı teyit edilmelidir. Bunlar, faktör sayısı belirli olan lokal modellerde mevcut olacaktır.

3.4.1. Global model kurulumu

Yapılacak olan iki aşamalı modelleme çalışmasında kullanılacak çok sayıda global model çeşidi mevcuttur. Bu modeller aşağıda belirtilmiştir;

- Polinomlar ve hibrid eğrileri (global lineer modeller)
- Radyal temel fonksiyonlar

- Hibrid *RBF*'ler
- Çoklu lineer modeller
- Serbest düğüm eğrileri

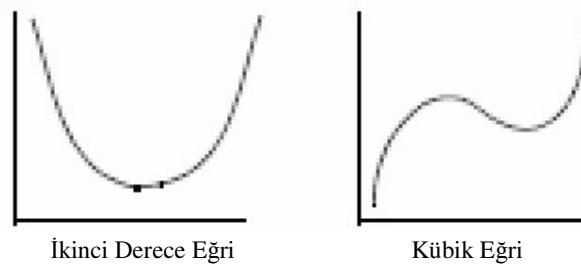
3.4.2. Global lineer modeller

3.4.2.1. Polinomlar

Polinomlar, n . sıra halinde aşağıdaki şekilde bulunurlar ve her girdi faktörü için istediğimiz sırayı seçebiliriz;

$$\beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 + \dots + \beta_n x^n \quad (3.17)$$

Şekil 3.5'te görüldüğü gibi, $y = ax^2 + bx + c$ gibi bir ikinci dereceden polinomun tek dönüş noktası vardır. $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$ gibi bir kübik eğrinin ise iki adet dönüş noktası vardır. Polinomun derecesi arttıkça, birçok dönüş noktası uydurmak mümkündür. n . dereceden bir polinomun ise $(n-1)$ adet kıvrımı vardır[6].



Şekil 3.5. Polinom eğrileri [6]

3.4.2.2. Hibrid eğrileri

Hibrid eğrisi modeli, bir faktör için eğri uydurma işleminde ve diğer bütün polinomlarda kullanılabilir.

Bir eğri, polinomun değişik kısımlarının yumuşak geçişli bir şekilde beraber bulunduğu ve birbirine uydurulduğu kısımdır. Birleşim yerlerine “düğüm” adı verilir. Gerekli düğüm sayısı ve pozisyonu (maksimum elliye kadar) seçilebilir. Bu durumda düğümler arasındaki eğrilerin bütün parçaları aynı sıra polinomlardan oluşurlar. Sıra sayısı (üçe kadar) seçilebilir[6].

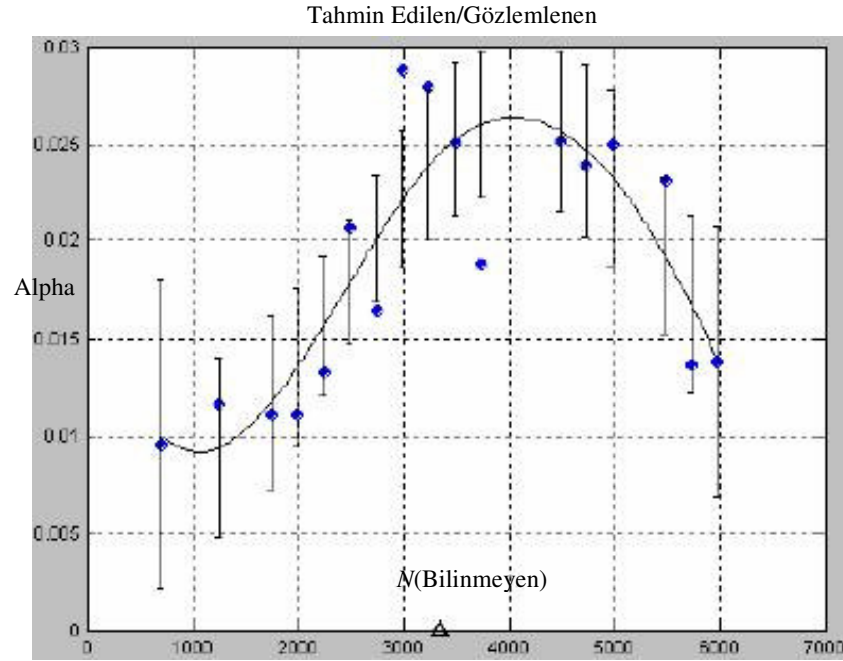
Şekil 3.6’da tek düğümlü ve üçüncü-sıra temel fonksiyon bir eğrinin şekli görünmektedir. Düğüm pozisyonu N ekseninde işaretlenmiştir[6].

Bu diyagramlar yardımıyla çok daha karışık eğriler uydurulabilmektedir. Bu diyagramlar en karışık durumlarda nasıl davranış göstereceği bilinmeyen faktörler için çok kullanışlıdır. Böylece; tek faktör için sistem tepkisindeki detaylı dalgalanmalar modellenmektedir[6].

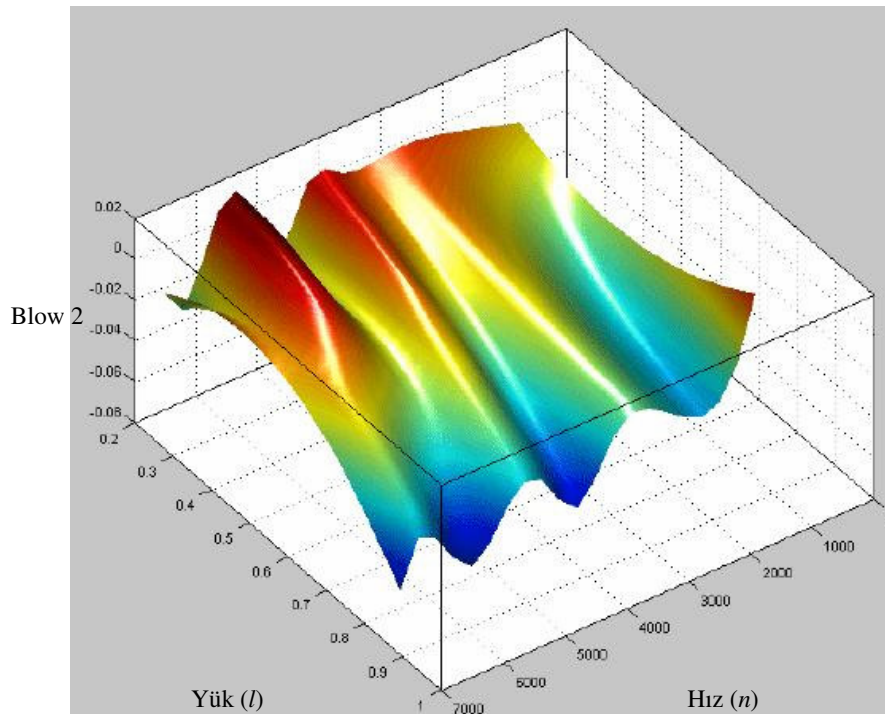
Kolaylaştırılmış modeller için, diğer faktörleri diyagrama uydurulacak olan faktör ve her faktör için gereken polinom sıraları kullanıcı tarafından seçilebilmektedir. Her faktör için seçilebilecek maksimum sıra kübiktir. Şekil 3.7’de hibrid eğrilerinden oluşan örnek bir yüzey görülmektedir[6].

3.4.3. Radyal tabanlı fonksiyonlar

MATLAB[®] MBC Toolbox programında radyal tabanlı fonksiyonların (*RBF*) pek çok çeşidi mevcuttur. Bunların bütünü radyal simetrik fonksiyonlar olmakla beraber, dairesel ve eliptik, tepe ve çukurlardan oluşan esnek yüzey haritalamalarının görselleştirilmesinde kullanılabilirler[6].



Şekil 3.6. Tek düğümlü ve üçüncü-sıra temel fonksiyon eğrisinin şekli [6]



Şekil 3.7. Sistem tepkisi-yük (l)-hız (n) hibrid eğrilerinden oluşan yüzey [6]

RBF ağları geniş bir yüzey çeşitliliğini modelleyebilmektedir. Merkezler ve pozisyonları, yükseklik ve genişlikleri optimize edilebilmektedir. Değişik faktörlerde değişik merkez genişlikleri elde edilebilmektedir. Aynı zamanda, *RBF*'ler sistemle ilgili mevcut bilginin düşük olması durumunda, yüzey şekillerinin araştırılmasında da kullanılabilirler. Çeşitli *RBF*'lerin birleştirilmesi durumu karışık yüzeylerin birkaç parametreye bağlı olarak modellenmesine izin vermektedir. Şekil 3.8'deki örnek bir *RBF* modeline ait yüzey şeklini göstermektedir[6].

3.4.3.1. Radyal temel fonksiyon kılavuzu

Bir radyal temel fonksiyonun biçimi aşağıdaki gibidir;

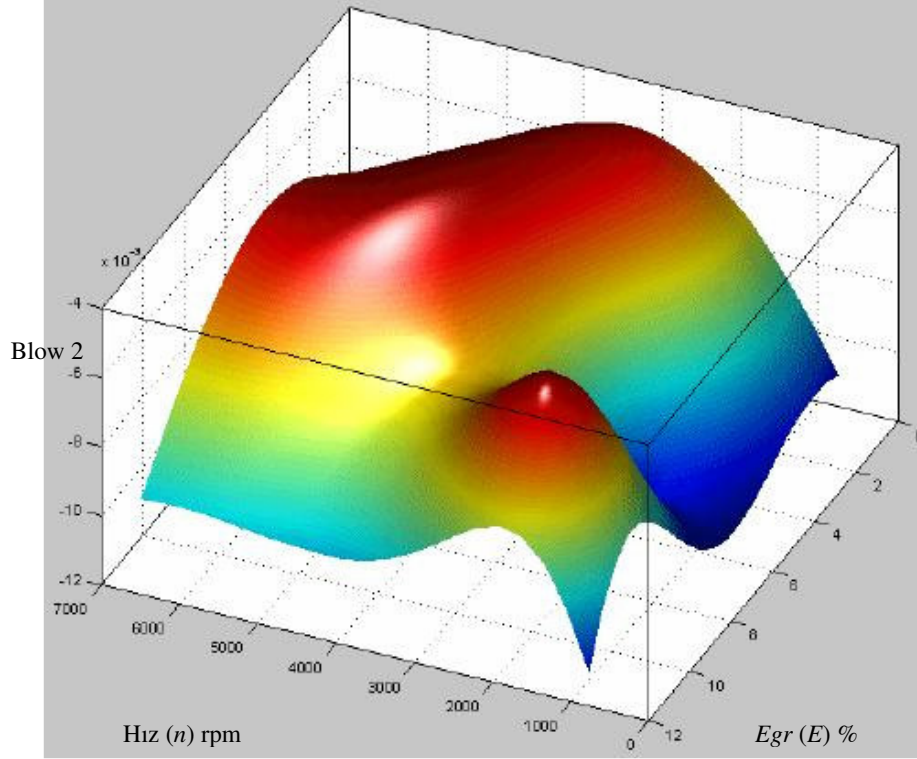
$$z(x) = \Phi(\|x - \mu\|) \quad (3.18)$$

Burada, “ x ” n -boyutsal vektörünü, “ μ ” radyal temel fonksiyonun merkezi olarak adlandırılan bir n -boyutsal vektörünü, “ $\| \cdot \|$ ”sembolü öklit mesafesini ve “ Φ ” ise pozitif sistem girdisi değerlerini tanımlayan profil fonksiyon olarak başvurulan bir değişken fonksiyonu ifade etmektedir[6].

Bir model, N adet ayrı merkez ile N adet ayrı radyal temel fonksiyonunun lineer kombinasyonu ile oluşturulmaktadır. Verilen bir x girdi vektörü ve *RBF* vektörünün çıktısı olan \bar{y} aktif vektörü aşağıdaki bağıntıyla ifade edilebilir;

$$\bar{y}(x) = \sum_{j=1}^N \beta_j z_j(x) \quad (3.19)$$

Burada, “ β_j ” j . radyal temel fonksiyona bağlı olarak ağırlığı ve $z_j = \Phi(\|x - \mu_j\|)$ göstermektedir. \bar{y} çıktısı ise, y değerlerinin bir hedef setidir[6].



Şekil 3.8. Bir *RBF* modeline ait yüzey şekli[6]

MBCT programında radyal temel fonksiyonların çeşitleri mevcut bulunmaktadır ve bunların herbiri “ Φ ” sembolüyle karakterize edilmektedir. Aynı zamanda bütün radyal temel fonksiyonlar, merkezleri etrafındaki fonksiyon yayılımıyla ilişkili bir genişlik parametresi olan “ σ ” ile bağlantılıdır[6].

Radyal temel fonksiyonlarla ilgili diğer bir parametre de “ λ ” düzeltme parametresidir. Bu parametre genellikle küçük pozitif bir parametredir ve bütün sabitleme algoritmalarında kullanılır. Ağdaki çakışmalara eğilimi azaltır. Bu çakışma durumu ise; y hedef değerlerinin iyi uydurulmuş, fakat düşük tahmin kabiliyetine sahip olması durumudur[6].

Model kurulumu yaparken, “*RBF Kernel*”leri seçme şansı mevcuttur. Burada Kernel ifadesi, *RBF*’lerin multiquadric, gaussian ve thinplate vb. gibi halleri için kullanılmaktadır.

3.4.3.2. Gaussian fonksiyonu

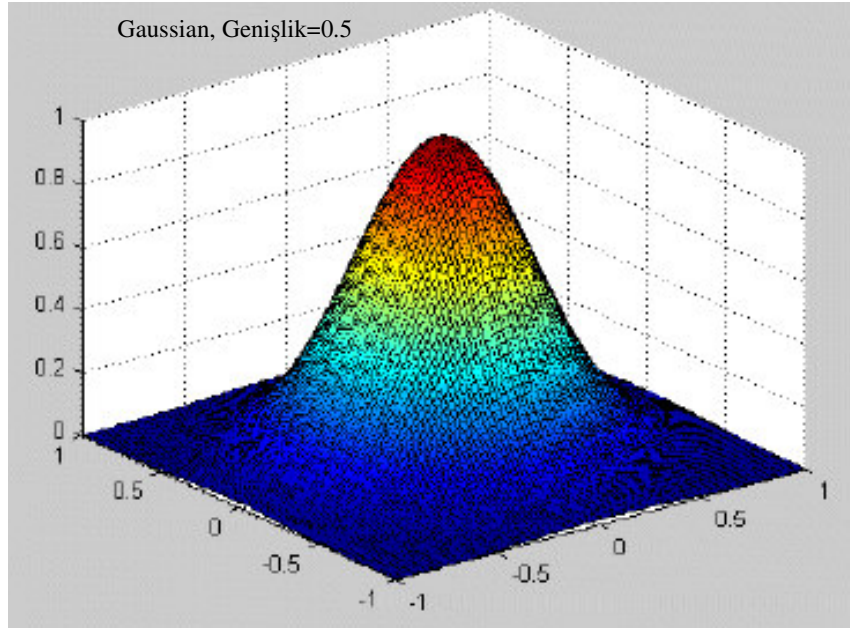
Bu radyal temel fonksiyon genellikle sinir ağlarında en çok kullanılan fonksiyondur. Profil fonksiyonu (3.20) numaralı formülde gösterildiği gibidir,

$$\Phi(r) = e^{(-r^2/\sigma^2)} \quad (3.20)$$

Böylece, radyal temel fonksiyon (3.21) numaralı formülde gösterildiği gibi elde edilir;

$$z(x) = \exp\left(\frac{\|x - \mu\|^2}{\sigma^2}\right) \quad (3.21)$$

Bu durumda, genişlik parametresi gaussian fonksiyonundaki standart sapmanın aynısıdır. Şekil 3.9'da örnek bir gaussian fonksiyonu gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Örnek bir Gaussian fonksiyonu

3.4.3.3. İnce plaka eğrisi (thin plate spline)

Bu radyal temel fonksiyonlar bir yumuşatma eğrisine örnek teşkil eder. Genellikle düşük-sıra polinom terimlerinden oluşurlar. Profil fonksiyonu (3.22) numaralı formülde gösterilmiştir ve Şekil 3.10'da örnek bir ince-plaka fonksiyonu verilmiştir.

$$\Phi(r) = (r/\sigma)^2 \log(r/\sigma) \quad (3.22)$$

3.4.3.4. Lojistik temel fonksiyonu

Bu radyal temel fonksiyon tipinin profil fonksiyonu (3.23) numaralı formülde gösterildiği gibidir. Şekil 3.11'de örnek bir lojistik temel fonksiyonu verilmiştir.

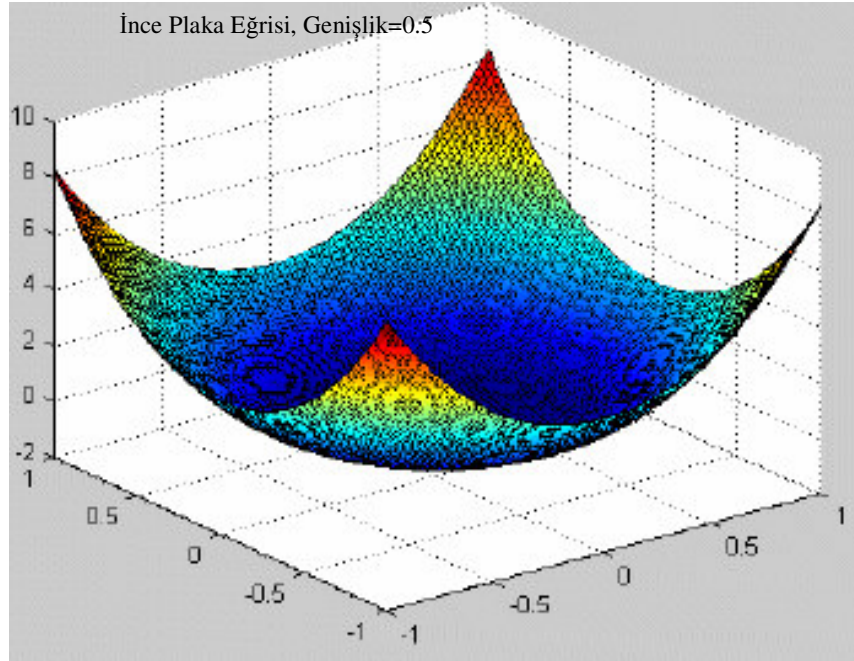
$$\Phi(r) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{r}{\sigma}\right)} \quad (3.23)$$

3.4.3.5. Wendland fonksiyonu

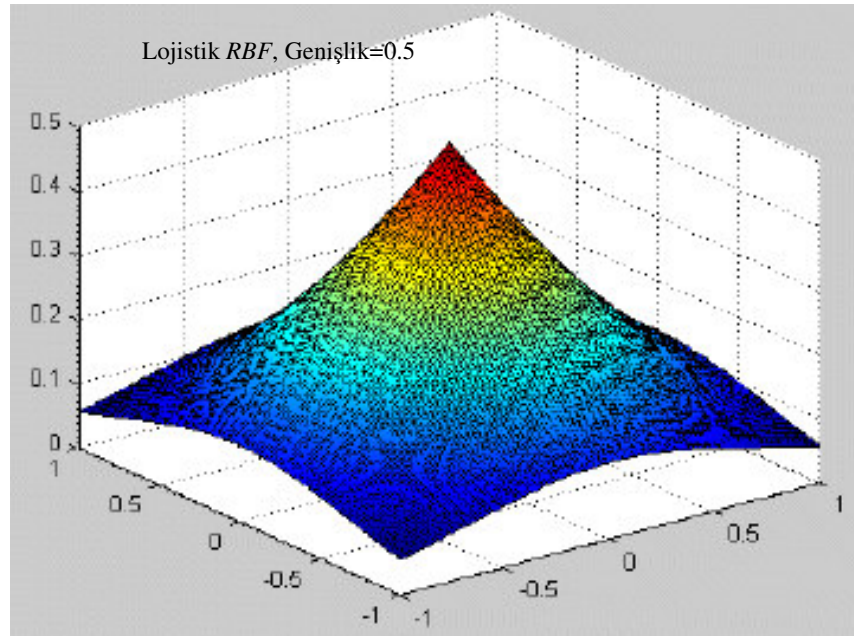
Bu biçim, radyal temel fonksiyonların polinom profil fonksiyonunu oluşturan bir ailesidir. Aile üyeleri, verilerin ve istenen miktarda devamlılık polinomunun elde edildiği (n) uzayının ölçülerine bağlı olarak seçilir.

a 'nın pozitif kısmı için $a_+ = \begin{cases} a, a < 0 \\ 0, a \leq 0 \end{cases}$ simgesi kullanılır.

r , $[0,1]$ kümesi içindeyken bütün radyal temel fonksiyonlar sıfır haricinde bir değere sahip olurlar. Önceki formülde r yerine r/σ yazarak desteği $[0,\sigma]$ ile değiştirebilmek mümkündür. Burada σ parametresi, radyal temel fonksiyonun genişliğini ifade etmektedir.



Şekil 3.10. Örnek bir ince-plaka (thin plate) fonksiyonu



Şekil 3.11. Örnek bir lojistik radyal temel fonksiyonu

Tablo 3.6. Wendland fonksiyonları

BOYUTLAR	SÜREKLİLİK	PROFİL
$n=1$	0	$\Phi(r) = (1-r)_+$
	2	$\Phi(r) = (1-r)_+^3(3r+1)$
	4	$\Phi(r) = (1-r)_+^5(8r^2+5r+1)$
$n=3$	0	$\Phi(r) = (1-r)_+^2$
	2	$\Phi(r) = (1-r)_+^4(4r+1)$
	4	$\Phi(r) = (1-r)_+^6(35r^2+18r+3)$
$n=5$	0	$\Phi(r) = (1-r)_+^3$
	2	$\Phi(r) = (1-r)_+^5(5r+1)$
	4	$\Phi(r) = (1-r)_+^7(16r^2+7r+1)$

$n>5$ ve süreklilik >4 durumundaki profil fonksiyonları için benzer formüller mevcuttur. Aynı zamanda, sürekliliği 6'nın üzerinde ve herhangi bir n ölçü uzayındaki durumlar için de Wendland fonksiyonları mevcuttur. (Bkz. Şekil 3.12)

Kullanımla ilgili önemli notlar;

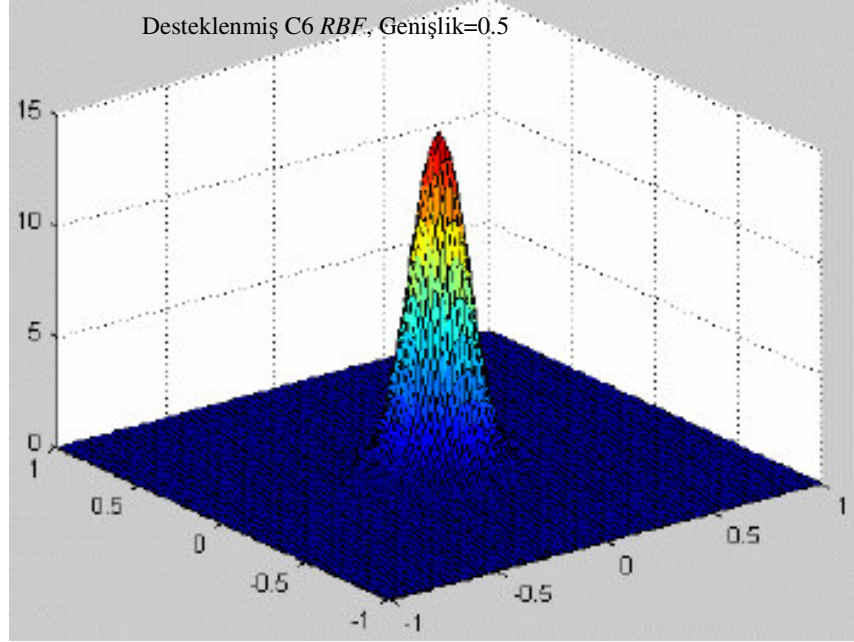
- Daha iyi tahmin özellikleri genellikle daha yüksek süreklilik durumuyla bağlantılıdır.
- Wendland fonksiyonlarının genişlik parametresi için verilen bir veri seti Gaussian için seçilmiş bir genişlik veri setinden daha geniş olabilmektedir.

3.4.3.6. Çoklu ikinci derece (multiquadratic) fonksiyonu

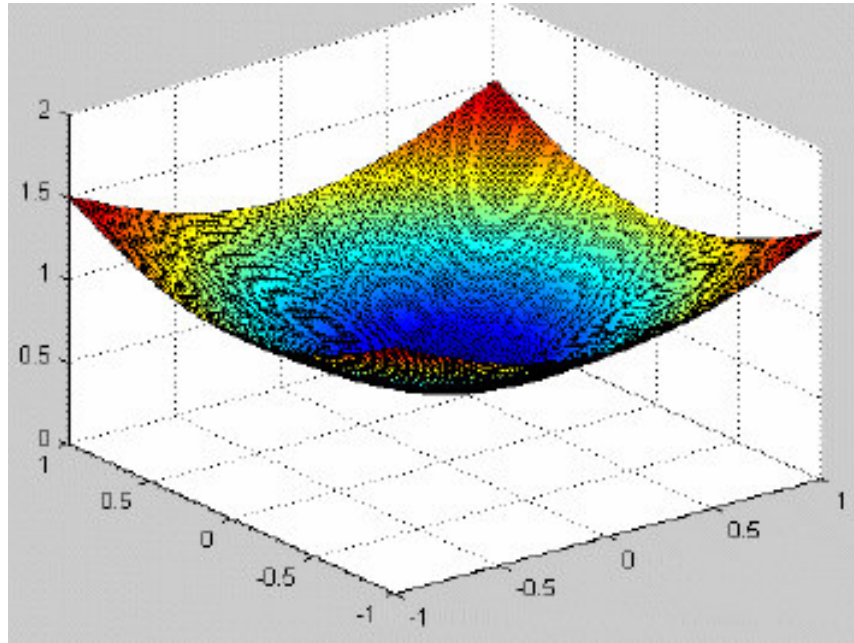
Bu fonksiyon dağınık verilerin uydurulması için en popüler araçtır. (Bkz. Şekil 3.13)

Profil fonksiyonları (3.24) numaralı formülde gösterildiği gibidir;

$$\Phi(r) = \sqrt{r^2 + \sigma^2} \quad (3.24)$$



Şekil 3.12. Örnek bir Wendland fonksiyonu



Şekil 3.13. Örnek bir multiquadratic fonksiyonu

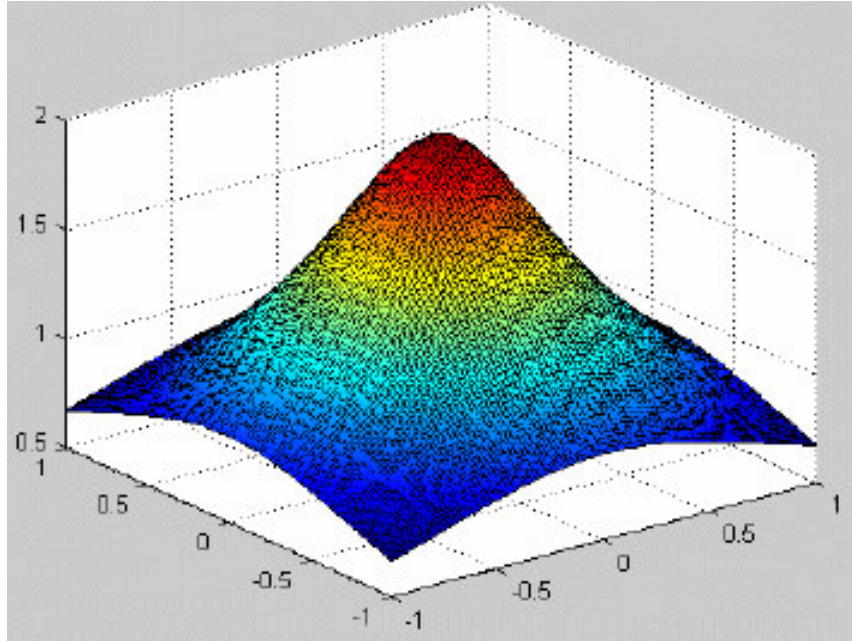
3.4.3.7. Karşıt çoklu ikinci derece fonksiyonu

Bu tip fonksiyonların profil fonksiyonları (3.25) numaralı formülde gösterildiği gibidir. Şekil 3.14'da örnek bir lojistik temel fonksiyonu gösterilmektedir[6].

$$\Phi(r) = 1/\sqrt{r^2 + \sigma^2} \quad (3.25)$$

3.4.4. Hibrid radyal tabanlı fonksiyonlar

Hibrid *RBF*'ler bir radyal temel fonksiyon modeli ile, polinomlar ve hibrid eğrileri gibi standard lineer modelleri birleştirirler. Bu iki bölüm, genel modeli şekillendirmek için beraber eklenmiştir. Bu yaklaşım, *RBF*'lerin parametrik olmayan yapısıyla, değişkenlerden birindeki ikinci derece davranış beklentisi gibi öncelikli bilgilerin birleştirilmesi kabiliyetini sunar[6].



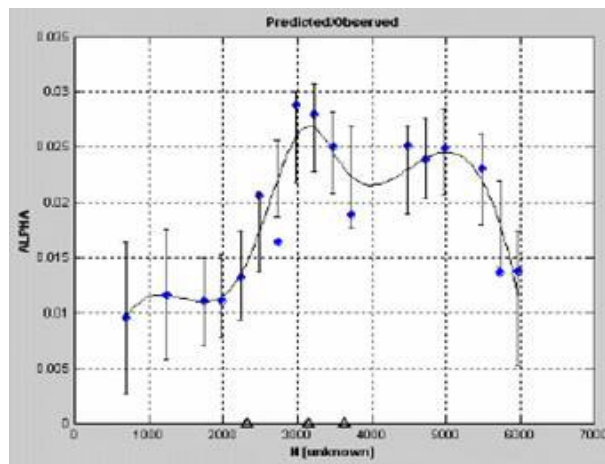
Şekil 3.14. Örnek bir karşıt çoklu ikinci derece fonksiyonu [6]

3.4.5. Çoklu lineer modeller

Bu tip modeller, başlıca olarak optimal dizayn kullanılarak yapılan deney dizaynlarında kullanılırlar. Eğer, kullanıcının ne tür bir model uydurulacağıyla ilgili hiçbir fikri yoksa bir “boşluk doldurma dizaynı” seçilebilir. Fakat, yapılacak işle ilgili fikir var olmasına rağmen hangi model kullanılacağı konusunda kesinlikle emin olunamıyorsa, *MBCT* programında bulunan mevcut modeller kullanılabilir. Örnek olarak; eğer kullanıcı, iki faktör için bir ikinci dereceden ve bir kübik model düşünüyorsa ve üçüncü faktörün modeli hakkında kesin bir fikre sahip değilse, bu durumda çeşitli alternatif polinomlar kullanabilmektedir[6].

3.4.6. Serbest düğüm eğrisi

Bu tür modeller yalnızca tek girdi faktörlü global modeller için geçerlidir. Bu modellerin hibrid eğrilerinden başlıca farkları; hibrid eğrilerinin düğüm pozisyonlarının seçilebilmesi, serbest düğüm eğrilerinde ise; optimal düğüm noktası pozisyonlarının eğri uydurma işleminin bir parçası olarak hesaplanmasıdır. Aşağıda verilen Şekil 3.15, üç düğümlü bir serbest düğüm eğrisi modelini örnek olarak göstermektedir. Düğümlerin pozisyonu N ekseninde işaretlenmiştir[6].



Şekil 3.15. Örnek bir serbest düğüm eğrisi modeli [6]

3.4.7. Lokal model kurulumu

Yapılacak olan iki aşamalı modelleme çalışmalarında kullanılabilcek çok sayıda “lokal model” çeşidi mevcuttur . Bu modeller aşağıda verilmiştir;

- Polinomlar
- Polinom eğrileri
- Kısaltılmış güç serileri
- Serbest düğüm eğrileri
- Artan modeller
- Lineer modeller
- Ortalama eğri uydurma
- Çoklu modeller
- Kullanıcı tanımlı modeller

3.4.7.1. Polinomlar

Eğer lokal seviyede yalnızca tek sistem girdi faktörü mevcutsa, lokal model sınıfları listesinden direkt olarak “polinomlar” seçilebilir. Burada kullanılan polinomun sırasını da seçmek mümkündür. Ayrıca seçilen model çeşidine göre bir “datum model (bilinen model)” de tanımlanabilmektedir[6].

Eğer bir tek faktörden daha fazla faktör mevcutsa, lokal model sınıfları listesinden lineer modeller, ortalama uydurma, çoklu modeller ve geçici modeller seçilebilmektedir. Polinomlarla ilgili daha ayrıntılı bilgi için 3.4.2.1 numaralı paragrafa da bakılabilir[6].

3.4.7.2. Polinom eğrileri

Polinom eğrileri tork ve püskürtme avansı modellemesi için çok önemlidir. Bu modellerin sadece bir adet düğümü mevcuttur. Polinom sıraları da, bu düğümün altında veya üstünde seçilebilmektedir. Hibrid eğrisi global modelleri de eğrileri kullanmaktadır, fakat baştan sona aynı sıra polinomlara sahiptirler[6].

Polinom eğrileri sadece tek sistem girdi faktörleri için mevcuttur. Şekil 3.16'daki örnek, veri noktalarına uygun şekilde uydurulmuş tipik bir tork / ateşleme avansı eğrisini göstermektedir. En tepedeki kırmızı nokta düğümü göstermektedir, düğümün önündeki ve arkasındaki eğri değişmektedir. Bu durumda, düğümün önündeki fonksiyon bir kübik temel fonksiyon, düğümün arkasındaki fonksiyon ise bir ikinci dereceden fonksiyondur[6].

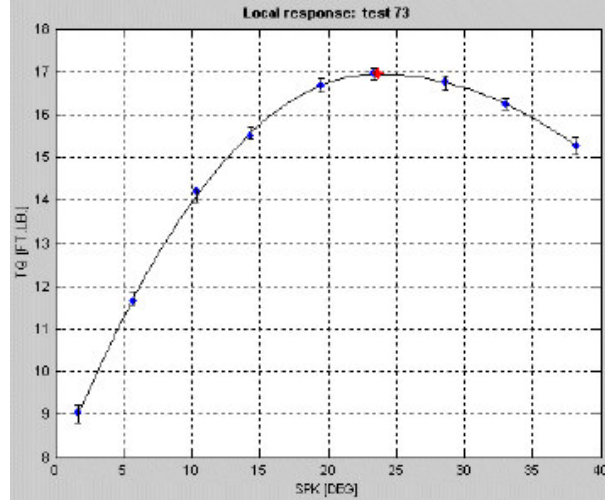
Lokal minimum ve maksimumun her iki tarafındaki asimetric eğriyle, tek ve iyi bir şekilde tanımlanan sistem tepkileri modellenirken, aşağıdaki eğri sınıfları tanımlanır;

$$y_{ij} = \beta_o + \sum_{a=2}^c \beta_{Low_a} (x_j - k)_+^a + \sum_{b=2}^h \beta_{High_b} (x_j - k)_+^b \quad (3.26)$$

Burada; k düğüm yerleşim yerini, β regresyon katsayısını ifade eder.

$$(x_j - k)_- = \min\{0, (x_j - k)\}, \quad (x_j - k)_+ = \max\{0, (x_j - k)\} \quad (3.27)$$

Burada, c soldaki polinom için kullanıcının belirlediği derecedir, h sağdaki polinom için kullanıcının belirlediği derecedir ve "low ve high" alt indisleri düğümün solunu (altını) ve sağını (üstünü) ifade etmektedirler. Burada şuna dikkat edilmelidir ki; $(x_j - k)_-$ ve $(x_j - k)_+$ değerlerini hariç tutarak düğüm pozisyonundaki ilk türevin devamlı olması sağlanır. Ek olarak, β_o sabiti düğümdeki uyum fonksiyonunun değerine eşit olmalıdır. Bu değer sabit bir noktadır[6].



Şekil 3.16. Örnek bir tork / ateşleme avansı eğrisi [6]

Bu model sınıfı için tepki nesnelere aşağıda verilenler gibi seçilebilir;

- Uyum sabitleri $\{\beta_o, \beta_{Low_2}, \dots, \beta_{Low_p}, \beta_{High_2}, \beta_{High_q}\}$
- Düğüm pozisyonu $\{k\}$
- Kullanıcının belirlediği delta uyum fonksiyonunun değeri, $\{\Delta a_j = x_j - k\}$ ' dir. Eğer datum tanımlanmışsa, düğüm pozisyonu $\{f(\pm\Delta a_j)\}$ ' dir, aksi halde değer mutlaktır.

Düğümdeki uyum fonksiyonunun değeri ile düğüm pozisyonundan elde edilen kullanıcının belirlediği deltanın uyum fonksiyonunun değeri arasındaki fark aşağıda belirtilmiştir;

$$\{f(\pm\Delta a_j) - f(k)\} \quad (3.28)$$

3.4.7.3. Kısaltılmış güç serileri

Bu tür modeller sadece tek bir sistem girdi faktörü için kullanılırlar.

Kısaltılmış güç serilerinin temel eğrileri için polinom temel fonksiyonunun derecesi ve düğüm sayısı seçilebilmektedir. Sistem girdisi düğüm değerinin üzerine geçtiğinde, kısaltılmış güç serisi tarafından katsayılar en yüksek güç için değiştirilir.

Burada “kısaltılmış” terimi kullanılır, çünkü güç serileri polinom terimlerinin sonsuz toplamının yaklaşık bir tahminidir. Sonsuz toplamlar keyfi fonksiyonların yaklaşık tahmini için kullanılabilir. Fakat, açık olarak bellidir ki bütün katsayılar eğri uydurulması mümkün değildir[6].

3.4.7.4. Kısaltılmış güç serilerinin temel eğrileri

Keyfi düğüm sıralamalı (genelde artan şekilde) eğri fonksiyonlarının genel bir sınıfı aşağıda verilen (3.29) ve (3.30) numaralı denklemlerde gösterilmiştir.

$$k = \{k_1, k_2, \dots, k_k\}^T \quad (3.29)$$

$$f(x) = \sum_{i=0}^m \beta_i x^i + \sum_{i=0}^k \beta_{m+i} (x - k_i)_+^m \quad (3.30)$$

Burada, sıralı düğümlü $k = \{k_1, k_2, \dots, k_k\}^T$, m serisinin bir eğrisini tanımlar[6].

Bu model sınıfı için sistem tepki nesnelere aşağıda gösterildiği gibi seçilebilir;

- Uyum sabitleri $\{\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_{m-1+k}\}$
- Düğüm pozisyon vektörü $\{k\}$
- Kullanıcının belirlediği bir $\{a_j\}$ değerindeki uyum fonksiyonu $\{f(a_j)\}$ 'nin değeri
- $n = 1, 2, \dots, m-2$ iken kullanıcının belirlediği bir $\{a_j\}$ değerinde $x_j \{f(a_j)^n\}$ 'li uyum fonksiyonunun n. dereceden türevinin değeri

3.4.7.5. Serbest düğüm eğrisi

Bu modelde düğüm sayısı ve uydurulan polinomun derecesi 1'den 3'e kadar seçilebilmektedir. *MBC* Toolbox programındaki başlangıç (default) durum kübiktir.

$(x_j - k_i)_{m-1}^+$ kaynağı tahmin ve değerlendirme amacına çok fazla uygun olmayabilir, dizayn matrisi zayıf durumda olabilir. Ek olarak, eğri fonksiyonunu değerlendirmek için gereken aritmetik operasyonların sayısı x_i 'nin düğümlerle alakalı olan yerleşimine bağlıdır. Bu özellikler, bilhassa düğüm sayısı çok olan durumlarda bazı nümerik yanlışlıklara yol açabilir. Bu tarz problemler serbest düğüm eğrileri kullanılarak azaltılabilir.

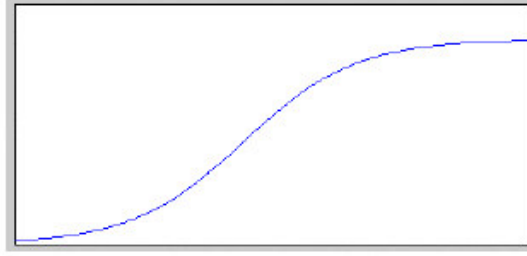
Bu model için aşağıda verilmiş sistem tepkisi modelleri seçilebilir;

- Uyum sabitleri $\{\beta_{-(m-1)}, \beta_{-m}, \dots, \beta_k\}$
- Düğüm pozisyon vektörü $\{k\}$
- Kullanıcının belirlediği bir $\{a_j\}$ değerinde $\{f(a_j)\}$ uyum fonksiyonunun değeri

3.4.8. Artan modeller

Artan modellerin aşağıda verilen değişik çeşitleri mevcuttur. Bu tür modeller sadece tek sistem girdi faktörleri için kullanılırlar;

- Üç parametrelili lojistik modeli
- Morgan-Mercer-Flodin modeli
- Dört parametrelili lojistik eğrisi
- Richards eğrileri
- Weibul artan eğrisi
- Üstel artan eğrileri
- Gompertz artan modeli



Şekil 3.17. Örnek bir artan model eğrisi

Şekil 3.17’de, iki asimptot arasındaki “sigmoidal” eğrinin bütün değişimleri görülmektedir. Artan modeller, hava doldurmalı (air-charge) motor modelleri için çok sık olarak kullanılan ve uygun olan model tipidir.

3.4.8.1. Üç parametrelili lojistik model

Üç parametrelili lojistik eğrisi aşağıdaki (3.31) denklemi ile ifade edilir;

$$y_j = \frac{\alpha}{1 + \exp(-K(x_j - \gamma))} \quad (3.31)$$

Burada α final ölçüdür, K ölçüm parametresidir, γ ise eğrinin eğrilme noktasının x ordinatını göstermektedir. Eğrinin asimptotları $y_j = 0$ ’da $x_j \rightarrow -\infty$ ve $y_j = \alpha$ ’da $x_j \rightarrow \infty$ ’dur. Artış hızı $x_j = \gamma$ iken $y = \alpha/2$ ’de maksimumdur. Maksimum artış hızı $(K\alpha)/4$ ’e karşılık gelir. Aşağıda verilen sınırlamalar uyum katsayılarına uygulanır;

$$\alpha > 0, K > 0, \gamma > 0 \quad (3.32)$$

Üç parametrelili lojistik fonksiyonunun tepki nesnesi olan “g vektörü” aşağıdaki denklemlerle tanımlanır;

$$g = \left[\alpha \gamma K \frac{K\alpha}{4} \right]^T \quad (3.33)$$

3.4.8.2. Morgan-Mercer-Flodin modeli

Morgan-Mercer-Flodin (*MMF*) artan modeli aşağıdaki (3.34) denklemiyle ifade edilir;

$$y_j = \alpha - \frac{\alpha - \beta}{1 + (Kx_j)^\delta} \quad (3.34)$$

Burada, α üst asimptotun değeridir, β alt asimptotun değeridir, K ölçeklendirme parametresidir ve δ ise eğrinin eğilme noktasının konumunu kontrol eden parametredir. Eğilme noktasının konumu $\delta \geq 1$ için aşağıdaki denklemlerde verilen x ve y noktalarıdır;

$$x = \left[\frac{\delta - 1}{\delta + 1} \right]^{1/\delta} \quad (3.35)$$

$$y = \frac{\delta - 2}{2\delta} \quad (3.36)$$

$\delta < 1$ için eğilme noktası mevcut değildir. Bütün *MMF* eğrileri alt lojistikdir, bu ifade şu anlama gelmektedir; her zaman eğilme noktası %50 artışın altında konuşlanmaktadır (0.5α).

Aşağıdaki sınırlamalar uyum katsayısı değerlerine uygulanmaktadır;

$$- \alpha > 0, \beta > 0, K > 0, \delta > 0$$

$$- \alpha > \beta$$

Sistem tepki nesnesi “vektör g ” aşağıdaki denklemlerle verilmiştir;

$$g = \left[\alpha \beta K \delta \frac{\delta - 1}{2\delta} \right]^T \quad (3.37)$$

3.4.8.3. Dört parametrelı lojistik eğri

Dört parametrelı lojistik eğri aşağıdaki denklemlle tanımlanmıştır;

$$y_j = \beta + \frac{\alpha - \beta}{1 + \exp(-K(\log(x_j) - \gamma))} \quad (3.38)$$

Bu denklem için $\alpha, \beta, K, \gamma > 0, \beta < \alpha$ ve $\beta < \alpha < \gamma$ sınırlamaları söz konusudur. Aynı şekilde, α üst asimptotun değeridir, K ölçeklendirme parametresidir ve γ ise eğrinin eğilme noktasının x -ordinatını aşağıda verilen (3.39) satırında gösterilen durumda konumlandırın faktördür;

$$\exp\left(\frac{K\gamma - \log\left(\frac{1+K}{K-1}\right)}{K}\right) \quad (3.39)$$

Aşağıdaki katsayılar uyum katsayısı değerlerine uygulanmaktadır;

- Bütün parametreler > 0

- $\alpha > \beta$

Aşağıdaki (3.40) numaralı denklemde sistem tepki nesnesi “vektör g ” verilmiştir;

$$g = \left[\alpha \beta K \gamma \frac{\left(K\gamma - \log\left(\frac{1+K}{K-1}\right) \right)}{K} \right]^T \quad (3.40)$$

3.4.8.4. Richards eğrileri

Artan modellerin “Richards” eğri ailesi (3.41) numaralı denklemlerle ifade edilmektedir;

$$y_j = \alpha \left[1 + (\delta - 1) \exp(-K(x_j - \gamma)) \right]^{1/(1-\delta)}, \delta \neq 1 \quad (3.41)$$

Burada, α üst asimptotu, γ x eksenindeki eğilme noktasının konumunu, K ölçekleme faktörünü ve δ ise eğilme noktasını dolaylı olarak konumlandıran parametredir.

Eğilme noktasının y ordinatı aşağıdaki (3.42) numaralı ifadede elde edilir;

$$\frac{\alpha}{\delta^{1/(\delta-1)}}, \delta > 0 \quad (3.42)$$

Aynı zamanda, Richards eğrisi için ortalama normalleştirilmiş artım hızı olarak aşağıdaki (3.43) ifadesi bulunur;

$$\frac{K}{2(\delta + 1)} \quad (3.43)$$

Aşağıdaki katsayılar uyum katsayısı değerlerine uygulanmaktadır;

- $\alpha > 0, \gamma > 0, K > 0, \delta > 0$

- $\alpha > \gamma$

- $\delta \neq 1$

Son olarak, artan eğrilerin Richards ailesi için sistem tepki nesnesi “ g vektörü” aşağıdaki denklemde tanımlanmıştır;

$$g = \left[\alpha \gamma K \delta \frac{\delta K}{\delta 2 \delta + 1} \right]^T \quad (3.44)$$

3.4.8.5. Weibul artan eğrisi

Weibul artan eğrisi (3.45) numaralı denklemlerle ifade edilmektedir;

$$y_j = \alpha - (\alpha - \beta) \exp(- (Kx_j)^\delta) \quad (3.45)$$

Burada, α üst eğri asimptotunun değeridir, β alt eğri asimptotunun değeridir, K ölçeklendirme parametresidir ve δ ise eğrinin eğilme noktasının x-ordinatını kontrol eden parametredir.

$$\left(\frac{1}{K} \right) \left(\frac{\delta - 1}{\delta} \right)^{1/\delta} \quad (3.46)$$

Aşağıdaki katsayılar uyum katsayısı değerlerine uygulanmaktadır;

$$- \alpha > 0, \beta > 0, K > 0, \delta > 0$$

$$- \alpha > \beta$$

Aşağıdaki (3.47) numaralı denklemlerde sistem tepki nesnesi “vektör g ” verilmiştir;

$$g = \left[\alpha \beta K \delta \left(\frac{1}{K} \right) \left(\frac{\delta - 1}{\delta} \right)^{1/\delta} \right]^T \quad (3.47)$$

3.4.8.6. Üstel artan eğrisi

Üstel artan eğrisi (3.48) numaralı denklemlerle ifade edilmektedir;

$$y_j = \alpha - (\alpha - \beta) \exp(- Kx_j) \quad (3.48)$$

Burada, α üst asimptot değeridir, β başlangıç ölçüsüdür, K ölçeklendirme parametresidir (Artış hızını kontrol eden zaman sabitidir).

Aşağıdaki katsayılar uyum katsayısı değerlerine uygulanmaktadır;

$$- \alpha > 0, \beta > 0, K > 0$$

$$- \alpha > \beta$$

Aşağıdaki (3.49) numaralı denklemde sistem tepki nesnesi “vektör g ” verilmiştir;

$$g = [\alpha\beta K]^T \quad (3.49)$$

3.4.8.7. Gompertz artan modeli

Simetrik bir eğilme noktası sergilemeyen diğer bir kullanışlı formül Gompertz artan modelidir. Tanımlama denklemi aşağıda gösterilmiştir;

$$y_j = \alpha \exp\left(-e^{-K(x_j - \gamma)}\right) \quad (3.50)$$

Burada, α elde edilen son ölçüdür, K ölçeklendirme faktörü, γ eğilme noktasının x koordinatıdır. Eğilme noktasının y ordinatı α/e durumunda elde edilir. Maksimum artış hızında ise $\frac{K\alpha}{e}$ dir.

Aşağıdaki sınırlamalar ise, Gompertz modelinin parametre değerlerinin seçiminde uygulanır;

$$\alpha > 0, K > 0, \gamma > 0 \quad (3.51)$$

Aşağıdaki (3.52) numaralı denklemde sistem tepki nesnesi “vektör g ” verilmiştir;

$$g = \left[\alpha \gamma K \frac{K \alpha}{e} \right]^T \quad (3.52)$$

3.4.9. Lineer modeller

Bu modeller çoklu sistem girdisi faktörleri için kullanılırlar. Lineer modellerden polinomlar ve hibrid eğrileri seçilebilmektedir. Bu polinomlar bazı ayarlamaları değiştirebileceğimiz değişik modellerdir. Aynı zamanda, global seviyedeki polinom modellerinde olduğu gibi, değişik faktörler için değişik dereceler seçilebilmektedir.

Bu lineer modeller için değişik tepki nesnelere mevcuttur. Bunlar polinom modelleri ve diğer polinom seçenekleridir (tek girdi faktörleri için). Tek girdili polinomların bir datum modeli bulunabilir ve tepki nesnelere bu datumla ilişkili şekilde tanımlanabilir.

3.4.10. Ortalama eğri uydurma modeli

Bu lokal model sınıfı, bütün testlere aynı modeli uydurmak için kullanılabilir. Bazen, iki aşamalı veriye sadece tek aşamalı uydurmak arzulanabilir. Örneğin, ateşleme avansı, hız, yük, hava/yakıt oranı ve egzoz gazı çevriminin bütün operasyon bölgelerinde bir *RBF* modeli uydurulmak istenebilir. Ayrıca bu modeller adım adım test çalışması üzerine model uydurma çalışmalarında oldukça kullanışlı olabilen modellerdir.

Ortalama eğri uydurma yöntemi, bütün global model seçeneklerini bütün testlere uygulayabilme şansı vermektedir. Aynı şekilde global modeller, her test için ayrı ayrı lokal modeller uydurmak yerine, veriler içindeki her teste aynı modeli uydurmaya izin veren ortalama eğri uydurma yöntemini kullanarak, bütün veriye eş zamanlı şekilde uydurulabilmektedir.

Bu yöntemin avantajı şudur; tek aşamalı modeli veriye eğri uydurma işleminde kullanırken, aynı zamanda her testi bireysel olarak görebilme şansı mevcuttur. Global model, kayıt numarası veya değişken gibi sistem girdileriyle kurulabilmektedir. Modellenmesi istenilen bütün değişkenler lokal girdi yapılabilmektedir. Burada, global girdi için kullanılanın, hangi değişken veya model tipi olduğunun önemi yoktur. Fakat, ayırt edilmesi gereken durum, lokal ortalama uydurulmuş eğri modelinin bir aşamalı modelden farkıdır. Ortalama uyum modeli bir aşamalı modele benzer yolla uydurulur (bütün testlerle eş zamanlı şekilde). Fakat ana fark şudur; ortalama uyum modelinde her testin eğriye uygunluğunu bireysel olarak analiz etme şansı mevcuttur. Bu olayı tek aşamalı modelde gerçekleştirme şansı mevcut değildir. Lokal ortalama eğri uydurma modelleri içinde iki aşamalı model mevcut değildir. Yapılacak olan çalışmada bu model tipi kullanılmayacak olup, sadece bilgi amaçlı olarak verilmiştir.

3.4.11. Çoklu modeller

Çoklu modeller, elde edilen verileri pek çok modelde denemeyi sağlayan modellerdir. Özellikle, elde bulunan test verileri arasında çok sayıda değişkenlik varsa, çoklu modelleri denemek fayda sağlar. Seçilen bütün modeller veriye uydurulur ve her testteki en iyi uydurulmuş eğri seçilir. Böylece, tek seferde, lokal modellerin pek çok çeşidi elde edilebilir. Örneğin; bazı testler için bir eğri veya radyal temel fonksiyon en iyi uyum sağlayan model olabilir, fakat diğerleri için ikinci dereceden bir model daha uygun olabilir. Bunun için, MATLAB[®] Calibration Toolbox Cage Browser programının seçim kriterlerini içeren özet istatistiklerinden faydalanarak, hangi modelin daha uygun olduğuna karar verme ve seçme şansı mevcuttur.

Bu modelin ana amacı, aynı model setini kullanan değişik testler için uygun bir modelleme mekanizması temin etmektir. Bu durumda, elde edilen veriler testlere bölünebilir ve her test için ayrı ayrı bir aşamalı test planı kullanmaksızın tek test

planı ile modelleme yapılabilir. Mevcut olan herhangi bir model (*RBF* modelleri ve Hibrid *RBF* modelleri içeren) tek aşamalı model olarak kullanılabilir.

3.5. Lineer Regresyon

Karşılıklı iki amaç arasındaki bir alış-veriş içeren mevcut terimleri ihtiva eden bir regresyon modelini oluştururken aşağıda belirtilen şartlara dikkat etmek gerekir;

- a) Model terimlerinin sayısındaki artış, her zaman “toplam kare hatası (*SSE*)”nı azaltır.
- b) Fakat, çok fazla model terimine sahip olmak karışıklığa ve eğri oluştururken üst üste gelme (overfit) sorununa yol açar. Bu durum modelin doğru tahmin gücünü düşürür.

En iyi regresyon eşitliği, karşılıklı terimler arasında tatminkar bir alış-veriş durumu sağlayandır. Şu çok iyi bilinmelidir ki “en iyi”nin kesin bir tanımı yoktur, göreceli bir kavramdır, duruma ve zamana göre değişmektedir. Değişik model oluşturma kriterleri mevcuttur; ileri seçim, geri seçim, *PRESS* araştırması, adım adım araştırma, Mallows C_p istatistiği vb. Bu kriterlere göre yapılan modeller de birbirinden farklıdır. Ayrıca şunu da belirtmek gerekir ki, eğer model oluşturma istatistiğinin en optimal değeri bulunsa dahi, bu sonuçta oluşacak modelin en optimal model olduğunu garanti etmez.

Kural olarak, kalibrasyon için regresyon model oluşturma amacını, tepki nesnesinin değeri ile ilgili gelecekle ilgili doğru tahminler yapmaktır. Bundan dolayı, hedefimiz *PRESS* gibi regresyon terimlerinin seçiminde minimum değerleri bulmaktır. Minimumlaştırılmış *PRESS*, deneysel faktör uzayında iyi tahmin kabiliyeti temin eden bir regresyon modeli için uygun bir özelliktir. Bu yaklaşım hem polinom, hem de eğri modellerine uygulanabilmektedir.

Regresyon matrisi “*MBC Design Evaluation Tool*” aracılığıyla görülebilmektedir. Bu matristeki terimler bütün modeli tanımlar.

Bütün regresyonlar kodlandırılmış ölçekleriyle (-1,1) temsil edilen faktörlerle anılırlar.

3.6. MBC Toolbox Terimleri ve İstatistiksel Tanımlamaları

Aşağıda verilen Tablo 3.7'de MATLAB[®] Calibration Toolbox Cage Browser programında kullanılan terimler ve istatistiklerin tanımlamaları verilmiştir.

3.7. Tahmin Edilen Hata Değişimi (*PEV*)

Tahmin edilen hata değişimi (*PEV*), modelin doğru tahmin yapabilme kabiliyetini araştırmak için çok kullanışlı bir yoldur. Bu yöntem, modelin tahminlerinin doğruluğunu ölçer.

PEV, dizaynlar ve modeller üzerinde denenebilir. Aşağıdaki (3.53) eşitliğini hatırlamak oldukça kolaydır;

$$PEV(\text{model}) = PEV(\text{dizayn}) * MSE \quad (3.53)$$

Buradan çıkartılan sonuç şudur; modelin tahmin kabiliyetinin doğruluğu *PEV* dizaynı ve verideki ortalama kare hatası ile doğrudan bağlantılıdır. Dizayn için *PEV*'i olabildiğince düşük yapmak denenebilir. Düşük bir *PEV* demek (sıfıra mümkün olduğunca yakın) iyi bir tahminin temin edilebileceği anlamını taşımaktadır.

Tablo 3.7. *MBC* Toolbox terimleri ve istatistiksel tanımlamaları

SEMBOL	AÇIKLAMALAR
N	Veri noktalarının sayısıdır.
p	Modelde mevcut olan terim sayısıdır.
q	Olası model parametrelerinin toplam sayısıdır. ($q=p+r$)
r	Modelde mevcut olmayan terimlerin sayısıdır.
y	$(N \times 1)$ Tepki vektörüdür.
X	Regresyon matrisidir. X 'in boyutları $(N \times q)$ dur.
X_p	Modelde mevcut olan terimlerden oluşan $(N \times p)$ model matrisidir.
X_r	Modelde mevcut olmayan terimlerden oluşan $(N \times r)$ model matrisidir.
β_p	Model katsayılarının $(p \times 1)$ vektörüdür. $\beta_p = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p\}$ $\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T y$ $\text{var } \hat{\beta} = (X^T X)^{-1} MSE$
PEV	Tahmin Hatası Değişkeni $PEV(x) = \text{var } y(\hat{y}) = x(X^T X)^{-1} x^T MSE$
α	Terimleri otomatik olarak eleyen kullanıcı tanımlı treshold kriteri
\hat{y}	Tahmin edilen tepkilerin $(N \times 1)$ vektörü $\hat{y} = X_p \beta_p$
e	$(N \times 1)$ artan vektör $e = y - \hat{y}$
$e_{(i)}$	<i>PRESS</i> artanlarının $(N \times 1)$ vektörü $e_{(i)} = e_i / (1 - H_{ii})$
H	Şapka matris $X'(X'X)^{-1}X$
L	Kaldıraç (leverage) değerlerinin $(N \times 1)$ vektörüdür. $L = \{l_1, l_2, \dots, l_n\}' = \{H_{11}, H_{22}, \dots, H_{nn}\}$
<i>VIF</i>	Değişken Enflasyon Faktörü
<i>SSE</i>	Karelerin toplamının hatası $SSE = e'e$

Tablo 3.7 (Devam). *MBC* Toolbox terimleri ve istatistiksel tanımlamaları

SEMBOL	AÇIKLAMALAR
F	F-istatistiği $F = MSR / MSE$
$MSE_{(i)}$	Veri setinden çıkartılan i . noktanın hesaplanan MSE 'sidir. $MSE_{(i)} = \frac{(N - p)MSE - e_i / (1 - H_{ii})}{N - p - 1}$
$RMSE$	Ortalama karekök hatasıdır: regresyonun standart sapmasıdır. $RMSE = \sqrt{MSE}$
$PRESS$	Kareler toplamının tahmin edilen hatası $PRESS = e'_{(i)}.e_{(i)}$

Bu durum şu şekilde de düşünülebilir; PEV dizaynı verideki hataların bir toplamıdır. Eğer; PEV dizaynı birden küçükse ($PEV < 1$) modele eğri uydurma işleminde hatalar azalır. Eğer; PEV dizaynı birden büyükse ($PEV > 1$) veri ölçümlerindeki bütün hatalar toplanmış demektir Modelin tahmin gücünün doğruluğu, PEV sıfır değerine yaklaştığında artacaktır.

Örnek olarak, bir regresyon veya dizayn matrisi verilebilir;

$$X = \begin{bmatrix} 1 & L_1 & N_1 & L_1^2 & L_1 N_1 & N_1^2 \\ 1 & L_2 & N_2 & L_2^2 & L_2 N_2 & N_2^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & L_n & N_n & L_n^2 & L_n N_n & N_n^2 \end{bmatrix} \quad (3.54)$$

Eğer gerçek model biliniyorsa, gerçek model katsayısı β 'da bilinebilir. Bu durumda aşağıdaki (3.55) denklemi elde edilir;

$$y = X\beta + \varepsilon \quad (3.55)$$

Burada ε , değişimin ölçülen hata değeridir.

$$\text{var}(\varepsilon) = MSE \quad (3.56)$$

Fakat, sadece tahmin edilen katsayılar bilinebilir;

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T y \quad (3.57)$$

(3.57) nin değişimi ise aşağıdaki gibidir;

$$\text{var } \hat{\beta} = (X^T X)^{-1} MSE \quad (3.58)$$

Modelde denenmek istenilen bazı yeni noktalar için regresyon matrisi x olarak belirlensin. Örnek olarak;

$$x = \begin{bmatrix} 1 & L_{yeni} & N_{yeni} & L_{yeni}^2 & L_{yeni} N_{yeni} & N_{yeni}^2 \end{bmatrix} \quad (3.59)$$

O zaman, bu nokta için model tahmini aşağıdaki gibi olur;

$$\hat{y} = x\hat{\beta} = x(X^T X)^{-1} X^T y \quad (3.60)$$

Bu durumda, PEV aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$\begin{aligned} PEV(x) &= \text{var}(\hat{y}) = \left(x(X^T X)^{-1} X^T \right) \left(X(X^T X)^{-1} X^T \right) MSE \\ PEV(x) &= x(X^T X)^{-1} X^T MSE \end{aligned} \quad (3.61)$$

3.8. PRESS İstatistiği

Veri setinde n adet veri bulunurken, model eşitliği $(n-1)$ adet veri ile uydurulmuştur. Kalan bir adet veri ise, modelden tahmin için alınmıştır. Kayıt edilen gerçek test verisi değeri ile modelden elde edilen veri (ihmal edilen veri) arasındaki fark ‘‘tahmin artanı’’ olarak adlandırılır. $PRESS$, tahmin artanlarının karelerinin toplamıdır. $PRESS/n$ 'in kare koku $PRESS RMSE$ (tahmin hatasının kare koku)'dir.

Burada dikkat edilmesi gereken husus şudur; tahmin artanı sıradan artandan farklıdır. Tahmin artanı bütün veri setinin modele uydurulması ile elde edilen artan, sıradan artan ise kayıt edilmiş test verilerinden elde edilen artandır.

PRESS istatistiği modelin tahmin gücüyle ilgili iyi bir bildirim aracıdır ve en düşük değerlerde olması arzulanır. *PRESS RMSE* ve *RMSE*'nin karşılaştırılması üst üste gelme (overfitting) probleminin tespit edilmesi açısından çok kullanışlı bir yöntemdir. Her veri noktası modele çok yakınlaştığı zaman *RMSE* değeri en aza inecektir, fakat veri noktası ile eğri aynı noktaya denk geldiği zaman *RMSE* değeri artacaktır. Böylece, veri noktasının yakalanması durumu, bazı zamanlar veri noktaları arasında güçlü salınımlara sebep olabilecektir. Bu davranış tarzı çok iyi *RMSE* değerleri verebilir fakat veriyi tam anlamıyla yansıtmaz ve güvenilir tahmin değerleri vermeyecektir. *PRESS RMSE* istatistiği mevcut modelin tahmin ettiği veri setindeki her noktanın regresyon içinde yer alıp almadığını test ederek koruma sağlar. Düşük *PRESS RMSE* değeri elde etmek genellikle modelin tek bir veri noktasına duyarlı olmadığını işaret eder.

İki aşamalı modeller için *PRESS* hesabı da aynı kurallara dayalı olarak yapılmaktadır. Fakat bu durumda farklı olan şudur; tahmin edilen değerler veri noktaları yerine tepki nesnelere için bulunur. Her testte göz ardı edilen tahmin değeri ile her tepki nesnesinin tahmini yapılır. Tahmin edilen tepki nesnelere daha sonra test için lokal eğrinin oluşturulmasında kullanılır ve bu eğri iki aşamalı tahminlerin saptanmasında kullanılır. İki aşamalı *PRESS* değerinin hesaplanması aşağıdaki adımlarda belirtildiği gibi yapılır;

a) Her “*S*” testi için aşağıdaki adımlar uygulanır;

- Tepki nesnelere her birinde, *S* (hesaplamadan çıkarılan tepki nesnesi) için tepki nesnesi tahmini yapılır.

- Bu işlem *S* hariç bütün testleri temel alan bir lokal tahmin eğrisi verecektir.

- Testteki her veri noktası için, gözlem verisi (*C*) ile tahmin edilen veri arasındaki fark hesaplanır.

b) Bu işlem her test için tekrarlanır.

c) Bulunan farkların tamamının kareleri toplanır ve veri noktalarının toplam sayısına bölünür.

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Deney Ortamının Tanıtılması

4.1.1. Leopard tankı ile ilgili genel bilgiler



Resim 4.1. Leopard 2 Tankı

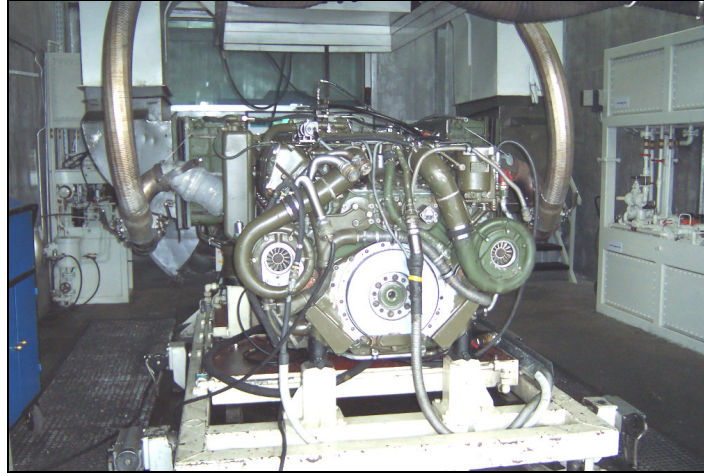
Teknolojinin dev adımlarla ilerlemesi sonucu, çağımızda muharebenin vazgeçilmez en büyük unsuru olan tank ve zırhlı araçlardaki gelişmeler oldukça fazla olmuştur. Leopard Tankları, Almanya tarafından imal edilmiş olup, birçok NATO ülkesi tarafından kullanılmaktadır. Leopard Tankı, dizel motorlu, yüksek ateş gücüne sahip, atış kontrol sistemindeki gelişmelerle isabet yüzdesi çok yükselmiş olan ve stabilizasyon sistemi sayesinde hareket halinde atış imkanı olan modern bir tanktır. 1983 yılından bu yana Türk Silahlı Kuvvetleri'nde kullanılmaktadır[5].

Bu tez çalışması kapsamındaki testlerde kullanılacak olan motor, MTU firmasına ait olan MB 838 CaM 500 model, 1973 yılında üretilen bir dizel motordur. Halen Leopard 1 serisi tanklarda kullanılmaktadır. Motor ile ilgili detaylı bilgi 4.1.2 numaralı paragrafta verilmiştir.

Tablo 4.1. Leopard tankına ait bazı teknik özellikler [5]

TEKNİK ÖZELLİKLER	ADEDİ BİLGİLER
Savaş Ağırlığı	42400 kg
Net Ağırlığı	40400 kg
Meyil Tırmanma	%60
Azami Hız	62 km/saat
Yakıt Kapasitesi	985 litre
Hareket Sığı	600 km

4.1.2. MB 838 CaM 500 motoruna ait teknik özellikler



Resim 4.2. Leopard tankına ait “MB 838 CaM 500” motoru

Testlerin gerçekleştirileceği “MB 838 CaM 500” model motor Leopard tanklarının güç gruplarında kullanılmakta olan, Alman MTU firması tarafından 1973 yılında üretilmiş, 1562 x 1409 x 1102 mm ebatlarında, 90° V tipi motora sahip, 10 silindirli, 4 zamanlı, ön yanma odalı, marş şekli elektrikli, kapalı devre su ile soğutmalı bir dizel motordur. MB 838 CaM 500 motoru ile ilgili diğer teknik özellikler aşağıdaki tabloda verilmiştir;

Tablo 4.2. MB 838 CaM 500 motoruna ait teknik özellikler [4]

TEKNİK ÖZELLİKLER	ÇALIŞMA DEĞERLERİ
Motor Gücü (tam yükte)	2200 dev./dak. , 610 KW (830 HP)
Maksimum Tork	1800 dev./dak. , 2750 Nm
Silindir İç Çapı	165 mm.
Strok	175 mm.
Toplam Silindir Hacmi	37.4 dm^3
Transmisyon olmadan fan gücü çıkartılmış rölanti devri	850 dev./dak. $\pm\%2.5$
Maksimum Tam Yüklü Devir	2200 dev./ dak.
Maksimum Tam Yüksüz Devir	2400 dev./ dak.
Çalışma Voltajı	24 V
Alternatör Verimi (gücü)	9 KW
Ateşleme Sırası	1-9-4-8-3-7-2-10-5-6
Motor Yağ Kapasitesi	İlk Doldurmada : 66 dm^3 Yağ Değişimlerinde : 54 dm^3
Motor Soğutma Suyu Kapasitesi	165 dm^3
Kompresyon Basıncı	130-170 dev/dak , +50 °C , max. 28 bar
Sıkıştırma Oranı	1:18 - 1:19,5
Motor Yağ Basıncı (çalışma sıcaklığında)	2200 dev/dak 2.5 bar 850 dev/dak 1.2 bar
Emme Havası Basınç Kaybı	Kirli Filtre : 68 mbar
Egzoz Karşı Basıncı	30 mbar
Soğutucu Su Pompa Basıncı : Su Pompası Çıkışında Su Pompası Girişinde	2200 dev/dak - 3.5 bar , 2200 dev/dak - 1.0 bar
Subap Ayar Aralıkları Motor soğukken +20 °C Motor sıcakken +50 - +60 °C	Emme 0.30 mm , Egzoz 0.45 mm Emme 0.45 mm , Egzoz 0.55 mm
Subap Ayarları Motor soğukken +20 °C , Emme 0.30 mm, Egzoz 0.45 mm iken	Emme Valfi ÜÖN'dan 36 ° önce açılır. Emme Valfi AÖN'dan 50 ° sonra kapanır. Egz. Valfi AÖN'dan 57 ° önce açılır. Egz. Valfi ÜÖN'dan 71 ° sonra kapanır.
Enjektör Ayar Basıncı	170 + 8 bar , min. 150 bar
Su Pompası Veri Miktarı	2200 dev/dak , 42 m^3/h
Yağ Basınç Pompası Veri Miktarı	2200 dev/dak , 90 °C , 170 dm^3/dak
Yanma Havası Gereksinimi	59 m^3/dak
Her İki Sübapın Açık Kalma Süresi	36 ° + 71 ° = 107 °
Enjektör Pompası Püskürtme Zamanlaması Motor soğukken 50 °C 'nin altında Motor sıcakken 50 °C 'nin üstünde	ÜÖN'dan 13 ° önce ÜÖN'dan 12 ° önce
Enjektör Pompası Otomatik Avans Tertibatı	900 dev/dakikada devreye girer, 2200 dev/dak , 12 °C krank açısı

Tablo 4.2 (Devam). MB 838 CaM 500 motoruna ait teknik özellikler [4]

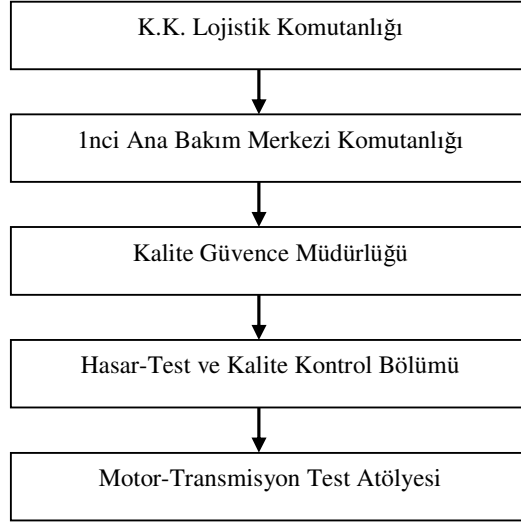
Soğutma Suyu Sıcaklığı	+80 ° ile +93.5 ° (10 dakikadan az süre için +93.5 ° ile +105 °)
Yağ Filtre Gövdesi By-Pass Valfi	2,5 bar'da açılır.
Termostat	Soğutma suyu 53 ° C 'de harekete geçer, 70 ° C 'de kısa devre borusunu tam kapatarak suyu radyatöre gönderir.
Soğutma Su Seviyesi Kontrolü	7 lt. su eksilirse ikaz yanar, 18 lt. su eksilirse motor durur.
Soğutma Suyu Sıcaklığı Kontrolü	Motor A tarafındaki sıcaklık sensörü 93.5 ° C 'de sinyal verir. B tarafındaki sıcaklık sensörü 105 ° C 'de devamlı sinyal gönderir.
Motor Çalışma Saati	1650 dev/dak'da 1 saat atımı olarak kaydedilir.
Isıtma Bujileri	22.5 V , 5 Amp (4.5 ± 0.25 Ω)
Egzoz Sıcaklığı	Maksimum 710 ° C
Fan Kavramasının Devreye Girişi	Soğutma suyu +76 ° C - +82 ° C arasında

4.1.3. 1nci Ana Bakım Merkezi Komutanlığı'nın tanıtılması

1nci Ana Bakım Merkezi Komutanlığı, Kara Kuvvetleri Komutanlığı Lojistik Komutanlığı'na bağlı olarak faaliyetlerini sürdüren, Sakarya ilinin Arifiye ilçesinde konuşlandırılmış, Türk Silahlı Kuvvetleri bünyesinde mevcut durumda kullanılmakta olan tüm zırhlı ve paletli araçların yenileştirme, 5nci kademe bakım hizmetleri ile uzun menzilli obüs, palet ve optik aksam imalatlarını gerçekleştiren, modern tesislere sahip askeri bir fabrikadır.

4.1.4. Motor-Transmisyon Test Atölyesi'nin tanıtılması

Motor testleri, 1nci Ana Bakım Merkezi Komutanlığı, Kalite Güvence Müdürlüğü, Hasar-Test ve Kalite Kontrol Bölümü'ne bağlı olarak faaliyetlerini yürüten Motor-Transmisyon Test Atölyesi bünyesindeki test kabiniinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1. Motor-Transmisyon Test Atölyesi'nin bağlı olduğu birimler

Motor-Transmisyon Test Atölyesi, fabrika bünyesinde yenileştirilen tüm Amerikan ve Alman serisi motorların, transmisyonların, güç gruplarının ve yardımcı motorların ilk ve son kontrollerini bilgisayar destekli test kabinlerinde gerçekleştirerek, kalite kontrol faaliyeti sağlamaktadır.

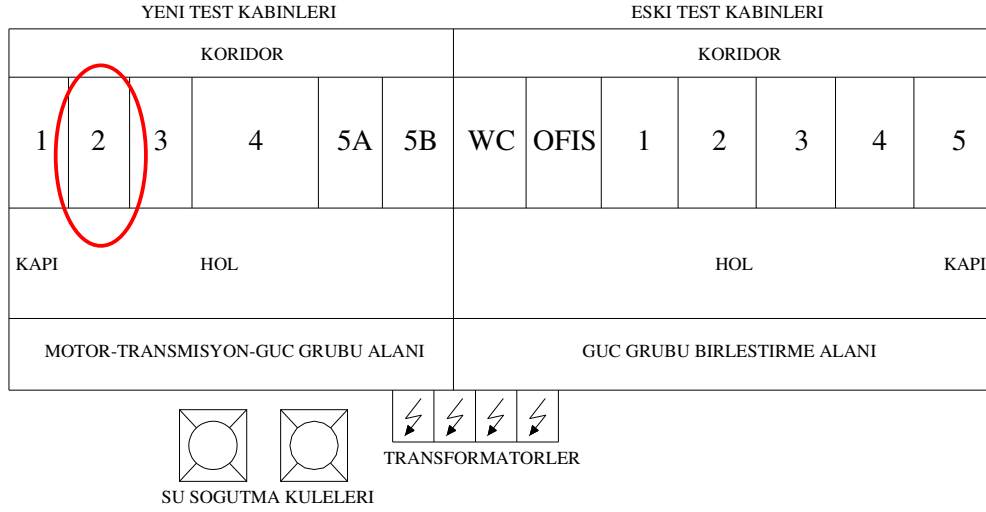
Aşağıda gösterilen Şekil 4.2'de Motor-Transmisyon Test Atölyesi'nin yerleşim planı verilmiştir.

Bu çalışmada yer alan bütün testler Şekil 4.2'de "2" numara ile gösterilen ve yeni test kabinleri bölümünde bulunan test kabininde gerçekleştirilmiştir. Motor-Transmisyon Test Atölyesinde toplam 11 adet test kabini bulunmaktadır. Diğer numaralarla gösterilen kabinlerde ise motor, transmisyon ve güç grubu testleri gerçekleştirilmektedir.

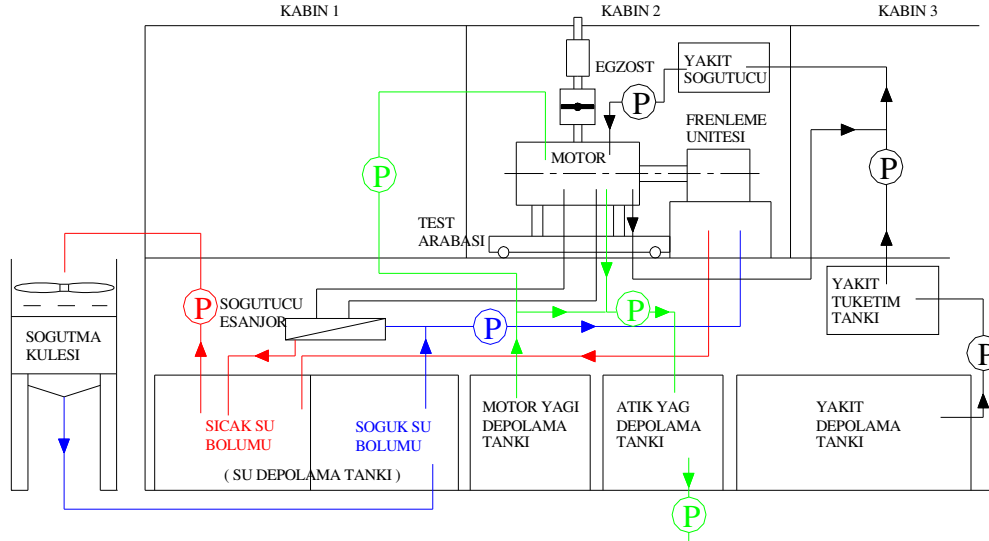
Şekil 4.3'te motor test kabini ve yardımcı ünitelerinin şematik şekli verilmiştir.

Motor test düzeneği aşağıda belirtilen ünitelerden oluşmaktadır;

- Motor test kabini (otomatik motor test tezgahı)
- Kumanda masası ve operator konsolu
- Havalandırma ve egzoz sistemi
- Merkezi motor soğutma suyu depolama ve çevrim sistemi



Şekil 4.2. Motor-Transmisyon Test Atölyesi yerleşim planı



Şekil 4.3. Motor test kabini ve yardımcı üniteler

- Merkezi motor yağı depolama ve çevrim sistemi
- Merkezi atık yağ depolama sistemi
- Merkezi yakıt depolama ve çevrim sistemi

4.1.5. Motor test kabininin tanıtılması

Motor test kabini, yenileştirme işleminden çıkan motorların performans uygunluğunu test etmek için kullanılır. Bu tezgahta, motora ait devir, güç, tork gibi ölçümlerin yanında, motor ve test düzeneği üzerinde çeşitli sıcaklık ve basınç değerleri izlenir.

Otomatik motor test tezgahı, motora 28 adıma kadar farklı testler uygulama kapasitesine sahiptir. Her adımda motorun çalıştırılacağı devir, motora uygulanacak tork ve dolayısıyla motordan alınacak güç programlanabilir. Motorun yakıt tüketimi otomatik olarak ölçülür.

Test sırasında, operatör tüm değerleri tek bir ekrandan rahatça izleyebilmektedir. Operatörün motoru otomatik test modunda alıştırabilmesinin yanında, manuel olarak da, hem bilgisayardan hem de operatör panellerinden müdahale imkanı mevcuttur. Operatör panelinde bulunan ekranlar vasıtasıyla, otomatik sistem alıştırılmaksızın manuel testler uygulanabilir.



Resim 4.3. Motor test kabininin görünüşü

Çalışma sırasında operator, motor üzerindeki ölçümler programlanan değerleri aştığı zaman, ikonlardaki renk değişimi sayesinde sistem tarafından uyarılır. Motora zarar verecek değerlerin aşılması durumunda ise, arıza sebebine göre ya motor durdurulur veya motorun testine ara verilerek motor rölanti durumuna getirilir.

4.1.6. Test arabası ve test konsolu

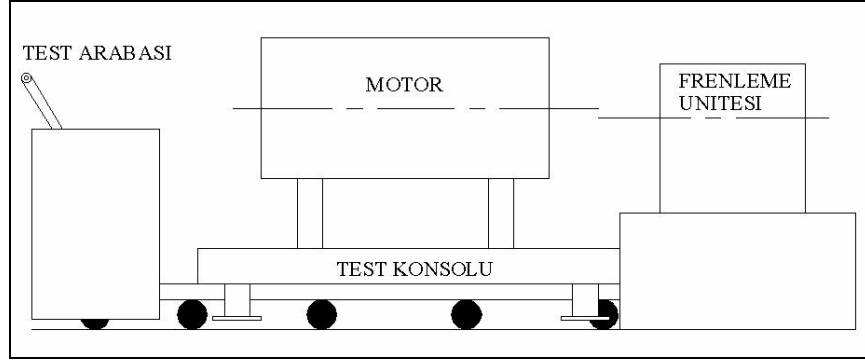
Test arabası, motorun kabin içine taşınmasını sağlayan elektrikli araçtır. Motor, araba üzerinde bulunan konsola oturtulur. Bu konsol, aynı zamanda otomatik motor test tezgahındaki yerine de taşınabilmektedir. Motor, konsol yerine oturtulduğunda sabitleme sistemi ile sabitlenerek teste hazır hale getirilir. Motor test arabasının üzerinde iken, ileri-geri hareket edebilme imkanı sayesinde frenleme düzeneğine yaklaştırılabilmektedir. Böylece, motoru frenleme ünitesine bağlamak oldukça kolaylaşmaktadır. Testin bitiminin ardından, araba hol kısmına alınarak motor ve konsol üzerinden indirilir. Test arabası Resim 4.5'te görülmektedir.

Motor testine başlanmadan önce, test konsolu otomatik test tezgahındaki yerine özel bir sabitleme sistemi ile sabitlenir. Bu sistem; kilitleme silindirlerini, silindir limit algılayıcılarını, silindir valflerini, kaplin limit algılayıcılarını ve kaplin valflerini ihtiva eder. Şekil 4.4'te bu sistemin devre şeması verilmiştir.

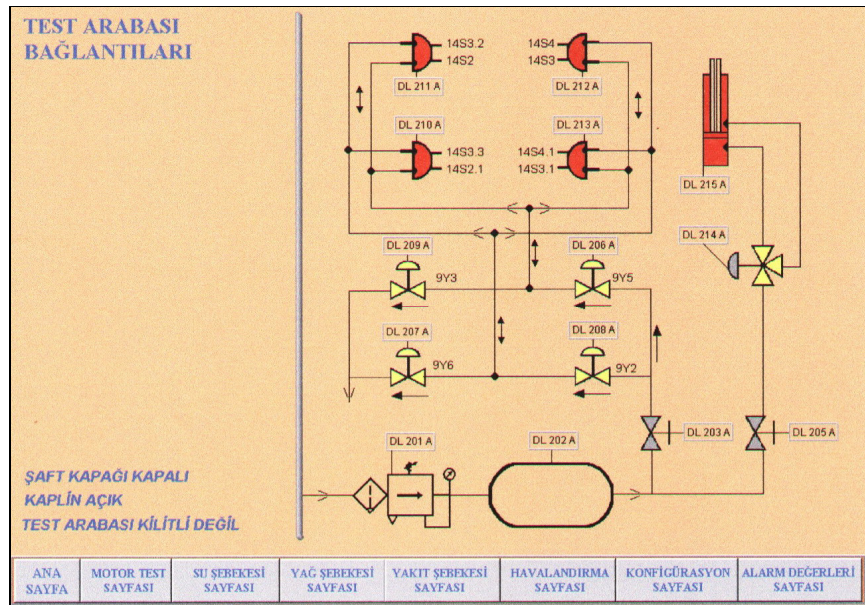
Test konsolu sabitleme sistemi, motor test tezgahını kontrol eden bilgisayar yazılımından da Şekil 4.4'teki ekran vasıtasıyla kontrol edilebilir. Sistemde sorun meydana geldiğinde simgeler renk değiştirerek operatörü uyarmaktadır.

4.1.7. Frenleme ünitesi (hidrolik dinamometre)

Frenleme ünitesi (hidrolik dinamometre), motorun üzerine yük bindirildiğindeki performansını ölçmek maksadıyla kullanılan bir su türbünüdür. Bu ünite ile, motorun gerçek çalışma şartlarındaki ortam oluşturulmaya çalışılır.



Şekil 4.4. Test arabası, test konsolu ve motor



Şekil 4.5. Motor test konsolu sabitleme sistemi

Tablo 4.3. Hidrolik dinamometrenin teknik özellikleri

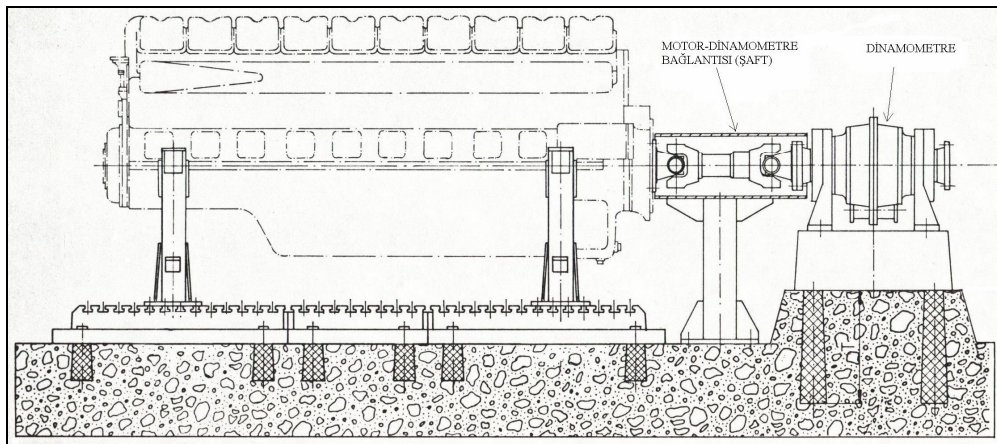
Dinamometrenin Teknik Özellikler	
Markası-İmalat Yılı	ZÖLLNER KIEL-1987 (Almanya)
Maksimum Gücü	$P_{max}=880 \text{ kW}$ (1180 BG)
Maksimum Devri	$n_{max}= 4000 \text{ dev/dak}$
Maksimum Momenti	$T_{max}=3819,6 \text{ Nm}$
Maksimum güçte su debisi (40°C de)	$Q=18.4 \text{ m}^3/\text{h}$

Normal çalışma koşullarında motor, üzerine bindirildiği yaklaşık 45 ton ağırlığa sahip olan tanka, maksimum 70 km/h hız yaptırır ve maksimum %60 meyil tirmandırır. Dinamometre ünitesi ile motora test kabini ortamında bu yüklemeler yapılarak, motorun performansı kontrol ünitesi yardımıyla test edilir.

Hidrolik dinamometre su gücüyle çalıştırılmaktadır. Kullanılan su, merkezi su depolama tankından temin edilir. Sistemde oluşan sıcak su, merkezi sıcak su bölümünde toplanarak su soğutma kulesinde soğutulur. (Bkz. Kısım 4.1.19)

Aşağıda verilen Şekil 4.6’da hidrolik dinamometre, motor ve şaft gösterilmiştir. Dinamometre motor ile şaft adı verilen kardan mili ile bağlanmaktadır. Ayrıca, Şekil 4.7’de görüldüğü gibi, motor ve dinamometrenin bulunduğu beton kısım diğer beton aksamdan ayrıdır. Bunun amacı, motor testi sırasında oluşan titreşimlerden dolayı sistemin ve test atölyesinin mümkün olduğunca az etkilenmesidir. Bu sebeple, beton kütleinin altına çelik yaylar monte edilmiştir. Bu yaylar vasıtasıyla titreşimler sönümlenmektedir. (Bkz. Resim 4.4)

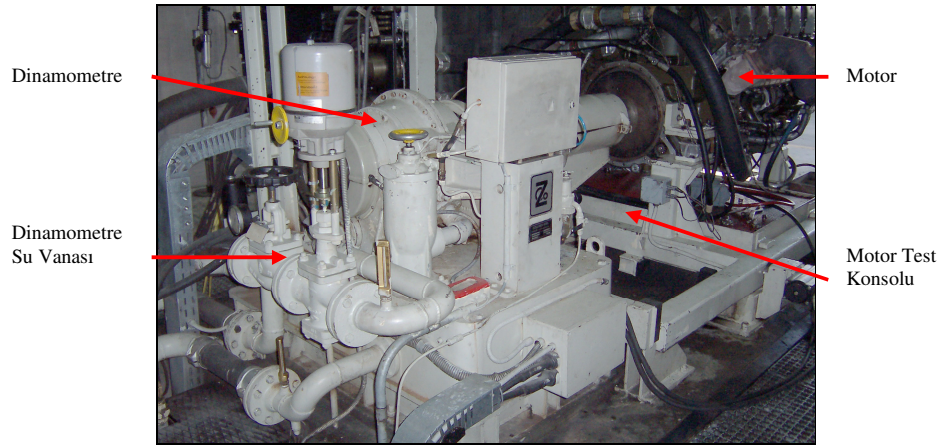
Motorla dinamometre arasına bağlanan kardan milinin (şaftın) maksimum dayanabileceği moment değeri 24.700 Nm, maksimum dayanabileceği devir değeri 2700 rpm’ dir. Markası “Elbe” dir.



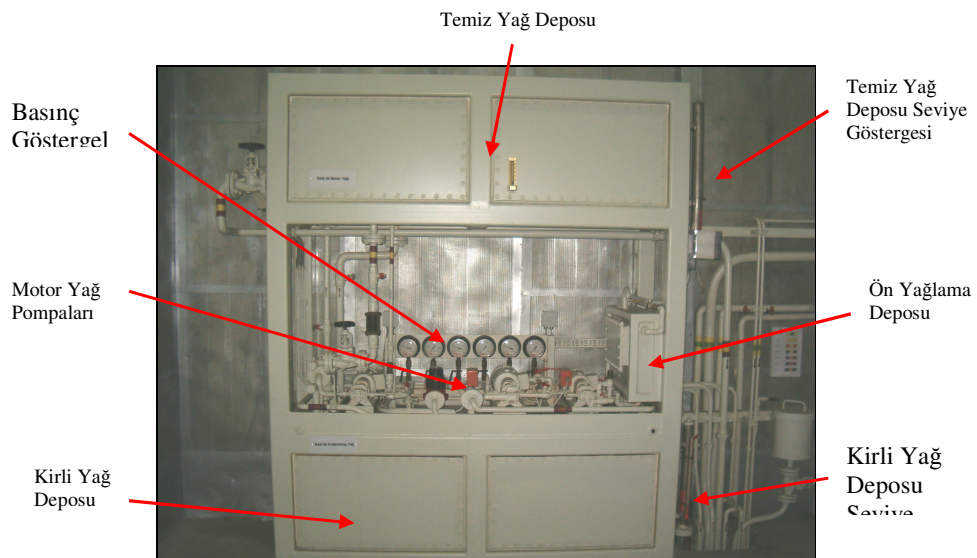
Şekil 4.6. Motor-dinamometre bağlantısı



Resim 4.4. Motor -dinamometre titreşim sönümleyici beton kütesi



Resim 4.5. Motor-dinamometre ve test konsolu



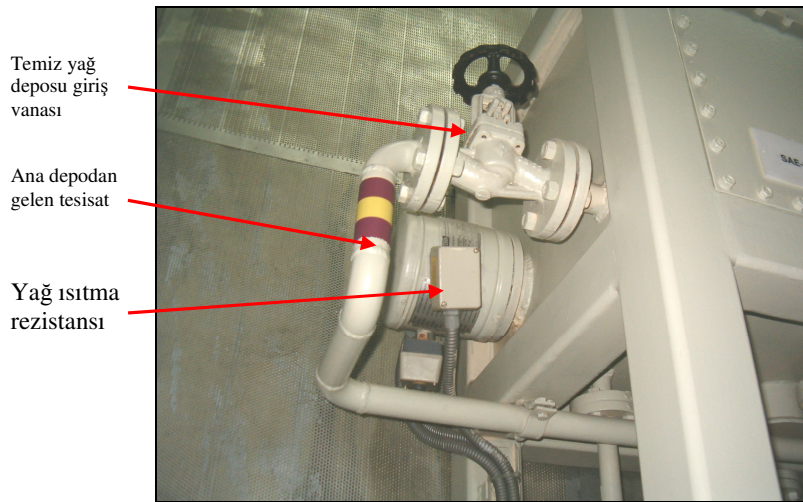
Resim 4.6. Test kabini içindeki motor yağı ünitesi

4.1.8. Motor yağı ünitesi

Motor yağı ünitesi, testlerde kullanılan motor yağlarının depolandığı ve yağlama işleminin gerçekleştirilmesini sağlayan ana ünitelerden birisidir. Resim 4.5'te görüldüğü gibi, motor yağı ünitesi; temiz yağ deposu, kirli yağ deposu, ön yağlama deposu, yağ seviye göstergeleri, basınç göstergeleri ve yağ pompaları gibi alt ünitelerden oluşur. Aşağıdaki paragraflarda bu ünitelere ait detaylar açıklanacaktır.

4.1.8.1. Temiz yağ deposu

Motor testlerinde kullanılan motor yağını kabin içinde depolayan sistem “temiz yağ deposu”dur.(Bkz. Resim 4.6) Temiz yağ deposu, içinde barındırdığı yağı bütün test kabinlerinin bağlı olduğu merkezi yağ deposundan alır. Depo içinde mevcut bulunan yağın seviyesi, yağ seviye göstergesi sayesinde belirlenir. Yağ seviye göstergesi minimum seviyenin altına düştüğünde, sistem otomatik olarak devreye girmekte ve uygun miktarda yağı, merkezi yağ deposundan kabin içindeki depoya ikmal yapmaktadır. Motor testlerinde “SAE 15W-40” standardındaki yağ kullanılmaktadır. 4.2.1 numaralı kısımda bu yağ ile ilişkili daha detaylı bilgi mevcuttur.



Resim 4.7. Temiz yağ deposu yağ ısıtma sisteminin görünüşü

Temiz yağ deposunda yağ ısıtma sistemi mevcuttur. Üzerindeki termostat sistemi vasıtasıyla, ana depodan gelen yağın sıcaklık derecesini motora göndermeden önce ölçerek, bir yağ ısıtma rezistansı sayesinde uygun sıcaklık derecesi olan 45 °C'ye getirmektedir. Yukarıda verilen Resim 4.7' de temiz yağ deposu ısıtma sistemi ile yağ giriş vanaları görülmektedir.

4.1.8.2. Kirli yağ deposu

Kirli yağ deposu, motor testi sonrasında kirlenerek, viskozite ölçümü sonrasında kullanıma uygun olmadığına karar verilen motor yağının depolanması amacıyla kullanılır (Bkz. Resim 4.6). Depoda mevcut bulunan yağ miktarı, yağ seviye göstergesi yardımıyla belirlenir.

Yağ seviye göstergesi maksimum seviyeyi gösterdiğinde, sistem otomatik olarak devreye girer ve fazla miktardaki yağı merkezi kirli yağ toplama deposuna basar . Böylece, kirli yağ depo seviyesi minimum seviyeye getirilir.

4.1.8.3. Ön yağlama deposu

Motor ilk çalıştırıldığında, temiz yağ deposundan motora doldurulan motor yağının yataklara ve sürtünen yüzeylere ulaşması bir miktar süre geçtikten sonra gerçekleşir. Bu süre boyunca, krank mili dönme hareketi yaparak karterde bulunan yağı yataklara ve sürtünen yüzeylere doğru sıçratır ve böylece yağlama işlemi gerçekleşir. Yağlama için geçen bu gecikme süresinin motora olumsuz etki yapmaması için, temiz yağ deposunun haricinde ayrı bir yağlama deposu daha kullanılır. “Ön yağlama deposu” adı verilen bu depoda depolanan basınçlı yağ, motor üzerindeki bütün yağ kanallarına, yataklara ve sürtünen yüzeylere basılarak, ön yağlama işlemi yapılır. (Bkz. Resim 4.8). Motor çalışmadan önce ön yağlama deposundan yağ pompası vasıtasıyla basılan yağ, sürtünen parçalar üzerinde yağ filmi oluşturarak aşınmaları en aza indirir ve motoru olumsuz aşınma etkilerinden korur.

4.1.8.4. Yağ seviye göstergeleri

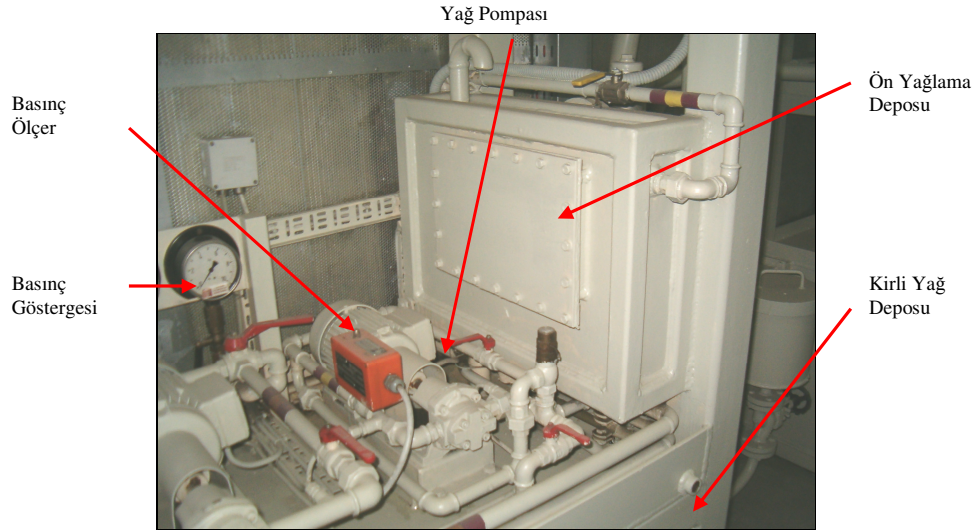
“Yağ seviye göstergeleri”, depo içinde mevcut olan yağın seviyesinin göstererek kontrol personeline bilgi verir. Yağ seviyesi sütun içerisindeki kırmızı seviye göstergesinden anlaşılır. Seviye belli bir değerin altına düştüğünde, seviye algılayıcı sisteme uyarı sinyali gönderir. Sistemde temiz yağ deposu, kirli yağ deposu ve ön yağlama deposunda olmak üzere, toplam üç adet yağ seviye göstergesi mevcuttur.

4.1.8.5. Yağ pompaları

Motor yağı ünitesinde, temiz yağ deposu, kirli yağ deposu ve ön yağlama deposunda bulunmak üzere üç adet yağ pompası kullanılmaktadır. Tablo 4.4’te pompaların kapasiteleri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

4.1.8.6. Yağ basınç göstergeleri (manometreler)

Motor yağı ünitesinde; temiz yağ deposunda, kirli yağ deposunda ve ön yağlama deposunda ikişer tane olmak üzere, toplam altı adet basınç göstergesi kullanılmaktadır. Basınç göstergelerinden bir tanesi depo iç basıncını, diğeri ise yağ pompasından basılan yağ basıncını göstermektedir. Manometrelerin kullanıldığı yere göre basınç değerleri Tablo 4.5’te verilmiştir.



Resim 4.8. Ön yağlama deposunun görünüşü

Tablo 4.4. Motor yağı ünitesinde kullanılan yağ pompalarının kapasiteleri

Yağ Pompasının Kullanıldığı Yer	Güç	Debi
Temiz Yağ Deposu	0.37 KW	3.84 m ³ /h
Kirli Yağ Deposu	0.55 KW	1.4 m ³ /h
Ön Yağlama Deposu	0.37 KW	3.84 m ³ /h

Tablo 4.5. Yağ basınç göstergelerinin çalışma basınç değerleri

Manometrenin bulunduğu yer		Çalışma basıncı
Temiz yağ deposu	Depo iç basınç manometresi	2.5 bar
	Yağ pompası çıkış manometresi	3 bar
Kirli yağ deposu	Depo iç basınç manometresi	3 bar
	Yağ pompası çıkış manometresi	10 bar
Ön yağlama deposu	Depo iç basınç manometresi	3 bar
	Yağ pompası çıkış manometresi	10 bar

4.1.9. Su dengeleme sistemi

Su dengeleme sistemi, motor testinde kullanılacak olan soğutma suyu ihtiyacını karşılar. Su dengeleme deposunun seviyesi, bir seviye göstergesi vasıtasıyla kontrol edilir. Depo içindeki suyun azalması durumunda, seviye göstergesi üzerindeki algılayıcı vasıtasıyla ana kumanda paneline uyarı sinyali verilir. Test operatörü bütün kabinlerin bağlı olduğu merkezi soğuk su deposundan su dengeleme deposuna bir su pompası yardımıyla su basarak eksikliği giderir. Resim 4.9'da su dengeleme deposunun genel görünüşü verilmektedir.

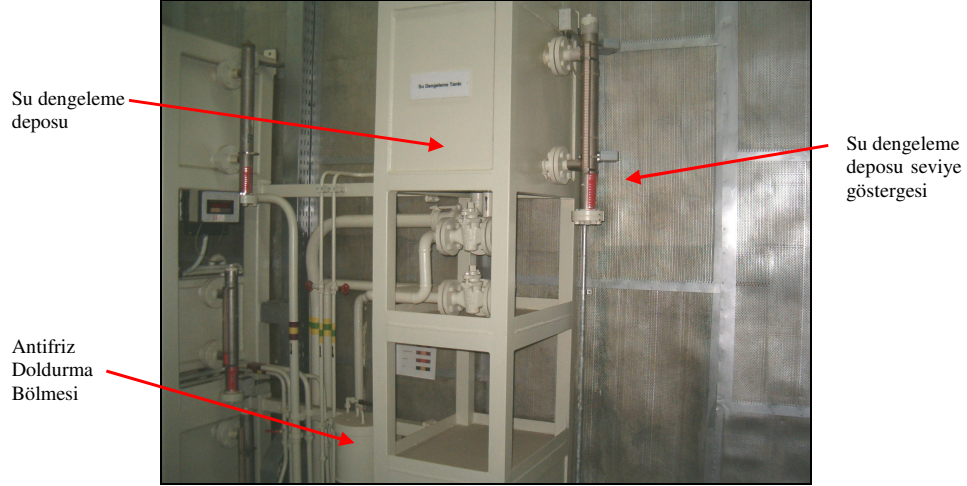
Motor soğutma suyu için gerekli olan antifriz, Resim 4.10'da gösterilen antifriz doldurma bölmesinden uygun miktarlarda katılır. Kullanılan soğutma suyundaki antifriz oranı, %50 antifriz %50 su olarak ayarlanır. Sistemde kullanılan antifrizle ilgili bilgiler 4.2.2 numaralı kısımda verilmiştir.

Antifriz ölçümü, 4.2.2 numaralı paragrafta belirtilen ölçüm cihazı ile belli periyodik aralıklarda yapılarak, su içindeki antifriz oranı tespit edilir. Elde edilen orana göre gerektiğinde antifriz takviyesi yapılır.

Soğutma suyunun içinde antifriz yanında kireç ve yosun önleyici kimyasal madde de kullanılmaktadır. Bu kimyasal maddenin kullanımı su tesisatındaki olası tıkanmaları azaltmakta ve sistem ömrünün uzamasını sağlamaktadır. Kullanılan bu maddenin markası ve modeli "P3 Ferrofas 8551" olup, düzenli aralıklarla derişiklik kontrolü yapılmaktadır.

4.1.10. Kabin içi eşanjörlü su soğutma sistemi

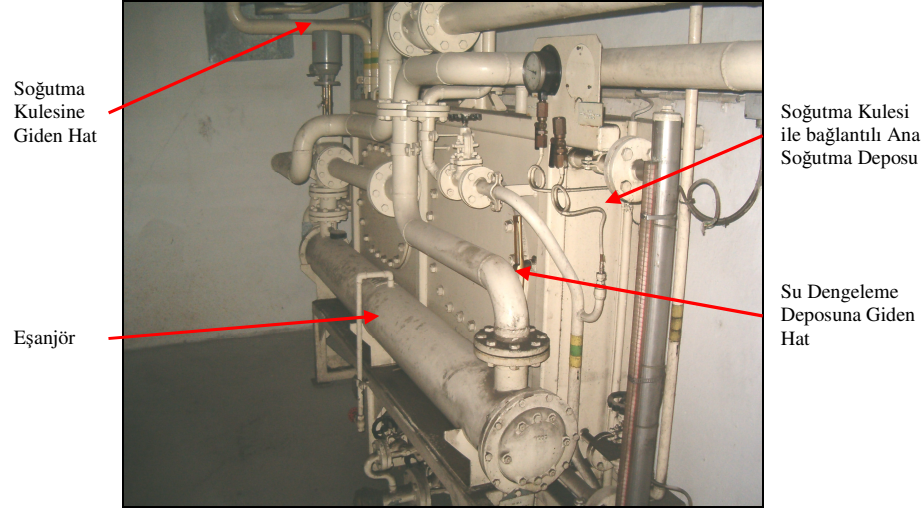
Kabin içi eşanjörlü su soğutma sistemi, ısınan motor soğutma suyunun soğutulması amacıyla kullanılır. Bu sistem, soğutma kulesine bağlı ana soğutma sistemi deposu içerisindeki eşanjör ünitesinden motor soğutma suyunun geçirilmesi prensibine göre



Resim 4.9. Su dengeleme sistemi



Resim 4.10. Antifriz doldurma haznesi



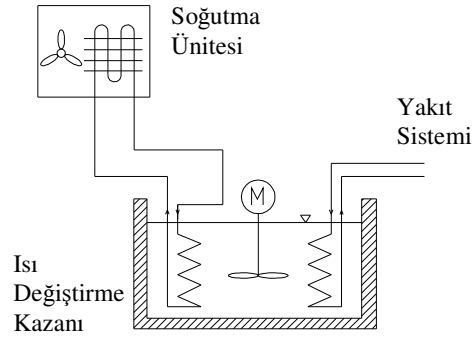
Resim 4.11. Kabin içi eşanjörlü su soğutma sistemi

çalışmaktadır. Soğutma kulesine bağlı ana soğutma sisteminde soğuyan su, eşanjör içindeki antifrizli suyu soğutur. Eşanjördeki antifrizli suyun akış hızı bir vana yardımıyla ayarlanarak soğuma hızı ayarlanabilmektedir. İki sistemdeki sular birbirine karışmaz. Resim 4.11’de kabin altında bulunan soğutma sistemi görülmektedir. Ayrıca, motor-transmisyon test atelyesindeki soğutma suyu sistemiyle ilgili devre şeması Şekil 4.11’de görülmektedir.

4.1.11. Kabin içi yakıt soğutma sistemi

Kabin içi yakıt soğutma sistemi, ısınan yakıtın soğutulmasını sağlayarak yanma veriminin düşmesini engelleyen bir soğutma düzeneğidir. Aşağıda verilen Şekil 4.7’de yakıt soğutma sisteminin çalışma prensibi görülmektedir.

Yakıt soğutma sistemi, “Assamy” markadır. Sistemin çalışması, Şekil 4.7’de de belirtildiği gibi, Freon-22 gazı ile çalışan bir eşanjörlü soğutma ünitesinin ısı değiştirme kazanı aracılığıyla yakıt sistemini soğutması prensibine dayanmaktadır. Aşağıda verilen Tablo 4.6’da yakıt soğutma sisteminin teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 4.7. Yakıt soğutma sisteminin çalışma prensibi



Resim 4.12. Kabin içi yakıt soğutma sistemi

Tablo 4.6. Yakıt soğutma sisteminin teknik özellikleri

Yakıt Soğutma Sisteminin Teknik Özellikleri	
Ağırlığı	165 kg
Anma Soğutma Gücü	5.100 W
Akım Tipi	380 V - 3Ph - 50 Hz -N
Gücü	1.59 kW
Soğutma Kapasitesi	2.750 m ³ /h

4.1.12. Kabin içi yakıt sarfiyatı ölçme sistemi

Bu sistem, motor testinde harcanan yakıtı miktarını ölçer. Markası “Krohne”, modeli ise “MFS 7100 K 045” dir. Ölçme hassasiyeti 0.001’dir. Ölçme kapasitesi 3.0 kg/dk.’dır ve kalibrasyonu için kullanılan özel bir alet mevcuttur. Aşağıdaki Resim 4.13’te yakıt sarfiyatı ölçüm cihazı görülmektedir.

4.1.13. Test sisteminde kullanılan algılayıcılar

Motor testlerini gerçekleştirirken, motor ve kumanda panosu arasındaki etkileşimleri algılayıcılar sağlarlar. Üzerinde çalıştığımız sistemde yatırım giderlerini düşüren, saha elemanlarının kablolanmasını kolaylaştıran, sistemin devreye alma zamanını kısaltan, gerçek diagnostik ve hata gözlemlene ile minimum servis zamanı sağlayan, kumanda panosundan doğrudan algılayıcıya ulaşmayı ve programlama imkanı sağlayan “Siemens Simatic PCS7” proses kontrol sistemi kullanılmıştır. Bu sistem dünyaca kabul edilmiş standart haberleşme yapısı olan “Profibus Dp/Pa (Iec 61158)” kullanılmakla beraber akıllı saha elemanları adı verilen “Profibus ve Smart (HART Protokol)” gibi haberleşme sistemlerine bağlanabilmektedir. Tablo 4.6’da sistemde kullanılan algılayıcıların bir listesi verilmiştir.



Resim 4.13. Yakıt sarfiyatı ölçüm cihazı

Tablo 4.7. Sistemde kullanılan algılayıcılar (transducers)

SIRA NO.	ÖLÇÜM PARAMETRESİ	BİRİM	ALGILAYICI TİPİ (Transducer)	ÖLÇÜM ARALIĞI
01	Motor Devir Sayısı	Dev/dak	Orijinal	0-3000
02	Verilen Yük	Nm	Orijinal	0-4000
03	Motor Gücü	kW	Orijinal	—
04	Yakıt Tüketimi	g/dak	Orijinal	0-5000
05	Spesifik Yakıt Tüketimi	g/kWh	Orijinal	—
06	Karter Basıncı	m ³ /h	Smart(HART Protokol)	0-181,8
07	Hücre Hava Basıncı	Hpa	Smart(HART Protokol)	-515 - 2020
08	Bağıl Nem Oranı	%RH	Smart(HART Protokol)	21,4 - 121,4
09	Dinamo. Su Dönüş Sıc.	°C	Smart(HART Protokol)	-50 - 200
10	Motor Giriş Yağ Sıc.	°C	Smart(HART Protokol)	-50 - 200
11	Motor Çıkış Yağ Sıc.	°C	Smart(HART Protokol)	-50 - 200
12	Motor Giriş Yakıt Sıc.	°C	Smart(HART Protokol)	-50 - 200
13	Motor Giriş Su Sıc.	°C	Smart(HART Protokol)	-50 - 200
14	Motor Çıkış Su Sıc.	°C	Smart(HART Protokol)	-50 - 200
15	Turbocharger Giriş Sıc.	°C	Smart(HART Protokol)	-50 - 200
16	Egzoz Sıcaklığı Sağ	°C	Smart(HART Protokol)	-250 - 1000
17	Egzoz Sıcaklığı Sol	°C	Smart(HART Protokol)	-250 - 1000
18	Filtre Giriş Yağ Basıncı	Bar	Smart(HART Protokol)	-5 - 20
19	Filtre Çıkış Yağ Basıncı	Bar	Smart(HART Protokol)	-5 - 20
20	Pompa Giriş Yakıt Bas.	Bar	Smart(HART Protokol)	-1.75 – 7.0
21	Pompa Çıkış Yakıt Bas.	Bar	Smart(HART Protokol)	-1.75 – 7.0
22	Soğutma Suyu Basıncı	Bar	Smart(HART Protokol)	-1.75 – 7.0
23	Turbo. Giriş Basıncı	Mbar	Smart(HART Protokol)	-1500 - 1000
24	Egzoz Karşı Basıncı	Mbar	Smart(HART Protokol)	-250 - 1000
25	Turbo. Çıkış Basıncı Sağ	bar	Smart(HART Protokol)	-1.75 – 7.0
26	Turbo. Çıkış Basıncı Sol	bar	Smart(HART Protokol)	-1.75 – 7.0

Sistemde basınç algılayıcıları olarak “transmitterler” kullanılmaktadır. Bunlar, “SIEMENS, SITRANS P” tipi transmitterler olup “PROFIBUS-PA” serisidir. Paslandırıcı (corrosive) ve paslandırıcı olmayan (non-corrosive) gazlar, buharlar ve sıvıların basıncını ölçmeye yararlar. Ölçüm hücreleri 1’den 400’e kadar mevcuttur. Çıktı sinyalleri dijital sinyallerdir. Tüm sistemde toplam 10 adet kullanılmıştır. Resim 4.14’te transmitterler görülmektedir.

Sistemde sıcaklık ölçüm sensörleri olarak “PCS marka, PT100-6-100-W4-R tipi” sensörler kullanılmaktadır. Boyu 100 mm, çapı 6 mm olan bu sensörler erkek-dişi konnektörlü ve gezer rekorludur. Tüm sistemde toplam 26 adet kullanılmıştır.

4.1.14. Kabin içi kumanda paneli

Kabin içinde ana kumanda sistemi ile bağlantılı çalışan ayrı bir kumanda sistemi mevcuttur. Bu sistem sayesinde, acil bir durumda kabin içindeki personel sistemin çalışmasına müdahale edebilir, test adımlarını değiştirebilir veya testi durdurabilir. 15” ebadında bir monitöre ve sistemi kumanda etmeye yarayan butonlara sahiptir. Acil durdurma butonu vardır. Aşağıdaki Resim 4.14’te kabin içi kumanda paneli görülmektedir.

4.1.15. Ana kumanda paneli

Ana kumanda paneli, otomatik motor test tezgahında motor testi gerçekleştirmek için kullanılan, bir operatör tarafından kontrol edilen kumanda sistemidir. Kumanda sistemi, testi yönetmeyi sağlayan sistem yazılımını ve bilgisayar donanımlarını içerir. Bu yazılım ve donanımlar, 4.1.13 numaralı kısımda bahsedilen algılayıcılarla beraber çalışmak suretiyle tüm sistemi kontrol altına alır. Aşağıdaki Resim 4.15’te ana kumanda paneli ve operatör görülmektedir.



Resim 4.14. Kabin içi kumanda paneli



Resim 4.15. Ana kumanda paneli

4.1.16. Ana kumanda yazılımı

Sistemde ana kumanda yazılımı olarak, Windows 98 işletim sistemi ile kullanılan endüstriyel otomasyon yazılımı “CITECT 5[©]” kullanılmıştır. Bu program müşteri-dağıtıcı (client-server) mimarisi üzerine kurulmuştur. Oldukça esnek bir program yapısı vardır. 130 adet alet sürücüsü içermektedir. 400.000+ I/O nokta uygulaması mevcuttur. RAD tipi grafiksel ve renkli operatör ekranı vardır. Çoklu dil desteği sağlar. Sistem standart kelime işlem paketleri şeklinde raporlar sunabilmektedir. Rapor formatları olarak Word ve Excel programlarından yararlanılabilir. Oluşabilecek hata durumlarını gösteren alarm sistemi mevcuttur. Bütün Windows ağı tipleri üzerinden iletişim kurabilir. Sistem güvenliği açısından bütün arayüz elemanlarına giriş kontrolü uygulanabilir. Standart veri tabanı formatlarında veri girişi ve çıkışı yapılabilir. Ekran üzerinden ve klavyeden veri girişini destekler. Çok gelişmiş grafikleme özelliklerine sahiptir. İstatistiksel işlem kontrol kabiliyetlerine ve pareto çizelgelerine sahiptir. Yüksek seviyeli “SCADA” programlama dili kullanılabilir.

Şekil 4.8’de ana kumanda yazılımında yer alan “motor testi ana sayfası” verilmektedir. Bu sayfada, motor testi sırasında ölçülen parametreler gözlenebilmekte, istenildiğinde teste müdahale edilebilmekte ve testlerle ilgili diğer işlemler yapılabilmektedir.

Şekil 4.9’da ise, verilerin kağıda basılabildiği “motor testi baskı sayfası” görülmektedir.



Şekil 4.8. Motor testi ana sayfası

1 İNÇİ ANA BAKIM MERKEZİ KOMUTANLIĞI - ARİFYE																			
PER.İD	SIRA NO	TEST SÜR. Dk.	MOTOR			MOTOR YAĞI		YAĞ FİLTRESİ		GALERİ YAĞ SICAK. (T1-4) °C	ANA YAĞLAMA BASINCI (P1-1) bar	YAKIT			YAKIT TÜR. g/L.kWh	EGZOST SİC. °C	KARTERE KAÇAN GAZ MİKTARI (F1-1) %/dk		
			DEVİR RPM	GÜÇ HP	TORK Nm	GİRİŞ SICAK. (T1-2) °C	ÇIKIŞ SICAK. (T1-3) °C	GİRİŞ BASINCI (P1-2) bar	ÇIKIŞ BASINCI (P1-3) bar			GİRİŞ SICAK. (T1-10) °C	GİRİŞ BASINCI (P1-4) bar	ÇIKIŞ BASINCI (P1-5) bar				YAKIT TÜR. g/L.kWh	EGZOST SİC. °C
1	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000		
2	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000		
3	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000		
4	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000		
5	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000		
6	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000		
7	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000		
8	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000		
9	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000		
10	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000		
11	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000		
12	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000		
13	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000		
14	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000		
15	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000		
16	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000		
17	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000		

PER.İD	SIRA NO	TEST SÜR. Dk.	EMME HAVASI				TURBO HAVASI				SİLİNDİR SICAKLIKLARI						
			GİRİŞ SICAK. (T1-9) °C	GİRİŞ BASINCI (P1-6) bar	SOL ÇIKIŞ SICAKLIĞI (T1-7) °C	SOL ÇIKIŞ BASINCI (P1-7) bar	SOL 1 SICAK. (T1-11) °C	SOL 2 SICAK. (T1-12) °C	SOL 3 SICAK. (T1-13) °C	SOL 4 SICAK. (T1-14) °C	SOL 5 SICAK. (T1-15) °C	SOL 6 SICAK. (T1-16) °C	SİL 1 SICAK. (T1-17) °C	SİL 2 SICAK. (T1-18) °C	SİL 3 SICAK. (T1-19) °C	SİL 4 SICAK. (T1-20) °C	SİL 5 SICAK. (T1-21) °C
1	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
2	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
3	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
4	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
5	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
6	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
7	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
8	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
9	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
10	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
11	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
12	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
13	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
14	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
15	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
16	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
17	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000

Şekil 4.9. Motor testi baskı sayfası

4.1.17. Ana kumanda donanımı

Motor test hücrelerindeki sistem test standlarının otomasyonu “CAN-Bus” üzerinden kendi aralarındaki bilgisayarlar ve merkezi bir bilgisayarla haberleşecek şekilde kurulmuştur. İşletim sistemi olarak “CITECT 5[©]” (Bkz.4.1.16) programı kullanılmaktadır. Sistem, testlerin manuel ve tam otomatik olarak yapılabilmesine imkan sağlamaktadır. Otomasyon sistemi, CAN-Bus ile yapılan ölçüm dataları kaydı, test standı ve motor elektroniğinin denetiminden oluşmaktadır. Ölçme verilerinin kaydı merkezi olarak yapılmakta olup, motor hareket birimlerinin testi için gerekli olan tüm komponentler ve ölçme cihazları ile ölçme dataları kayıt birimine dahildir. Bu şekilde tüm komponentler ve ölçme cihazları kontrol edilebilir, ölçülebilir, göstergeleri okunabilir, denetlenebilir, hesapları yapılabilir, protokolleri (test raporları) hazırlanıp basılabilir durumdadır. Ölçme değerleri, gerektiğinde dış ölçüm cihazlarından da ölçülebilir durumdadır.

Tablo 4.8. Ana kumanda donanımı bileşenleri

Ana Kumanda Donanımı	
İşletim Sistemi	Windows 98, Citect 5, Sistem bütün office programları ile uyumlu çalışabilir. Formlar excel formatındadır.
İşlemci	İntel Pentium 4 Ghz. , 256 Kb Cache
Ana Kart	Intel 850 Chipset , 400 Mhz, AGP, UDMA/100
Bellek	256 MB RDRAM
Ekran Kartı	32 MB AGP GEFORCE 2GTS
Sabit Disk	100 GB,7200 Rpm,UDMA/100,EIDE IBM
CD Sürücü	50X hızlı
Disket Sürücü	3.5", 1.44 MB Floppy Sürücü
Kasa	300 W beslemeli P4 destekli ATX
Klavye, Mause	Q-Türkçe, PS/2
Ethernet Kartı	UTP, 10/100 MB İntel
Ekran	19"
Yazıcı	HP Laser Jet 8000 N
Ekran Çoklayıcı	Digitus Video Splitter (Ana bilgisayar için)
Kesintisiz Güç Kaynağı	EKA

4.1.18. Havalandırma ve egzoz sistemi

Egzoz sistemi, motor testinde meydana çıkan egzoz gazlarının dışarı atılması için kullanılan sistemdir. Bu sistem, motor susturucusu, egzoz gaz kanalı ve klepeden oluşmaktadır. Bunun yanında, sağ ve sol egzoz sıcaklıklarını ölçen iki adet PT-100 tipi sıcaklık sensörü (thermocouple) mevcuttur. (Bkz.4.1.13) Ayrıca, egzoz gaz kanalı üzerinde duman oranı ve emisyon ölçümü yapılması için kullanılan delikler de mevcuttur. Aşağıdaki Resim 4.16’da havalandırma ve egzoz sistemi görülmektedir.

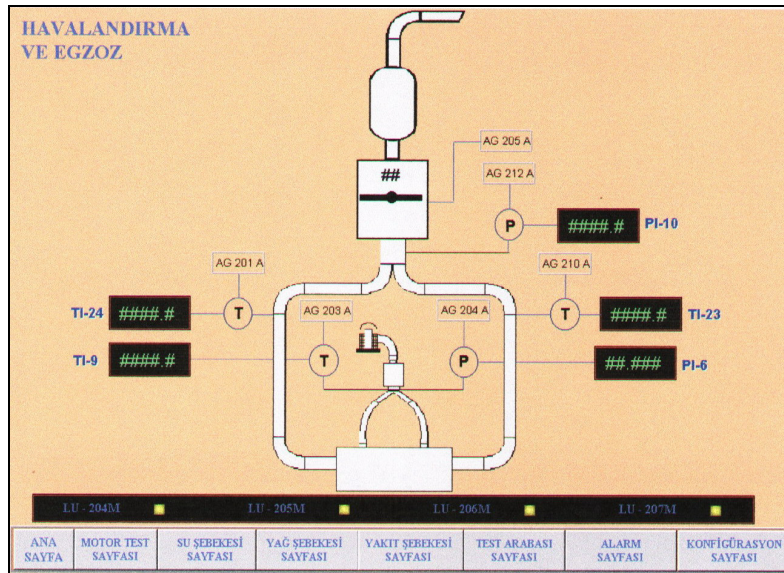
Motor testleri için gerekli olan temiz hava kabin içinden temin edilir. Bunun için Resim 4.16’da görülen havalandırma boruları kullanılır. Bu borular motor turbo doldurucularına (turbo charger) bağlanır. Boruların diğer ucunda ise partikül filtreleri bulunmaktadır. Böylece motora çekilen hava temizlenmiş olur. Kabin içindeki temiz hava sirkülasyonu ise kabin altındaki büyük fanlar sayesinde atmosferden temin edilen temiz hava ile sağlanır.

Havalandırma ve egzoz sisteminin ana kumanda yazılımındaki kontrol ekranı Şekil 4.10’da verilmiştir. Bu ekranda motor hava emiş hattı basınç ve sıcaklık verileri görülebilmektedir. Bunu yanında, motor egzoz hattı, sağ ve sol hava sıcaklıkları ve basınç değerleri de görüntülenmektedir. Ayrıca, baca dengeleme klepesinin pozisyonu görülebilmekte, istenildiği zaman bu ekran aracılığıyla gereken pozisyon ayarlanabilmekte ve havalandırma fanlarının durumları gözlenebilmektedir. Hava emiş sisteminin ağzında araç üstü duruma benzer şekilde “hava emiş filtresi” bulunmaktadır. Bu filtre motora giren havanın süzülmesini ve partiküllerden arındırılmasını sağlamaktadır. Filtrenin dolması durumunda ise, ekran üzerinden kirlilik uyarısı alınarak filtrenin değiştirilmesi veya temizlenmesi gerektiği anlaşılabilir.

Egzoz sisteminde bir motor susturucusu bulunmaktadır. Bu susturucu, motor testi sırasında çevreye yayılan sesi azaltmaktadır.



Resim 4.16. Havalandırma ve egzoz sistemi



Şekil 4.10. Havalandırma ve egzoz sistemi kontrol ekranı

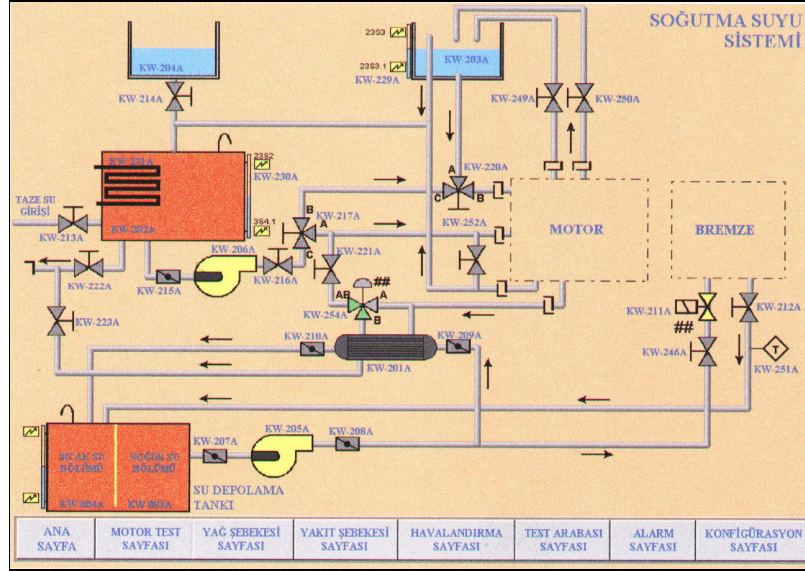
4.1.19. Merkezi motor soğutma suyu sistemi

Merkezi motor soğutma suyu sisteminde 20 ton kapasitesinde bir su deposu bulunmaktadır. Bu su deposu iki ayrı bölüme ayrılmaktadır; bir kısmı kabin içi eşanjörlü su soğutma sistemine (Bkz. 4.1.10) ve dinamometreye (Bkz 4.1.7) basılan ve soğutma kulesinde uygun sıcaklığa soğutulmuş soğuk su, bir kısmı ise bu iki sistemden dönen ve soğutma kulesine gönderilmesi gereken sıcak su bölümleridir. Aşağıdaki Şekil 4.11’de sistemdeki komple soğutma suyu sistemi kontrol ekranı verilmiştir.

Sistemden sıcak durumda gelen su, uygun sıcaklığa soğutulması amacı ile soğutma kulesine gönderilir. Sistemde iki adet soğutma kulesi görev yapmaktadır. Sistemin soğutma kulesine gönderdiği suyun termometre değeri 30 °C, soğutma kulesinden soğutulmuş olarak gelen suyun çıkış termometre değeri de 26 °C’ dir. Markası Alman “SULZER” olan soğutma kulesi çelik konstrüksiyon üzerine kurulmuş olup, sızdırmazlığı dolgu PVC maddesi ile sağlanmaktadır. Soğutma kulesi 194 ton/saat soğutma kapasitesine sahiptir.

Soğutma kulesi pompası, soğutulan suyun tekrar ana depodaki soğuk su kısmına basılmasını sağlar. Pompanın markası Alman “C. Friedrich Nienstadt” olup, 7.5 kW güce sahiptir. Su basma kapasitesi 100 m³/h’ dir.

Motor soğutma suyu sisteminin kontrolü ayrı bir elektrik panosu ve PLC sistemi ile yapılmaktadır. Soğutma suyu sistemi, ana sistem yazılımı ile kontrol edilebilmekte ve su seviye ölçüm algılayıcıları sayesinde, sistem uygun miktarda suyu gerekli zamanda gerekli yere basabilmektedir. Bunun yanında, sisteme manuel olarak da müdahale edilebilmektedir.



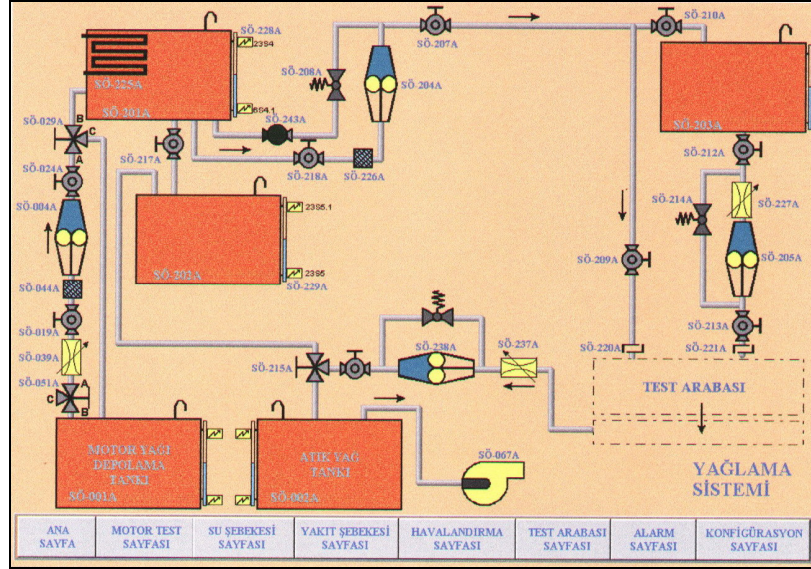
Şekil 4.11. Motor soğutma suyu sistemi

4.1.20. Merkezi motor yağı sistemi

Sistemde yağ pompalı ve filtrelili, 3.800 litre yağ alma kapasiteli bir motor yağı depolama tankı mevcuttur. Bu ortak tanktan her kabinin içinde mevcut bulunan eşanjörlü (kızdırıcı) temiz yağ tankına yağ pompalanabilir. Eşanjör sistemi yağın motora gönderilmeden önce uygun bir sıcaklık derecesine kadar ısıtılmasını sağlar. Temiz yağ tankında bulunan seviye algılayıcı sayesinde yağ miktarı belirlenir. Yağın azalması durumunda sistem otomatik olarak uygun miktarda yağı temiz yağ tankına pompalar. Bu sistemle ilgili ayrıntılı bilgi 4.1.8.1 numaralı paragrafta anlatılmıştır.

Kabin içinde temiz yağ tankının haricinde bir adet “kirli yağ tankı” mevcuttur. Kirli yağ deposu; motor testi sonrasında kirlenerek, viskozite ölçümü sonrasında kullanıma uygun olmadığına karar verilen motor yağının depolanması amacıyla kullanılır. Bu sistemle ilgili ayrıntılı bilgi 4.1.8.2 numaralı paragrafta anlatılmıştır.

Şekil 4.12’de motor yağlama sisteminin kontrol ekranı görülmektedir.



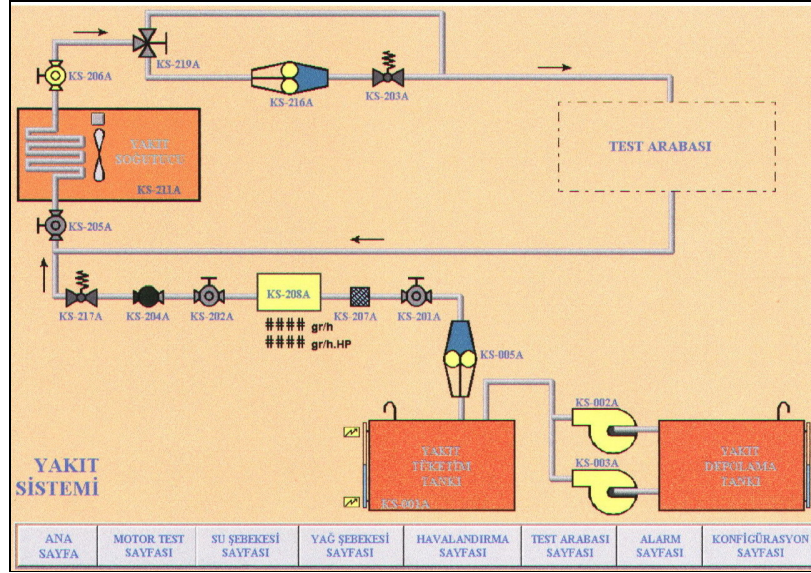
Şekil 4.12. Motor yağlama sistemi

4.1.21. Merkezi motor yakıt sistemi

Sistemde yakıt pompalı ve filtrelili 3.800 litre yakıt alma kapasiteli bir “yakıt tüketim tankı” mevcuttur. Ayrıca bunun haricinde, 10.000 litre yakıt alma kapasiteli bir ana yakıt depolama tankı da bulunmaktadır. Bu iki tank birbirine bağlıdır. Yakıt seviye göstergesi minimum seviyenin altına düştüğü anda, ana depolama tankından tüketim tankına uygun miktarda yakıt basılarak seviye tamamlanır. Yakıt tüketim tankındaki yakıtın sıcaklığı, yakıt soğutma tankında uygun sıcaklığa soğutulmuş olarak test arabasındaki hatta basılır. Yakıtın soğutulması ile ilgili düzenek kabin içerisinde bulunmakta olup 4.1.11 numaralı paragrafta detaylı şekilde anlatılmıştır.

Yakıt sarfiyatı ölçme sistemi ile ilgili detaylı açıklama 4.1.12 numaralı paragrafta verilmiştir.

Şekil 4.13’de merkezi motor yakıt sistemi kontrol ekranı görülmektedir.



Şekil 4.13. Merkezi motor yakıt sistemi kontrol ekranı

4.2. Testlerde Kullanılan Sarf Malzemeleri

4.2.1. Motor yağı

Motor testlerinde kullanılan motor yağı, turboşarjlı dizel motorlar için özel olarak üretilen ve Amerikan SAE J 300 standardına uygun viskozite derecesine sahip “15W-40” tipi motor yağıdır. Bu standarda göre; 15W-40 tipi motor yağı “multigrade (çoklu dereceli)” olarak nitelendirilmiştir. Bu nitelendirme sınıfına göre, “15W” kodu; maksimum düşük-sıcaklık krank ve pompalama viskozitesini, “40” kodu ise; 100°C’deki minimum-maksimum kinematik viskoziteler ile 150°C’deki minimum yüksek hız viskozitesini ifade etmektedir. Bu yağla ilgili teknik özellikler aşağıdaki Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.9. Motor yağlarının SAE viskozite dereceleri (SAE J 300) [13]

SAE Viscosity Grade	Low-Temperature (°C) Cranking	Low-Temperature (°C) Pumping	Low-Shear-Rate Kinematic	Low-Shear-Rate Kinematic	High-Shear-Rate
	Viscosity ⁽⁹⁾ , mPa·s Max	Viscosity ⁽⁹⁾ mPa·s Max with No Yield Stress ⁽⁹⁾	Viscosity ⁽⁹⁾ (mm ² /s) at 100 °C Min	Viscosity ⁽⁹⁾ (mm ² /s) at 100 °C Max	Viscosity ⁽⁹⁾ (mPa·s) at 150 °C Min
0W	6200 at -35	60 000 at -40	3.8	—	—
5W	6600 at -30	60 000 at -35	3.8	—	—
10W	7000 at -25	60 000 at -30	4.1	—	—
15W	7000 at -20	60 000 at -25	5.6	—	—
20W	9500 at -15	60 000 at -20	5.6	—	—
25W	13 000 at -10	60 000 at -15	9.3	—	—
20	—	—	5.6	<9.3	2.6
30	—	—	9.3	<12.5	2.9
40	—	—	12.5	<16.3	2.9 (0W-40, 5W-40, and 10W-40 grades)
40	—	—	12.5	<16.3	3.7 (15W-40, 20W-40, 25W-40, 40 grades)
50	—	—	16.3	<21.9	3.7
60	—	—	21.9	<26.1	3.7

4.2.2. Antifriz

Motor testlerinde kullanılan antifriz katkısı, düşük sıcaklıklarda motor soğutma suyunun donmasını engeller. Kullanılan antifriz maddesi, TS 3582 standardına uygun olan etilen glikol esaslı antifrizdir. Motor soğutma suyunun içindeki kullanım oranı %50'dir. Resim 4.17'de gösterilen ölçüm cihazı ile düzenli aralıklarla antifriz derişiklik kontrolü yapılarak gerektiğinde sisteme uygun miktarda antifriz takviye edilir.

Kullanılan antifrizle ilgili teknik özellikler TS 3582 standardından alıntı yapılan Tablo 4.10'da verilmiştir.

4.2.3. Dizel yakıtı

Testlerde kullanılan dizel motor yakıtı VV-F-800, DF-2 standardına uygun olan, NATO kodu Oconus (F54) olarak anılan dizel motor yakıtıdır. Bu yakıtı a ait teknik özellikler Tablo 4.11'de gösterilmiştir.



Resim 4.17. Antifriz oranı ölçüm cihazı

Tablo 4.10. Antifrizlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri (TS 3582) [14]

Özellik	Etilen glikol esaslı		Propilen glikol esaslı		Geri kazanılmış etilen glikol esaslı		Geri kazanılmış propilen glikol esaslı	
	Derişik	% 50'lik	Derişik	% 50'lik	Derişik	% 50'lik	Derişik	% 50'lik
Bağıl yoğunluk 15,5/15,5 °C	1,110 - 1,145	en az 1,065	1,030 - 1,065	en az 1,025	1,110 - 1,145	en az 1,065	1,030 - 1,065	en az 1,025
Donma Noktası, °C, en çok, - İyonları giderilmiş su ile hacimce % 50 oranında seyreltilmiş antifriz - Seyreltilmemiş antifriz	-37 -	- -37	-32 -	- -32	-37 -	- -37	-32 -	- -32
Kaynama noktası ⁽¹⁾ , °C, en az, - İyonları giderilmiş su ile hacimce % 50 oranında seyreltilmiş antifriz - Seyreltilmemiş antifriz	108 163	- 108	104 152	- 104	- 163	107,8 -	- 152	104 -
Kül, % (m/m), en çok	5,0	2,5	5,0	2,5	5,0	2,5	5,0	2,5
pH - İyonları giderilmiş su ile hacimce % 50 oranında seyreltilmiş antifriz - Seyreltilmemiş antifriz	7,5 – 11,0 -	- 7,5 – 11,0	7,5 – 11,0 -	- 7,5 – 11,0	7,5 – 11,0 -	- 7,5 – 11,0	7,5 – 11,0 -	- 7,5 – 11,0
Klorür, mg/L, en çok	25	25	25	25	25	33	25	33
Su, % (m/m), en çok	5	Uygulanmaz	5	Uygulanmaz	5	Uygulanmaz	5	Uygulanmaz
Araç boyasına etki	Etki etmemeli	Etki etmemeli	Etki etmemeli	Etki etmemeli	Etki etmemeli	Etki etmemeli	Etki etmemeli	Etki etmemeli
Sülfat, mg/L, en çok	-	-	-	-	100	140	100	140

⁽¹⁾ Deneysel sonuçta bazı tortular görülebilir. Bu durum, ret sebebi sayılmaz.

Tablo 4.11. F54 Dizel motor yakıtına ait teknik özellikler

F54 Dizel Motor Yakıtına Ait Teknik Özellikler	
Alevlenme Noktası (min.)	56 °C , 133 °F
Karbon Artığı, max. Kütle %	0.20
Hızlandırılmış Kararlılık	1.5 mg / 100 mL.
Partikül (max. mg / L)	10
Görünüm	Açık ve berrak
Kül Oranı (max. %)	0.02
Yoğunlaşma Sıcaklığı	Maximum 357 °C , 675 °F Son Nokta, max. 370 °C , 698 °F
Kinematik Viskozite	40 °C cst min. 1.8 , max. 9.5
Sülfür , (max. %)	0.50
Setan , min.	45.0

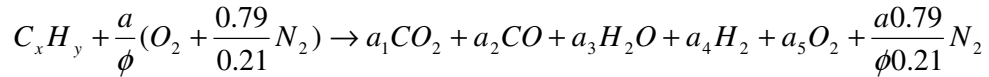
4.3. Egzoz Emisyonlarının Ölçülmesi

Motor test kabiniinde egzoz emisyon ölçümlerinin nasıl yapıldığı işlemine geçmeden önce “egzoz emisyonu kavramı” hakkında temel bilgileri gözden geçirmek gereklidir.

4.3.1. Yanma olayının tanımlanması

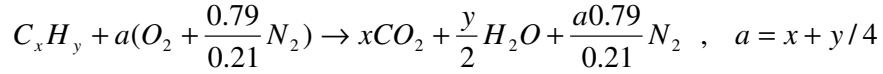
Yanma, yakıt ve oksijen kaynağı arasında olan ve ısı enerjisi açığa çıkaran kimyasal bir olaydır.

Komple yanma olayının ardından bazı ürünler meydana çıkar. “ ϕ ” simgesi “eşitlik oranı” anlamına gelmektedir. Yakıtın atmosferle yaptığı “fakir karışım ($\phi < 1$)”, “sitokiyometrik karışım ($\phi = 1$)” ve “ zengin karışım ($\phi > 1$)” reaksiyonları sonucu oluşan ürünler aşağıda verilen genel denklemle ifade edilebilir;



Yukarıdaki denklem ürün oluşumunu incelemenin başlangıç noktasıdır. Yanmanın durumuna göre oluşacak ürünler farklılık gösterecektir.

Komple yanmanın sitokiyometrik olması durumunda, aşağıda verilen denklem oluşacaktır. Reaksiyon sonucu ortaya çıkan ürünler incelendiğinde; sadece CO_2 , H_2O ve N_2 oluştuğu görülür ki, bu durum bütün yakıtın tamamen yandığını göstermektedir. Bu durumun gerçek hayatta meydana gelmesi kesinlikle mümkün değildir. Teorideki en iyi yanma durumunu ifade etmektedir ki, bütün yanma işlemleri sitokiyometrik şartlara yakınlaştırılmaya çalışılır.



Komple yanmanın fakir yanma ($\phi < 1$) olması durumunda, bütün yakıtın CO_2 ve H_2O 'ya dönüşmesinden dolayı, $a_2 = a_4 = 0$ durumu ve C, H, O 'nun atomik dengesinden dolayı $a_1 = x, a_3 = y/2, a_5 = a(1 - \phi)/\phi$ durumu oluşacaktır. Bunun anlamı; fakir yanma reaksiyonu sonucunda sadece karbondioksit, su buharı ve azot oluştuğudur.

Komple yanmanın zengin yanma ($\phi > 1$) olması durumunda, atomik dengeye göre ürün kompozisyonunu hesaplamak mümkün olmayacaktır. Bunun nedeni ise, reaksiyon sonucu oluşan ürünler arasında sadece CO_2 ve H_2O 'nun olmaması, CO, NO ve NO_x gibi daha farklı ürünlerin de oluşmasıdır. İşte oluşan bu ürünleri “yanma emisyonları” olarak adlandırıyoruz.

4.3.2. Emisyon ölçüm cihazı

Motor testlerinde kullandığımız motor yanma gazı emisyon ölçüm cihazı “Madur” marka, “GA-21 Plus” model bir cihazdır. Bu cihaz çok fonksiyonlu bir gaz analiz cihazıdır. Gaz konsantrasyonun ölçümünde elektro-kimyasal algılayıcılar kullanır. Her cihazda isteğe göre 2 ile 4 arasında algılayıcı kullanımı mümkündür. Ölçüm yapılan gaz konsantrasyonuna göre algılayıcı sayısı değişim göstermektedir. Testlerde kullandığımız cihazda 3 adet algılayıcı mevcuttur ki, bu sayede oksijen (O_2), karbonmonoksit (CO), azotoksit (NO), karbondioksit (CO_2) ve azotoksitlerin (NO_x) ölçümleri gerçekleştirilebilir[15].

Yukarıda bahsettiğimiz ilk üç emisyon değeri elektro-kimyasal algılayıcılar aracılığıyla ölçülür, diğer gazlara ait emisyon değerleri ise cihaz tarafından hesaplanarak bulunur. O_2 ve CO_2 değerleri yüzde şeklinde gösterilir. Diğer emisyon

değerleri ise hacim konsantrasyonu (ppm), mutlak kütle konsantrasyonu (mg/m^3) ve oksijen miktarına bağlı kütle konsantrasyonu (mg/m^3) şeklinde gösterilebilir.

Bunun yanında, hava giriş sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve gaz sıcaklığı da ölçülebilmektedir. Cihaz, ölçülen sıcaklık değerlerini, gaz konsantrasyonunu ve bilinen yakıt parametrelerini kullanarak SL (stack loss- baca kaybı), η (efficiency-verim), λ (excess air-hava fazlalık katsayısı) ve IL (incomplete combustion loss-tamamlanmamış yanma kaybı) değerlerini hesaplayabilir[15].

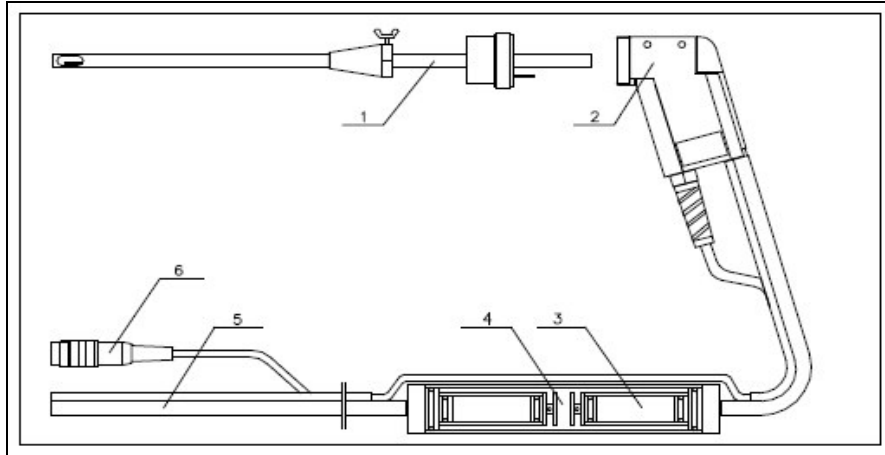
Diğer ölçümlerin yanında değişken basınç ölçümü de yapabilen gaz analiz cihazı bir mikroişlemci tarafından kontrol edilir. Bir LCD ekrana, bir $EEPROM$ hafızaya, klavyeye ve baskı sistemine sahiptir. Resim 4.18’de gaz analiz cihazı görülmektedir.

Şekil 4.14’te gaz çevrim elemanlarından bir tanesi olan “filtreli gaz probu” görülmektedir. Filtreli gaz probu, Resim 4.18’de gösterilen analiz cihazına bağlı olarak çalışır. Gaz çevrim sistemi; termokopullu prob borusu (1), prob tutucusu (2), filtre elemanları (3), toz filtresi (4), hortum ucu (5) ve tapa (6)’dan oluşmaktadır. Filtreli gaz probunun haricinde, gaz pompası ve gaz odası da diğer gaz çevrim elemanlarıdır[15].

Tablo 4.12’de gaz algılayıcılarının adları, hücre tipleri ve ölçüm aralıkları verilmiştir.



Resim 4.18. Gaz analiz cihazı [15]



Şekil 4.14. Filtreli gaz probu [15]

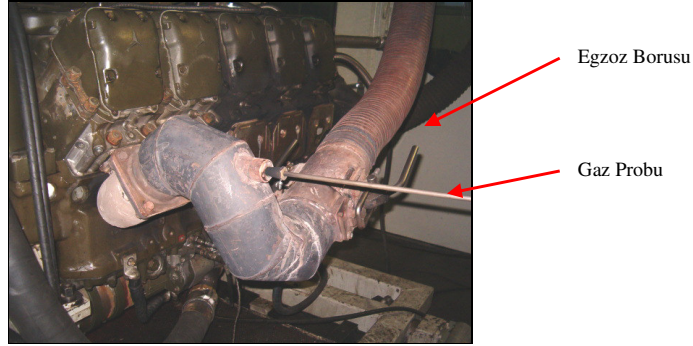
Tablo 4.12. Gaz algılayıcıları, hücre tipleri ve ölçüm aralıkları [15]

Gas	Cell type	Range [ppm]
O ₂	2FO	0 - 20.9 %
CO	A3E/D	0 - 4000
CO	3FD	0 - 20 000
CO	3M/F	0 - 10 %
NO	3NF/F	0 - 5 000
NO ₂	3NDH	0 - 1000
SO ₂	3SF	0 - 5000

4.3.3. Gaz emisyon ölçümünün yapılması

Gaz emisyon ölçümü, kararsız motor durumları haricindeki 810 adet test için (Bkz. EK-A) ayrı ayrı yapılmıştır. Her ölçüm, motor testi sırasında, motor kararlı bir çalışma düzeni yakaladığında yapılmıştır. Yapılan her ölçüm sonrasında, analiz cihazından baskı sayfası alınmış ve test formlarına iliştilmiştir.

Resim 4.19 ve Resim 4.20’de görüldüğü gibi, emisyon ölçümleri motor egzoz borusundaki özel ölçüm deliğinden, gaz probunun sokulması ve 30 sn süre ile beklenmesi suretiyle yapılmıştır. Bu 30 saniyelik süre, analiz cihazı tarafından tutulmakta ve süre bittiğinde analiz cihazı ölçümü sonlandırmaktadır. Ölçüm sonunda cihaz ekranında ölçüm değerleri görülebilmektedir.



Resim 4.19. Egzoz borusu ve emisyon ölçüm deliği



Resim 4.20. Emisyon ölçümünün yapılması

4.4. Motor Üzerinde Ateşleme Açısının Değiştirilmesi İşlemi

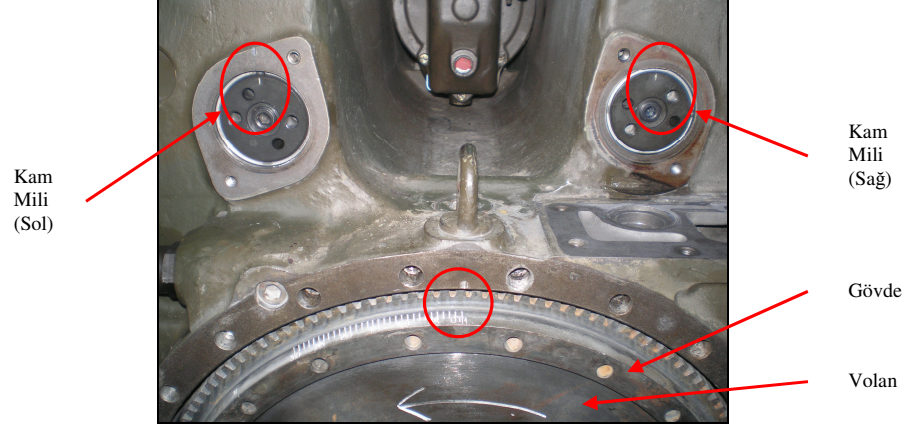
Bu kısımda, motor testleri sırasında ateşleme avans ayarının nasıl yapıldığı anlatılacaktır.

Öncelikle ateşleme avans ayarına geçmeden önce, birinci silindir “üst ölü nokta (ÜÖN)”ya getirilir. Bu işlem “motorun senteye getirilmesi” şeklinde adlandırılmaktadır. Birinci silindir ÜÖN’da iken volan üzerindeki göstergenin “1” çizgisi, gövde üzerindeki çizgiye çakıştırılır. Bu durum Resim 4.21’de görülmektedir.

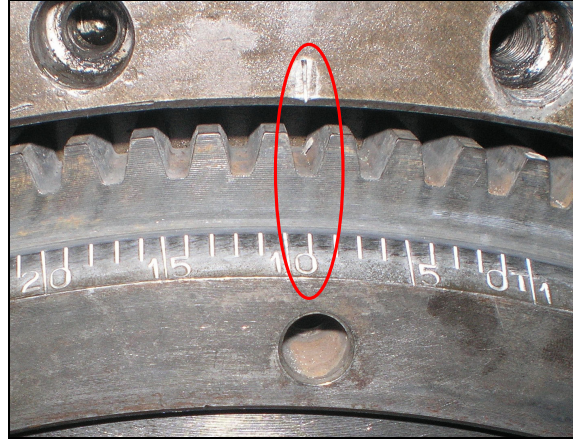
Motor senteye getirildiğinde, aynı zamanda sağ ve sol kam milleri de senteye gelmiş olmalıdır. İki adet kam milinin sente ayarı, üzerlerindeki çizginin gövde üzerindeki çizgiye çakıştırılmasıyla yapılır.

Motor senteye getirildikten sonra, ateşleme avansı (açısı) volan üzerindeki ibreden istenilen değere ayarlanarak, gövde üzerindeki ibreye çakıştırılır. Normal şartlarda, MB 838 CaM 500 motorlarının ateşleme avans ayarı -10° ’ye göre yapılmaktadır. Resim 4.22’de ateşleme avansının -10° ’ye ayarlanmış durumu görülmektedir.

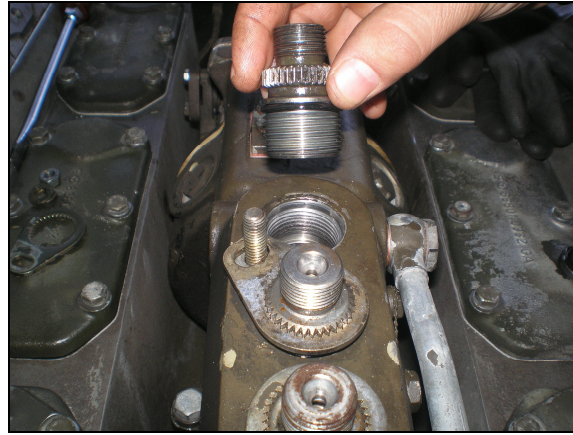
Yukarıdaki paragraflarda anlatılan işlemlerle motor, ateşleme avans ayarına hazır hale getirilir. Ateşleme avans ayarına “yakıt pompası birinci elemanı” sökülerek başlanır. Resim 4.23’te yakıt pompa elemanının sökülmesi gösterilmektedir. Sökülen pompa elemanının yerine “komparatör saati” takılır. Komparatör saatinde başlangıçta “0 (sıfır)” değeri görülmelidir. (Bkz. Resim 4.24)



Resim 4.21. Motorun senteye getirilmesi

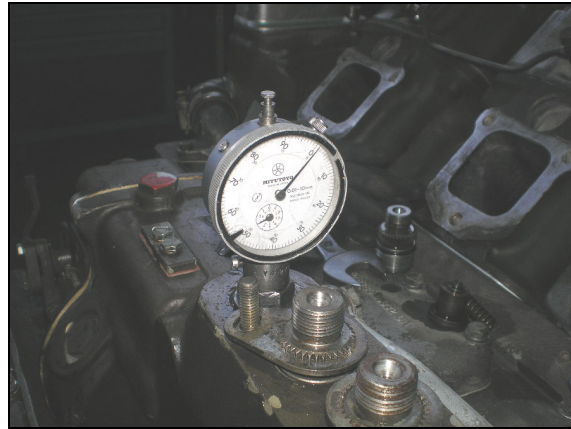


Resim 4.22. Ateşleme avansının ayarlanması



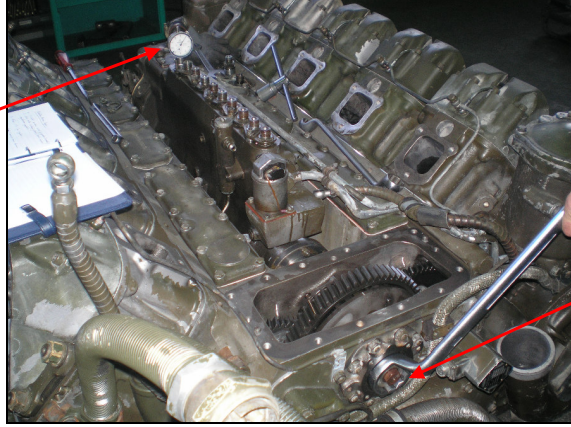
Resim 4.23. Yakıt pompası birinci elemanının sökülmesi

Resim 4.25'te görüldüğü gibi, dişliye bağlı olan mil uygun bir anahtar yardımı ile saat yönünde çevrilerek pompa kam mili döndürülür, pompa kamının birinci pompa elemanına basma miktarı ayarlanır. Pompa kam mili birinci pompa elemanına bastığında, komparatör saatinin ibresi “2.02 mm - 2.14 mm” değerlerinin arasında olacak şekilde ayarlanır. Daha önce denenmiş tecrübe değerlerine göre, en iyi performans veren değer “2.08 mm” olduğu görülmüştür. Resim 4.26'da gösterildiği gibi, komparatör saatinin ibresi 2.08 mm'yi gösterirken, bronz cıvata sıkılarak dişli mili ile pompa kamı senkronize şekilde çalışır hale getirilir. Bu işlemin ardından ateşleme avansının ayarlanması bitirilmiş olur.



Resim 4.24. Yakıt pompası birinci elemanı yerine komparatör saati takılması

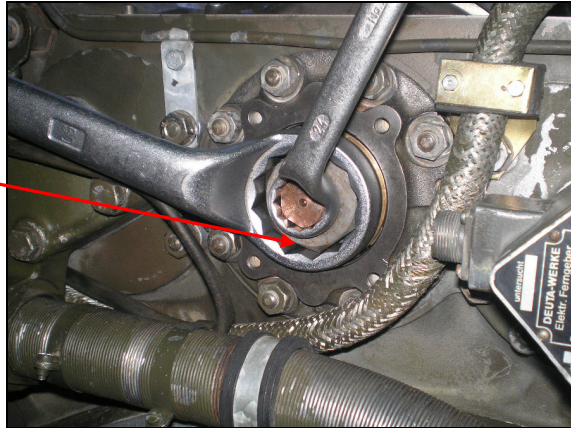
Komparatör saati
2.02 mm-2.14
mm değerlerinin
arasını
göstermelidir.



Pompa kam
mili saat
yönünde
çevrilir.

Resim 4.25. Pompa kam mili basma miktarının ayarlanması

Bronz Cıvata



Resim 4.26. Pompa kam milinin bakır cıvatayla sabitlenmesi

BÖLÜM 5. İKİ AŞAMALI MODELLEME

5.1. Bilgisayar Programının Tanıtılması

“The MathWorks, Inc.” firmasına ait olan “MATLAB Model Based Calibration Toolbox” programı deney dizaynı, istatistiksel modelleme ve kompleks sistemlerin kalibrasyonu için çeşitli kullanışlı araçlar içermektedir. Bu programda iki adet ana kullanıcı arayüzü mevcuttur;

- Deney dizaynı ve istatistiksel modelleme için “Model Browser”
- Analitik kalibrasyon için “CAGE”

5.1.1. Model Browser arayüzünün tanıtılması

Model Browser, deneysel dizaynlar ve istatistiksel modellemeler kurmak ve değerlendirmeler yapmak için kullanılacak esnek, güçlü ve mantıklı araçlar sunar;

- Deney dizaynı pahalı veri toplama zamanını büyük oranda azaltır,
- Optimal, boşluk doldurmalı ve klasik deney dizaynları oluşturulabilir, değerlendirilerek denenebilir ve kısıtlamalar dizayn edilerek sisteme girilebilir,
- Hiyerarşik istatistiksel modeller motor verilerinin doğal karmaşık yapısını kapsayabilir, testler arasındaki değişimler hesaplanabilir,
- Daha önceden yapılmış model tiplerinin geniş bir kütüphanesi mevcuttur. Aynı zamanda kullanıcı tanımlı modeller oluşturabilme kabiliyeti de mevcuttur.
- MATLAB programında oluşturulan modeller Simulink veya CAGE ortamına aktarılarak üzerinde çalışılabilir.

5.1.2. CAGE arayüzünün tanıtılması

CAGE (CALibration GEneration – kalibrasyon üretme), motor elektronik kontrol üniteleri için “look-up(kalibrasyon)” tablolarının oluşturulmasında ve kalibrasyonunda kullanılan kolay kullanımlı bir grafiksel arayüzdür.

Motorlar ve motor davranış modelleri daha fazla karmaşıktıkça, kalibrasyon tablolarına da güven o derecede zorlaşmaktadır. CAGE, kalibrasyon tablolarının kalibrasyonu için analitik metotlar ihtiva eder. CAGE bu kalibrasyon işlemlerinde, motor kontrol alt sistemlerine ait modelleri kullanmaktadır. CAGE kullanmak suretiyle, mevcut *ECU* yazılımında model browser modelleri ile kalibrasyon tabloları doldurulabilir ve optimize edilebilir. CAGE bu modellerden kararlı durumdaki *ECU* kalibrasyonlarını oluşturabilir.

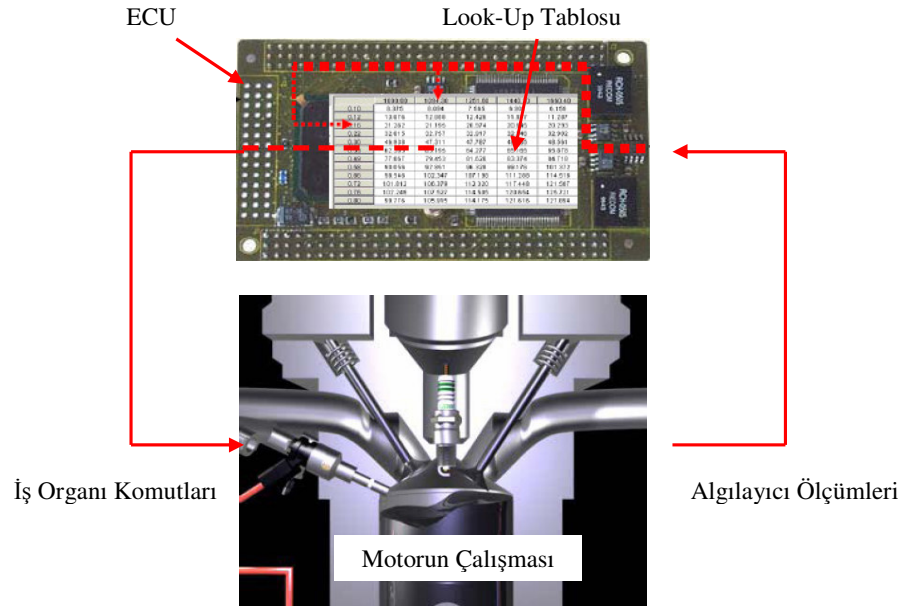
Aynı zamanda look-up tabloları, deneysel verinin geçerliliğinin karşılaştırılmasında da direkt olarak kullanabilmektedir.

5.1.3. Motorlarda kalibrasyon kavramı

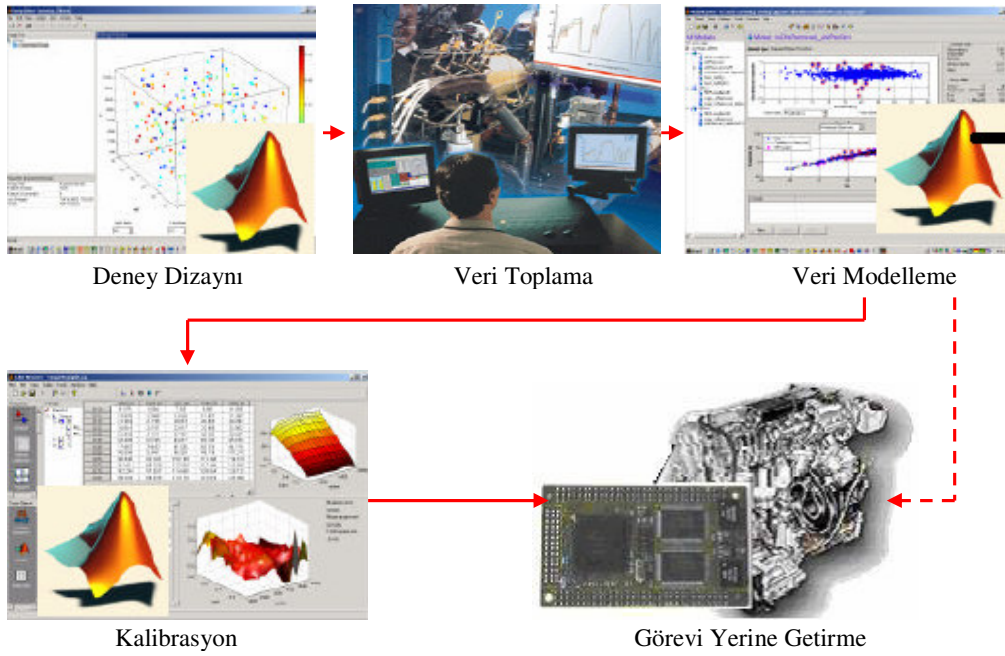
Motorlarda kalibrasyon, algılayıcılar (sensörler) ile iş organları (aktuatörler) arasındaki etki-tepki etkileşimidir. Bu durum, aşağıda verilen Şekil 5.1 ile daha kolay şekilde açıklanmaktadır.

5.1.4. MBC kullanımı ile çözüm metodu

Model Based Calibration Toolbox programının kullanımı ile çözüm metodunda başlıca adımlar şunlardır;



Şekil 5.1. Motorlarda kalibrasyon kavramı



Şekil 5.2. MBC çözüm metodunun işlem akış şeması

- Deney dizaynı
- Veri toplama işlemi
- Veri modelleme
- Kalibrasyon
- Görevi yerine getirme

Şekil 5.2’de *MBC* kullanımı ile çözüm metodunun işlem akış şeması gösterilmektedir.

5.1.5. Motor haritalama (engine mapping) kavramı ve amacı

Motor haritalama, motor girdilerinin bir fonksiyonu olarak motor çıktılarını modellemeye yardımcı olan ve otomotiv endüstrisinde kullanılan bir işlemdir. Sık olarak çıktı değişkenleri “tork ve NO_x ”lerdir. Girdi değişkenleri ise; ateşleme avansı, devir değeri, motor yükü, hava-yakıt oranı vb. gibi değerlerdir.

Modelleme yapabilmek için, ateşleme taramasından elde edilen verilerin tanımlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Motor haritalama işleminin ana amacı; motor kısıtlamalarını dikkate alarak, egzoz emisyonlarının ve egzoz sıcaklığının optimum yakıtla sağlanmasını oluşturmak için, elektronik kontrol ünitesinin optimum ateşleme avansı oluşturmasını sağlamaktır.

5.2. Deneyin Yapılması ve Modellerin Oluşturulması

5.2.1. Deney dizaynı

Motor haritalama çalışmasına başlanmadan önce deney dizaynı işlemi yapılmalıdır. Deney dizaynının amacı; oldukça pahalıya mal olan veri toplama işlemi en az ve en

etkin test noktalarıyla gerçekleştirebilmektir. Bunun için *MBC* programının kullanıcıya sunduğu bazı deney dizaynı seçenekleri mevcuttur. Bunlar; optimal dizayn (örneğin; v-optimal, d-optimal), boşluk doldurma dizaynı (örneğin; latin hypercube) veya klasik dizayn (örneğin; merkezi oluşum, full factoriel) gibi dizaynlardır.

Bu tez çalışmasında ise bu dizaynlar kullanılmamış olup, 3.1.1 numaralı kısımda anlatılan ve tablo halinde sunulan püskürtme açısı, tork değeri ve motor devrine göre belirlenen deneysel taramalar yapılmıştır. 3.1.2 numaralı kısımda anlatıldığı gibi, elde edilen sonuçlardan kararlı durumda olmayanlar elenerek modelleme gerçekleştirilmiştir. EK-A'da verilen listenin onüç ve ondördüncü sayfalarındaki sarı renkle gösterilen satırlar kararsız testlerdir. Bu testler, daha sonra model oluşturma aşamasında “outliers-uzak noktalar” olarak kabul edilecek ve modellerden çıkartılacaktır.

5.2.2. Veri toplama

Yapılan bu tez çalışmasında, veri toplama aşamasındaki bütün faaliyetler, testlerin yapılma yöntemleri ve sonuçların alınarak doküman haline getirilmesi Bölüm 4'te detaylı olarak açıklanmıştır.

5.2.3. Veri modelleme

Veri modelleme işlemine başlanmadan önce, ortadaki problemin ve çalışmanın amacının tanımlanması gereklidir. Bu çalışmanın ana amacı, ateşleme avansı, motor devir değeri ve motor momenti (tork) değerlerine göre kalibrasyon tablolarının oluşturulmasıdır. Kalibrasyon tablolarının oluşturulacağı motor parametreleri ile diğer ölçüm değeri alınan parametreler EK-A listesinde de belirtilmiş olup, öncelikle bu parametrelere ait kısaltmaların belirlenmesi gerekmektedir. Aşağıdaki Tablo 5.1'de verilen bu kısaltmalar program oluşturulma safhasında da kullanılacaktır.

Kalibrasyon tablolarının oluşturulmasında ilk adım olarak testlerden elde edilen veri tablosu (EK-A) *MB* ara yüzüne aktarılmalıdır. Sonra, bu bilgileri temel alan modellerin oluşturulmasına gerek vardır. Modellerin sonuçları da CAGE ara yüzünde kullanılarak optimal kalibrasyon tabloları oluşturulacaktır.

5.2.3.1. Egzoz sıcaklıklarının iki aşamalı modellenmesi

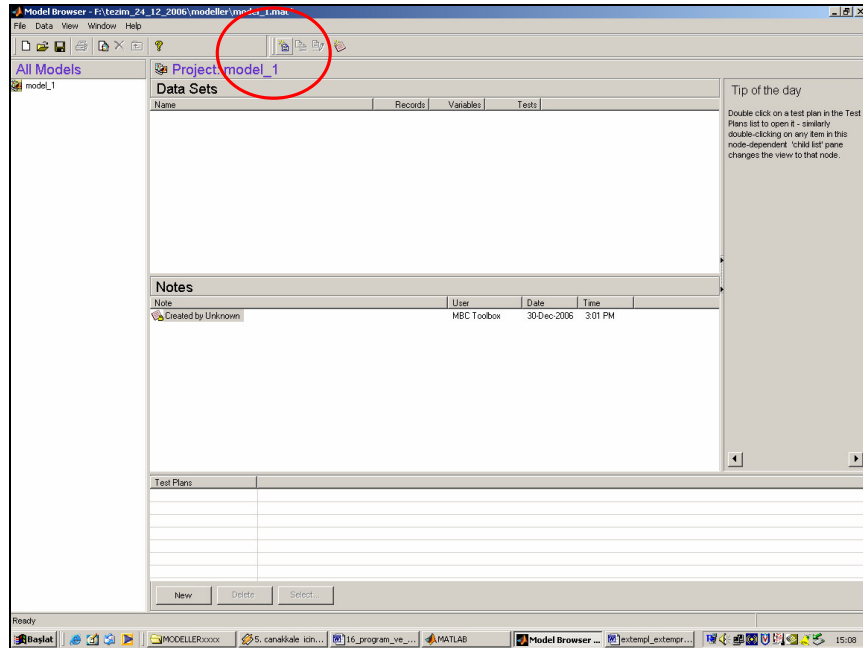
Bu çalışmada ateşleme avansı (S); motor momenti (T) ve motor devrinin (N) bir fonksiyonu olarak modellenecektir. Modellemenin safhaları adım adım programa ait ekran görüntülerinin adım adım ile açıklanmasıyla gösterilecektir.

Tek aşamalı modelleme, bir prostedeki bütün bilgileri bir tek modele uygular, verilerin yapısını dikkate almaz. Eğer verinin hiyerarşik bir yapısı varsa, iki aşamalı modelleme bu tarz çalışmalar için daha uygundur.

Bu çalışmada ateşleme avansı (S) bir dizi açığı boyunca taranmıştır. Bu deneysel kurulumda değişimin iki adet kaynağı vardır; birinci değişim kaynağı, ateşleme avansı değiştiğinde test içinde meydana gelen değişimdir. İkinci değişim kaynağı ise, motor devri (N) ve motor momentinin (T) testler arasındaki değişimdir. Test içindeki değişimler “lokal”, testler arasındaki değişimler ise “global” olarak adlandırılmaktadır. İki aşamalı modellemede lokal ve global modeller iki aşamada sabitlenerek, lokal ve global düzeydeki değişimler ayrı ayrı tahmin edilirler. Lokal model bütün testlere bağımsızca uydurulur. Lokal modellerin hepsinin sonuçları, bütün global değişkenler üzerinden global modellerin uydurulmasında kullanılırlar. Global modelin tahmin edilmesi suretiyle herhangi bir devirdeki veya momentteki lokal model katsayıları tahmin edilebilmektedir. Bu çalışmanın da ana temelini bu yöntem oluşturmaktadır.

Tablo 5.1. Motor parametrelerinin kısaltmaları

Motor Parametrelerine Ait Kısaltmalar			
İngilizce Adı	Türkçe Adı	Kısaltması	Birimi
spark	Ateşleme Avansı	<i>S</i>	Deg (Derece)
tq (Torque)	Moment (Tork)	<i>T</i>	<i>Nm</i>
<i>n</i> (revolution)	Motor Devri	<i>N</i>	<i>rpm</i>
logno	Test Grup Numarası	logno	yoktur
Engine Power (kw)	Motor Gücü	<i>kw</i>	<i>kW</i>
Exhaust Temperature (Right)	Egzoz Sıcaklığı (Sağ)	extempr	°C
Exhaust Temperature (Left)	Egzoz Sıcaklığı (Sol)	extempl	°C
Engine Water Temperature (inlet)	Motor Giriş Suyu Sıc.	engwatertempin	°C
Engine Water Temperature (outlet)	Motor Giriş Suyu Sıc.	engwatertempin	°C
Fuel Consumption	Yakıt Tüketimi	fuelcon	<i>gr / dk</i>
Specific Fuel Consumption	Spesifik Yakıt Tüketimi	spfuelcon	<i>gr / kWh</i>
Turbo Charger Air Pressure (Right)	Sağ Turbo Hava Basıncı	trbairr	<i>bar</i>
Turbo Charger Air Pressure (Left)	Sağ Turbo Hava Basıncı	trbairl	<i>bar</i>
Carbon Mono Oxide (Right)	CO Oranı (Sağ)	<i>Cor</i>	<i>ppm</i>
Carbon Mono Oxide (Left)	CO Oranı (Sol)	<i>Col</i>	<i>ppm</i>
Nitrogen Mono Oxide (Right)	NO Oranı (Sağ)	<i>Nor</i>	<i>ppm</i>
Nitrogen Mono Oxide (Left)	NO Oranı (Sol)	<i>Nol</i>	<i>ppm</i>
Nox (Right)	NOx Oranı (Sağ)	<i>Noxr</i>	<i>ppm</i>
Nox (Left)	NOx Oranı (Sol)	<i>Noxl</i>	<i>ppm</i>

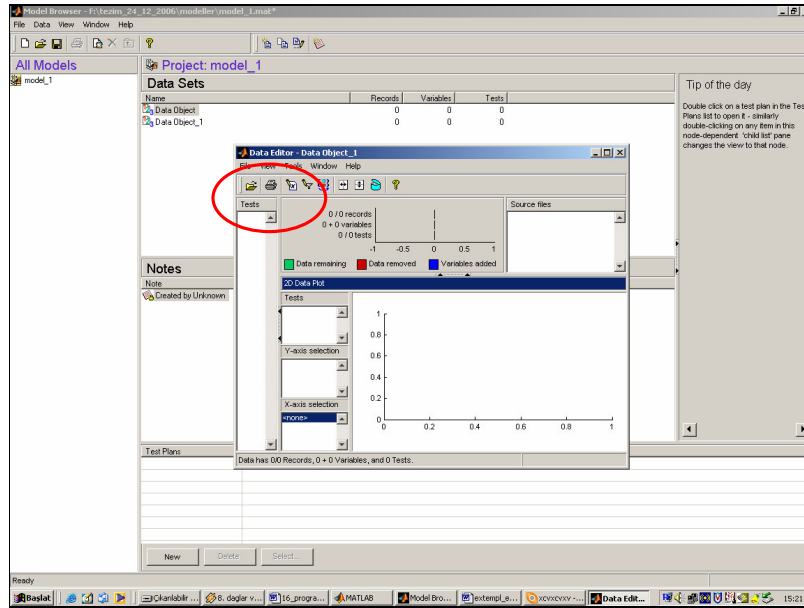


Şekil 5.3. Model Browser penceresi ve Data Editor'un açılması

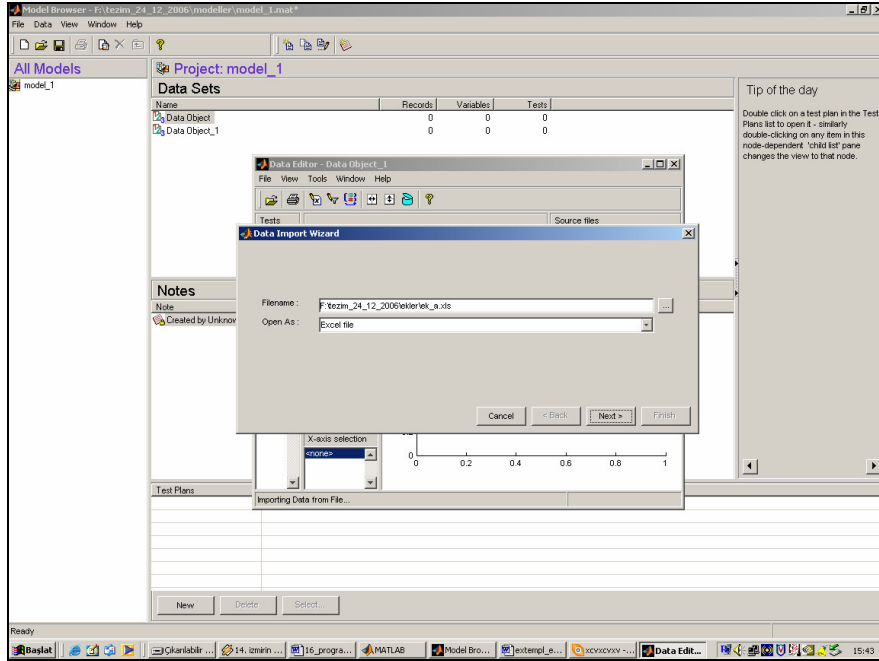
5.2.3.2. Veri dosyasının MB'a transfer edilmesi

Öncelikle, Matlab programı açılarak komut satırında “mbcmmodel” yazılması suretiyle MB ara yüzü açılır. Daha sonra üzerinde çalıştığımız dosya “model_1” adıyla kaydedilir. Kaydedilen dosya MAT-files (Matlab model dosyası) olup “*.mat” uzantılıdır.

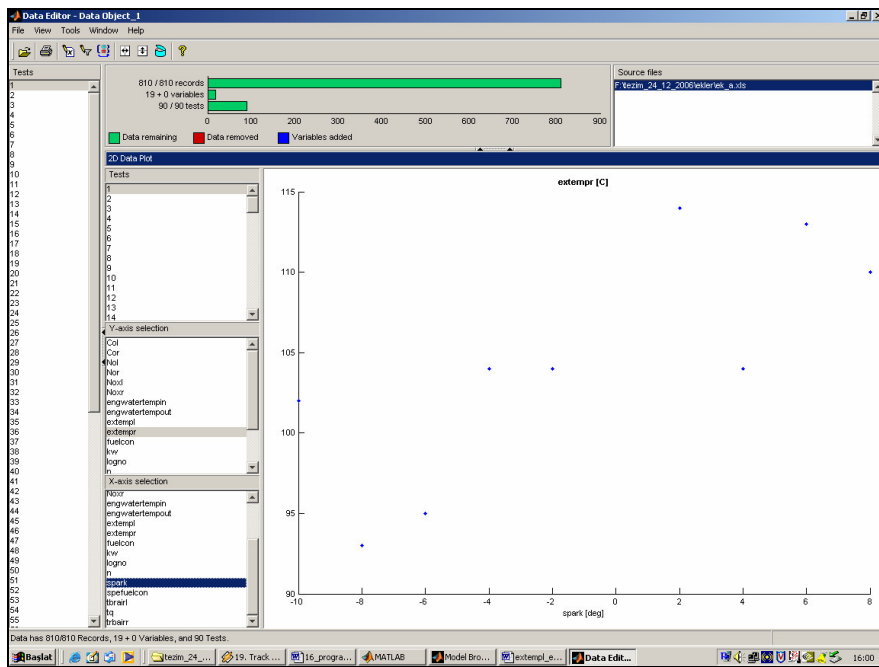
Şekil 5.3'te görülen ve kırmızı daire ile belirtilmiş “New Data Object” tuşuna basılarak Şekil 5.4'te görülen “Data Editor” penceresi açılır. Data Editor'de kırmızı daire içinde belirtilen “Import File” tuşuna basılarak “Data Import Wizard” penceresi açılır. Burada “Browse” tuşuyla, EK-A olarak verilen ve Excel programında hazırlanmış veri dosyası bulunur. Daha sonra “Next” tuşuna basıldığında (Bkz. Şekil 5.5) 810 adet kayıt ve 19 adet değişkenin bulunduğunu belirten, ayrıca değişkenlerin minimum ve maximum sınırlarını gösteren ekran gelir. “Finish” tuşuna basılır. Bu işlemin ardından Şekil 5.6'da gösterildiği gibi, “Data Editor” penceresinde 90 adet test yüklenmiş olur. Bu pencerede, X ve Y eksenlerinin seçimi istenilen değişkenler belirlenerek test noktalarının grafiksel görüntüsü görülebilmektedir.



Şekil 5.4. Data Editor penceresi ve Data Import Wizard'ın açılması



Şekil 5.5. Data Import Wizard ve Excel veri dosyasının yüklenmesi



Şekil 5.6. Data Editor penceresinde doksan adet testin grafiksel gösterimi

Örneğin; Şekil 5.6’da, 1 numaralı testin X eksenini “spark”, Y eksenini “extempr” seçili iken test noktalarının yerleşimi görülmektedir. Bu grafiksel gösterim “2D Data Plot” gösterimidir. Bunun yanında, Şekil 5.7’deki gibi “3D Data Plot” grafiksel gösterimi de uygulanabilir. Burada ise, X eksenini “spark”, Y eksenini “n” ve Z eksenini “extempr” olarak seçilmiştir. Test noktaları ise, üç boyutlu küpün içerisinde bulunduğu aralığın rengine göre gösterilmektedir.

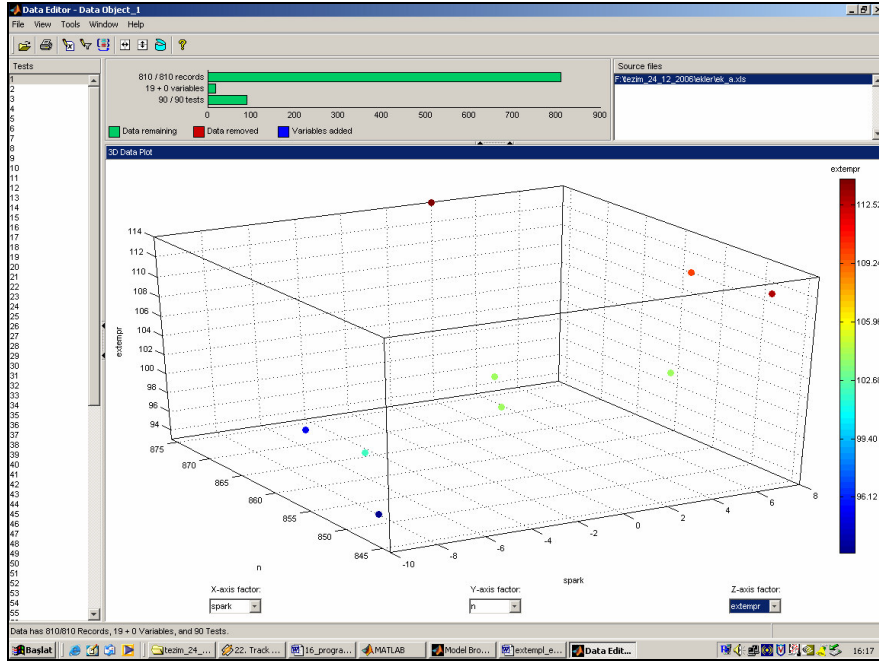
Bu aşamada, artık lokal veya global modelin oluşturulmasına geçilebilir. Burada herhangi bir sıralama yoktur. Hangi modelin önce oluşturulduğu önemli değildir. Fakat “response model (tepki modeli)” oluşturulmadan önce, bu iki modelin de oluşturulması gereklidir.

5.2.3.3. Yeni bir test planının oluşturulması

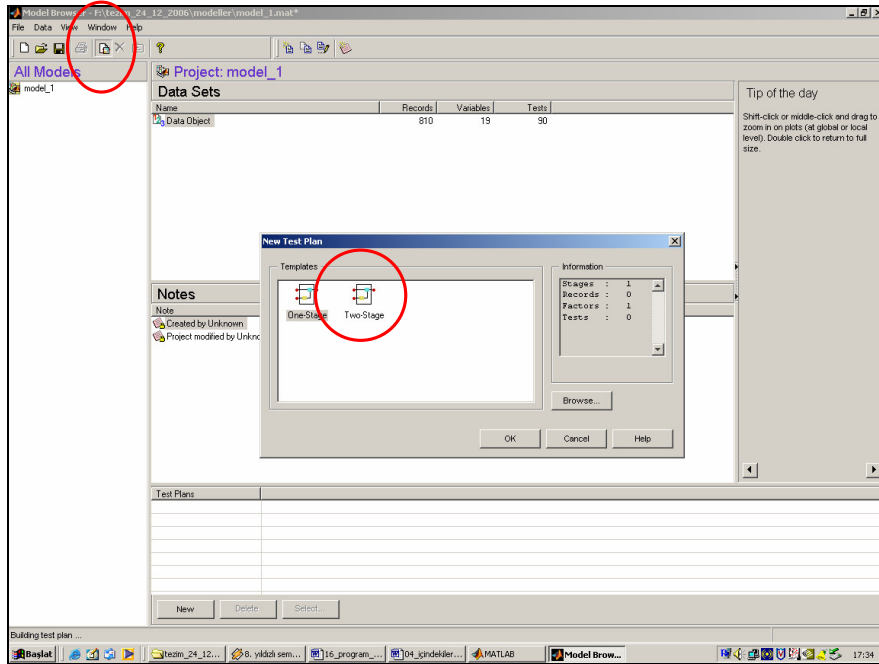
Model oluşturmaya devam edilirken, önce yeni bir test planı oluşturmak gereklidir. Bunun için Şekil 5.8’de gösterilen “New Test Plan” düğmesine tıklanır. “New Test Plan” penceresinde kullanılacak test planı olan “Two Stage” ikonu seçilir. “Ok” tuşlanır. Bu aşamada, program tarafından iki aşamalı test planı oluşturulur ve model ağacındaki “Model_1” in altında iki aşamalı test planının ikonu görülür. “Two stage” ikonuna tıklayınca Şekil 5.9’deki başlangıç (default) durumda olan test planı görülür.

5.2.3.4. Lokal modelin oluşturulması

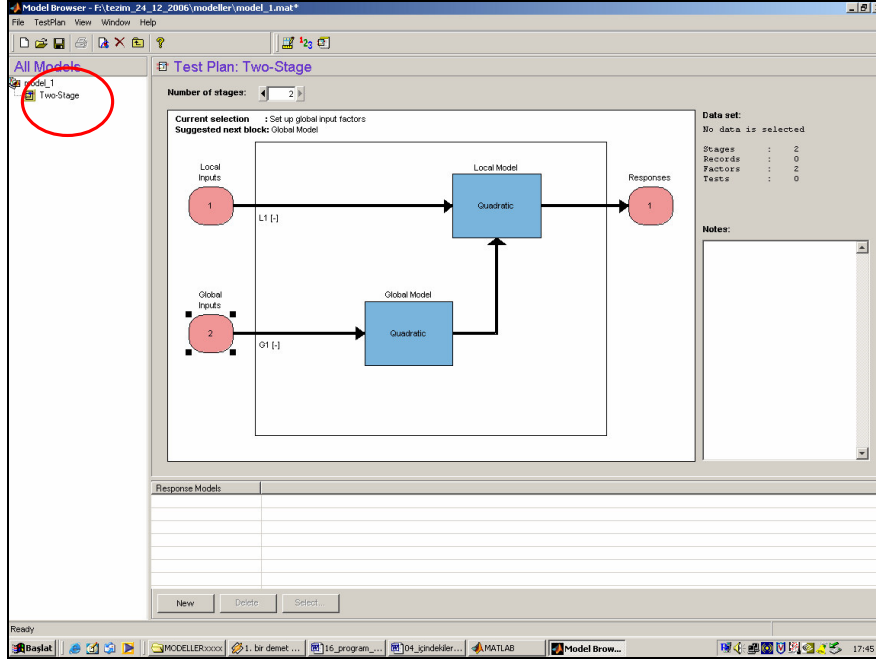
Lokal modelin oluşturulması için, ilk önce modelin sistem girdilerinin ve tipinin belirtilmesi gerekmektedir.



Şekil 5.7. Data Editor penceresinde 3D grafiksel gösterim



Şekil 5.8. New Test Plan penceresi



Şekil 5.9. “Default” durumdaki iki aşamalı test planının görünüşü

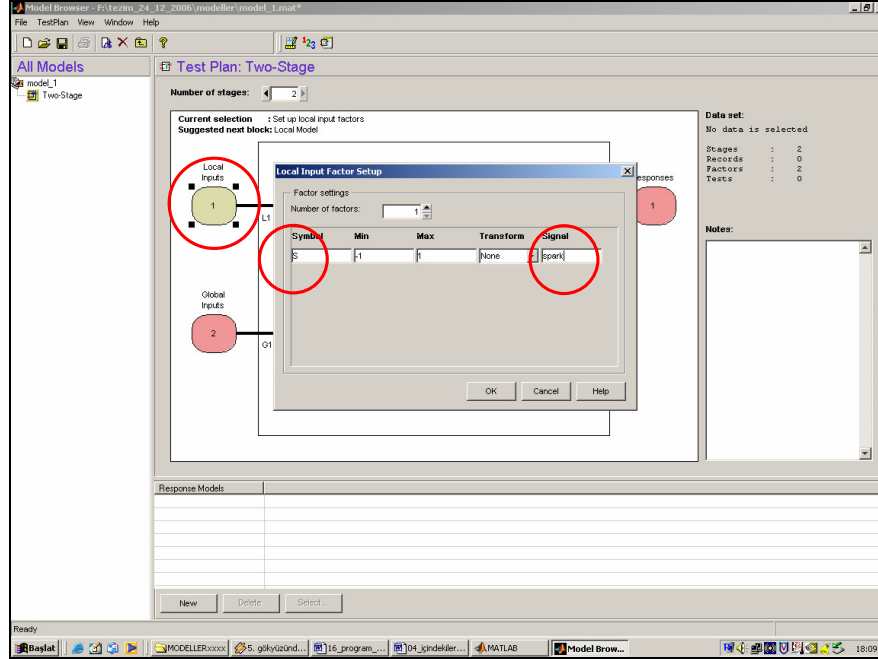
5.2.3.5. Lokal model girdisinin belirtilmesi

Kurmaya çalışılan model, motor tarafından üretilen momente, motor devrine ve ateşleme avansına göre, tarif edilen belirli bir operasyon noktasındaki egzoz gazı çıkış sıcaklıklarının doğru şekilde tahmin edilmesini sağlamayı amaçlamaktadır. Sistem girdisi olarak ateşleme avansı (S) aşağıdaki gibi belirlenir;

- “Lokal Inputs” a çift tıklanır.
- “Lokal Inputs Factor Set Up” diyalog kutusu görünür. (Bkz. Şekil 5.10)
- “Symbol” hanesine “ S ” yazılır.
- “Signal” hanesine “spark” yazılır.

Bu yazılış, EK-A’da verilen listede yazılan parametreyle paralel olmalıdır. Aksi takdirde uyumsuzluklar söz konusu olabilir. Diğer hanelere dokunulmayacaktır. Bu haneler ileride yapılacak olan “Data Selection-Veri Seçimi” işleminde doldurulacaktır. (Bkz. Kısım 5.2.3.10)

- “OK” e basılarak diyalog kutusu gönderilir.



Şekil 5.10. Lokal model girdisinin belirtilmesi

5.2.3.6. Lokal model tipinin belirtilmesi

Lokal model tipi, test verilerinin uydurulacağı matematiksel eğrinin tipidir. Lokal model tipleriyle ilgili detaylı açıklama kısım 3.4.7’de verilmiştir. Bu aşamada, lokal model eğrisi olarak programın başlangıç (default) durumda verdiği “Quadratic” seçilir. Daha sonra başka lokal model eğrileri de denenecek ve aralarından en uygunu seçilecektir.

5.2.3.7. Global modelin oluşturulması

Global modelin oluşturulması için, öncelikle modelin sistem girdilerinin ve tipinin belirtilmesi gerekmektedir.

5.2.3.8. Global model girdisinin belirtilmesi

Global model girdileri, sistemin modellendiği operasyon noktalarını saptayan değişkenlerdir. Bu çalışmada; motor operasyon noktası, moment (tork) ve motor devri tarafından saptanır. Global girdiler aşağıdaki gibi belirtilir;

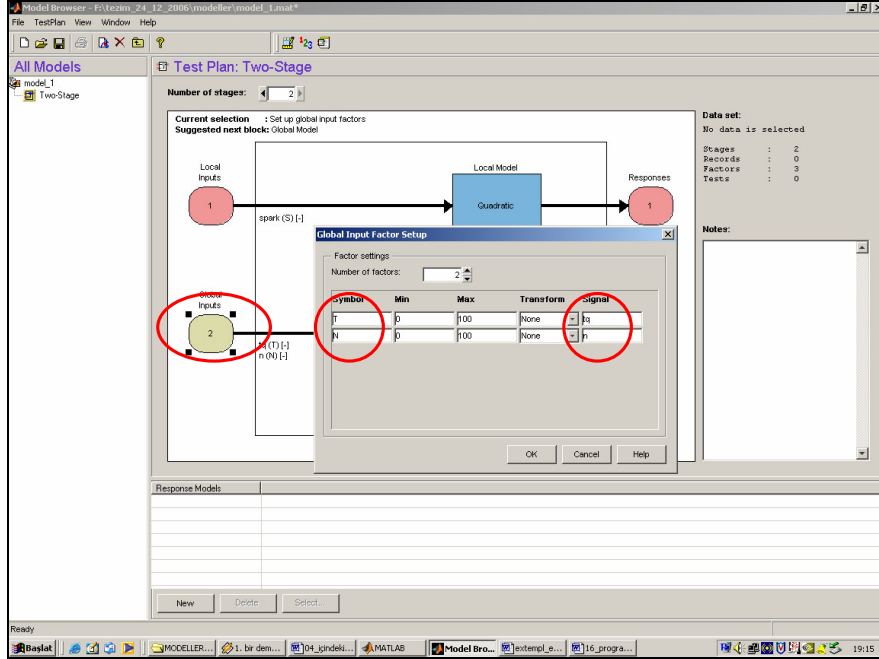
- Model diyagramındaki “Global Inputs” ikonuna çift tıklanır.
- “Global Inputs Factor Set Up” diyalog kutusu görünür. (Bkz. Şekil 5.11)
- Faktör sayısı hanesi “2” yapılır.
- Birinci hanede “Symbol”e “*T*”, “Signal”e “*tq*” sembolleri girilir.
- İkinci hanede “Symbol”e “*N*”, “Signal”e “*n*” sembolleri girilir.
- Min. ve max. haneleri olduğu gibi bırakılır. Bu haneler kısım 5.2.3.10’da gösterilecek olan “Data Selection-veri seçimi” kısmında anlatılacaktır.
- “OK”e basılarak işlem bitirilir.

5.2.3.9. Global model tipinin belirtilmesi

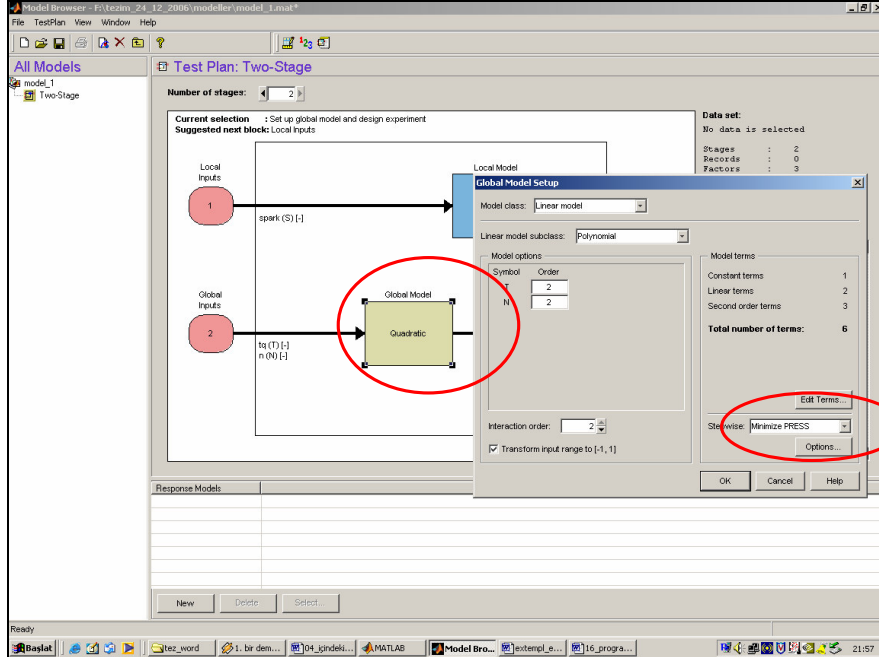
Lokal modelleri oluşturmak, her test için model katsayılarının ve tepki özelliklerinin (örneğin; düğüm noktaları) değerlerini bulmayı sağlar. Bu katsayılar daha sonra global modeli oluşturacağımız bilgiler olarak kullanılırlar.

Global model tipi için başlangıç (default) olarak “quadratic” polinomlar programda yüklüdür. Bu durumda, bu çalışmada da model tipi değiştirilmeyecektir.

Bu aşamada yapılacak diğer bir işlem de “Stepwise” özelliğinin belirlenmesidir. Bu özelliğin kullanılma sebebi, veri noktalarının üst üste gelmesini minimize etmektir. *PRESS*, modelde karma etkiler oluşturan, yakalama noktalarından oluşan gereksiz derecede kompleks (karmaşık) modellerden korunmayı sağlar. Ayrıca *PRESS*, bir tahmin kalitesi ölçütüdür. Minimize *PRESS* moduyla modelin tahmin kalitesi oldukça artar.



Şekil 5.11. Global model girdisinin belirtilmesi



Şekil 5.12. Global Model Setup ekranı ve Minimize PRESS'in seçimi

Şekil 4.12’de “Min *PRESS*” özelliğinin nasıl seçildiği görülmektedir. Model diyagramında “Global Model” dikdörtgenine çift tıklanır ve açılan “Global Model Set Up” diyalog kutusundaki Stepwise kısmındaki açılır listeden “Minimize *PRESS*” seçilir. Ardından “OK” e basılır.

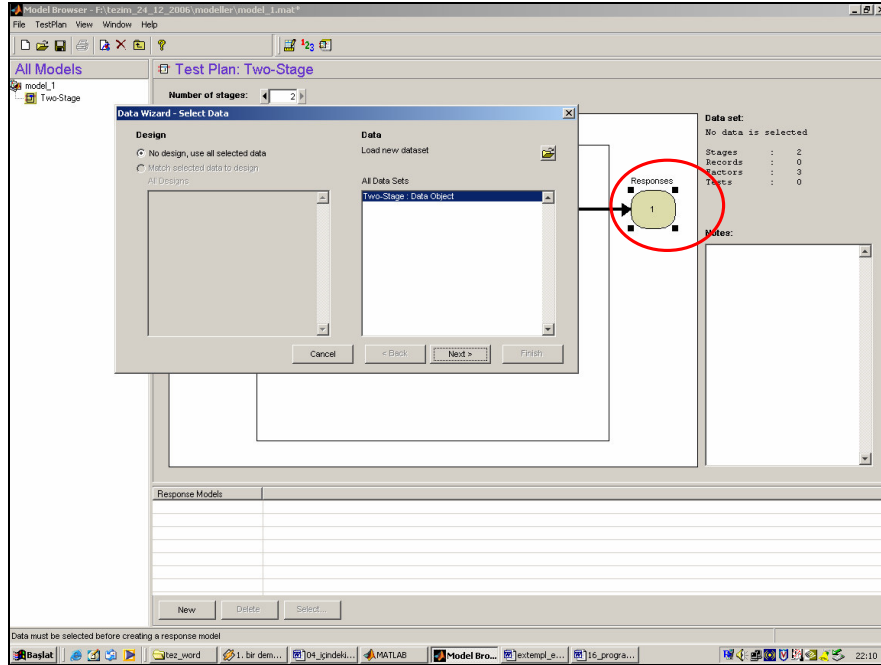
5.2.3.10. Veri seçme işlemi

Kurulan model, testlerden elde edilen verilere ihtiyaç duymaktadır. Bu yüzden test planına EK-A’da verilen veri setinin yüklenmesi gerekmektedir.

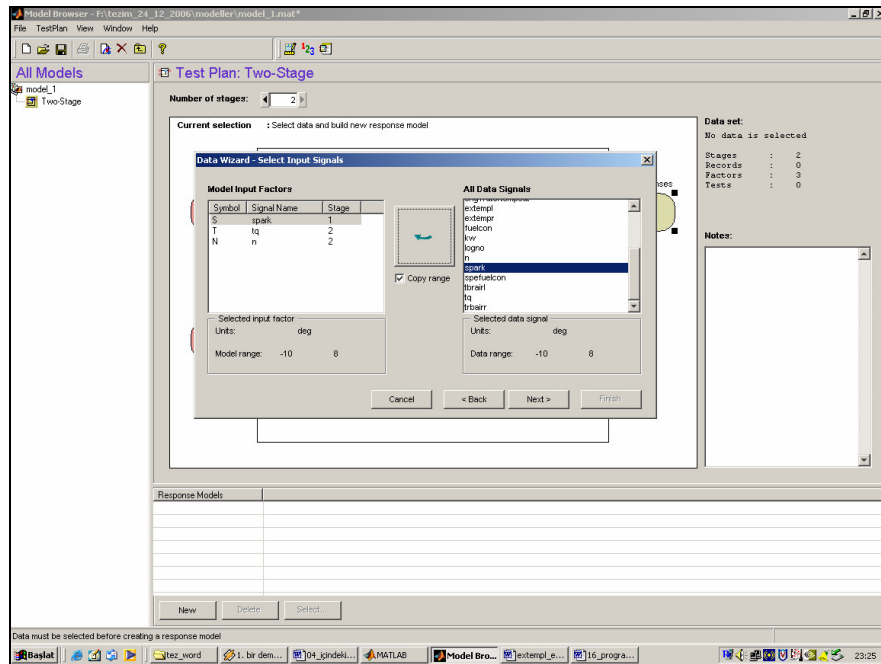
Öncelikle test plan diyagramında “Responses” bloğuna çift tıklanır. Daha önce hiçbir veri seçilmediği için karşımıza “Data Wizard” diyalog kutusu çıkmaktadır. Data Wizard’da “Design” kısmında “No design, use all selected data” işaretli olmalıdır. Böylece, sadece veri seti olarak EK-A’da verdiğimiz liste kullanılır. Zaten “Data Object” default durumdadır. Next’e basılarak işleme devam edilir. Şekil 5.13’te Data Wizard penceresi görülmektedir.

“Data Wizard-Select Input Signals” diyalog kutusunda “Model Inputs Factors” kısmında “S”yi seçtikten sonra “All Data Signals” kısmında “spark” seçilir. Bu arada “Copy Range” işaretli olmalıdır. Böylece, bu faktör için veri dizisinin modelde kullanılması sağlanır. “Select Data Signal” düğmesine basılır. Aynı işlem “T ve tq” ile “N ve n” içinde yapılır. Şekil 5.14’te bu pencere görülmektedir. Input Factor kurulumunda girilen “signal” ismine, veri setindeki “signal” ismini uydurursak, “input factor” seçildiğinde sihirbaz otomatik olarak doğru signali seçer.

Yukarıda bahsedilen bu otomatik seçim özelliği çok parametre sayısına sahip veri setlerinde zaman açısından büyük kolaylık sağlar. Bu işlemlerin ardından “Next” tuşuna basarak bir sonraki adıma geçilir.



Şekil 5.13. Data Wizard diyalog kutusu



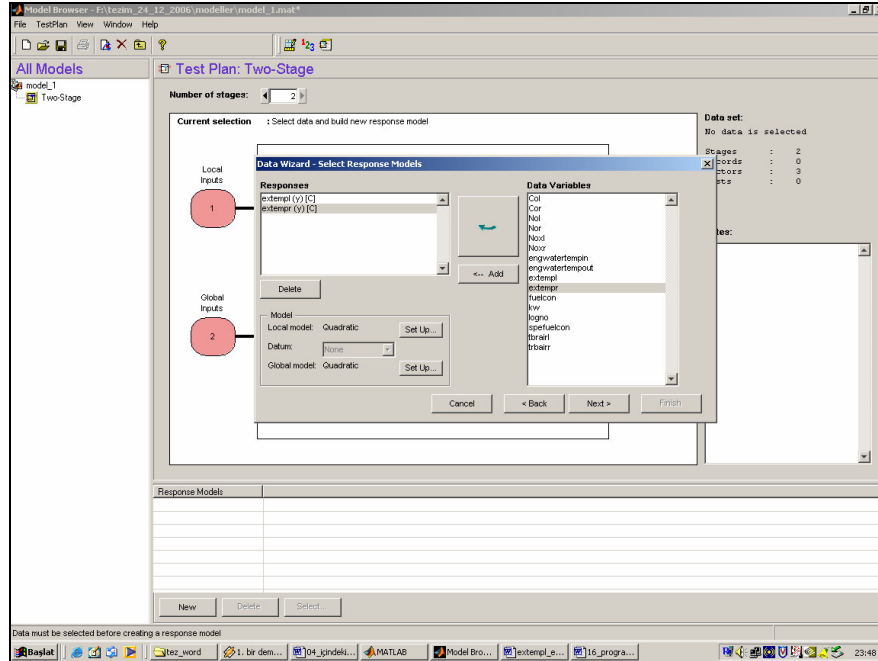
Şekil 5.14. Data Wizard-Select Input Signals diyalog kutusu

5.2.3.11. Tepki (response) modelinin belirtilmesi

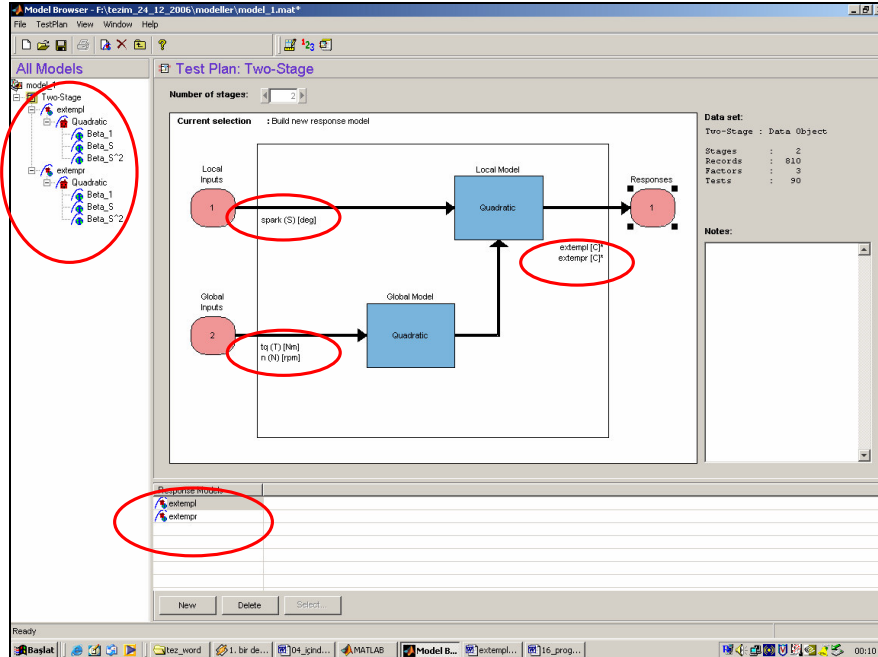
Bu aşamada kurulan model, belirtilmesi gereken bir tepkiye (response) ihtiyaç duyar. Bu tepki, modelin tahmin etmesi istenilen faktördür ki, bu çalışma (model_1) için sağ ve sol taraf egzoz gazı çıkış sıcaklıklarıdır.

Bu diyalog kutusunda, “Data Variables” kısmında “extempr ve extempl” parametreleri arka arkaya seçilerek, ortadaki “Match Data Variable To Response” tuşuyla “Responses” tarafına geçirilir.(Bkz. Şekil 5.15) Ardından “Next” tuşuna tıklanır. “Data Wizard-Set Tolerances” diyalog kutusu açılır. Bu diyalog kutusu deney dizaynına veri uydurmak için kullanılır. Bu durumda dizayn kullanılmadığı için, bu diyalog kutusu hesaba katılmayıp, “Finish” tuşuna basılabilir.

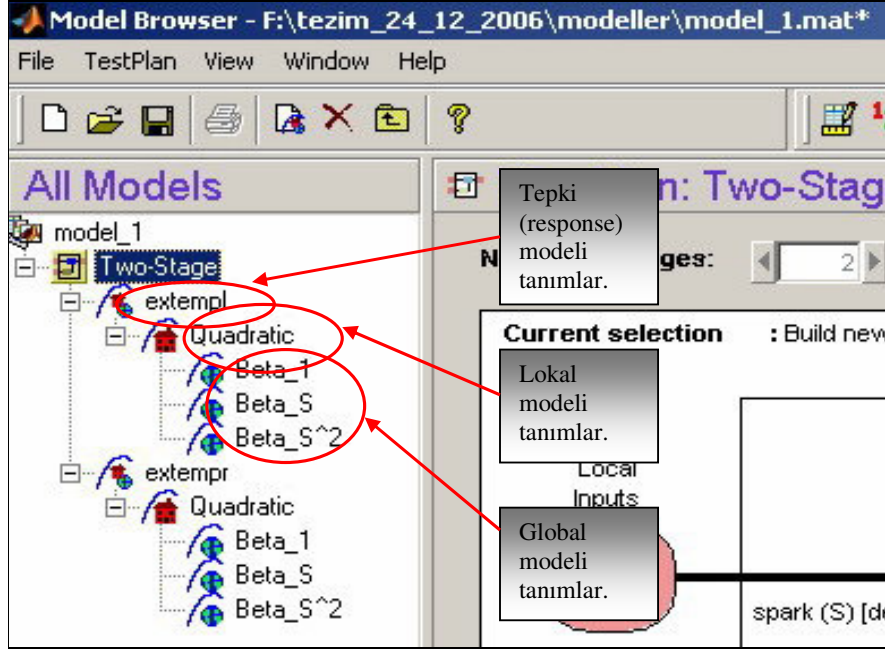
Bu aşamada, bir mesaj ekrana gelir. Sistem, “teпки modellerinin oluşturulmasının ve deneysel dizaynın gerçek veri noktalarıyla güncellenmesinin istenilip istenilmediğini” sorar. “Yes”e basarak onaylanır ve mesaj kapatılır. Bu işlemin ardından, *MB* kurulan test plan modelini kullanarak lokal ve global modelleri hesaplar. Aşağıdaki Şekil 5.16’da bu işlem sonrasında oluşturulan modeller ve test planı görülmektedir. Ayrıca Şekil 5.17’de ise model ağacında lokal ve global modellerin yerleşimi detaylı olarak görülmektedir.



Şekil 5.15. Data Wizard-Select Response Models diyalog kutusu



Şekil 5.16. Extempr ve extempl modellerinin oluşturulması

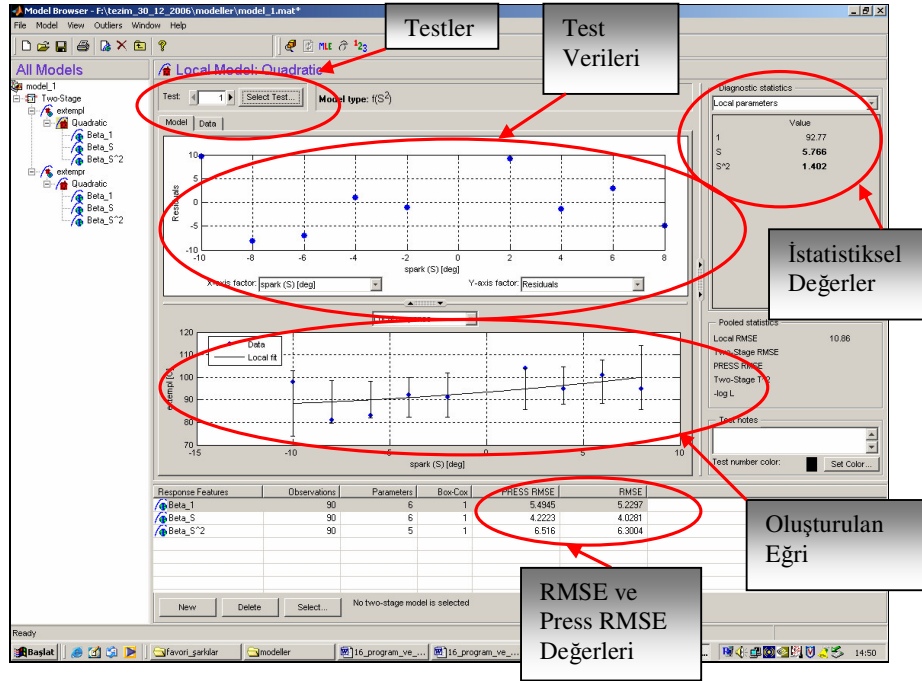


Şekil 5.17. Model ağacında lokal ve global modellerin görünüşü

5.2.3.12. Lokal modelin doğrulanması

Lokal modelin doğrulanması aşamasında atılacak ilk adım, testlerden elde edilen verilerin oluşturulan lokal modelle iyi bir şekilde uyuşup uyuşmadığının kontrolüdür. Şekil 5.17’de gösterildiği gibi, *MB* ağacındaki “extempl” tepki modelinin altındaki “Quadratic” lokal modeline tıklanır. Program kısa bir süre hesaplama yaptıktan sonra Şekil 5.18’de gösterilen ekran açılır. Bu ekran, birinci test için veri noktalarını, lokal model oluşumunu, eğrinin şeklini ve oluşumu açıklayan diagnostik istatistiksel verileri içermektedir.

Yapılan kontrolde lokal modele ait eğri oluşumunun test verilerine uyduğu ve herhangi bir sorun olmadığı görülmüştür. Şekil 5.18’de gösterilen ekran sadece 1inci test ait olup, diğer 89 adet test de incelenmiş ve eğrilerin uygun olduğu görülmüştür. Fakat, bu testlerin gösterilmesi çok fazla sayfa gerektirdiğinden dolayı bu çalışmada gösterilmemiştir. İstenildiğinde, bu tez çalışmasıyla beraber oluşturulan CD’de diğer bütün eğriler görülebilmektedir.



Şekil 5.18. (1) numaralı teste ait olan lokal modelin doğrulanması

Şekil 5.18’deki ekranda, oluşturulan lokal model eğrisi ile birlikte, yapılan motor testlerinden elde edilen test verileri görülebilmektedir. Yine aynı ekranda, “testler” kısmından istenilen test görüntülenebilmekte, o teste ait eğriler ve istatistiksel değerler görülebilmektedir. Ekranın alt kısmında ise testlere ait “*PRESS RMSE* ve *RMSE*” değerleri görülebilmekte ve karşılaştırma imkanı sağlamaktadır. Testlere farklı renkler verilerek birbirinden ayrılması ve kolayca bulunabilmesi imkanı vardır.

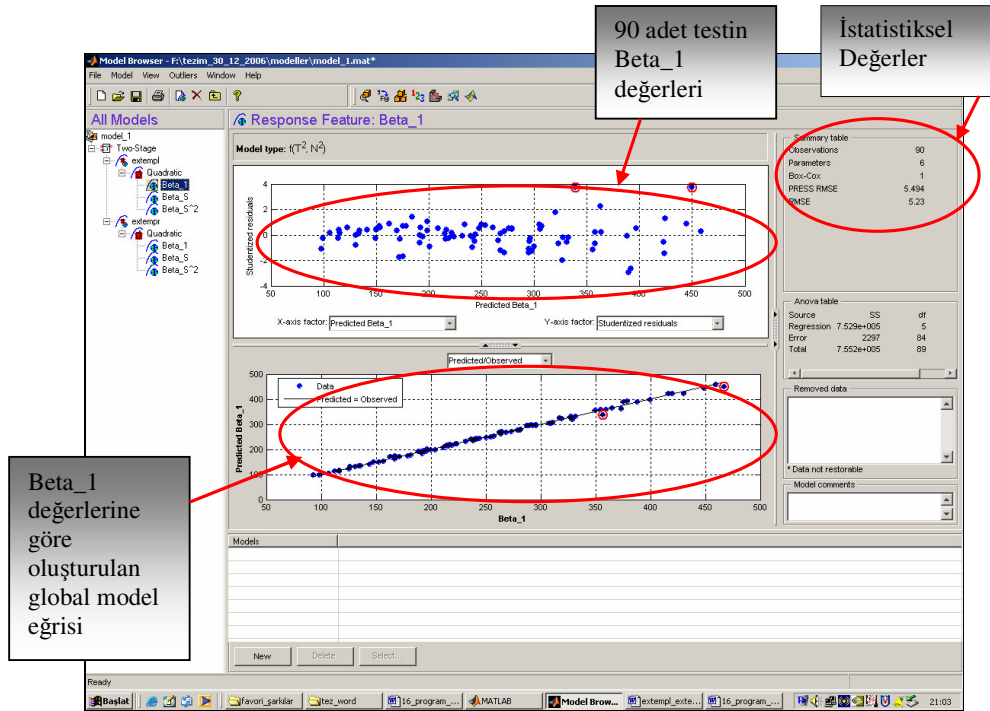
Aynı çalışma, MB ağacındaki “extempr” tepki modelinin altındaki “Quadratic” lokal modeline de uygulanmıştır.

5.2.3.13. Global modelin doğrulanması

Global modelin doğrulanması aşamasında, testlerden elde edilen verilerin oluşturulan global modelle iyi bir şekilde uyuyup uyuşmadığının kontrolü yapılır. Şekil 5.17’de gösterildiği gibi, Model Browser ağacındaki “Quadratic” lokal modelinin (+)’sına

tıkları. “Beta_1, Beta_S, Beta_S^2” olmak üzere üç adet “tepki nesnesi” görülmektedir. Öncelikle, “extempl” altındaki “Beta_1” tepki nesnesi seçilir. Program kısa bir süre hesaplama yaptıktan sonra Şekil 5.19’da gösterilen ekran açılır. “Response feature” penceresinde Beta_1 için test verilerinin global modele olan uyumu görülmektedir. Lokal model uydurulmasındaki ana amaç, global model uydurulmasında kullanılan katsayıların ve tepki nesnelerinin değerlerini bulmaktır. Lokal modeller, her test için bir “Beta_1” değeri üretirler. Bu değerler Beta_1 için global modelin verileridir.

Şekil 5.19’da görülen kırmızı noktalar “uzak noktalar”dır. Uzak noktalar modele ait istatistiksel değerlerin doğruluğunu azaltırlar. Çok iyi bir neden olmadıkça uzak noktalar yok edilmezler. Bunun yanında, yeterli sayıda uzak noktayı yok etmek modelin hesaplanması açısından kolaylık sağlar ve istatistiksel verilerin doğruluğunu artırır.

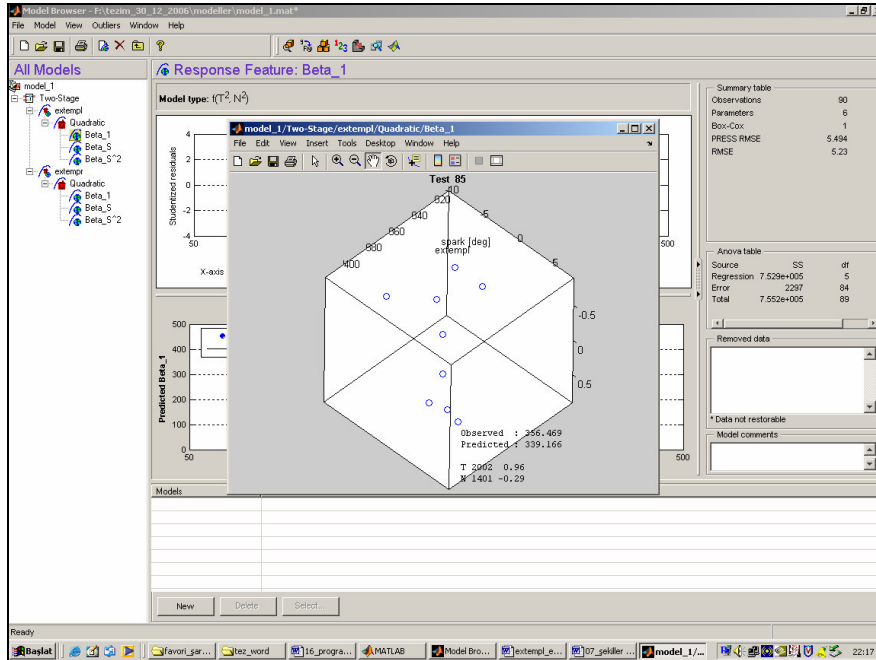


Şekil 5.19. Beta_1 tepki nesnesine göre global modelin doğrulanması

Uzak noktayı yok etmek için kırmızı daire içine alınmış noktaya farenin sağ tuşuyla tıklanır ve Şekil 5.20’de gelen diyalog kutusu yardımıyla testin numarası görülebilir. Boş bir alanda farenin sağ tuşuna tıklayınca çıkan listeden “Remove Outliers” seçilerek istenilen test yok edilebilir.

Bu çalışma için uzaklaştıracağımız noktalar, EK-A’da verilen listede sarı renkli satırlar olarak belirtilen kararsız noktalar olacaktır. Buna göre 81 ve 90 ncı testlerin modelden uzaklaştırılması gerekmektedir. Noktalar uzaklaştırıldıktan sonra istatistiksel değerler arasındaki değişimler Tablo 5.2’de verilmiştir.

Bu çalışma, “extempl” tepki modeline ait “Beta_S, Beta_S^2” tepki nesnelere ve “extempr” tepki modeline ait “Beta_1, Beta_S, Beta_S^2” tepki nesnelere de uygulanmıştır. 81 ve 90 ncı testlere ait uzak noktalar yok edilmiştir. Bu global modellere ait grafikler, yapılan tez çalışmasına ait sayfa sayısının artmaması amacıyla, burada verilmemiştir. Global modellerin uygunluğu kontrol edilmiş ve herhangi bir probleme rastlanmamıştır.



Şekil 5.20. Uzak noktaların yok edilmesi

Tablo 5.2. Uzak noktaların yok edilmesi ile istatistiksel değerlerde oluşan farklar

	<i>PRESS RMSE</i>	<i>RMSE</i>
Uzak noktalar yok edilmeden önceki değerler	5.494	5.23
Uzak noktalar yok edildikten sonraki değerler	5.065	4.829

5.2.3.14. İki aşamalı modelin seçilmesi ve elenmesi

İki aşamalı modeller nasıl yapılandırılır? Bu sorunun cevabı şöyle verilebilir; İki aşamalı modellerin oluşturulmasında, ayrı ayrı testler içindeki ve testler arasındaki değişimlerden, lokal ve global modellere ayrı ayrı eğri uydurulmasında yararlanır. Lokal modellerde bir model her teste bağımsızca uydurulur. Bu lokal modeller kullanılarak, bütün testler üzerinden eğri uydurulan global modeller oluşturulur.

Ateşleme avansının torca karşı olan her testi için bir lokal model oluşturulur. Bu lokal model bir matematiksel eğridir. Bu eğri ise, “Beta_1, Beta_S, Beta_S^2” tepki nesnelere oluşur. Her test için katsayıların ve Beta_1’in değeri lokal modelin sonucudur. Beta_1 için global model, bu değerlere göre uydurulur. Global modelden elde edilen Beta_1 değerleri (diğer global modellerle birlikte), iki aşamalı modelin oluşturulmasında kullanılır.

5.2.3.15. İki aşamalı modelin yapılandırılması

Bu aşamada öncelikle, *MB* ağacındaki “extempl” tepki modeline ait “Quadratic” lokal modeline tıklanır. Şekil 5.21’de de gösterilen ekranın en altındaki “Select” tuşuna basılarak “Model Selection” penceresi açılır. Bu ekran çeşitli aday modelleri karşılaştırma ve “en iyi modeli” seçmeye yardımcı olur. Şekil 5.22’de gösterilen diyagramlar iki aşamalı modelin test verilerine olan uygunluğunu gösterir. Bu diyagramlardaki mavi noktalar test verileri, siyah renkli eğriler lokal model eğrilerini, yeşil renkli eğriler de iki aşamalı model eğrilerini ifade etmektedir. Diyagramların y eksenini sağ taraf egzost sıcaklığı olan “extempl”yi, x eksenini de

ateşleme avansı açısı olan “ S ”yi göstermektedir. Ayrıca, her ekranda 4 adet teste ait diyagramlar verilmiş olup, diğer testlere ait diyagramlar da istenildiğinde görülebilmektedir. Ekranın en altında bulunan istatistiksel verilerde ise iki aşamalı modelin “Local *RMSE*, Two-Stage *RMSE*, *PRESS RMSE*” değerleri mevcuttur.

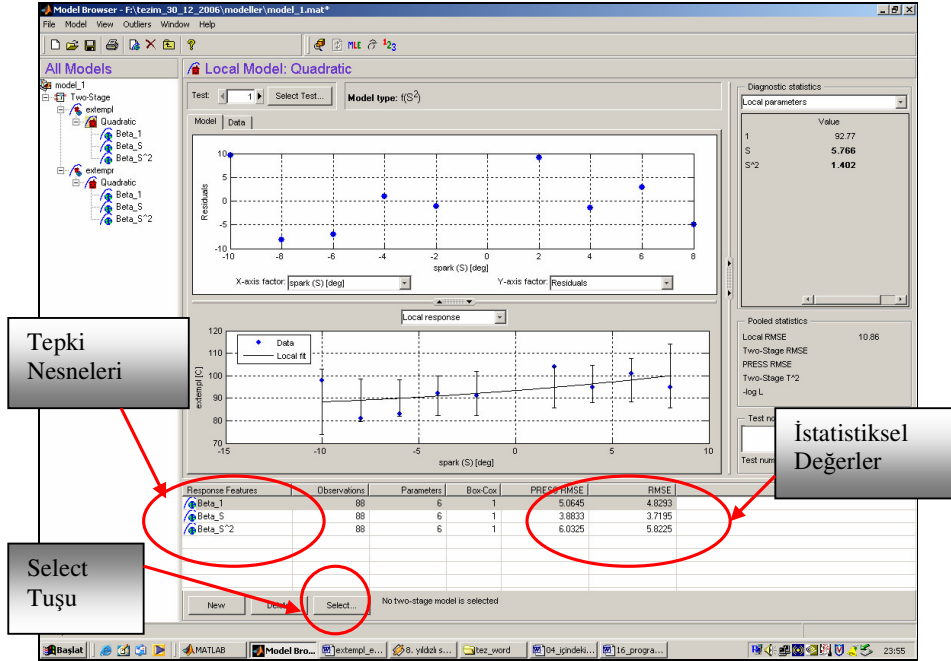
5.2.3.16. Response surface (tepki yüzeyi) ekranı

Şekil 5.23’te gösterilen ekrandaki “Response Surface” düğmesine tıklandığında tepki yüzeyi ekranı görülmektedir. Bu ekranda, modeli yüzey şeklinde görme imkanı vardır. Bunun yanında, sistem girdi faktörleri görülmekte ve değiştirilerek yüzey üzerindeki değişimler görülebilmektedir. “Görüntüleme tipi” kısmı ile, modele ait yüzey görünümü haricindeki “tablo, 2 boyutlu grafik, çok çizgili grafik, sınır çizgisi grafiği ve canlandırma” gibi görüntüleme şekilleri de uygulanabilmektedir. Bu çalışmada bunlardan sadece yüzey görünümü kullanılmıştır. Ayrıca, yüzeye ait eksen değişkenleri değiştirilerek yüzey görünümü değiştirilebilmektedir. Tahmin hatası gölgelendirilmesi işlemi ile, yüzey üzerinde tahmin hatasının en yüksek olabileceği bölgeler renkli şekilde görülebilmektedir.

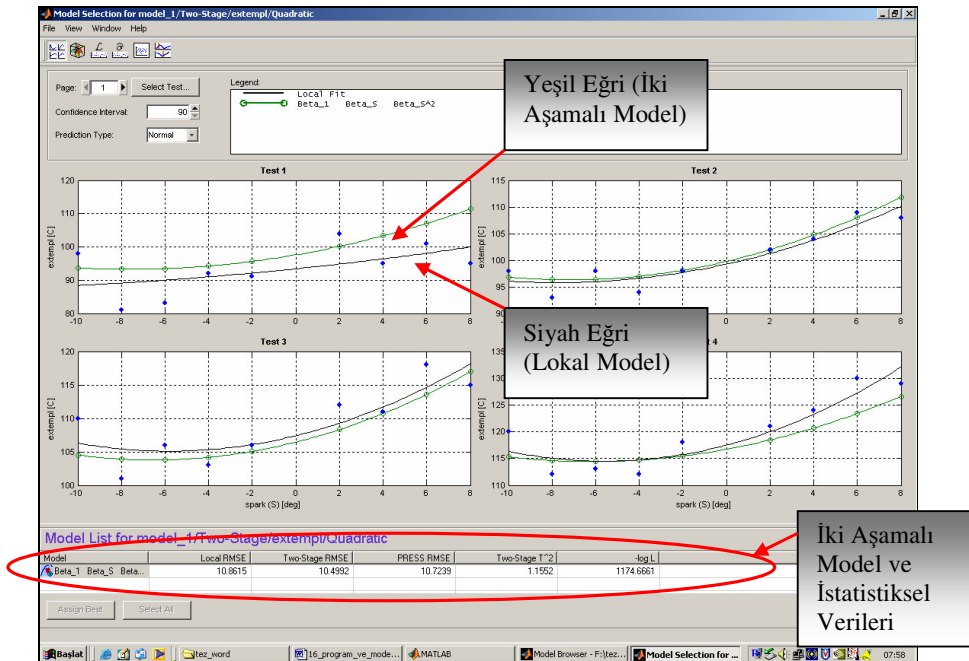
Model seçim penceresinde testler ve tepki yüzeyi görüntüsünün haricinde, modele ait başka gösterimler de mevcuttur. Bunlar; Likelihood (olasılık), *RMSE Plots* (*RMSE* diyagramları), Residuals (kalanlar) ve Cross Section (kesit) gösterimleridir. Bu çalışmada, bir sonraki kısımda Cross Section gösterimi kullanılacak olup, diğer gösterimler kullanılmayacaktır.

5.2.3.17. Cross Section (model kesiti) ekranı

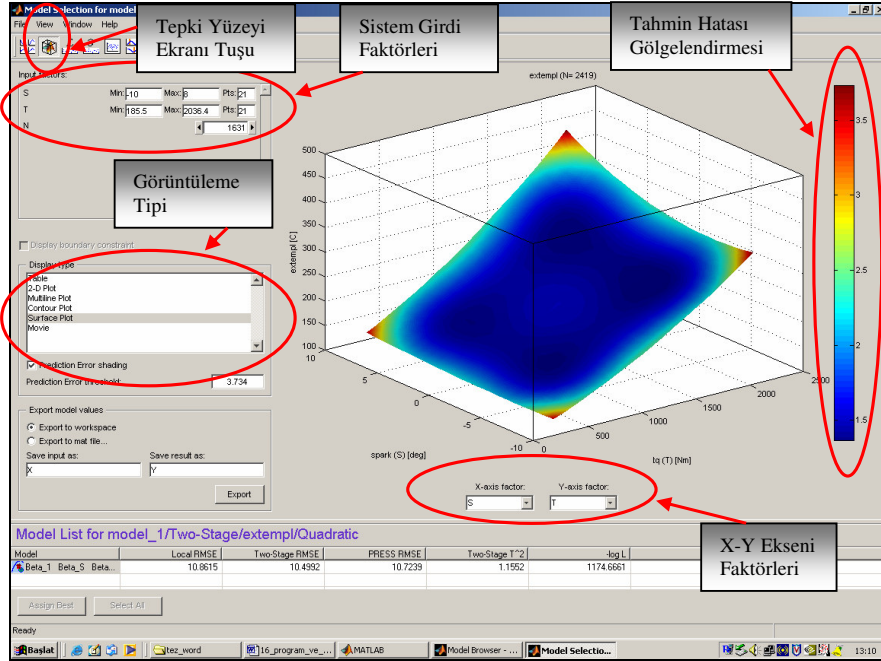
Bu ekran modele ait kesit görünümünü sunmaktadır. Ekranın görüntüsü ve üzerindeki kısımlar Şekil 5.24’te verilmiştir. Sistem girdi faktörleri değiştirilerek kesit görünümü değiştirilebilmektedir.



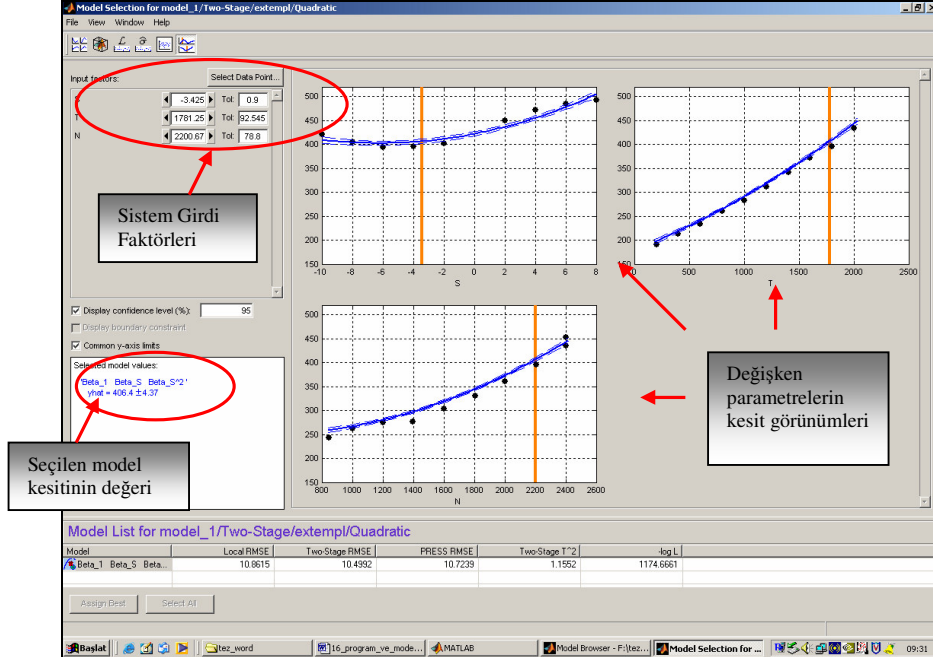
Şekil 5.21. Select tuşu ile model selection ekranına geçiş



Şekil 5.22. Model Selection (iki aşamalı model seçim) ekranı



Şekil 5.23. Response Surface (tepkli yüzey) ekranı



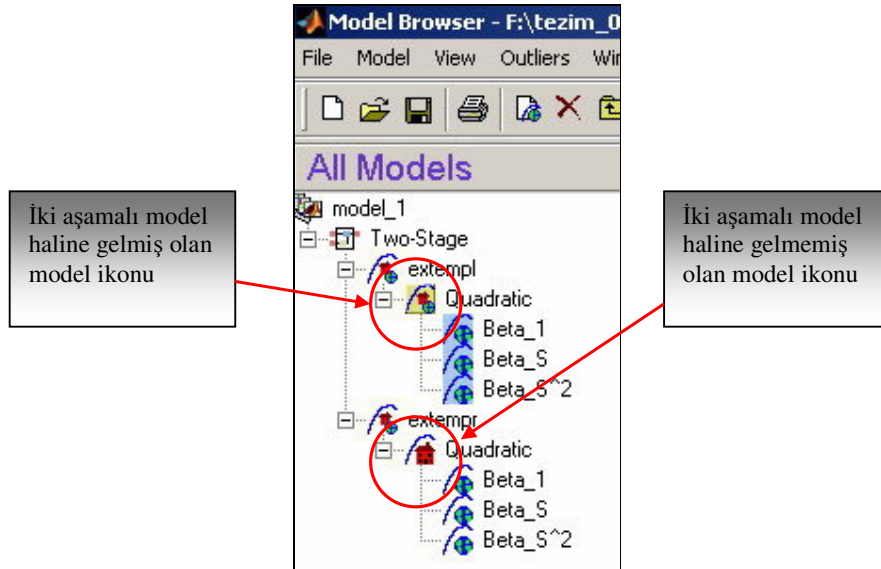
Şekil 5.24. Cross Section (model kesiti) ekranı

5.2.3.18. İki aşamalı modelin seçilmesi

Model Selection ekranındayken iki aşamalı modelin seçimi için, ekranın en altındaki “Assign Best” tuşuna basarak istenilen model belirlenir. Bu çalışmada henüz tek bir model mevcut olduğu için bu tuş aktif halde değildir. Ekran kapatılmak istendiğinde, seçilen modelin iki aşamalı model olması ile ilgili bir diyalog kutusu gelir. Bu diyalog kutusunda “Yes” tuşu işaretlenerek model iki aşamalı model haline getirilir. Bu işlemin ardından karşımıza “MLE-maksimum olasılık hesabı” ile ilgili bir diyalog kutusu gelecektir. Bu çalışmada *MLE* hesabı yapılmayacağı için diyalog kutusu “Cancel” tuşu ile kapatılır.

Mevcut “extempl”ye ait “Quadratic” model iki aşamalı hale getirildiğinde *MB* ağacındaki ikon Şekil 5.25’deki gibi değişecektir. “extempl”ye ait “Quadratic” model ile karşılaştırıldığında, iki aşamalı model ikonunun farkı açıkça görülmektedir.

Yukarıda anlatılan iki aşamalı model seçim işlemleri sağ taraf egzost sıcaklığını ifade eden “extempr” modeline de uygulanmıştır.



Şekil 5.25. İki aşamalı model ikonu

5.2.3.19. Response (tepki) modelinin doğrulanması

Yapılan bu işlemlerin ardından *MB* ağacındaki “extempl” tepki model düğümüne tıklandığında Şekil 5.26’daki ekran açılır. Bu ekran, iki aşamalı modelin test verileriyle olan uyumunu göstermektedir. Bir ekranda dört adet testin diyagramları görülmektedir. İstenildiğinde, sayfa tuşu ile istenilen testlere ait diyagramlar görülebilmektedir.

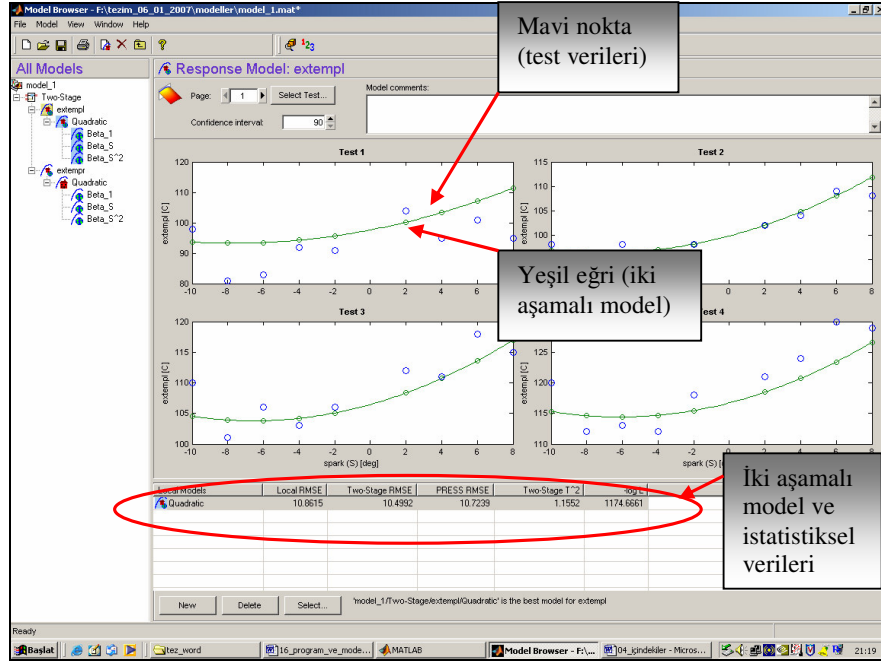
5.2.3.20. Karşılaştırmak için yeni modeller oluşturmak

Tek bir model oluşturup çalıştırdıktan sonra, normal olarak değişik modeller oluşturup aralarından en uygun olan seçilmek istenir. Bireysel yeni modeller oluşturulabilir ve “Builds Model” aracı kullanılarak, modeller arasında seçim yapılabilir. Tekrar kullanmak için model ayarları şablon olarak kayıt edilebilmektedir.

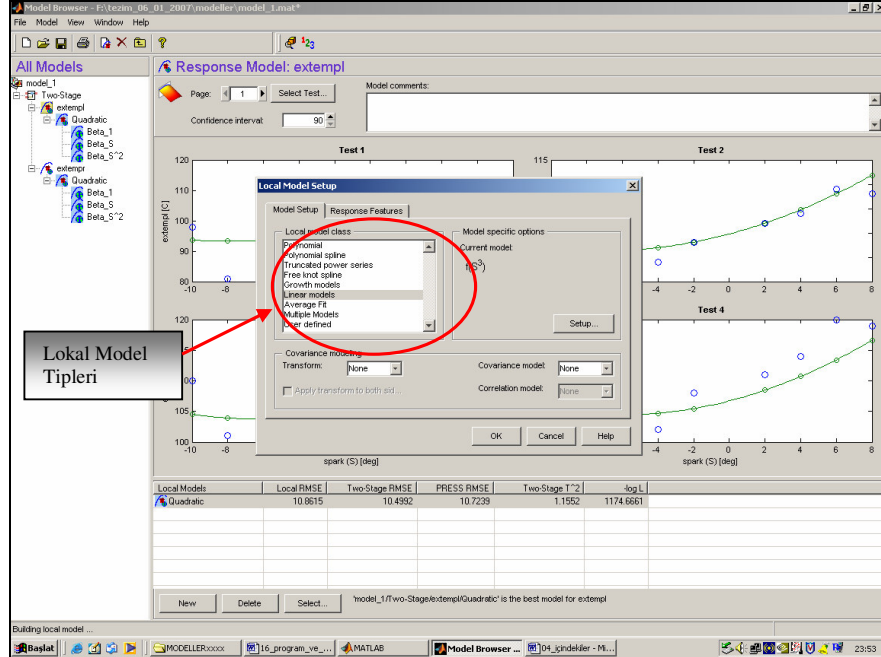
Herhangi bir modelleme düğümünde “New” tuşuna basarak yeni alt düğümler oluşturulabilmektedir. Bu işlem, aynı veri seti kullanılarak defalarca tekrarlanabilmektedir. Aynı zamanda “Build Models” diyalog kutusu değişik alt düğümlerin karşılaştırılmasında da kullanılabilir.

5.2.3.21. Yeni lokal modellerin oluşturulması

Yeni bir lokal model oluşturmak için “extempl” tepki modelinin üzerinde sağ tuş yapılır. Çıkan listeden “New Local Model” seçilir. Şekil 5.27’de görülen “Local Model Set Up” diyalog kutusu gelir.



Şekil 5.26. Response (tepki) modelinin doğrulanması



Şekil 5.27. Lokal model Set Up diyalog kutusu

Bu diyalog kutusunda değişik lokal model çeşitleri mevcuttur. “Local Model Class” kısmından “Polynomial” seçilir. “Model Specific Options” bölümünde “Order” değeri “2” olmalıdır. Bunun anlamı; ikinci sıra polinomu ifade etmektedir. Ardından “OK” tuşlanır. Model Browser ağacına “POLY2” adında bir lokal model eklenecektir. (Bkz. Şekil 5.28)

Tekrar “extempl” tepki modelinin üzerinde sağ tuş yapılır. Çıkan listeden “New Local Model” seçilir ve “Local Model Set Up” diyalog kutusu açılır. “Local Model Class” kısmından “Polynomial” seçilir. “Model Specific Options” bölümünde “Order” değeri “3” olmalıdır. Bunun anlamı; üçüncü sıra polinomu ifade etmektedir. Ardından “OK” tuşlanır. *MB* ağacına “POLY3” adında bir lokal model eklenecektir. (Bkz. Şekil 5.28)

Tekrar “extempl” tepki modelinin üzerinde sağ tuş yapılır. Çıkan listeden “New Local Model” seçilir ve “Local Model Set Up” diyalog kutusu açılır. “Local Model Class” kısmından “Lineer models” seçilir. “Set Up” tuşuna tıklanır. “Model Options” kısmında “order” değeri “3” olmalıdır. Bunun anlamı; üçüncü dereceden lineer (doğrusal) denklemi ifade etmektedir. “Stepwise” kısmındaki açılır listeden “Minimize PRESS” seçeneği seçilir. Ardından “OK” tuşlanır. *MB* ağacına “Cubic” adında bir lokal model eklenecektir. (Bkz. Şekil 5.28)

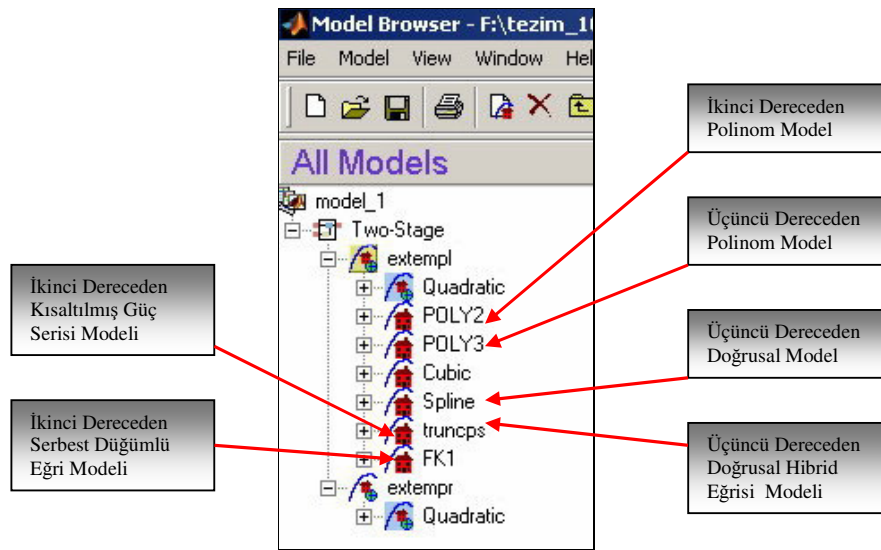
Tekrar “extempl” tepki modelinin üzerinde sağ tuş yapılır. Çıkan listeden “New Local Model” seçilir ve “Local Model Set Up” diyalog kutusu açılır. “Local Model Class” kısmından “Lineer models” seçilir. “Set Up” tuşuna tıklanır. “Lineer Model Subclass” kısmındaki açılır listeden “Hybrid Spline” seçilir. “Model Options” kısmında “order” değeri “3” olmalıdır. Bunun anlamı; üçüncü dereceden lineer (spline-eğri) denklemi ifade etmektedir. “Stepwise” kısmındaki açılır listeden “Minimize *PRESS*” seçeneği seçilir. Ardından “OK” tuşlanır. *MB* ağacına “Spline” adında bir lokal model eklenecektir. (Bkz. Şekil 5.28)

Tekrar “extempl” tepki modelinin üzerinde sağ tuş yapılır. Çıkan listeden “New Local Model” seçilir ve “Local Model Set Up” diyalog kutusu açılır. “Local Model Class” kısmından “Truncated Power Series” seçilir. “Model Specific Options”

kısımında “order” değeri “2” olmalıdır. Bunun anlamı; ikinci dereceden kısaltılmış güç serisi denklemini ifade etmektedir. Ardından “OK” tuşlanır. *MB* ağacına “truncps” adında bir lokal model eklenecektir. (Bkz. Şekil 5.28)

Tekrar “extempl” tepki modelinin üzerinde sağ tuş yapılır. Çıkan listeden “New Local Model” seçilir ve “Local Model Set Up” diyalog kutusu açılır. “Local Model Class” kısmından “Free Knot Spline” seçilir. “Model Specific Options” kısmında “Number of knots” değeri “2”, “spline order” değeri “3” ve “random starting point” değeri “2” olmalıdır. Bunun anlamı; üçüncü dereceden serbest düğümlü eğri denklemini ifade etmektedir. Ardından “OK” tuşlanır. *MB* ağacına “FK1” adında bir lokal model eklenecektir. (Bkz. Şekil 5.28)

Bu çalışmada diğer lokal model tipleri olan “Polynomial Splines (polinom eğrileri), Growth Models (artan modeller), Average Fit (ortalama uydurma), Multiple Models (çoklu modeller) ve User Defined (kullanıcı tanımlı) modeller de denenmiş olup, test verilerine herhangi bir eğri uydurulamadığından bu çalışma kapsamına alınmamışlardır. Şekil 5.28’de gösterilen modellerin hepsinin lokal model doğrulaması (Bkz. 5.2.3.12) yapılarak eğrilerin test verilerine uyumları kontrol edilmiştir.



Şekil 5.28. Değişik Lokal model Set Up diyalog kutusu

Paragraf 5.2.3.13’de anlatıldığı gibi, global model doğrulaması da yapılan modellerdeki 81 ve 90 ncı uzak noktalar uzaklaştırılmıştır. Daha sonra, 5.2.3.18 paragrafında anlatılan yöntemle iki aşamalı model seçimleri yapılmış olup, burada bu işlemler sayfa sayısının çokluğu nedeniyle gösterilmemiştir.

5.2.3.22. Lokal modellerin karşılaştırılması

Yapılan bu çalışmanın ardından, yedi adet iki aşamalı model oluşturulmuştur. Aşağıda verilen Şekil 5.29’da bu modeller ve istatistiksel değerler verilmiştir.

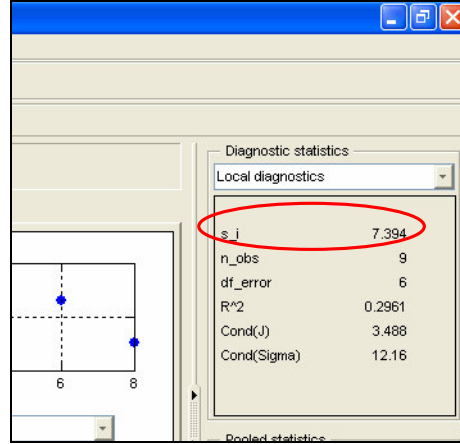
Şekil 5.29’da verilen istatistiksel değerler incelendiğinde “Two-Stage *RMSE*” ve “*PRESS RMSE*” değeri en düşük olan modelin “Spline” olduğu görülmektedir. *RMSE* değeri, modelin veri noktalarına nasıl uyduğunun bir göstergesidir. Her veri noktası ile model arasındaki ortalama sapmayı ölçer. Bundan dolayı, *RMSE* değeri model uygunluğunu test etmekte kullanılan ana kalite kontrol aracıdır. Yüksek *RMSE* değerleri sistemde sorun olduğunu (overfitting) gösterir. Şekil 5.29’da da görüldüğü gibi “truncps” modelinin *RMSE* değerleri oldukça büyüktür. Bundan dolayı, bu model daha sonra yapılacak çalışmalarda kullanılmayacaktır.

Bunun yanında diğer bir karşılaştırma metodu da her test için “Diagnostic Statistics” kısmında bulunan “Local Diagnostics, s_i ” değerlerini kontrol etmektir.” s_i ” değeri her teste ait olan *RMSE* değeri anlamına gelmektedir. Şekil 5.30’da “ s_i ” değeri görülmektedir.

Local Models	Local RMSE	Two-Stage RMSE	PRESS RMSE	Two-Stage T^2	-log L
Quadratic	10.8615	10.4992	10.7239	1.1552	1174.6661
POLY2	10.8615	10.4992	10.7239	1.1449	145.9459
POLY3	7.5006	8.236	8.5423	1.7124	-131.2423
Cubic	8.3199	8.3916	8.7028	1.9635	1923.5409
Spline	7.2877	8.0508	8.4215	2.3542	2561.0793
truncps	6.3213	38.4773	714.0178	1.5381	3628.7994
FK1	6.8806	8.1323	9.7391	2.6023	3110.6424

New Delete Select... 'model_1/Two-Stage/extempl/Quadratic' is the best model for extempl

Şekil 5.29. Extempl için oluşturulan iki aşamalı modeller ve istatistiksel değerleri



Şekil 5.30. “s_i” değerinin karşılaştırılması

“s_i” değeri her test ve model için değişiklik göstermektedir. Örneğin, “extempl” ye ait “Quadratic” modelinin birinci testine ait “s_i” değeri “7,394” iken, “POLY3” modelinde “s_i” değeri “5,452”, “Cubic” modelinde “s_i” değeri “4,986”, “Spline” modelinde “s_i” değeri “4,726”, “truncps” modelinde “s_i” değeri “3,665” ve “FK1” modelinde “s_i” değeri “4,713” olmaktadır. Bu duruma göre; birinci test için en iyi “s_i” değerinin “truncps” modelinde görülmesine rağmen, modelin bütününe bakıldığında “Spline” modelinin daha iyi *RMSE* değerleri verdiği görülmektedir.

Modelleri karşılaştırırken, en düşük *RMSE* değerlerinin en uygun modeli gösterdiğine dikkat etmek gerekmektedir. Fakat şunu da unutmamak gerekir; bir modelin bütün noktalarında yapılan enterpolasyonla *RMSE* değeri “0” olabilir. Ama bu durum modelin tahmin gücünün iyi olduğunu göstermez. Modellerin karşılaştırması işleminde *RMSE* değerlerinin yanında, modelin görsel ve grafiksel durumu da göz önünde bulundurulmalıdır. Modelde “overfitting-üst üste binme” problemi olup olmadığına da dikkat edilmelidir.

5.2.3.23. Over Fitting probleminin teşhis edilmesi

Modeller arasında en uygun iki aşamalı model aranırken, bu modellere ait “Local *RMSE*, Two Stage *RMSE* ve *PRESS RMSE*” değerleri karşılaştırılır. En düşük *RMSE*

değeri en iyi modeli gösterir. En düşük *PRESS RMSE* değeri “overfitting” olmaksızın en iyi modeli gösterir. Ayrıca, *PRESS RMSE* modelin tahmin gücünü belirtir.

PRESS RMSE ve *RMSE* değerlerini karşılaştırmak “overfitting” olup olmadığını anlamının kullanışlı bir yoludur. Eğer model veri noktalarına yaklaşırsa, *RMSE* değeri minimuma iner, eğer modelle veri değeri arasında fark varsa *RMSE* değeri artar. Ama, bazen model ile veri noktaları arasında salınım olur ve bu davranış iyi *RMSE* değerleri verir. Fakat bu durum güvenilir tahmin değerleri vermeyecektir. *PRESS RMSE* istatistiği, modelin veri setindeki her bir noktaya göre nasıl tahmin yaptığını test ederek bu olaya karşı koruma sağlar. *PRESS RMSE* değerinin küçük olması genellikle modelin tek bir veri noktasına bağlı hassasiyeti olmadığını gösterir.

Eğer, *PRESS RMSE* değeri *RMSE* değerinden çok büyükse “overfitting” durumu vardır. Model gereksiz biçimde karışıktır. Kaba bir kural olarak, yaklaşık 100 adet veri noktası içeren bir modelde *PRESS RMSE* değerinin *RMSE* değerinin %5’inden büyük olmaması istenir.

Bu duruma göre, Şekil 5.29’da da gösterilen istatistiksel karşılaştırmada “truncps” modelinin “Two Stage *RMSE*” değeri “30,4773” iken “*PRESS RMSE*” değeri “714,0178” olduğu için, bu modelde “overfitting” problemi olduğu söylenebilir.

5.2.3.24. Diğer karşılaştırma parametreleri

En uygun modelin araştırılmasında *RMSE* ve *PRESS RMSE* değerlerinin yanında başka istatistiksel parametrelerden de yararlanılabilir. Bunlar; Şekil 5.31’de gösterilen “Pooled Statistics” kısmında yer alan “Two Stage T^2 ve $-\log L$ ” istatistikleridir.

En düşük T^2 değerleri, modelin daha uygun olduğunun göstergesidir. Büyük T^2 değeri, tepki nesnesi modelinde problem olduğunu ifade etmektedir.

“-log L” olasılık değerinin büyük olması ise, model ile veri uyumunun iyi olduğunu gösterir.

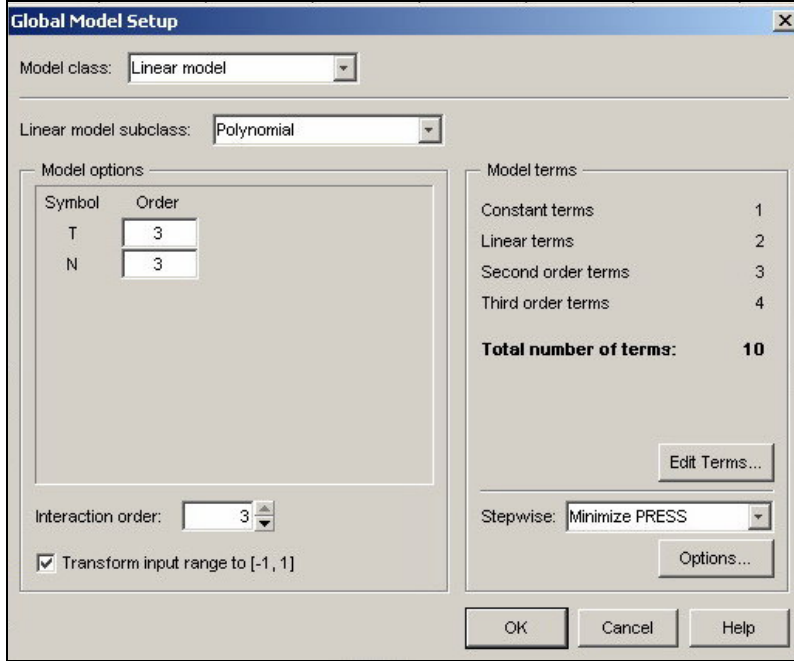
5.2.3.25. Yeni global modellerin oluşturulması

Buraya kadar, henüz en iyi global modelin bulunması için bir çalışma yapılmamıştır. Bahsi geçen bu çalışma, iki aşamalı model oluşturulmadan önce yapılmalıdır. Bu tez çalışmasında ise, aynı lokal modellerde olduğu gibi, yeni global modeller oluşturarak arasından en uygunları seçilecektir.

Öncelikle *MB* ağacındaki “extempl” tepki modelinin “Quadratic” lokal modeline bağlı “Beta_1” global modelinde fare ile sağ tuş yaparak çıkan menüden “New Model” seçilir. Beta_1 global modelinin altına mevcut durumdaki “Quadratic” modelden bir tane eklenir. Aynı işlem tekrarlanırsa bu sefer “Quadratic(1)” olarak global model çoğaltılır. Quadratic(1) global modeli işaretli iken ana menüden “Model→Set Up” tuşlanır ise, Şekil 5.31’de gösterilen “Global Model Set Up” diyalog kutusuna ulaşılır. Burada, “Model Class” kısmı “Linear Model” de, “Linear Model Subclass” kısmı “Polynomial” de iken “model options” kısmındaki sıra numaraları “T=3, N=3” olarak değiştirilir. Ayrıca, “Stepwise” kısmı “Minimize *PRESS*” olarak seçilir. Böylece, *MB* ağacında görülen Quadratic(1) düğümü “Cubic” olarak değişir.

Yukarıda anlatılan yöntemle çoğaltılan global modeller “Global Model Set Up” diyalog kutusu yardımıyla değişik global modellere dönüştürülür. Bu işlemlerin nasıl yapıldığı aşağıdaki satırlarda detaylı olarak açıklanmıştır.

Quadratic(2) global modeli işaretli iken “Global Model Set Up” diyalog kutusuna ulaşılır. Burada, “Model Class” kısmı “Linear Model” de, “Linear Model Subclass” kısmı “Hybrid Spline” de iken “model options” kısmındaki sıra numaraları “T=2, N=2” olarak değiştirilir. Ayrıca, “Stepwise” kısmı “Minimize *PRESS*” olarak seçilir.



Şekil 5.31. Global Model Set Up diyalog kutusu

Böylece, *MB* ağacında görülen Quadratic(2) düğümü “Spline x Quadratic” olarak değiştir.

Quadratic(3) global modeli işaretli iken “Global Model Set Up” diyalog kutusuna ulaşılır. Burada, “Model Class” kısmı “Linear Model” de, “Linear Model Subclass” kısmı “Hybrid Spline” de iken “model options” kısmındaki sıra numaraları “T=3, N=3” olarak değiştirilir. Ayrıca, “Stepwise” kısmı “Minimize *PRESS*” olarak seçilir. Böylece, *MB* ağacında görülen Quadratic(3) düğümü “Spline x Cubic” olarak değiştir.

Quadratic(4) global modeli işaretli iken “Global Model Set Up” diyalog kutusuna ulaşılır. Burada, “Model Class” kısmı “Radial Basis Function” da, “*RBF* Kernel” kısmı “Multiquadric” de iken diğer parametreler default (mevcut durum) da bırakılır. Ayrıca, “Stepwise” kısmı “Minimize *PRESS*” olarak seçilir. Böylece, *MB* ağacında görülen Quadratic(4) düğümü “*RBF* Multiquadric” olarak değiştir.

Quadratic(5) global modeli işaretli iken “Global Model Set Up” diyalog kutusuna ulaşılır. Burada, “Model Class” kısmı “Radial Basis Function” da, “*RBF* Kernel”

kısmı “Recmultiquadric” de iken diğer parametreler default (mevcut durum) da bırakılır. Ayrıca, “Stepwise” kısmı “Minimize *PRESS*” olarak seçilir. Böylece, *MB* ağacında görülen Quadratic(5) düğümü “*RBF Recmultiquadric*” olarak değişir.

Quadratic(6) global modeli işaretli iken “Global Model Set Up” diyalog kutusuna ulaşılır. Burada, “Model Class” kısmı “Radial Basis Function” da, “*RBF Kernel*” kısmı “Gaussian” da iken diğer parametreler default (mevcut durum) da bırakılır. Ayrıca, “Stepwise” kısmı “Minimize *PRESS*” olarak seçilir. Böylece, *MB* ağacında görülen Quadratic(6) düğümü “*RBF Gaussian*” olarak değişir.

Quadratic(7) global modeli işaretli iken “Global Model Set Up” diyalog kutusuna ulaşılır. Burada, “Model Class” kısmı “Radial Basis Function” da, “*RBF Kernel*” kısmı “Thin Plate” da iken diğer parametreler default (mevcut durum) da bırakılır. Ayrıca, “Stepwise” kısmı “Minimize *PRESS*” olarak seçilir. Böylece, *MB* ağacında görülen Quadratic(7) düğümü “*RBF Thin Plate*” olarak değişir.

Quadratic(8) global modeli işaretli iken “Global Model Set Up” diyalog kutusuna ulaşılır. Burada, “Model Class” kısmı “Radial Basis Function” da, “*RBF Kernel*” kısmı “logisticrbf” da iken diğer parametreler default (mevcut durum) da bırakılır. Ayrıca, “Stepwise” kısmı “Minimize *PRESS*” olarak seçilir. Böylece, *MB* ağacında görülen Quadratic(8) düğümü “*RBF Logisticrbf*” olarak değişir.

Quadratic(9) global modeli işaretli iken “Global Model Set Up” diyalog kutusuna ulaşılır. Burada, “Model Class” kısmı “Radial Basis Function” da, “*RBF Kernel*” kısmı “wendland” da iken diğer parametreler default (mevcut durum) da bırakılır. Ayrıca, “Stepwise” kısmı “Minimize *PRESS*” olarak seçilir. Böylece, *MB* ağacında görülen Quadratic(9) düğümü “*RBF wendland*” olarak değişir.

Quadratic(10) global modeli işaretli iken “Global Model Set Up” diyalog kutusuna ulaşılır. Burada, “Model Class” kısmı “Radial Basis Function” da, “*RBF Kernel*” kısmı “linearrbf” da iken diğer parametreler default (mevcut durum) da bırakılır. Ayrıca, “Stepwise” kısmı “Minimize *PRESS*” olarak seçilir. Böylece, *MB* ağacında görülen Quadratic(10) düğümü “*RBF linearrbf*” olarak değişir.

Quadratic(11) global modeli işaretli iken “Global Model Set Up” diyalog kutusuna ulaşılır. Burada, “Model Class” kısmı “Radial Basis Function” da, “*RBF* Kernel” kısmı “cubicrbf” da iken diğer parametreler default (mevcut durum) da bırakılır. Ayrıca, “Stepwise” kısmı “Minimize *PRESS*” olarak seçilir. Böylece, *MB* ağacında görülen Quadratic(11) düğümü “*RBF cubicrbf*” olarak değişir.

Quadratic(12) global modeli işaretli iken “Global Model Set Up” diyalog kutusuna ulaşılır. Burada, “Model Class” kısmı “Hybrid *RBF*” de, “*RBF* Kernel” kısmı “multiquadric” de iken diğer parametreler default (mevcut durum) da bırakılır. Böylece, *MB* ağacında görülen Quadratic(12) düğümü “Linear *RBF*” olarak değişir.

Quadratic(13) global modeli işaretli iken “Global Model Set Up” diyalog kutusuna ulaşılır. Burada, “Model Class” kısmı “Hybrid *RBF*” de, “*RBF* Kernel” kısmı “recmultiquadric” de iken diğer parametreler default (mevcut durum) da bırakılır. Böylece, *MB* ağacında görülen Quadratic(13) düğümü “Linear *RBF*(1)” olarak değişir.

Quadratic(14) global modeli işaretli iken “Global Model Set Up” diyalog kutusuna ulaşılır. Burada, “Model Class” kısmı “Hybrid *RBF*” de, “*RBF* Kernel” kısmı “gaussian” de iken diğer parametreler default (mevcut durum) da bırakılır. Böylece, *MB* ağacında görülen Quadratic(14) düğümü “Linear *RBF*(2)” olarak değişir.

Quadratic(15) global modeli işaretli iken “Global Model Set Up” diyalog kutusuna ulaşılır. Burada, “Model Class” kısmı “Hybrid *RBF*” de, “*RBF* Kernel” kısmı “thinplate” de iken diğer parametreler default (mevcut durum) da bırakılır. Böylece, *MB* ağacında görülen Quadratic(15) düğümü “Linear *RBF*(3)” olarak değişir.

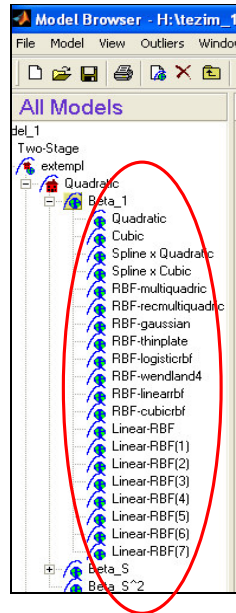
Quadratic(16) global modeli işaretli iken “Global Model Set Up” diyalog kutusuna ulaşılır. Burada, “Model Class” kısmı “Hybrid *RBF*” de, “*RBF* Kernel” kısmı “logisticrbf” de iken diğer parametreler default (mevcut durum) da bırakılır. Böylece, *MB* ağacında görülen Quadratic(16) düğümü “Linear *RBF*(4)” olarak değişir.

Quadratic(17) global modeli işaretli iken “Global Model Set Up” diyalog kutusuna ulaşılır. Burada, “Model Class” kısmı “Hybrid *RBF*” de, “*RBF* Kernel” kısmı “wendland” de iken diğer parametreler default (mevcut durum) da bırakılır. Böylece, *MB* ağacında görülen Quadratic(17) düğümü “Linear *RBF*(5)” olarak değişir.

Quadratic(18) global modeli işaretli iken “Global Model Set Up” diyalog kutusuna ulaşılır. Burada, “Model Class” kısmı “Hybrid *RBF*” de, “*RBF* Kernel” kısmı “linearrbf” de iken diğer parametreler default (mevcut durum) da bırakılır. Böylece, *MB* ağacında görülen Quadratic(18) düğümü “Linear *RBF*(6)” olarak değişir.

Quadratic(19) global modeli işaretli iken “Global Model Set Up” diyalog kutusuna ulaşılır. Burada, “Model Class” kısmı “Hybrid *RBF*” de, “*RBF* Kernel” kısmı “cubicrbf” de iken diğer parametreler default (mevcut durum) da bırakılır. Böylece, *MB* ağacında görülen Quadratic(19) düğümü “Linear *RBF*(7)” olarak değişir.

Yukarıda oluşturulan ondokuz adet global model Şekil 5.32’de gösterilmektedir.



Şekil 5.32. *MB* ağacında global modellerin görünüşü

Oluşturulan global model grubunu diğer modellerle de kullanabilmek ve her seferinde tekrar tekrar oluşturmamak için şablon dosya haline getirmek son derece kolaylık sağlamaktadır. Bunu için “Model” menüsündeki “Make Template” tuşlanır. Açılan diyalog kutusunda oluşturulan dosyanın konumu ve adı belirtilir. Dosya “.mbm” uzantılı olup adı “global_model_grubu.mbm” olarak kaydedilir.

Daha önce oluşturulan “Quadratic Lokal Modeli → Beta_1 Global Modeli” ndeki ondokuz adet modele geri dönlün. Bu modellerin arasında bir seçim yapılması ve aralarından en iyi “*RMSE* ve *PRESS RMSE*” değeri veren modelin seçilmesi gerekir. *MB* ağacındaki Beta_1 düğümü seçili iken ekranın en altındaki alandan “Select” tuşuna basılır ve “Model Selection” penceresini açılır. Burada, Şekil 5.33’de de gösterildiği gibi, bütün global modeller ve istatistiksel değerler bir arada görülmektedir. Bu modeller arasından *RMSE* değeri “1.9968” ve *PRESS RMSE* değeri “2.6719” olan “Linear-*RBF*(4)” global modeli seçilmiştir.

Ekranın en altında görülen “Assign Best” tuşu ile en iyi *RMSE* değeri veren “Linear-*RBF*(4)” modelini işaretleyerek ekran kapatılır. Açılan onay ekranından “Yes” tuşlanarak işlem bitirilir. Bu işlemin ardından, *MB* ağacındaki Linear-*RBF*(4) düğümü mavi renkli simge alır. Bu simge, modelin seçilmiş en iyi değerler veren model olduğunu ifade etmektedir.

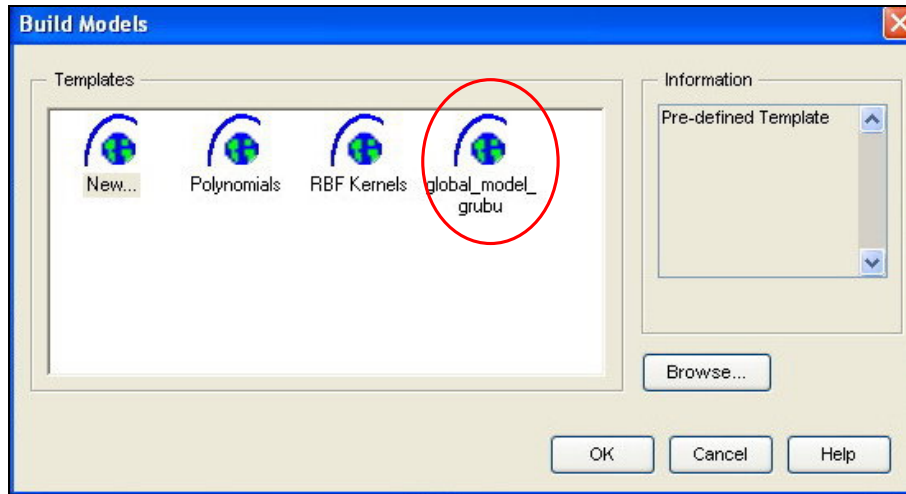
Yukarıda yapılan bu işlemlerin hepsi “Quadratic” lokal modeline ait “Beta_1” ve “Beta_1^2” tepki nesnelere de uygulanır. Tepki nesnesinin *MB* ağacındaki düğümüne tıklanır ve “Model → Build Models...”den daha önce oluşturulan ondokuz adet global modeli içeren “global_model_grubu.mbm” dosyası bu tepki nesnesi için de kullanılır. Bu seçimin nasıl yapıldığı Şekil 5.34’te verilmiştir. Bundan sonraki tüm tepki nesnelere de bu şablon kullanılmıştır. Burada, işlemlerin çok sayfa almasından dolayı bütün detaylar gösterilmemiş olup, tepki nesnelere ait en iyi global modeller belirlenerek seçim yapılmıştır. Sonuçta, “Quadratic” lokal modeli için elde edilen istatistiksel karşılaştırma Şekil 5.35’te verilmiştir.

Model List for model_1/Two-Stage/extempl/Quadratic/Beta_1

Model	Observations	Parameters	Box-Cox	PRESS RMSE	RMSE
Linear-RBF	88	22	1	2.5685	2.1903
Linear-RBF(6)	88	22	1	2.3703	2.1366
Linear-RBF(4)	88	24	1	2.6719	1.9968
Linear-RBF(3)	88	23	1	2.9221	2.3084

Assign Best Select All

Şekil 5.33. Extempl/Quadratic/Beta_1 modelinin istatistiksel değerleri



Şekil 5.34. Build Models diyalog kutusu

Response Features	Observations	Parameters	Box-Cox	PRESS RMSE	RMSE
Beta_1	88	24	1	2.6719	1.9968
Beta_S	88	24	1	2.1664	1.5663
Beta_S^2	88	25	1	5.3385	2.6259

New Delete Select... No two-stage model is selected

Şekil 5.35. Quadratic lokal modelinin istatistiksel değerleri

Bu aşamada, 5.2.3.18 paragrafında anlatıldığı gibi iki aşamalı model seçimi yapılarak “Quadratic” lokal modeli için gerekli model çalışması bitirilmiş olur.

Burada yapılan global model çoğaltma ve karşılaştırma işleminin amacı ve yararı şudur; ilk başta oluşturulan “quadratic” lokal modelinin “Beta_1” global modeline ait *RMSE* değeri “4.829” iken, model çoğaltma sonucunda elde edilen “Linear-RBF(4)” modelinin *RMSE* değeri “1.997” olarak bulunur. Böylece, istatistiksel olarak *RMSE* değeri daha düşük, yani test verilerine daha iyi uyum sağlayan eğriler elde edilmiş olur.

5.2.3.26. “Extempl” için en iyi iki aşamalı modelin belirlenmesi

Bundan sonra yapılacak olan işlem, “extempl” tepki nesnesi için oluşturulan diğer modeller olan “Quadratic, POLY2, POLY3, Cubic, Spline ve FK1” modellerine de yukarıdaki 5.2.3.21 paragrafından itibaren yapılan işlemlerin uygulanmasıdır. Bu işlemlerin ardından “extempl” tepki nesnesi için en iyi istatistiksel değerler veren model bulunup iki aşamalı model olarak seçilecektir.

“extempl” tepki modeline ait lokal ve global modeller çoğaltılarak en iyi modelin seçimi işlemleri çok fazla sayfa alacağından bu çalışmada sadece çalışmanın sonucu verilecektir. Buna göre, aşağıda verilen Tablo 5.3’te “extempl” tepki modeli için bulunan lokal modeller ve istatistiksel değerleri verilmektedir. Bu değerlere göre seçim yapılacak ve en iyi iki aşamalı model tespit edilecektir.

Tablo 5.3. “Extempl” tepki modelinin lokal modelleri ve istatistiksel değerleri

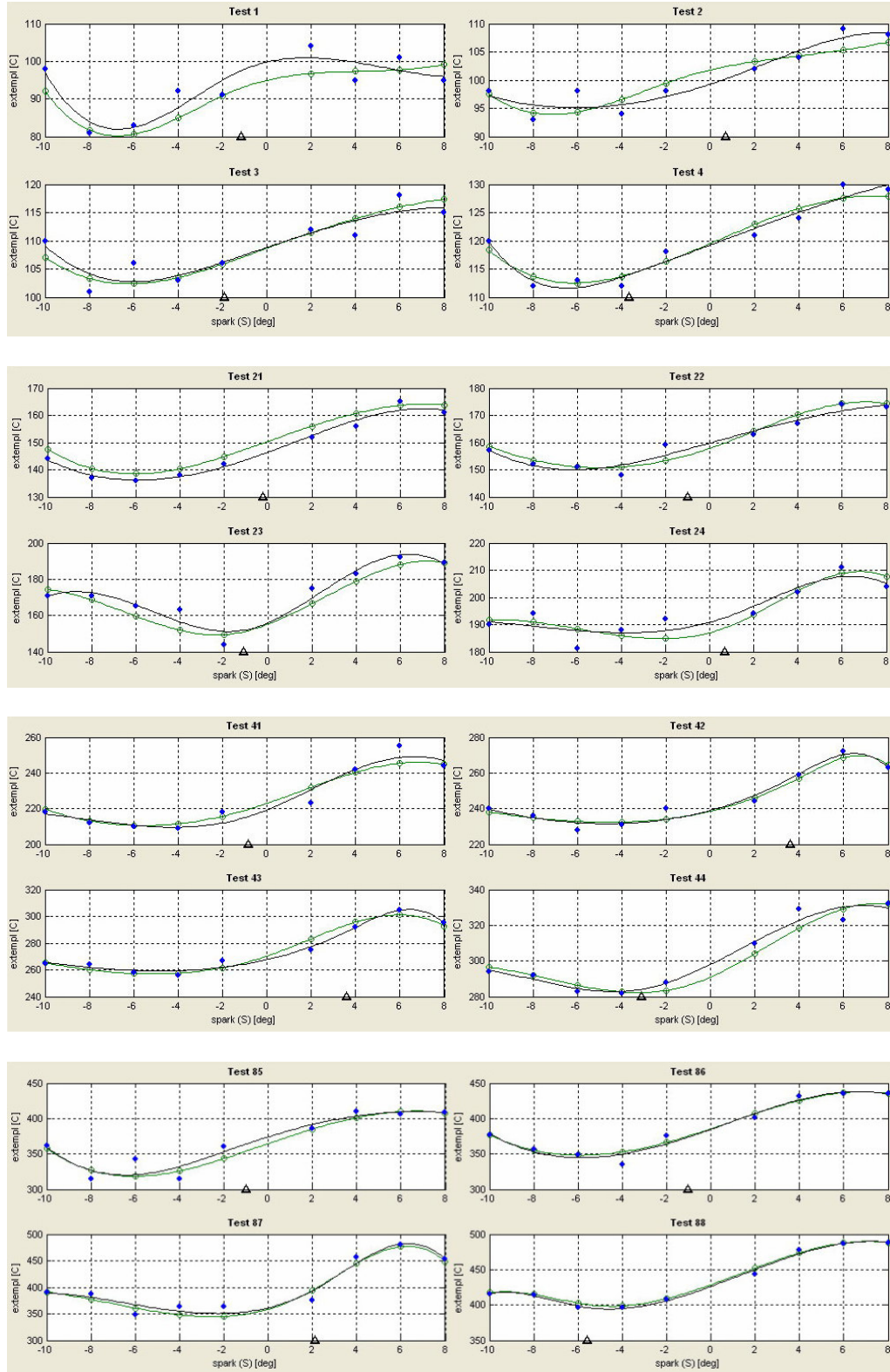
Lokal Modeller	Lokal RMSE	İki Aşamalı RMSE	Press RMSE	İki Aşamalı T ²	-log L
Quadratic	10.8615	9.2384	9.6193	0.44737	988.5004
POLY2	10.8615	9.2156	9.6314	0.42029	-48.6944
POLY3	7.5006	6.5024	7.1498	1.0568	-503.3674
Cubic	8.3199	8.0344	10.4877	1.4353	1548.0102
Spline	7.2877	6.6181	8.0018	2.1162	2133.465
FK1	6.8806	5.7161	9.2616	1.3591	2596.0481

Yukarıdaki tablo incelendiğinde, en düşük lokal *RMSE*, en düşük iki aşamalı *RMSE*, düşük bir *Press RMSE* değeri, düşük bir T^2 değeri ve oldukça yüksek bir $-\log L$ değeri içermesinden dolayı “FK1” modeli “extempl” tepki modelinin en iyi iki aşamalı modeli olarak seçilmiştir. 3.4.7.5 paragrafında anlatıldığı gibi, FK1 modeli matematiksel olarak “üçüncü dereceden serbest düğümlü eğri denklemini” ifade etmektedir.

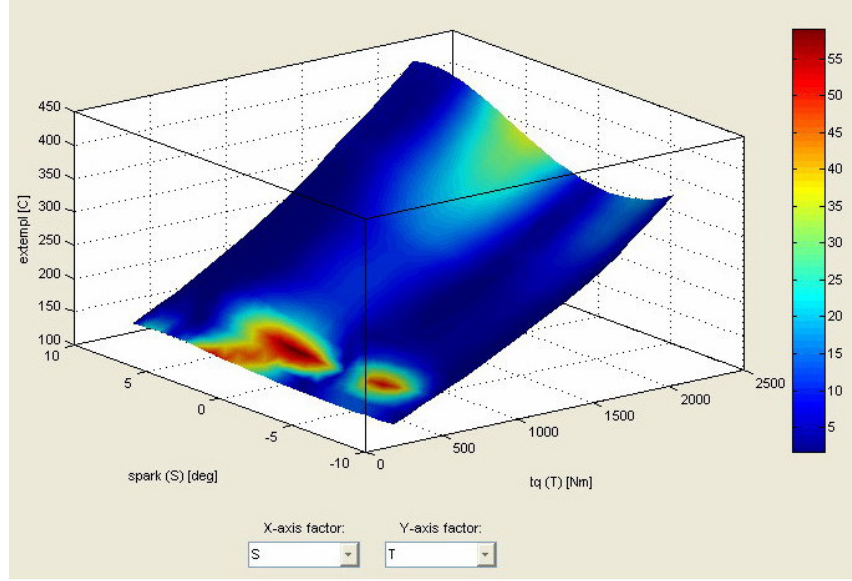
Şekil 5.36’da FK1 modeline ait iki boyutlu eğri diyagramları görülmektedir. Bu diyagramların sayısı 90 adet olmasına rağmen, bu çalışmada örnek olarak 16 adeti gösterilmiştir. Diyagramlarda gösterilen mavi noktalar test verilerini, siyah eğri verilere uyan eğriyi, yeşil eğri de iki aşamalı model eğrisini ifade etmektedir.

Şekil 5.37’de FK1 modeline ait üç boyutlu eğri diyagramı görülmektedir. Bu diyagramın X eksenini “*S*, ateşleme avansı”nı, Y eksenini “*T*, momenti” ve Z eksenini “extempl, sol taraf egzost sıcaklığı” nı göstermektedir. Diyagramın yanındaki skala ise hata tahmini gölgelendirmesidir. Hata olasılığı yüksek olan bölgeler maviden kırmızıya doğru artmaktadır. Şekildeki üç boyutlu diyagram program tarafından motor devir değeri (*N*) 1600 rpm’de iken oluşturulmuştur. Diyalog kutusu aracılığıyla *N* devir değeri değiştirilerek, o değerdeki diyagram şekli de ayrıca görülebilmektedir.

Bu çalışma sonunda, sol taraf egzost sıcaklığının tepki modeli olan “extempl” için en iyi iki aşamalı model bulunmuş ve diyagramları gösterilmiştir. Bundan sonraki aşamada, sağ taraf egzost sıcaklığının tepki modeli olan “extempr” için, en iyi iki aşamalı modeli bulma çalışması yapılacaktır. Ama, bu çalışmanın sonunda sadece sonuçlar verilecektir.



Şekil 5.36. “Extempl” için “FK1” modeline ait örnek 2-D diyagramlar



Şekil 5.37. “Extempl” için “FK1” modeline ait örnek 3-D diyagram

5.2.3.27. “Extmpr” için en iyi iki aşamalı modelin belirlenmesi

Çalışmanın bu safhasında 5.2.3.12 paragrafından buraya kadar anlatılan bütün işlemler “extmpr” tepki modeli için de uygulanarak çeşitli modeller oluşturulmuştur. Bu modellere ait istatistiksel değerler Tablo 5.4’te verilmiştir.

Tablo 5.4 incelendiğinde, en düşük lokal *RMSE*, en düşük iki aşamalı *RMSE*, düşük bir *Press RMSE* değeri, düşük bir T^2 değeri ve oldukça yüksek bir $-\log L$ değeri içermesinden dolayı “FK1” modeli “extmpr” tepki modelinin en iyi iki aşamalı modeli olarak seçilmiştir. 3.4.7.5 paragrafında anlatıldığı gibi FK1 modeli matematiksel olarak “üçüncü dereceden serbest düğümlü eğri denklemini” ifade etmektedir.

Şekil 5.38’de FK1 modeline ait üç boyutlu eğri diyagramı görülmektedir. Bu diyagramın X eksenini “S, ateşleme avansı”nı, Y eksenini “T, momenti” ve Z eksenini “extmpr, sağ taraf egzoz sıcaklığı” nı göstermektedir. Diyagramın yanındaki skala ise hata tahmini gölgelendirmesidir.

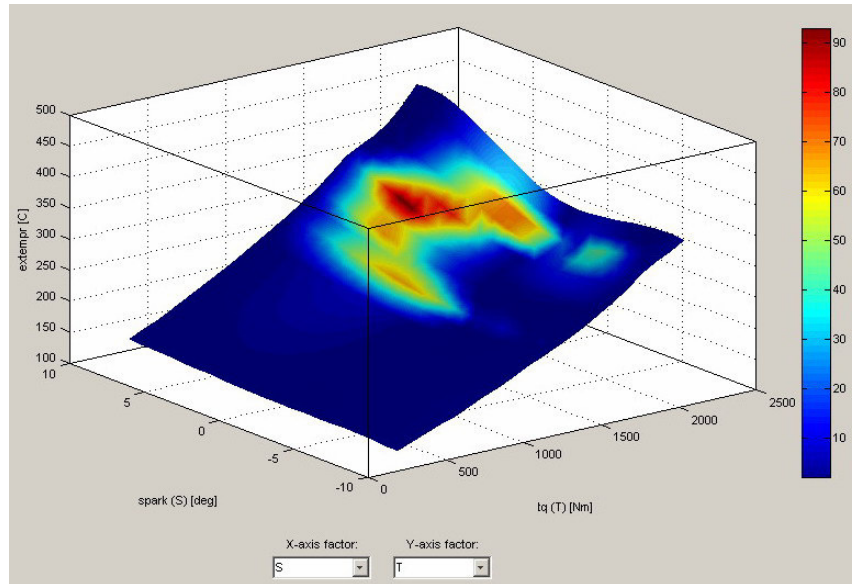
Tablo 5.4. “Extemp” tepki modelinin lokal modelleri ve istatistiksel değerleri

Lokal Modeller	Lokal RMSE	İki Aşamalı RMSE	Press RMSE	İki Aşamalı T ²	-log L
Quadratic	8.4162	7.4219	7.7739	0.82625	879.1488
POLY2	8.4162	7.3779	7.7522	0.7484	-160.3496
POLY3	7.8869	6.7516	8.0752	0.98987	-495.5799
Cubic	7.8869	6.5206	7.3236	0.76771	1369.5307
Spline	7.7019	6.3502	6.8979	1.6693	2129.781
FK1	7.3929	6.2004	8.7717	1.6028	2616.3873

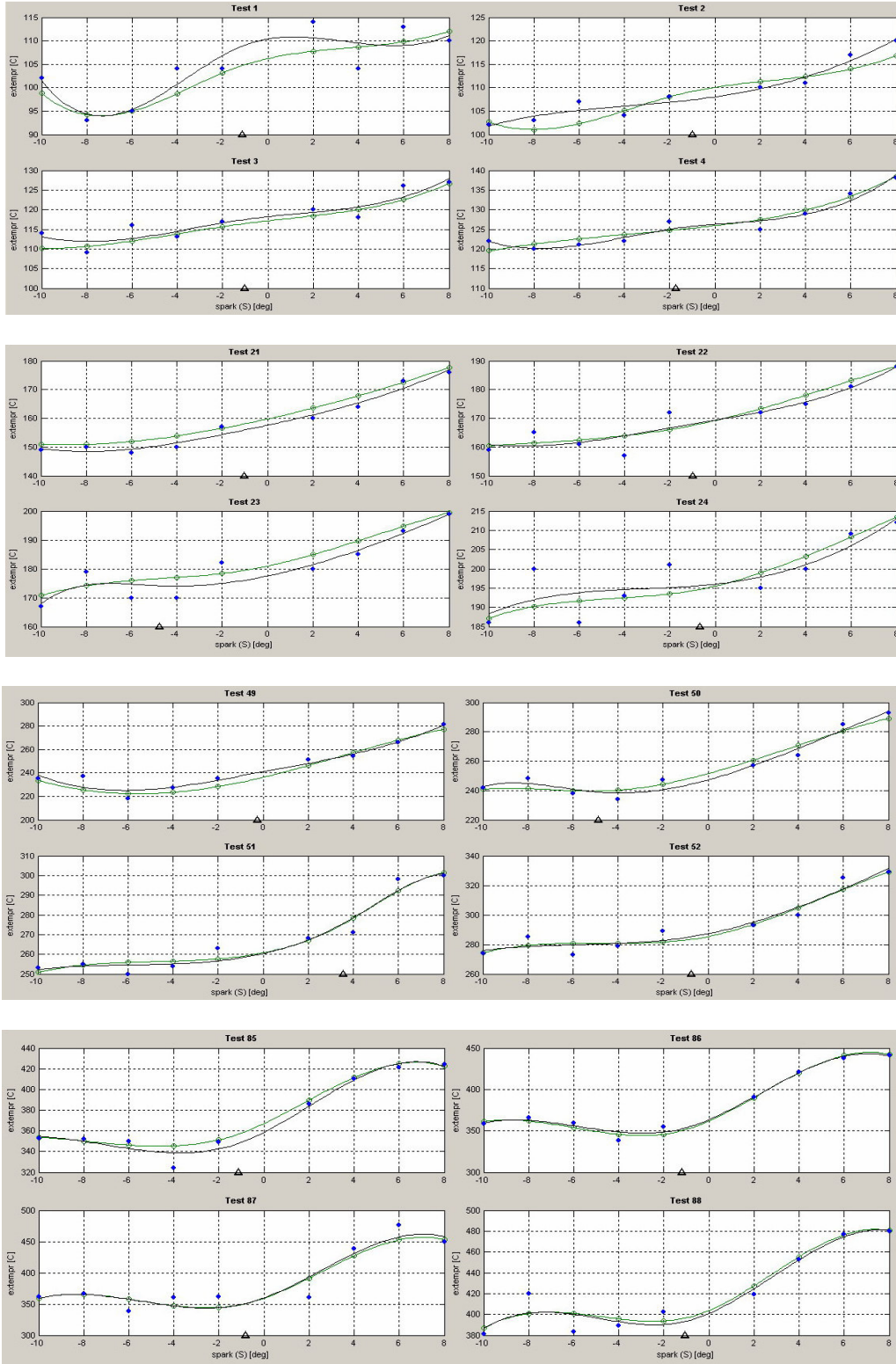
Hata olasılığı yüksek olan bölgeler maviden kırmızıya doğru artmaktadır. Şekildeki üç boyutlu diyagram program tarafından, motor devir değeri (N) 1600 rpm’de iken oluşturulmuştur. Diyalog kutusu aracılığıyla N devir değeri değiştirilerek, o değerdeki diyagram şeklide ayrıca görülebilmektedir.

Şekil 5.39’da FK1 modeline ait iki boyutlu eğri diyagramları görülmektedir. Bu diyagramların sayısı 90 adet olmasına rağmen, bu çalışmada örnek olarak 16 adeti gösterilmiştir. Diyagramlarda gösterilen mavi noktalar test verilerini, siyah eğri verilere uyan eğriyi, yeşil eğri de iki aşamalı model eğrisini ifade etmektedir.

Bu çalışma sonunda sol taraf egzost sıcaklığının tepki modeli olan “extemp” için en iyi iki aşamalı modeli bulunmuş ve modelin oluşturduğu diyagramlar gösterilmiştir.



Şekil 5.38. “Extemp” için “FK1” modeline ait örnek 3-D diyagram



Şekil 5.39. “Extemp” için “FK1” modeline ait örnek 2-D diyagramlar

5.2.3.28. Yakıt tüketiminin iki aşamalı modellenmesi

Motorlarda yakıt tüketimi kavramı iki değişik şekilde incelenmektedir; bunlar süreye göre yakıt tüketimi ve oluşturulan enerjiye göre yakıt tüketimidir.

Süreye göre yakıt tüketimi, motorun 1 dakikada gram cinsinden harcadığı yakıt miktarıdır. Bu çalışmada, süreye göre yakıt tüketimi kavramı “fuelcon” olarak adlandırılmaktadır.

Oluşturulan enerjiye göre yakıt tüketimi, motorun 1 kilowatt saat enerjisi oluşturduğu gram cinsinden yakıt miktarıdır. Buna aynı zamanda “spesifik yakıt tüketimi” denir. Bu çalışmada, süreye göre yakıt tüketimi kavramı “spfuelcon” olarak adlandırılmaktadır.

Daha önceki modelleme çalışmasında “extempl” ve “extempr” egzost sıcaklığı modelleri aynı Matlab dosyasında incelenmiştir. Bu durum programın bilgisayarda çalışmasını yavaşlattığından, bundan sonraki çalışmalarda her model ayrı Matlab dosyasında incelenecektir.

Bu tez çalışmasının devamı olarak “fuelcon” yakıt tüketimi modellenecektir. Ama bu işlemden önce, daha sonraki aşamalarda kolaylık olması açısından bir “şablon test planı” oluşturulacaktır.

5.2.3.29. Şablon test planının oluşturulması

Şablon test planı oluşturmak için “extempl” ve “extempr” tepki modellerinde kullanılan “Two-Stage” test planı kullanılacaktır. *MB* ağacında “Two-Stage” düğümü seçili iken ana menüden “TestPlan→Make Template” seçilir. Açılan “Test Plan Template Set Up” diyalog kutusunda “Name” kısmına “sablon_test_plani” yazılarak şablonun adı belirtilir. Sadece “Include designs” seçeneği işaretli iken “OK” tuşuna basılarak şablon test planı oluşturulur.

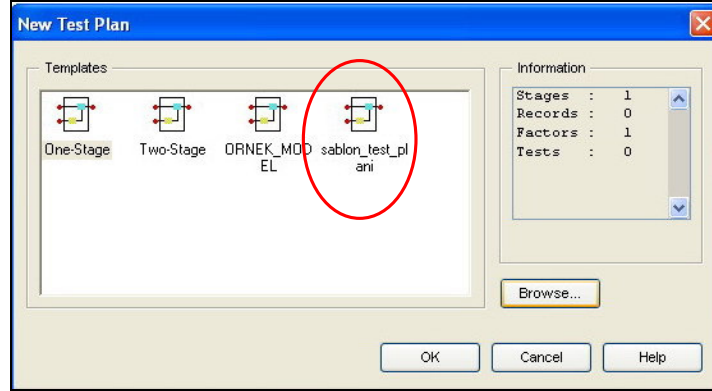
5.2.3.30. “Fuelcon” yakıt tüketimi test planının oluşturulması

5.2.3.29 numaralı paragrafta oluşturulan şablon test planı kullanılarak “fuelcon” yakıt tüketimi tepki modeli için test planı oluşturulacaktır. Öncelikle, yeni bir *MB* dosyası açılır. Yeni çalışma dosyasındayken menüden “File→New Test Plan” menüsüne tıklanır. Karşımıza gelen “New Test Plan” diyalog kutusundan “sablön_test_plani” seçilir. (Bkz. Şekil 5.40)

Böylece, yeni bir test planı oluşturulmuş olur. Fakat, bu test planında henüz “responses-tepkiler” belirtilmemiştir. Kurulan model, testlerden elde edilen verilere ihtiyaç duymaktadır. Bu yüzden test planına EK-A’da verilen veri setini yüklemek gerekmektedir.

Öncelikle, test plan diyagramında “Responses” bloğuna çift tıklanır. Daha önce hiçbir veri seçilmediği için “Data Wizard” diyalog kutusu açılmaktadır. Data Wizard’da “Design” kısmında “No design, use all selected data” işaretli olmalıdır. “Browse” tuşuyla “EK-A” daki veri setinin yeri belirtilerek “Next” tuşuna basılır. “Data Wizard” penceresi görülür. “Data Import Wizard” diyalog kutusunda değişkenler görüldüğünde “Finish” tuşuna basılır. Tekrar “Data Wizard-Select Data” diyalog kutusuna dönülür. Şimdi, artık veri dosyası yüklenmiş olarak görülmektedir. “Next” tuşuna basılır. “Data Wizard-Select Input Signals” diyalog kutusunda “Model Inputs Factors” kısmında hiçbir işlem yapmadan direkt olarak “Next” tuşuna basılır. Çünkü, şablon test planı kullandığımızdan ötürü, lokal ve global parametreler daha önce tanımlanmıştır.

“Data Wizard-Select Response Models” diyalog kutusunda “Data Variables” kısmında “fuelcon” parametresi seçilerek ortadaki “Match Data Variable To Response” tuşuyla “Responses” tarafına geçirilir. Ardından “Next” tuşuna tıklanır.



Şekil 5.40. “fuelcon” için şablon test planının seçilmesi

“Data Wizard-Set Tolerances” diyalog kutusu açılır. Bu diyalog kutusu deney dizaynına veri uydurmak için kullanılır. Bu durumda, dizayn kullanılmadığı için, bu ekran hesaba katılmayıp “Finish” tuşuna basabilir. Bu aşamada, “fuelcon” tepki modeli için oluşturulan dosya “model_2.mat” dosyası olarak kaydedilebilir.

5.2.3.31. “Fuelcon” için en iyi iki aşamalı modelin belirlenmesi

“fuelcon” tepki modeli için en iyi iki aşamalı modeli belirlerken, daha önceki “extempl” ve “extempr” modellerinde yapılan çalışmaların aynısı kullanılacaktır. “fuelcon” modeli için “Quadratic, POLY2, POLY3, Cubic, Spline ve FK1” matematiksel modelleri denenecek ve aralarından en iyi istatistiksel değer veren model seçilecektir. Yapılan bu çalışmalar ayrıntılı olarak gösterilmeyecek olup, sadece seçilen en iyi iki aşamalı modelin istatistiksel değerleri ve diyagramları gösterilecektir.

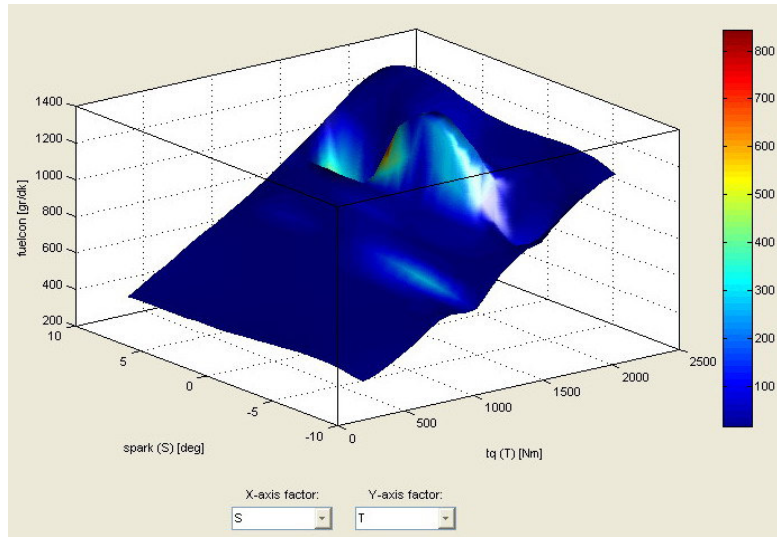
Tablo 5.5 incelendiğinde, en düşük lokal $RMSE$, en düşük iki aşamalı $RMSE$, düşük bir $Press RMSE$ değeri, düşük bir T^2 değeri ve oldukça yüksek bir $-\log L$ değeri içermesinden dolayı “FK1” modeli “fuelcon” tepki modelinin en iyi iki aşamalı modeli olarak seçilmiştir. 3.4.7.5 paragrafında anlatıldığı gibi, FK1 modeli matematiksel olarak “üçüncü dereceden serbest düğümlü eğri denklemini” ifade etmektedir.

Tablo 5.5. “Fuelcon” tepki modelinin lokal modelleri ve istatistiksel değerleri

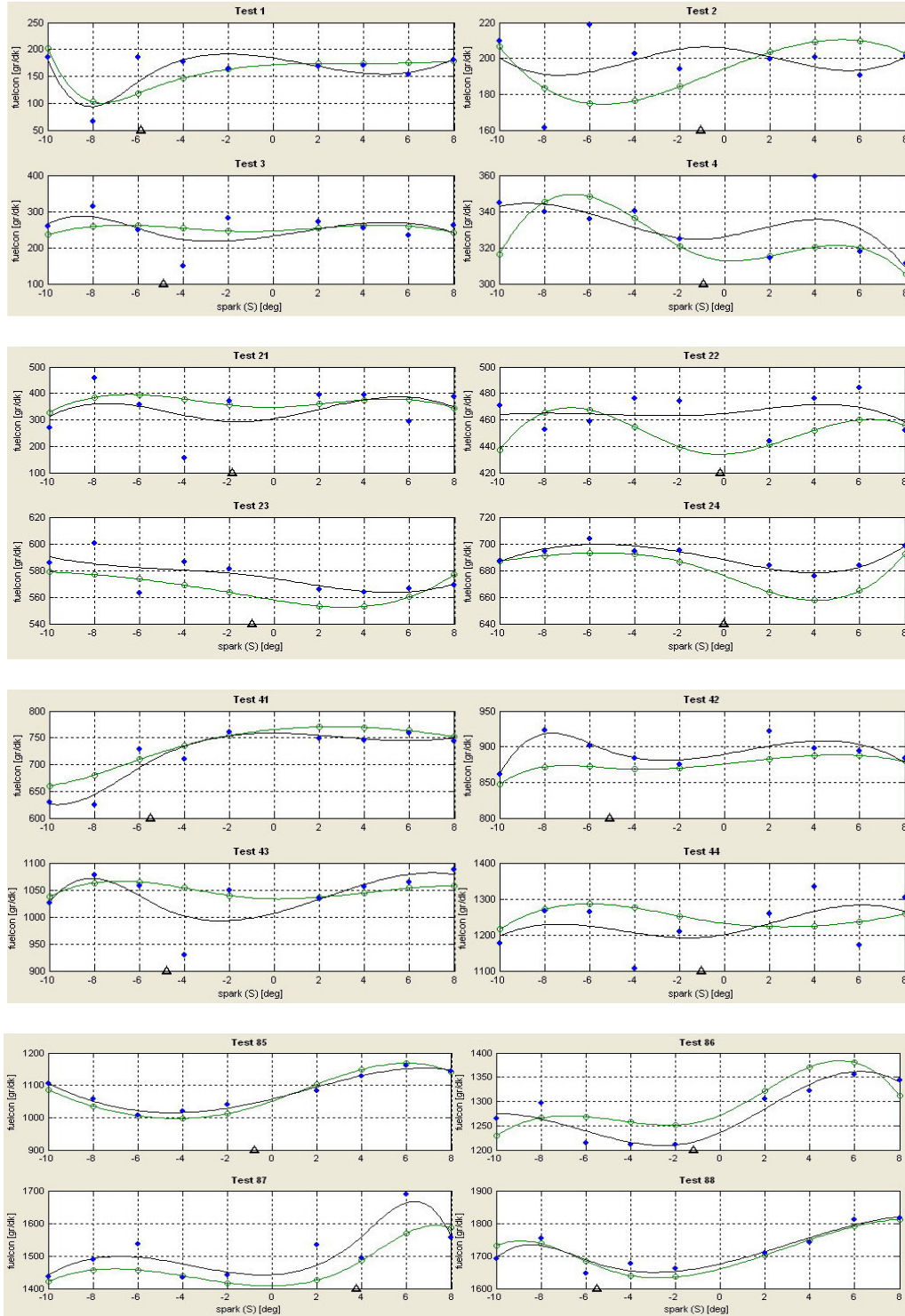
Lokal Modeller	Lokal RMSE	İki Aşamalı RMSE	Press RMSE	İki Aşamalı T ²	-log L
Quadratic	63.9788	54.8123	58.1675	0.50367	1938.6841
POLY2	63.9788	55.5101	59.2334	0.63066	896.6715
POLY3	66.9408	55.1435	68.4444	0.81783	953.0553
Cubic	62.1287	58.1827	64.0931	0.69735	2726.0466
Spline	66.3116	56.6616	79.4428	1.6125	4056.4798
FK1	48.3151	45.4537	54.8301	1.6565	4490.9443

Şekil 5.41’de FK1 modeline ait üç boyutlu eğri diyagramı görülmektedir. Bu diyagramın X eksenı “S, ateşleme avansı”nı, Y eksenı “T, momenti” ve Z eksenı “fuelcon, yakıt tüketimi”ni göstermektedir. Diyagramın yanındaki skala ise, hata tahmini gölgelendirmesidir. Hata olasılığı yüksek olan bölgeler maviden kırmızıya doğru artmaktadır. Şekildeki üç boyutlu diyagram program tarafından motor devir değeri (N) 1600 rpm’de iken oluşturulmuştur. Diyalog kutusu aracılığıyla N devir değeri değiştirilerek, o değerdeki diyagram şekli de ayrıca görülebilmektedir.

Şekil 5.42’de FK1 modeline ait iki boyutlu eğri diyagramları görülmektedir. Bu diyagramların sayısı 90 adet olmasına rağmen, bu çalışmada örnek olarak 16 adeti gösterilmiştir. Diyagramlarda gösterilen mavi noktalar test verilerini, siyah eğri verilere uyan eğriyi, yeşil eğri de iki aşamalı model eğrisini ifade etmektedir.



Şekil 5.41. “Fuelcon” için “FK1” modeline ait örnek 3-D diyagram



Şekil 5.42. “Fuelcon” için “FK1” modeline ait örnek 2-D diyagramlar

5.2.3.32. “Spfuelcon” spesifik yakıt tüketimi test planının oluşturulması

5.2.3.29 numaralı kısımda oluşturulan şablon test planı kullanılarak “spfuelcon” yakıt tüketimi tepki modeli için test planı oluşturulacaktır. Öncelikle, yeni bir *MB* dosyası açılır. Yeni çalışma dosyasındayken menüden “File→New Test Plan” menüsüne tıklanır. Açılan gelen “New Test Plan” diyalog kutusundan “sablon_test_plani” seçilir. Böylece yeni bir test planı oluşturulmuş olur. Fakat, bu test planında henüz “responses-tepkiler” belirtilmemiştir. Kurulan model, testlerden elde edilen verilere ihtiyaç duymaktadır. Bu yüzden test planına EK-A’da verilen veri setini yüklemek gerekmektedir. 5.2.3.11 numaralı kısımda anlatıldığı gibi tepki modeli belirtilir. Bu aşamada, “spfuelcon” spesifik yakıt tüketimi tepki modeli için oluşturulan dosyaya “model_3.mat” ismi verilerek *MB* dosyası olarak kaydedilebilir.

5.2.3.33. “Spfuelcon” için en iyi iki aşamalı modelin belirlenmesi

“spfuelcon” tepki modeli için en iyi iki aşamalı modeli belirlerken, daha önceki “extempl” ve “extempr” modellerinde yapılan çalışmaların aynısı kullanılacaktır. “spfuelcon” modeli için “Quadratic, POLY2, POLY3, Cubic, Spline ve FK1” matematiksel modelleri denenecek ve aralarından en iyi istatistiksel değer veren model seçilecektir. Yapılan bu çalışmalar ayrıntılı olarak gösterilmeyecek olup, sadece seçilen en iyi iki aşamalı modelin istatistiksel değerleri ve diyagramları gösterilecektir.

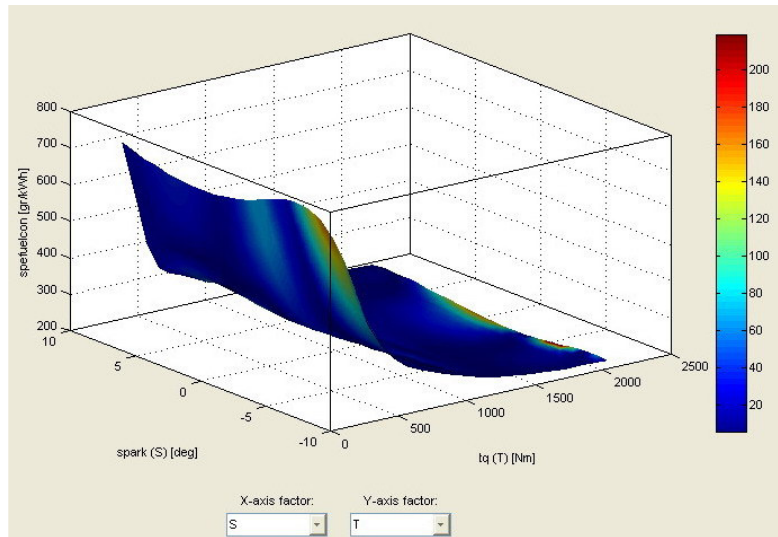
Tablo 5.6 incelendiğinde; en düşük lokal *RMSE*, en düşük iki aşamalı *RMSE*, en düşük *Press RMSE* değeri, düşük bir T^2 değeri ve oldukça yüksek bir $-\log L$ değeri içermesinden dolayı “FK1” modeli “spfuelcon” tepki modelinin en iyi iki aşamalı modeli olarak seçilmiştir. 3.4.7.5 paragrafında anlatıldığı gibi, FK1 modeli matematiksel olarak “üçüncü dereceden serbest düğümlü eğri denklemini” ifade etmektedir.

Tablo 5.6. “Spfuelcon” tepki modelinin lokal modelleri ve istatistiksel değerleri

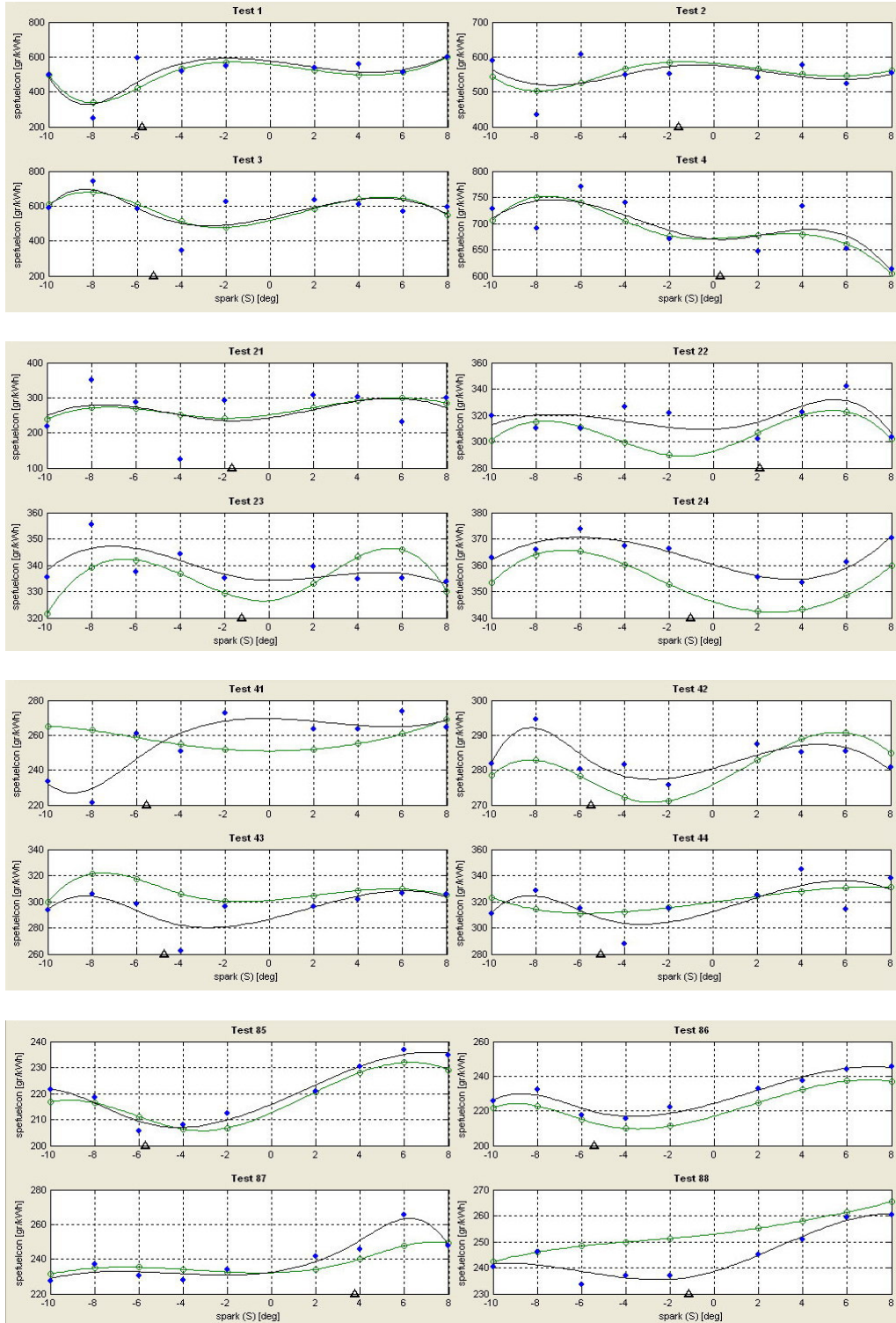
Lokal Modeller	Lokal RMSE	İki Aşamalı RMSE	Press RMSE	İki Aşamalı T ²	-log L
Quadratic	31.2935	28.3205	29.756	0.66182	1640.8602
POLY2	31.2935	28.2654	29.9639	0.65442	597.9626
POLY3	32.665	27.7596	30.1268	0.78223	512.4145
Cubic	32.2862	30.4666	31.7695	0.5284	2321.7536
Spline	33.2371	24.5358	27.787	0.63974	3406.2517
FK1	27.3191	23.0822	27.265	1.0389	3875.7352

Şekil 5.43’de FK1 modeline ait üç boyutlu eğri diyagramı görülmektedir. Bu diyagramın X eksenı “S, ateşleme avansı”nı, Y eksenı “T, momenti” ve Z eksenı “spfuelcon, spesifik yakıt tüketimi”ni göstermektedir. Diyagramın yanındaki skala ise, hata tahmini gölgelendirmesidir. Hata olasılığı yüksek olan bölgeler maviden kırmızıya doğru artmaktadır. Şekildeki üç boyutlu diyagram, program tarafından motor devir değeri (N) 1600 rpm’de iken oluşturulmuştur. Diyalog kutusu aracılığıyla N devir değeri değiştirilerek, o değerdeki diyagram şekli de ayrıca görülebilmektedir.

Şekil 5.44’de FK1 modeline ait iki boyutlu eğri diyagramları görülmektedir. Bu diyagramların sayısı 90 adet olmasına rağmen, bu çalışmada örnek olarak 16 adeti gösterilmiştir. Diyagramlarda gösterilen mavi noktalar test verilerini, siyah eğri verilere uyan eğriyi, yeşil eğri de iki aşamalı model eğrisini ifade etmektedir.



Şekil 5.43. “Spfuelcon” için “FK1” modeline ait örnek 3-D diyagram



Şekil 5.44. “Spfuelcon” için “FK1” modeline ait örnek 2-D diyagramlar

5.2.3.34. “Col” emisyonu test planının oluşturulması

5.2.3.29 numaralı paragrafta oluşturulan şablon test planı kullanılarak “Col” sol taraf karbonmonoksit (*CO*) emisyon oranı tepki modeli için test planı oluşturulacaktır. Öncelikle, yeni bir *MB* dosyası açılsın. Yeni çalışma dosyasındayken menüden “File→New Test Plan” menüsüne tıklanır. Açılan “New Test Plan” diyalog kutusundan “sablon_test_plani” seçilir. Böylece yeni bir test planı oluşturulmuş olur. Fakat, bu test planında henüz “responses-tepkiler” belirtilmemiştir. Kurulan model testlerden elde edilen verilere ihtiyaç duymaktadır. Bu yüzden, test planına EK-A’da verilen veri setini yüklemek gerekmektedir. 5.2.3.11 numaralı paragrafta anlatıldığı gibi tepki modeli belirtilir. Bu aşamada, “Col” karbonmonoksit oranı tepki modeli için oluşturulan dosyaya “model_4.mat” ismi vererek *MB* dosyası olarak kaydedilebilir.

5.2.3.35. “Col” için en iyi iki aşamalı modelin belirlenmesi

“Col” tepki modeli için en iyi iki aşamalı modeli belirlerken, daha önceki “extempl” ve “extempr” modellerinde yapılan çalışmaların aynısı kullanılacaktır. “Col” modeli için “Quadratic, POLY2, POLY3, Cubic, Spline ve FK1” matematiksel modelleri denenecek ve aralarından en iyi istatistiksel değer veren model seçilecektir. Yapılan bu çalışmalar ayrıntılı olarak gösterilmeyecek olup, sadece seçilen en iyi iki aşamalı modelin istatistiksel değerleri ve diyagramları gösterilecektir.

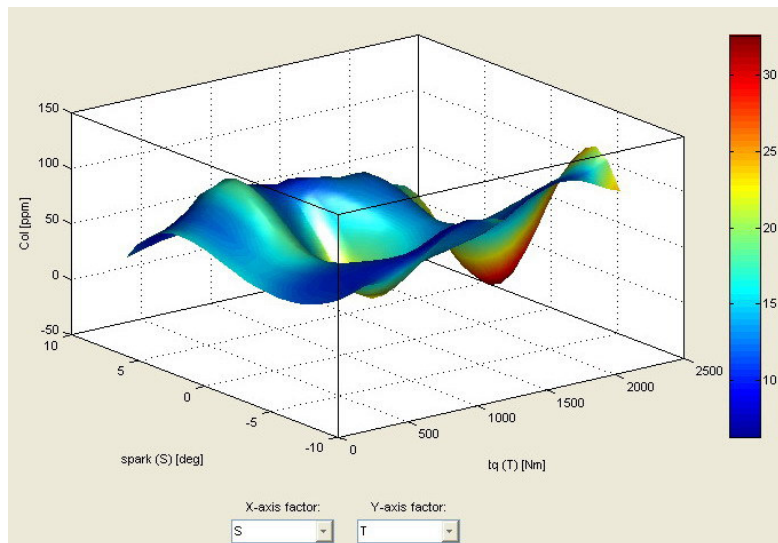
Tablo 5.7 incelendiğinde en düşük iki aşamalı *RMSE*, en düşük *Press RMSE* değeri, düşük bir T^2 değeri ve oldukça yüksek bir $-\log L$ değeri içermesinden dolayı “Spline” modeli “Col” tepki modelinin en iyi iki aşamalı modeli olarak seçilmiştir. 3.4.2.2 paragrafında anlatıldığı gibi “Spline” modeli matematiksel olarak “üçüncü dereceden doğrusal hibrid eğrisi modeli”ni ifade etmektedir.

Tablo 5.7. “Col” tepki modelinin lokal modelleri ve istatistiksel değerleri

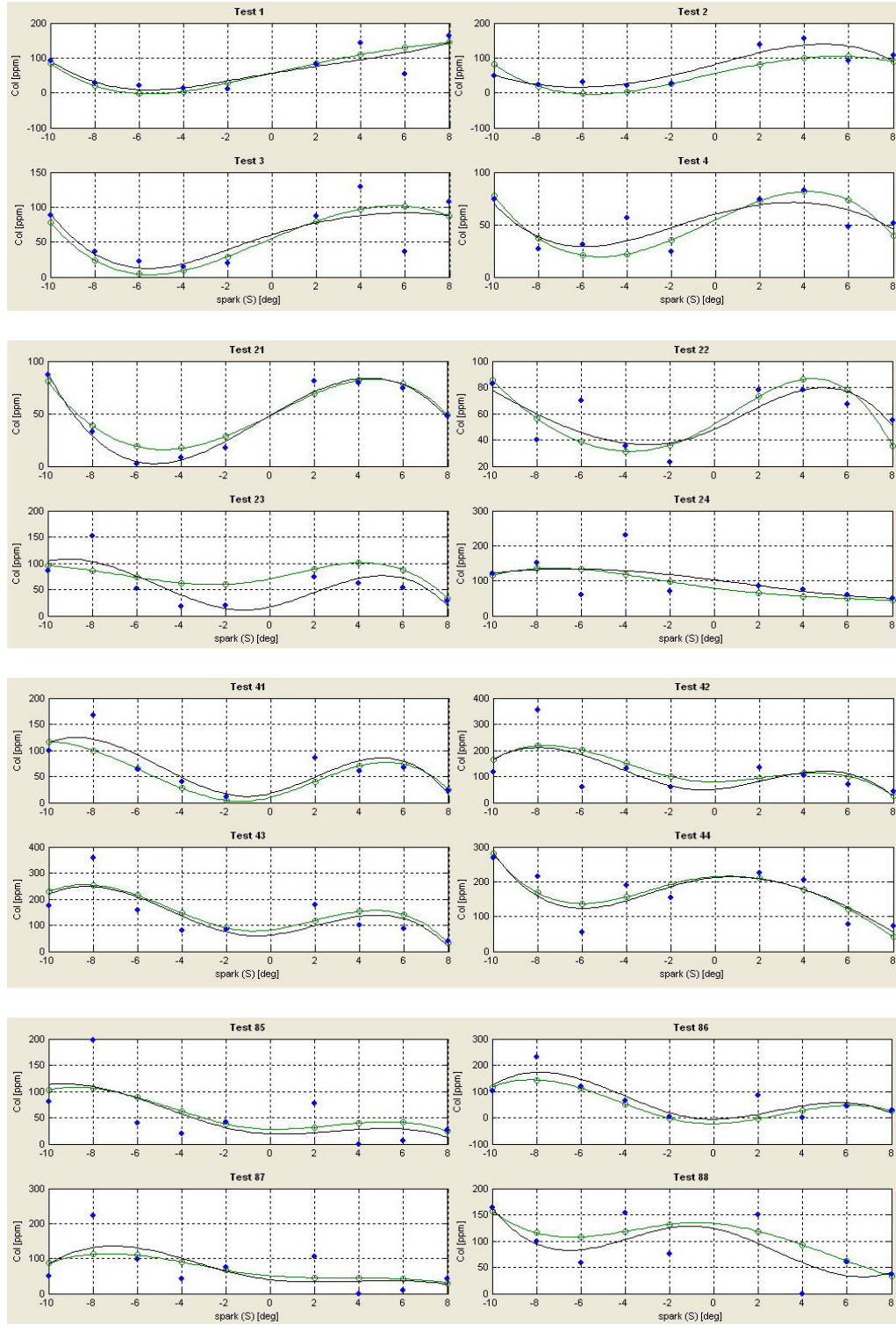
Lokal Modeller	Lokal RMSE	İki Aşamalı RMSE	Press RMSE	İki Aşamalı T ²	-log L
Quadratic	50.7881	42.9761	43.6992	0.38599	1975.0575
POLY2	43.6079	36.1346	38.3783	0.78656	678.2258
POLY3	50.7881	43.4886	45.1206	0.50966	760.4137
Cubic	41.7053	37.8026	39.5846	0.87402	2534.3954
Spline	43.0189	34.4471	37.9222	1.018	3687.1117
FK1	37.3009	35.9323	46.317	1.5118	4178.69

Şekil 5.45’de “Col” modeline ait üç boyutlu eğri diyagramı görülmektedir. Bu diyagramın X eksenı “S, ateşleme avansı”nı, Y eksenı “T, momenti” ve Z eksenı “Col, sol taraf CO emisyon oranı”nı göstermektedir. Diyagramın yanındaki skala ise, hata tahmini gölgelendirmesidir. Hata olasılığı yüksek olan bölgeler maviden kırmızıya doğru artmaktadır. Şekildeki üç boyutlu diyagram program tarafından motor devir değeri (N) 1600 rpm’de iken oluşturulmuştur. Diyalog kutusu aracılığıyla N devir değeri değiştirilerek, o değerdeki diyagram şekli de ayrıca görülebilmektedir.

Şekil 5.46’da “Spline” modeline ait iki boyutlu eğri diyagramları görülmektedir. Bu diyagramların sayısı 90 adet olmasına rağmen, bu çalışmada örnek olarak 16 adeti gösterilmiştir. Diyagramlarda gösterilen mavi noktalar test verilerini, siyah eğri verilere uyan eğriyi, yeşil eğri de iki aşamalı model eğrisini ifade etmektedir.



Şekil 5.45. “Col” için “Spline” modeline ait örnek 3-D diyagram



Şekil 5.46. “Col” için “Spline” modeline ait örnek 2-D diyagramlar

5.2.3.36. “Cor” emisyonu test planının oluşturulması

5.2.3.29 numaralı paragrafta oluşturulan şablon test planı kullanılarak “Cor” sağ taraf karbonmonoksit (CO) emisyon oranı tepki modeli için test planı oluşturulacaktır. Öncelikle, yeni bir MB dosyası açılır. Yeni çalışma dosyasındayken menüden “File→New Test Plan” menüsüne tıklanır. Açılan “New Test Plan” diyalog kutusundan “şablon_test_planı” seçilir. Böylece yeni bir test planı oluşturulmuş olur. Fakat, bu test planında henüz “responses-tepkiler” belirtilmemiştir. Kurulan model testlerden elde edilen verilere ihtiyaç duymaktadır. Bu yüzden test planına EK-A’da verilen veri setini yüklemek gerekmektedir. 5.2.3.11 numaralı paragrafta anlatıldığı gibi tepki modeli belirtilir. Bu aşamada, “Cor” karbonmonoksit oranı tepki modeli için oluşturulan dosyaya “model_5.mat” ismi verilerek MB dosyası olarak kaydedilebilir.

5.2.3.37. “Cor” için en iyi iki aşamalı modelin belirlenmesi

“Cor” tepki modeli için en iyi iki aşamalı modeli belirlerken, daha önceki modellerde yapılan çalışmaların aynısı kullanılacaktır. “Cor” modeli için “Quadratic, POLY2, POLY3, Cubic, Spline ve FK1” matematiksel modelleri denenecek ve aralarından en iyi istatistiksel değer veren model seçilecektir. Yapılan bu çalışmalar ayrıntılı olarak gösterilmeyecek olup, sadece seçilen en iyi iki aşamalı modelin istatistiksel değerleri ve diyagramları gösterilecektir.

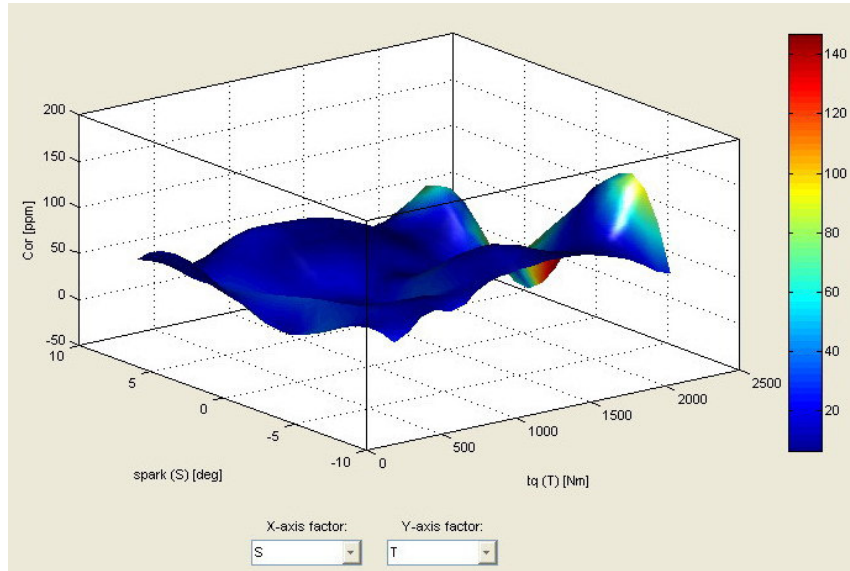
Tablo 5.8. “Cor” tepki modelinin lokal modelleri ve istatistiksel değerleri

Lokal Modeller	Lokal RMSE	İki Aşamalı RMSE	Press RMSE	İki Aşamalı T^2	-log L
Quadratic	44.0766	37.5992	38.6648	0.49376	1710.6689
POLY2	44.0766	37.6014	38.7742	0.48393	673.258
POLY3	39.1915	31.9466	33.6332	0.73474	561.8992
Cubic	37.4868	35.8573	37.0534	1.1655	2465.9675
Spline	39.4053	31.3252	35.5696	1.138	3547.6601
FK1	33.6852	31.2374	44.9984	1.4869	4024.059

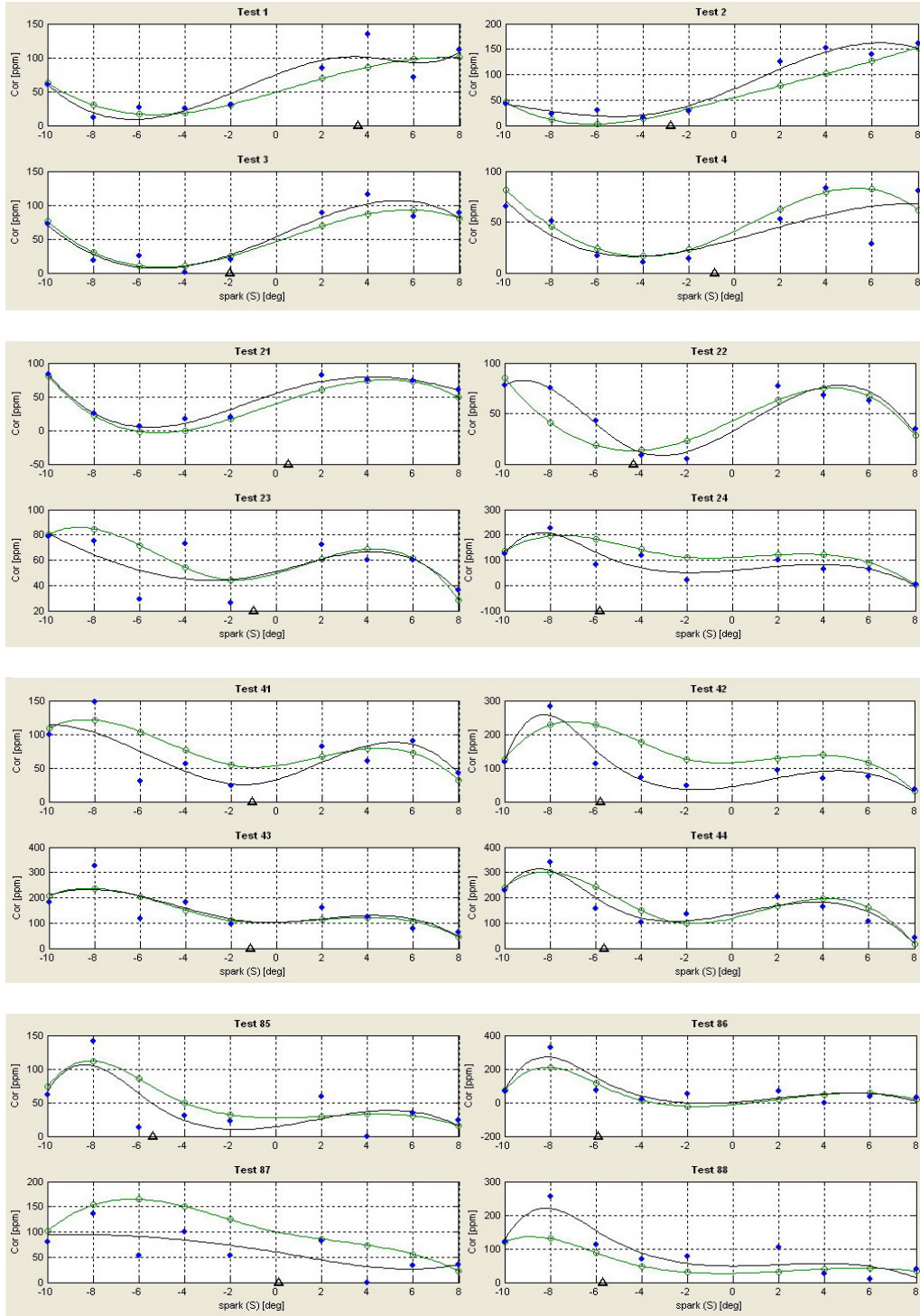
Tablo 4.8 incelendiğinde, en düşük iki aşamalı *RMSE*, düşük bir T^2 değeri ve oldukça yüksek bir $-\log L$ değeri içermesinden dolayı “FK1” modeli “Cor” tepki modelinin en iyi iki aşamalı modeli olarak seçilmiştir. 3.4.7.5 paragrafında anlatıldığı gibi, “FK1” modeli matematiksel olarak “üçüncü dereceden serbest düğümlü eğri denklemi”ni ifade etmektedir.

Şekil 5.47’de “Cor” modeline ait üç boyutlu eğri diyagramı görülmektedir. Bu diyagramın X eksenini “S, ateşleme avansı”nı, Y eksenini “T, momenti” ve Z eksenini “Cor, sağ taraf CO emisyon oranı”nı göstermektedir. Diyagramın yanındaki skala ise, hata tahmini gölgelendirmesidir. Hata olasılığı yüksek olan bölgeler maviden kırmızıya doğru artmaktadır. Bunun yanında, şekildeki üç boyutlu diyagram program tarafından motor devir değeri (N) 1600 rpm’de iken oluşturulmuştur. Diyalog kutusu aracılığıyla N devir değeri değiştirilerek, o değerdeki diyagram şekli de ayrıca görülebilmektedir.

Şekil 5.48’de “FK1” modeline ait iki boyutlu eğri diyagramları görülmektedir. Bu diyagramların sayısı 90 adet olmasına rağmen, bu çalışmada örnek olarak 16 adeti gösterilmiştir. Diyagramlarda gösterilen mavi noktalar test verilerini, siyah eğri verilere uyan eğriyi, yeşil eğri de iki aşamalı model eğrisini ifade etmektedir.



Şekil 5.47. “Cor” için “FK1” modeline ait örnek 3-D diyagram



Şekil 5.48. “Cor” için “FK1” modeline ait örnek 2-D diyagramlar

5.2.3.38. “Nol” emisyonu test planının oluşturulması

5.2.3.29 numaralı paragrafta oluşturulan şablon test planı kullanılarak “Nol” sol taraf azotmonoksit (*NO*) emisyon oranı tepki modeli için test planı oluşturulacaktır. Öncelikle, yeni bir *MB* dosyası açılır. Yeni çalışma dosyasındayken menüden “File→New Test Plan” menüsüne tıklanır. Açılan “New Test Plan” diyalog kutusundan “sablon_test_plani” seçilir. Böylece yeni bir test planı oluşturulmuş olur. Fakat, bu test planında henüz “responses-tepkiler” belirtilmemiştir. Kurulan model, testlerden elde edilen verilere ihtiyaç duymaktadır. Bu yüzden test planına EK-A’da verilen veri setini yüklemek gerekmektedir. 5.2.3.11 numaralı paragrafta anlatıldığı gibi tepki modeli belirtilir. Bu aşamada, “Nol” azotmonoksit oranı tepki modeli için oluşturulan dosyaya “model_6.mat” ismi verilerek *MB* dosyası olarak kaydedilebilir.

5.2.3.39. “Nol” için en iyi iki aşamalı modelin belirlenmesi

“Nol” tepki modeli için en iyi iki aşamalı modeli belirlerken, daha önceki modellerde yapılan çalışmaların aynısı kullanılacaktır. “Nol” modeli için “Quadratic, POLY2, POLY3, Cubic, Spline ve FK1” matematiksel modelleri denenecek ve aralarından en iyi istatistiksel değer veren model seçilecektir. Yapılan bu çalışmalar ayrıntılı olarak gösterilmeyecek olup, sadece seçilen en iyi iki aşamalı modelin istatistiksel değerleri ve diyagramları gösterilecektir.

Tablo 4.9 incelendiğinde en düşük iki aşamalı *RMSE*, düşük bir *Press RMSE* değeri, düşük bir T^2 değeri ve en yüksek bir $-\log L$ değeri içermesinden dolayı “FK1” modeli “Nol” tepki modelinin en iyi iki aşamalı modeli olarak seçilmiştir. 3.4.7.5 paragrafında anlatıldığı gibi, “FK1” modeli matematiksel olarak “üçüncü dereceden serbest düğümlü eğri denklemi”ni ifade etmektedir.

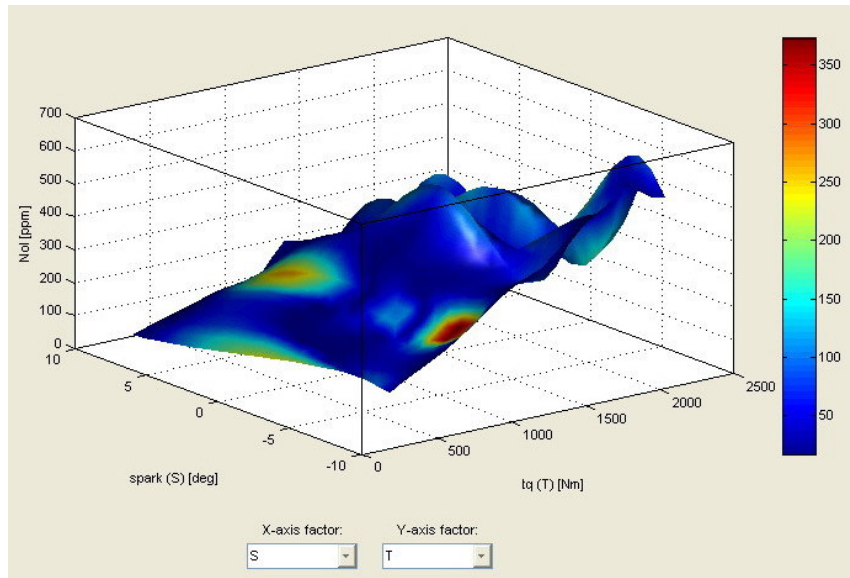
Şekil 5.49’da “Nol” modeline ait üç boyutlu eğri diyagramı görülmektedir. Bu diyagramın X eksenini “*S*, ateşleme avansı”nı, Y eksenini “*T*, momenti” ve Z eksenini

“Nol, sol taraf *NO* emisyon oranı”nı göstermektedir. Diyagramın yanındaki skala ise, hata tahmini gölgelendirmesidir. Hata olasılığı yüksek olan bölgeler maviden kırmızıya doğru artmaktadır. Bunun yanında, şekildeki üç boyutlu diyagram program tarafından motor devir değeri (*N*) 1600 rpm’de iken oluşturulmuştur. Diyalog kutusu aracılığıyla *N* devir değeri değiştirilerek, o değerdeki diyagram şekli de ayrıca görülebilmektedir.

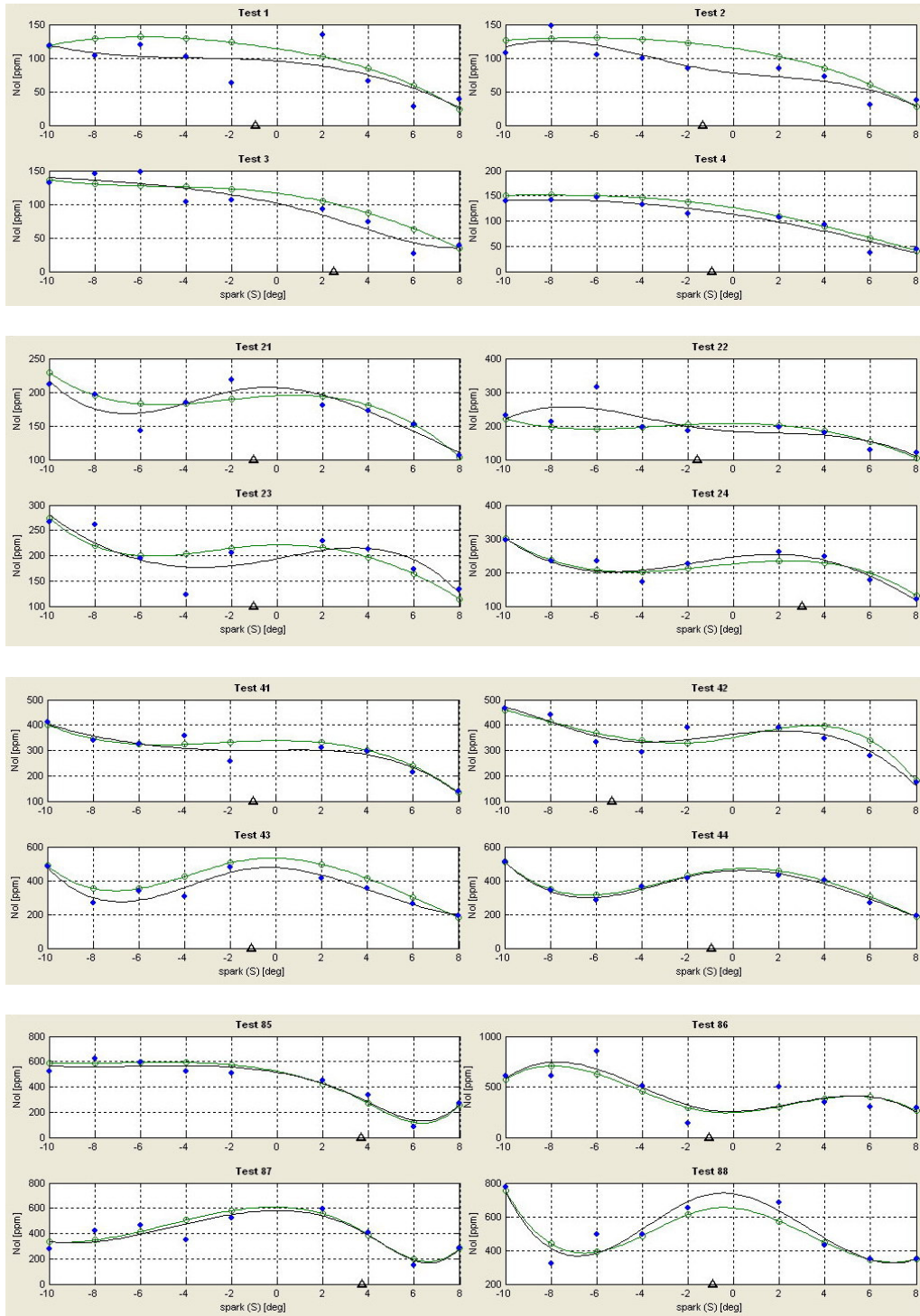
Şekil 5.50’de “FK1” modeline ait iki boyutlu eğri diyagramları görülmektedir. Bu diyagramların sayısı 90 adet olmasına rağmen, bu çalışmada örnek olarak 16 adeti gösterilmiştir. Diyagramlarda gösterilen mavi noktalar test verilerini, siyah eğri verilere uyan eğriyi, yeşil eğri de iki aşamalı model eğrisini ifade etmektedir.

Tablo 5.9. “Nol” tepki modelinin lokal modelleri ve istatistiksel değerleri

Lokal Modeller	Lokal RMSE	İki Aşamalı RMSE	Press RMSE	İki Aşamalı T ²	-log L
Quadratic	103.102	94.9838	96.7476	1.3344	2193.493
POLY2	103.102	93.941	95.3472	1.204	1143.4766
POLY3	88.8812	81.4063	84.9094	2.0158	1155.1978
Cubic	82.9936	86.5746	90.0302	2.6497	3030.3813
Spline	84.2053	78.0623	82.0389	2.4076	4217.966
FK1	77.597	73.4042	93.6959	2.2053	4667.7779



Şekil 5.49. “Nol” için “FK1” modeline ait örnek 3-D diyagram



Şekil 5.50. “NoI” için “FK1” modeline ait örnek 2-D diyagramlar

5.2.3.40. “Nor” emisyonu test planının oluşturulması

5.2.3.29 numaralı paragrafta oluşturulan şablon test planı kullanılarak “Nor” sağ taraf azotmonoksit (*NO*) emisyon oranı tepki modeli için test planı oluşturulacaktır. Öncelikle, yeni bir *MB* dosyası açılır. Yeni çalışma dosyasındayken menüden “File→New Test Plan” menüsüne tıklanır. Açılan “New Test Plan” diyalog kutusundan “sablon_test_plani” seçilir. Böylece yeni bir test planı oluşturulmuş olur. Fakat, bu test planında henüz “responses-tepkiler” belirtilmemiştir. Kurulan model, testlerden elde edilen verilere ihtiyaç duymaktadır. Bu yüzden test planına EK-A’da verilen veri setini yüklemek gerekmektedir. 5.2.3.11 numaralı paragrafta anlatıldığı gibi tepki modeli belirtilir. Bu aşamada, “Nor” azotmonoksit oranı tepki modeli için oluşturulan dosyaya “model_7.mat” ismi verilerek *MB* dosyası olarak kaydedilebilir.

5.2.3.41. “Nor” için en iyi iki aşamalı modelin belirlenmesi

“Nor” tepki modeli için en iyi iki aşamalı modeli belirlerken, daha önceki modellerde yapılan çalışmaların aynısı kullanılacaktır. “Nor” modeli için “Quadratic, POLY2, POLY3, Cubic, Spline ve FK1” matematiksel modelleri denenecek ve aralarından en iyi istatistiksel değer veren model seçilecektir. Yapılan bu çalışmalar ayrıntılı olarak gösterilmeyecek olup, sadece seçilen en iyi iki aşamalı modelin istatistiksel değerleri ve diyagramları gösterilecektir.

Tablo 5.10 incelendiğinde en düşük iki aşamalı *RMSE* değeri, en düşük *Press RMSE* değeri, düşük bir T^2 değeri ve en yüksek $-\log L$ değeri içermesinden dolayı “FK1” modeli “Nor” tepki modelinin en iyi iki aşamalı modeli olarak seçilmiştir. 3.4.7.5 kısmında anlatıldığı gibi “FK1” modeli matematiksel olarak “üçüncü dereceden serbest düğümlü eğri denklemi”ni ifade etmektedir.

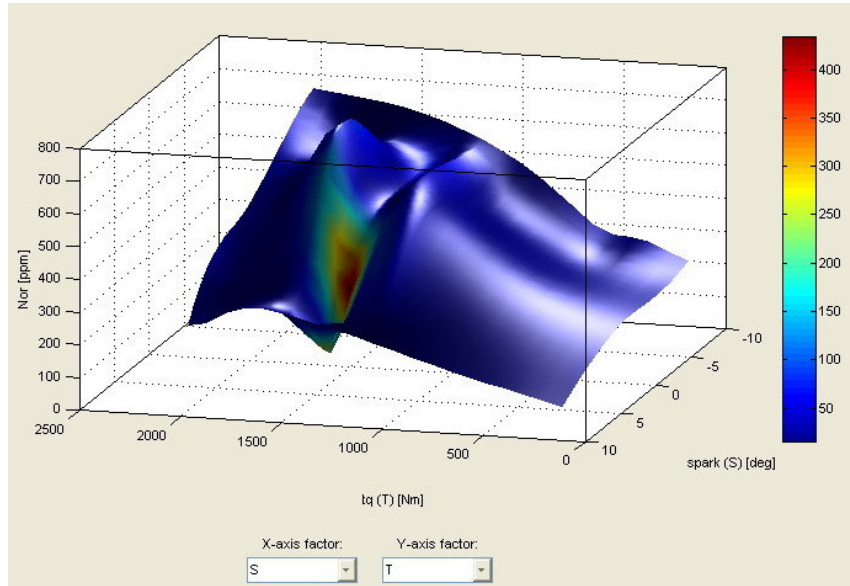
Şekil 5.51’de “Nor” modeline ait üç boyutlu eğri diyagramı görülmektedir. Bu diyagramın X eksenini “*S*, ateşleme avansı”nı, Y eksenini “*T*, moment”i ve Z eksenini “Nor, sağ taraf *NO* emisyon oranı”nı göstermektedir. Diyagramın yanındaki skala

ise, hata tahmini gölgelendirmesidir. Hata olasılığı yüksek olan bölgeler maviden kırmızıya doğru artmaktadır. Bunun yanında, şekildeki üç boyutlu diyagram, program tarafından motor devir değeri (N) 1600 rpm’de iken oluşturulmuştur. Ayrıca, diyalog kutusu aracılığıyla N devir değeri değiştirilerek, o değerdeki diyagram şekli de görülebilmektedir.

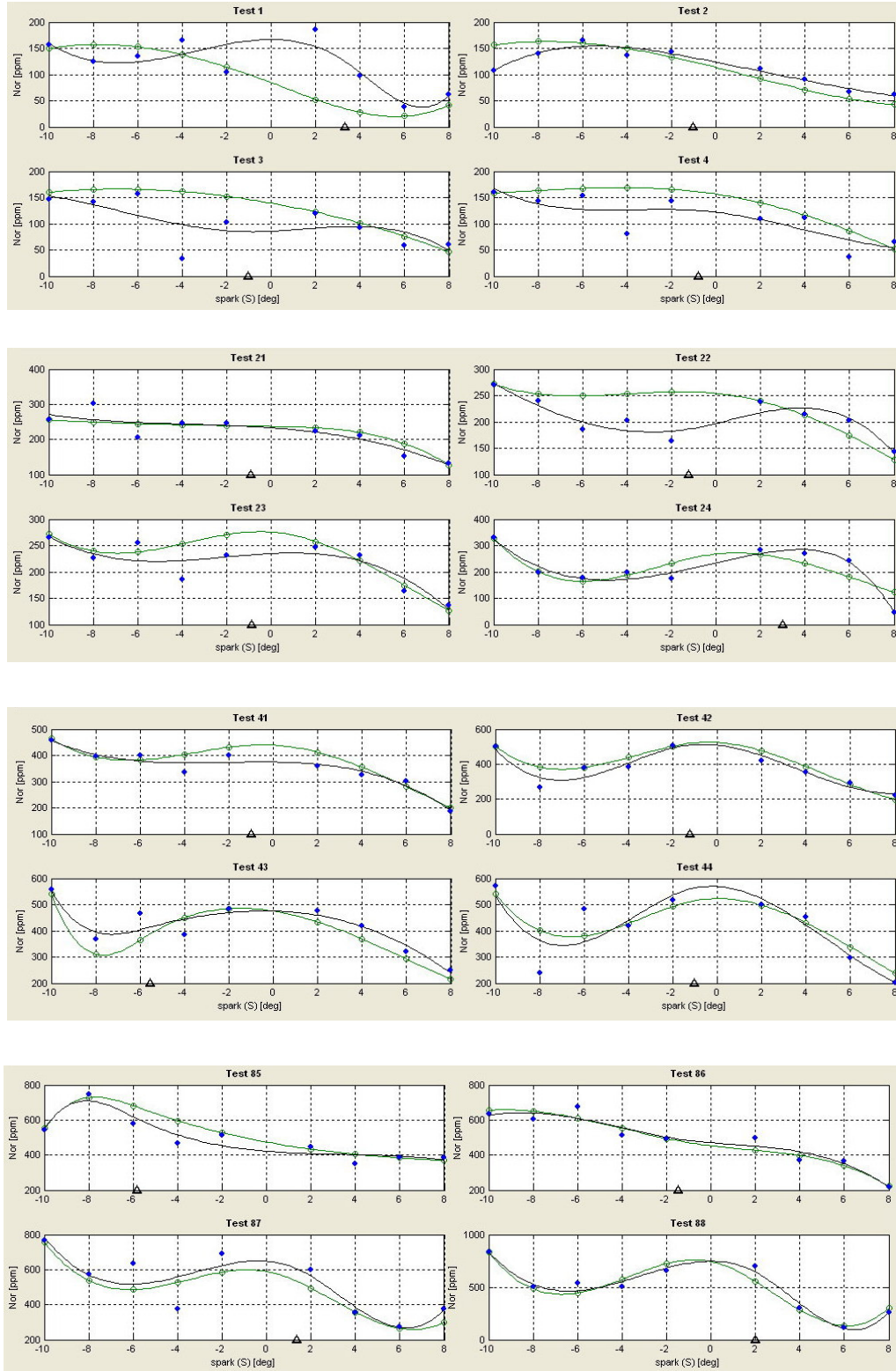
Şekil 5.52’de “FK1” modeline ait iki boyutlu eğri diyagramları görülmektedir. Bu diyagramların sayısı 90 adet olmasına rağmen, bu çalışmada örnek olarak 16 adeti gösterilmiştir. Diyagramlarda gösterilen mavi noktalar test verilerini, siyah eğri verilere uyan eğriyi, yeşil eğri de iki aşamalı model eğrisini ifade etmektedir.

Tablo 5.10. “Nor” tepki modelinin lokal modelleri ve istatistiksel değerleri

Lokal Modeller	Lokal RMSE	İki Aşamalı RMSE	Press RMSE	İki Aşamalı T^2	$-\log L$
Quadratic	106.3969	101.2598	103.2971	1.6987	2197.9569
POLY2	106.3969	101.8865	103.725	1.7632	1167.8834
POLY3	92.4112	92.1907	95.8388	2.9731	1212.1939
Cubic	88.4094	97.8587	102.2971	3.5678	3057.3309
Spline	83.1775	84.2838	95.0985	3.1459	4257.1764
FK1	77.8727	82.7732	92.2232	3.2617	4712.5873



Şekil 5.51. “Nor” için “FK1” modeline ait örnek 3-D diyagram



Şekil 5.52. “Nor” için “FK1” modeline ait örnek 2-D diyagramlar

5.2.3.42. “Noxl” emisyonu test planının oluşturulması

5.2.3.29 numaralı paragrafta oluşturduğumuz şablon test planını kullanarak “Noxl” sol taraf azotoksitler (NO_x) emisyon oranı tepki modeli için test planı oluşturulacaktır. Öncelikle, yeni bir *MB* dosyası açılır. Yeni çalışma dosyasındayken menüden “File→New Test Plan” menüsüne tıklanır. Açılan “New Test Plan” diyalog kutusundan “sablon_test_plani” seçilir. Böylece yeni bir test planı oluşturulmuş olur. Fakat, bu test planında henüz “responses-tepkiler” belirtilmemiştir. Kurulan model testlerden elde edilen verilere ihtiyaç duymaktadır. Bu yüzden test planına EK-A’da verilen veri setini yüklemek gerekmektedir. 5.2.3.11 numaralı paragrafta anlatıldığı gibi tepki modeli belirtilir. Bu aşamada, “Noxl” azotoksitler oranı tepki modeli için oluşturulan dosyaya “model_8.mat” ismi verilerek *MB* dosyası olarak kaydedilebilir.

5.2.3.43. “Noxl” için en iyi iki aşamalı modelin belirlenmesi

“Noxl” tepki modeli için en iyi iki aşamalı modeli belirlerken, daha önceki modellerde yapılan çalışmaların aynısı kullanılacaktır. “Noxl” modeli için “Quadratic, POLY2, POLY3, Cubic, Spline ve FK1” matematiksel modelleri denenecek ve aralarından en iyi istatistiksel değer veren model seçilecektir. Yapılan bu çalışmalar ayrıntılı olarak gösterilmeyecek olup, sadece seçilen en iyi iki aşamalı modelin istatistiksel değerleri ve diyagramları gösterilecektir.

Tablo 5.11 incelendiğinde en düşük iki aşamalı *RMSE* değeri, en düşük *Press RMSE* değeri, düşük bir T^2 değeri ve yüksek bir $-\log L$ değeri içermesinden dolayı “Spline” modeli “Noxl” tepki modelinin en iyi iki aşamalı modeli olarak seçilmiştir. 3.4.2.2 kısmında da anlatıldığı gibi “Spline” modeli matematiksel olarak “Üçüncü Dereceden Doğrusal Hibrid Eğrisi Modeli”ni ifade etmektedir.

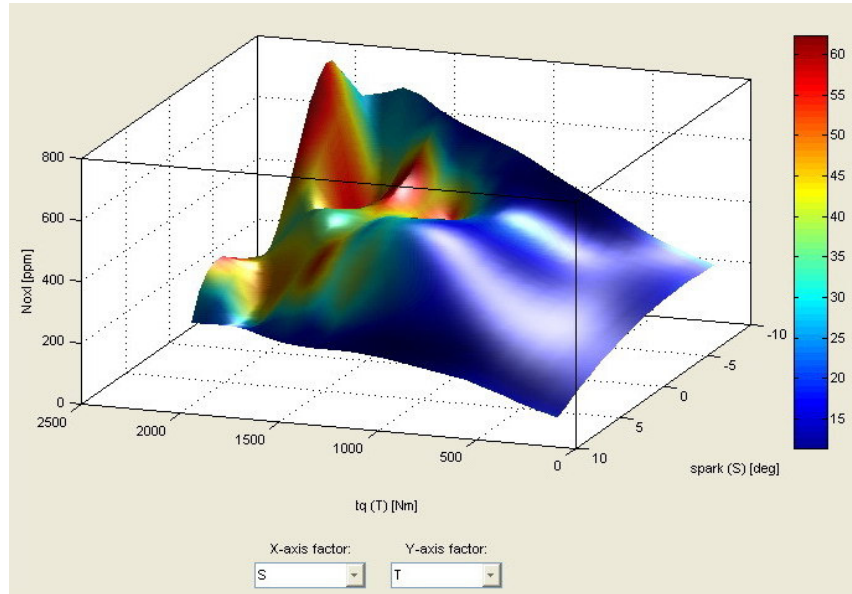
Şekil 5.53’te “Noxl” modeline ait üç boyutlu eğri diyagramı görülmektedir. Bu diyagramın X eksenini “*S*, ateşleme avansı”nı, Y eksenini “*T*, momenti” ve Z eksenini “Noxl, sol taraf NO_x emisyon oranı”nı göstermektedir. Diyagramın yanındaki skala

ise, hata tahmini gölgelendirmesidir. Hata olasılığı yüksek olan bölgeler maviden kırmızıya doğru artmaktadır. Bunun yanında, şekildeki üç boyutlu diyagram program tarafından motor devir değeri (N) 1600 rpm'de iken oluşturulmuştur. Diyalog kutusu aracılığıyla N devir değeri değiştirilerek, o değerdeki diyagram şekli de ayrıca görülebilmektedir.

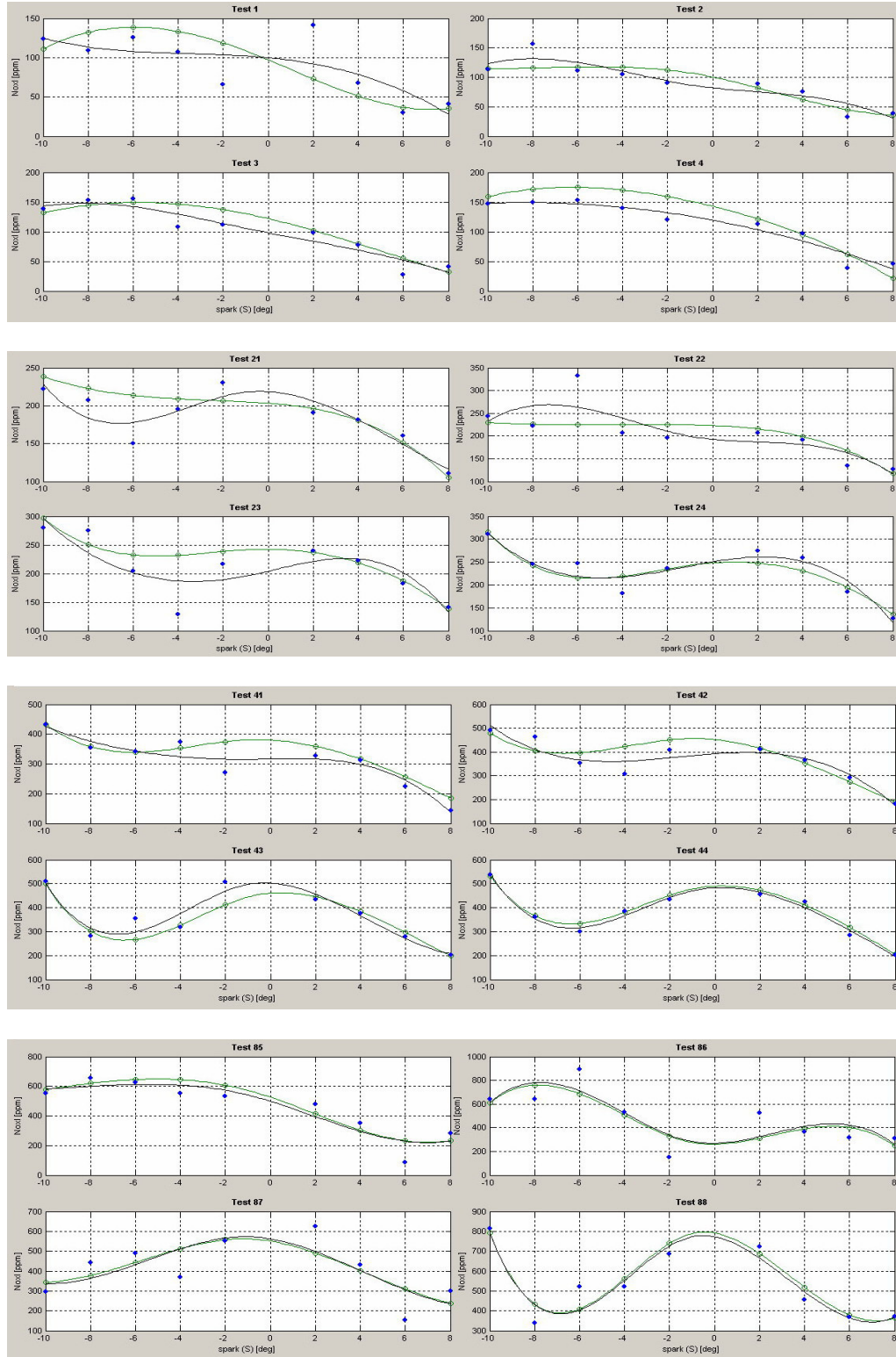
Şekil 5.54'de "Spline" modeline ait iki boyutlu eğri diyagramları görülmektedir. Bu diyagramların sayısı 90 adet olmasına rağmen, bu çalışmada örnek olarak 16 adeti gösterilmiştir. Diyagramlarda gösterilen mavi noktalar test verilerini, siyah eğri verilere uyan eğriyi, yeşil eğri de iki aşamalı model eğrisini ifade etmektedir.

Tablo 5.11. "Nox1" tepki modelinin lokal modelleri ve istatistiksel değerleri

Lokal Modeller	Lokal RMSE	İki Aşamalı RMSE	Press RMSE	İki Aşamalı T^2	$-\log L$
Quadratic	108.5441	98.8463	100.5183	1.205	2220.6391
POLY2	108.5441	98.9587	100.5178	1.2095	1175.194
POLY3	93.5962	84.8144	92.7495	1.8675	1192.387
Cubic	87.4365	86.8274	90.9363	2.0415	3075.1848
Spline	88.6836	79.4057	84.3693	2.1626	4265.0704
FK1	83.1107	79.6604	96.9241	2.3889	4753.1571



Şekil 5.53. "Nox1" için "Spline" modeline ait örnek 3-D diyagram



Şekil 5.54. “Nox1” için “Spline” modeline ait örnek 2-D diyagramlar

5.2.3.44. “Noxr” emisyonu test planının oluşturulması

5.2.3.29 numaralı paragrafta oluşturulan şablon test planı kullanılarak “Noxr” sağ taraf azotoksitler (NO_x) emisyon oranı tepki modeli için test planı oluşturulacaktır. Öncelikle, yeni bir *MB* dosyası açılır. Yeni çalışma dosyasındayken menüden “File→New Test Plan” menüsüne tıklanır. Açılan “New Test Plan” diyalog kutusundan “sablon_test_plani” seçilir. Böylece yeni bir test planı oluşturulmuş olur. Fakat, bu test planında henüz “responses-tepkiler” belirtilmemiştir. Kurulan model, testlerden elde edilen verilere ihtiyaç duymaktadır. Bu yüzden test planına EK-A’da verilen veri setini yüklemek gerekmektedir. 5.2.3.11 numaralı paragrafta anlatıldığı gibi tepki modeli belirtilir. Bu aşamada, “Noxr” azotoksitler oranı tepki modeli için oluşturulan dosyaya “model_9.mat” ismi verilerek *MB* dosyası olarak kaydedilebilir.

5.2.3.45. “Noxr” için en iyi iki aşamalı modelin belirlenmesi

“Noxr” tepki modeli için en iyi iki aşamalı modeli belirlerken, daha önceki modellerde yapılan çalışmaların aynısı kullanılacaktır. “Noxr” modeli için “Quadratic, POLY2, POLY3, Cubic, Spline ve FK1” matematiksel modelleri denenecek ve aralarından en iyi istatistiksel değer veren model seçilecektir. Yapılan bu çalışmalar ayrıntılı olarak gösterilmeyecek olup, sadece seçilen en iyi iki aşamalı modelin istatistiksel değerleri ve diyagramları gösterilecektir.

Tablo 5.12 incelendiğinde en düşük iki aşamalı *RMSE* değeri, en düşük *Press RMSE* değeri, düşük bir T^2 değeri ve en yüksek $-\log L$ değeri içermesinden dolayı “FK1” modeli “Noxr” tepki modelinin en iyi iki aşamalı modeli olarak seçilmiştir. 3.4.7.5 kısmında anlatıldığı gibi “FK1” modeli matematiksel olarak “üçüncü dereceden serbest düğümlü eğri denklemi”ni ifade etmektedir.

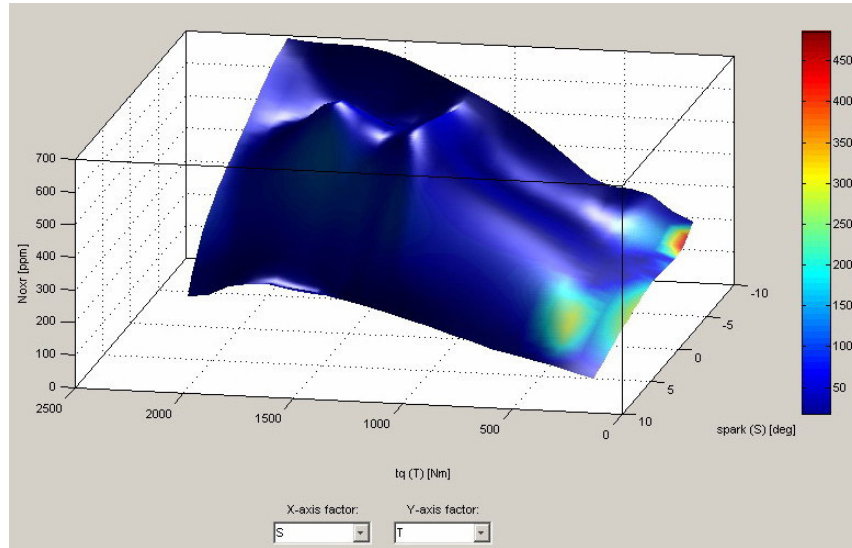
Şekil 5.55’te “Noxr” modeline ait üç boyutlu eğri diyagramı görülmektedir. Bu diyagramın X eksenini “*S*, ateşleme avansı”nı, Y eksenini “*T*, moment”i ve Z eksenini “Noxr, sağ taraf NO_x emisyon oranı”nı göstermektedir. Diyagramın yanındaki skala

ise, hata tahmini gölgelendirmesidir. Hata olasılığı yüksek olan bölgeler maviden kırmızıya doğru artmaktadır. Bunun yanında, şekildeki üç boyutlu diyagram program tarafından motor devir değeri (N) 1600 rpm'de iken oluşturulmuştur. Diyalog kutusu aracılığıyla N devir değeri değiştirilerek, o değerdeki diyagram şekli de ayrıca görülebilmektedir.

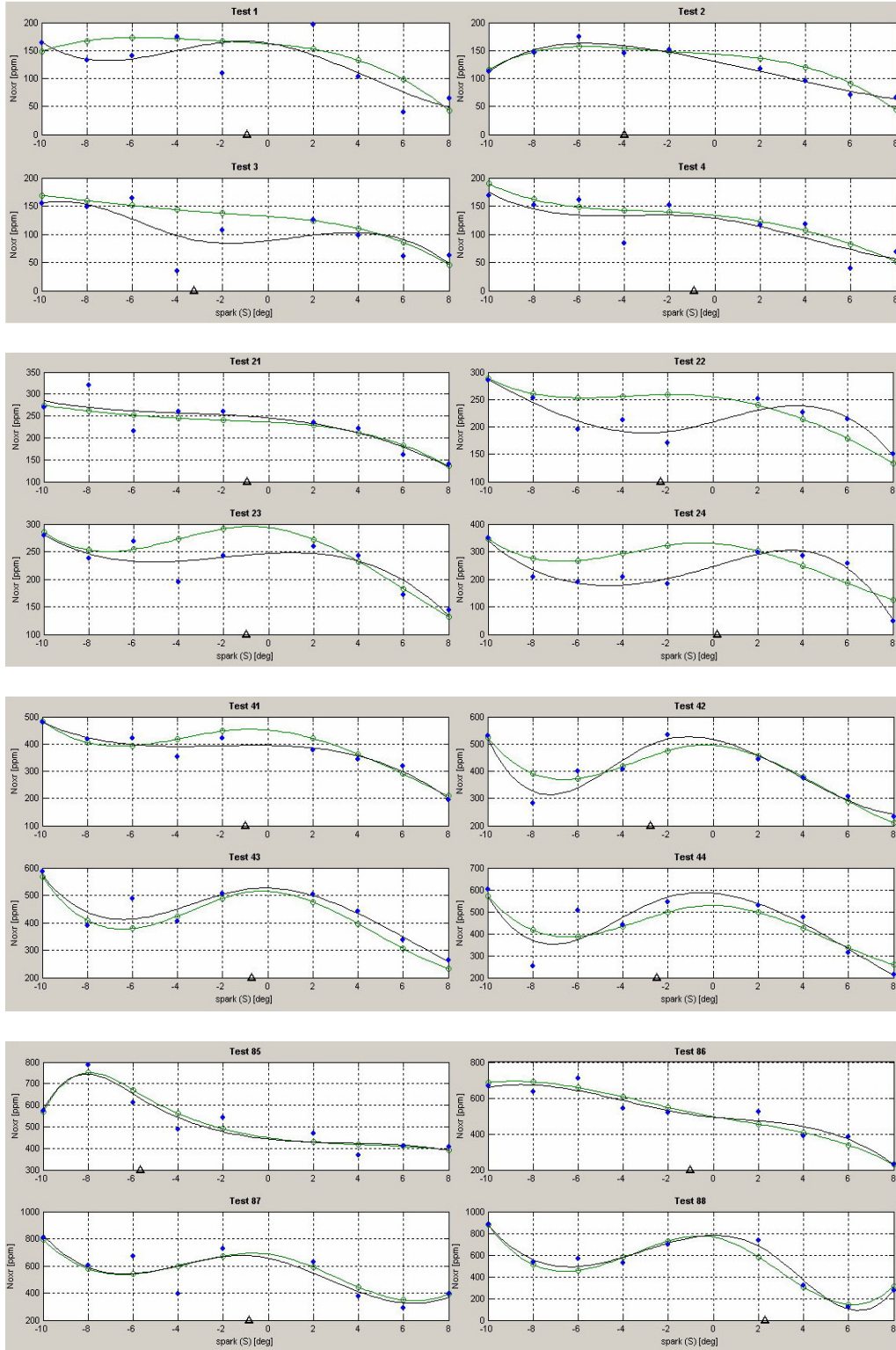
Şekil 5.56'da "FK1" modeline ait iki boyutlu eğri diyagramları görülmektedir. Bu diyagramların sayısı 90 adet olmasına rağmen, bu çalışmada örnek olarak 16 adeti gösterilmiştir. Diyagramlarda gösterilen mavi noktalar test verilerini, siyah eğri verilere uyan eğriyi, yeşil eğri de iki aşamalı model eğrisini ifade etmektedir.

Tablo 5.12. "Noxr" Tepki Modelinin Lokal Modelleri ve İstatistiksel Değerleri

Lokal Modeller	Lokal RMSE	İki Aşamalı RMSE	Press RMSE	İki Aşamalı T ²	-log L
Quadratic	108.5441	98.8463	100.5183	1.205	2220.6391
POLY2	112.0248	106.9559	109.1177	1.7239	1194.3589
POLY3	97.3793	96.6338	99.9746	2.988	1246.5336
Cubic	93.156	101.7863	106.8921	3.4752	3074.4394
Spline	87.6884	90.6653	107.004	3.2844	4298.9164
FK1	82.333	90.4966	96.9241	2.3889	4753.1571



Şekil 5.55. "Noxr" için "FK1" modeline ait örnek 3-D diyagram



Şekil 5.56. “Noxr” için “FK1” modeline ait örnek 2-D diyagramlar

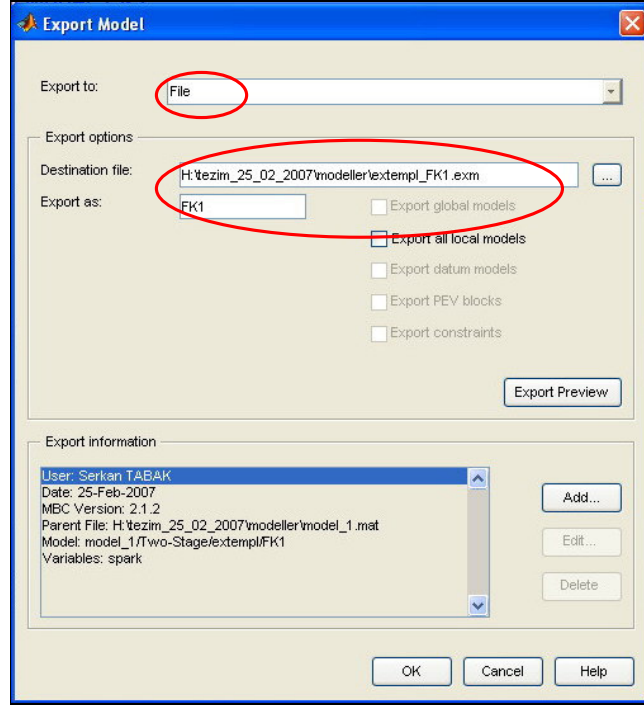
BÖLÜM 6. KALİBRASYON TABLOLARININ OLUŞTURULMASI

6.1. İki Aşamalı Modellerin Transfer Dosyalarına Dönüştürülmesi

Daha önceki bölümlerde oluşturulan iki aşamalı modeller, *MBC Toolbox CAGE* arayüzüne transfer edilerek optimizasyon kalibrasyon tablolarının oluşturulmasında kullanılabilir. Bu transfer işlemi, direkt olarak *MB* arayüzünden *CAGE* arayüzüne gerçekleştirilebildiği gibi, iki aşamalı modellerin birer transfer dosyası haline getirilmesi sayesinde de yapılabilmektedir. Bu tez çalışmasında, iki aşamalı modeller transfer dosyaları haline getirilecektir.

Öncelikle, daha önce oluşturulan “model_1.mat” dosyası açılır. Model ağacı üzerinden “extempl” tepki modeli için “FK1” lokal modelini, “extempr” tepki modeli için yine “FK1” lokal modeli seçilir. Tepki modelleri için en iyi iki aşamalı model belirlenmediği sürece, transfer işlemi gerçekleştirilememektedir. Seçim işleminin ardından, “File→Export Models” tuşlanarak, daha önce oluşturulan “modeller” klasörünün içine “extempl” tepki modeli için “extempl_FK1.exm” transfer dosyasını, “extempr” tepki modeli için “extempr_FK1.exm” transfer dosyası kaydedilir. “Export Model” diyalog kutusu Şekil 6.1’de görülmektedir.

Bundan sonraki aşamada, “model_2.mat” den “model_9.mat” a kadar bütün model dosyalarında, yukarıdaki paragrafta anlatılan işlemlerin aynısı uygulanarak tepki modellerine ait transfer dosyaları oluşturulmuştur.



Şekil 6.1. Export Model diyalog kutusu

6.2. Kalibrasyon Tablosu Hazırlamanın Getirdiği Kazanımlar

Kalibrasyon tablolarının hazırlanması oldukça büyük kazanımlar getirmektedir. Bunların başında, tablo doldurma işleminin test düzeneğinden bağımsız gerçekleştirilebilmesi kolaylığı verilebilir.

Ayrıca, tablo hazırlanmasının getirdiği kazanımlardan bir diğeri de; sınırlamalar ve kalibrasyon tablo yapısı değiştiğinde, kalibrasyonların tekrar güncellenmesinin ek testlere ihtiyaç duyulmadan yapılabilmesidir. Kalibrasyon tabloları “trade-off (alış-veriş)” yöntemiyle geliştirilebilir. Bu konularla ilgili ayrıntılı bilgiler daha ileriki kısımlarda verilecektir.

CAGE arayüzü hem otomatik, hem de interaktif kalibrasyon optimizasyonu temin edebilir. Çoklu nesnelere arasında trade-off (alış-veriş) gerçekleştirilebilir. Optimizasyon bir çevrim boyunca nokta nokta denenebilir. Ayrıca, CAGE arayüzü aşağıda verilen emisyon sınırlamalı örnek uygulamalar için çözüm sağlayabilir;

- Optimal yakıt enjeksiyon zamanlaması programı
- Optimal yakıt enjeksiyon miktarı programı
- Optimal ateşleme zamanı programı
- Optimal çift-bağımsız değişken süpap zamanlaması programı

Ayrıca, aşağıdaki tahmin problemlerine de çözüm bulabilir;

- Tork
- Emisyonlar
- Hava akışı ve manifold basıncı
- Giriş süpap sıcaklığı
- Sınır hattı ateşlemesi

Bu tez çalışması kapsamında yapılacak olan kalibrasyon işleminde üç ayrı çalışma yapılacaktır. Bu kalibrasyon çalışmalarının temelini “optimal ateşleme açısı (motor avans açısı)”nı bulmak oluşturmaktadır. Bu kapsamda, öncelikle sağ taraf CO , NO , NO_x ve yakıt tüketimi modellerine göre kalibrasyon tablosu oluşturulacak, daha sonra sol taraf CO , NO , NO_x ve yakıt tüketimi modellerine göre kalibrasyon tablosu oluşturulacak, ve son olarak da sol taraf CO , sağ taraf CO , yakıt tüketimi ve spesifik yakıt tüketimine göre ayrı ayrı kalibrasyon tabloları oluşturulacaktır.

Yapılacak olan bu kalibrasyon tablosu oluşturma işlemlerinin hepsinde, CAGE arayüzünün “Trade-Off” özelliği kullanılacaktır. Bu çalışmalarla ilgili detaylı anlatımlar ilerideki paragraflarda verilecektir.

6.3. Motor Tepki Modellerinin CAGE Arayüzüne Taşınması

Öncelikle, MATLAB komut satırında “cage” yazarak arayüz başlatılır. “File→Import→Model” seçilerek “modeller” klasöründen “extempl” tepki modeli transfer edilir. “Automatically assign/create inputs” seçeneği seçili iken “Finish” tuşuna basılır. Dosyanın adı “kalibrasyon.cag” olarak kaydedilir.

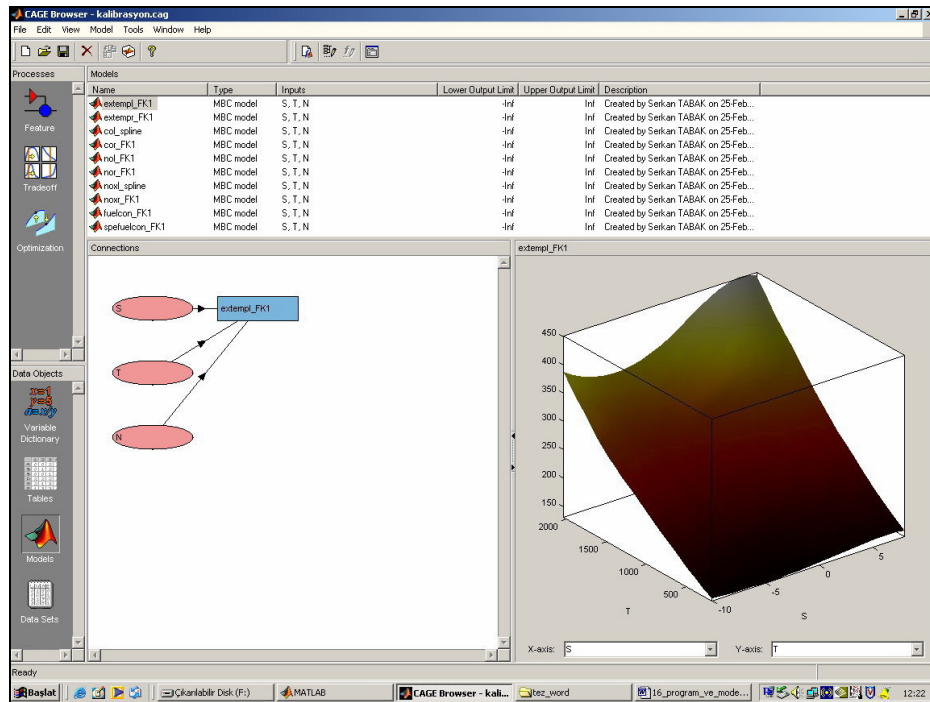
Diğer modeller de yukarıdaki paragrafta anlatılan yöntem kullanılarak CAGE arayüzüne transfer edilir. Böylece, 10 adet tepki modeli CAGE arayüzü tarafından ekrana Şekil 6.2’de görüldüğü gibi yerleştirilir.

İki aşamalı modellerin CAGE arayüzüne aktarılmasının ardından, değişkenlerin tanımlanmasına ve modellerin optimizasyonu yöntemi ile kalibrasyon tablolarının oluşturulmasına çalışılacaktır.

6.4. Trade-Off (Alış-Veriş) Kalibrasyonu

6.4.1. Trade-Off kalibrasyonunun tanımlanması

Trade-Off kalibrasyonu, değişik nesnelere dengelenmesi yoluyla, kalibrasyon tablolarının doldurulması işlemidir.



Şekil 6.2. CAGE arayüzünde tepki modellerinin görünüşü

Genel olarak, çok değişik ve birbiri ile çelişkili nesnelere bulunmaktadır. Örneğin, bir kalibrasyoncu azotoksitlerin (NO_x) emisyonunu sınırlarken, motor torkunu en yükseğe çıkarmak istemektedir. Maksimum tork ile minimum NO_x 'i aynı anda oluşturmak her zaman mümkün değildir. Fakat, bu iki nesneye "Trade-Off" işlemi yardımıyla, minimum-maksimum noktalar optimizasyonu uygulayarak, her iki nesnenin de minimum ve maksimum noktalarını aynı anda sağlayan koşullar tespit edilebilmektedir. Böylece, kalibrasyoncu maksimum tork değerini ve minimum NO_x emisyonu değerini üreten giriş değişkenini seçme şansına sahip olmakta ve look-up tablolarını seçilen bu değerlere göre oluşturabilmektedir.

6.4.2. Trade-Off_1 kalibrasyonunun oluşturulması

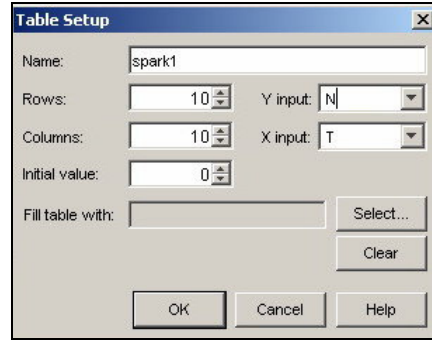
Look-up tablolarının kalibre edilmesinden önce, kalibrasyonun kurulması gereklidir. Öncelikle, CAGE arayüzü ve "kalibrasyon.cag" dosyası açılır.

Kurulacak olan ilk kalibrasyon, sağ taraf CO , NO , NO_x ve yakıt tüketimi modellerini optimize ederek, en ekonomik yanmayı sağlayacak ateşleme avansı değerlerini oluşturmayı amaçlamaktadır.

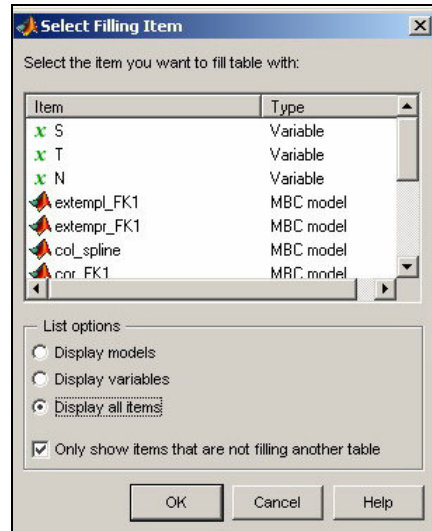
"File→New→Tradeoff" tuşlarına basarak yeni bir çalışma oluşturulur. Bu çalışmanın adı "Tradeoff_1" olarak değiştirilir.

Sıradaki adım "Tradeoff_1" kalibrasyonuna tablo ekleme işlemidir. Bunun için "Tradeoff→Add New Table..." tuşlanır. Ekranaya gelen "Table Setup" diyalog kutusunda tablo ismi "spark1", satır adedi "10", sütun adedi "10", başlangıç değeri "0", Y eksen girdisi " N "(motor devri) ve X eksen girdisi " T "(motor torku) olmak üzere haneler doldurulur. Şekil 6.3'de "Table Setup" diyalog kutusu görülmektedir.

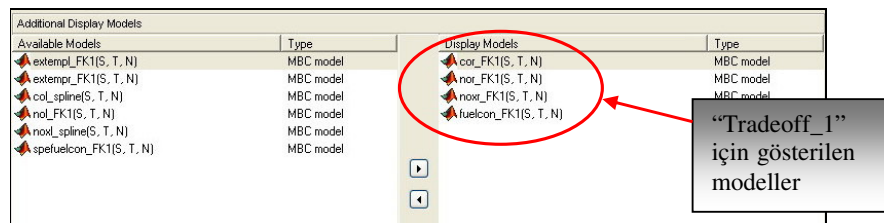
Table Setup diyalog kutusunu kapatmadan önce "Select" tuşuna basılarak "Select Filling Item" diyalog kutusu açılır. Bu diyalog kutusundan, kalibrasyon tablosunu doldurma işleminde kullanılacak olan değişken seçilir. Bu çalışma için değişken " S "



Şekil 6.3. “Table Setup” diyalog kutusu



Şekil 6.4. “Select Filling Item” kutusu



Şekil 6.5. Tradeoff_1 kalibrasyonu için model gösterme işlemi

(ateşleme avansı) olarak seçilmiştir. Kalibrasyon tablosu, ateşleme avansı değerlerini göstermek üzere kurulacaktır. “Select Filling Item” diyalog kutusu Şekil 6.4’te görülmektedir.

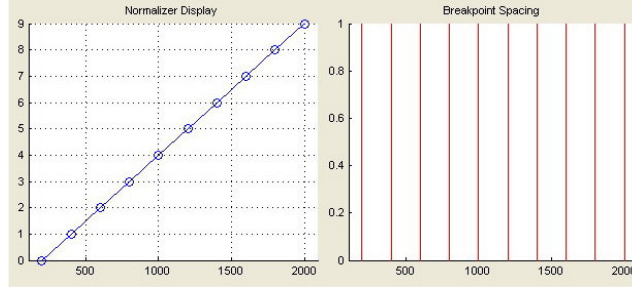
Kalibrasyon işlemine geçmeden önce modeller gösterilmelidir. Bu çalışma için kullanılacak modeller “cor_FK1, nor_FK1, noxr_FK1, fuelcon_FK1” modelleridir. Modellerin gösterilmesi işlemi, “Tradeoff_1” ekranında Şekil 6.5’te gösterildiği gibi yapılmaktadır. İstenilen modeller ortada bulunan oklar yardımıyla sağ tarafa aktarılabilir ve kalibrasyonda kullanılabilir. Bu işlemin ardından kalibrasyon yapmaya başlanabilir.

6.4.3. Trade-Off_1 kalibrasyonunun yapılması

Kalibrasyon işlemine geçmeden önce, yapılacak ilk çalışma “normalizer çizgileri”nin kontrolüdür. Normalizer çizgileri bir look-up tablosunun eksenleridir. Bu çizgiler kontrol edilerek, eksenler istenilen şekilde düzenlenebilir. Düzenlenen bu eksenler aynı zamanda kalibrasyon tablosunun satır ve sütunlarını da oluşturmaktadır. Normalizelere ait diyagramdaki kırmızı çizgiler ileri-geri hareket ettirilerek istenilen motor devri ve tork değerleri ayarlanabilir. Bu çalışmada da normalizer çizgileri motor devri (N) için 850, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200 ve 2400 *rpm* değerlerine, tork (T) için 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800 ve 2000 *Nm* değerlerine ayarlanmıştır.

Şekil 6.6’da Tradeoff_1 kalibrasyonunun tork için olan normalizer çizgileri görülmektedir.

Normalizer çizgilerinin düzenlenmesinin ardından kalibrasyona devam edilir. Kalibrasyon yaparken, , tablo doldurmanın iki değişik yöntemi vardır. Bunlardan ilki, tablodaki bazı anahtar operasyon noktalarının doldurularak “extrapolasyon” yapılmasıdır. Bu işlem, anahtar hücreler haricindeki diğer hücrelerin bilgisayar programı tarafından uydurulması işlemidir.



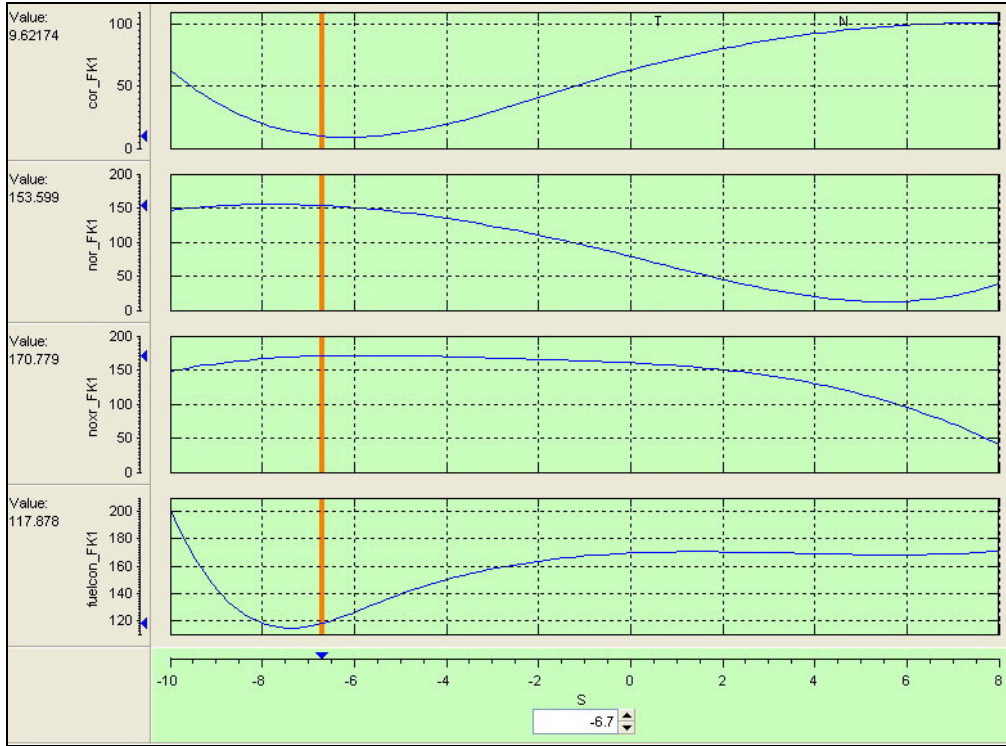
Şekil 6.6. Tradeoff_1 kalibrasyonu için tork normalizer çizgileri

İkinci yöntem ise, bütün hücrelerin tek tek doldurulması işlemidir. Bu tez çalışmasında ikinci yöntem kullanılacaktır.

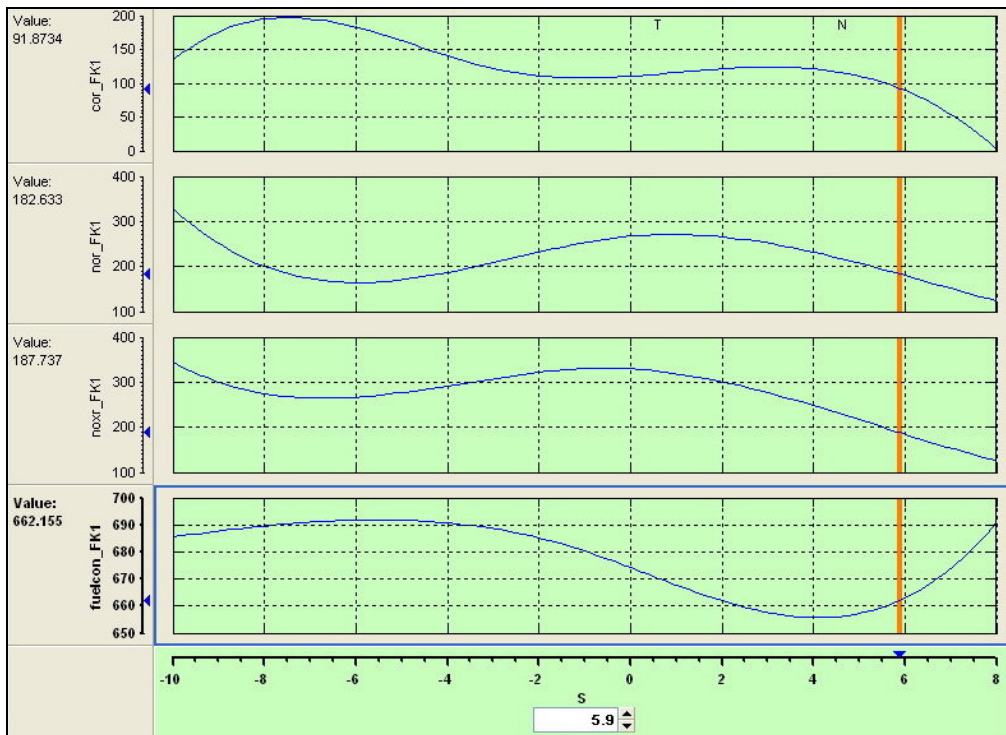
Tablo doldurma işlemi, değişkenlerin birbirine göre optimize edilmesidir. Bu ifade açılacak olursa; yapılan Tradeoff_1 kalibrasyonu için istenilen en iyi durum, minimum değerdeki CO emisyonu oranları ile, minimum yakıt tüketimi değerlerini beraber sağlayan ateşleme avansı değerlerine ulaşmaktır. Bu yaklaşım, yanma gazı içerisinde ne kadar az oranda CO gazı bulunursa, o oranda yanmaya katılan karbon (C) miktarının artması prensibine dayandırılmaktadır. Diğer emisyon değerleri olan NO ve NO_x , kalibrasyonda değerlendirme açısından ikinci planda kalmaktadır.

Yukarıda bahsedilen optimizasyon işlemi “minimum noktalar optimizasyonu” olarak da isimlendirilebilmektedir. Bu işlem, Tradeoff_1 kalibrasyonu için Şekil 6.7 ve Şekil 6.8’de verilen iki adet grafiksel örnekte daha detaylı olarak açıklanmaya çalışılacaktır.

Şekil 6.7’de gösterilen optimizasyon Tradeoff_1 kalibrasyonununun 850 rpm motor devri ve 200 Nm tork durumuna aittir. Burada önce “cor_FK1” eğrisinin minimum noktası -6.1° olarak ve “fuelcon_FK1” eğrisinin minimum noktası -7.3° olarak bulunur. Bu iki değer aritmetik ortalaması alınır, sonuç -6.7° olarak bulunur. Bu ateşleme avansı değeri, “cor_FK1 ve fuelcon_FK1” modellerinin her ikisini de beraberce minimum değere çeken en iyi ateşleme avansı değeridir. Burada “nor_FK1 ve noxr_FK1” eğrilerine ait minimum değerler dikkate alınmamaktadır.



Şekil 6.7. Tradeoff_1 kalibrasyonu N=850 rpm, T=200 Nm optimizasyonu



Şekil 6.8. Tradeoff_1 kalibrasyonu N=1800 rpm, T=600 Nm optimizasyonu

Yine, Şekil 6.8’de gösterilen optimizasyon Tradeoff_1 kalibrasyonun 1800 rpm motor devri ve 800 Nm tork durumuna aittir. Burada önce “cor_FK1” eğrisinin minimum noktası $+8^{\circ}$ olarak ve “fuelcon_FK1” eğrisinin minimum noktası $+4.1^{\circ}$ olarak bulunur. Bu iki değer aritmetik ortalaması alınır, sonuç $+5.9^{\circ}$ olarak bulunur. Bu ateşleme avansı değeri, “cor_FK1 ve fuelcon_FK1” modellerinin her ikisini de beraberce minimum değere çeken en iyi ateşleme avansı değeri olarak görülmektedir. Fakat, burada dizel motor çalışma prensibine aykırı bir durum söz konusudur. Bu durumun fiziksel anlamı; piston üst ölü noktadan alt ölü noktaya dönerken püskürtme yapılmasıdır. Bu durum gerçek motor çalışmasına uygulanamamaktadır. Artı bölgedeki ateşleme avansına sahip bu ve bunun gibi diğer durumlar, önce aritmetik ortalama alınarak bulunacak, hiçbir düzeltme yapmaksızın kalibrasyon yapılacak, tablolar ve grafikler oluşturulacaktır. Daha sonra aynı tablo ve grafikler düzeltme yapılarak oluşturulacak, artı püskürtme avansı bölgesinde çıkan tablo hücreleri, eğrilerin eksi püskürtme avansı bölgesindeki minimum değerlerine göre düzeltilecek ve oluşturulan iki kalibrasyon karşılaştırılacaktır.

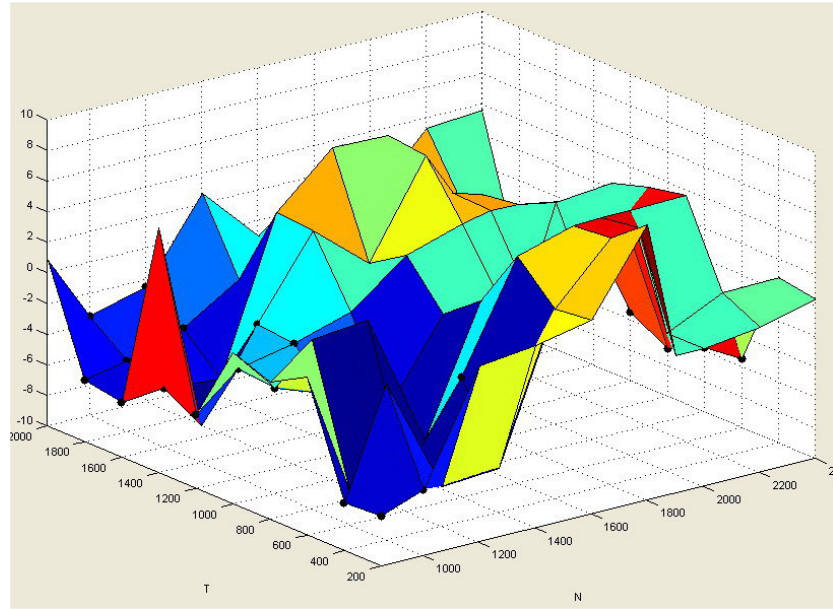
Bulunan değerlerde hiçbir düzeltme yapılmaksızın, “cor_FK1 ve fuelcon_FK1” eğrilerinin minimum noktalarının aritmetik ortalamasına göre oluşturulmuş kalibrasyon tablosu Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo incelendiğinde, beyaz ve sarı renkle gösterilmiş hücreler olduğu görülür. Burada, beyaz renkli hücreler düzeltme gerektirmeyen ateşleme avansı değerlerini, sarı renkli hücreler ise düzeltme gerektiren ateşleme avansı değerlerini ifade etmektedir. Görüldüğü gibi düzeltme gerektiren ateşleme avansı değerlerinin sayısı oldukça fazladır. Bunun sebebi ise, testlerin artı ateşleme avansı bölgelerinde de yapılmış olmasıdır. Bu durum normal motor şartlarına uygun bir durum değildir ve test sonuçlarında bazı alışılmamış sonuçlar alınması muhtemeldir.

Ayrıca, bulunan değerlerde hiçbir düzeltme yapılmaksızın, “cor_FK1 ve fuelcon_FK1” eğrilerinin minimum noktalarının aritmetik ortalamasına göre oluşturulmuş üç boyutlu kalibrasyon yüzeyi aşağıdaki Şekil 6.9’da verilmiştir. Yüzey incelendiğinde oldukça düzensiz bir yapısı olduğu görülmektedir. Bu düzensiz yapı daha sonra yapacağımız düzeltmeler sayesinde azalacaktır.

Tablo 6.1. Tradeoff_1 kalibrasyon (look-up) tablosu

N\T	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
850	-6,7	-6,9	0,3	-1	-0,1	-5,2	6	-6,4	-6	0,8
1000	-5,7	0,2	-7,8	1,1	-3,1	-2,9	-7,6	-6,2	-5,4	-3,5
1200	1,5	-7,4	-7,6	1,4	-4,4	-2,1	-1,9	-6,5	-4,2	-2,5
1400	1,9	-7,1	-2,2	-7,3	-6,4	-1	3,3	3,5	-1,9	2,7
1600	2,7	2,4	4,8	0,9	-1	1,8	0,3	6,8	2,5	-1
1800	8	6,1	5,9	0,5	-1	3	6,4	6,7	2,6	-1
1900	-1	6,3	6	-1	-1	3,4	3,5	2,7	3,2	3,6
2000	-1	-1	6	-1	4,5	3,3	3	-1	3,1	-0,5
2200	-0,5	0,7	6,1	5,6	4,8	2,7	-1	-1	-0,8	3,3
2400	0,4	0,8	-5,5	-5,8	-6,9	-5,5	-1	-1	-5,6	3,6



Şekil 6.9. Tradeoff_1 kalibrasyon 3D yüzeyi

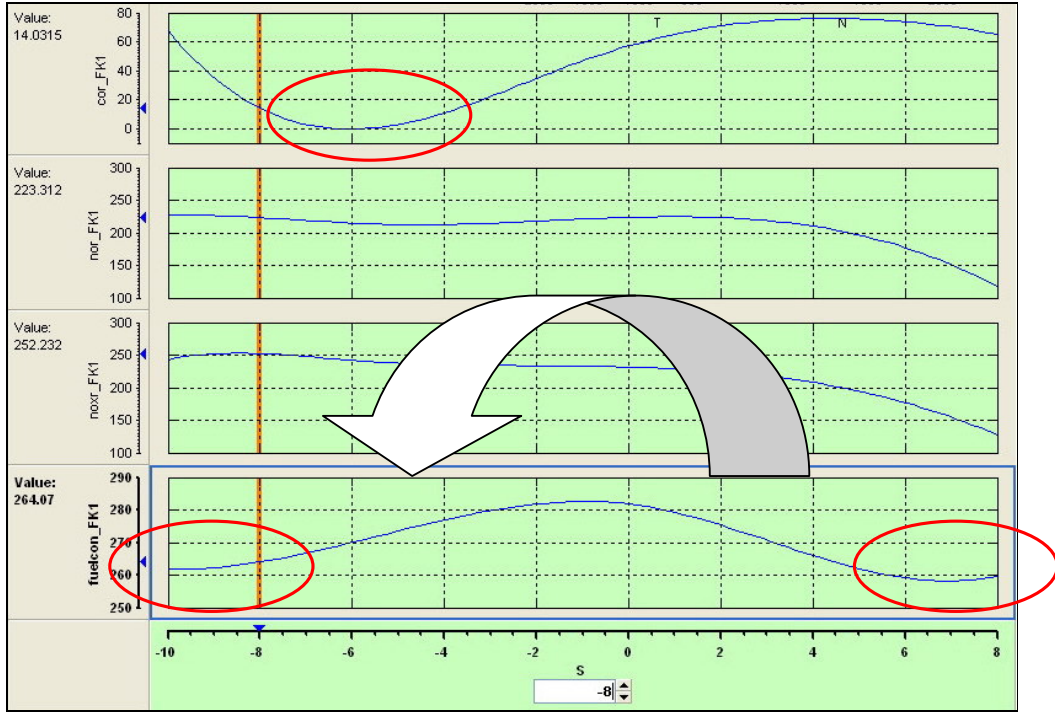
Bir sonraki aşamada yapılacak çalışma, Tablo 6.1’de sarı renk ile gösterilen hücrelerin, modellere ait eğrilerin ateşleme avansının (-) bölgesinde kalan minimum değerlerini göz önüne alarak düzeltilmesi işlemidir. Sarı renkli hücrelerin nasıl düzeltildiği, iki adet örnek ile aşağıdaki paragraflarda diyagramlara göre açıklanacaktır.

Birinci örnek Şekil 6.10’da görülmektedir. Burada, normalde “fuelcon_FK1” eğrisinin minimum noktası $+6.9^{\circ}$ iken, ateşleme avansının (-) bölgesindeki minimum değer olan -10° göz önüne alınarak aritmetik ortalama hesaplanırsa, elde edilen değer -8° ’dir. Kalibrasyon tablosu ve üç boyutlu yüzey, bulunan bu açı değerine göre yeniden düzenlenir.

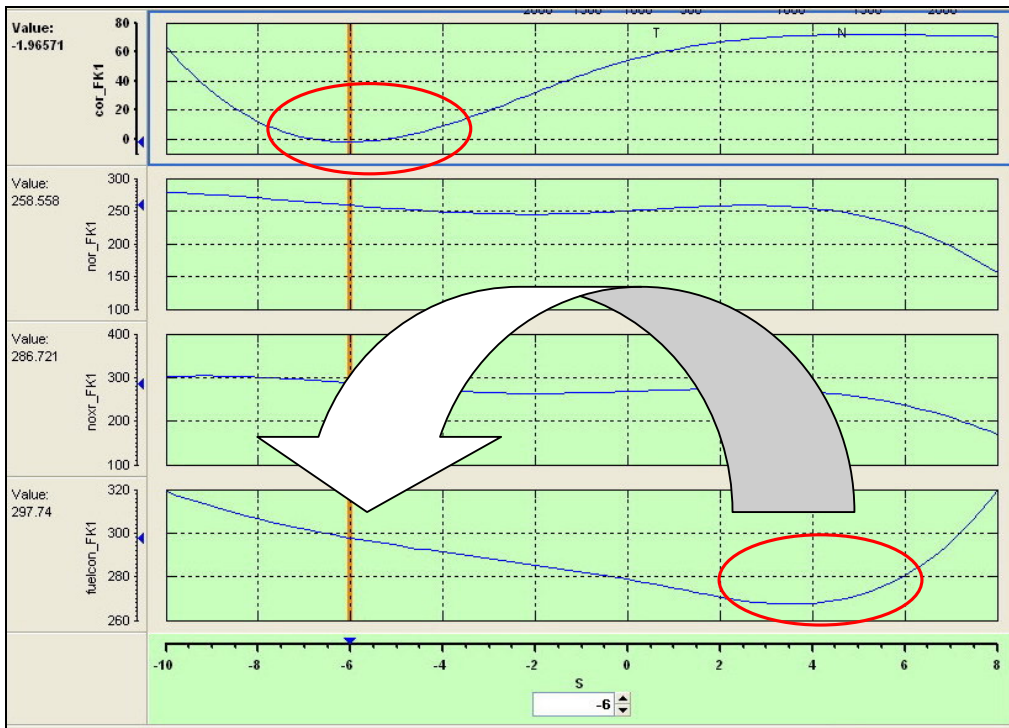
İkinci örnek Şekil 6.11’de görülmektedir. Burada, normalde “fuelcon_FK1” eğrisinin minimum noktası $+3.5^{\circ}$ iken, ateşleme avansının (-) bölgesinde minimum değeri olmadığından sadece “cor_FK1” eğrisinin minimum değeri göz önüne alınırsa, elde edilen değer -6° ’dır. Kalibrasyon tablosu ve üç boyutlu yüzey, bulunan bu açı değerine göre yeniden düzenlenir.

Diğer sarı renkli hücreler de yukarıda verilen iki örnekteki mantığa uygun bir şekilde ele alınmış, yeniden düzenlenerek kalibrasyon tablosu ve üç boyutlu yüzey oluşturulmuştur.

Yapılan kalibrasyon düzeltme çalışması sonrasında elde edilen kalibrasyon tablosu Tablo 6.2’de, üç boyutlu yüzey Şekil 6.12’de ve düzeltme öncesi-düzeltilme sonrası üç boyutlu yüzey karşılaştırması Şekil 6.13’de verilmiştir.



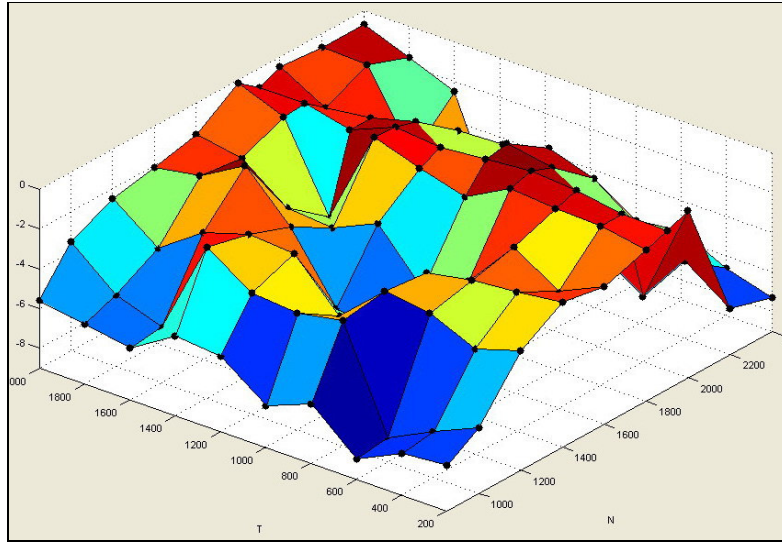
Şekil 6.10. Tradeoff_1 kalibrasyonu $N=850$ rpm, $T=600$ Nm optimizasyonu



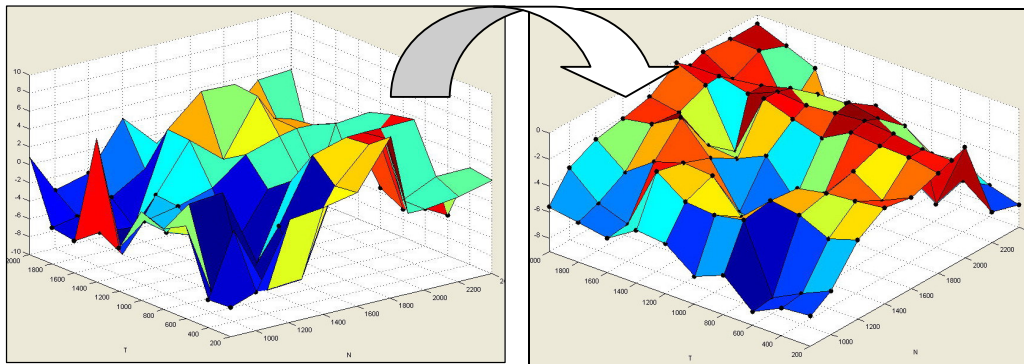
Şekil 6.11. Tradeoff_1 kalibrasyonu $N=850$ rpm, $T=800$ Nm optimizasyonu

Tablo 6.2. Düzeltilmiş Tradeoff_1 kalibrasyon tablosu

N \ T	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
850	-6,7	-6,9	-8	-6	-6,9	-5,2	-5	-6,4	-6	-5,6
1000	-5,7	-6,7	-7,8	-2,7	-3,1	-2,9	-1,4	-6,2	-5,4	-3,5
1200	-3	-3,7	-2,7	-2,4	-4,4	-2,1	-1,9	-2,6	-4,2	-2,5
1400	-1,7	-2	-2,2	-2,6	-6,4	-6	-2,7	-0,4	-1,7	-2,1
1600	-2,1	-3,1	-1,7	-4,2	-5,4	-2,9	-3,9	-3,7	-2	-1,6
1800	-1,4	-1	-0,9	-0,7	-1,9	-1,3	-0,5	-5,3	-1,1	-0,2
1900	-1	-1	-0,6	-0,4	-0,6	-0,8	-0,6	-1,5	-1	-1
2000	-0,6	-5,7	-4,2	-0,8	-0,4	-3,8	-0,9	-1,5	-1,8	-0,5
2200	-6,7	-5,1	-4,2	-2,5	-1,8	-2,4	-2,5	-4,5	-0,8	-0,7
2400	-7,3	-6,6	-5,5	-5,8	-6,9	-5,5	-8,2	-2,5	-1,6	-0,7



Şekil 6.12. Düzeltilmiş Tradeoff_1 kalibrasyon 3D yüzeyi



Şekil 6.13. Tradeoff_1 kalibrasyon 3D yüzeylerinin karşılaştırılması

6.4.4. Trade-Off_2 kalibrasyonunun yapılması

Kurulacak olan ikinci kalibrasyon, sol taraf CO , NO , NO_x ve yakıt tüketimi modellerini optimize ederek, en ekonomik yanmayı sağlayacak ateşleme avansı değerlerini oluşturmayı amaçlamaktadır.

“File→New→Tradeoff” tuşlarına basarak yeni bir çalışma oluşturulur. Bu çalışmanın adı “Tradeoff_2” olarak değiştirilir.

Sıradaki adım “Tradeoff_2” kalibrasyonuna tablo ekleme işlemidir. Tablo ismi “spark2”, satır adedi “10”, sütun adedi “10”, başlangıç değeri “0”, Y eksen girdisi “ N ”(motor devri) ve X eksen girdisi “ T ”(motor torku) olmak üzere haneler doldurulur.

Kalibrasyon işlemine geçmeden önce modeller gösterilmelidir. Bu çalışma için kullanılacak modeller “col_FK1, nol_FK1, noxl_FK1, fuelcon_FK1” modelleridir.

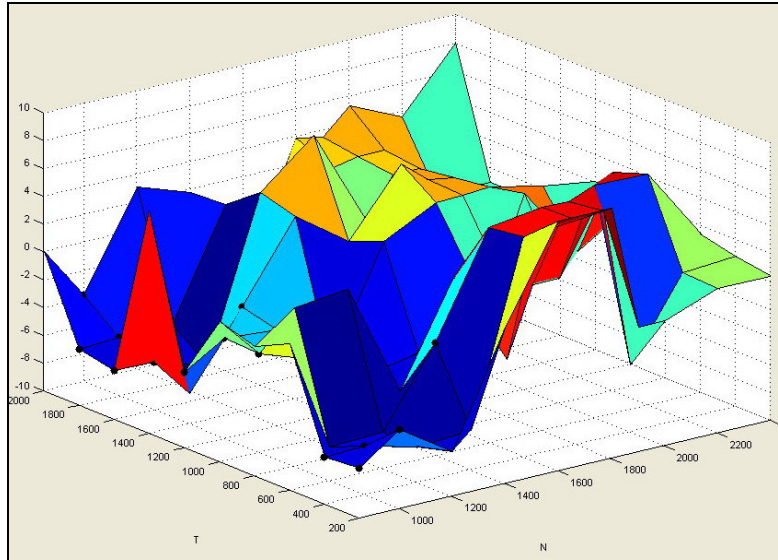
Bulunan değerlerde hiçbir düzeltme yapılmaksızın, “cor_FK1 ve fuelcon_FK1” eğrilerinin minimum noktalarının aritmetik ortalamasına göre oluşturulmuş kalibrasyon tablosu Tablo 6.3’te verilmiştir.

Ayrıca, bulunan değerlerde hiçbir düzeltme yapılmaksızın, “col_FK1 ve fuelcon_FK1” eğrilerinin minimum noktalarının aritmetik ortalamasına göre oluşturulmuş üç boyutlu kalibrasyon yüzeyi Şekil 6.14’te verilmiştir. Yüzey incelendiğinde oldukça düzensiz bir yapısı olduğu görülmektedir.

Bir sonraki aşamada yapılacak çalışma, Tablo 6.3’te sarı renk ile gösterilen hücrelerin, modellere ait eğrilerin ateşleme avansının (-) bölgesinde kalan minimum değerlerini göz önüne alarak düzeltilmesi işlemidir. Yapılan çalışma sonrasında elde edilen kalibrasyon tablosu Tablo 6.4’te, üç boyutlu yüzey Şekil 6.15’te ve düzeltme öncesi-düzeltilme sonrası üç boyutlu yüzey karşılaştırması Şekil 6.16’da verilmiştir.

Tablo 6.3. Tradeoff_2 kalibrasyon tablosu

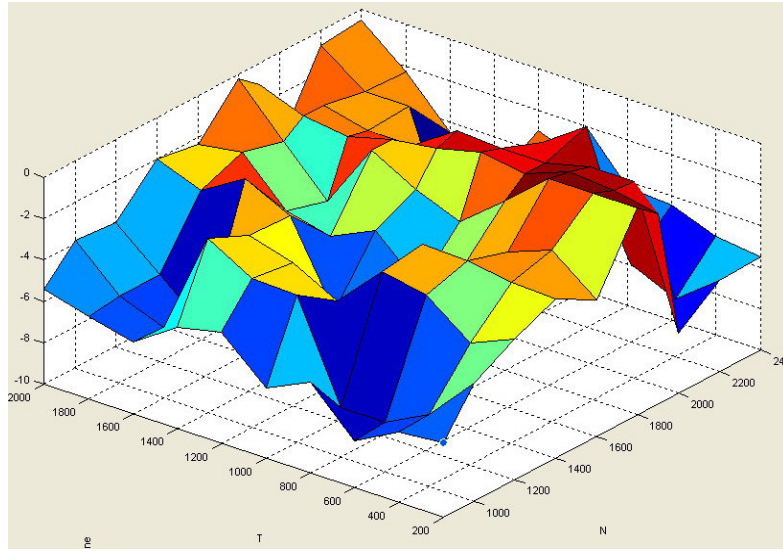
N \ T	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
850	-6,4	-6,6	0,5	-0,7	0,1	-4,6	6	-6,5	-6	0
1000	-4,3	-6,5	-7,6	1,4	-2,9	-2,8	-7,8	-6,6	-5,8	-3,8
1200	-6,8	-7,5	-7,4	1,8	-4,2	-3,1	-2,5	-7,7	-5,8	3,1
1400	1,4	-7,2	-1,9	-6,4	-6,3	-6,5	3,1	3,8	1,9	1,8
1600	8	5,8	5,5	0,9	-5,8	1,4	0,4	7	2,1	-5
1800	8	6,1	6	-5,9	-1	3,3	5,1	0	2,7	3,9
1900	-1	6,3	6	-1	-1	3,4	3,5	2,8	3,1	3,5
2000	-1	-5,2	6,7	-1	4,1	3,5	3,2	2,8	3,1	5,3
2200	0,4	0,5	6,6	5,7	-1	2,7	-1	-1	-1	3,6
2400	0,4	0,8	1,4	0,6	1,5	2,1	-1	-1	-1	8



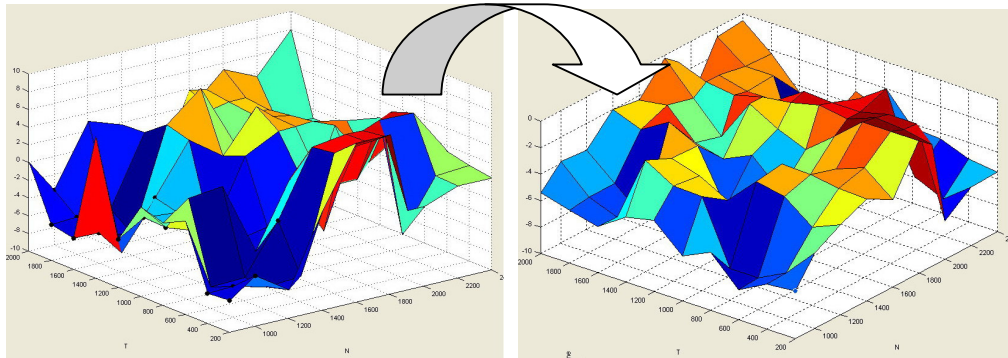
Şekil 6.14. Tradeoff_2 kalibrasyon 3D yüzeyi

Tablo 6.4. Düzeltilmiş Tradeoff_2 kalibrasyon tablosu

N \ T	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
850	-6,4	-6,6	-7,7	-5,6	-6,6	-4,6	-5,1	-6,5	-6	-5,4
1000	-4,3	-6,5	-7,6	-7,6	-2,9	-2,8	-1,6	-6,6	-5,8	-3,8
1200	-3,2	-4,1	-2,5	-2,1	-4,2	-3,1	-2,5	-7,7	-5,8	-4
1400	-2,3	-2,2	-1,9	-1,8	-6,3	-6,5	-2,6	-1,5	-2,8	-2
1600	-3,4	-1,7	-2,5	-3,9	-5,6	-3,6	-4,6	-4,1	-2	-2,3
1800	0	0	0	-1,8	-3,5	-2,7	-1,5	-4,7	-2,5	-0,2
1900	-0,8	-0,4	-0,2	-1	-0,7	-1,2	-1,5	-2,1	-1,8	-1
2000	-7,1	-0,5	-0,5	-1	-1	-0,9	-2,3	-2,3	-1,8	-4,4
2200	-5,6	-7,2	-6,2	-0,3	-1,8	-4,2	-8,1	-2,2	-2,2	-0,7
2400	-5,5	-5,2	-4,4	-4,3	-3,8	-3	-6,5	-4,5	-2,3	-0,5



Şekil 6.15. Düzeltilmiş Tradeoff_2 kalibrasyon 3D yüzeyi



Şekil 6.16. Tradeoff_2 kalibrasyon 3D yüzeylerinin karşılaştırılması

6.4.5. Trade-Off_3 kalibrasyonunun yapılması

Kurulacak olan üçüncü kalibrasyon sol taraf CO , sağ taraf CO , yakıt tüketimi ve spesifik yakıt tüketimi modellerini optimize ederek, en ekonomik yanmayı sağlayacak ateşleme avansı değerlerini oluşturmayı amaçlamaktadır.

“File→New→Tradeoff” tuşlarına basarak yeni bir çalışma oluşturulur. Bu çalışmanın adı “Tradeoff_3” olarak değiştirilir.

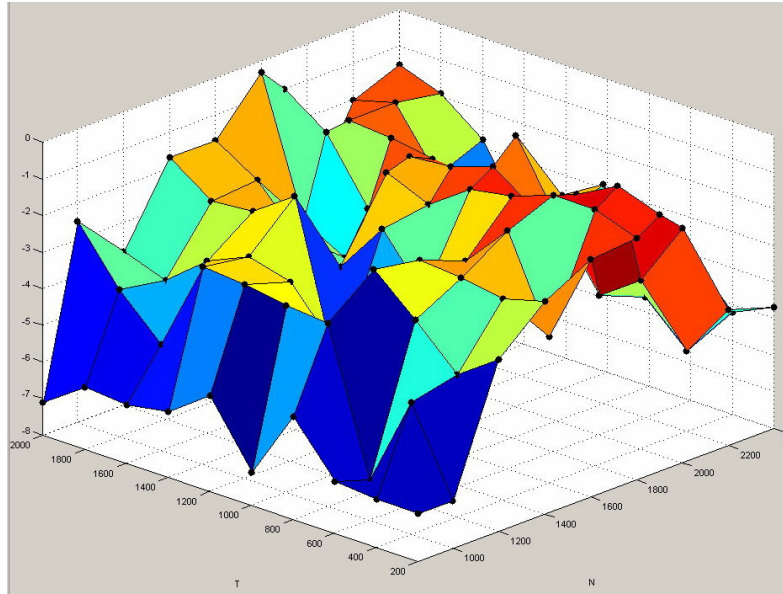
Sıradaki adım, “Tradeoff_3” kalibrasyonuna tablo ekleme işlemidir. Tablo ismi “spark3”, satır adedi “10”, sütun adedi “10”, başlangıç değeri “0”, Y eksen girdisi “ N ”(motor devri) ve X eksen girdisi “ T ”(motor torku) olmak üzere haneler doldurulur.

Kalibrasyon işlemine geçmeden önce modeller gösterilmelidir. Bu çalışma için kullanılacak modeller “col_spline, cor_FK1, fuelcon_FK1, spefuelcon_FK1” modelleridir.

“col_spline, cor_FK1, fuelcon_FK1, spefuelcon_FK1” eğrilerinin minimum noktalarının aritmetik ortalamasına göre oluşturulmuş kalibrasyon tablosu Tablo 6.5’de, üç boyutlu yüzey Şekil 6.717’de verilmiştir. Bu kalibrasyon tablosunu oluştururken (+) ateşleme avansı bölgesinde çıkan bazı değerler için gerekli düzeltmeler yapılmıştır. Genel olarak, Trade-Off_3 kalibrasyonunda elde edilen ateşleme avansı değerleri (-) bölgede çıkmıştır ve çok fazla düzeltme işlemi yapılmamıştır.

Tablo 6.5. Tradeoff_3 kalibrasyon tablosu

N\T	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
850	-6,7	-6,7	-6,6	-5,2	-7,1	-5,4	-6,2	-6,4	-6,3	-7,1
1000	-6,7	-4,4	-6,9	-3	-2,8	-2,7	-2,6	-5,1	-4	-2,5
1200	-3,3	-4,1	-3	-2	-4,4	-3,1	-2,8	-3,3	-4,2	-3,8
1400	-2,2	-2,5	-2,3	-2,2	-5,1	-6	-1,6	-2,4	-2,5	-1,7
1600	-1,5	-4	-1,5	-2,7	-4	-2,6	-4	-3,6	-2,4	-1,7
1800	-1,4	-1	-1	-1,4	-1,6	-2,4	-1,9	-4,6	-4	-0,3
1900	-1	-0,6	-1,2	-2	-1,2	-1,6	-1,7	-3,5	-1,8	-1
2000	-1,6	-3,4	-4,2	-2,5	-0,6	-2,6	-2	-1,8	-1,7	-4,4
2200	-4,3	-5,8	-4,7	-2	-2,7	-3,6	-5,4	-3,3	-1,7	-2
2400	-4,7	-5,2	-4	-5,1	-5,1	-4,7	-4,6	-2,8	-1,9	-1,5



Şekil 6.17. Tradeoff_3 kalibrasyon 3D yüzeyi

6.5. Kalibrasyonların İhraç Edilmesi

Bu tez çalışmasının son aşaması olarak, elde edilen kalibrasyon tablolarının ve normalizer çizgilerinin ihraç edilmesi yapılacaktır. Burada bahsedilen ihraç işlemi; kalibrasyon tablolarının, motor elektronik kontrol ünitesi'ne (*ECU*) yüklenebilir biçimdeki dosyalara dönüştürülmesidir.

İhraç için öncelikle dönüştürülecek kalibrasyonlar seçilmelidir. Bu tez çalışmasında oluşturulan ve daha önce “spark1, spark2 ve spark3” adı verilmiş olan kalibrasyon tabloları ayrı ayrı olarak kalibrasyon ağacı üzerinde seçilir. “File→Export→Calibration” tuşlanır.İhraç dosyalarının uzantıları “.csv (comma separated value), .m (m-file script) veya .mat (matlab file)” şeklinde kaydedilebilir. Bu tez çalışması için”.csv” uzantısı seçilip kalibrasyon dosyaları “kalib1.csv, kalib2.csv ve kalib3.csv” şeklinde kaydedilir. Böylece, kalibrasyon look-up tabloları ve normalizerler *ECU*'ya transfer edilebilir hale getirilmiş olur. İstenildiğinde, elde edilen bütün iki aşamalı modeller, kalibrasyon ve ihraç dosyaları tez çalışmasıyla beraber oluşturulan CD'nin “modeller” klasöründe bulunabilmektedir.

BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, MATLAB[®] programında mevcut olan Model Based Calibration Toolbox yazılımı kullanılarak, bir “MTU[®] marka, MB-838 CaM 500 model” dizel motoruna ait motor haritalama modelinin iki aşamalı model yaklaşımı ile modellenmesi yapılmış ve kalibrasyon tabloları oluşturulmuştur. Motor haritalama modelinin oluşturulması amacıyla, motor üzerinde beş ay süren testler yapılmış, kararlı test sonuçları alınmış ve kaydedilmiştir. Elde edilen toplam 801 adet kararlı durum testi kullanılarak modeller elde edilmiştir.

Veri toplama aşamasında, ateşleme avansı değeri sabit tutularak, 850-2480 *rpm* değerleri arasındaki on adet motor devri değerinde ve 200-2000 *Nm* değerleri arasındaki on adet tork değerinde ayrı ayrı olarak, tarama yöntemiyle test verileri elde edilmiştir.

Modeller, egzoz sıcaklıkları (extempr, extempl), yakıt tüketimi (fuelcon, spfuelcon), *CO* emisyonu (cor, col), *NO* emisyonu (nor, nol) ve *NO_x* emisyonu (noxr, noxl) için oluşturulmuşlardır. Bu modeller aynı zamanda, tepki modelleri (response models) olarak anılmaktadırlar.

Lokal model oluşturma aşamasında; ikinci dereceden doğrusal model (Quadratic), üçüncü dereceden doğrusal model (Cubic), ikinci dereceden polinom model (POLY2), üçüncü dereceden polinom model (POLY3), üçüncü dereceden doğrusal hibrid eğrisi modeli (Spline), ikinci dereceden kısaltılmış güç serisi modeli(truncps), ikinci dereceden serbest düğümlü eğri modeli (FK1), polinom eğrileri (polynomial splines), artan modeller (growth models), ortalama uydurma modelleri (average fit) ve çoklu modeller (multiple models) lokal model olarak uygulanmıştır. Uygulanan bu modellerden; polinom eğrileri, artan modeller, ortalama uydurma modelleri ve çoklu modeller test verilerine uyum sağlamamış ve uygun eğriler uydurulamamıştır. Bundan dolayı, bu modeller modelleme işleminde kullanılmamışlardır. Bunun

yanında, ikinci dereceden kısaltılmış güç serisi modeli (truncps) modelinin de istatistiksel sonuçları incelenmiş, *RMSE* ve *PRESS RMSE* değerleri arasında büyük farklar görülmüştür. Bu farkların “overfitting (üst üste binme) hatası oluşturması ve yanlış tahmin değerleri vermesinden dolayı, ikinci dereceden kısaltılmış güç serisi modeli de modelleme işlemlerinde kullanılmamıştır. Kullanılan diğer matematiksel modeller arasında, en iyi istatistiksel değerleri “FK1 ve Spline” modelleri vermiştir. Oluşturulan 10 adet tepki modelinde; 8 adet tepki modelinde (extempl, extempr, fuelcon, spfuelcon, cor, nol, nor, noxr) FK1 (üçüncü dereceden serbest düğümlü eğri denklemi)’in en uygun matematiksel model olduğu, 2 adet tepki modelinde ise (col, nox1) Spline (üçüncü dereceden doğrusal hibrid eğrisi modeli)’in en uygun matematiksel model olduğu görülmüştür.

Global model oluşturma aşamasında ise, Quadratic, Cubic, Spline x Quadratic, Spline x Cubic, *RBF*-multiquadric, *RBF*-recmultiquadric, *RBF*-gaussian, *RBF*-thinplate, *RBF*-logisticrbf, *RBF*-wendland4, *RBF*-linearrbf, *RBF*-cubicrbf, Linear-*RBF*, Linear-*RBF*(1), Linear-*RBF*(2), Linear-*RBF*(3), Linear-*RBF*(4), Linear-*RBF*(5), Linear-*RBF*(6) ve Linear-*RBF*(7) modelleri kullanılmıştır. Bu modellerden yapılan topluca bir şablon (global_model_grubu.mbm) bütün model oluşturma aşamalarında kullanılmıştır. En iyi istatistiksel değerler veren global modeller, bu 20 adet modelden oluşan gruptan seçilmiştir.

Model oluşturma aşamasında elde edilen matematiksel modellerin, motor testlerinden elde edilen verilere oldukça iyi uyum sağlayan eğriler oluşturduğu da görülmüş ve grafiksel olarak gösterilmiştir.

Kalibrasyon tablolarının oluşturulması aşamasında, daha önce elde edilen matematiksel modeller transfer dosyalarına çevrilmiştir. Bu modeller, elde edilen transfer dosyaları sayesinde Model Browser arayüzünde CAGE arayüzüne aktarılmışlardır.

Bu tez çalışması kapsamında, Trade-Off (alış-veriş) yöntemi kullanılarak üç adet kalibrasyon tablosu oluşturulmuştur. Bu tablolardan birincisi; motor sağ taraf *CO*, *NO*, *NO_x* ve yakıt tüketimi modellerinin optimizasyonu ile oluşturulmuştur. İkinci

tablo ise; motor sol taraf CO , NO , NO_x ve yakıt tüketimi modellerinin optimizasyonu ile oluşturulmuştur. Oluşturulan bu iki adet kalibrasyon tablosuna düzeltme işlemi uygulanmış ve düzeltilmiş yeni tablolar elde edilmiştir. Düzeltme işlemi, (+) ateşleme avansı bölgesinde çıkan değerlerin (-) ateşleme avansı bölgesindeki en uygun halleri esas alınarak yapılmıştır. Oluşturulan üçüncü tablo ise; sol taraf CO , sağ taraf CO , yakıt tüketimi ve spesifik yakıt tüketimi modellerinin optimizasyonu ile elde edilmiştir. Tablo 7.1’de elde edilen “Tradeoff_ 3” kalibrasyon tablosu gösterilmektedir.

Modelleme ve kalibrasyon çalışmasının sonucu olarak üçüncü tablo ele alınacak ve değerlendirilecektir. “Tradeoff_ 3” kalibrasyon tablosunda görüldüğü gibi, motorun orijinal ateşleme avansı değeri olan -10° değeri hiçbir hücrede elde edilmemiştir. Ateşleme avansı değerleri, motor hızına ve torka göre “-0.3 ve -7.1” değerleri arasında değişim göstermektedir.

Motor, üzerinde bulunduğu aracın yokuş aşağı hareket etmesi durumunda, minimum hız ve minimum torka maruz kalacaktır. Tablo 7.2’de, 850,1000 ve 1200 *rpm* devir değeri ile 200, 400 *Nm* tork değerlerine göre ateşleme avansı, yakıt tüketimi ve spesifik yakıt tüketimi değerleri verilmiştir. Buna göre; yokuş aşağı hareket durumunda ortalama ateşleme avansı değeri “-5.3”, ortalama yakıt tüketimi değeri “209.82 *gr/dk*” bulunur.

Motor, üzerinde bulunduğu aracın düz yolda hareket etmesi durumunda, Tablo 7.3’te verilen devir ve tork değerlerine maruz kaldığı düşünülürse, 1400,1600 ve 1800 *rpm*

Tablo 7.1. Tradeoff_3 kalibrasyon tablosu

N \ T	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
850	-6,7	-6,7	-6,6	-5,2	-7,1	-5,4	-6,2	-6,4	-6,3	-7,1
1000	-6,7	-4,4	-6,9	-3	-2,9	-2,7	-2,6	-5,1	-4	-2,5
1200	-3,3	-4,1	-3	-2	-4,4	-3,1	-2,8	-3,3	-4,2	-3,8
1400	-2,2	-2,5	-2,3	-2,2	-5,1	-6	-1,6	-2,4	-2,5	-1,7
1600	-1,5	-4	-1,5	-2,7	-4	-2,6	-4	-3,6	-2,4	-1,7
1800	-1,4	-1	-1	-1,4	-1,6	-2,4	-1,9	-4,6	-4	-0,3
1900	-1	-0,6	-1,2	-2	-1,2	-1,6	-1,7	-3,5	-1,8	-1
2000	-1,6	-3,4	-4,2	-2,5	-0,6	-2,6	-2	-1,8	-1,7	-4,4
2200	-4,3	-5,8	-4,7	-2	-2,7	-3,6	-5,4	-3,3	-1,7	-2
2400	-4,7	-5,2	-4	-5,1	-5,1	-4,7	-4,6	-2,8	-1,9	-1,5

Tablo 7.2. Yokuş aşağı hareket durumunda motora ait ateşleme avansı, yakıt tüketimi ve spesifik yakıt tüketimi değerleri

MOTOR HIZI	TORK	PÜSKÜRTME AVANSI	YAKIT TÜKETİMİ	SPESİFİK YAKIT TÜKETİMİ
850 rpm	200 Nm	-6,7	117,878 <i>gr/dk</i>	396.928 <i>gr/kWh</i>
850 rpm	400 Nm	-6,7	199.662 <i>gr/dk</i>	344.432 <i>gr/kWh</i>
1000 rpm	200 Nm	-6,7	175.791 <i>gr/dk</i>	519.1 <i>gr/kWh</i>
1000 rpm	400 Nm	-4,4	224.677 <i>gr/dk</i>	365.173 <i>gr/kWh</i>
1200 rpm	200 Nm	-3,3	247.275 <i>gr/dk</i>	485.592 <i>gr/kWh</i>
1200 rpm	400 Nm	-4,1	293.687 <i>gr/dk</i>	400.083 <i>gr/kWh</i>

Tablo 7.3. Düz yolda hareket durumunda motora ait ateşleme avansı, yakıt tüketimi ve spesifik yakıt tüketimi değerleri

MOTOR HIZI	TORK	PÜSKÜRTME AVANSI	YAKIT TÜKETİMİ	SPESİFİK YAKIT TÜKETİMİ
1400 rpm	1000 Nm	-5.1	628,358 <i>gr/dk</i>	262.375 <i>gr/kWh</i>
1400 rpm	1200 Nm	-6	698.174 <i>gr/dk</i>	238.81 <i>gr/kWh</i>
1600 rpm	1000 Nm	-4	735.551 <i>gr/dk</i>	254.647 <i>gr/kWh</i>
1600 rpm	1200 Nm	-2,6	828.704 <i>gr/dk</i>	235.409 <i>gr/kWh</i>
1800 rpm	1000 Nm	-1,6	870.752 <i>gr/dk</i>	271.814 <i>gr/kWh</i>
1800 rpm	1200 Nm	-2,4	953.616 <i>gr/dk</i>	252.932 <i>gr/kWh</i>

Tablo 7.4. Yokuş yukarı hareket durumunda motora ait ateşleme avansı, yakıt tüketimi ve spesifik yakıt tüketimi değerleri

MOTOR HIZI	TORK	PÜSKÜRTME AVANSI	YAKIT TÜKETİMİ	SPESİFİK YAKIT TÜKETİMİ
2000 rpm	1800 Nm	-1.7	1500,68 <i>gr/dk</i>	264.3 <i>gr/kWh</i>
2000 rpm	2000 Nm	-4,4	1636.99 <i>gr/dk</i>	250.425 <i>gr/kWh</i>
2200 rpm	1800 Nm	-1,7	1769.7 <i>gr/dk</i>	252.142 <i>gr/kWh</i>
2200 rpm	2000 Nm	-2	1875.64 <i>gr/dk</i>	219.009 <i>gr/kWh</i>
2400 rpm	1800 Nm	-1,9	2006.23 <i>gr/dk</i>	258.662 <i>gr/kWh</i>
2400 rpm	2000 Nm	-1,5	2104.04 <i>gr/dk</i>	226.984 <i>gr/kWh</i>

devir değeri ile 1000, 1200 Nm tork değerlerine göre; düz yolda hareket durumunda ortalama ateşleme avansı değeri “-3,6”, ortalama yakıt tüketimi değeri “785,85 gr/dk ” bulunur.

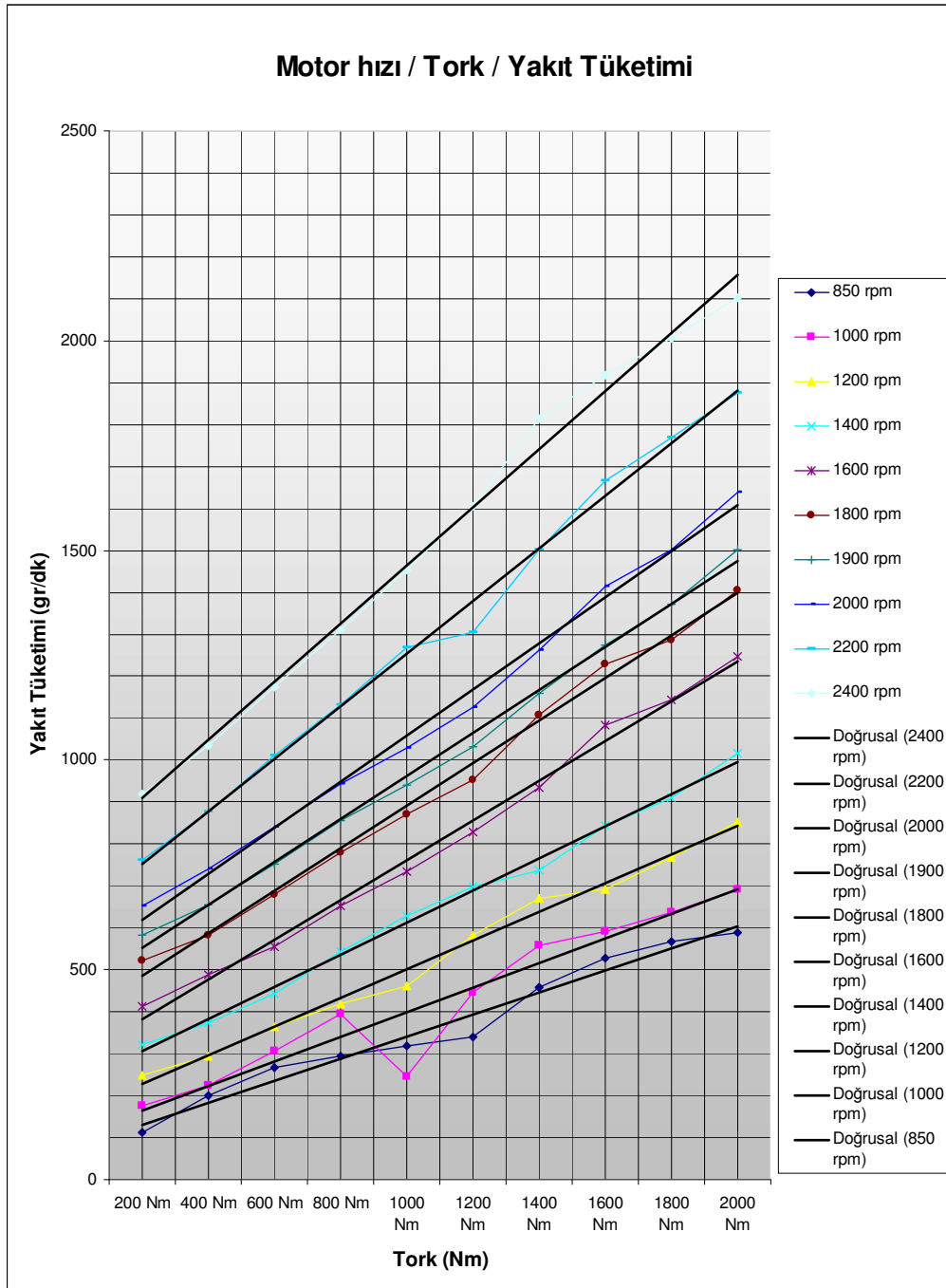
Motor, üzerinde bulunduğu aracın yokuş yukarı hareket etmesi durumunda, maksimum hız ve maksimum torka maruz kalacaktır. Tablo 7.4’de, 2000, 2200 ve 2400 rpm devir değeri ile 1800, 2000 Nm tork değerlerine göre ateşleme avansı, yakıt tüketimi ve spesifik yakıt tüketimi değerleri verilmiştir. Buna göre; yokuş yukarı hareket durumunda ortalama ateşleme avansı değeri “-2.2”, ortalama yakıt tüketimi değeri “1815.54 gr/dk ” bulunur.

Elde edilen bu veriler tek bir tabloda toplanırsa, aşağıdaki Tablo 7.5 elde edilir. Tablo incelendiğinde, motorun devir ve tork değeri arttıkça ateşleme avansı (açısı) değerinin düşmesi gerektiği görülmektedir. Bunun anlamı olarak; motordaki zorlanma durumu arttıkça, yakıt püskürtme işleminin piston $\dot{U}ÖN$ ’ya daha yakinken yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, püskürtme açısı küçülürken, püskürtülecek yakıt miktarının da arttığı görülmektedir.

Gerçek motor çalışma durumunda ise, motorun püskürtme avansı değeri her zaman 10° değerinde sabit durmaktadır. Böylece, aracın yokuş aşağıya veya yokuş yukarıya hareket etmesi durumunda ateşleme avansında herhangi bir değişim olmamakta, değer -10° ’de sabit kalmaktadır. Bu durumun sonucu olarak yakıt sarfiyatı ve performans kaybı meydana gelmektedir. Ayrıca, püskürtülecek yakıt miktarı da, krank milinden tahrik alan pompa kam milinin dönüş hızına göre ayarlanmakta, böylece bağımsız bir yakıt püskürtme olayı mümkün olmamaktadır.

Tablo 7.5. Aracın hareket durumuna göre ateşleme avansı ve yakıt tüketimi değerlerinin karşılaştırılması

Aracın Hareket Durumu	Ortalama Ateşleme Avansı	Ortalama Yakıt Tüketimi
Yokuş Aşağı	-5,3	209.82 gr/dk
Düz yolda	-3,6	785,85 gr/dk
Yokuş Yukarı	-2,2	1815,54 gr/dk



Şekil 7.1. Motor hızı, tork ve yakıt tüketimi grafiği

Ayrıca, bu tez çalışmasının diğer bir sonucu olarak da, CAGE programı ve Tablo 7.1 kullanılarak Şekil 7.1’de verilen grafikler elde edilmiştir. Bu grafiklerde, motor devri ve tork değerlerine göre yakıt tüketiminin nasıl değiştiği durumu, oluşturulan eğriler vasıtasıyla görülmektedir. Bu eğrilerde, motor hızı ve tork arttıkça yakıt tüketiminin doğrusal bir artış gösterdiği görülmektedir.

Yukarıda elde edilen sonuçlara dayalı olarak; “MTU[®] marka, MB-838 CaM 500 model” tank motoru için bir elektronik kontrol ünitesi dizayn edilmesinin, bu elektronik kontrol ünitesinde kullanılacak yazılımın Tablo 7.1’de verilen kalibrasyon tablosunu temel alarak çalışmasının, ayrıca da motor krank milinden tahrik alan püskürtme sistemi yerine, *ECU*’ne bağlı olarak ve krank mili hareketinden bağımsız çalışan elektronik bir püskürtme sistemi dizayn edilmesinin motor yakıt tüketimini düşüreceği ve motor performansını yükselteceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] HOLLIDAY, T., “The Design and Analysis of Engine Mapping Experiments: Two Stage Approach” Department of Statistics, University of Birmingham, 1995.
- [2] RALBOVSKY, E., “An Introduction to Compact and Automotive Diesels”, An International Thomson Publishing Company, 1996.
- [3] THE MATHWORKS, Inc., “Getting Started with the Model-Based Calibration Toolbox”, 2005.
- [4] KKTT 9-2815-024-40 TU (TDv 2815/024-40 TU) Leopard 1A3T1 Tank Motorunun Sahra ve Depo Bakımı, K.K. Basımevi ve Basılı Evrak Depo Müdürlüğü, 1994.
- [5] TT9-1015-015-12, TT9-1015-015-30 Leopard 1A3T1 Tankı Birlik Bakım Talimatnamesi, K.K. Basımevi ve Basılı Evrak Depo Müdürlüğü, 1994.
- [6] THE MATHWORKS, Inc., “Model-Based Calibration Toolbox Model Browser User’s Guide”, 2000-2004 by The MathWorks, Inc.
- [7] THE MATHWORKS, Inc., “Model-Based Calibration Toolbox Model Browser User’s Guide”, 2001-2005 by The MathWorks, Inc.
- [8] LINDSTROM, M. J., BATES, D. M., Nonlinear Mixed Effects Models for Repeated Measures Data, *Biometrics*, 1990, Vol. 46, pp 673-687.
- [9] HOLLIDAY, T., LAWRENCE, A. J., DAVIS, T. P., Engine-Mapping Experiments: A Two-Stage Regression Approach, *Technometrics*, 1998, Vol. 40, pp 120-126.
- [10] HAND, D. J., CROWDER, M. J., Practical Longitudinal Data Analysis, Chapman and Hall, First Edition, 1996.

- [11] STEIMER, J.-L., MALLET, A., GOLMARD, J.L., and BOISVIEUX, J.F.,
Alternative approaches to estimation of population pharmacokinetic
parameters: Comparison with the nonlinear mixed effect model. Drug
Metabolism Reviews, 1984, 15, 265-292.

- [12] DAVIDIAN, M., GILTINAN, D. M., Nonlinear Models for Repeated
Measurement Data, Chapman & Hall, First Edition, 1995.

- [13] SAE International Surface Vehicle Standard, Revised 2004-05, J 300
REV.MAY 2004

- [14] TSE, Antifriz, ICS 71.100.45,TS 3582, Nisan 2006

- [15] MADUR, Flue Gas Analyser GA-21 Plus, Operating Manuel, 10/1999

EK-A: Motor testlerinden elde edilen ve modellemede kullanılan veri kümesi

Name:	spark	tq	n	logno	kw	extempr	extempl	engwatertempin	engwatertempout	fuelcon	spfuelcon	trbairr	tbrairl	Cor	Col	Nor	Nol	Noxr	Noxl
Unit:	deg	Nm	rpm	none	kW	C	C	C	C	gr/dk	gr/kWh	bar	bar	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Data:	-10	250.6	847	1	22.3	102	98	70.1	72.4	184.9	498.8	0.1	0.1	60	91	156	118	164	124
	-8	209.2	852	1	18.7	93	81	57.1	59	65.4	250.8	0.1	0.1	11	29	125	103	132	109
	-6	204.9	869	1	18.6	95	83	57.7	59.2	184.9	595.2	9.5	9.5	26	22	134	120	141	126
	-4	231.2	848	1	20.5	104	92	76.6	79.1	177.1	517	0.1	0.1	25	14	166	102	175	107
	-2	200.3	855	1	17.9	104	91	72.8	74.7	164.2	549.3	8.9	8.6	30	11	104	83	109	66
	2	206.3	876	1	18.9	114	104	58.8	63	169.1	536.2	0.1	0.1	85	83	186	134	196	141
	4	206	850	1	18.4	104	95	76.1	78.2	170.1	556.3	0.1	0.1	135	144	98	65	103	68
	6	204.9	844	1	18.1	113	101	79.5	81.9	154.1	514	0.1	8.3	71	53	38	28	40	30
	8	199.9	859	1	18	110	95	70	68.2	180.1	600.2	9.1	8.6	111	164	62	39	65	41
	-10	199.8	1017	2	21.3	102	98	77.5	80	209.6	590.6	0.1	0.1	43	49	107	108	113	114
	-8	212.3	1004	2	22.3	103	93	77.5	79.7	161.5	433.8	0.1	0.1	23	23	140	148	147	156
	-6	228.1	996	2	23.8	107	98	73.8	75.7	218.5	608.4	0.1	0.1	30	30	165	105	174	111
	-4	211.5	999	2	22.1	104	94	76.6	79	202.6	549	0.1	0.1	15	22	137	100	145	105
	-2	198.5	999	2	20.8	108	98	77.1	79.1	194	551.1	0.1	0.1	28	27	143	85	151	90
	2	211.2	999	2	22.1	110	102	71.6	73.6	199.5	541.5	0.1	0.1	126	138	111	85	117	89
	4	197.6	1009	2	20.9	111	104	79.3	82.1	200.5	576.3	0.1	0.1	152	156	90	72	95	76
	6	209.1	999	2	21.9	117	109	77	79.2	190.6	522.2	0.1	0.1	139	93	67	31	71	33
	8	207.7	1001	2	21.8	120	108	77.9	79.7	201.2	553.8	0.1	0.1	161	107	62	37	66	39
	-10	208.6	1204	3	26.3	114	110	77.3	80.4	258.4	589.2	0.2	0.2	72	88	146	132	154	139
	-8	200.9	1202	3	25.4	109	101	77.2	80.7	313.3	741.9	0.2	0.2	18	36	142	145	149	153
	-6	202.9	1200	3	25.5	116	106	75.3	78.9	247.6	582	0.2	0.2	25	22	156	148	164	156
	-4	202.5	1213	3	25.7	113	103	77.6	80.8	148	344.9	0.2	0.2	1	15	33	103	35	108
	-2	203.2	1231	3	26.2	117	106	71	74.8	282	624.8	0.2	0.2	20	20	102	106	107	112
	2	205.7	1201	3	25.9	120	112	80.4	82.5	272.3	632.8	0.2	0.2	88	87	119	93	125	98
	4	198.4	1200	3	25	118	111	73.3	76.3	254.1	610.8	0.2	0.2	116	129	93	74	98	78
	6	196	1200	3	24.6	126	118	83.5	86.5	234.3	570.5	0.2	0.2	83	36	58	27	61	28
	8	207.6	1213	3	26.5	127	115	69	72.2	260.9	592	0.2	0.2	89	107	60	39	63	41
	-10	193.2	1401	4	28.4	122	120	75.7	79.3	344.7	728.7	0.2	0.2	65	74	161	140	169	147
	-8	200	1408	4	29.5	120	112	72.2	76.2	339.9	690.3	0.3	0.2	51	27	144	142	151	149
	-6	202.4	1401	4	29.7	121	113	76.9	80.5	335.8	770.7	0.2	0.2	17	31	153	146	161	153
	-4	191.3	1377	4	27.6	122	112	68.8	70.8	340.1	739.4	0.2	0.2	10	56	80	133	84	140
	-2	201.9	1401	4	29.6	127	118	74.7	77.3	324.9	670.4	0.2	0.2	14	24	143	114	151	120
	2	198.9	1400	4	29.2	125	121	70	74	314.3	646.5	0.2	0.2	53	74	110	107	116	113
	4	200.6	1400	4	29.4	129	124	76.8	80.7	359.5	733	0.2	0.2	83	83	111	92	117	97
	6	199.2	1401	4	29.3	134	130	71.9	75.3	317.7	651.6	0.2	0.2	28	48	37	37	39	39
	8	207.3	1402	4	30.5	138	129	80.1	82.3	311.1	613.4	0.2	0.2	81	51	65	44	68	46
	-10	209.5	1607	5	35.3	133	133	76.8	80.4	380	555.9	0.3	0.3	62	75	180	173	189	182
	-8	199.6	1598	5	33.4	135	131	79.5	83.9	351.7	631.3	0.3	0.3	77	110	225	232	236	244
	-6	198.2	1598	5	33.2	132	126	75.9	80.6	432.9	758.9	0.3	0.3	42	26	178	169	187	178
	-4	195.7	1600	5	32.8	135	127	79.5	82.5	397.9	727.7	0.3	0.3	54	29	148	136	155	144
	-2	201.4	1606	5	33.9	139	132	75.7	79.5	403.4	713.9	0.3	0.3	25	15	151	128	159	135
	2	205	1604	5	34.4	137	134	76.6	80.2	377.8	658.6	0.3	0.3	60	62	144	130	152	137
	4	202.9	1601	5	34	139	137	74.6	78.3	390.7	688.8	0.3	0.3	68	75	118	118	124	124
	6	200	1605	5	33.6	146	144	78	82.1	413.5	738.1	0.3	0.3	48	16	60	42	64	44
	8	203.6	1616	5	34.5	145	139	74.6	77.4	401.3	697.8	0.3	0.3	41	43	80	59	85	62
	-10	207.4	1803	6	39.2	149	150	75.9	79.9	489.3	749.2	0.4	0.4	107	94	216	194	227	204
	-8	205.3	1816	6	39.1	151	150	75.2	79.5	527.3	824	0.4	0.4	175	110	163	193	172	203
	-6	195	1806	6	36.9	147	148	74.9	79.3	519.3	840.5	0.4	0.4	64	84	225	177	237	186
	-4	204.2	1800	6	38.5	150	150	76.5	80.6	524.3	817.2	0.4	0.4	74	113	182	176	192	185
	-2	205.7	1797	6	38.7	156	152	74.3	79.3	498.8	772.7	0.4	0.4	29	40	186	133	195	140
	2	213.3	1797	6	40.2	153	153	73.9	77.6	501.3	748.5	0.4	0.4	72	72	178	153	187	161
	4	197.5	1802	6	37.3	156	156	78.2	82.1	485.3	781	0.4	0.4	64	68	155	139	163	146
	6	200.8	1799	6	37.8	163	162	75.3	79.5	478.7	759	0.4	0.4	20	24	79	68	84	72
	8	200.3	1814	6	38.1	160	155	74	77.9	481.5	758.9	0.4	0.4	38	42	92	102	97	108
	-10	187.8	2006	7	39.3	168	174	72.7	77.8	587	856.5	0.5	0.5	156	116	238	221	251	233
	-8	217.4	1999	7	45.5	176	170	76.3	81.7	623.3	821.5	0.5	0.5	241	151	285	195	300	205
	-6	195.2	2001	7	40.9	172	167	72.4	77.6	625.4	916.7	0.5	0.5	87	36	167	161	176	169
	-4	202.4	2001	7	42.4	174	167	75.7	80.4	626.1	885.3	0.5	0.5	137	78	195	219	206	231

EK-A: Motor testlerinden elde edilen ve modellemede kullanılan veri kümesi

	-2	202,1	1995	7	42,2	171	169	69,6	74,6	619,5	906,7	0,5	0,4	69	66
	2	199,6	2006	7	42	173	176	74,2	78,8	615,3	879,3	0,5	0,5	96	91
	4	196,1	1996	7	41	177	180	76,8	80,9	605,4	885,8	0,5	0,5	94	91
	6	197,3	1979	7	40,9	188	187	77,8	82,3	587,9	863	0,4	0,4	27	15
	8	205,6	1997	7	43	186	183	76,1	80,4	610	855,8	0,5	0,5	40	40
	-10	206,6	2201	8	47,6	200	198	78,9	83,9	770,5	970,7	0,6	0,6	233	150
	-8	200,1	2213	8	46,4	199	193	75,6	80,6	745,3	964	0,6	0,6	159	68
	-6	204,1	2202	8	47,1	197	193	75,3	80,6	751,2	957,3	0,5	0,6	111	113
	-4	201,3	2203	8	46,5	199	190	75,1	80	759,7	981,7	0,5	0,6	138	145
	-2	203,5	2200	8	46,9	204	196	80,4	84,7	741,1	947,7	0,6	0,6	142	106
	2	196,5	2206	8	45,4	205	201	74,8	79,8	740,7	978,6	0,6	0,6	165	120
	4	206,7	2205	8	47,8	212	207	74,4	79,3	771,7	970,1	0,6	0,6	159	99
	6	197	2205	8	45,5	221	216	78,6	83,7	717,5	945,8	0,6	0,6	30	41
	8	204,9	2199	8	47,2	219	212	75,8	79,6	769,4	988,8	0,6	0,6	60	32
	-10	186,6	2400	9	46,9	228	229	76,8	82,5	907,9	1164,8	0,7	0,7	139	194
	-8	185,5	2411	9	46,9	227	218	75,3	81	922,6	1180,9	0,7	0,7	71	180
	-6	201,1	2387	9	50,3	228	224	77,9	84,5	928,8	1108	0,6	0,7	143	53
	-4	205,5	2413	9	51,9	227	220	76,3	80,8	898	1037,3	0,5	0,7	119	47
	-2	207,9	2419	9	52,7	236	227	74,9	80,4	930,9	1060,1	0,7	0,7	114	52
	2	211,6	2413	9	53,5	244	245	74,9	80,8	937,2	1051,3	0,7	0,7	229	137
	4	200	2405	9	50,4	247	249	77,1	82,7	944,6	1124,6	0,7	0,7	224	192
	6	200	2392	9	50,1	262	261	82,3	87,9	924,5	1106,5	0,6	0,6	87	25
	8	196,3	2397	9	49,3	258	253	76,4	99	960,6	1168,9	0,7	0,7	61	69
	-10	401,9	851	10	35,8	113	107	77,8	80,2	230,7	386,3	0,1	0,1	79	65
	-8	400,3	863	10	36,2	117	105	77,3	80,9	190,8	316,4	0,1	0,1	7	14
	-6	419,1	849	10	37,3	115	105	70,8	73,1	215,1	346,1	0,1	0,1	20	16
	-4	415,3	846	10	36,8	125	112	83,4	86,1	217	352,7	0,1	0,1	19	9
	-2	400,1	860	10	36,1	121	108	80,1	82,1	204,5	335,3	0,1	0,1	24	19
	2	476,4	852	10	42,5	131	123	83,6	86,3	226,5	319,7	0,1	0,1	27	21
	4	402	848	10	35,7	125	113	55,8	60,8	225	378	0,1	0,1	100	130
	6	404	847	10	35,9	131	121	79,1	81,3	206	344,7	0,1	0,1	48	34
	8	409,2	843	10	36,2	137	121	79,1	80,9	208,8	347,2	0,1	0,1	59	85
	-10	362	1000	11	37,9	118	116	78,6	82,5	245,9	389,2	0,1	0,1	72	83
	-8	399,1	1001	11	41,9	123	112	74,9	78,1	249,3	357,3	0,1	0,1	18	9
	-6	378	997	11	39,5	120	111	77	80,2	244,4	371,3	0,1	0,1	10	17
	-4	400,6	1009	11	42,4	123	111	75,2	79,3	258,2	369,1	0,1	0,1	11	18
	-2	400,4	1003	11	42,1	128	117	76,8	80,8	251,4	346,4	0,1	0,1	23	29
	2	406,2	1002	11	42,7	130	123	79	82,9	254,1	357,5	0,1	0,1	79	95
	4	405,2	997	11	42,3	133	125	68,5	70,7	259,4	367,5	0,1	0,1	122	133
	6	401,4	1004	11	42,3	139	131	77,9	80,9	249,7	354,6	0,1	0,1	38	58
	8	400	1000	11	41,9	142	131	80,2	82,9	259,6	367,5	0,1	0,1	4	84
	-10	397,3	1194	12	49,7	128	126	75,1	78,1	186,4	158,2	0,2	0,2	86	101
	-8	400,6	1205	12	50,6	131	121	77,8	81,7	350,6	415,9	0,2	0,2	23	31
	-6	395,2	1200	12	49,6	129	121	78,8	81,8	322,5	389,8	0,2	0,2	20	12
	-4	403,6	1203	12	50,9	132	121	76,5	79,9	292,1	364,1	0,2	0,2	20	12
	-2	404,2	1175	12	50	137	125	72,9	76,6	353,6	426,2	0,2	0,2	25	20
	2	403,1	1203	12	50,8	137	129	75,6	79,1	316,4	373,8	0,2	0,2	78	78
	4	398	1196	12	49,9	145	135	82,8	84,8	305,2	367,3	0,2	0,2	90	98
	6	399,2	1194	12	49,9	149	140	73,7	77,7	329,3	395,6	0,2	0,2	45	29
	8	407,5	1201	12	51,3	148	137	76,1	78,5	310,3	363	0,2	0,2	63	67
	-10	402,1	1401	13	59	139	138	75,6	79,6	349,1	351,9	0,2	0,2	70	86
	-8	403,2	1401	13	59,2	142	133	75	78,9	407,6	417,8	0,2	0,2	70	35
	-6	397,3	1401	13	58,3	139	131	75	78,9	375,9	386,9	0,2	0,2	18	27
	-4	405,8	1399	13	59,5	143	132	74,6	78,7	403,8	407,3	0,2	0,2	34	31
	-2	400,3	1401	13	58,8	147	136	75,6	79	377,8	382,9	0,2	0,2	22	30
	2	401,1	1418	13	59,7	146	139	76,5	80	411,8	414,2	0,2	0,2	74	78
	4	399,9	1399	13	58,6	151	145	74,6	77,8	379,5	388,9	0,2	0,2	78	81
	6	387,5	1401	13	56,9	170	162	75,9	78,6	382,3	404,3	0,2	0,2	28	40
	8	412,6	1400	13	60,5	163	151	76,6	79,8	384	380,6	0,2	0,2	52	30
	-10	403,2	1597	14	67,5	151	152	77,1	81,2	449,6	390,2	0,3	0,3	77	72

EK-A: Motor testlerinden elde edilen ve modellemede kullanılan veri kümesi

	-8	403	1601	14	67,6	156	150	78,1	82,2	488,9	431,8	0,3	0,3	93	111
	-6	393,9	1600	14	66	152	146	77,8	81,9	488,5	443,7	0,3	0,3	46	26
	-4	405	1608	14	68,3	154	147	75,7	79,9	499,2	438,9	0,3	0,3	78	28
	-2	413,2	1599	14	69,3	160	151	77,4	81,6	494,6	399,6	0,3	0,3	36	20
	2	405,2	1600	14	67,9	163	159	75	77,7	451,3	396,8	0,3	0,3	69	69
	4	402,3	1600	14	67,5	165	163	74,7	77,7	484,2	430,7	0,3	0,3	72	72
	6	393,5	1599	14	65,9	170	165	72,8	77,3	444,3	404,3	0,3	0,3	6	67
	8	409,2	1600	14	68,6	172	165	77,2	81,3	487,4	414,6	0,3	0,3	31	36
	-10	400,6	1800	15	75,6	170	170	76,3	80,9	568,7	460,9	0,4	0,4	112	55
	-8	396,3	1799	15	74,7	172	169	72,4	77,4	614,3	486,8	0,4	0,4	202	141
	-6	402,2	1803	15	76	169	167	74,9	79,6	632,2	499,1	0,4	0,4	64	91
	-4	404,2	1805	15	76,4	172	168	75,4	79,5	638,1	498,3	0,4	0,4	97	143
	-2	410,5	1802	15	77,5	175	170	74,6	79,3	605,8	480,9	0,4	0,4	39	59
	2	404,8	1801	15	76,4	177	176	74,6	79,2	586	460,2	0,4	0,4	83	78
	4	400,3	1800	15	75,5	181	179	78,5	82,3	580,1	456,3	0,4	0,4	79	62
	6	392,5	1799	15	74	183	181	75,3	79,3	580,7	471	0,4	0,4	55	32
	8	402,2	1800	15	75,9	187	181	76	79,8	584,3	462,1	0,4	0,4	41	16
	-10	404,4	2016	16	85,4	189	189	75,3	80,4	723,6	508,7	0,5	0,5	122	61
	-8	401	2000	16	84	197	192	78,8	83,4	736,7	527	0,5	0,5	177	292
	-6	405,1	2002	16	85	193	190	75,3	80,6	715,6	505,1	0,4	0,5	141	60
	-4	399,5	1998	16	83,7	190	185	74,8	79,5	728,9	522,9	0,5	0,5	147	71
	-2	401,7	2000	16	84,2	201	191	76,6	81,4	716,6	510,5	0,5	0,5	96	7
	2	409	1999	16	85,7	200	198	73,9	78,8	718,7	503,2	0,5	0,5	124	96
	4	396,3	1997	16	82,9	205	207	77,4	82	717,5	521,7	0,5	0,5	127	96
	6	401	1999	16	84	208	209	79,6	84	681,6	486,7	0,5	0,5	45	63
	8	407,9	2011	16	86	213	208	76,4	81,2	733,5	511,6	0,5	0,5	52	37
	-10	393,2	2198	17	90,5	216	216	75,9	81,2	866,1	573,9	0,6	0,6	143	133
	-8	399,6	2202	17	92,2	220	216	74,5	80	898,8	582,3	0,6	0,6	188	178
	-6	380	2204	17	87,7	215	216	74,2	79,7	861,8	589,4	0,6	0,6	113	145
	-4	400,9	2200	17	92,4	215	213	76,5	81,7	851,7	552,9	0,6	0,6	115	183
	-2	408,5	2199	17	94,2	229	223	78,9	84	874,9	557,6	0,6	0,6	191	156
	2	408,7	2199	17	94,2	230	227	73,3	78,8	888,7	566,1	0,6	0,6	178	157
	4	399,5	2003	17	83,9	204	206	77	80,2	731	522,6	0,5	0,5	179	143
	6	402,3	2200	17	92,7	242	243	85,6	90,5	873,5	565,2	0,6	0,6	104	57
	8	401,6	2202	17	92,7	247	240	77,1	82,1	901,1	583,5	0,6	0,6	69	48
	-10	394,9	2401	18	99,3	246	254	77,3	83,4	1062,6	633	0,7	0,7	215	212
	-8	401,3	2407	18	101,2	248	245	76,3	82,1	1063,4	633,5	0,7	0,7	126	192
	-6	408,3	2394	18	102,4	254	251	75,9	82	1061,8	622	0,6	0,7	190	103
	-4	400,6	2403	18	100,9	246	244	78,1	83,5	1023,5	608,7	0,7	0,7	189	97
	-2	407	2400	18	102,4	263	258	75,3	81,5	1072,1	622,3	0,6	0,6	185	132
	2	404,3	2392	18	101,3	263	269	75,7	81,6	1058,4	631,5	0,7	0,7	250	218
	4	400,5	2397	18	100,6	269	274	76,5	80,8	1081,8	645,5	0,7	0,7	222	208
	6	396,5	2368	18	98,4	279	284	77,3	83,1	1043,4	636,3	0,6	0,6	136	119
	8	400	2398	18	100,5	287	284	75,6	81,4	1077,6	643,3	0,7	0,7	81	92
	-10	594,4	852	19	53,1	132	127	73,8	76,1	283,1	303,8	0,1	0,1	69	69
	-8	613,8	847	19	54,5	132	119	74,8	77,4	293	322,6	0,1	0,1	5	14
	-6	600,2	850	19	53,4	136	123	83,8	86,4	258,8	279,7	0,1	0,1	5	16
	-4	598	850	19	53,3	128	113	64,2	66,7	265,8	299	0,1	0,1	8	8
	-2	600,1	857	19	53,9	142	126	77	80,6	266,2	296,1	0,1	0,1	10	11
	2	608,6	850	19	54,2	143	133	78,9	81,3	258,8	286,5	0,1	0,1	68	75
	4	603,4	853	19	54	148	142	77,3	80,7	263,4	292,9	0,1	0,1	59	66
	6	626,3	900	19	59,1	165	153	77,3	80,4	284,1	294,6	0,1	0,1	62	67
	8	602,8	855	19	54	157	142	78	81,3	263	292	0,1	0,1	62	10
	-10	607,3	1000	20	63,6	143	140	76,4	80,1	297,6	280,6	0,1	0,1	69	78
	-8	609,2	1001	20	63,9	141	129	81,9	84,8	300,6	282,4	0,1	0,1	19	13
	-6	607,2	1000	20	63,6	138	128	74,8	77,6	312,6	291,4	0,1	0,1	3	11
	-4	600,6	1001	20	63	139	126	77,1	79,5	307,3	292,7	0,1	0,1	3	10
	-2	608,7	1004	20	64	149	137	79	82,6	299,3	280,5	0,1	0,1	8	17
	2	601,2	1005	20	63,3	148	141	76,8	80,1	312	295,8	0,1	0,1	77	85
	4	606,4	999	20	63,5	153	148	78	80,2	304,2	287,5	0,1	0,1	68	88

EK-A: Motor testlerinden elde edilen ve modellemede kullanılan veri kümesi

	6	612	1010	20	64,7	169	159	79,8	83	323,6	299,9	0,1	0,1	74	64
	8	608,1	1002	20	63,8	166	154	77,5	81,2	305	286,7	0,1	0,1	76	70
	-10	593,7	1198	21	74,6	149	144	76,4	79,9	270,8	217,9	0,2	0,2	83	87
	-8	605,3	1236	21	78,4	150	137	74,9	79,3	458,3	350,7	0,2	0,2	25	33
	-6	599,9	1198	21	75,3	148	136	73	77,8	358,8	285,6	0,2	0,2	6	2
	-4	599,5	1200	21	75,4	150	138	78,9	83,1	156	124,2	0,2	0,2	17	8
	-2	596,7	1200	21	75	157	142	71,5	76,4	369,6	293,2	0,2	0,2	20	17
	2	608,1	1207	21	77	160	152	75,5	79,2	393,9	307,3	0,2	0,2	82	81
	4	601,7	1199	21	75,6	164	156	78,7	81,8	393,5	301,6	0,2	0,2	75	79
	6	604	1200	21	76	173	165	81,3	84,4	291,9	230,8	0,2	0,2	73	74
	8	603,4	1203	21	76	176	161	75,8	79,3	387,3	299,9	0,2	0,2	60	48
	-10	602,6	1399	22	88,3	159	157	77,2	81,1	470,5	319,5	0,2	0,2	78	83
	-8	596,8	1400	22	87,5	165	152	75,7	80	452,6	310,2	0,2	0,2	75	40
	-6	604,7	1400	22	88,7	161	151	81,1	84,9	458,9	310,4	0,2	0,2	43	70
	-4	599,1	1393	22	87,5	157	148	74,7	78,2	476	326,6	0,2	0,2	9	35
	-2	607,7	1396	22	88,9	172	159	77,7	81,6	473,9	321,8	0,2	0,2	5	23
	2	602,7	1396	22	88,2	172	163	76,2	79,9	443,9	302,1	0,2	0,2	77	78
	4	601,8	1405	22	88,6	175	167	76,7	78,8	475,8	322,5	0,2	0,2	68	78
	6	578,6	1401	22	85	181	174	74,3	78,4	484,4	342	0,2	0,2	63	67
	8	608,6	1402	22	89,4	188	173	76,1	79,6	451,7	303,2	0,2	0,2	35	55
	-10	619,1	1616	23	104,9	167	171	74,1	78,8	586	335,3	0,3	0,3	79	86
	-8	603,6	1602	23	101,3	179	171	76,3	80,9	600,3	355,4	0,3	0,3	75	151
	-6	597,8	1598	23	100,1	170	165	71,1	76,3	563,2	337,6	0,3	0,3	29	52
	-4	606,8	1608	23	102,2	170	163	76,6	81,2	586,4	344,2	0,3	0,3	73	17
	-2	616	1619	23	104,5	182	143,8	73,9	79,1	581,3	335,2	0,3	0,3	26	19
	2	598,3	1604	23	100,6	180	175	75,9	80	565,9	339,5	0,3	0,3	72	74
	4	601,6	1602	23	101	185	183	76,7	80,7	563,6	334,9	0,3	0,3	60	62
	6	598,1	1600	23	100,3	193	192	74,6	78,7	566,3	335,2	0,3	0,3	60	53
	8	610,5	1598	23	102,3	199	189	78	81,6	568,7	333,6	0,3	0,3	36	28
	-10	602,2	1801	24	113,6	186	190	77,6	82,1	687,1	362,8	0,4	0,4	125	121
	-8	603,5	1800	24	113,8	200	194	80,1	84,8	694,3	365,9	0,4	0,4	227	151
	-6	599,4	1799	24	113	186	181,1	88,5	91,3	703,8	373,8	0,4	0,4	83	60
	-4	601,4	1801	24	113,5	193	188	74,1	79,1	694,5	367,2	0,3	0,2	119	229
	-2	603,3	1800	24	113,8	201	192	73,6	78,5	694,7	366,2	0,4	0,4	21	69
	2	600,7	1802	24	113,4	195	194	75,9	80,4	683,5	355,4	0,4	0,4	100	85
	4	607,2	1803	24	114,7	200	202	76	78,9	675,5	353,4	0,4	0,4	65	74
	6	602,6	1799	24	113,6	209	211	75,6	80	683,7	361,1	0,4	0,4	63	59
	8	600,8	1800	24	113,3	212	204	73,1	76,1	698,3	370,4	0,4	0,4	3	49
	-10	609,5	1999	25	127,7	209	215	75,6	81,1	824,9	387,7	0,5	0,5	195	130
	-8	601,5	2005	25	126,4	218	214	77,8	84,7	846,2	401,9	0,5	0,5	198	260
	-6	600	2001	25	125,8	209	209	74,9	80,5	828,1	396,1	0,5	0,5	81	138
	-4	598,4	2001	25	125,5	208	207	76,1	81,4	833,8	392,6	0,5	0,5	137	49
	-2	607,8	1999	25	127,3	225	217	74,9	79,9	833,6	392,8	0,5	0,4	118	79
	2	600,9	1999	25	125,8	222	220	74,6	79,1	826,4	394,1	0,5	0,5	142	131
	4	607,1	2002	25	127,4	228	228	77,2	82	831,2	393	0,5	0,5	117	96
	6	594,3	1998	25	124,4	232	235	79,4	83,7	835,5	403,5	0,5	0,4	77	76
	8	600,4	1999	25	125,8	241	233	74,8	79,2	827	394,5	0,5	0,5	49	35
	-10	593	2201	26	136,7	233	242	68,7	74,8	997,2	437,6	0,6	0,6	259	228
	-8	606,9	2206	26	140,3	238	237	72,6	78,4	1036,6	443,4	0,6	0,6	215	118
	-6	608,7	2201	26	140,4	236	238	75,4	81,4	983,7	420,4	0,6	0,6	149	46
	-4	603	2203	26	139,2	234	233	75,9	81,3	1021,4	423	0,6	0,6	80	164
	-2	602,2	2202	26	139	251	246	76,2	81,9	1013,8	437,8	0,6	0,6	126	109
	2	594	2196	26	136,7	253	254	74,4	79,8	1005,8	441,5	0,6	0,6	205	196
	4	607,3	2204	26	140,4	259	261	75,2	80,7	993,8	425,1	0,6	0,6	172	157
	6	598,1	2100	26	131,6	249	253	74	79,2	909,8	414,4	0,5	0,5	92	59
	8	599,6	2203	26	138,4	272	268	75,6	80,7	1029,9	430,1	0,6	0,6	70	84
	-10	595,4	2398	27	149,6	264	284	71,5	78,1	1216,9	485,4	0,7	0,7	322	303
	-8	603,1	2410	27	152,3	269	267	76,2	81,9	1205,3	474,8	0,7	0,7	150	224
	-6	600,5	2404	27	151,3	267	267	75,9	82,2	1186,9	470,9	0,7	0,7	81	169
	-4	609,9	2407	27	153,8	266	265	77,1	83	1199,6	477,4	0,7	0,7	181	81

EK-A: Motor testlerinden elde edilen ve modellemede kullanılan veri kümesi

	-2	600,8	2401	27	151,1	286	285	77	83,6	1219,8	480,6	0,6	0,6	20	90
	2	599	2394	27	150,3	290	299	74,7	80,9	1215,6	485,3	0,7	0,7	272	268
	4	608,8	2413	27	153,9	296	304	75,3	81,3	1246	482,4	0,7	0,7	222	218
	6	590,3	2353	27	145,5	294	305	79,4	85,1	1180,8	486,8	0,6	0,6	131	115
	8	601,9	2407	27	151,8	318	314	79	84,4	1229,1	476,6	0,7	0,7	103	51
	-10	801,7	849	28	71,3	152	152	75,1	79,2	299,7	252,2	0,1	0,1	55	57
	-8	802,9	857	28	72,1	148	139	77,2	83	315,6	262,7	0,1	0,1	8	19
	-6	805,2	857	28	72,3	151	137	79,1	82,7	309,6	256,8	0,1	0,1	11	16
	-4	802,5	853	28	71,8	151	140	84,2	88	290	242,5	0,1	0,1	1	1
	-2	808,6	850	28	72	165	149	75,6	82,6	302,9	261,7	0,1	0,1	0	0
	2	798,9	851	28	71,2	163	155	75,9	79,3	312,6	263,3	0,1	0,1	56	65
	4	802,9	853	28	71,8	174	166	77,6	83,1	301,6	252,1	0,1	0,1	52	53
	6	805,6	873	28	73,7	181	166	78,6	82,4	324	258	0,1	0,1	70	55
	8	803,6	847	28	71,3	182	165	81,4	84	323	271,6	8,8	8,4	58	27
	-10	797,9	1000	29	83,6	162	163	74,9	79,1	362,6	260,1	0,1	0,1	65	77
	-8	800,5	999	29	83,8	155	145	72,5	77,5	359,5	257,3	0,1	0,1	19	15
	-6	802	999	29	83,9	161	148	77,7	82,7	358	255,9	0,1	0,1	20	12
	-4	806	999	29	84,4	156	146	74,6	79,6	362,6	257,9	0,1	0,1	1	1
	-2	799,2	999	29	83,6	171	158	65,2	70,4	376,6	270,2	0,1	0,1	0	0
	2	800,1	995	29	83,4	172	166	75,2	78,7	363,7	261,5	0,1	0,1	66	74
	4	806,5	998	29	84,4	182	177	76,8	80	367,9	261,6	0,1	0,1	53	73
	6	795,1	1000	29	83,3	189	175	78,4	82	366,4	264	0,1	0,1	82	79
	8	807,6	1000	29	84,6	192	179	75,8	79,9	353,8	250,9	0,1	0,1	66	69
	-10	799,9	1200	30	100,6	175	171	75,1	79,1	389,7	232,3	0,2	0,2	95	91
	-8	811,5	1202	30	102,6	168	156	78,5	82,8	535,7	314,1	0,2	0,2	18	42
	-6	803,7	1197	30	100,8	171	157	75,3	79,7	504,1	300,2	0,2	0,2	18	25
	-4	811,8	1201	30	102	167	155	77,5	81,5	554,3	342,1	0,2	0,2	10	3
	-2	814,5	1198	30	102,2	188	170	84,6	87,4	440,3	262,5	0,2	0,2	0	0
	2	806,4	1200	30	101,4	186	175	75,8	79,6	454,7	269,1	0,2	0,2	86	86
	4	800,8	1203	30	101	199	188	72,8	77	484,4	287,6	0,2	0,2	68	75
	6	792,8	1200	30	99,7	201	185	78,4	81,9	511,9	309,4	0,2	0,2	59	75
	8	804,8	1197	30	100,9	205	188	76,7	80,2	340,1	282,4	0,2	0,2	61	61
	-10	805,5	1400	31	118,2	185	183	77,4	81,4	521,6	264,8	0,2	0,2	81	87
	-8	802,9	1403	31	118,1	184	171	79,5	83,4	575,4	291,9	0,2	0,2	81	55
	-6	805,5	1398	31	118,1	185	172	77,5	81,9	517,2	264,6	0,2	0,2	35	20
	-4	803,4	1399	31	117,8	179	168	79,2	82,1	584,5	297,5	0,2	0,2	22	21
	-2	802,5	1397	31	117,5	197	181	70,1	75,7	542,3	276,8	0,2	0,2	0	1
	2	804,3	1408	31	118,7	195	186	78,1	81,8	540,4	273,2	0,2	0,2	87	85
	4	805,7	1400	31	118,2	207	198	76	80,1	561,5	285	0,2	0,2	73	81
	6	778,5	1399	31	114,1	215	202	79,1	83,8	544,6	286,3	0,2	0,2	72	70
	8	799,9	1400	31	117,3	215	200	78,3	82,1	543,8	278	0,2	0,2	31	52
	-10	805,8	1609	32	135,9	191	196	74,6	79,3	656,5	290	0,3	0,3	96	92
	-8	807,6	1598	32	135,3	196	189	73	78,4	642,5	285	0,3	0,3	78	112
	-6	794,6	1601	32	133,3	198	190	78,3	83,8	618,7	298,1	0,3	0,3	45	56
	-4	800,5	1600	32	134,3	192	186	77,5	80,7	667	298,1	0,3	0,3	60	35
	-2	799,4	1599	32	133,9	207	196	76,9	81,4	657,5	294,5	0,3	0,3	6	1
	2	804,3	1602	32	135	205	201	77,9	81	651,8	289,7	0,3	0,3	90	90
	4	801,1	1601	32	134,4	215	212	77	81,1	649,9	290	0,3	0,3	69	70
	6	721,6	1599	32	120,9	219	210	74,2	78,5	657,5	326,1	0,3	0,3	37	62
	8	803,3	1602	32	134,9	224	214	74,8	79,2	646,1	287,4	0,3	0,3	36	27
	-10	785,3	1801	33	148,2	204	213	70,9	76	781,2	316,2	0,4	0,4	155	146
	-8	806	1812	33	153	211	211	74,4	79,7	824,3	323,2	0,4	0,4	239	96
	-6	805,4	1801	33	152	212	212	72,5	78,2	760,7	300,3	0,4	0,4	114	64
	-4	809,1	1805	33	153	207	210	74,8	80	797	312,5	0,2	0,4	74	123
	-2	800	1800	33	150,9	222	215	73,5	78,8	788	313,3	0,4	0,4	51	51
	2	800,3	1805	33	151,3	217	217	74,3	78,3	789,2	312,9	0,4	0,4	99	99
	4	807	1807	33	152,9	228	230	77,1	80,6	797,5	313,1	0,4	0,4	75	87
	6	777,6	1801	33	146,7	239	237	75,8	80,4	769	314,4	0,4	0,4	65	61
	8	807,3	1802	33	152,4	241	236	76	80,5	796	313,4	0,4	0,4	32	47
	-10	798,1	2001	34	167,4	230	241	74,8	80,2	927,3	332,4	0,5	0,5	213	199

EK-A: Motor testlerinden elde edilen ve modellemede kullanılan veri kümesi

	-8	800,6	2003	34	168,1	233	236	73,1	78,8	960,2	342,8	0,5	0,5	194	301
	-6	797,3	2004	34	167,4	234	235	75,6	81,1	925,4	338,3	0,5	0,5	154	96
	-4	807,9	2034	34	172,2	228	234	73,2	78,7	979	338,7	0,4	0,5	161	69
	-2	801,2	2014	34	169,1	246	240	76,2	81,7	952,6	338	0,5	0,5	82	46
	2	806,2	2012	34	170	243	246	77	82,2	949,9	335,3	0,5	0,5	151	142
	4	802,1	2013	34	169,2	253	257	74,8	80,1	950,7	337,2	0,5	0,5	116	125
	6	805	1999	34	168,6	269	268	80,1	85	930	330,9	0,5	0,4	86	86
	8	800,4	2000	34	167,7	264	262	76,2	81,1	936,2	338,2	0,5	0,5	50	30
	-10	795,7	2199	35	183,3	259	271	75,1	81,1	1068,3	349,7	0,6	0,6	281	252
	-8	800,4	2201	35	184,6	262	264	75,3	81,1	1137,3	369,7	0,6	0,6	271	157
	-6	803,8	2201	35	185,4	264	214,9	77,3	83,5	1130,3	359,2	0,6	0,6	174	97
	-4	804,8	2200	35	185,6	256	260	75,1	80,7	1106,3	357,8	0,5	0,6	137	223
	-2	804,1	2200	35	185,3	275	272	75,2	81,2	1078,2	349	0,6	0,6	72	91
	2	804,8	2200	35	185,6	277	281	79,3	85	1113,3	360	0,6	0,6	216	212
	4	801,4	2200	35	184,8	286	295	73,8	78,7	1106,7	359,4	0,6	0,6	168	191
	6	814,4	2199	35	187,7	299	304	77,8	83,5	1202,1	384,4	0,6	0,6	118	101
	8	803,3	2207	35	185,8	304	303	79,2	85,8	1131,2	367	0,6	0,6	45	62
	-10	783,9	2399	36	197,1	293	311	78,5	85	1325,4	405,2	0,7	0,7	308	309
	-8	898,6	2411	36	227,1	306	306	73,2	82,6	1427,8	377,3	0,7	0,7	192	280
	-6	806	2405	36	203,1	293	292	78,3	85	1303,7	385,7	0,7	0,7	126	183
	-4	791,8	2401	36	199,2	292	292	77,5	82,5	1316,1	398,8	0,7	0,7	199	88
	-2	805,7	2407	36	203,3	310	308	75,8	82,4	1319,5	391,6	0,6	0,6	38	78
	2	799,9	2395	36	200,7	316	328	78,4	85,1	1325,4	397,5	0,7	0,7	260	239
	4	798,4	2402	36	201	327	342	77,3	83,9	1352,8	403,9	0,7	0,7	217	217
	6	780,6	2325	36	190,2	322	329	80,2	86	1265	399,2	0,6	0,6	91	132
	8	803,1	2398	36	201,8	350	347	74,1	79,8	1381,1	410,6	0,7	0,7	94	49
	-10	1416,6	853	37	126,6	162	162	43,3	45,8	508,3	240,9	0,1	0,1	53	49
	-8	1001,2	853	37	89,5	166	156	78,9	83,9	361,6	242,4	0,1	0,1	7	16
	-6	1015,3	847	37	90,2	163	150	70,7	73,7	363,1	241,6	0,1	0,1	7	30
	-4	1014,2	849	37	90,3	168	156	82,4	85,8	354,8	236,5	0,1	0,1	6	1
	-2	1003,1	854	37	89,8	182	165	80,3	82,6	367,9	245,9	8,8	8,3	6	4
	2	998	852	37	89,1	181	175	78,3	81,8	358,4	241,3	0,1	0,1	52	53
	4	1010,6	854	37	90,5	192	186	82,7	86,5	367,3	243,5	0,1	0,1	40	43
	8	1008,9	849	37	89,8	200	182	77,8	80,3	377,4	252,2	0,1	0,1	48	23
	6	1030,4	865	37	93,3	205	201	76,5	81,4	0	0	0,1	0,1	119	84
	-10	1337,2	869	38	121,9	165	165	43,3	46,1	467,8	230,1	0,1	0,1	61	68
	-8	1003,6	999	38	105	174	167	76,9	81,4	426,2	243,4	0,1	0,1	23	14
	-6	997,3	1000	38	104,5	180	170	80,2	83,8	412,3	236,8	0,1	0,1	14	21
	-4	1000,9	1002	38	105,1	173	165	74,4	80,3	413,5	236	0,1	0,1	4	8
	-2	1003	999	38	105	193	181	74,3	79,6	427,4	243,8	0,1	0,1	12	15
	2	1009,1	1000	38	105,7	192	191	80,8	84,2	431,9	245,1	0,1	0,1	61	65
	4	1005,7	1000	38	105,4	201	200	76	79,6	428,5	243,9	0,1	0,1	52	60
	6	1023,2	999	38	107,1	217	207	71,5	76,2	1263,5	708,2	0,1	0,1	74	60
	8	1011,6	999	38	105,9	215	200	74,9	78,7	403,8	246,8	0,1	0,1	100	74
	-10	1001,1	1200	39	125,8	199	196	70	75	545,2	260	0,2	0,2	91	88
	-8	1010,5	1203	39	127,4	187	177	74,6	79,4	521	245,3	0,2	0,2	28	34
	-6	994,4	1201	39	125,1	191	178	74	78,6	481,3	236,8	0,2	0,2	14	21
	-4	1000,9	1209	39	126,8	194	185	75,7	80	500,5	236,8	0,2	0,2	51	18
	-2	999,7	1197	39	125,4	206	190	70,3	75,1	504,1	234,6	0,2	0,2	16	14
	2	1004,6	1203	39	126,6	211	202	73,8	78,2	526,9	249,5	0,2	0,2	81	87
	4	998,8	1200	39	125,6	219	212	76,9	80,9	509,3	243,3	0,2	0,2	69	77
	6	1010,4	1201	39	127,1	236	221	77,6	81,5	582,8	275,2	0,2	0,2	63	67
	8	1004,6	1201	39	126,4	233	213	77	80,6	450,5	213,8	0,2	0,2	68	39
	-10	1005	1397	40	147	209	208	72,6	77	629,7	257	0,2	0,2	88	78
	-8	999,8	1399	40	146,5	216	190	77,1	81,8	577,5	236,5	0,2	0,2	112	38
	-6	1000,6	1398	40	146,6	203	192	74	79,1	590,2	241,5	0,2	0,2	17	10
	-4	1005,7	1401	40	147,7	201	191	74,3	79,2	647,2	262,9	0,2	0,2	9	25
	-2	1001,7	1396	40	146,7	218	204	78	81,8	605,8	245,6	0,2	0,2	15	19
	2	1001	1401	40	146,9	222	215	78,1	82,1	627,8	256,3	0,2	0,2	83	90
	4	998,7	1400	40	146,5	233	227	75,1	79,5	617,2	253,4	0,2	0,2	64	83

EK-A: Motor testlerinden elde edilen ve modellemede kullanılan veri kümesi

	6	999,3	1401	40	146,6	248	238	79,9	83,9	650,1	266	0,2	0,2	67	59
	8	1004,3	1400	40	147,3	246	229	76,9	80,7	598	255,8	0,2	0,2	47	45
	-10	967,9	1596	41	161,7	215	218	76	80,6	629,7	233,5	0,3	0,3	100	99
	-8	1011,8	1597	41	169,3	225	212	75,7	81,2	624,4	221,3	0,3	0,3	148	167
	-6	999,5	1599	41	167,5	213	210	77,4	82,1	729,3	261,1	0,3	0,3	30	63
	-4	1012,3	1602	41	169,9	212	209	75,7	80,8	710,3	250,9	0,3	0,3	56	39
	-2	1000,2	1599	41	167,7	227	218	75,6	80,2	761	272,4	0,3	0,3	23	11
	2	1002,1	1603	41	168,4	224	223	76,1	80,7	747,9	263,6	0,3	0,3	82	86
	4	1008,2	1606	41	169,7	243	242	75,5	80,2	745,3	263,5	0,3	0,3	60	61
	6	994,1	1598	41	166,5	260	255	79,2	83,7	759	273,6	0,3	0,3	90	67
	8	1006,6	1599	41	168,7	254	244	74,6	79,2	743,7	264,5	0,3	0,3	42	23
	-10	980,6	1784	42	183,6	223	240	75	80,4	861,2	281,7	0,4	0,4	118	118
	-8	996,9	1800	42	187,9	234	236	73,8	79,7	922,6	294,5	0,4	0,4	283	354
	-6	1017,4	1809	42	193,1	226	228	74,8	80,3	901,5	280,3	0,4	0,4	113	58
	-4	996,7	1803	42	188,3	228	231	75	80,5	883,4	281,5	0,4	0,4	71	131
	-2	1008,4	1802	42	190,4	240	240	75,1	80,3	875,6	275,8	0,4	0,4	47	60
	2	1006,1	1802	42	189,8	234	244	73,2	77,8	921,4	287,5	0,4	0,4	92	134
	4	1001,5	1799	42	188,8	247	259	68,7	74,1	897,7	285,2	0,4	0,4	69	104
	6	994,4	1802	42	187,9	260	272	78,5	83,8	893,5	285,3	0,4	0,4	74	70
	8	1000,6	1802	42	188,9	265	263	76,5	81,2	884,2	280,8	0,4	0,4	37	44
	-10	1000,6	2000	43	209,7	246	265	72,8	78,9	1026,1	293,6	0,5	0,5	181	176
	-8	1001,3	2006	43	210,4	260	264	74,8	81,2	1077,2	305,7	0,5	0,5	327	358
	-6	1013,4	2002	43	212,6	255	258	73,8	79,9	1057,7	298,5	0,4	0,5	117	157
	-4	1009,5	2009	43	212,5	253	256	74,5	80,4	930	262,6	0,5	0,3	182	80
	-2	1004,6	2001	43	210,7	267	267	74,3	80,1	1049,9	296,6	0,4	0,5	96	82
	2	1000,5	1999	43	209,6	264	275	77,2	82,6	1033,9	296	0,5	0,5	161	178
	4	1001	2002	43	210	277	292	74,1	79,4	1055,4	301,9	0,5	0,5	125	101
	6	1018,8	2006	43	214,2	297	305	74,2	79,8	1064,7	306,2	0,5	0,5	78	86
	8	1015,5	2006	43	213,6	294	295	74,5	80	1087,9	305,7	0,5	0,5	63	40
	-10	986,1	2201	44	227,1	277	294	75,2	81,3	1175,9	310,6	0,6	0,6	228	267
	-8	1002,3	2203	44	231,4	287	292	76,1	81,6	1266,1	328,3	0,6	0,6	342	216
	-6	1001,8	2206	44	231,7	281	283	74,9	81	1264	314,9	0,6	0,6	158	55
	-4	1002,2	2197	44	230,7	285	282	76,4	82,3	1107,1	287,9	0,5	0,6	104	189
	-2	999,9	2201	44	230,7	290	288	75,1	82,4	1209,7	314,6	0,6	0,6	134	155
	2	1021,3	2200	44	235,5	303	310	73,8	79,9	1259,3	324,8	0,6	0,6	202	225
	4	1007,1	2199	44	232	317	329	76,3	82,3	1332,6	344,6	0,6	0,6	165	205
	6	1012,4	2099	44	222,9	314	323	76,3	82,2	1172,3	314,1	0,5	0,5	107	78
	8	1003	2201	44	231,3	335	332	75,7	81,6	1304,3	338,3	0,6	0,6	42	72
	-10	989,1	2405	45	249,3	312	333	75,1	82	1491,9	359	0,7	0,7	267	187
	-8	1003,2	2415	45	253,9	320	320	132,3	85	1458,8	345,5	0,7	0,7	161	244
	-6	1005,5	2401	45	253	319	318	76,1	82,8	1446,6	344,5	0,7	0,7	87	154
	-4	1018	2418	45	258	310	307	76,2	82,5	1535,4	357,1	0,7	0,7	142	67
	-2	1003,3	2412	45	253,6	329	327	73,5	80,3	1494,3	353,5	0,7	0,7	165	96
	2	1001,8	2402	45	252,1	341	355	74	81	1487,9	354,1	0,7	0,7	237	239
	4	1007,9	2400	45	253,5	361	380	78,2	84,9	1516,4	358,9	0,7	0,7	208	196
	6	995,2	2284	45	238,1	352	358	77,7	84,1	1278,1	322	0,6	0,6	65	133
	8	1010,8	2406	45	254,9	383	387	80,2	86,5	1586,5	373,5	0,7	0,7	94	61
	-10	1201,7	852	46	107,3	209	204	76,3	83,6	420,9	235,4	0,1	0,1	57	60
	-8	1204,7	843	46	106,5	194	181	73,9	79,8	406,5	229,1	0,1	0,1	7	19
	-6	1194,2	850	46	106,3	191	183	88,9	92,3	401,9	226,9	0,1	0,1	8	16
	-4	1196,3	851	46	106,7	192	179	81,8	87,7	399,6	224,8	0,1	0,1	7	8
	-2	1197,1	852	46	106,8	203	186	89,2	92,2	400,6	225,1	0,1	0,1	23	8
	2	1207,3	849	46	107,4	212	204	76,3	80,6	425,3	237,7	0,1	0,1	59	61
	4	1195,9	850	46	106,6	211	207	86,2	89,8	404,2	227,6	0,1	0,1	61	64
	6	1192,4	852	46	106,4	227	212	71,6	76,6	412,5	232,5	0,1	0,1	25	48
	8	1206,5	850	46	107,4	232	213	81,3	84,1	430,6	240,5	0,1	0,1	71	14
	-10	1271,4	909	47	121,2	198	198	66,7	73,1	502,4	219,9	0,1	0,1	75	90
	-8	1200,3	1002	47	126	201	192	77,2	81,9	479,2	227,8	0,1	0,1	25	15
	-6	1205,9	999	47	126,3	197	194	77,2	83	463,3	220,9	0,1	0,1	22	4
	-4	1204,3	999	47	126	201	191	74,1	79,7	484,6	230,7	0,1	0,1	12	21

EK-A: Motor testlerinden elde edilen ve modellemede kullanılan veri kümesi

	-2	1209,6	999	47	126,6	210	197	73,6	79,7	469,2	222,4	0,1	0,1	16	20
	2	1203,8	1007	47	127,1	213	210	77,4	81,4	504,1	236,7	0,1	0,1	60	70
	4	1199,9	1001	47	125,9	216	218	75,1	79,3	484,2	230,8	0,1	0,1	52	68
	6	1248,2	996	47	130,3	230	219	68,1	72,9	514,6	237	0,1	0,1	57	61
	8	1200,3	1002	47	126,1	241	225	77,9	82,6	488,9	232,6	0,1	0,1	76	30
	-10	1202,4	1198	48	151	220	218	72,5	75,8	586,6	233,1	0,2	0,2	75	85
	-8	1202,9	1220	48	154,1	210	200	71,5	77,5	581,8	235,4	0,2	0,2	15	34
	-6	1203,1	1202	48	151,5	208	201	73,6	78,8	593,8	235,2	0,1	0,2	8	23
	-4	1203,8	1200	48	151,4	214	202	76	81	559	221,5	0,2	0,2	25	14
	-2	1209,4	1200	48	152,1	221	207	74,5	78,9	621,2	245	0,2	0,2	30	19
	2	1198,1	1197	48	150,3	237	228	73,7	78,3	578	230,6	0,2	0,2	78	87
	4	1204,4	1199	48	151,3	239	236	76,8	81,9	624,4	247,7	0,2	0,2	66	69
	6	1208,4	1199	48	151,8	255	239	75,2	79,8	621,6	245,7	0,2	0,2	55	54
	8	1208,9	1199	48	151,9	264	246	71	75,7	610,2	240,9	0,2	0,2	32	23
	-10	1186,8	1403	49	174,3	235	234	77,7	81,7	668,7	230,1	0,2	0,2	95	85
	-8	1209,4	1401	49	177,6	237	211	74,7	79,7	710,3	236	0,2	0,2	92	56
	-6	1201,2	1398	49	175,9	218	208	67,4	72,2	697,2	237,6	0,2	0,2	36	13
	-4	1215,5	1408	49	179,2	227	215	75,4	80,6	709	237,3	0,2	0,2	20	31
	-2	1209,6	1402	49	177,8	235	221	74,3	79,2	686,9	232	0,2	0,2	23	35
	2	1201,3	1403	49	176,7	251	241	75,4	79,9	705,9	240	0,2	0,2	91	98
	4	1202	1399	49	176,2	254	251	74,6	79,3	713,7	243,1	0,2	0,2	78	92
	6	1211,9	1395	49	177,3	266	253	73,7	79,6	731	247,4	0,2	0,2	45	48
	8	1201,4	1402	49	176,2	281	262	76,3	79,4	733,3	249,8	0,2	0,2	34	36
	-10	1199,3	1594	50	200	242	249	75,1	80,4	862,9	258,9	0,3	0,3	94	99
	-8	1209	1605	50	203,2	248	233	74	79,7	841,4	248,4	0,3	0,3	126	148
	-6	1212,2	1599	50	202,6	238	234	80	84,2	859,1	254,4	0,3	0,3	39	54
	-4	1210	1607	50	203,9	234	230	74,7	80,3	861	253,3	0,3	0,3	65	38
	-2	1207,3	1596	50	201,7	247	237	74,1	79,2	827,5	264,2	0,3	0,3	47	44
	2	1207,7	1601	50	202,7	257	256	75,9	81,2	822	243,3	0,3	0,3	81	95
	4	1212,4	1604	50	203,8	264	269	74,6	79,7	786,9	231,6	0,3	0,3	79	81
	6	1210,3	1606	50	203,5	285	275	75,5	79,8	905,5	259,6	0,3	0,3	38	55
	8	1201,4	1605	50	201,7	293	280	74,8	79,6	866,5	257,7	0,3	0,3	33	22
	-10	1198,3	1801	51	226,1	253	266	73,4	79,2	977,7	259,2	0,4	0,4	129	146
	-8	1208,8	1795	51	227,4	255	256	71,3	76,5	1029,7	271,7	0,4	0,4	251	165
	-6	1208	1802	51	228	250	255	73,6	79,3	998	262,6	0,4	0,4	119	53
	-4	1203,3	1803	51	227,3	254	254	74,1	80,1	1023,8	270,1	0,4	0,4	33	130
	-2	1200,8	1805	51	227,1	263	259	77,9	83,1	985,3	259	0,4	0,4	77	100
	2	1204,3	1790	51	225,8	268	277	75,7	81,1	992,3	263,4	0,4	0,4	96	129
	4	1199,8	1803	51	226,7	271	288	75,7	81,1	1002,2	265,3	0,4	0,4	81	111
	6	1184,9	1796	51	222,7	298	295	75	80,2	1004,5	270,5	0,4	0,4	47	79
	8	1198,4	1791	51	224,9	300	297	74,3	79,6	1011,9	270	0,4	0,4	24	34
	-10	1186	1999	52	248,3	274	292	74,4	80,1	1150,2	277,6	0,5	0,5	182	205
	-8	1212,9	1999	52	253,1	285	287	75,4	81,7	1165	281,2	0,5	0,5	157	337
	-6	1210,5	2006	52	254,6	273	277	73,4	79,6	1181,2	273,7	0,5	0,5	89	133
	-4	1209,9	2002	52	253,7	279	279	76,5	82,5	1181,6	279,3	0,5	0,5	182	88
	-2	1203,8	2000	52	252,3	289	286	76,8	82,6	1166	277,3	0,5	0,5	124	94
	2	1199,2	2009	52	252,6	293	303	74,9	80,7	1170	275,2	0,5	0,5	152	161
	4	1203,8	1999	52	252,2	300	316	74,7	80,8	1195,8	284,5	0,5	0,5	120	147
	6	1210,2	2002	52	253,9	325	324	74,1	80	1208,4	285,6	0,5	0,5	56	70
	8	1207,2	1993	52	251,8	329	329	74,1	79,9	1166	277,9	0,5	0,5	46	28
	-10	1236,3	2213	53	286,6	306	321	76,7	82,8	1601,3	335,2	0,6	0,6	181	244
	-8	1210,9	2201	53	279,2	314	317	76,9	81,8	1412,1	303,5	0,6	0,6	288	128
	-6	1198,4	2205	53	276,9	305	309	76,2	82,8	1338,1	290	0,6	0,6	148	64
	-4	1199,7	2200	53	276,5	308	311	75,1	81,7	1367,4	296,7	0,6	0,6	101	185
	-2	1206,9	2199	53	278,2	322	320	75,8	82,3	1353,9	292,1	0,6	0,6	98	155
	2	1199,7	2200	53	276,5	333	344	74,8	81,3	1423,3	308,7	0,6	0,6	176	209
	4	1199,6	2187	53	274,9	339	360	76,1	82,8	1384,3	302,1	0,6	0,6	142	179
	6	1221,6	2202	53	282	369	370	75,1	81,4	1417,6	301,7	0,6	0,6	77	86
	8	1201,5	2199	53	276,9	370	368	75,6	81,8	1470	318,7	0,6	0,6	44	62
	-10	1209	2400	54	304	354	376	76,4	83,4	1632,3	321	0,7	0,7	273	291

EK-A: Motor testlerinden elde edilen ve modellemede kullanılan veri kümesi

	-8	1202,3	2412	54	303,9	348	347	107,3	84,3	1649,4	325,7	0,7	0,7	139	237
	-6	1207,5	2399	54	303,5	345	347	76,6	83,5	1642,2	324,6	0,6	0,7	126	144
	-4	1200,6	2408	54	302,9	343	347	83,6	83,8	1636,1	324	0,7	0,7	181	98
	-2	1198,9	2399	54	301,4	359	359	77,3	84,4	1585	315,5	0,7	0,7	144	65
	2	1199,6	2415	54	303,5	373	389	74,8	81,9	1665,2	329,2	0,7	0,7	231	224
	4	1193,1	2400	54	300	384	408	77	84,3	1649,2	329,8	0,7	0,7	202	242
	6	1218,9	2390	54	305,3	428	431	77,1	84,2	1749,4	343,9	0,6	0,6	88	122
	8	1214,5	2409	54	306,5	420	423	77,4	84,6	1751,1	342,8	0,7	0,7	85	63
	-10	1397,3	850	55	124,4	223	218	74,7	80,2	451,7	222,5	0,1	0,1	53	57
	-8	1412,7	845	55	125	209	192	81,1	85,3	453,8	225,2	0,1	0,1	14	30
	-6	1416	848	55	125,8	213	205	84,3	89,7	466,5	219,1	0,1	0,1	5	15
	-4	1406,1	852	55	125,5	215	201	85,8	91,5	426,4	203,8	0,1	0,1	16	4
	-2	1397,6	851	55	124,6	229	211	81,7	87,4	464	217,9	0,1	0,1	17	11
	2	1403,9	847	55	124,7	234	228	77,5	80,5	488,2	234,9	0,1	0,1	66	82
	4	1402,3	851	55	125,1	239	242	71,1	77,5	478,3	229,4	0,1	0,1	51	59
	8	1402,3	850	55	124,9	263	249	75,7	81,2	495,6	238,1	0,1	0,1	2	0
	6	1396,7	853	55	124,8	269	255	72,8	79,8	481,3	231,3	0,1	0,1	11	51
	-10	1401,8	1000	56	146,8	236	235	76,4	81,7	551,7	220,2	0,1	0,1	64	65
	-8	1413,3	1000	56	148,1	219	207	75	80,8	522,4	211,6	0,1	0,1	27	28
	-6	1401,5	1001	56	147,1	217	214	79	86,2	554,7	226,3	0,1	0,1	17	4
	-4	1404,2	1008	56	148,2	214	206	74,2	80,2	547,3	221,5	0,1	0,1	7	21
	-2	1400,4	1004	56	147,3	235	223	73,5	79,2	532,6	217,1	0,1	0,1	19	24
	2	1407,8	997	56	147,2	243	241	73,6	78,8	543,3	221,6	0,1	0,1	57	65
	4	1403,5	1003	56	147,6	246	251	76,4	81,4	547,5	222,6	0,1	0,1	49	59
	6	1400,1	1002	56	146,9	267	254	69,6	74,5	561,1	229,1	0,1	0,1	25	35
	8	1402,7	997	56	146,5	267	258	75,1	80	561,3	229,9	0,1	0,1	25	29
	-10	1402,3	1198	57	176,1	255	249	78,1	82,9	683,7	242,9	0,2	0,2	78	83
	-8	1412,9	1204	57	178,3	241	218	72,3	78,1	772,6	260	0,2	0,2	45	58
	-6	1415,7	1201	57	178,2	244	224	73,2	77,7	735,8	248,3	0,2	0,1	26	26
	-4	1408,5	1203	57	177,6	232	222	72,7	78,3	673,4	227,6	0,2	0,2	20	11
	-2	1402,2	1200	57	176,5	254	238	76,7	81	632,4	218,5	0,2	0,2	34	22
	2	1402,9	1198	57	176,2	268	260	77	81,7	625,7	207,9	0,2	0,2	72	87
	4	1400,4	1199	57	175,9	268	269	73,6	79,1	662	225,7	0,2	0,2	57	68
	6	1411,7	1198	57	177,3	288	270	72	76,8	714,7	241,8	0,2	0,2	39	28
	8	1406,8	1201	57	177,3	289	273	73,9	78,9	689,2	233,5	0,2	0,2	27	43
	-10	1396,4	1398	58	204,5	266	260	75	80,1	767,5	225,1	0,2	0,2	96	83
	-8	1405,9	1396	58	205,4	263	233	74,4	79,9	754,6	220,7	0,2	0,2	104	75
	-6	1407,1	1401	58	206,7	264	243	79,8	84,7	769,4	223,4	0,1	0,1	37	22
	-4	1410,9	1397	58	206,6	247	237	76,1	81,5	783,3	230,6	0,2	0,2	28	45
	-2	1399,6	1397	58	205,1	265	253	75,9	81	773,2	226,4	0,2	0,2	17	33
	2	1408,2	1389	58	204,9	282	274	74,3	79,4	779,7	228,3	0,2	0,2	86	95
	4	1401,8	1402	58	205,9	281	282	77,4	81,8	812,5	225	0,2	0,2	78	87
	6	1405,1	1408	58	207,3	305	289	75,7	80,2	785,9	227,5	0,2	0,2	32	48
	8	1405	1409,3	58	207,5	305	289	75,6	80,4	820,3	237,3	0,2	0,2	24	27
	-10	1399,8	1600	59	234,7	259	265	77,5	82,8	968,9	247,6	0,3	0,3	82	103
	-8	1410,1	1603	59	236,8	274	254	73,3	79,3	981,8	236,1	0,3	0,3	131	175
	-6	1403	1607	59	236,3	255	266	80,9	86,3	862,9	219	0,2	0,3	39	55
	-4	1418,5	1608	59	238,9	258	254	75	80,8	980,3	221,5	0,3	0,3	69	23
	-2	1416,4	1608	59	238,9	278	268	74	79,6	985,5	247,5	0,3	0,3	52	42
	2	1407,6	1615	59	238,2	286	289	73,3	78,9	967,6	239,1	0,3	0,3	78	96
	4	1407,1	1599	59	236	292	303	74,6	80	1012,8	257,5	0,3	0,3	60	91
	6	1433,3	1604	59	241	326	318	70,4	76	999,3	248,7	0,3	0,3	6	18
	8	1404,3	1598	59	235,1	320	312	77,9	82,9	986	251,9	0,3	0,3	29	20
	-10	1424,9	1824	60	272,1	276	287	72,6	78,8	1096,2	242,9	0,4	0,4	131	165
	-8	1355,2	1767	60	250,6	283	281	76,2	82,2	1082,6	260,9	0,4	0,4	217	114
	-6	1410,3	1814	60	267,9	274	277	74,5	80,9	1120,4	246,4	0,4	0,4	111	77
	-4	1429,1	1803	60	270	282	281	75,5	81,5	1101,6	246,1	0,4	0,4	85	128
	-2	1398,9	1806	60	264,8	292	286	74,8	80,6	1091,6	247,2	0,4	0,4	58	68
	2	1405,9	1800	60	264,9	301	309	76,1	81,9	1110,1	245,3	0,4	0,4	138	94
	4	1402,4	1800	60	264,5	308	322	74,9	80,8	1136,3	257,7	0,4	0,4	85	113

EK-A: Motor testlerinden elde edilen ve modellemede kullanılan veri kümesi

	6	1412	1809	60	267,7	336	333	76,3	81,8	1140,9	255,7	0,4	0,4	16	27
	8	1400,4	1800	60	364,4	334	330	75,7	81,5	1134,2	257,4	0,4	0,4	26	36
	-10	1396,1	2012	61	294,3	301	314	74,9	81,2	1283,2	261,6	0,5	0,5	183	198
	-8	1398	1994	61	292,1	309	309	78,2	84,6	1282,5	263,5	0,5	0,5	190	242
	-6	1388,7	1985	61	288,8	304	306	75	81,4	1275,6	263,1	0,4	0,5	117	137
	-4	1404,8	2003	61	294,8	304	303	76	82,4	1277,7	260	0,5	0,5	177	93
	-2	1380,1	1993	61	288,3	320	316	75,8	82,2	1264,4	263,2	0,5	0,5	86	82
	2	1405,6	2003	61	295,1	325	334	75,4	80,4	1315,1	267,3	0,5	0,5	144	216
	4	1406,1	1999	61	294,5	331	350	76,4	82,8	1289,7	262,9	0,5	0,5	109	159
	6	1406,7	2000	61	294,9	363	362	75,1	81,7	1345,2	273,7	0,5	0,5	59	50
	8	1401	2000	61	293,6	360	361	75,9	82	1344,2	274,7	0,5	0,5	34	29
	-10	1406,1	2199	62	323,9	341	354	71,9	78,6	1477,6	273,7	0,6	0,6	203	235
	-8	1404,6	2199	62	324	339	343	86,2	84,3	1474,2	273,3	0,6	0,6	239	127
	-6	1423,8	2201	62	328,3	333	340	76,9	83,9	1573,4	287,5	0,6	0,6	155	92
	-4	1408,9	2201	62	325	339	342	76,7	83,1	1510,9	278,9	0,6	0,6	150	186
	-2	1401,6	2196	62	322,6	356	352	77,4	84,3	1529,9	284,6	0,6	0,6	77	113
	2	1402,2	2202	62	323,5	371	380	74,5	81,8	1575,9	283,2	0,6	0,6	138	182
	4	1402,7	2206	62	324,2	372	394	75,9	83,1	1451,2	268,6	0,6	0,6	126	174
	6	1413,4	2207	62	326,8	407	409	74	80,8	1677,7	308	0,6	0,6	122	18
	8	1408,5	2201	62	324,8	402	404	76	82,7	1623,2	299,9	0,6	0,6	28	59
	-10	1406,1	2400	63	353,6	387	400	76,5	84,1	1773,3	300,9	0,7	0,7	211	300
	-8	1394,8	2396	63	350,3	378	383	75,5	82,6	1753,9	300,4	0,7	0,7	122	239
	-6	1401,8	2410	63	354	371	376	77,5	85	1768	299,7	0,7	0,7	78	119
	-4	1401,7	2406	63	353,4	375	374	162,2	87,7	1808,6	300,3	0,7	0,7	152	77
	-2	1401,2	2411	63	354	391	388	77,4	85,1	1788,5	303,1	0,7	0,7	96	11
	2	1407,3	2399	63	353,8	417	430	73,5	81,3	1836,6	311,5	0,7	0,7	182	226
	4	1403,3	2406	63	353,9	429	450	75,9	84,2	1838,3	316	0,7	0,7	157	195
	6	1544,5	2401	63	388,6	481	493	78	85,4	2074,7	320,4	0,7	0,6	105	46
	8	1398,9	2394	63	350,9	471	471	76,7	84,2	1923,8	329	0,6	0,7	65	43
	-10	1599,7	850	64	142,4	257	257	73,3	80,1	514	211,5	0,1	0,1	57	62
	-8	1608,2	855	64	144,1	226	213	76,7	82,5	525,2	218,6	0,1	0,1	21	9
	-6	1601,5	852	64	142,9	228	210	63,2	66,8	515,9	211,9	0,1	0,1	25	25
	-4	1608,2	850	64	143,3	239	227	75,8	82,1	500,3	209,5	0,1	0,1	35	46
	-2	1599,9	850	64	142,6	267	249	76,7	80,9	521	219,3	0,1	0,1	21	25
	2	1605,1	847	64	142,4	257	251	78,4	82	537,8	221,1	0,1	0,1	60	70
	4	1608,7	850	64	143,3	263	265	78,1	83,2	533,2	223,3	0,1	0,1	46	56
	6	1606,2	848	64	142,8	285	271	71	77,4	542,5	227,2	0,1	0,1	32	7
	8	1599,6	849	64	142,3	289	275	77,3	81,7	553,7	233,4	0,1	0,1	27	36
	-10	1607	1002	65	168,6	262	265	70,6	76,8	626,7	223	0,1	0,1	70	79
	-8	1605,4	992	65	166,9	235	228	74,3	79,9	593,1	213,3	0,1	0,1	26	33
	-6	1608,4	1003	65	169,1	249	237	81	84	602,2	213,9	0,1	0,1	20	26
	-4	1606,6	997	65	167,9	246	236	69,4	75,9	577,3	214,9	0,1	0,1	20	7
	-2	1599,4	999	65	167,4	272	256	74,2	79,5	604,8	216,7	0,1	0,1	19	21
	2	1599,6	1002	65	168	268	265	77,8	82,7	596,9	213,2	0,1	0,1	60	69
	4	1604,5	1000	65	168,2	282	284	76,1	81,6	621,6	221,7	0,1	0,1	44	56
	6	1597,3	1000	65	167,4	298	287	69,5	75,5	648,2	232,3	0,1	0,1	30	19
	8	1607,3	1000	65	168,4	307	293	78,8	84,7	640,8	228,6	0,1	0,1	41	33
	-10	1605,3	1199	66	201,7	280	280	74,2	79,9	672,5	200	0,2	0,2	69	88
	-8	1600,9	1193	66	200,7	255	243	74,7	80,4	603,7	206,2	0,2	0,2	68	35
	-6	1620,8	1200	66	203,9	262	249	73,8	80	699,5	206,7	0,2	0,2	29	19
	-4	1586,5	1190	66	198	257	246	73,9	79,3	788,6	162	0,2	0,2	5	34
	-2	1602,1	1199	66	201,3	286	268	74,1	79,3	606	180,7	0,2	0,2	19	24
	2	1602,3	1199	66	201,5	292	282	72,6	78,1	688,1	205	0,2	0,2	64	75
	4	1600,6	1205	66	201,7	303	301	75,4	80,8	750,2	217,6	0,2	0,2	57	60
	6	1593	1199	66	200,2	318	305	69,5	75,1	647	194	0,2	0,2	21	41
	8	1605,1	1199	66	201,9	329	312	74,1	79,7	775,9	231,5	0,2	0,2	19	37
	-10	1610	1398	67	235,9	291	291	73,7	79,6	808,7	205,7	0,2	0,2	87	88
	-8	1601,9	1402	67	235,3	270	259	72,5	78,5	923,7	235,6	0,2	0,2	88	99
	-6	1607,8	1402	67	236,1	270	259	72,3	77,1	854,7	217,2	0,2	0,2	19	42
	-4	1599,9	1402	67	235	270	261	76,8	82,3	833,6	212,8	0,2	0,2	45	24

EK-A: Motor testlerinden elde edilen ve modellemede kullanılan veri kümesi

	-2	1603	1407	67	236,3	298	282	74,3	80	887,4	225,3	0,2	0,2	26	19
	2	1612,9	1401	67	236,8	307	300	74,2	79,5	882,5	233,1	0,2	0,2	72	90
	4	1606,8	1401	67	235,9	325	327	75,1	80,8	874,5	221,9	0,2	0,2	56	77
	6	1608,3	1399	67	235,7	339	329	74,2	79,1	958,1	238,1	0,2	0,2	46	25
	8	1602,4	1398	67	234,8	349	330	75,5	80,8	916,9	230	0,2	0,2	37	9
	-10	1590,7	1604	68	267,6	293	302	70,2	76,3	915,9	205,2	0,3	0,3	90	121
	-8	1608,4	1600	68	269,6	288	281	74,5	80,5	1040,8	231,6	0,3	0,3	151	127
	-6	1591,9	1584	68	264,4	288	281	76,7	82,2	806,1	233,4	0,3	0,3	65	40
	-4	1601,9	1615	68	271	284	277	75,8	80,8	1047	231,8	0,3	0,3	39	10
	-2	1606,6	1645	68	276,9	295	288	70,8	76,7	1075,7	233,1	0,3	0,3	54	38
	2	1604,9	1598	68	268,8	317	316	77,1	83	1161,8	259,3	0,3	0,3	74	83
	4	1619,2	1612	68	273,4	335	343	74	80	1094	242,7	0,3	0,3	56	79
	6	1585,7	1595	68	265,1	359	354	73,3	78,9	113,3	251,8	0,3	0,3	26	36
	8	1601,5	1604	68	268,9	368	357	72,2	78,3	1092,6	244,3	0,3	0,3	34	41
	-10	1604	1863	69	313,1	296	312	72,5	78,6	1255,9	240,8	0,4	0,4	133	157
	-8	1599,3	1790	69	299,7	312	307	75,6	82,3	1202,8	240,8	0,4	0,4	122	284
	-6	1604,6	1831	69	307,8	302	300	75	81,1	1228,3	239,4	0,4	0,4	92	118
	-4	1602,8	1812	69	304,3	311	308	72,5	79	1227	241,9	0,4	0,4	132	70
	-2	1603,4	1792	69	301,1	319	317	76	81,9	1205,5	242,2	0,4	0,4	64	42
	2	1615,8	1826	69	309,2	319	325	76,2	82,1	1226,4	244	0,4	0,4	83	117
	4	1589,2	1796	69	298,9	342	354	74	79,8	1232,9	247,5	0,4	0,4	73	83
	6	1613,2	1809	69	306	372	370	74	80,1	1254,9	246,1	0,4	0,4	53	32
	8	1605,5	1801	69	303	387	379	73,5	79,7	1275,6	252,6	0,4	0,4	41	35
	-10	1593,6	2005	70	334,8	328	352	73,5	80	1391,9	249,4	0,5	0,5	156	199
	-8	1602,2	1999	70	335,5	339	341	73,6	80,5	1428,8	255,6	0,5	0,5	405	154
	-6	1610,3	2012	70	339,1	331	333	75,6	82,3	1396,5	247,2	0,5	0,5	134	56
	-4	1607,6	1995	70	336,5	337	338	75,4	82	1420,6	253,6	0,5	0,5	96	160
	-2	1608,4	1994	70	336,1	346	347	74,6	81,3	1411,9	252	0,4	0,4	64	107
	2	1601,9	2005	70	336,6	351	363	72,5	79,3	1428,2	254,4	0,5	0,5	121	176
	4	1609,2	2000	70	337,2	373	389	75,7	82,3	1456,3	259,1	0,5	0,5	114	84
	6	1618,5	1999	70	339,2	398	400	74,1	80,6	1485,8	262,9	0,5	0,5	33	63
	8	1601,4	2000	70	335,6	410	408	76,1	82,7	1491,1	269,3	0,5	0,5	36	57
	-10	1571,8	2219	71	365,8	364	385	73,7	81,1	1667,1	273,5	0,6	0,6	176	208
	-8	1590,5	2202	71	366,9	370	376	82,6	82,2	1703,2	278,5	0,6	0,6	119	249
	-6	1597,6	2203	71	368,8	357	367	77	84,2	1633,4	273	0,6	0,6	124	138
	-4	1601,7	2197	71	368,7	369	372	77,5	84,5	1642,4	267,3	0,6	0,6	146	80
	-2	1606,8	2199	71	370,3	382	383	75,2	82,3	1631,9	264,4	0,6	0,6	93	18
	2	1606,1	2201	71	370,5	396	405	75,5	82,6	1750,9	283,6	0,6	0,6	137	191
	4	1610,5	2198	71	370,9	421	435	77,3	84,6	1728,8	273,2	0,6	0,6	107	136
	6	1602,2	2201	71	369,7	440	448	76,1	83,2	1898,5	308,1	0,6	0,6	71	61
	8	1606,2	2200	71	370,3	454	453	76,7	83,8	1743,1	292,8	0,6	0,6	94	50
	-10	1607,7	2382	72	401,3	410	437	74,9	83,1	1890	282,6	0,6	0,6	208	182
	-8	1601,4	2405	72	403,6	406	411	106,2	85	1924	286	0,7	0,7	205	92
	-6	1592,1	2400	72	400,4	399	403	78,7	86,8	1889,8	282,6	0,7	0,7	128	58
	-4	1619,3	2399	72	407	411	409	77	84,8	1906,3	281	0,7	0,7	70	127
	-2	1599,6	2391	72	400,8	428	436	77,1	85,1	1916,4	286,9	0,6	0,6	87	117
	2	1609,1	2408	72	406	441	454	76,4	84,3	2007,2	297,4	0,7	0,7	172	196
	4	1537,7	2401	72	386,9	458	480	78,1	86,2	1969,6	305,5	0,7	0,7	125	200
	6	1538,2	2400	72	386,9	481	492	76,5	84,2	2075,6	321,9	0,7	0,6	48	103
	8	1588,2	2399	72	399,3	503	508	79,5	87,1	2140,2	321,6	0,6	0,7	57	77
	-10	1805,4	850	73	160,8	272	270	73,7	79,8	579,6	216,3	0,1	0,1	60	61
	-8	1810,7	850	73	161,2	261	244	78,1	82,8	563,6	210,6	0,1	0,1	15	27
	-6	1803,6	850	73	160,7	268	252	80,8	87,2	556,8	207,9	0,1	0,1	9	19
	-4	1804,2	850	73	160,6	261	243	83,2	89,9	535,7	200,1	9,1	8,8	19	7
	-2	1805,1	849	73	160,7	274	260	76,3	80,3	569,5	212,7	8,8	8,3	0	33
	2	1803,5	850	73	160,6	286	286	78,7	83,5	614,9	229,8	0,1	0,1	55	69
	4	1793,8	850	73	159,7	293	294	76,5	83	582,6	218,4	0,1	0,1	16	57
	6	1800,6	848	73	160,1	309	297	78,7	84,6	583,7	231,3	0,1	0,1	36	23
	8	1799,6	850	73	160,2	324	307	80,2	85,8	624,4	233,9	0,1	0,1	28	15
	-10	1800,3	1002	74	188,9	294	288	77,1	82,8	710,5	225,6	0,1	0,1	68	72

EK-A: Motor testlerinden elde edilen ve modellemede kullanılan veri kümesi

	-8	1808,8	1007	74	190,8	270	256	75,3	81,5	658,2	206,9	0,1	0,1	36	39
	-6	1801,3	1000	74	188,8	277	260	72,2	78,8	642,5	204,2	0,1	0,1	21	4
	-4	1803,9	995	74	188,1	277	262	74,2	80,1	648,9	195,7	0,1	0,1	9	25
	-2	1805,9	1000	74	189,2	295	282	73,1	79	689,8	216	0,1	0,1	22	30
	2	1809,9	1000	74	189,7	307	300	75,2	81,3	691,1	218,6	0,1	0,1	60	62
	4	1800,9	1000	74	188,8	307	306	76,1	82	697,4	221,7	0,1	0,1	32	3
	6	1795,2	999	74	188	322	309	72,5	79	714,5	228,1	0,1	0,1	32	25
	8	1803,3	1000	74	188,8	325	313	67,6	74,2	727,4	232,9	0,1	0,1	8	35
	-10	2033,4	1214	75	258,7	343	340	71,3	78,1	952	220,8	0,2	0,2	60	72
	-8	1816,6	1206	75	229,2	275	262	71,6	77,3	782,7	205,8	0,2	0,2	82	73
	-6	1803,4	1200	75	226,8	286	286	73,6	79,6	753,1	199,3	0,1	0,2	12	30
	-4	1817,5	1209	75	230,4	290	275	76	81,3	801,7	209	0,2	0,2	34	17
	-2	1805,6	1196	75	226,4	289	275	78,6	82,8	851,9	225,8	0,2	0,2	34	31
	2	1801,2	1202	75	226,8	329	325	74,5	80,5	852,6	225,5	0,2	0,2	53	68
	4	1798,6	1200	75	226,2	331	331	72,3	78,6	884	235,1	0,2	0,2	15	66
	6	1808	1211	75	229,4	347	333	79,2	84,3	876,8	229,3	0,2	0,2	31	36
	8	1818,6	1200	75	228,8	350	338	76,9	81,8	872,4	228,7	0,2	0,2	30	22
	-10	1800	1390	76	262,1	333	328	71,7	78	973,3	222,7	0,2	0,2	74	91
	-8	1811,9	1403	76	266,5	298	285	74,4	80,7	993,1	223,6	0,2	0,2	105	63
	-6	1799,4	1401	76	264,2	296	307	75,5	81,3	896,7	203,7	0,1	0,2	47	28
	-4	1801,2	1399	76	264	290	277	75,8	81,1	961,7	218,5	0,3	0,2	29	19
	-2	1797,3	1400	76	263,6	311	299	74,9	80,4	973,7	221,6	0,2	0,2	29	38
	2	1799,5	1400	76	263,9	348	346	75,8	81,7	997,6	226,8	0,2	0,2	60	61
	4	1800	1399	76	263,7	357	358	74,6	80,5	992,9	225,7	0,2	0,2	35	29
	6	1796,4	1400	76	263,6	374	362	74,6	80,6	1024,6	233,2	0,2	0,2	33	33
	8	1795,1	1399	76	263,1	363	353	78	82,7	1021,8	233	0,2	0,2	19	37
	-10	1816,4	1598	77	304,1	340	346	73,5	79,9	1087,3	211,1	0,3	0,3	74	99
	-8	1800,6	1615	77	304,7	337	311	73,8	80,3	1157,6	228	0,2	0,3	145	163
	-6	1813,9	1600	77	304,2	309	322	72,7	79	1092,1	215,4	0,2	0,3	11	51
	-4	1797,3	1598	77	300,7	308	303	76,1	82,4	1139	227,3	0,3	0,3	63	5
	-2	1806,3	1609	77	304,4	322	315	74,8	80,6	1138,6	222,6	0,3	0,3	52	37
	2	1786,2	1600	77	299,5	355	360	72,7	78,9	1174,3	235,3	0,3	0,3	68	103
	4	1798,1	1609	77	303,2	373	381	70,1	77,2	1194,5	236,5	0,3	0,3	24	42
	6	1809,4	1601	77	303,7	392	386	75,6	81,6	1259,3	249,6	0,3	0,3	39	9
	8	1808,3	1601	77	302,9	396	395	74,7	81	1227,7	244,4	0,3	0,3	33	26
	-10	1795,7	1780	78	334,9	324	335	74,2	80,3	1316,9	233,6	0,3	0,3	112	148
	-8	1808,3	1796	78	340,4	339	340	76,6	83,3	1328,6	234,2	0,4	0,4	218	203
	-6	1809,2	1837	78	346,7	323	330	74,3	80,8	1342,1	230,4	0,2	0,4	69	61
	-4	1806,3	1826	78	346,5	329	331	72,9	79,7	1322,6	231,2	0,4	0,3	72	134
	-2	1802,6	1813	78	348	326	324	77,8	84,2	1344,8	233,1	0,4	0,4	55	76
	2	1809,6	1714	78	324,8	401	416	78,3	84,9	1273	238,4	0,4	0,4	82	120
	4	1798,6	1839	78	346,6	361	376	77,1	83,3	1402,2	243	0,4	0,4	38	26
	6	1816,5	1842	78	348,2	395	396	73,6	79,9	1450,8	249,1	0,4	0,4	32	50
	8	1787,9	1821	78	341,7	396	399	73,6	79,9	1440,4	248,5	0,4	0,4	42	48
	-10	2012,5	2006	79	423,2	390	416	72,8	80,3	1676,2	237,6	0,5	0,5	125	157
	-8	1821,7	1992	79	381,2	364	372	74,2	81,6	1585,4	244,9	0,5	0,5	136	257
	-6	1803,3	2009	79	380,7	349	373	75,2	82,2	1536,7	242,2	0,4	0,5	73	110
	-4	1799,6	2008	79	378,7	354	361	75,5	82,6	1551,5	242	0,5	0,5	134	76
	-2	1800,6	1997	79	376,9	367	371	78,4	85,6	1515,2	241,2	0,5	0,5	76	66
	2	1795,2	2001	79	376,4	389	408	74,1	81,5	1567,3	249,8	0,5	0,5	100	169
	4	1809	2004	79	379,7	407	425	77,7	85,1	1611,8	256,3	0,5	0,5	23	66
	6	1799,2	2002	79	377,5	432	439	75,7	82,7	1637,6	260,3	0,5	0,5	60	12
	8	1800,7	2005	79	377,9	431	442	74,7	81,6	1635,1	260,7	0,5	0,5	57	41
	-10	1793,6	2200	80	413,5	397	420	74,1	82	1744,4	253,1	0,6	0,6	150	192
	-8	1800,2	2221	80	418,9	395	405	74,7	82	1848	264,2	0,6	0,6	227	134
	-6	1798,7	2214	80	416,9	386	394	74,5	81,9	1826,7	248,5	0,6	0,6	120	62
	-4	1813,7	2214	80	420,8	390	395	75,3	83	1819,5	259,4	0,6	0,6	72	143
	-2	1800,6	2201	80	415,3	403	402	73,5	81,7	1765,9	255,2	0,6	0,6	60	94
	2	1799,1	2198	80	414,4	426	450	73,2	81	1815,3	262,8	0,6	0,6	133	138
	4	1809,3	2208	80	418,8	453	471	77,6	85,4	1914,5	274,4	0,6	0,6	46	164

EK-A: Motor testlerinden elde edilen ve modellemede kullanılan veri kümesi

	6	1807,6	2205	80	417,8	479	485	75,3	83	1917,7	275,4	0,6	0,6	46	78
	8	1804,8	2201	80	416	491	492	75,4	83	1952,1	281,4	0,6	0,6	41	72
	-10	1684,3	2400	81	423,6	425	454	73,5	81,9	2009,7	283,3	0,7	0,7	161	217
	-8	1805,1	2408	81	455,5	437	442	105,3	83,9	2102,4	277	0,7	0,7	82	195
	-6	1804,7	2404	81	454,6	430	435	76,8	84,6	2079,8	274,5	0,6	0,7	76	126
	-4	1805,3	2403	81	454,6	433	435	77,3	85,8	2083,4	275	0,7	0,7	16	103
	-2	1724,1	2400	81	433,6	431	433	73,8	81,8	2012,5	278,5	0,7	0,7	0	0
	2	1671,4	2400	81	420,3	454	480	75,1	83,4	2038,6	291	0,7	0,7	161	129
	4	1600,8	2397	81	402,1	471	493	75,7	85,2	2001,9	296,5	0,7	0,7	37	68
	6	1586,3	2400	81	398,9	492	499	75,2	84	2070,5	311,5	0,7	0,7	83	165
	8	1657,4	2401	81	417	513	517	76,2	83,9	2168,4	312	0,7	0,7	0	0
	-10	2010,7	849	82	178,8	311	316	73,9	81,4	679,9	228,1	0,1	0,1	44	53
	-8	2008,9	850	82	179	287	288	77,2	82,9	649,1	217,3	0,1	0,1	31	16
	-6	2015,4	849	82	179,2	300	280	77,3	84,4	615,9	205,7	0,1	0,1	2	13
	-4	2000,2	850	82	178,1	285	267	73,1	77,1	591,9	223,2	0,1	0,1	5	15
	-2	2012,3	847	82	178,7	313	300	71,1	78	649,9	218,2	0,1	0,1	25	15
	2	1999,4	852	82	178,5	318	316	74,3	81,5	671	225,6	0,1	0,1	53	53
	4	1998,7	850	82	177,9	317	326	74,8	81,8	644,4	217,3	0,1	0,1	0	0
	6	2003,4	847	82	177,7	350	340	84,6	89,3	672,5	227	0,1	0,1	22	27
	8	2007,2	849	82	178,6	362	344	66,5	73,6	697,2	232,6	0,1	0,1	33	15
	-10	2001,2	1003	83	210,4	309	307	76,4	80,5	794,7	226,7	0,1	0,1	65	72
	-8	2010	1003	83	211,2	295	278	70,2	76,3	743,9	207,5	0,1	0,1	18	31
	-6	2000	998	83	209,3	310	291	70,6	78	733,5	210,3	0,1	0,1	11	15
	-4	2004,9	1000	83	210,2	305	284	78,4	84,3	745,1	212,7	0,1	0,1	12	5
	-2	2001,1	1000	83	209,6	329	310	72,7	79,2	773,8	221,5	0,1	0,1	21	28
	2	2001,4	1003	83	210,4	334	329	73,4	80	782,3	223,1	0,1	0,1	51	62
	4	2008,4	994	83	209,2	346	345	75,8	82,2	773,6	221,9	0,1	0,1	0	0
	6	2002,2	995	83	208,8	371	356	75,4	83	791,6	227,4	0,1	0,1	29	5
	8	2015	1000	83	211,1	375	358	79,8	84,6	779,1	221,5	0,1	0,1	8	37
	-10	2005,1	1220	84	256,2	340	347	73,5	80,4	945,2	221,3	0,2	0,2	55	68
	-8	2005,4	1198	84	251,7	317	296	75,5	81,7	1060,3	252,8	0,1	0,2	74	57
	-6	1999,2	1200	84	251,4	318	327	80,4	85,9	824,5	204,4	0,1	0,2	24	8
	-4	1999,5	1201	84	251,6	312	299	75	81,4	664,9	158,6	0,2	0,2	10	18
	-2	2000,1	1201	84	251,8	338	324	73,2	79,4	854,7	203,6	0,2	0,2	27	40
	2	1999,5	1199	84	251,3	366	362	75,2	81,4	938,9	224,1	0,2	0,2	57	60
	4	2004,1	1199	84	252,2	368	370	74,5	80,7	962,1	247,1	0,2	0,2	0	0
	6	2001,9	1201	84	251,9	362	371	71,1	75,3	977,5	232,8	0,2	0,2	17	28
	8	1998,8	1202	84	251,9	398	380	73,4	80,1	943,3	224,8	0,2	0,2	23	30
	-10	2001,2	1402	85	294,1	353	362	75,5	81,8	1104,6	221,4	0,2	0,2	61	81
	-8	2000,3	1401	85	293,6	352	314	72,1	78,9	1058,8	218,4	0,1	0,2	141	197
	-6	2002,2	1401	85	293,9	350	342	72,3	79,4	1007,5	205,7	0,1	0,1	13	40
	-4	2006,9	1402	85	294,5	324	314	73	79,6	1019,5	207,8	0,2	0,2	30	20
	-2	2001,4	1401	85	293,8	349	361	73,4	79,7	1039,2	212,4	0,1	0,2	22	41
	2	2007,9	1397	85	294	386	386	73,1	79,6	1083,5	221	0,2	0,2	59	77
	4	1999,9	1402	85	293,7	410	410	74,3	81,1	1128	230,4	0,2	0,2	0	0
	6	2004,3	1402	85	294,5	421	406	70,7	77,2	1161,6	236,7	0,2	0,2	34	6
	8	1995,2	1398	85	292,3	424	409	72,6	78,9	1143,7	234,8	0,2	0,2	23	26
	-10	2005,7	1608	86	337,8	358	377	73,8	80,9	1264,2	225,5	0,3	0,3	70	101
	-8	2001,9	1597	86	334,9	366	356	73,7	80,6	1297,1	232,4	0,1	0,2	325	230
	-6	2001,1	1600	86	335,4	359	349	74	80,4	1215	217,3	0,2	0,2	73	120
	-4	2006	1603	86	336,9	338	335	74,3	81,2	1210,6	215,6	0,3	0,3	20	63
	-2	2005,5	1601	86	336,4	355	376	75,3	81,6	1211,2	222,3	0,2	0,3	50	3
	2	2006,1	1600	86	336,2	391	401	73,9	80,5	1305,6	232,9	0,3	0,3	69	85
	4	1991,5	1601	86	334	421	431	75,2	82,1	1322,6	237,6	0,3	0,3	0	0
	6	1999,7	1602	86	335,7	438	436	72,3	78,8	1356	244,2	0,3	0,3	37	44
	8	2004,4	1606	86	337,3	441	435	70,3	77	1343,5	245,6	0,3	0,3	28	27
	-10	1975,4	1828	87	378,8	362	390	75,4	82,4	1436,2	227,3	0,4	0,4	81	49
	-8	2003,7	1795	87	376,9	366	387	74,3	81,9	1489,4	237	0,4	0,2	136	222
	-6	2018,6	1890	87	399,9	339	348	75,6	82	1536,3	230,5	0,4	0,5	54	98
	-4	2001,3	1801	87	377,6	360	364	73,1	80,1	1433,5	227,8	0,4	0,4	100	41

EK-A: Motor testlerinden elde edilen ve modellemede kullanılan veri kümesi

	-2	1980,3	1764	87	366,1	362	363	73,8	80,7	1440,6	233,8	0,4	0,5	54	76
	2	1968,9	1846	87	379,1	360	376	73	79,6	1534,6	241,7	0,3	0,5	82	105
	4	1949,2	1788	87	365,4	439	456	76,1	83,2	1493,4	245,7	0,4	0,4	0	0
	6	2034,6	1793	87	381,6	476	480	74,2	81,5	1689,9	265,7	0,4	0,4	33	8
	8	1975,4	1799	87	377,6	449	453	72,7	79,5	1555,3	247,5	0,4	0,4	36	43
	-10	2008,5	2008	88	422,6	381	416	70	76,5	1691,6	240,2	0,5	0,5	121	163
	-8	2036,4	2008	88	427,7	420	414	74,9	82,3	1754,1	246,1	0,3	0,5	256	100
	-6	2001,1	2013	88	421,6	383	396	76,2	84,1	1646,2	233,4	0,3	0,5	111	58
	-4	2018,5	2005	88	424,5	389	397	74,4	82	1676,2	236,9	0,5	0,5	70	154
	-2	2007,2	1999	88	421	402	408	75	82,4	1660,8	236,9	0,5	0,5	77	76
	2	1998,9	1996	88	417,9	419	443	74,3	82,1	1707,9	245,1	0,5	0,5	103	150
	4	1985,7	2008	88	417,3	453	478	75,9	84,1	1742,5	250,8	0,5	0,5	27	0
	6	1992,4	1998	88	419,2	477	487	73,9	81,4	1811,7	259,3	0,5	0,4	9	60
	8	2001,3	1996	88	418,8	480	488	74,9	82,5	1815,3	260,5	0,5	0,5	39	37
	-10	2011	2206	89	464,9	429	462	76,3	84,4	2117,2	273,4	0,6	0,6	138	160
	-8	2003,9	2193	89	460	433	448	81,4	84,8	1933,7	252,2	0,6	0,4	128	235
	-6	2006,7	2208	89	464,4	422	438	75,1	82,9	1982,7	256,2	0,6	0,6	70	118
	-4	2009,5	2207	89	465,2	424	434	74,7	82,6	1961,8	253	0,5	0,6	158	82
	-2	1990,9	2195	89	458	439	443	74,6	83,1	1897,2	248,6	0,6	0,6	78	92
	2	2002	2200	89	461,6	466	488	74,7	83,2	1935,6	260,9	0,6	0,6	126	153
	4	2003,4	2214	89	464,6	500	526	74,4	83,4	2081,5	245,2	0,6	0,6	84	94
	6	1998,4	2199	89	460,8	530	538	75	83,2	2151,8	279,2	0,6	0,6	76	56
	8	2006,4	2203	89	493,3	526	534	75,4	83,8	2241,1	290,4	0,6	0,6	54	67
	-10	1647,4	2399	90	414,2	437	455	75,8	84	1981,6	287,6	0,7	0,7	153	209
	-8	1780,3	2401	90	447,9	433	439	90,7	84,6	2088,9	281,3	0,7	0,7	0	0
	-6	1901,7	2409	90	480,1	436	443	75,7	83,4	2183,6	273	0,7	0,7	0	0
	-4	1916,3	2405	90	483	450	453	74,6	82,6	2202	272,4	0,7	0,7	0	0
	-2	1812,8	2396	90	455,1	462	462	75,3	83,6	2089,9	274,4	0,7	0,7	0	0
	2	1742,2	2400	90	438,1	464	495	73,4	82,7	2138,3	292,8	0,7	0,7	156	186
	4	1623,8	2396	90	407,7	455	504	76,2	85,2	2074,7	306,1	0,7	0,7	91	101
	6	1510,5	2400	90	379,9	483	488	73,1	81,5	2013,7	318	0,7	0,6	0	0
	8	1684,5	2400	90	423,7	523	527	75,6	83,8	2215,9	315,4	0,7	0,7	0	0

EK-A: Motor testlerinden elde edilen ve modellemede kullanılan veri kümesi

Sayfa1

LEOPARD MOTOR TESTİ EMİSYON ÖLÇÜMÜ KODLANDIRMA ve KONTROL LİSTESİ																							
1- PÜSKÜRTME AÇISI (-10, STANDARD)																							
KODU	TEST DEĞERLERİ			EMİSYON ÖLÇÜMÜ	TEST ÇIKTISI	KODU	TEST DEĞERLERİ			EMİSYON ÖLÇÜMÜ	TEST ÇIKTISI	KODU	TEST DEĞERLERİ			EMİSYON ÖLÇÜMÜ	TEST ÇIKTISI	KODU	TEST DEĞERLERİ			EMİSYON ÖLÇÜMÜ	TEST ÇIKTISI
	AÇI	DEVİR	TORK				AÇI	DEVİR	TORK				AÇI	DEVİR	TORK				AÇI	DEVİR	TORK		
1.A.1	850	200	200	1.A.1 (X)	01.01 (X)	1.B.1	850	400	400	1.B.1 (X)	01.02 (X)	1.C.1	850	600	600	1.C.1 (X)	01.03 (X)	1.D.1	850	800	800	1.D.1 (X)	01.04 (X)
1.A.2	1000			1.A.2 (X)		1.B.2	1000	400	400	1.B.2 (X)		1.C.2	1000	600	600	1.C.2 (X)		1.D.2	1000	800	800	1.D.2 (X)	
1.A.3	1200			1.A.3 (X)		1.B.3	1200	400	400	1.B.3 (X)		1.C.3	1200	600	600	1.C.3 (X)		1.D.3	1200	800	800	1.D.3 (X)	
1.A.4	1400			1.A.4 (X)		1.B.4	1400	400	400	1.B.4 (X)		1.C.4	1400	600	600	1.C.4 (X)		1.D.4	1400	800	800	1.D.4 (X)	
1.A.5	1600			1.A.5 (X)		1.B.5	1600	400	400	1.B.5 (X)		1.C.5	1600	600	600	1.C.5 (X)		1.D.5	1600	800	800	1.D.5 (X)	
1.A.6	1800			1.A.6 (X)		1.B.6	1800	400	400	1.B.6 (X)		1.C.6	1800	600	600	1.C.6 (X)		1.D.6	1800	800	800	1.D.6 (X)	
1.A.7	2000			1.A.7 (X)		1.B.7	2000	400	400	1.B.7 (X)		1.C.7	2000	600	600	1.C.7 (X)		1.D.7	2000	800	800	1.D.7 (X)	
1.A.8	2200			1.A.8 (X)		1.B.8	2200	400	400	1.B.8 (X)		1.C.8	2200	600	600	1.C.8 (X)		1.D.8	2200	800	800	1.D.8 (X)	
1.A.9	2400			1.A.9 (X)		1.B.9	2400	400	400	1.B.9 (X)		1.C.9	2400	600	600	1.C.9 (X)		1.D.9	2400	800	800	1.D.9 (X)	
1.A.10	2480			1.A.10 (X)		1.B.10	2480	400	400	1.B.10 (2)		1.C.10	2480	600	600	1.C.10 (X)		1.D.10	2480	800	800	1.D.10 (X)	
KODU	TEST DEĞERLERİ			EMİSYON ÖLÇÜMÜ	TEST ÇIKTISI	KODU	TEST DEĞERLERİ			EMİSYON ÖLÇÜMÜ	TEST ÇIKTISI	KODU	TEST DEĞERLERİ			EMİSYON ÖLÇÜMÜ	TEST ÇIKTISI	KODU	TEST DEĞERLERİ			EMİSYON ÖLÇÜMÜ	TEST ÇIKTISI
AÇI	DEVİR	TORK	AÇI			DEVİR	TORK	AÇI	DEVİR			TORK	AÇI	DEVİR	TORK			AÇI	DEVİR	TORK			
1.E.1	850	1000	1000	1.E.1 (K)	01.05 (K)	1.F.1	850	1200	1200	1.F.1 (K)	01.06 (K)	1.G.1	850	1400	1400	1.G.1 (K)	01.07 (K)	1.H.1	850	1600	1600	1.H.1 (K)	01.08 (K)
1.E.2	1000	1000	1000	1.E.2 (K)		1.F.2	1000	1200	1200	1.F.2 (K)		1.G.2	1000	1400	1400	1.G.2 (K)		1.H.2	1000	1600	1600	1.H.2 (K)	
1.E.3	1200	1000	1000	1.E.3 (K)		1.F.3	1200	1200	1200	1.F.3 (K)		1.G.3	1200	1400	1400	1.G.3 (K)		1.H.3	1200	1600	1600	1.H.3 (K)	
1.E.4	1400	1000	1000	1.E.4 (K)		1.F.4	1400	1200	1200	1.F.4 (K)		1.G.4	1400	1400	1400	1.G.4 (K)		1.H.4	1400	1600	1600	1.H.4 (K)	
1.E.5	1600	1000	1000	1.E.5 (K)		1.F.5	1600	1200	1200	1.F.5 (K)		1.G.5	1600	1400	1400	1.G.5 (K)		1.H.5	1600	1600	1600	1.H.5 (K)	
1.E.6	1800	1000	1000	1.E.6 (K)		1.F.6	1800	1200	1200	1.F.6 (K)		1.G.6	1800	1400	1400	1.G.6 (K)		1.H.6	1800	1600	1600	1.H.6 (K)	
1.E.7	2000	1000	1000	1.E.7 (K)		1.F.7	2000	1200	1200	1.F.7 (K)		1.G.7	2000	1400	1400	1.G.7 (K)		1.H.7	2000	1600	1600	1.H.7 (K)	
1.E.8	2200	1000	1000	1.E.8 (K)		1.F.8	2200	1200	1200	1.F.8 (K)		1.G.8	2200	1400	1400	1.G.8 (K)		1.H.8	2200	1600	1600	1.H.8 (K)	
1.E.9	2400	1000	1000	1.E.9 (K)		1.F.9	2400	1200	1200	1.F.9 (K)		1.G.9	2400	1400	1400	1.G.9 (K)		1.H.9	2400	1600	1600	1.H.9 (K)	
1.E.10	2480	1000	1000	1.E.10 (K)		1.F.10	2480	1200	1200	1.F.10 (K)		1.G.10	2480	1400	1400	1.G.10 (K)		1.H.10	2480	1600	1600	1.H.10 (K)	
AÇIKLAMALAR																							
1.I.1	850	1800	1800	1.I.1 (K)	01.09 (K)	1.J.1	850	2000	2000	1.J.1 (K)	01.10 (X)	1.B.10'dan 2400 rpm'de 2 adet ölçüm alındı.											
1.I.2	1000	1800	1800	1.I.2 (K)		1.J.2	1000	2000	2000	1.J.2 (X)		1 serisi bittikten sonra Kompresyon basıncı ölçüldü.											
1.I.3	1200	1800	1800	1.I.3 (K)		1.J.3	1200	2000	2000	1.J.3 (X)													
1.I.4	1400	1800	1800	1.I.4 (K)		1.J.4	1400	2000	2000	1.J.4 (X)													
1.I.5	1600	1800	1800	1.I.5 (K)		1.J.5	1600	2000	2000	1.J.5 (X)													
1.I.6	1800	1800	1800	1.I.6 (K)		1.J.6	1800	2000	2000	1.J.6 (X)													
1.I.7	2000	1800	1800	1.I.7 (K)		1.J.7	2000	2000	2000	1.J.7 (X)													
1.I.8	2200	1800	1800	1.I.8 (K)		1.J.8	2200	2000	2000	1.J.8 (K)													
1.I.9	2400	1800	1800	1.I.9 (K)		1.J.9	2400	2000	2000	1.J.9 (X)													
1.I.10	2480	1800	1800	1.I.10 (K)		1.J.10	2480	2000	2000	1.J.10 (X)													

EK-A: Motor testlerinden elde edilen ve modellemede kullanılan veri kümesi

PERIOD		MOTOR			EGZOST SIC.		KARTER KAZAN GAZ MİKTARI	MOTOR	TEST ODASI			EGZOST	BREMZE
SIRA NO	TEST SÜR. DK.	DEVİR RPM	GÜÇ kW	TORK	SAĞ (TI-23) °C	SOL (TI-24) °C	(PI-1) lt/dk	SICAKLIK MÜŞİRİ °C	SICAK. (TI-25) °C	BASINÇ (PI-9) mbar	NEM %	KARŞI BASINÇ (PI-12) mbar	SU ÇIKIŞ SICAKL. (TI-1) °C
1	9	855	17.9	200.3	104	91	90.4	87.0	25.1	1018	60.2	21	27.3
2	5	999	20.8	198.5	108	98	95.8	89.8	24.7	1018	61.7	21	28.0
3	6	1231	26.2	203.2	117	106	109.1	86.9	24.5	1018	62.0	22	28.8
4	5	1401	29.6	201.9	127	118	109.3	89.0	24.6	1018	61.8	22	29.3
5	6	1606	33.9	201.4	139	132	117.6	90.1	24.8	1018	60.8	23	29.9
6	5	1797	38.7	205.7	156	152	183.9	89.9	25.0	1018	59.5	24	30.4
7	6	1995	42.2	202.1	171	169	190.3	86.9	20.4	1020	74.8	27	28.8
8	6	2200	46.9	203.5	204	196	224.2	92.7	20.5	1020	75.2	29	29.8
9	7	2419	52.7	207.9	236	227	238.8	90.8	20.9	1020	73.4	32	31.8
10	8	2508	52.7	200.6	252	245	243.3	91.6	20.9	1020	73.3	33	34.1
11	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0	0.0
12	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0	0.0
13	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0	0.0
14	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0	0.0
15	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0	0.0
16	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0	0.0
17	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0	0.0
18	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0	0.0
19	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0	0.0
20	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0	0.0
21	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0	0.0
22	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0	0.0
23	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0	0.0
24	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0	0.0
25	0	0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0	0.0

Maksimum Motor Gücü 2200 / (580-641kW) kW	
17	0.0 x 0.000 = 0.0
Asami Devir (2440-2576 RPM)	
24	0
Rölanlı Devri (829-871 RPM)	
25	0
Spesifik Yakıt Tüketimi (254-266 gr/kWh)	
17	0.0
Sıcaklık Ön İkaz Şalteri 13:Devreye Girme (93-97°C) 16:Devreden Çıkma(83-87°C)	
13	0.0 °C
16	0.0 °C
Sıcaklık Ana İkaz Şalteri 14:Devreye Girme (102-106°C) 15:Devreden Çıkma(90-94°C)	
14	0.0 °C
15	0.0 °C
Duman Oranı (Asami 3.0 Bosch)	
22	0
Motor Çalışma Saati	
Başlangıç	0
Bitiş	0
Çalışma Sür.	0

Yak Tük= 50 Lt

CİNSİ: MB838	DENEME TARİHİ:05.10.2005	Motor Çalışma Süresi (dk) = 109
SERİ NO: 1327-07-01	PROD. NO:	07-01
SİPARİŞ NO:	DÜŞÜNCELER:	
MODEL:		
YENİLEŞTİRME TARİHİ :		

TEST EDEN

TEKNİK KONTROL

KISIM AMİRİ

ÖZGEÇMİŞ

Serkan TABAK, 08.10.1975 yılında Ankara'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Dikmen Sokullu Mehmet Paşa'da tamamladı. 1992 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Denizli Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'ne girdi ve 1997 yılında mezun oldu. 1998 – 2000 yılları arasında MNG Holding Makon Anonim Şirketi'nde asfalt santrali imalatı sektöründe makina mühendisi olarak çalıştı. 2000-2002 yılları arasında Kar-de İmalat ve Tic. Ltd. Şirketinde beton santrali imalatı sektöründe makina mühendisi olarak çalıştı. 2002 yılında, Türk Silahlı Kuvvetleri İnci Ana Bakım Merkezi Komutanlığı / Sakarya'da Makina Mühendisi Teğmen olarak göreve başladı. 2002-2004 yılları arasında T-155 Fırtına Obüsü imalatında proje subayı olarak görev yaptı. 2004-2006 yılları arasında Kalite Güvence Müdürlüğü Hasar, Test ve Kalite Kontrol Bölüm Amiri olarak görev yaptı. 2006 yılında Tezgah Makina Bakım Onarım Bölüm Amiri oldu ve halen aynı görevde bulunmaktadır.