İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR DİZEL MOTORUNUN PERFORMANS TESTİ İÇİN İKİ AŞAMALI İSTATİSTİKSEL MOTOR HARİTALAMA MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Emre ESENTÜRK
(503001404)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 Nisan 2003
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Nisan 2004

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Can ÖZSOY**
Diğer Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ahmet KUZUCU (İ.T.Ü.)**
Yrd. Doç. Dr. Vedat TEMİZ (İ.T.Ü.)

MAYIS 2004

ÖNSÖZ

Otomotiv endüstrisinde, motorların optimum koşullarda çalışmalarını sağlamak için yapılan kalibrasyon prosesi çok önemli bir yer tutmaktadır. Gelişen teknolojiye paralel olarak üretilen motorlar değişmekte ve kontrol edilebilen parametre sayısı ile birlikte motor karmaşıklığı artmaktadır. Günümüzde uygulanan kalibrasyon prosesi ise bu ihtiyaçları karşılayamamakta ve zorluğunun yanında maliyeti yüksek bir işlem haline gelmektedir. Bu nedenle bu çalışmada iki aşamalı modelleme yaklaşımı ile bir dizel motorunun performans testi için gerekli olan motor haritalama modelleri oluşturulmuştur.

Bu konuda çalışmamı öneren ve çalışmanın her safhasında beni yönlendiren, desteğini esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof.Dr. Can ÖZSOY'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmada hem teorik hem pratik her türlü konuda bana yardımcı olan Dr. Akın KUTLAR, Mak.Müh. Umut KARAHAN'a ve Mak. Yük. Müh. Doruk AKYILDIZ'a, tüm desteklerini arkamda hissettiğim başta ailem olmak üzere arkadaşlarım Kemali SEVER, Ali ERSUDAŞ ve Ayşe ŞİŞMAN'a en içten teşekkürlerimi iletirim.

Mayıs 2004 Emre ESENTÜRK

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
KISALTMALAR	**v**
TABLO LİSTESİ	**vi**
ŞEKİL LİSTESİ	**viii**
SEMBOL LİSTESİ	**xvi**
ÖZET	**xvii**
SUMMARY	**xviii**
1. GİRİŞ	**1**
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	**1**
2. KALİBRASYON PROSESİ VE MEVCUT PROBLEMLER	**3**
2.1. Kalibrasyon Prosesi	**3**
2.1.1. Veri Toplama	5
2.1.2. Veri Eleme	7
2.1.3. Regresyon Analizi (Model Uydurma)	8
2.1.4. Optimizasyon ve Kalibrasyon	10
2.2. Mevcut Motor Haritalama Yaklaşımındaki Problemler	**12**
2.2.1. Yanlış Tanım Bölgesi Seçimi	12
2.2.2. Uydurulan Modelin Yorumlanması	13
2.2.3. Modelin Genişletilmesi	16
2.2.4. Verinin Hiyerarşik Yapısı	16
3. MOTOR HARİTALAMA İÇİN İKİ AŞAMALI MODEL YAKLAŞIMI	**17**
3.1. Giriş	**17**
3.2. Geometrik Yorumlama	**18**
3.3. Model Açıklaması	**18**
3.4. Dizel Motorları için Kullanılan Lokal ve Global Model Tipleri	**25**
3.4.1. Radyal Tabanlı Fonksiyonlar	25
3.4.1.1. Gauss Merkezcil RBF	27
3.4.1.2. İnce Tabakalı Oluk RBF	28
3.4.1.3. Lojistik Tabanlı Fonksiyon	28
3.4.1.4. Çoklu Kuadratik RBF	29
3.4.1.1. Karşılıklı Çoklu Kuadratik RBF	30
3.4.2. Polinomlar	31
3.4.3. Karma Radyal Tabanlı Fonksiyonlar	32
3.5. Model Tipi Seçiminde Kullanılan İstatistik Parametreler	**32**
3.5.1. Lokal Model Tipi Seçiminde Kullanılan İstatistik Parametreler	32
3.5.2. Global Model Tipi Seçiminde Kullanılan İstatistik Parametreler	35
3.5.2.1. Küçük Örnek Akaike Bilgi Ölçütü	35
3.5.2.2. Düzeltilmiş R^2	36

4. UYGULAMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **39**

4.1. Uygulama Verisinin Tanıtılması **39**
4.2. İki Aşamalı Modelleme Blok Diyagramı ve Açıklaması **39**
4.3. Tork Cevabının Modellenmesi **41**
4.3.1. Lokal Model Seçim Sonuçları 41
4.3.2. Global Model Seçim Sonuçları 44
4.3.3. İki Aşamalı Model Sonuçları 48
4.4. Egzost Sıcaklığı Cevabının Modellenmesi **51**
4.4.1. Lokal Model Seçim Sonuçları 51
4.4.2. Global Model Seçim Sonuçları 55
4.4.3. İki Aşamalı Model Sonuçları 59
4.5. Silindir İçindeki En Yüksek Basınç Cevabının Modellenmesi **61**
4.5.1. Lokal Model Seçim Sonuçları 61
4.5.2. Global Model Seçim Sonuçları 64
4.5.3. İki Aşamalı Model Sonuçları 67
4.6. Azot Oksid Emisyonu Cevabının Modellenmesi **70**
4.6.1. Lokal Model Seçim Sonuçları 70
4.6.2. Global Model Seçim Sonuçları 73
4.6.3. İki Aşamalı Model Sonuçları 76
4.7. Değişken Geometrili Turbo Hızı Cevabının Modellenmesi **79**
4.7.1. Lokal Model Seçim Sonuçları 79
4.7.2. Global Model Seçim Sonuçları 82
4.7.3. İki Aşamalı Model Sonuçları 86
4.8. Egzost Gazı Yakıt Fazlalık Oranı Cevabının Modellenmesi **88**
4.8.1. Lokal Model Seçim Sonuçları 88
4.8.2. Global Model Seçim Sonuçları 91
4.8.3. İki Aşamalı Model Sonuçları 94
4.9. Silindir İçindeki Artık Gaz Oranı Cevabının Modellenmesi **96**
4.9.1. Lokal Model Seçim Sonuçları 96
4.9.2. Global Model Seçim Sonuçları 99
4.9.3. İki Aşamalı Model Sonuçları 102

5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER **105**

KAYNAKLAR **108**

ÖZGEÇMİŞ **110**

KISALTMALAR

SPK, S	: Ateşleme Avansı (püskürtme zamanı)
TQ	: Tork
RPM, N	: Motor Dönme Hızı
LOAD, L	: Motor yükü
EGR	: Egzost Gazı Geri Dönüşüm Oranı
AFR, A	: Hava Yakıt Karışımı Oranı
RBF	: Radyal Tabanlı Fonksiyon
AIC_C	: Küçük Örnek Akaike Bilgi Ölçütü
Beta_1	: Lokal model sabit katsayısı
Beta_soi	: Lokal model soi terimi katsayısı
Beta_soi^2	: Lokal model soi^2 terimi katsayısı
soi	: Püskürtme zamanı (Ateşleme avansı)
measrpm	: Motor hızı
fuelpress	: Yakıt basıncı
basefuelmass	: Yakıt miktarı
grackmea	: Değişken geometrili turbo kelebeği açıklık oranı
egrlft	: Egzost gazı geri dönüşüm valfi
eqrexh	: Eşitlik oranı
pkpress	: Silindir içindeki en yüksek basınç
exhtemp	: Egzost sıcaklığı
NO_x	: Azot oksid emisyonu
egrmf	: Egzost gazı geri dönüşüm oranı
RMSE	: Hataların karelerinin ortalamasının kare kökü
PRESS	: Öngörü hatalarının karelerinin ortalamasının kare kökü

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1 : Bir motor haritalama planını oluşturan 5 grupluk ateşleme avansı tarama testleri 6

Tablo 4.1 : Tork çıkışı lokal model tipleri istatistiksel verileri 44

Tablo 4.2 : Tork çıkışı Beta_1 cevap özelliği için istatistiksel veriler 46

Tablo 4.3 : Tork çıkışı Beta_soi cevap özelliği için istatistiksel veriler 46

Tablo 4.4 : Tork çıkışı Beta_soi^2 cevap özelliği için istatistiksel veriler 48

Tablo 4.5 : Egzost sıcaklığı çıkışı lokal model tipleri istatistiksel verileri 53

Tablo 4.6 : Egzost sıcaklığı çıkışı Beta_1 cevap özelliği için istatistiksel veriler 55

Tablo 4.7 : Egzost sıcaklığı çıkışı Beta_soi cevap özelliği için istatistiksel veriler 56

Tablo 4.8 : Egzost sıcaklığı çıkışı Beta_soi^2 cevap özelliği için istatistiksel veriler 58

Tablo 4.9 : Silindir içindeki en yüksek basınç çıkışı lokal model tipleri istatistiksel verileri 63

Tablo 4.10 : Silindir içindeki en yüksek basınç çıkışı Beta_1 cevap özelliği için istatistiksel veriler 65

Tablo 4.11 : Silindir içindeki en yüksek basınç çıkışı Beta_soi cevap özelliği için istatistiksel veriler 66

Tablo 4.12 : Silindir içindeki en yüksek basınç çıkışı Beta_soi^2 cevap özelliği için istatistiksel veriler 67

Tablo 4.13 : Azot oksid emisyonu çıkışı lokal model tipleri istatistiksel verileri 72

Tablo 4.14 : Azot oksid emisyonu çıkışı Beta_1 cevap özelliği için istatistiksel veriler 75

Tablo 4.15 : Azot oksid emisyonu çıkışı Beta_soi cevap özelliği için istatistiksel veriler 76

Tablo 4.16 : Azot oksid emisyonu çıkışı Beta_soi^2 cevap özelliği için istatistiksel veriler 77

Tablo 4.17 : Değişken geometrili turbo hızı çıkışı lokal model tipleri istatistiksel verileri 82

Tablo 4.18 : Değişken geometrili turbo hızı çıkışı Beta_1 cevap özelliği için istatistiksel veriler 85

Tablo 4.19 : Değişken geometrili turbo hızı çıkışı Beta_soi cevap özelliği için istatistiksel veriler 86

Tablo 4.20 : Değişken geometrili turbo hızı çıkışı Beta_soi^2 cevap özelliği için istatistiksel veriler 87

Tablo 4.21 : Egzost gazı yakıt fazlalık oranı çıkışı lokal model tipleri istatistiksel verileri 92

Tablo 4.22 : Egzost gazı yakıt fazlalık oranı çıkışı Beta_1 cevap özelliği için istatistiksel veriler 95

Tablo 4.23 : Egzost gazı yakıt fazlalık oranı çıkışı Beta_soi cevap özelliği için istatistiksel veriler 95

Tablo 4.24 : Egzost gazı yakıt fazlalık oranı çıkışı Beta_soi^2 cevap özelliği için istatistiksel veriler 97

Tablo 4.25 : Silindir içindeki artık gaz oranı çıkışı lokal model tipleri istatistiksel verileri 101

Tablo 4.26 : Silindir içindeki artık gaz oranı çıkışı Beta_1 cevap özelliği için istatistiksel veriler 104

Tablo 4.27 : Silindir içindeki artık gaz oranı çıkışı Beta_soi cevap özelliği için istatistiksel veriler 104

Tablo 4.28 : Silindir içindeki artık gaz oranı çıkışı Beta_soi^2 cevap özelliği için istatistiksel veriler 106

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: Teorik bir motor kontrolör tablosu 2

Şekil 2.1: Ateşleme sırasında yanma odasının kesiti ve ateşleme avansı 4

Şekil 2.2: Tipik bir ateşleme avansı taraması testindeki tork cevabı 7

Şekil 2.3: MBT ile motor parametreleri :RPM, LOAD ve AFR arasında olması beklenen ilişki 15

Şekil 3.1: İki aşamalı modelleme yaklaşımı ve veri toplama yönteminin geometrik gösterimi 19

Şekil 3.2: Radyal Tabanlı Fonksiyon (($\mu_{1,2,3}$ =5;σ_1 =2, σ_2 =1, σ_3 =0.5)) 26

Şekil 3.3: Gauss Merkezcil Radyal Tabanlı Fonksiyon 27

Şekil 3.4: İnce Tabakalı Oluk Radyal Tabanlı Fonksiyon 28

Şekil 3.5: Lojistik Radyal Tabanlı Fonksiyon 29

Şekil 3.6: Çoklu Kuadratik Radyal Tabanlı Fonksiyon 29

Şekil 3.7: Karşılıklı Çoklu Kuadratik Radyal Tabanlı Fonksiyon 30

Şekil 3.8: Derecelerine göre bazı polinom eğrileri 31

Şekil 4.1: İki aşamalı model blok diyagramı 39

Şekil 4.2: 11. test için lokal model grafiği 41

Şekil 4.3: 14. test için lokal model grafiği 42

Şekil 4.4: 52. test için lokal model grafiği 43

Şekil 4.5: 39. test için lokal model grafiği 43

Şekil 4.6: Beta_1 cevap özelliği grafiği 45

Şekil 4.7: Beta_soi cevap özelliği grafiği 47

Şekil 4.8: Beta_soi^2 cevap özelliği grafiği 47

Şekil 4.9: 1. test için iki-aşamalı model grafiği 48

Şekil 4.10: 2. test için iki-aşamalı model grafiği 48

Şekil 4.11: 3. test için iki-aşamalı model grafiği 49

Şekil 4.12: 4. test için iki-aşamalı model grafiği 49

Şekil 4.13: 5. test için iki-aşamalı model grafiği 49

Şekil 4.14: 6. test için iki-aşamalı model grafiği 49

Şekil 4.15: 7. test için iki-aşamalı model grafiği 49

Şekil 4.16: 8. test için iki-aşamalı model grafiği 49

Şekil 4.17: grackmea ve egrlft girişlerine göre tork çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 50

Şekil 4.18: grackmea ve measrpm girişlerine göre tork çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 50

Şekil 4.19: grackmea ve fuelpress girişlerine göre tork çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 50

Şekil 4.20: measrpm ve fuelpress girişlerine göre tork çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 50

Şekil 4.21: soi ve fuelpress girişlerine göre tork çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 50

Şekil 4.22: soi ve measrpm girişlerine göre tork çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 50

Şekil 4.23: 5. test için lokal model grafiği 51

Şekil 4.24: 20. test için lokal model grafiği 52

Şekil 4.25: 53. test için lokal model grafiği 54

Şekil 4.26: 37. test için lokal model grafiği 54

Şekil 4.27: Egzost sıcaklığı çıkışı Beta_1 cevap özelliği grafiği 56

Şekil 4.28: Egzost sıcaklığı çıkışı Beta_soi cevap özelliği grafiği 57

Şekil 4.29: Egzost sıcaklığı çıkışı Beta_soi^2 cevap özelliği grafiği 58

Şekil 4.30: 1. test için iki-aşamalı model grafiği 59

Şekil 4.31: 4. test için iki-aşamalı model grafiği 59

Şekil 4.32: 5. test için iki-aşamalı model grafiği 59

Şekil 4.33: 6. test için iki-aşamalı model grafiği 59

Şekil 4.34: 8. test için iki-aşamalı model grafiği 60

Şekil 4.35: 9. test için iki-aşamalı model grafiği 60

Şekil 4.36: 15. test için iki-aşamalı model grafiği 60

Şekil 4.37: 25. test için iki-aşamalı model grafiği 60

Şekil 4.38: 32. test için iki-aşamalı model grafiği 60

Şekil 4.39: 40. test için iki-aşamalı model grafiği 60

Şekil 4.40: soi ve measrpm girişlerine göre egzost sıcaklığı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 61

Şekil 4.41: fuelpress ve measrpm girişlerine göre egzost sıcaklığı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 61

Şekil 4.42: grackmea ve fuelpress girişlerine göre egzost sıcaklığı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 61

Şekil 4.43: grackmea ve basefuelmass girişlerine göre egzost sıcaklığı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 61

Şekil 4.44: egrlft ve basefuelmass girişlerine göre egzost sıcaklığı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 61

Şekil 4.45: grackmea ve egrlft girişlerine göre egzost sıcaklığı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 61

Şekil 4.46: 20. test için lokal model grafiği 62

Şekil 4.47: 52. test için lokal model grafiği 63

Şekil 4.48: 37. test için lokal model grafiği 64

Şekil 4.49: 33. test için lokal model grafiği 64

Şekil 4.50: Silindir içindeki en yüksek basınç çıkışı Beta_1 cevap özelliği grafiği 66

Şekil 4.51: Silindir içindeki en yüksek basınç çıkışı Beta_soi cevap özelliği grafiği 67

Şekil 4.52: Silindir içindeki en yüksek basınç çıkışı $Beta_soi^2$ cevap özelliği grafiği 68

Şekil 4.53: 1. test için iki-aşamalı model grafiği 69

Şekil 4.54: 3. test için iki-aşamalı model grafiği 69

Şekil 4.55: 5. test için iki-aşamalı model grafiği 69

Şekil 4.56: 9. test için iki-aşamalı model grafiği 69

Şekil 4.57: 10. test için iki-aşamalı model grafiği 69

Şekil 4.58: 12. test için iki-aşamalı model grafiği 69

Şekil 4.59: 13. test için iki-aşamalı model grafiği 70

Şekil 4.60: 14. test için iki-aşamalı model grafiği 70

Şekil 4.61: 15. test için iki-aşamalı model grafiği 70

Şekil 4.62: 16. test için iki-aşamalı model grafiği 70

Şekil 4.63: 17. test için iki-aşamalı model grafiği 70

Şekil 4.64: 48. test için iki-aşamalı model grafiği 70

Şekil 4.65: grackmea ve egrlft girişlerine göre silindir en yüksek basıncı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 71

Şekil 4.66: basefuelmass ve egrlft girişlerine göre silindir en yüksek basıncı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 71

Şekil 4.67: soi ve fuelpress girişlerine göre egzost silindir en yüksek basıncı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 71

Şekil 4.68: grackmea ve measrpm girişlerine göre silindir en yüksek basıncı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 71

Şekil 4.69: fuelpress ve measrpm girişlerine göre silindir en yüksek basıncı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 71

Şekil 4.70: egrlft ve fuelpress girişlerine göre silindir en yüksek basıncı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 71

Şekil 4.71: 24. test için lokal model grafiği 72

Şekil 4.72: 26. test için lokal model grafiği 73

Şekil 4.73: 37. test için lokal model grafiği 74

Şekil 4.74: 33. test için lokal model grafiği 74

Şekil 4.75: Azot oksid emisyonu çıkışı Beta_1 cevap özelliği grafiği 76

Şekil 4.76: Azot oksid emisyonu çıkışı Beta_soi cevap özelliği grafiği 77

Şekil 4.77: Azot oksid emisyonu çıkışı Beta_soi^2 cevap özelliği grafiği 78

Şekil 4.78: 1. test için iki-aşamalı model grafiği 79

Şekil 4.79: 3. test için iki-aşamalı model grafiği 79

Şekil 4.80: 11. test için iki-aşamalı model grafiği 79

Şekil 4.81: 15. test için iki-aşamalı model grafiği 79

Şekil 4.82: 16. test için iki-aşamalı model grafiği 79

Şekil 4.83: 17. test için iki-aşamalı model grafiği 79

Şekil 4.84: 32. test için iki-aşamalı model grafiği 80

Şekil 4.85: 44. test için iki-aşamalı model grafiği 80

Şekil 4.86: 42. test için iki-aşamalı model grafiği 80

Şekil 4.87: 46. test için iki-aşamalı model grafiği 80

Şekil 4.88: 59. test için iki-aşamalı model grafiği 80

Şekil 4.89: 62. test için iki-aşamalı model grafiği 80

Şekil 4.90: grackmea ve egrlft girişlerine göre azot oksid emisyonu çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 81

Şekil 4.91: basefuelmass ve egrlft girişlerine göre azot oksid emisyonu çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 81

Şekil 4.92: soi ve fuelpress girişlerine göre egzost azot oksid emisyonu çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 81

Şekil 4.93: grackmea ve measrpm girişlerine göre azot oksid emisyonu çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 81

Şekil 4.94: fuelpress ve measrpm girişlerine göre azot oksid emisyonu çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 81

Şekil 4.95: egrlft ve fuelpress girişlerine göre azot oksid emisyonu çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 81

Şekil 4.96: 20. test için lokal model grafiği 82

Şekil 4.97: 27. test için lokal model grafiği 83

Şekil 4.98: 33. test için lokal model grafiği 84

Şekil 4.99: 38. test için lokal model grafiği 84

Şekil 4.100: Değişken geometrili turbo hızı çıkışı Beta_1 cevap özelliği grafiği 86

Şekil 4.101: Değişken geometrili turbo hızı çıkışı Beta_soi cevap özelliği grafiği 87

Şekil 4.102: Değişken geometrili turbo hızı çıkışı $Beta_soi^2$ cevap özelliği grafiği 88

Şekil 4.103: 1. test için iki-aşamalı model grafiği 89
Şekil 4.104: 3. test için iki-aşamalı model grafiği 89
Şekil 4.105: 5. test için iki-aşamalı model grafiği 89
Şekil 4.106: 9. test için iki-aşamalı model grafiği 89
Şekil 4.107: 12. test için iki-aşamalı model grafiği 89
Şekil 4.108: 13. test için iki-aşamalı model grafiği 89
Şekil 4.109: 27. test için iki-aşamalı model grafiği 90
Şekil 4.110: 25. test için iki-aşamalı model grafiği 90
Şekil 4.111: 42. test için iki-aşamalı model grafiği 90
Şekil 4.112: 51. test için iki-aşamalı model grafiği 90
Şekil 4.113: 55. test için iki-aşamalı model grafiği 90
Şekil 4.114: 60. test için iki-aşamalı model grafiği 90
Şekil 4.115: grackmea ve egrlft girişlerine göre değişken geometrili turbo hızı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 91
Şekil 4.116: soi ve grackmea girişlerine göre değişken geometrili turbo hızı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 91
Şekil 4.117: grackmea ve fuelpress girişlerine göre egzost değişken geometrili turbo hızı veren iki-aşamalı model yüzeyi 91
Şekil 4.118: fuelpress ve measrpm girişlerine göre değişken geometrili turbo hızı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 91
Şekil 4.119: fuelpress ve egrlft girişlerine göre değişken geometrili turbo hızı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 91
Şekil 4.120: egrlft ve soi girişlerine göre değişken geometrili turbo hızı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 91
Şekil 4.121: 1. test için lokal model grafiği 92
Şekil 4.122: 26. test için lokal model grafiği 93
Şekil 4.123: 45. test için lokal model grafiği 94
Şekil 4.124: 54. test için lokal model grafiği 94
Şekil 4.125: Egzost gazı yakıt fazlalık oranı çıkışı Beta_1 cevap özelliği grafiği 96
Şekil 4.126: Egzost gazı yakıt fazlalık oranı çıkışı Beta_soi cevap özelliği grafiği .. 96

Şekil 4.127: Egzost gazı yakıt fazlalık oranı çıkışı Beta_soi^2 cevap özelliği grafiği 97

Şekil 4.128: 1. test için iki-aşamalı model grafiği 98

Şekil 4.129: 4. test için iki-aşamalı model grafiği 98

Şekil 4.130: 5. test için iki-aşamalı model grafiği 98

Şekil 4.131: 10. test için iki-aşamalı model grafiği 98

Şekil 4.132: 12. test için iki-aşamalı model grafiği 99

Şekil 4.133: 14. test için iki-aşamalı model grafiği 99

Şekil 4.134: 15. test için iki-aşamalı model grafiği 99

Şekil 4.135: 35. test için iki-aşamalı model grafiği 99

Şekil 4.136: 34. test için iki-aşamalı model grafiği 99

Şekil 4.137: 53. test için iki-aşamalı model grafiği 99

Şekil 4.138: soi ve egrlft girişlerine göre değişken egzost gazı yakıt fazlalık oranı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 100

Şekil 4.139: measrpm ve egrlft girişlerine göre egzost gazı yakıt fazlalık oranı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 100

Şekil 4.140: grackmea ve basefuelmass girişlerine göre egzost gazı yakıt fazlalık oranı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 100

Şekil 4.141: fuelpress ve soi girişlerine göre egzost gazı yakıt fazlalık oranı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi..... 100

Şekil 4.142: fuelpress ve grackmea girişlerine göre egzost gazı yakıt fazlalık oranı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 100

Şekil 4.143: grackmea ve measrpm girişlerine göre egzost gazı yakıt fazlalık oranı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi 100

Şekil 4.144: 5. test için lokal model grafiği..... 101

Şekil 4.145: 21. test için lokal model grafiği..... 102

Şekil 4.146: 32. test için lokal model grafiği..... 103

Şekil 4.147: 46. test için lokal model grafiği..... 103

Şekil 4.148: Silindir içindeki artık gaz oranı çıkışı Beta_1 cevap özelliği grafiği..... 105

Şekil 4.149: Silindir içindeki artık gaz oranı çıkışı Beta_soi cevap özelliği grafiği..... 105

Şekil 4.150: Silindir içindeki artık gaz oranı çıkışı Beta_soi^2 cevap özelliği grafiği 107

Şekil 4.151: 15. test için iki-aşamalı model grafiği 107

Şekil 4.152: 38. test için iki-aşamalı model grafiği 107

Şekil 4.153: 43. test için iki-aşamalı model grafiği 108

Şekil 4.154: 47. test için iki-aşamalı model grafiği 108

Şekil 4.155: 52. test için iki-aşamalı model grafiği 108

Şekil 4.156: 59. test için iki-aşamalı model grafiği 108

Şekil 4.157: 60. test için iki-aşamalı model grafiği 108

Şekil 4.158: 65. test için iki-aşamalı model grafiği 108

Şekil 4.159: grackmea ve measrpm girişlerine göre silindir içindeki artık gaz oranı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi..... 109

Şekil 4.160: fuelpress ve measrpm girişlerine göre silindir içindeki artık gaz oranı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi..... 109

Şekil 4.161: egrlft ve fuelpress girişlerine göre silindir içindeki artık gaz oranı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi..... 109

Şekil 4.162: fuelpress ve soi girişlerine göre silindir içindeki artık gaz oranı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi..... 109

Şekil 4.163: soi ve egrlft girişlerine göre değişken silindir içindeki artık gaz oranı veren iki-aşamalı model yüzeyi 109

Şekil 4.164: fuelpress ve basefuelmass girişlerine göre silindir içindeki artık gaz oranı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi..... 109

SEMBOL LİSTESİ

θ	**:** Motor Parametre Vektörü
ε	**:** Testler içindeki normal olarak dağıtılmış rastgele hata vektörü
γ	**:** Testler arasındaki normal olarak dağıtılmış rastgele hata vektörü
y	**:** Lokal cevap
m	**:** Her bir test içindeki değişim sayısı
i	**:** Yaplan test sayısı
j	**:** Her testte yapılan değişim
s	**:** Ateşleme avansı
C	**:** Kovaryans matrisi
ξ	**:** Dağılım parametreleri vektörü
e	**:** Hata vektörü
ϕ	**:** Gecikme katsayısı
s	**:** Toplam giriş sayısı
p	**:** Cevap özellikleri vektörü
β	**:** Global parametre vektörü
r	**:** Test sayısı
X	**:** Motor çalışma koşullarını içeren vektör
D	**:** Değişim kovaryans matrisi
P	**:** n tane cevap özelliği vektörünün oluşturduğu matris
Z	**:** n tane X vektörünün oluşturduğu matris

BİR DİZEL MOTORUNUN PERFORMANS TESTİ İÇİN İKİ AŞAMALI İSTATİSTİKSEL MOTOR HARİTALAMA MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Son yıllarda otomotiv endüstrisinde, teknolojinin hızlı gelişimine ve çevre ile ilgili kanuni kısıtların artmasına paralel olarak doğan ihtiyaçları karşılamak için daha kompleks motorlar üretilmektedir. Bu gelişmeler motorun optimum şartlarda çalışmasını sağlayan elektronik kontrol ünitelerinin kalibrasyonunu ön plana çıkarmaktadır. Bu kalibrasyonun en önemli adımlarından biri de motor haritalama modellerinin oluşturulmasıdır. Motor haritalama, motor davranışını, ayarlanabilir motor parametrelerinin bir fonksiyonu olarak modelleme prosesidir. Motor haritalamanın temel kullanım alanlarından biri de yakıt ekonomisini kanuni emisyon limitlerine göre optimize etmekte kullanılan elektronik kontrol ünitelerinin kalibrasyonudur. Motor elektronik kontrolörlerinde bulunan lookup tabloları, tam bir kalibrasyon sağlamak amacıyla, hemen hemen her motor çalışma koşulunda yapılmak zorunda kalınan motor testlerinden elde edilen veri ile doğrudan kalibre edilmektedir. Motorların karmaşıklığının artması, giriş değişkenlerini arttırmakta ve bu da yapılması gereken test sayısının üssel olarak artması ile sonuçlanmaktadır. Aynı zamanda otomotiv endüstrisinde, motorların daha az prototip kullanılarak test ve kalibrasyonu için harcanan zamanın azaltılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Motor haritalama için kullanılan mevcut yaklaşımla aşılamayacak bu problemlere, iki-aşamalı modelleme yaklaşımının motor kalibrasyon prosesine adapte edilmesi ile büyük oranda çözüm bulunmuştur. Bu yeni modelleme yaklaşımında ana fikir problemi iki aşamada ele almaktır. İlk aşama eğrileri ateşleme avansı değişimlerine uydurmayı, ikinci aşama ise bu eğrilerin diğer motor parametrelerinin bir fonksiyonu olarak değişiminin modellenmesini içerir. Bunun yanında verinin hiyerarşik yapısı için en uygun yaklaşımın iki-aşamalı modelleme ile yapılabileceği konusunda bir çok çalışma yapılmıştır. Bu yaklaşım ayrıca verinin toplanmasında birçok grafiksel ve istatistiksel standart deney metodunun uygulanabilirliğini sağlamaktadır.

Çalışmanın amacı, motor haritalama için geliştirilen bu yeni modelleme yaklaşımının kalibrasyon prosesinde mevcut problemlere getirdiği çözümleri incelemek ve bunların avantajlarını bir uygulama aracılığıyla tartışmaktır.

Belirlenen amaçları gerçekleştirme maksadıyla, Matlab® The Model Based Calibration Toolbox® 2.0 kullanılmış olup bir dizel motor için bazı motor haritalama modelleri oluşturulmuştur. Lokal modelin girişi olarak püskürtme avansı, global modelin girişleri ise motor hızı, yakıt basınç ve miktarı, değişken geometrili türbin kanat konumu ve egzost gazı geri dönüşüm oranı valfi konumu olarak belirlenmiş ve iki farklı lokal model için ihtiyaç duyulan çıkışların istatistiksel modeli elde edilerek hangi sonuç modelin, daha yüksek öngörüsel güce sahip olduğu belirlenmiştir. Yeni metod, bu çalışmada basit model kullanılmış olsa bile, çok iyi öngörüler sağlamıştır. Model seçimi, model doğruluğu ve hata bulma gibi alanların kolay bir şekilde yorumlanabilir olduğunu göstermiştir. Böylece ampirik modellemenin verinin hiyerarşik yapısına daha uygun olduğu da belirlenmiştir.

THE DEVELOPMENT OF TWO STAGE STATISTICAL ENGINE MAPPING MODELS FOR PERFORMANCE TEST OF A DIESEL ENGINE

SUMMARY

In recent years the automotive industry need to produce more complex vehicle motors according to developments in technology and increasing legislative limits about environment. These developments, trigger the importance of the calibration of electronic control units which is used to run the engine in optimal operating conditions important. Engine mapping models constitute a significant step of this calibration process. A primary application of engine mapping is the calibration of electronic engine controllers used to optimize the fuel efficiency of the engine that is subjected to legislative limits on the emissions. Lookup tables in engine controllers have historically been calibrated directly from the test data, forcing engine tests to be run at almost all operating points in order to achive a full calibration. As engines are becoming more complicated, the number of input variables increases and the number of tests required grows exponentially. At the same time, in automotive industry, to test and calibrate engines in less time, using fewer prototypes is become a major requirement.

These problems that can not be solved by present approach to engine mapping, can be overcame with the introduction of two-stage modeling approach to engine calibration process. In this new modeling approach, the key idea is to consider the problem in two stages. The first stage of modeling involves fitting of curves to the spark sweeps and second stage involves modeling the way these curves change as a function of the other engine parameters. In addition, there exists research about the best approach to modeling the data that have a hierarchical nature, is two-stage modeling. Furthermore, this approach provides graphical and statistical standart design of experiment methods for acquiring data.

The aim of the work is to find out the solutions provided by this approach to engine mapping and discuss the advantages of this approach by presenting an application.

In order to carry out the stated objectives, Matlab® The Model Based Calibration Toolbox® 2.0 is used to construct required engine mapping models for a diesel engine. The injection advance as the input of local model and engine speed, fuel pressure and mass, the position of exhaust recirculation gas valve, the position of the blades in the turbine as the inputs of the global model are identified. Through constructing statistical model of required outputs for two distinct local model type, which resulting model would more predictive power is found out. The new method, even with the simple model used here, provides very good predictions and this is a major justification of this approach. Areas such as model selection, model validation and diagnostics are shown to be easily interpretable. Thus empirical modeling is shown to be suitable for this kind of hierarchically structured data. Exemplifying this approach by using a small designed dataset shows how this two-stage model simplifies the data analysis.

1. GİRİŞ

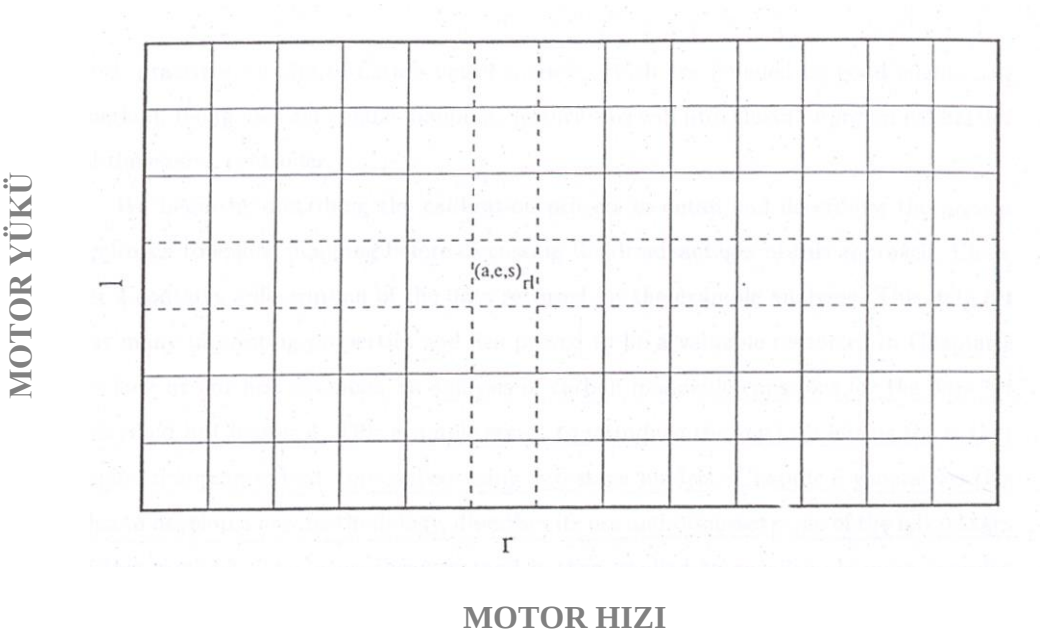
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı

Motor haritalama [15] motor davranışını, ayarlanabilir motor parametrelerinin fonksiyonu olarak modelleme prosesidir; araç sürüldükçe değişen miktarlar açısından motorun çıkışlarını öngörmektir. Örneğin, motor hızı ve yakıt karışımı değiştikçe yayılan karbon monoksid miktarı nasıl değişir.

Motor haritalama prosesinin temel kullanımlarından biri, motorun belli sınırlar içerisinde çalışmasını sağlarken motorun yakıt verimini optimize eden elektronik motor kontrolörlerinin kalibrasyonudur. Bu limitler, yasalar tarafından, örneğin belli egzost gazlarının emisyon limitleri, veya motorun çalışma koşulları tarafından, örneğin egzost gazı sıcaklığının konvertöre bir zarar vermesini engellemek amacıyla belli bir değer altında kalması gerekliliği, belirlenir.

Motor kontrolörünün ana ilkesi, basit olarak ifade edilirse, motor hızı ve yükü ile indekslenmiş iki-boyutlu bir dizidir. Burada yük, motora giren hava miktarının bir ölçüsüdür. Tablonun hücreleri en basit anlamda üç kalibrasyon parametresinin değerlerini içermektedir ve bunlar şu üç kalibrasyon parametresi olabilir: hava-yakıt karışım oranı, egzost gazı geri dönüşüm oranı ve ateşleme zamanıdır. Bu parametrelerin değerleri motor kontrolörü tarafından her motor hızı ve yükü için ayarlanacaktır.(bakınız Şekil 1.1)

Motor kontrolörünün kalibrasyonu, bu tablonun ayrıntılı olarak doldurulması anlamına gelmektedir. Optimizasyon problemi, karmaşık kriterler ve bazı karmaşık kısıtlar gözetilerek en iyi kalibrasyonu bulmaktır. Motor haritalama modellerine bu kriterlere göre kalibrasyonu değerlendirme aşamasında ihtiyaç duyulur. Eğer mümkün olabilecek her kalibrasyonu değerlendirebilirsek, en iyi olan belirlenebilir. Pratikte ise mümkün olan her kalibrasyonu değerlendirmek imkansızdır ve optimizasyon teknikleri kullanılır. Fakat , önceden belirlenmiş kriterlere ve kısıtlara göre motor kontrolör kalibrasyonunun değerlendirebilmek için motor haritalama modeli ihtiyacını değiştirmez.



Şekil 1.1: Teorik bir motor kontrolör tablosu

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

Ana fikir motor haritalama modelini iki aşamada yorumlamaktır. Bu veriyi anlaşılır bir biçimde yorumlamaya ve motor haritalama modelini çok yönlü bir şekilde kullanma olanağına izin verir. Bu iki-aşamalı model, veri toplama metoduyla yakından uyumludur ve modele iki farklı hata terimi getirir. İki aşamalı model yaklaşımı, bir tekrarlamalı ölçüm modeli formudur, ve bu nedenle aynı zamanda çok seviyeli bir modeldir.

2. MOTOR KALİBRASYON PROSESİ VE MEVCUT PROBLEMLER

2.1. Kalibrasyon Prosesi

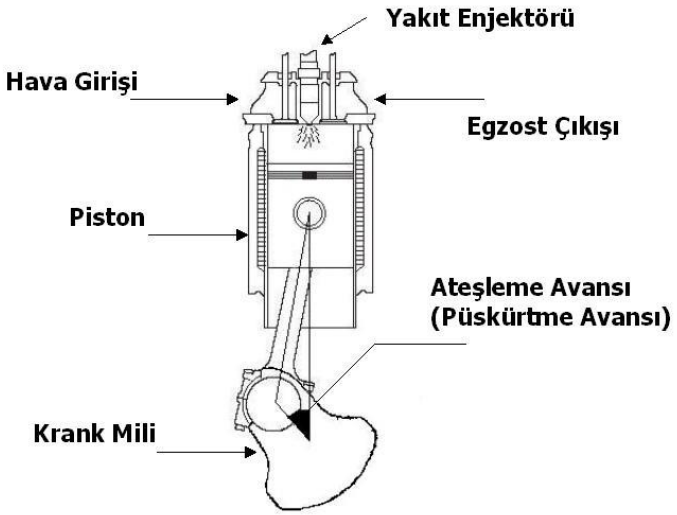
Motor haritalamanın ana uygulaması, elektronik motor kontrolörünün kalibrasyonu için gerekli olan ampirik modelleri sağlamaktır.

Motor kontrolörü look-up tabloları içerir ve ana görevi ateşleme avansını ve yanma odasına giren hava-yakıt karışımını, yakıt ekonomisini optimize edecek şekilde kontrol etmektir. Bu adaptif geri beslemeye dayanan kontrol sisteminden farklı olarak motor kontrolüne hafıza tabanlı bir yaklaşımdır.

Hafıza tabanlı sistemlerin, adaptif sistemlere göre avantajlarından bir tanesi motorun çıkışını ölçmek gereksinimini duymamalarıdır. Ayrıca yasalara göre emisyon testlerinin formu ve yakıt ekonomisinin hesaplama yöntemi adaptif 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 gibi yaşlanma etkilerine karşı güncelleyemez.

Basitleştirilmiş bir motor çevriminde, kontrolör, motorun dönme hızını (RPM) ve her emme strokunda yanma odasına giren hava miktarını (LOAD) ölçecek, ve sonra programlanmış tabloları aracılığıyla kalibrasyon parametrelerini ayarlayacaktır. Kalibrasyon parametreleri motor kontrolörü tarafından kontrol edilebilen motorun çalışma koşullarının bazı yönleridir. Kalibrasyon parametrelerine örnek olarak, hava-yakıt karışımı (AFR), egzost gazı geri dönüşüm oranı (EGR) ve ateşleme avansı (SPARK) verilebilir. Fakat eğer kalibrasyon prosesi, eklenecek karmaşıklığı kaldırabilirse, kalibrasyon parametresi olarak kullanılabilecek daha bir çok parametre vardır, değişken valf zamanlaması buna bir örnek olarak verilebilir.

Ateşleme avansı, ateşleme yapıldığında krank milinin dönme açısıdır ve pistonun en üst noktasında olmasına göre ölçülür (bakınız şekil 2.1). Bu şekil ateşleme esnasında yanma odasının bir kesitini göstermektedir. Piston sillindir içinde yukarı doğru hareket ederken yanma karşımını sıkıştırırken yakıt ateşlenmektedir. S ile gösterilen açı ateşleme avansıdır, ve 'üst ölü noktadan önceki açı (DBTDC)' şeklinde ölçülür, bu nedenle büyük ateşleme avansı değerleri, ateşlemenin piston silindirin alt bölgesine yakın bir yerde yapıldığı, ve küçük değerler ise pistonun üst ölü noktaya yakın bir yerde ateşlendiği anlamına gelir; ateşleme avansı değerinin negatif olması ise ateşlemenin pistonun silindir içinde aşağı doğru hareket ederken yapıldığını göstermektedir. Ateşleme avansının dağılımı motor hızı ve egzost geri dönüşümü gibi parametrelere bağlıdır.



Şekil 2.1: Ateşleme sırasında yanma odası kesiti ve ateşleme avansı

Kalibrasyon prosesinin amacı kısıtlara bağlı olarak en iyi yakıt ekonomisini sağlayan tabloları bulmaktır. Uygulanan kısıtlara örnek olarak; belirli gazların emisyon limitleri, egzost sıcaklığındaki limitler, motorun çalışma bölgesinin getirdiği limitler ve sürüş limitleri verilebilir. Kanunlarla kısıtlanmış gazlar azot oksit (NO_x), karbon monoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) gazlarıdır. Yakıt tüketimi ve egzost gazı emisyonları bir sürüş çevrimi boyunca ölçülür; bir araç bazı çalışma çevrimleri boyunca çalıştırılır ve tüketilen toplam yakıt miktarı ve üretilen emisyonlar ölçülür. Bu kompleks kriterler, optimizasyonda motor üzerinde deneyler yapılmasından ziyade bir regresyon modelin kullanılmasını gerekli kılan nedenlerden biridir.

Dolayısıyla motor haritalama modeli, motorun davranışını motor hızı, motora giren hava miktarı, hava-yakıt karışımı, geri dönüşümü yapılan egzost gazı miktarı ve ateşleme avansı cinsinden tanımlar. Motor davranışının modellenmesi gereken özellikleri ise, güç çıkışı/yakıt tüketimi, yasalarla kısıtlanmış egzost gazı emisyonları ve egzost sıcaklığıdır. Motorun çalışma bölgesi ve aracın sürülebilirliğiyle ortaya çıkan kısıtlar, motor haritalamadan farklı tekniklerle ele alınır. Hava-yakıt karışım oranı karbon monoksit emisyonu kontrolu ve egzost sıcaklığını düşürme, egzost gazı geri dönüşüm oranı azot oksit emisyonu kontrolu ve ateşleme avansı hem azot oksit hem de yakıt ekonomisi kontrolu için kullanılır.

Kalibrasyon prosesi, veri toplama, veri eleme, regresyon (model uydurma) ve kalibrasyon olmak üzere dört alt prosesten oluşmaktadır.

2.1.1. Veri Toplama

Veriler bir mühendisin 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.

Veri ateşleme avansı değerinin belli bir aralıkta taranması şeklinde toplanır : sabit bir gaz kelebeği konumunda ateşleme avansı değerlerinin taranması, motor hızı (RPM), egzost gazı geri dönüşüm oranı (EGR), hava-yakıt karışım oranı (AFR) ve hava akışı (LOAD) sabit tutularak sağlanır. Belli bir gaz kelebeği konumundaki ateşleme avansı değerlerinin taranması adından anlaşılacağı gibi, hava akışının belli bir değerde tutulması gaz kelebeği açısının sabit tutulmasıyla yapılır. Daha sonra ateşleme avansı, maksimum ve minimum uygulanabilir değerler arasında değiştirilir ve tork(TQ),motorun güç çıkışı , ve egzost emisyonları gibi çıkışlar bu belli sayıdaki değişik ateşleme avansı değerlerinde(genellikle 10 değişik ateşleme avnsı denenir) kaydedilir.

Bu değişik ateşleme avansı değerleri için çıkışlar RPM, LOAD,AFR ve EGR değerlerinin çeşitli kombinasyonlarında yeniden toplanır. Mevcut bir motor haritası için bir veri kümesi için 250 ila 350 arasında ayrı ateşleme avansı değeri içerir. Bu sayıdaki bir veriyi toplamak ise önemli ölçüde zaman ve kaynağın harcanmasına neden olmaktadır.

Örnek olarak tipik bir test planı Tablo 2.1 de verilmiştir. Motorun kurulurken ve veri kanalları kontrol edilirken bir başlangıç periyodu vardır; her haftanın başında benzer kontrollar yapılır. Aynı şekilde ilk grup ateşleme avansı değeri taramasından veriler alındıktan sonra da yaklaşık 6 geçişlik bir periyotta , motor haritalama prosesinde kullanılmayan veriler toplanır; bu verelerden 'matris optimizasyon verisi' olarak söz edilir.

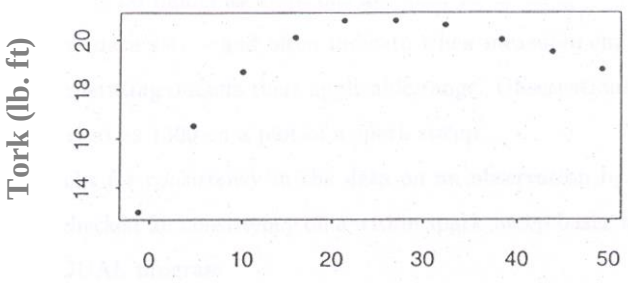
Tablo 2.1: Bir motor haritalama planını oluşturan 5 grupluk ateşleme avansı tarama testleri

RPM	LOAD	AFR	EGR (%)	No. sweeps
ENGINE SET UP				
INITIAL SPARK SWEEPS				
750, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000, 6000	WOT, 0.6, 0.45, 0.3, 0.2, 0.15	Stoic	0	54
MATRIX OPTIMISATION DATA				
WOT RICH AFR				
750, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 4000, 5000, 6000	WOT	11:1, 12:1, 13:1	0	27
PART THROTTLE RICH AFR				
750, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000,	0.6, 0.45	11:1, 12:1, 13:1	0	54
4000, 5000, 6000	0.3, 0.2	13:1		18
PART THROTTLE LEAN AFR				
2000, 3000	0.6, 0.45	16:1, 18:1	0	8
PART THROTTLE WITH EGR				
1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000, 6000	0.6, 0.45, 0.3, 0.2	Stoic	5, 10, 15, 20 (or max)	128

Tablo 2.1 de AFR sütunun altında görülen 'Stoic' ifadesi normal yakıt için 14.6:1 değerleri arasında olan stoichiometrik oranı (tam bir yanma sağlamak için gerekli doğru kimyasal hava ve yakıt oranı) için bir kısaltmadır. Testleri yapmakla görevlendirilmiş mühendise, egzost sıcaklığını düşürmek için stoichiometric istediğinde, yakıt karışımını zenginleştirmek (AFR değerini düşürmek) için izin verilmiştir. LOAD sütununun altındaki 'WOT' ifadesi tam açılmış gaz kelebeği için bir kısaltmadır ve gaz kelebeği sonuna kadar açılarak LOAD değerinin diğer motor koşullarıyla beraber mümkün olan en yüksek değerine ayarlanması anlamına gelir.

RPM, LOAD, EGR ve AFR değerlerinin, ateşleme avansı değeri taraması esnasında sabit kalması gerekirken, veri toplama prosesinin pratiklikliğinden dolayı bu değerler

nominal değerin her iki tarafına sapma yapabilmektedir. Fakat testlerdeki gerçek değerler kaydedilir ve modelleme de bu değerler kullanılır; dolayısıyla modellemede kullanılan motor parametreleri değerleri, verilerin toplanması istenen değerlerde değil verilerin gerçekte toplandığı değerlerdedir. Bazı üreticiler tarafından veri sabit bir tork değerinde, ateşleme avansı değeri taraması şeklinde yapımaktadır. Sabit bir tork değerinde, ateşleme avansı değeri taraması işleminde tork sabit tutulurken yakıt akışındaki değişimler ölçülür.



Şekil 2.2: Tipik bir ateşleme avansı taraması testindeki tork cevabı

Şekil 2.2 de tipik bir ateşleme avansı değeri taramasında elde edilen tork cevabının grafiği gösterilmektedir; bu ateşleme avansı değeri taraması küçük boyutlu bir motorda, düşük yükte, egzost gazı geri dönüşümü olmadan ve hava-yakıt karışım oranı stokhiometrik'e yakın bir değerde gerçekleştirilmiştir.

2.1.2. Veri Eleme

Veri toplandıktan sonra bir bilgisayar programı tarafından gerçekleştirilen veri eleme işlemine tabi tutulurlar.

Bu programlardan ilki, CQUAL, gözlem-gözlem temelinde veri kümesi içindeki veri tutarlılığını kontrol etmek için kullanılır. Örneğin, egzost sıcaklıklarının giriş sıcaklığından daha yüksek olduğunu kontrol etmek. CQUAL ile verilen tüm kararlar

mühendislik esasına dayanmaktadır ve genellikle ölçme aygıtlarının hatalı veya uygun sınırlar dışında çalıştıklarını belirtir. Veri kümesi içindeki bir noktanın işaretlenip işaretlenmeyeceği kararı verilirken herhangi bir model göz önünde bulundurulmaz. CQUAL programı tarafından uygun bulunmayan noktalar ateşleme avansı değeri taraması grafiği üzerinde 1300 olarak işaretlenir.

CQUAL programı ile her bir gözlemin tek tek ele alınmasını esas alan bir temelde tutarlılık kontrolü yapılırken her ateşleme avansı değeri taramasındaki noktaların tutarlılığının kontrolü DQUAL adındaki bilgisayar programıyla yapılmaktadır.

DQUAL programını felsefesi ölçülmüş değişkenlerin bir düzgünlük derecesi gösterip göstermediğini kontrol etmektir ve bu iki yolla yapılır. DQUAL programı ilk olarak motor şartlarının ateşleme avansı değeri taraması esnasında belli bir tolerans içinde beklenen değerlerde sabit kalıp kalmadığını kontrol eder. Bu değişkenlerin listesi RPM, LOAD, AFR ve EGR değişkenlerinden daha fazladır ve gaz kelebeği açısı, yakıt akış oranı ve manifold hava basıncı değikenlerini de içerir. İkinci olarak DQUAL programı her ateşleme avansı değeri taraması esnasında değişmesi beklenen değişkenleri gözden geçirir, örneğin emisyonlar ve tork. Bunların tümüne quadratik bir eğri uydurur; eğer R^2 değeri belli bir eşik değerinden fazla ise ateşleme avansı değeri taraması bir başka deyişle test DQUAL tarafından geçilir, aksi taktirde bir noktayı yoketmenin R^2 değerinin eşik değerini aşmasını ne şekilde etkileyeceğini görmek amacıyla her nokta dönüşümlü olarak silinir. Eğer durum buysa R^2 değerinde en büyük artışı sağlayan nokta işaretlenir, aksi taktirde tüm test işaretlenir. DQUAL programı tarafından uygun bulunmayan noktalar ise ateşleme avansı değeri taraması grafiği üzerinde 1400 olarak işaretlenir.

CQUAL ve DQUAL programları tarafından uygun bulunmayan tüm noktalar otomatik olarak veri kümesinde çıkartılır ve önemli bir nokta da DQUAL tarafından yapılan veri doğrulama prosesi tamamen otomatiktir.

2.1.3. Regresyon Analizi (Model Uydurma)

Veri toplandıktan sonra veriye polinom regresyon modelleri uydurulur. Bu modeller motor kontrolörünün kalibrasyonunu belirlemek için optimizasyon prosesinde kullanılırlar. Bu regresyon metodolojisi Blumberg ve Mencik tarafından ortaya konmuştur.

Uydurulan modeller RPM, TQ, AFR, EGR ve SPARK cinsinden polinomlardır. Modellenen cevaplar yakıt akış oranı (FFR), karbon monoksid (CO), hidrokarbon (HC), azot oksid (NO_x) ve egzost sıcaklığıdır; emisyonların (CO, HC, NO_x) logaritmaları alınır.Yakıt akış oranı birim zamanda motora giren yakıt miktarı olarak tanımlanır ve RPM, LOAD ve AFR değerlerinden hesaplanabilir. Emisyon cevapları için kullanılan logaritma dönüşümleri hiç bir şekilde optimal olmaları için seçilmemiştir, geçmişten beri kullanılmaktadır çünkü gözlemlenen emisyonların sınır değerleri çok geniştir.

Kullanılan polinomlar değişebilir fakat tipik olarak herhangi bir değişkenin ikiden büyük üssünün görünmediği dördüncü dereceden polinomlar olacaktır. Bununla birlikte log(NO_x) ifadesinin regresyonu üçüncü dereceye kadar TQ terimi içermektedir. AFR ve EGR arasındaki etkileşimi içeren tüm terimler çıkartılır çünkü tüm ateşleme avansı değeri taramalarında, veriler egzost gazı geri dönüşüm oranının sıfır olduğu ve stoikhometrik hava-yakıt karışımı durumunda toplandığı için bu terimlerin uydurulması imkansızdır. Buna ek olarak az sayıdaki bazı terimler de modelden çıkarılabilinir. Verilen veri kümesi için, AFR^2 içeren tüm dördüncü derceden terimler çıkarılmıştır. Bu durumda bile bu bize hemen hemen tüm cevaplar için 70 terimli bir model artı kesişim ve NO_x modeli biraz daha geniş bir model (75 terim artı kesişim) vermektedir.

Örneğin verilen bir veri kümesi için bunun gibi üç polinom çıkarılabilir, bir tanesi düşük RPM değerleri (700-2000) için, biri orta değerler(1500-4000) için, bir diğeri ise büyük değerler (3000-6000) için. Bu modellerin kendi aralarında tutarlı olmalarını sağlamak için herhangi bir girişimde bulunulmamaktadır. Bu nedenle her bir cevap için model 200 ün üzerinde terim içermekte ve motor haritalama modelinin tamamı 1000 in üzerinde terim içermektedir. Veri kümesi genellikle kaydedilen her cevap için 2000 gözlem içermektedir. Bilimsel açıdan bunun gibi bir polinomun

doğruluğunu göstermek zordur ve model uydurmanın, istatistiksel neticesini önemini kestirime göre arttırmaktadır.

Mevcut yaklaşım ile ilgili bir önemli nokta da, veriler toplandığında sabit seviyedeki yakıt akış oranı için tork, ateşleme avansının bir fonksiyonu olarak göz önüne alınır, fakat veri modellendiğinde yakıt akış oranı torkun bir fonksiyonu olarak göz önüne alınır.

Modelin uydurulma kalitesini kontrol eden ana araç EQUAL programıdır. Bu program son motor haritalama modelinin uydurulmuş değerleri ile her bir ateşleme avansı değeri taraması için uydurulmuş quadratic eğrinin değerlerini karşılaştırır. Bu proses veri kümesinin motor haritalama modelinin veriye iyi yaklaşımlar sağlayamadığı bölgelerini görmek amacıyla yapılır.

Daha sonra modeller mühendis tarafından daha önce belirlenmiş zayıf yaklaşıma sahip bölgelere daha büyük ağırlık verilerek yeniden uydurulur. Bu sayede polinom modellerin bu bölgelere daha iyi uydurulmaya çalışılır. Bu uydurma ve yeniden ağırlıklandırma prosesi, ilgili mühendisin, geniş bir veri kümesi üzerinde veriye modelin en iyi şekilde uydurulduğuna kanaat getirdiği ana kadar tekrarlanır. Bu proses oldukça subjektif bir yaklaşımdır ve veriyi iyi uydururken öngörüsel gücü az bir model üretmesi muhtemeldir.

Arada sırada bu proses uygun bir uydurma sağlamayacaktır bu durumda mühendis bazı verilerin tekrarlanmasını veya veri kümesinden bazı verilerin çıkartılmasını ister. EQUAL programı kullanımı aşamasında çıkartılan veriler, ateşleme avansı değeri taraması grafiklerinde 1500 olarak işaretlenir.

2.1.4. Optimizasyon ve Kalibrasyon

Herhangi bir optimizasyon prosesinin kalbi değerlendirmedir: en iyi kalibrasyonu bulmak için bazı kriterlere göre her kalibrasyonu değerlendirmemizin bir yolu olmalıdır. Böylece objektif olarak farklı kalibrasyonları karşılaştırabiliriz. Bu durumda mümkün olan her kalibrasyon değerlendirilir ve seçilen kriteri minimize (veya maksimize) eden kalibrasyon seçilir. Buna göre optimizasyon probleminin boyutu motor kontrolöründeki hücrelerin sayısının üç ile çarpımıdır. Çünkü motor kontrolündeki her hücrede üç adet kalibrasyon parametresi vardır. Pratikte mümkün

olan tüm kalibrasyonları birer birer sıralamak imkansızdır, bazı optimizasyon tekniklerinden yaralanmak gerekir.

Optimizasyon tekniği Cassidy tarafından sunulan Lagrangian çarpanları temeline dayanan bir metodtan türetilmiştir[16] ve CALAID (Cullen et al., 1988, Cullen, undated, Ford, 1990) ile uygulanmaktadır. Cassidy kalibrasyonu değerlendirmek amacıyla deneyler yapmak için motora bağlanmış bir mini-bilgisayar kullanırken, Ford tekniği, bir kalibrasyonu değerlendirmek için motor haritalama modelini kullanmaktadır.

CALAID programı, yasal emisyon seviyeleri ve motorun çalışma bölgesinin getirdiği kısıtlar kapsamında yakıt ekonomisi kriterini optimize etmektir.Yakıt ekonomisi ve emisyon seviyeleri bir sürüş çevrimi boyunca toplanarak hesaplanır. Kullanılan sürüş çevrimi US Federal Metro ve Otoyol Test Çevrimidir.

Test çevrimi boyunca motorun aracı kullanmak için üretmek zorunda olduğu tork miktarı ve motor hızını(RPM) veren motor sürüş çevrimine ihtiyacımız varken US Federal Metro ve Otoyol Test Çevrimi araç hızı açısından ifade edilir. Motor sürüş çevrimi, test çevrimiden ve aracın aerodinamik profilinden, ağırlık ve transmisyondan elde edilir. Motor sürüş çevrimini elde etme metodu araç simülasyonu [17] olmasına rağmen bir araçtan alınmış ölçümleri de kullanmak mümkündür.

Motorun çalışma limitleri motor haritalama veri kümesinden türetilen bir ‘paket dosya’ dan elde edilir.

CALAID, yakıt ekonomisi regresyon modelini kullanarak, her istenen RPM ve TQ kombinasyonunda en iyi yakıt ekonomisini veren EGR, AFR ve SPARK ayarlarını belirleyerek başlar; bu kalibrasyon mümkün olan en iyi yakıt ekonomisini sağlar. CALAID, bu yakıt ekonomisi ve kısıtlanmamış durumdaki sonuç emisyon miktarlarını motor haritalama modelini kullanarak hesaplar.

CALAID, bu başlangıç kalibrasyonundan sonra toplam emisyonların yasal limitler içinde kaldığı optimum yakıt ekonomisi kalibrasyonunu belirler. Burada önemli noktalardan biri, optimizasyon sırasında ateşleme avansı sürekli olarak en iyi yakıt ekonomisini veren ateşleme avansından geciktirilir, dolayısıyla sadece belli motor

ayarlarında maksimum torku veren ateşleme avansından küçük ateşleme avansı değerlerinde motor çıkışını bilmemiz yeterli olacaktır.

Bu *tork tanım bölgesi* açısından bir kalibrasyon verecektir, verilen RPM ve TQ ayarları için optimum kalibrasyon parametreleri ayarlarını veren bir kalibrasyon. En son adım RPM ve TQ ifadelerinin bir fonksiyonu olan kalibrasyonu RPM ve LOAD ifadelerinin fonksiyonu olan bir kalibrasyonu dönüştürmektir. Bu interpolasyon vasıtasıyla gerçekleştirilir ve gereklidir çünkü motor kontrolörü TQ ifadesine nazaran LOAD ifadesini ölçer.

Optimizasyon, motor haritalama modelini bulmak için kullanılan motor veri kümesi ile kapsanan bölgeye sınırlandırılmıştır. Bu önemlidir çünkü motor haritalamada kullanılan ampirik modellere, ekstrapolasyon için kullanıldıklarında yararlı sonuçlar vermeleri için güvenilemez.

Son olarak sürüş problemlerinin olup olmadığı ve yasal gerekliliklerin sağlanıp sağlanmadığının belirlenmesi için bu kalibrasyon bir test aracına uygulanır. Eğer sorunlar varsa optimizasyon ilave sürüş kısıtları ile tekrarlanır, tipik olarak EGR seviyeleri ve ateşleme avansı, sürüş hissini artırmak için sınırlandırılır.

2.2. Mevcut Motor Haritalama Yaklaşımındaki Problemler

2.2.1. Yanlış Tanım Bölgesi Seçimi

Yakıt ekonomisi iki şekilde düşünülebilinir: sabit bir yakıt miktarı için maksimum gücü sağlamak veya en düşük yakıt miktarı kullanılarak sabit bir güç elde etmek. Birinci durumda güç çıkışı (TQ), yakıt (FFR) 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.

Modelleme aşamasından önce toplanan veriler ise, yük tanım bölgesinin içindedir; yük sabit tutulurken değişen tork değerleri ölçülür. Fakat modelleme tork tanım bölgesinde gerçekleştirilmektedir, yakıt akış oranı(FFR) cevap ve güç (TQ) ise bir giriş olarak göz önüne alınmaktadır. Bu temel olarak yanlış bir yaklaşımdır, doğru giriş sürücü tarafından kontrol edilen ve motora hava akışını(yük) değiştiren, gaz

kelebeği açısıdır. 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 anlaşılırlığını azaltmaktadır.

Modellemenin diğer cevapları göz önüne alındığında, tork tanım bölgesini kullanan motor haritalama, yorumlama da benzer problemlere neden olmaktadır. Motor tarafından yayılan egzost gazlarını motor tarafından üretilen gücün bir fonksiyonu olarak düşünmek motora giren havanın bir fonksiyonu olarak düşünmekten zor olacaktır.

Bu durumda motor yükünün(LOAD) bağımsız değişken olarak ve torkun bir cevap olarak modellenmesi tercih edilmesi daha uygun olacaktır. Bu durumun tercih edilmesi için bir çok neden varken, motorun davranışını yükün(LOAD) bir fonksiyonu olarak tanımlayan bir modelden kalibrasyon üretebilmesi doğrulanmalıdır. Aslında, iki aşamalı modelin motor kontrolör tablosu ile aynı tanım bölgesinde bulunması konvansiyonel metoda göre daha doğru bir yöntemdir. Bu nedenle optimizasyon, tork tanım bölgesinde gerçekleşmesi ve sonuç kalibrasyonun yeniden yük tanım bölgesine çevrilmesi işlemine nazaran doğru tanım bölgesinde gerçekleştirilmektedir.

İki aşamalı modelin herhangi bir kalibrasyonun değerlendirilmesinde kullanılabileceğinin gösterilmesi gerekmektedir. Belli bir kalibrasyonda motor çıkışı sadece motor hızı (RPM) ve yükün(LOAD) bir fonksiyonudur çünkü bunlar sabitlenirse hava-yakıt karışımı(AFR), egzost gazı geri dönüşüm oranı(EGR) ve ateşleme avansı(SPARK) kalibrasyon tarafından verilir. Sürüş çevriminde her RPM-TQ noktasında, RPM bilinmekte ve belirli bir kalibrasyonu ve tork modelini yükü(LOAD) bulmak için kullanabiliriz. Bundan ve kalibrasyondan RPM, LOAD, AFR, EGR ve SPARK değerleri sürüş çevriminin bu noktası için biliriz. Daha sonra yakıt akış oranı ve ,diğer cevapların modelleri kullanılarak, egzost emisyonları ve egzost gazı sıcaklıkları hesaplanabilir. Eğer bunu sürüş çevriminin her noktası için yapılır ve bu noktalar toplanırsa , bu sürüş çevrimi için toplam yakıt tüketimi ve egzost gazı emisyonları elde edilir. Egzost gazı sıcaklığının emniyetli değeri aşıp aşmadığı belirlenmelidir. Bu nedenle herhangi bir kalibrasyon için bir sürüş çevrimi boyunca yakıt ekonomisi ve egzost emisyonları hesaplanırken diğer kısıtlar ve bu

değerlendirme rutinini optimizasyon prosesine alarak kısıtlar içinde kalan en iyi yakıt ekonomisini veren kalibrasyonu bulabiliriz.

2.2.2. Uydurulan Modelin Yorumlanması

Ampirik modellemede başlangıç olarak yapılması gereken işlerden biri problemin fiziğinden, grafiklerde verinin ilk inceleme niteliğindeki haritalarından, veya daha önceki çalışmalarda elde edilmiş tecrübelerden çıkarılabilecek herhangi bir bilginin ele alınmasıdır. Varsayılan model verilen bu gibi bilgilere göre mantıklı olmalı ve bir model uydurulduktan sonra tutarlılık için bu başlangıç bilgileri kullanılarak kontroller yapılmalı ve herhangi bir farklılık tatmin edici bir açıklama için araştırılmalıdır.

İçten yanmalı motorlar gibi üzerinde çalışma yapılmış bir konuda model oluşturmadan önce gerekli olan bilginin temelini mevcut mühendislik bilgisi oluşturmaktadır. Ancak mevcut modeli kullanarak bu bilgiyi içermesi, kısmen modelin geniş polinom doğası ve kısmende modellemenin tork alanında gerçekleşmesinden dolayı çok zordur.

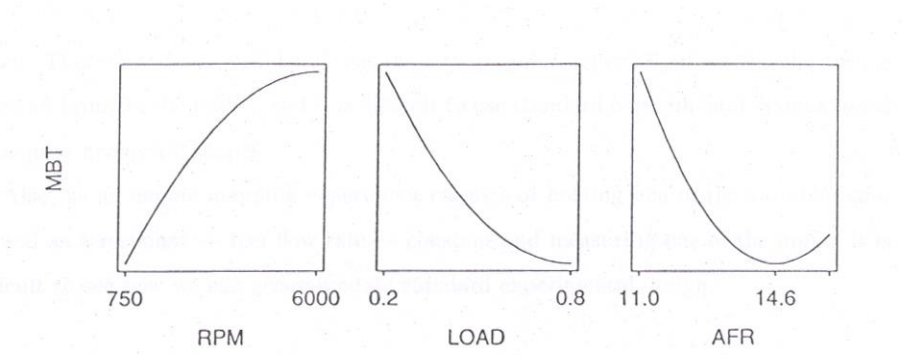
Örnek olarak verinin başlangıç incelemesi ele alınır. Veri toplandıktan sonra yapılması açıkça belli olan şey tüm testleri çizdirmektir. Bunu yaptıktan sonra modelin bu testlerin şeklini tanımlaması beklenir.Yakıt ekonomisi modeli için bu bir sorundur.Bunun sebebi veri içindeki cevap değişkeninin (TQ) ve modeldeki cevap değişkeninin (FFR), verilerin modelleme için kullanılan alandan farklı bir alanda toplanması nedeniyle, farklı olmasıdır.

Benzer şekilde polinom diğer cevapların testleri için de belirli herhangi bir şekil içermektedir. Çünkü modelin iki girişi de değişmektedir(SPARK ve TQ). Fakat diğer cevaplardan (CO) en az bir tanesi için ampirik kanıt testler için çok basit bir şekil ortaya koyar. Bu bir sabit veya belki de ateşleme avansının (SPARK) lineer bir ifadesidir.

Eğer önceki mühendislik bilgisi göz önüne alınırsa, model sebebiyle önemli bir problemle daha karşılaşılır.Örneğin, bir motorun fiziği, yakıt akışı arttıkça gücün artacağını gösterir. Fakat, mevcut durumda kullanılan uydurulmuş modelin biçiminin, bu basit ilişkiyi içerip içermediğini bile ortaya koymak zordur.

Değişkenler arasındaki bağıntı ile ilgili mühendislik tecrübesinin çoğu, diğer parametreler değiştikçe çıkışlar ve ateşleme avansı arasındaki bağıntının nasıl değiştiğine bağlıdır. Çünkü verinin çoğunluğu testler şeklinde toplanmakta ve ayrıca verinin başlangıç incelemesi bu şekilde toplanan veri hakkında bilgi sağlamaktadır.

Örnek olarak mühendislik açısından bir ilgi alanı belli bir motor çalışma koşulunda maksimum torku veren ateşleme avansıdır. Bu ateşleme avansı MBT(maksimum fren-torku zamanlaması) olarak anılır ve aynı zamanda kalibrasyon için başlangıç noktasıdır, bu değer referans noktası olarak kullanılmaktadır ve diğer çıkışlar MBT de maksimize edilirler. MBT değerinin, RPM, LOAD ve AFR değiştikçe şekil 3.1 e benzer şekilde değişmesi beklenir. RPM, LOAD ve AFR ifadelerinin göreceli etkileri Şekil 2.3 de gösterilmemiştir. Heywood [10] MBT ve EGR arasındaki bağınıtıyı göstermiştir.



Şekil 2.3: MBT ile motor parametreleri :RPM, LOAD ve AFR arasında olması beklenen ilişki

Piston odasında yakıtın yanmasına dayanan bu inançlar için basit anlaşılır açıklamalar vardır. Örneğin maksimum gücü elde etmek için silindir içindeki gazın maksimum sıkıştırıldığı zamanda pistonunun odanın üst noktasına yakın olması gerekmektedir.RPM değiştikçe yanma oranının sabit olduğu düşünülürse, maksimum gücü elde etmek için daha hızlı hareket eden pistonun üst noktaya gelmeden daha önce (daha büyük SPARK değeri) bujilerin ateşlenmesi gerekir, bu nedenle MBT RPM in artan bir fonksiyonudur. Benzer düşünceler diğer bağıntılar için de ortaya konabilir.

Mevcut modelin bu bilgiyi içermesi imkansızdır, ve bu bağıntıların uydurulmuş modelde içerildiğini kontrol etmek zordur; bunları uydurulmuş modelin katsayıları

cinsinden ifade etmek olası değildir. Bu nedenle yararlanılmayan geniş bir bilgi kaynağı vardır.

Yanmanın fizik ve kimyasına dayanan bilgisayar simulasyon modelleri bu bilginin modellemenin içine direk olarak tanıtılmasında bir yol olarak kullanılmıştır. Fakat kalibrasyon için gerekli doğruluğu sağlayamamışlardır. Bu modellerin, daha genel mühendislik teorisine sağladığı anlayış ile, ileriki ampirik modellerin oluşturulmasında yardımcı olarak kullanılabilecekleri düşünülmüştür .

2.2.3. Modelin Genişletilmesi

Mevcut modelin kompleks oluşunun bir başka sonucuda genişletilmesinin zor oluşudur. Bu önemlidir çünkü modern bir motor bu modelde içerdiğinden daha fazla ayarlanabilir motor parametresine sahiptir. Örneğin, modelin motor çıkışını etkileyen valf zamanlaması değişkenini içermesi istenebilir; fakat zaten büyük miktarda veri ihtiyacı ve çok sayıda terimin uydurulması, başka bir motor parametresinin veya daha fazla terimin nasıl bağdaştırılacağını görmeyi zorlaştırmaktadır.

Aynı zamanda proses mevcut olan farklı motor dizayn tiplerinin bağdaştırılması için yeterli ölçüde çok yönlülük göstermemektedir; turboşarja sahip bir motoru , turbosarjın çalışıp çalışmadığını belirtmek imkansız olduğundan modellemek zordur.

2.2.4. Verinin Hiyerarşik Yapısı

Önemli istatistiksel bir sorun da model mevcut haliyle verinin hiyerarşik yapısını göz önüne almamaktadır.Model, ağırlıklar dahil edilerek, 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 sebele mevcut haliyle şu anki yaklaşım temel olarak geçersizdir.

Çok seviyeli modeller [6] tam olarak bu tip yapıya sahip verileri ele almak için geliştirildi. Goldstein, normal regresyon yöntemlerinin bu tip veriler için niye uygun olmadığı konusunda bir tartışma sunmaktadır. Çok seviyeli modellerin özel bir sınıfı olan tekrarlı ölçüm modelleri [18], amaç bir regresyon modeli olduğunda bu tip veriye uygulanan en yaygın model sınıfıdır.

Genellikle bu modeller, değişimin ikinci seviyesini ortaya koyan modelin bazı parametrelerinin rastgele olduğunu varsayarak, veri içinde özel bir yapıya sahip korelasyona izin verirler. Bu modeller rastgele katsayılı veya rastgele etkili modeller olarak bilinirler. Bununla birlikte bu tip modeller, ampirik modelleme uygulamalarında nadiren kullanılırlar.

3. MOTOR HARİTALAMA İÇİN İKİ AŞAMALI MODEL YAKLAŞIMI

3.1. Giriş

Veri iki aşamalı bir proses şeklinde toplanır: RPM, LOAD, AFR ve EGR sabit bir değerde tutulurken SPARK değiştirilir ve bu işlem farklı RPM, LOAD, AFR ve EGR değerleri için tekrarlanır.

Bu veri yapısı temel olarak iki aşamalı modeli akla getirir; ilk aşama çıkışlar ve ateşleme zamanı arasındaki ilişkiyi tahmin etmek için her testte eğrilerin uydurulmasını içerirken ikinci aşama bu eğrilerin motor parametrelerinin fonksiyonu olarak değişiminin modellenmesini içerir.

Modellemeyi iki aşamalı bir proses haline bölerek, her iki aşamanın da motor haritalama için daha sezgisel bir yaklaşıma neden olacak basitlikte olmaları sağlanır. Modellemenin ilk aşamasında imkan dahilinde non-lineer eğriler kullanılarak, bir-boyutlu eğri uydurulması gerekmektedir. İkinci aşamada ise modelleme düzenli deneysel dizaynlar ve basit cevap yüzey modelleri kullanılarak basitleştirilecektir. Her iki modelleme tekniği de, model seçiminin, parametre kestiriminin ve hataların bulunmasının kolaylaştırılması için kapsamlı grafiksel tekniklerin kullanımına izin veren, geliştirilmiş istatistiksel metodolojilerdir. İki aşamalı modelleme, kabul edilir eğri uydurma ve cevap yüzeyi metodolojileri gibi istatistiksel tekniklerle birleştirilmiş olmakla beraber veri toplama metoduna da uyum sağlamaktadır. Dolayısıyla iki aşamalı modelleme, veriden motor haritalama modeli üretme prosesinin daha anlaşılır olmasını sağlamalıdır.

3.2. Geometrik Yorumlama

Şekil 3.1 yapay bir örnek kullanarak yeni iki aşamalı modellemenin arkasında yatan fikri açıklamaktadır. Basit olması açısından bir cavbı ateşleme avansına(SPARK) ve sadece diğer bir değişkene (örneğin motor hızı RPM) göre modellediğimizi

varsayalım. Bağıntının tamamıyla düzgün olmasını bekleriz ve eğer bağıntıyı çizdirseydik, basit bir yüzey olacaktı. Bu yüzeye yakınsamanın geleneksel yöntemlerinden biri, veriye RPM ve SPARK ı bir polinom ile uydurmak olabilirdi.

Oysa veri, motor hızını sabit tutup, ateşleme avansını değiştirmek suretiyle, ateşleme avansı taramaları şeklinde toplanmaktadır. Bu şekilde yüzey üzerinde belirli aralıklarda sınırlı örnekler olan bir-boyutlu eğriler elde etmiş oluruz. Yeni model , bu eğrilerin yakınsamasıyla oluşturulur ve modellemenin ikinci aşamasında cevap olarak kullanılırlar. İlk olarak ateşleme avansı boyutunda daha sonra ise motor hızı boyutunda modelleme yapılır. Bu hassastır çünkü bazı durumlarda sadece motorun davranışının, belli bir motor hızı için, ateşleme avansının bir fonksiyonu olarak nasıl değiştiyle ve değişen motor hızının bu bağıntıyı nasıl değiştirdiğiyle ilgilenilir.

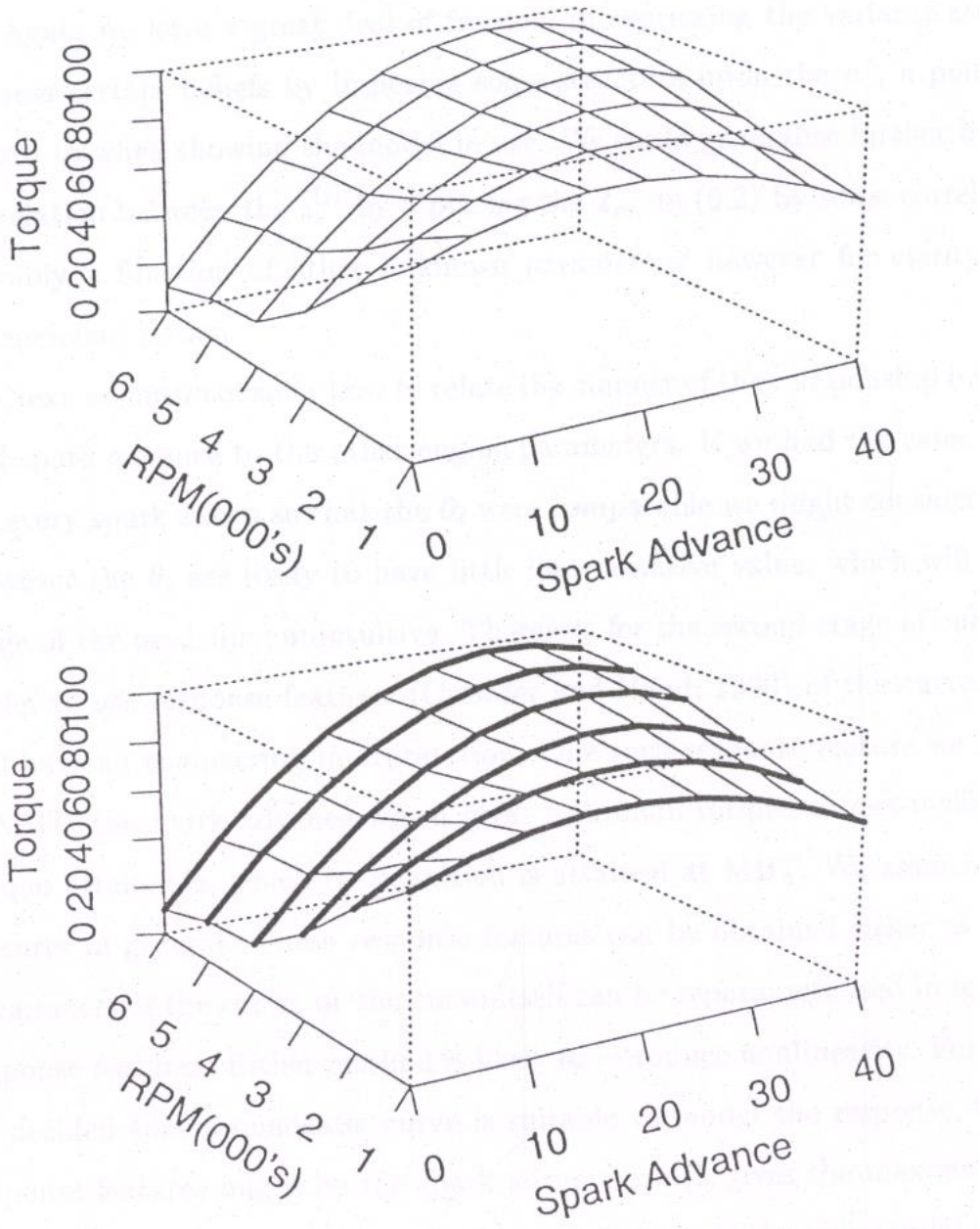
3.3. Model Açıklaması

İki aşamalı modelleme yaklaşımını açıklamak için bazı notasyonların açıklamasının yapılması gerekmektedir: $y_i^{(j)}$, i. testte j. gözlem esnasında elde edilen çıkış (i = 1,.....,n),ve $s_i^{(j)}$ bu gözlem esnasında ateşleme avansı değeridir. Burada tüm çıkışlar eşzamanlı olarak göz önüne alındıklarından $y_i^{(j)}$ skalar bir büyüklük değil vektördür.

İki aşamalı modelin ilk aşaması aşağıda verilmiştir

$$y_i^{(j)} = f_i(s_i^{(j)}, \theta_i) + \varepsilon_i^{(j)} \tag{3.1}$$

θ_i parametrelerinin non-lineer bir fonksiyonu olabilen f_i fonksiyonları, her cevap için tecrübeyle oluşturulabilir. Burada not edilmelidir ki aynı harita içinde bazı testler için farklı fonksiyonlar kullanılabilir. Bu, bazı testlerin temel olarak farklı



Şekil 3.1: İki aşamalı modelleme yaklaşımı ve veri toplama yönteminin gösterimi: (üstteki şekil) yapay bir cevap yüzeyi (alttaki şekil) ateşleme avansı taramaların daha kalın çizgilerle gösterildiği aynı yüzey

görünmeleri nedeniyle önemli bir noktadır, ve tüm testlerin modellenmesi için aynı fonksiyonun kullanılması gerekliliği kısıtlayıcı olacaktır. Örneğin, tork ile ateşleme avansı rasındaki ilişkiye bakıldığında bazı testlerin maksimum yaptığı gözlenirken bazıları monotondur.

Burada ε_i , ε_i^j ifadesinin vektörüdür ve $j = 1,2,.....m_i$ olup m_i , i. testte yapılan gözlem sayısıdır. ε_i ifadesinin normal bir dağılım takip ettiği göz önüne alınması gerekmektedir. Bu durumda,

$$\varepsilon_i \sim \quad N_{m_i}(0, \sigma_i^2 I_{m_i}) \tag{3.2}$$

Burada σ_i^2 , i. test için test içindeki hataların değişimidir.

Bu noktadan sonra, çıkış (tork) ve ateşleme avansı ile diğer motor parametreleri arasındaki bağıntının biçimiyle nasıl ilişkilendirileceği göz önüne alınmalıdır.Eğer her test için (3.1) denklemi kullanılırsa, θ_i ifadesi karşılaştırılabilir bu nedenle bunların modellenmesi düşünülebilir. Fakat, modelin ikinci aşamasını zor anlaşılır hale getirecek θ_i ifadesi yorumlanabilir değerleri içerme olasılığı azdır. Bu nedenle modelin ikinci aşaması için eğrilerin cevap özelliklerinin[18] kullanılması tercih edilmiştir.Bu özelliklerin bir mühendislik yorumu vardır. Bu cevap özelliklerinden bir tanesi maksimum torku veren ateşleme avansı olan MBT ve diğeri ise bu ateşeleme avansı değerinde elde edien tork değeri olan ulaşılabilir maksimum torkdur. Genel olarak bunun gibi τ adet cevap özelliği olduğu varsayılmıştır. Bu cevap özellikleri eğrilerin parametrelerinin bir fonksiyonu olarak , veya eğri cevap özelliklerine göre yeniden parameterize edilerek elde edilebilir. Her iki metod da nonlineelik içerbilirler. Örneğin cevabı modellemek için quadratik bir eğrinin uygun olacağına karar verilmiş olabilir, bununla birlikte cevap özelliği maksimumu(veya minimumu) veren ateşleme avansı olabilir. Bu ya polinom eğrisinin katsayalarının nonlineer bir fonksiyonu olabilir veya eğri maksimuma göre parameterize edilebilir, fakat bu daha sonra nonlineer bir parametre olacaktır.

Aynı zamanda testlerin nasıl karakterize edileceğine de karar verilmelidir: cevap özellikleri kestirilen eğrinin şekliyle nasıl ilişkilendirilecektir. Bu önemlidir çünkü, cevap özelliklerinin kestiriminde farklı eğriler kullanabilirken, öngörülen değerleri elde etmek için sadece bir eğri ailesi kullanılacaktır.

i. ateşleme avansı değeri taramasındaki, motor çalışma şartları için r tane cevap özelliğinin bilinmeyen değerleri olarak p_i yazılacaktır. Daha sonra modelin ikinci aşaması için cevap özellikleri ile diğer parametreler arasındaki bağıntıya ilave hatalarla doğrusal bir model ile yakınsanabileceği varsayılacaktır. Bu nedenle aşağıdaki ifadeyi yazabiliriz,

$$p_i = X_i\beta + \gamma_i \;;\quad i = 1,2,.....,n \tag{3.3}$$

Burada X_i ,i. test sırasında motor çalışma koşulları (RPM, LOAD, AFR, EGR) ile ilgili bilgileri içerir ve β, tahmin edilmesi gereken parametre vektörüdür. Aynı zamanda p_i vektörünü dönüştürülmüş cevap özelliği olduğunu düşünerek dönüşümlere izin verildiği not edilmelidir.

Şu halde ateşleme avansı değeri taramasına dayalı bir modelleme yapısı olduğuna göre Şekil 3.1 de verilen bilgiye benzer mühendislik bilgisi dahil edilebilir. Bu yaklaşım ortaya konmuş olduğundan, veri elde edilirken deneysel dizayn seçiminde bu bilgiden yararlanılacaktır.

Ayrıca X_i ateşleme avansını içermediğinden, eğer motor parametrelerini dikkatli seçersek X_i için dizayn uzayını oldukça düzgün bir hale getirebiliriz, bu da standart deneysel dizayn uygulamasını daha da basitleştirir.

Burada yine bir hataların dağılımı, γ_i, ile ilgili bazı varsayımların yapılması gerekir, ve yine bu tipik olarak şu şekilde normal bir dağılım olacaktır,

$$\gamma_i \sim N_r(0, \Gamma_i) \tag{3.4}$$

Bu nedenle ε_i ve γ_i olmak üzere iki farklı değişim kaynağı vardır. ε_i her gözlem toplanırken oluşan hatayı temsil eder ve ölçüm hatası ve sistemdeki küçük karışıklıklar gibi şeyleri yansıtır. γ_i eğer ismen tam olarak aynı iki ateşleme avansı değeri taraması, farklı günlerde toplanmışsa sıcaklık, nem ve basınç gibi şartların farklılıklarından dolayı cevap özellikleri de farklı olurdu. Sıcaklık, nem ve basınç gibi şartların bir ateşleme avansı değeri taramasının toplanmasında geçen kısa sürede sabit kalması beklenirken, motor haritalamanın tamamının toplanması için geçen sürede değişen büyüklüklerdir. Bu nedenle, bu kopyalama hatası olarak düşünülebilecek , veri içindeki ikinci tip bir değişimi ifade eder.

Bu iki modelin birleştirilmesi gerekmektedir. i. ateşleme avansı değeri taraması için uydurulan eğriden, cevap özellikleri $\tilde{p}_i = g_i(\tilde{\theta}_i)$ ifadesi ile tahmin edilebilir, burada g_i, f_i fonksiyonunun verilen parametre kümesi için r cevap özelliğini veren bilinen vektör değerli fonksiyondur, ve $\tilde{\theta}_i$ i. ateşleme avansı değeri taramasına en küçük kareler uydurmasından elde edilen θ_i ifadesinin kestirimleridir. ε_i ifadesinin normallik varsayımına göre, aynı zamanda θ ifadesinin maksimum olabilirlik tahmini $\tilde{\theta}$ ifadesidir, böylece yeterince büyük m_i ve bazı genel düzen koşullarını varsayarak

$$\tilde{p}_i \sim N_r(p_i, \sigma_i^2 \sum_i) \tag{3.5}$$

Burada $\text{var}(\tilde{p}_i) \equiv \text{var}(g(\tilde{\theta})) = \sigma_i^2 \sum_i$ ve $\sum_i$ kestirilen lokal model parametrelerinin $\tilde{\theta}_i$ değişimine ve θ_i parametrelerinin cevap özelliklerine dönüşümünü sağlayan g_i fonksiyonuna dayanmaktadır. $\sum_i$ ifadesini elde etmede kullanılan iki standart yaklaşım vardır: $\tilde{\theta}_i$ değişimini elde etmek için maksimum olabilirlik tahminlerinin değişimi yaklaşımı, ve maksimum olabilirlik tahminlerinin fonksiyonlarının değişimi yaklaşımı.

Bu yaklaşım σ_i değerinin küçük veya her ateşleme avansı değeri taramasındaki gözlem sayısının(m_i) yeterince büyük olması durumunda geçerli bir yaklaşımdır. Bu iki aşamalı yaklaşım şu an kullanılan yaklaşıma göre daha fazla veriye ihtiyacı olduğu izlenimi verebilir, fakat, eğer modellemenin ikinci aşamasında küçük dereceli polinomlar kullanılabilinirse, şu an kullanılan ateşleme avansı değeri taramalarındaki kadar veri toplamaya ihtiyaç kalmayacaktır. Gerekli olan ateşleme avansı değeri taramalarını sayıca azaltmak her ateşleme avansı değeri taramasındaki gözlem sayısının arttırılmasına izin verebilir çünkü bir ateşleme avansı değeri taraması başladıktan sonra her gözlemi almak sadece bir dakika sürerken, ateşleme avansı değeri taramaları arasındaki motor ayarlarının yapılması 40 dakika almaktadır.Bu nedenle, ateşleme avansı değeri taraması sayısında yapılacak küçük bir azaltma verinin toplanma süresini arttırmadan (3.5) yaklaşımının geçerli olmasını sağlayacak ölçüde gözlemin her ateşleme avansı değeri taraması içinde yapılmasını sağlayacaktır. Örneğin 10 gözlemli 200 tane ateşleme avansı değeri taraması için geçen süre, 60 gözlemli 100 adet ateşleme avnsı değeri taraması için geçen süre ile

aynıdır ve bu herhangi bir yaklaşımın geçerli olması için yeterli büyüklükte bir gözlem sayısıdır. Bilinmesi gerekir ki bir ateşleme avansı değeri taramasında yüzlerce gözlem yapılması, cevap özelliklerine diğer faktörlerin etkisinin kestirilmesine izin vermeyeceğinden, bir anlamı yoktur.

Burada sorulması gereken mantıklı bir soru, ateşleme avansı değeri taraması sayısı ile her ateşleme avansı değeri taramasındaki gözlem sayısı arasında optimal bir denge olup olmadığıdır. Bu bir kaç faktöre bağlıdır: ateşleme avansı değeri taraması içindeki değişime, ateşleme avansı değeri taramaları arasındaki değişime, her lokal modelin uydurulmasında kullanılan fonksiyonun karmaşıklığına ve cevap özellikleri ile diğer eşlik değişkenleri (LOAD, RPM. vb.) arasındaki ilişkidir. Verilecek karar her ateşleme avansı değeri taramasında alınan gözlem sayısının ve daha fazla ateşleme avansı değeri taramasının maliyetlerine ve değişik stratejilerin karşılaştırılmasında kullanılan ölçüte bağlıdır. Açık olarak kalibrasyon prosesi ile ilgili uygun bir ölçüt belirtilmemiştir. Bunun nedeni test çevrimlerindeki yakıt ekonomisi ve emisyonlar için önemli olan hız ve yükün kombinasyonlarında iyi kestirimler elde etmenin daha ilgi çekici olmasındandır. Bu kombinasyonlar motordan başka faktörlere de dayanır, örneğin vites oranları ve aracın aerodinamiği.

Daha önemli bir problem tüm cevapların aynı anda toplanması ve optimal seçimin her cevap için değişebileceği gerçeğidir. Örnek vermek gerekirse, ateşleme avansı karbon monoksid emisyonlarında çok az bir etkiye sahip olmasına karşın diğer bazı eşlik değişkenlerinin(hız, yük vb.) daha fazla etkiye sahip olmasının her ateşleme avansı taramasında daha az gözlem fakat buna karşın daha fazla ateşleme avansı taraması toplanmasını düşündürebilir. Diğer taraftan yapılan uygulamada da görülebileceği gibi ateşleme avansının tork çıkışı üzerindeki etkisi fazla olduğundan ateşleme avansı sayısına nazaran daha fazla gözlem alınması düşünülebilinir.

Parametrelerin kestirimine geri dönersek, n adet ateşleme avansı taramasının her biri için, cevap özelliklerindeki ilave kopyalama hatasına izin vererek ve ε_i ve γ_i ifadelerinin bir korelasyona sahip olmadıkları varsayımıyla, aşağıdaki ifade yazılabilir;

$$\tilde{p}_i \sim N_r(X_i\beta, \sigma_i^2 \sum_i + \Gamma_i); \; i = 1,.....,n \qquad (3.6)$$

Bu nedenle ateşleme avansı taramalarının bağımsızlığının varsayımıyla β, σ_i^2 ve Γ_i ifadeleri, (3.6) ifadesinde verilen yaklaşık olasılıkların çarpımından kestirilebilir.İlave dağılım parametreleri, σ_i^2 ve Γ_i kestirilmeleri gerekliliği bu modele eklenen bir sorumluluktur. Fakat, kalite de büyük kayıp olmaksızın gerçek bir yapının uygulanması sayesinde dağılım parametreleri sayıları büyük oranda düşürülerek kestirim basitleştirilebilir. Örneğin bu belli dönüşümler yapılarak başırılabilinir.

$\hat{\beta}$ bulunmadan önce modelin seçilmesi, yani X_i matrisinin oluşturulması gerekmektedir. Bu, cevap özelliklerini ayrı ayrı düşünerek ve dağılım parametreleri için basit kestirimler kullanarak basitleştirilebilir. Bu ise problemi tek değişkenli ağırılıklı en küçük kareler problemi şeklinde göz önüne alınmasına izin verir ve bundan sonra herhangi standart bir model seçme metodu kullanılabilir.

Mümkün olan modellerin tek değişkenli metodlar kullanılarak seçimi yapılmış ve parametreleri (3.6) ifadesindeki yaklaşık olasılık maksimize edilerek kestirilmiştir. Daha sonra maksimize edilmiş olasılık değerleri karşılaştırılarak farklı modeller karşılaştırılabilir. Bununla birlikte model seçiminde sisteme ait mühendislik bilgisinin göz önüne alınması gerekir ve bu diğer otomatik model seçme prosedürlerinden daha önemlidir.

Farklı cevap özellikleri için kullanılacak modellere karar verildikten sonra modellerin uydurulması gerekir. Bu olasılığı maksimize ederek yapılacaktır.

(3.6) ifadesi , ateşleme avansı taramalarının bağımsız olduğu varsayılarak daha uygun bir şekilde yazılabilir;

$$\tilde{P} \sim N_{(nr)}(Z\beta, W(\omega)) \tag{3.7}$$

Burada ω tüm dağılım parametrelerini içeren bir vektör, $\tilde{P}$ n tane $\tilde{p}_i$ vektörünün birbirlerinin üstüne konarak elde edilen vektör ve Z, X_i vektörlerinin üst üste konması ile elde edilir. W matrisi diyagonalında $\Gamma_i + \sigma_i^2 \sum_i$ ifadeleri olan blok diyagonal matrisdir.

Bu nedenle çok değişkenli normal dağılımın tanımından negatif log-olasılık şu şekilde yazılabilir;

$$l(\beta, \omega) = \log|W| + (\tilde{P} - Z\beta)' W^{-1} (\tilde{P} - Z\beta) \tag{3.8}$$

Olasılığı maksimize etmek negatif log-olasılığı minimize etmekle eş değerdir ve bu nedenle $l(\beta,\omega)$ ifadesinin minimum yapan $\hat{\beta}$ ve $\hat{\omega}$ ifadelerinin bulunması gerekir. Bu standart bir fonksiyon minimizasyon rutini ile yapılabilir, fakat bu gibi rutinlerin yakınsama özellikleri, eğer minimizasyon büyük sayıda parametrenin bulunması için yapılıyorsa, hızlı bir şekilde kötüleşir.

Büyük bölümü, tipik olarak dağılım ω parametrelerinden çok doğrusal β parametreleri, olan çok sayıda parametre kullanılması muhtemeldir. Bu nedenle $\hat{\beta}$ ve $\hat{\omega}$ ifadelerini bulmanın en uygun yolu , minimizasyonu sadece dağılım parametreleri için yaparak değişken sayısını düşüren profil olasılığını kullanmaktır. Bu mümkündür çünkü verilen W için $\hat{\beta}$ genelleştilmiş en küçük kareler kestirimidir.

$$\hat{\beta} = (Z'W^{-1}Z)^{-1}Z'W^{-1}\tilde{P} \tag{3.9}$$

Buna göre (3.8) ifadesini sadece ω fonksiyonu olarak yazabiliriz

$$l(\omega) = \log|W| + \tilde{P}'(W^{-1} - W^{-1}Z(Z'W^{-1}Z)^{-1}Z'W^{-1})\tilde{P} \tag{3.10}$$

ve buradan bu fonksiyonu minimize ederek $\hat{\omega}$ ifadesini ve dolayısıyla $\hat{W}$ matrisini bulabiliriz. Buna göre $\hat{\beta}$ ifadesi de (3.9) ifadesinden elde edilir.

3.4. Dizel Motorlar İçin Kullanılan Lokal ve Global Model Tipleri

3.4.1. Radyal Tabanlı Fonksiyonlar

Radyal Tabanlı Fonksiyonlar çok boyutlu uzayda eğri uydurma yaklaşımıdır. Eğri uydurma teorisi, herhangi bir çok değişkenli ve sürekli f(x) fonksiyonunu yaklaştırma ya da interpole etme problemi ile ilgilidir. İnterpolasyon problemi, k=1,2,.....N için μk – veri noktası ve dk-gerçek değerler olmak üzere y(μ) = dk interpolasyon koşulunu sağlayan y(.) fonksiyonunun bulunması olarak tanımlanır. Radyal Baz fonksiyonlarla doğrusal y(.);

$$z(x) = \Phi(\|x - \mu\|) \tag{3.11}$$

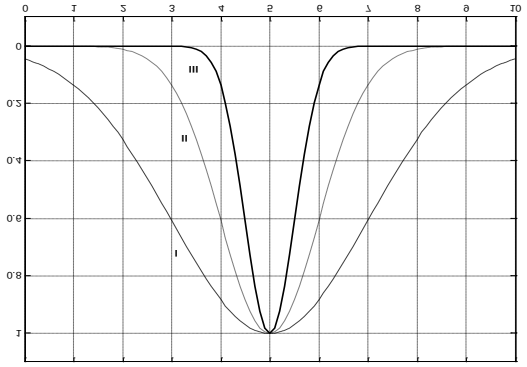
Model, N radyal bazlı fonksiyon ile N farklı merkezin doğrusal bir kombinasyonu

olarak oluşturulur. Verilen bir x vektörü için, radyal tabanlı fonksiyon ağının çıkışı etkinlik vektörü $\hat{y}$ aşağıdaki şekilde verilir :

$$\hat{y} = \sum_{j=1}^{N} \beta_j z_j(x) \tag{3.12}$$

Denklemleri ile bulunur. Burada $\varphi(.)$ – doğrusal olmayan Radyal Baz fonksiyonu; **x** – n boyutlu vektördür. $\|\cdot\|$ – genellikle standart öklit uzaklığıdır. μ – veri noktalarından belirlenecek olan Radyal Baz Fonksiyonların merkez vektörleridir. $\hat{\mathbf{y}}$ – y tarafından ifade edilen değerlerin hedef kümesine yaklaşımıdır. **Bj** – j. RBF' nin ağırlık bileşenidir. RBF'nın genel yapısında veri örneği kadar orta katman hücresine ve ağırlığa gerek duyulduğundan genel çözümü yakınsayan en iyi çözüm aranır.

İki aşamalı modelleme prosesinde Φ profil fonksiyonu ile karakterize edilen bazı radyal tabanlı fonksiyonlar mevcuttur. Her radyal tabanlı fonksiyon ile ilişkilendirilmiş bir genişlik parametresi σ bulunmaktadır. RBF genişlik parametresi olan σ – fonksiyonun merkezi etrafındaki genişlemeyi etkilemektedir. Başlangıçta varsayılan genişlik her merkezin en yakın komşusuna olan uzaklığının ortalamasıdır. Bu deneme yanılma yöntemi ile tayin edilmiş olup, genişlik seçim algoritması için bir başlangıç noktası teşkil etmektedir. Aşağıdaki grafikte bunu net olarak görmekteyiz;



Şekil 3.2: Radyal Tabanlı Fonksiyon (($\mu_{1,2,3}$ =5;σ_1 =2, σ_2 =1, σ_3 =0.5))

Diğer parametre olan λ – düzenleme parametresidir. Genellikle pozitif ve küçük değerler alan λ, uygun algoritmaların çoğunda kullanılır. y çıkışının düzgün

yaklaşımını üretmek ve ağın overfit eğilimini azaltmak için büyük ağırlıkları kısıtlandırır.

Bazı radyal tabanlı fonksiyon ve açıklamaları aşağıda verilmektedir. Burada verilen radyal tabanlı fonksiyon tipleri bu çalışmada yapılan uygulamada en uygun modelin araştırılması esnasında kullanılmıştır:

3.4.1.1. Gauss Merkezcil RBF

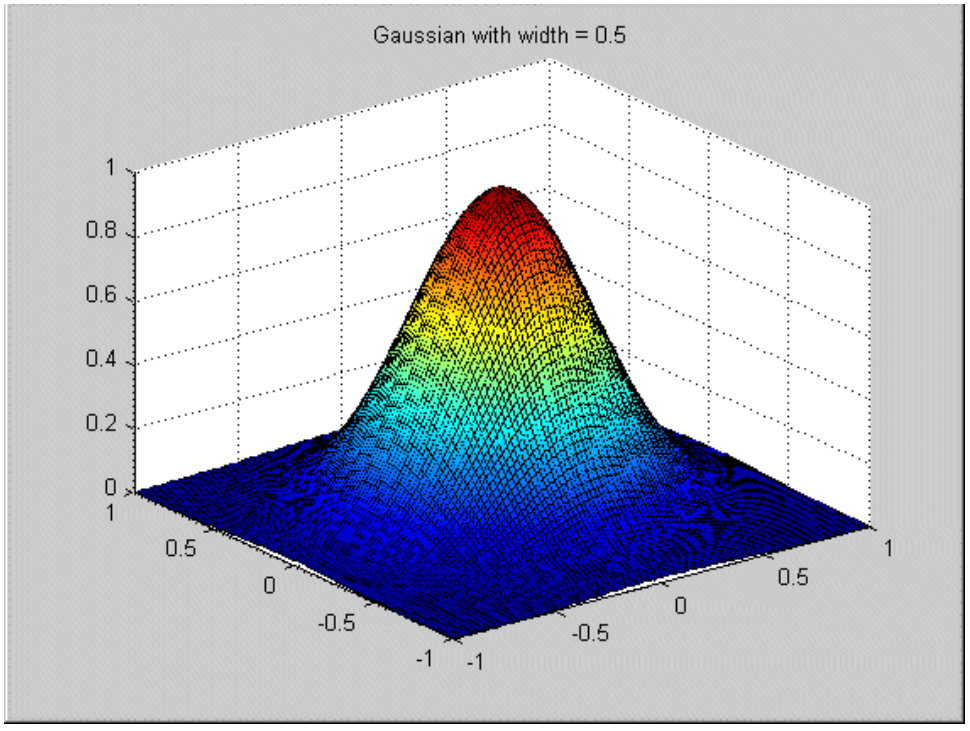
Sinir Ağlarında kullanılan en genel RBF' nu Gauss Merkezcil Radyal Tabanlı Fonksiyonudur. Profil fonksiyonu;

$$\Phi(r) = e^{(-r^2/\sigma^2)} \tag{3.13}$$

Bu profil fonksiyonu şu şekilde bir radyal tabanlı fonksiyon ortaya çıkarır :

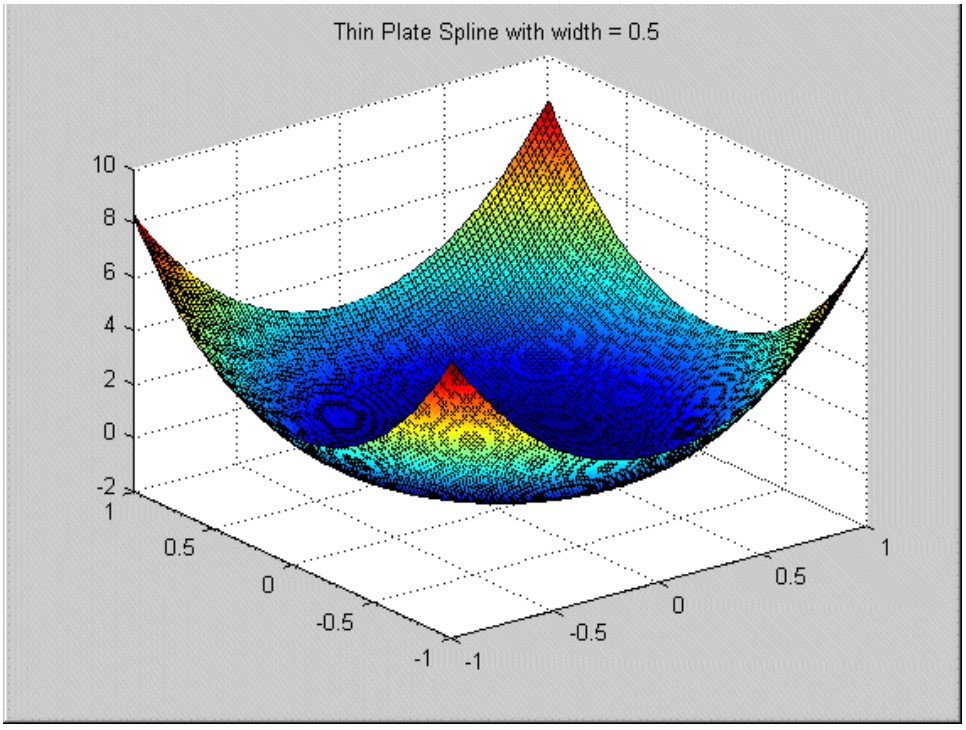
$$z(x) = \exp\left[\frac{\|x-\mu\|^2}{\sigma^2}\right] \tag{3.14}$$

Bu ifadede genişlik parametresi Gauss Fonksiyonunun standart sapması ile aynıdır.Genişlik arttıkça eğri daha da genişlemekte ve fonksiyonun sayısal olarak duyarlı olduğu bölge genişlemektedir.



Şekil 3.3: Gauss Merkezcil Radyal Tabanlı Fonksiyon

3.4.1.2. İnce Tabakalı Oluk RBF



Şekil 3.4: İnce Tabakalı Oluk Radyal Tabanlı Fonksiyon

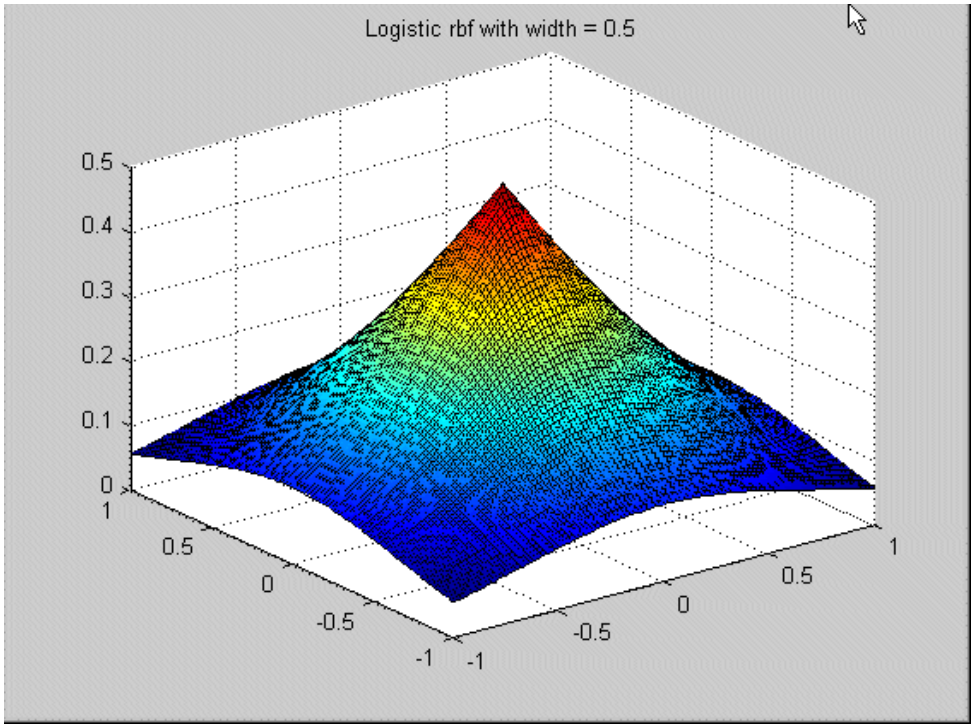
Bu RBF Grace Wahba tarafından ortaya atılan düzgün oluk RBF örneğidir. Bunlar genellikle düşük dereceli polinom terimleri tarafından etkilenirler. Fonksiyonu;

$$\Phi(r) = (r/\sigma)^2 \log(r/\sigma) \tag{3.15}$$

3.4.1.3. Lojistik Tabanlı Fonksiyon

Bu radyal tabanlı fonksiyon Hassoun tarafından ortaya atılmıştır. Fonksiyonu;

$$\Phi = \frac{1}{1+\exp(\frac{r}{\sigma^2})} \tag{3.16}$$

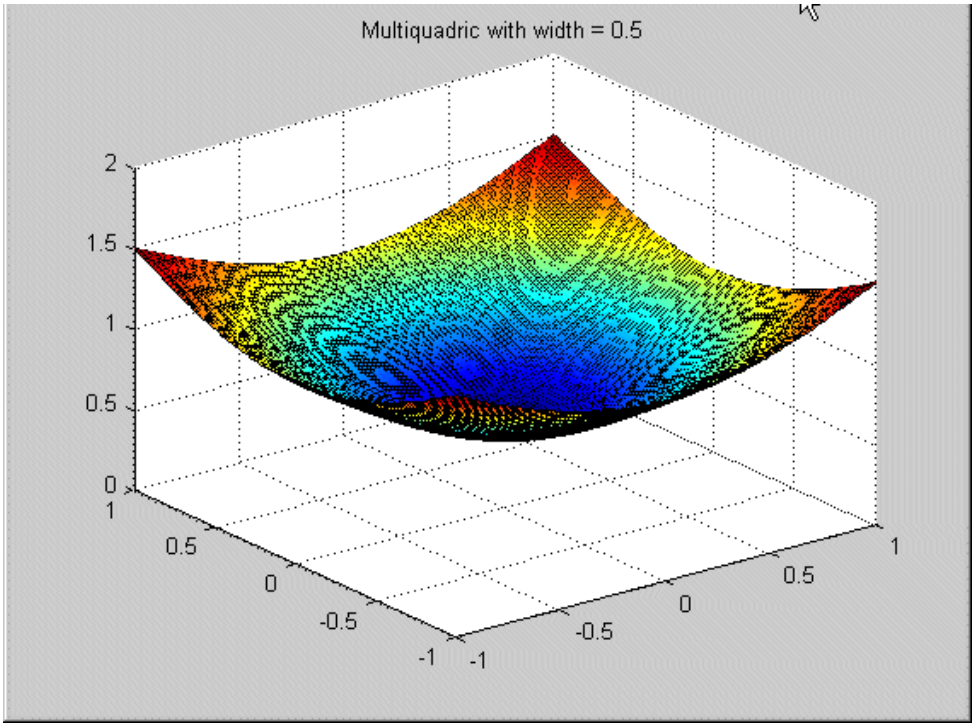


Şekil 3.5: Lojistik Radyal Tabanlı Fonksiyon

3.4.1.4. Çoklu Kuadratik RBF

Bu fonksiyon genişlik veri uydurmasında kullanılan en popüler araçtır. Fonksiyonu;

$$\Phi(r) = \sqrt{r^2 + \sigma^2} \tag{3.17}$$

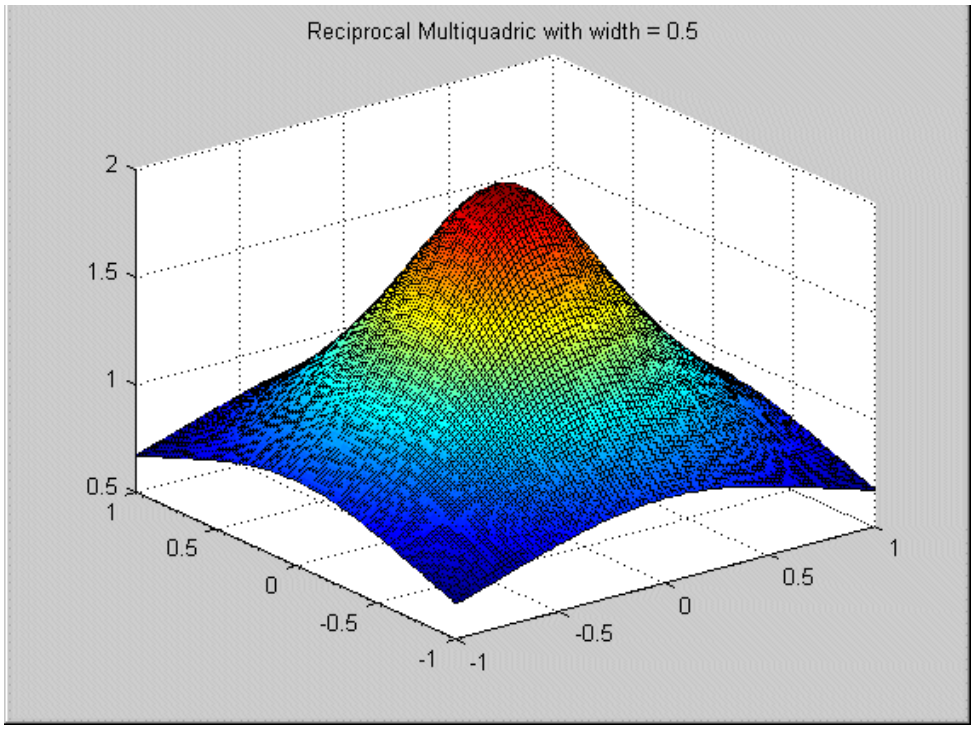


Şekil 3.6: Çoklu Kuadratik Radyal Tabanlı Fonksiyon

3.4.1.5. Karşılıklı Çoklu Kuadratik RBF

Fonksiyonu,

$$\Phi(r) = 1/\sqrt{r^2 + \sigma^2} \qquad \sigma \neq 0 \tag{3.18}$$



Şekil 3.7: Karşılıklı Çoklu Kuadratik Radyal Tabanlı Fonksiyon

RBF ' na karar vermek için gerekli olan 4 karakteristiği vardır. Bunlar; ağırlıkları, merkezleri, genişliği ve λ ' dır. Uygun sonuç elde edilmek isteniyorsa bu parametrelerin her birinin iyi seçilmesi gerekmektedir. Ağırlıklar her zaman hesaplanırken genişlik, merkezler ve λ açıkça belirtilir, uygun lineer sistem denklemleri çözülür. Bununla beraber, ilk anda en uygun merkezlerin, genişliğin ve λ' nın hesaplanma problemi kolay değildir,ayrıca parametreler arasındaki güçlü bağımlılıklar işi daha da karmaşıklaştırır. Örneğin, en uygun λ, genişlik parametresi (σ) değiştikçe çok büyük bir değişim gösterir. Mümkün olan merkez yerlerin tamamındaki genel araştırma, genişlik ve λ hesaplamada engelleyici olsa da en basit yol RBF ile yapılandır.

Bu problemin üstesinden gelmek için Fonksiyon Uydurma Yöntemi üç farklı seviyeden yararlanır.

En Alt Seviye, verilen genişlik (σ) ve λ için uygun merkezi seçen algoritmalardır. Merkezler bir sefere mahsus aday kümesinden (genellikle veri noktaları kümeleri veya bunların alt kümeleri) seçilir. Elde edilen merkezler kabaca önem sırasına göre derecelendirilir.

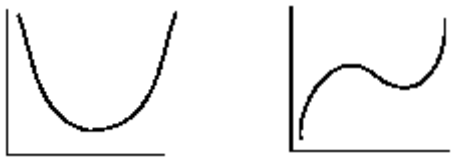
Orta_Seviye, verilen genişlik parametresine (σ) göre uygun λ değerleri ve merkezleri seçen algoritmalardır.

Üst Seviye, her bir merkezler, genişlik (σ) ve λ için en iyi değerleri bulmayı hedefleyen algoritmalardır**.** Bu Üst Seviye Algoritmaları çeşitli genişlik değerlerini test eder. Her bir genişlik değeri kullanılarak λ değerleri için uygun merkezleri bulan Orta_Seviye Algoritmalarından biri çağrılır.

3.4.2. Polinomlar

n. dereceden bir polinom aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$\beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 + ...+ \beta_n x^n \tag{3.19}$$



Kuadratik Eğri Kübik Eğri

Şekil 3.8: Derecelerine göre bazı polinom eğrileri

Yukarıdaki şekilde gösterildiği gibi $y = ax^2 + bx + c$ formundaki kuadratik bir polinom tek bir dönüş noktasına sahipken, $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$ formundaki kübik bir polinom iki dönüş noktasına sahiptir. Polinomun derecesi arttıkça daha fazla dönüş noktası uydurmak mümkün olmaktadır. n. dereceden bir polinom (n-1) kadar dönüş noktasına sahip olabilmektedir.

3.4.3. Karma Radyal Tabanlı Fonksiyonlar

Karma RBF'lar bir radyal tabanlı fonksiyon ile polinom veya hibrit eğriler gibi standart doğrusal modelleri birleştirir. Tüm modeli oluşturmak için iki parça birbirine eklenir. Bu yaklaşım, herhangi bir değişkendeki quadratik davranış beklentisi gibi bir ön bilginin RBF'ların parametrik olmayan doğası ile birlikte kullanılmasına olanak sağlar.

Karma RBF'lar için kullanılan genişlik seçim algoritmaları daha önce bahsedilmiş olan RBF'lar için kullanılan seçim algoritmaları ile aynıdır. Düzenleme parametresi λ için kullanılan algoritma radyal tabanlı fonksiyon ve doğrusal model terimlerini iki ayrı adımda değil birbirleri ile birleştirilmiş bir şekilde seçer. Her adımda bir arama prosedürü, radyal tabanlı fonksiyon (veri noktaları içinden seçilmiş bir merkez ile) veya doğrusal modelin parametrelerini, düzeltilmiş hataları en küçük yapacak şekilde, seçmek için çalıştırılır. Bu proses maksimum sayıda terim seçilene kadar devam eder.

Düzenleme parametresinin seçimi için kullanılan bir diğer algoritma da ilk olarak verilen model tipine göre doğrusal modeli uydurur ve ardından artıklara bir radyal tabanlı fonksiyon uydurur. Doğrusal modelin uydurulması esnasında adımsal regresyon kullanılabilir. Bu durumda, doğrusal model uydurulduktan sonra radyal tabanlı fonksiyon uydurulmadan önce bazı terimler otomatik olarak eklenip çıkartılabilir.

3.5. Model Seçiminde Kullanılan İstatistik Parametreler

3.5.1. Lokal Model Tipi Seçiminde Kullanılan İstatistikler

Veri kümesi içinde yapılan n tane adım içinden, n-1 tanesi model denkleminin uydurulması için kullanılırken geri kalan bir tanesi bu modelden alınacak tahmin için kullanılır. Kaydedilmiş veri değeri ile model tarafından verilen değer(dahil edilmeyen adımdaki değerde) arasındaki fark, öngörü artığı olarak adlandırılır. PRESS, öngörü artıklarının karelerinin toplamıdır. PRESS/n ifadesinin karekökü ise PRESS RMSE'dir.

Dikkat edilmesi gereken öngörü artığı ile kaydedilmiş veri değerleri ve tüm veri kümesine uydurulmuş modelin değeri arasındaki fark olan, normal artık ifadesinin farklı olduğudur.

PRESS istatistiği modelin öngörüsel gücü hakkında önemli bilgiler verdiği için PRESS minimum yapılmaya çalışılır. PRESS RMSE ile RMSE değerlerini karşılaştırmak overfitting ile ilgili problemleri işaret edebileceğinden önemlidir. RMSE, model tüm data noktalarına yakınlaştıkça minimize olur; dolayısıyla veriyi takip etmek RMSE değerini geliştirir. Fakat , bazı durumlarda veriyi takip etmek modelde veri noktaları arasında güçlü osilasyonlara sebep olabilir; bu davranış iyi RMSE değerleri verebilir fakat veriyi temsil etmemektedir ve verinin bulunmadığı bölgelerde güvenli bir öngörü vermeyecektir. PRESS RMSE istatistiği, eğer regrasyona dahil edilmeselerdi, modelin veri kümesindeki her noktayı ne kadar iyi öngöreceğini test ederek bu probleme karşı önlem alır. Küçük PRESS RMSE değeri elde etmek genellikle modelin, herhangi bir veri noktasına aşırı derecede duyarlı olmadığı anlamına gelir.

İki aşamalı model için PRESS değerinin hesaplanması aynı prensiple yapılır(modeli n-1 adımda uydurmak ve geriye kalan için bu modelden bir tahmin almak) fakat bu durumda tahmin edilen değerler ilk olarak veri noktaları yerine cevap özellikleri için bulunur. Tahmin edilen cevap özellikleri daha sonra test için lokal eğriyi yeniden oluşturmakta kullanılır ve bu eğri iki-aşamalı tahminlerin el edilmesi için kullanılır.Bu aşağıdaki şekilde uygulanır:

İki-aşamalı PRESS değerini hesaplamak için:

1. Her test için,S, aşağıdaki adımlar yapılır:

- Her bir cevap özelliği için, S için cevap özelliği tahmini ne olabileceği hesaplanır(hesaplamadan S için olan cevap özellikleri çıkarılmış olarak)
- Bu S dışındaki tüm testlere bağlı bir lokal öngörü eğrisi C verir
- Testteki her data noktası için,gözlenmiş değer ile C ile tahmin edilen değer arasındaki fark hesaplanır.

2. Tüm testler için tekrarlanır.

3.Bulunan tüm fark değerlerinin kareleri toplanır ve tüm veri noktası sayısına bölünür.

Aşağıdaki tabloda verilen istatistikler, iki aşamalı modelleme esnasında lokal model değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

Lokal RMSE	Görüntülenen test için veriye uydurulan lokal model kullanılarak bulunan hatanın karesinin ortalamasının kare köküdür.
İki- aşamalı RMSE	Görüntülenen test için veriye uydurulan iki-aşamalı model kullanılarak bulunan hatanın karesinin ortalamasının kare köküdür.
PRESS RMSE	Tahmin edilen hatalar için hatanın karesinin ortalamasının kare köküdür. Bölen olarak gözlem sayısı kullanılır.
İki-aşamalı T^2	T^2 , tüm cevap özelliği modelleri için normalize edilmiş hataların kareleri toplamıdır. Temel formül ; $T^2 = (y_{rf} - \hat{y})^T \sum^{-1} (y_{rf} - \hat{y})$ Burada , $\sum = blockdiag(C_i + D)$, C_i ise i. test için lokal kovaryanstır. Büyük bir T^2 değeri cevap özelliği modelleri ile ilgili bir problem olduğu anlamına gelir.
-log L	Log-olasılık fonksiyonu: Bazı parametrelerin bulunduğu gözlemlerin olasılıklarıdır.İhtimalin büyük olması istenir, negatif sonsuza doğru, dolayısıyla büyük negatif bir değer iyi bir sonuçtur.

3.5.2. Global Model Tipi Seçiminde Kullanılan İstatistikler

3.5.2.1. Küçük-Örnek Akaike Bilgi Ölçütü (AIC_c)

Akaike Bilgi Ölçütü (AIC), Kullback-Leibler bilgi tanımını $I(f;g)$, gerçek(doğru) model f(y) ile önerilen model g(y|β) arasındaki asimetrik uzaklık veya farkın bir ölçütü olarak adapte edilmesiyle elde edilir. Burada β parametre vektörüdür. Büyük örnekleme teorisine göre Akaike $I(f;g)$ için aşağıdaki gibi genel bir forma sahip kestirici türetmiştir ;

$$AIC_m = -2\log(L_m) + 2k_m \tag{3.20}$$

Burada L_m M alternatif model içinden m. model için örnek log-olasılığı ve k_m ise m. model için öngörülen bağımsız parameter sayısıdır. Yukarıdaki ifadede k_m m. Model için parametre sayısını vermektedir, $2k_m$ terimi ise parametre fazlalığı için bir kısıtlama olarak görülebilir. AIC nün türetilmesinde, bir model için doğru parametric değerlerin maksimum olasılık kestirimleri ile yer değiştirmesi ile sonuçlanan bilgi kaybı kavramıda içerilmiştir.

İki veya daha fazla modelin seçilmesinde min(AIC) stratejisi kullanılır. Genel düşünce, AIC_m değeri en küçük olan modelin doğru modele en iyi yaklaşımı sağladığıdır. Bir başka deyişle en küçük AIC değerine sahip model, doğru parametric değerleri ile maksimum olasılık kestirimleri yer değiştirdiğinde en az bilgi kaybı olması beklenen modeldir. Pratikte, karşılaştırılan modeller içinde doğru modelin olup olmadığı bilinmediğinden, AIC değeri en düşük olan model doğru model olmayabilir.Hipotez test prosedürlerinden farklı olarak AIC model seçim yaklaşımı aşama aşama olmaktan çok bir bütünseldir. Böylece, örneğin, dört hiyerarşik doğrusal regresyon modelinin karşılaştırılmasında, AIC değeri her model için hesaplanır ve en iyi modeli seçmek için minimum AIC değerine sahip model kriteri uygulanır.

Fakat, örnekleme boyutuyla ilişkili parametrelerin sayısı arttıkça Akakike bilgi ölçütü kötü sonuçlar vermeye başlamaktadır. Bu nedenle, küçük-örnek Akaike bilgi

ölçütü(AIC_c) adı verilen ve AIC kriterine bazı düzenlemeler yapılarak elde edilen yeni bir ölçüt tanımlanmıştır:

$$AIC_m = -2\log(L_m) + 2k_m * n/n - k_m - 1 \quad (3.21)$$

Burada n örnek boyutu veya veri noktası sayısıdır. Akaike bilgi ölçütünde yapılan düzenleme ise parametre sayısı fazlalığını kısıtlayan terimin $n/n-k_m-1$ ifadesiyle çarpılması ile yapılır. AIC_c sadece ilave bir yanlı düzeltme terimine sahiptir. Eğer veri noktası sayısı(n), parametre sayısına (k) göre fazlaysa, bu durumda ikinci dereceden düzeltme ihmal edilebilir ve AIC ifadesi iyi sonuçlar verir. Genellikle, AIC_c karar verme kriterinin kullanımı n/k oranının küçük olduğu değerlerde kullanılır(örneğin <40). AIC ile AIC_c kriterleri arasından hangisinin kullanılacağının karar verilmesinde aday model kümesi içinde en büyük boyutlu modelin parametre sayısı (k) kullanılmalıdır. Eğer n/k oranı yeterince büyük ise AIC ve AIC_c benzerdir ve aynı modeli seçme eğilimindedir. Model analizi yapılırken sürekli olarak AIC ve AIC_c kriterlerinden sadece bir tanesinin kullanılması gerekir. Eğer örnekleme boyutu kestirilmiş parametrelere göre çok büyük değilse AIC_c kriterinin kullanımı önerilmektedir.

3.5.2.2. Düzeltilmiş R^2

Uydurulmuş modelin uygunluğunu değerlendirmek için öncelikle yapılması gereken işlemlerden biri artıkların bulunmasıdır. Bu işlem şu şekilde gerçekleştirilir:

Veri kümesindeki her bir x değeri için y 'nin uydurulmuş evay öngörülen değeri bulunur(örn; $\hat{y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i$ gibi bir regresyon modelini kullanarak)

Daha sonra yukarıdaki adımdan elde edilen her uydurulmuş değer karşılık gelen gerçek veya gözlemlenen y_i değerinden çıkarılır. Karesi alınır ve bu farkların toplamı SSR değerini verir.

SSR ifadesinin büyüklüğü veri kümesindeki veri noktalarının sayısına dayanır(diğer faktörlerin eşit olduğu düşünülürse, daha çok veri noktası artıkların kareleri toplamını arttıracaktır). Yine de buna izin vermek için artıkların kareleri toplamını, kestirilecek parametrelerin veri noktası sayısından çıkarılması ile elde edilen serbestlik derecesine bölebiliriz. n veri noktası sayısını ifade etmek üzere basit bir

regresyon modelin ($\hat{y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i$) serbestlik derecesi, d.f = n-2 olacaktır. Sonuç ifadenin karekökü *regresyonun öngörülen standart hatası*($\hat{\sigma}$) olarak anılır:

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}} \tag{3.22}$$

Standart hata bize uydurulan eşitliğin örnek veriye ne kadar iyi uydurulduğu hakkında bilgi verir. Fakat standart hata bağımlı değişkenin ölçüm birimine duyarlıdır. Dolayısıyla $\hat{\sigma}$ ifadesinin çok büyük veya küçük değerler alması uygulamaya bağlı kalır ve uygun bir seçim kriteri değildir.

R^2 uydurulan eşitliğin ne kadar iyi uyduruluğunun bir ölçüsü olan standardize bir istatistiktir. Bu istatistik aşağıdaki hesaplanmaktadır:

$$R^2 = 1 - \frac{SSR}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \equiv 1 - \frac{SSR}{SST} \tag{3.23}$$

Burada SSR bağımlı değişken içindeki açıklanamayan değişim olarak düşünülebilir-regresyon eşitliğinin öngörüsü göz önüne alındığında geriye kalan değişim. Diğer taraftan $\sum (y_i - \bar{y})^2$ ifadesibağımlı değişkenin ortalaması civarındaki *toplam değişimi*(SST) ifade etmektedir. Bu durumda R^2 ifadesi 1 den y_i deki açıklanamayan değişim oranını çıkararak yazılabilir; bir başka deyişle y_i içindeki değişimin kestirilen eşitlik tarafından açıklanan oranını gösterir. R^2 0 ile 1 arasında değerler almaktadır.

$$0 \le R^2 \le 1 \tag{3.24}$$

$R^2 = 1$ en iyi durumu göstermektedir ve sadece veri noktalarının düzgün bir çizgi üzerinde yer almaları durumunda elde edilebilir; $R^2 = 0$ en kötü durumu göstermektedir, y_i için bir kestirici olan x_i tamamıyla kullanışsızdır.

Regresyon eşitliğine ilave bir değişkenin eklendiği durumda, SSR değerinin arttırması için bir yol yoktur, ve gerçekte eklenen değişken çok ilişkili olmasa da SSr değerini biraz düşürmesi muhtemeldir. SSR değerinin düşmesi R^2 değerinin artması anlamına gelir. Bu nedenle maksimum R^2 değerine ulaşılmak için konu ile ilgili olmayan bir çok değişkenin regresyon eşitliğine eklenmesi istenebilir. Bu ise model

hakkında yanlış kararlar verilmesine neden olacaktır. Bu durumu önlemek için alternatif bir hesaplama yöntemi R^2 ifadesine ilave değişken eklemeyi kısıtlayan bir düzeltme yapılarak bulunan düzeltilmiş R^2 istatistiği geliştirilmiştir. Dolayısıyla bir değişkenin eklenmesi durumunda regresyon modelinin öngörüsel gücünün artıp artmadığının belirtisi düzeltilmiş R^2 ifadesi ile daha doğru bir şekilde görülebilecektir. Düzeltilmiş R^2 ifadesi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\bar{R}^2 = 1 - \frac{SSR/(n-k-1)}{SST/(n-1)} = 1 - \frac{n-1}{n-k-1}(1-R^2) \qquad (3.25)$$

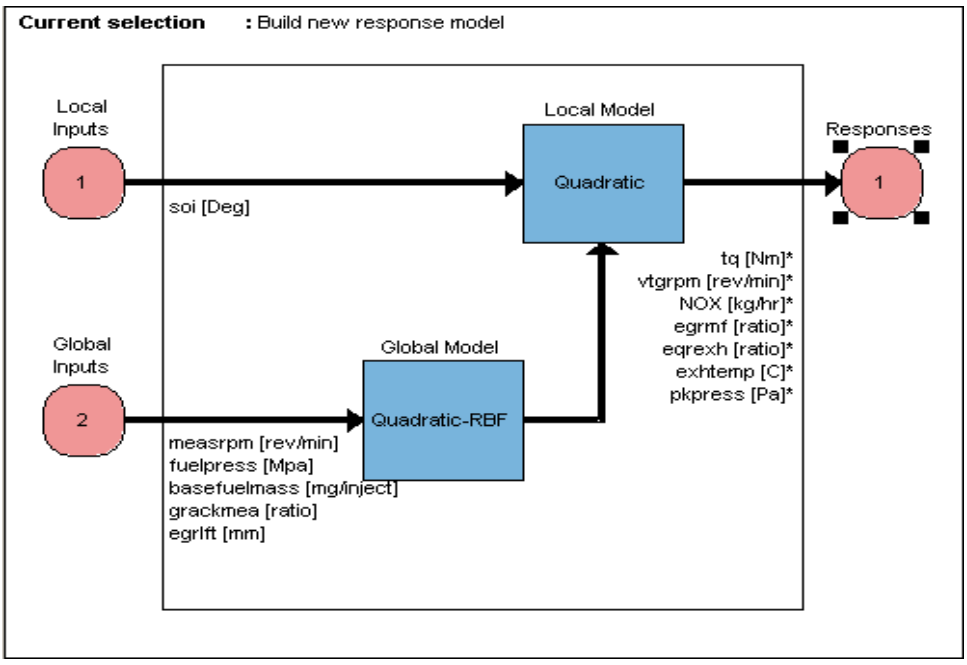
Burada k+1 kestirilecek parametre sayısını temsil etmektedir.(bu değer basit bir regresyon modelinde 2 olacaktır)

4. UYGULAMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Uygulama Verisinin Tanıtılması

Bu çalışmada, daha önce tanıtımı yapılan otomotiv endüstrisindeki kalibrasyon prosesinde önemli bir yeri olan motor haritalama modelinin iki-aşamalı yaklaşım kullanılarak bir dizel motoru için uygulaması gösterilecektir. Motor haritalama modelinin oluşturulması için kullanılan dizel motora ait altı girişli-yedi çıkışlı sistem için 455 giriş-çıkış verisi kullanılmıştır. Sistem girişleri olarak püskürtme başlangıcı, motor hızı, yakıt miktarı ve basıncı, değişken geometrili türbin kanat pozisyonu ve egzost gazı geri dönüşüm oranı valf konumu, çıkışları ise tork, egzost sıcaklığı, azot oksid emisyonu, silindirde oluşan en yüksek basınç,egzost gazı yakıt fazlalık oranı , değişken geometrili turbo hızı ve silindir içindeki artık gaz oranı olmak üzere bir dizel motorun iki aşamalı modellemesi Matlab® Model Based Calibration Toolbox (MBC) kullanılarak yapılmıştır.

4.2. İki Aşamalı Modelleme Blok Diyagramı ve Açıklaması



Şekil 4.1: İki aşamalı model blok diyagramı

Bu kısımda temel amaç iki-aşamalı modelleme yaklaşımı kullanılarak dizel motoru için belirlenen çıkışları, püskürtme başlangıcı, motor hızı, yakıt miktarı, yakıt basıncı, turbo şarjer hızı ve egzost gazı geri dönüşüm oranının bir fonksiyonu olarak modellemektir. Bir aşamalı modelleme, modeli, verinin yapısını dikkate almadan, tüm veriye bir proseste uydurur. Burada olduğu gibi veri açık bir hiyerarşik yapıya sahipse, iki-aşamalı modelleme bu iş için daha uygundur.

Motorlarda veri toplamanın alışılmış yolu bazı motor parametrelerini sabit tutarken bir parametrenin belli değerler arasında değiştirilmesi ve her cevap için sonuçların kaydedilmesi şeklinde gerçekleştirilir. Bu çalışmada her testte değiştirilecek parametre püskürtme başlangıcıdır. Her testte sabit tutulan parametreler ise motor hızı, yakıt miktarı, yakıt basıncı, turbo şarjer hızı ve egzost gazı geri dönüşüm oranıdır. Bir başka deyişle burada oluşturulan model, bir dizel motoru tarafından üretilen belli çıkışların, püskürtme başlangıcının bir fonksiyonu olarak, motor hızı, yakıt miktarı, yakıt basıncı, turbo şarjer hızı ve egzost gazı geri dönüşüm oranı tarafından belirlenen çalışma noktasında öngörmek için tasarlanmıştır. Dolayısıyla lokal model girişi püskürtme başlangıcı olarak seçilmekte, global model girişleri ise modellenecek sistemin çalışma noktasını belirleyen parametreler olan motor hızı, yakıt miktarı, yakıt basıncı, turbo şarjer hızı ve egzost gazı geri dönüşüm oranı değişkenleri olarak seçilmektedir.

Blok diyagramında, testler içindeki değişim lokal, testler arasındaki değişim ise global olarak adlandırılmaktadır. Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi lokal ve global model için sırasıyla kuadratik ve kuadratik-RBF model tipleri belirlenmiştir. Model tipi, test verisine uydurulacak eğrinin şeklini belirlemektedir.

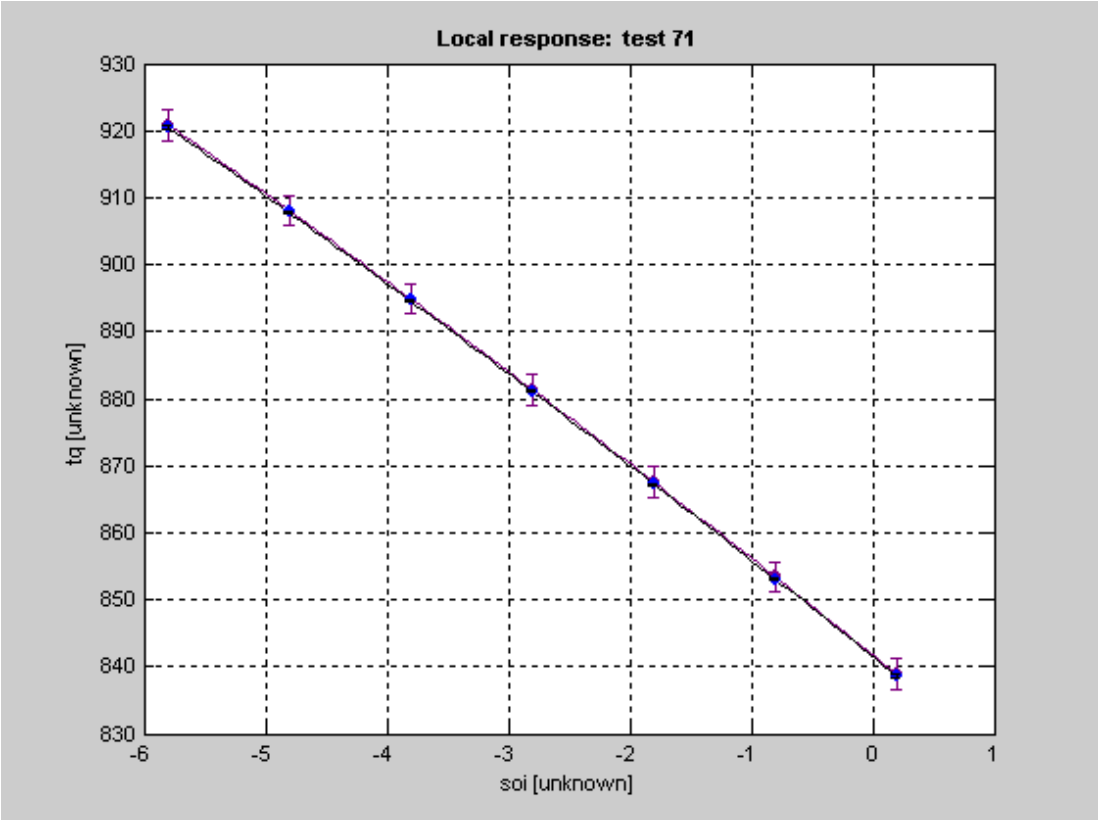
Bu uygulamada lokal ve global değişim, ayr ayrı iki aşamada lokal ve global modeller uydurularak öngörülecektir. Burada her test için bağımsız olarak bir lokal model uydurulacak. Ardından tüm lokal modellerden gelen sonuçlar, tüm global değişkenler ile global modeli uydurmak için kullanılacaktır. Global modeller kestirildikten sonra herhangi bir motor hızı, yakıt miktarı, yakıt basıncı, turbo şarjer hızı ve egzost gazı geri dönüşüm oranı için lokal model katsayıları öngörülebilecektir.

4.3. Tork Cevabının Modellenmesi

Tork çıkışı için lokal model olarak Quadratik model tipi dışında Linear model tipi kullanılarak da modelleme yapılmış, fakat lokal modelin Quadratik olması durumunda en iyi sonucun elde edildiği görülmüştür. Quadratik lokal model tipi için üç adet cevap özelliği belirlenmiştir. Bu üç cevap özelliği de parametrik özelliklerdir. Tork çıkışının modellenmesi esnasında aynı zamanda global modele uyabilecek en iyi model tipinin belirlenmesi amacıyla her üç global model içinde Cubic, Quadratic-RBF, RBF-Gaussian, Linear-RBF model tipleri denenmiş ve uygun model tipinin Quadratic-RBF olduğuna karar verilmiştir.

4.3.1. Lokal Model Seçim Sonuçları

Kullanılan veri kümesinde yedişer adet gözlem içeren 65 ayrı test bulunmaktadır. Dolayısıyla 65 ayrı lokal model oluşturulmuştur. Burada belli tesler için bu lokal modellere ait veri ve uydurulan model grafikleri verilecektir.

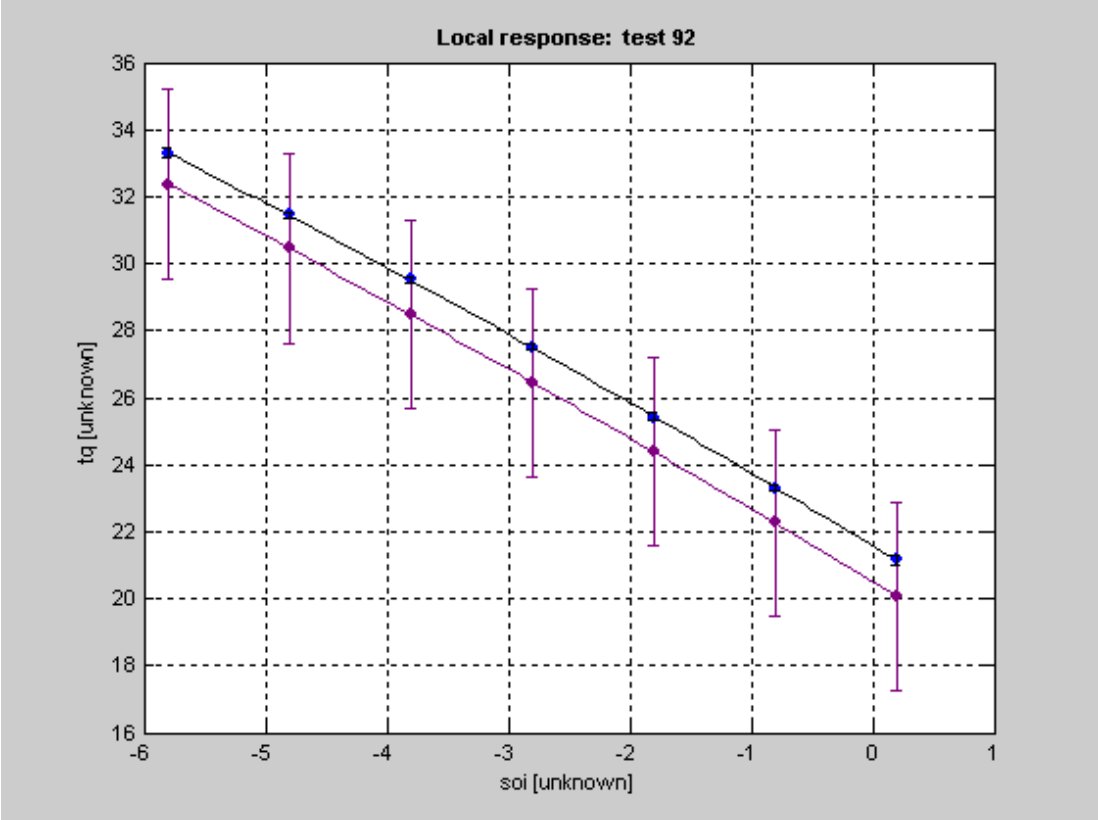


Şekil 4.2: 11. test için lokal model grafiği

Ayrıca her lokal modelin uydurulan matematiksel ifadesi de modellerin daha iyi anlaşılması amacıyla sunulmaktadır.

11. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

$$tq = 883.808 - 81.52861 * soi - 6.232953 * soi^2 \qquad (4.1)$$



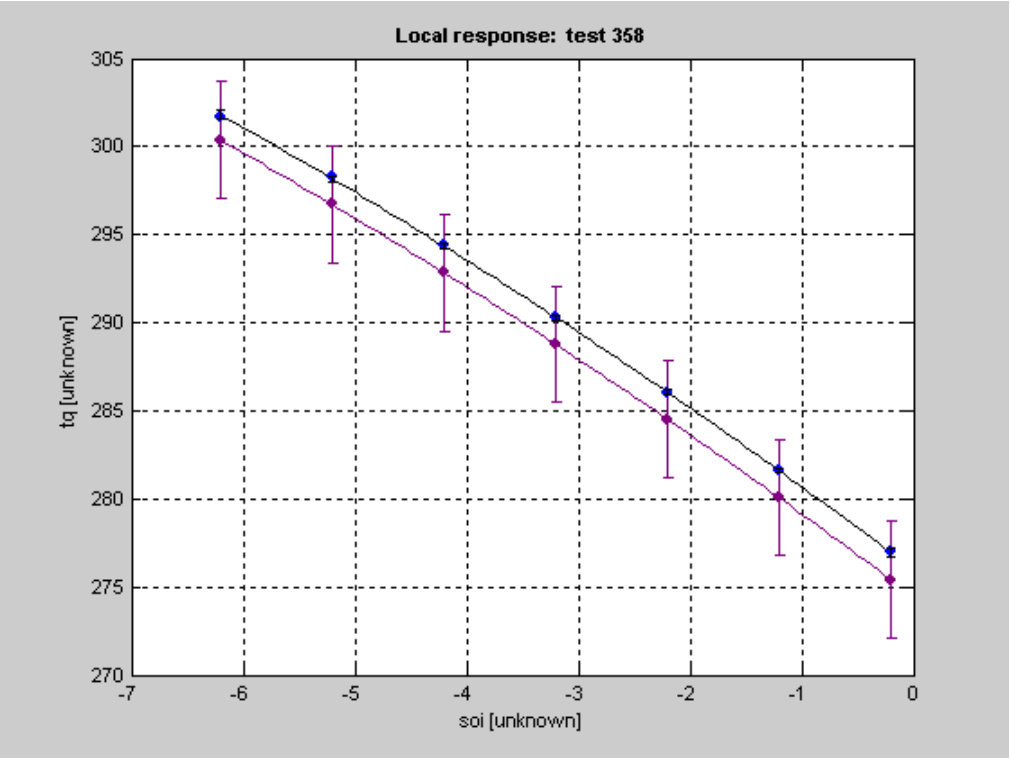
Şekil 4.3: 14. test için lokal model grafiği

14. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

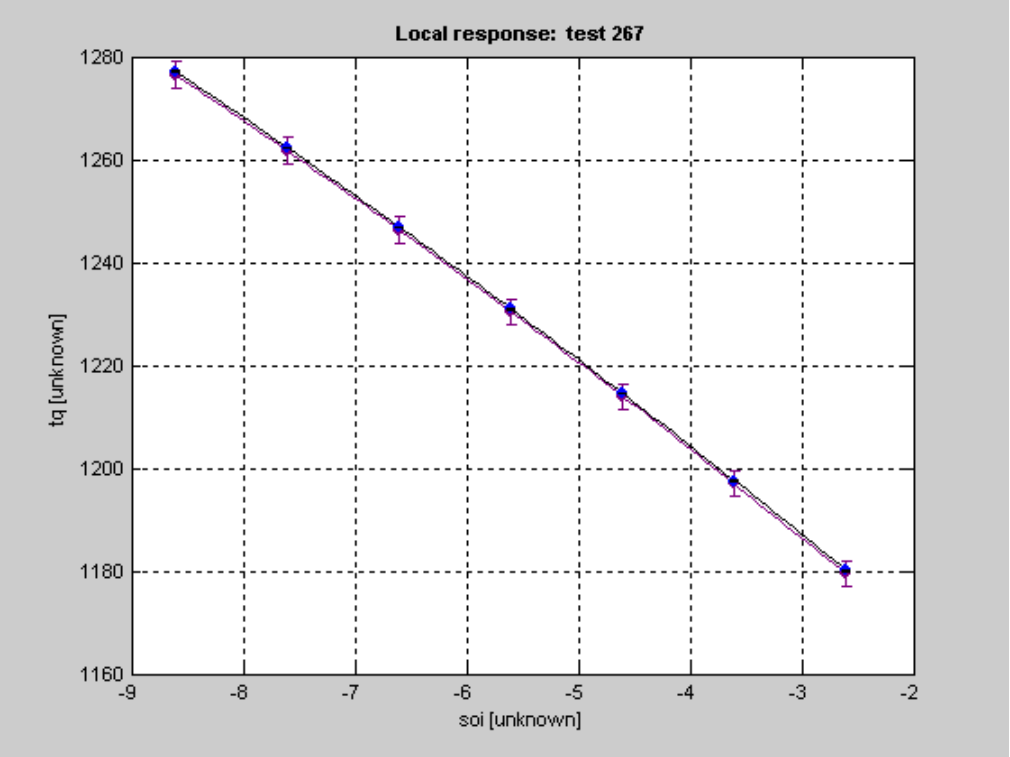
$$tq = 27.9093 - 12.0847 * soi - 1.10944 * soi^2 \qquad (4.2)$$

Lokal model için verilen şekillerdeki grafiklerde mavi noktalar, belli bir motor çalışma noktasında elde edilen verileri göstermektedir. Bu noktaların arasından geçen sürekli çizgi ise uydurulmuş olan lokal modeli ifade eder. Grafikler üzerinde gösterilen mor renkli eğri maksimum olasılık kestirimi kullanılarak uydurulmuş modeldir . Normal bir iki aşamalı model için, global modeller cevap özelliklerinin arasında herhangi bir korelasyon olup olmadığı hesaba katılmadan oluşturulmaktadır. Dolayısıyla cevap özellikleri arasındaki muhtemel korelasyonun iki aşamalı modellemede hesaba katılması amacıyla maksimum olasılık kestirimi kullanılmıştır.

Bu durumda cevap özellikleri arasında bir korelasyon varsa , maksimum olasılık kestiriminin kullanılması iki aşamalı modeli önemli ölçüde geliştirecektir.



Şekil 4.4: 52. test için lokal model grafiği



Şekil 4.5: 39. test için lokal model grafiği

52. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

$$tq = 289.4766 - 25.10447 * soi - 3.721028 * soi^2 \quad (4.3)$$

39. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

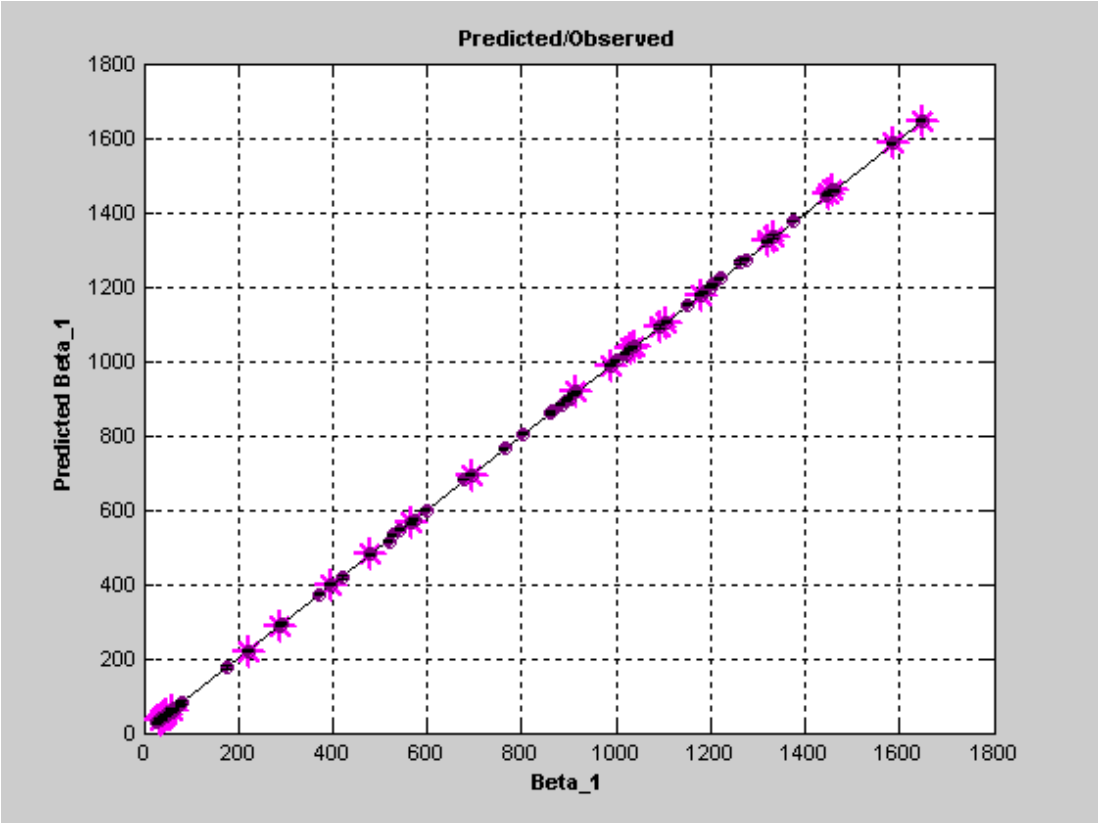
$$tq = 1187.1234 - 105.23941 * soi - 9.4061369 * soi^2 \quad (4.4)$$

Tablo 4.1: Tork çıkışı lokal model tipleri için istatistiksel verileri

Lokal Model	Lokal RMSE	İki-Aşamalı RMSE	İki-Aşamalı T^2	-logL
Quadratik	0,090882	1,6702	2,1232	-220,37
Linear	0,77551	2,1066	1,5856	179,47

4.3.2. Global Model Seçim Sonuçları

Daha önce de belirtildiği gibi kuadratik lokal model tipi, model uydurma işlemi için kullanılması nedeniyle üç adet cevap özeliği belirlenmiştir. Bu cevap özelliklerinin tümü bir önceki bölümde bahsedilddiği gibi quadratik tipte uydurulan lokal modelin katsayılarını tanımlamak için kullanılmaktadır. Bu uygulamada 'Beta_1' , 'Beta_soi', 'Beta_soi^2' olarak adlandırılan üç cevap özelliği sırasıyla uydurulan lokal modelin sabit katsayısı, soi teriminin katsayısı ve soi^2 teriminin katsayısını global parametreler cinsinden modellemek için kullanılmıştır. Bu işlem iki-aşamalı modellemenin ikinci aşamasını oluşturmaktadır. Bu üç cevap özelliği için verilen grafikler bu modelleri oluşturmak için kullanılan (örneğin beta_1 için lokal modelin sabit katsayısı) verilere karşı aynı noktalarda uydurulan modelden elde edilen (tahmin edilen sabit katsayı değeri) değerleri göstermektedir. Grafiklerdeki düz siyah doğru y=x grafiğidir.Dolayısıyla eğer model veriye tam olarak uydurulmuşsa tüm noktaların bu çizgi üzerinde olması gerekir. Bu üç cevap özelliği ile ilgili grafikler aşağıda verilmektedir:



Şekil 4.6: Beta_1 cevap özelliği grafiği

Beta_1 cevap özelliğinin matematiksel modeli :

$$\begin{aligned} Beta_1 = {} & -558.2593 - 268.9226*measrpm + 869.8058*basefuelmass + 90.80852*fuelpress \\ & - 267.9202*grackmea + 129.9119*egrlft - 24.62252*measrpm^2 \\ & - 111.0898*measrpm*basefuelmass + 14.50387*measrpm*fuelpress \\ & + 62.822*measrpm*grackmea - 25.015*measrpm*egrlft - 115.860*basefuelmass^2 \\ & + 40.01241*basefuelmass*fuelpress + 41.91203*basefuelmass*grackmea \\ & + 29.379*basefuelmass*egrlft - 109.354*fuelpress^2 + 25.00*fuelpress*grackmea \\ & + 16.89724*fuelpress*egrlft - 103.910*grackmea^2 - 30.2656*grackmea*egrlft \\ & - 73.64991*egrlft^2 \end{aligned} \tag{4.5}$$

Her üç cevap özelliği uydurulurken model tipi olarak incelenen bir kaç model tipinden en az hataya sahip olan model tipi olarak Quadratik-RBF(Kuadratik-Radyal Tabanlı Fonksiyon) belirlenmiştir. Bu tip model karma radyal tabanlı fonksiyon sınıfına girmektedir ve radyal tabanlı bir model ile doğrusal bir modeli birleştirir. Radyal tabanlı fonksiyon modeller, seçilmiş dairesel veya eliptik bir geometrisi olan tepeciklerin esnek bir yüzeyle bire bir eşleştirilmesi olarak düşünülebilecek radyal olarak simetrik fonksiyonlardır.

Tablo 4.2: Tork çıkışı Beta_1 cevap özelliği için istatistiksel veriler

Models	Observation	PRESS RMSE	RMSE	AICc	R^2 adj
Cubic	63	171,9776	41,7926	1415,309	0,99316
Quadratik-RBF	63	17,4758	2,6692	406,3691	0,99997
RBF-gaussian	63	82,1921	62,7442	563,8154	0,99478
Linear-RBF	63	25,5125	18,9112	442,893	0,9986

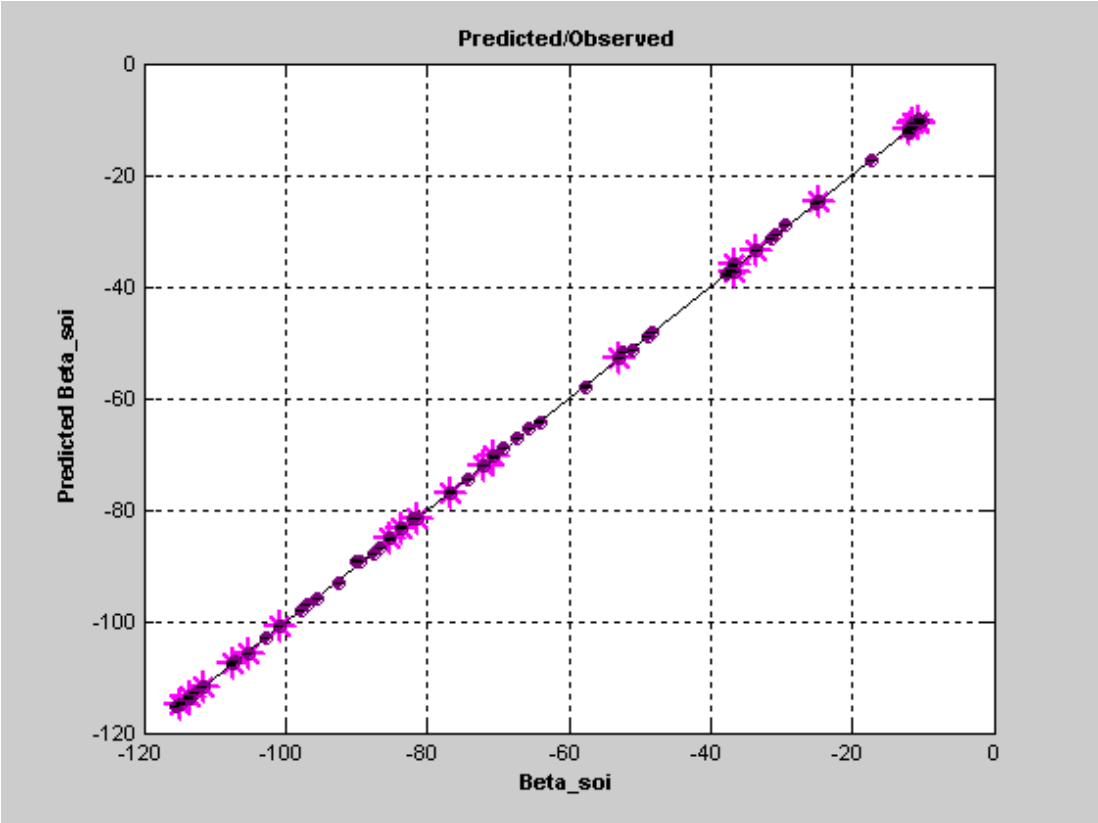
Radyal tabanlı fonksiyon ağları bir çok yüzeyin modellenmesinde kullanılabilir. Merkez sayıları ve pozisyonları, yükseklikleri ve genişlikleri optimize edilebilir. Farklı faktörler için merkezlerin farklı genişlikleri olabilir. Radyal tabanlı fonksiyonlar, sistem bilgisinin az olduğu durumlarda yüzeylerin şekillerini araştırmakta çok yardımcı olabilir. Birkaç radyal bazlı fonksiyonun birleştirilmesi göreceli olarak daha az parametreyle yüzeylerin modellenmesine izin verir.

Tablo 4.3: Tork çıkışı Beta_soi cevap özelliği için istatistiksel veriler

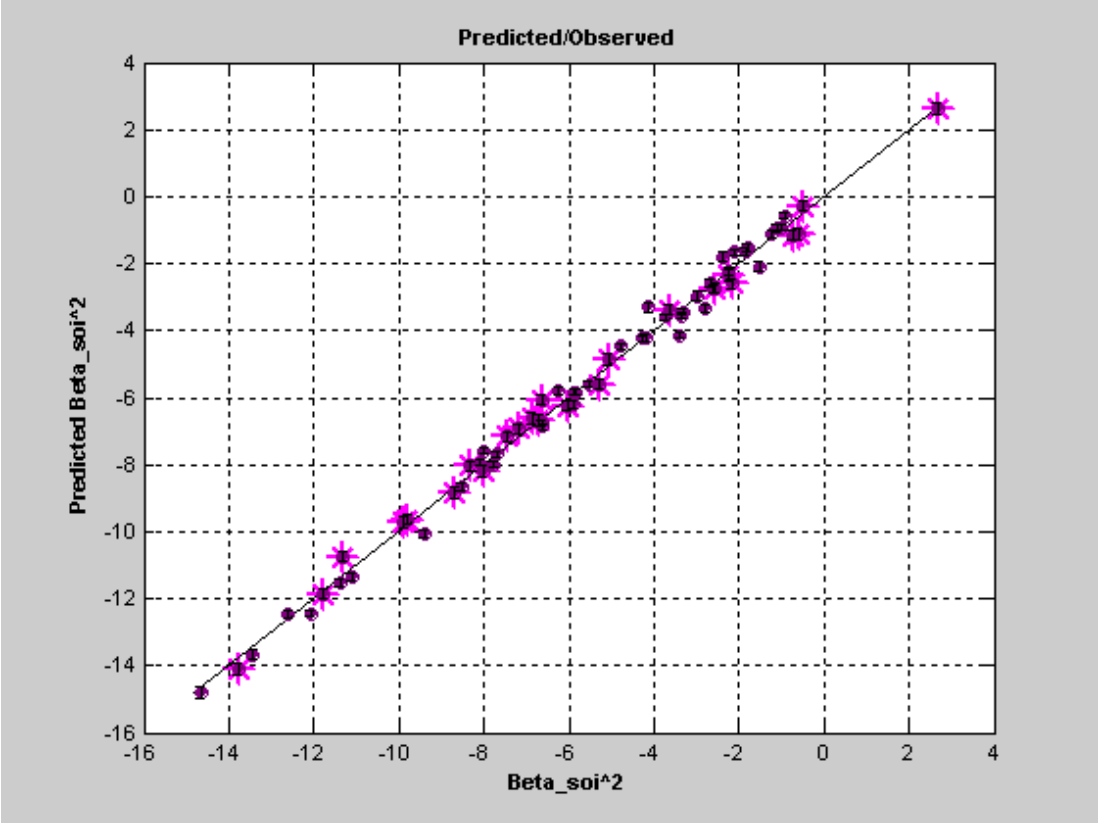
Models	Observation	PRESS RMSE	RMSE	AICc	R^2 adj
Cubic	63	16,3851	3,8162	1104,158	0,98923
Quadratik-RBF	63	0,64618	0,3118	17,8324	0,9999
RBF-gaussian	63	6,923	5,5968	243,2776	0,99323
Linear-RBF	63	2,0247	0,8012	47,1136	0,99953

Beta_soi cevap özelliğinin matematiksel modeli:

$$\begin{aligned} Beta_soi = {} & 50.4379 - 13.2914 * measrpm - 84.1228 * basefuelmass + 23.0613 * grackmea \\ & + 7.99913 * measrpm^2 + 1.41832 * measrpm * basefuelmass - 4.32028 * measrpm * grackmea \\ & + 1.41972 * measrpm * egrlft + 7.65155 * basefuelmass^2 + 7.99847 * basefuelmass * fuelpress \\ & + 1.04615 * basefuelmass * grackmea - 3.36025 * basefuelmass * egrlft + 8.35288 * fuelpress^2 \\ & + 1.58968 * fuelpress * grackmea - 1.96993 * fuelpress * egrlft + 8.03595 * grackmea^2 \\ & - 1.34646 * grackmea * egrlft + 7.64965 * egrlft^2 \end{aligned} \tag{4.6}$$



Şekil 4.7: Beta_soi cevap özelliği grafiği



Şekil 4.8: Beta_soi^2 cevap özelliği grafiği

Tablo 4.4: Egzost sıcaklığı çıkışı Beta_soi^2 cevap özelliği için istatistiksel verileri

Models	Observation	PRESS RMSE	RMSE	AICc	R^2 adj
Cubic	63	4,1488	0,93904	921,879	0,94056
Quadratik-RBF	63	0,33022	0,17006	-50,2192	0,99805
RBF-gaussian	63	1,2255	0,94866	19,194	0,98072
Linear-RBF	63	0,41592	0,23796	-107,17	0,99618

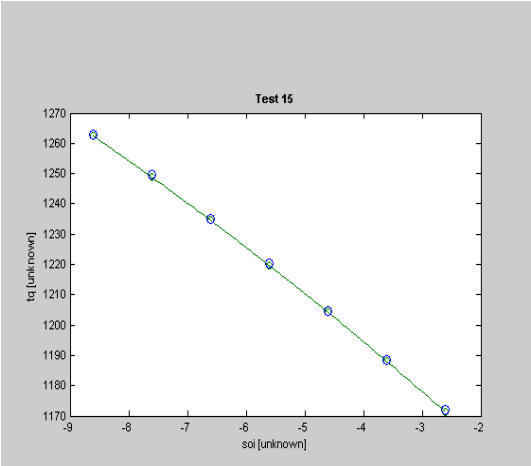
Beta_soi^2 cevap özelliğinin matematiksel modeli:

$$\begin{aligned} Beta_soi^2 = {} & 30.96 - 0.457 * measrpm - 0.831 * basefuelmass + 1.778 * fuelpress - 0.813 * grackmea \\ & + 2.04557 * measrpm^2 - 2.08353 * measrpm * basefuelmass - 1.44511 * measrpm * fuelpress \\ & - 1.01945 * measrpm * egrlft + 5.79533 * basefuelmass^2 + 3.6012 * basefuelmass * fuelpress \\ & - 0.325655 * basefuelmass * grackmea - 0.79178 * basefuelmass * egrlft + 3.7256 * fuelpress^2 \\ & - 1.19239 * fuelpress * grackmea + 5.69234 * grackmea^2 + 3.82271 * egrlft^2 \end{aligned} \tag{4.7}$$

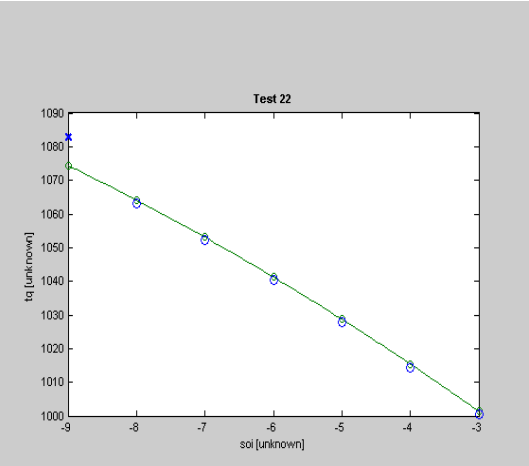
4.3.3. İki Aşamalı Model Sonuçları

Daha önce bahsedildiği gibi iki-aşamalı modelleme her test içindeki ve testler arasındaki değişimi iki ayrı değişimi kaynağı olarak tanımlamaktadır. Bunun içinde ayrı lokal ve global modeller uydurulmaktadır. Her test için bağımsız bir model uydurulmaktadır (lokal model). Tüm testler için uydurulan lokal modeller daha sonra global modellerin oluşturulmasında kullanılmaktadır.

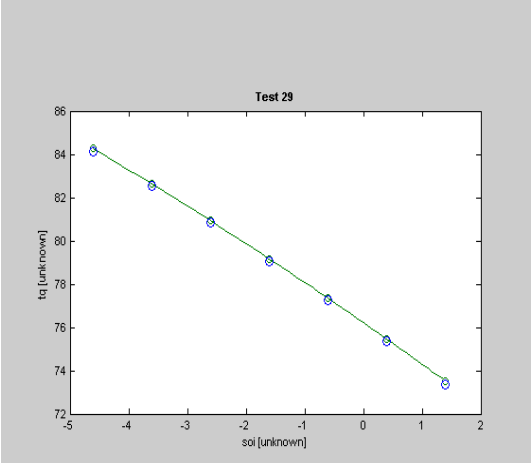
Global modeller lokal cevap için (bu durumda tork) tüm giriş faktörlerini içine alan yeni bir model üretmek için kullanılır. Bu, global modellerden türetilmiş tüm global uzayı kapsayan iki-aşamalı modeldir.



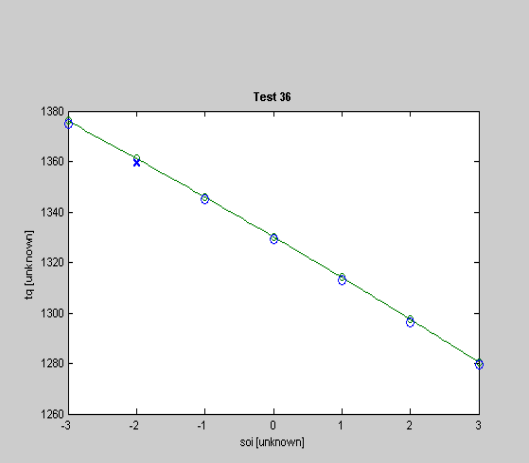
Şekil 4.9: 3. test için iki-aşamalı model grafiği



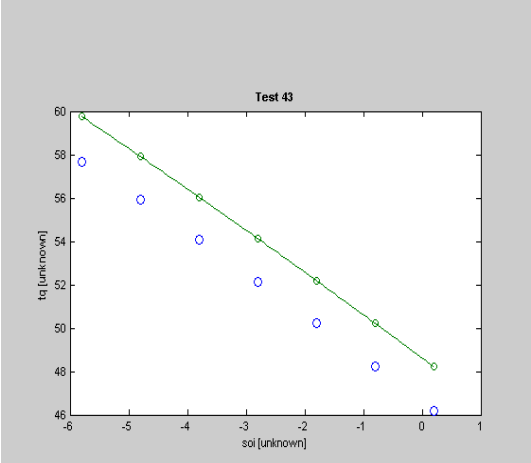
Şekil 4.10: 4. test için iki-aşamalı model grafiği



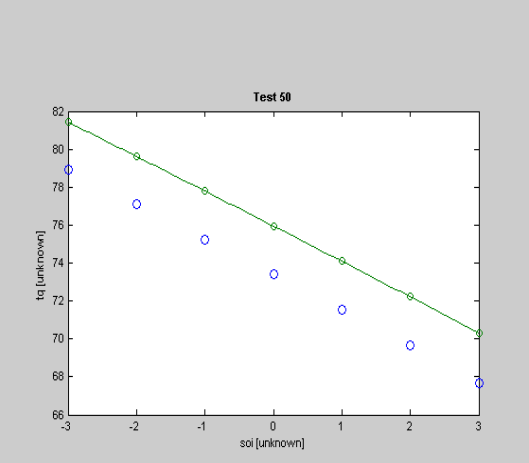
Şekil 4.11: 5. test için iki-aşamalı model grafiği



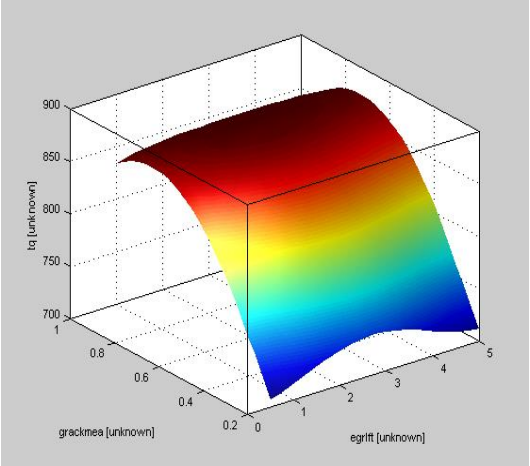
Şekil 4.12: 6. test için iki-aşamalı model grafiği



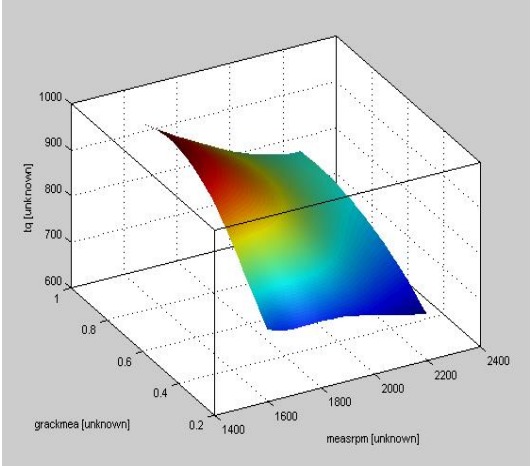
Şekil 4.13: 7. test için iki-aşamalı model grafiği



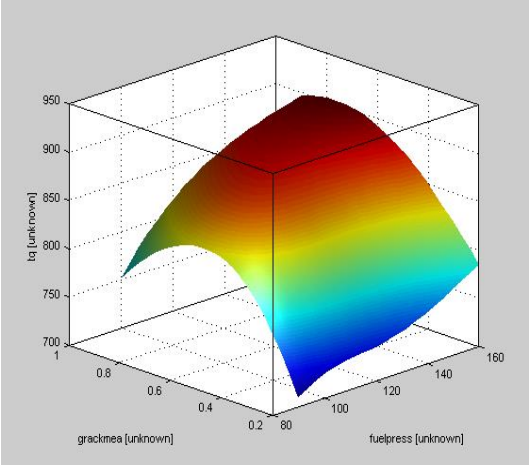
Şekil 4.14: 8. test için iki-aşamalı model grafiği



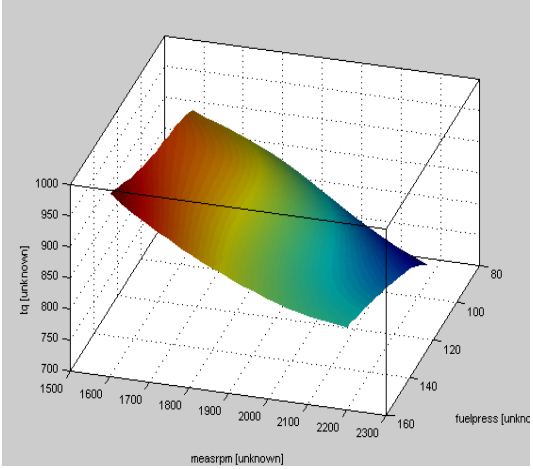
Şekil 4.15: grackmea ve egrlft girişlerine göre tork çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi



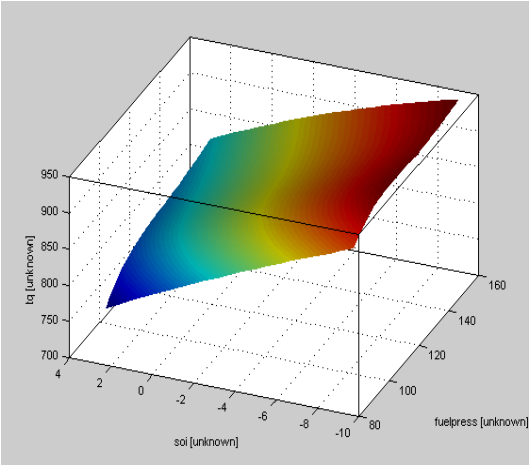
Şekil 4.16: grackmea ve measrpm girişlerine göre tork çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi



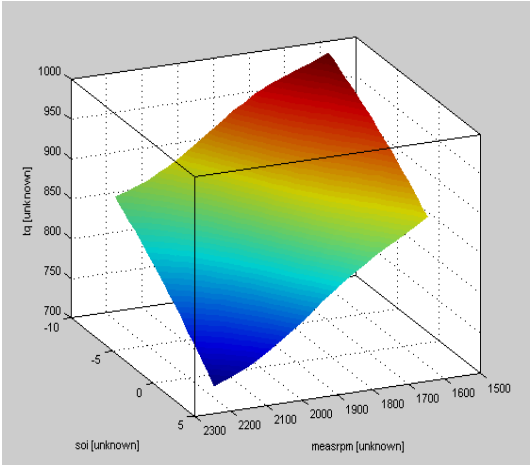
Şekil 4.17: grackmea ve fuelpress girişlerine göre tork çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi



Şekil 4.18: measrpm ve fuelpress girişlerine göre tork çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi



Şekil 4.19: soi ve fuelpress girişlerine göre tork çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi



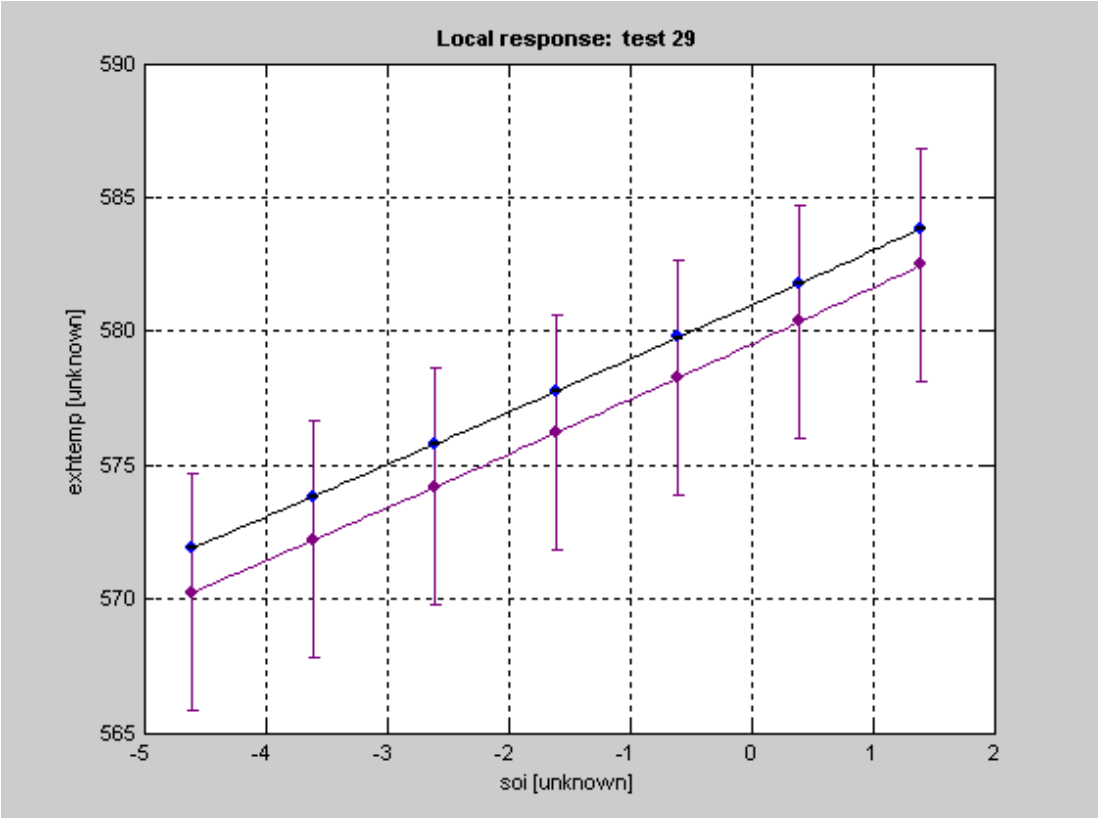
Şekil 4.20: soi ve measrpm girişlerine göre tork çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi

4.4. Egzost Sıcaklığı Cevabının Modellenmesi

Egzost sıcaklığı çıkışı için lokal model olarak kuadratik model tipi dışında doğrusal model tipi kullanılarak da modelleme yapılmış, fakat lokal modelin kuadratik olması durumunda en iyi sonucun elde edildiği görülmüştür. Kuadratik lokal model tipi için üç adet cevap özelliği belirlenmiştir. Bu üç cevap özelliği de parametrik özelliklerdir. Egzost sıcaklığı çıkışının modellenmesi esnasında aynı zamanda global modele uyabilecek en iyi model tipinin belirlenmesi amacıyla her üç global model içinde kübik(Cubic), kuadratik-radyal tabanlı fonksiyon(Quadratik-RBF), radyal tabanlı fonksiyon-gaussian(RBF_-Gaussian), doğrusal-radyal tabanlı fonksiyon(Linear-RBF) model tipleri denenmiş ve 'beta_soi', 'beta_soi^2' cevap özellikleri için uygun model tipinin Quadratic-RBF 'beta_1' cevap özelliği için ise uygun model tipinin Linear-RBF olduğuna karar verilmiştir.

4.4.1. Lokal Model Seçim Sonuçları

Egzost sıcaklığı cevabı için lokal modeller uydurulurken quadratik ve doğrusal olmak üzere iki farklı model tipi kullanılmıştır.

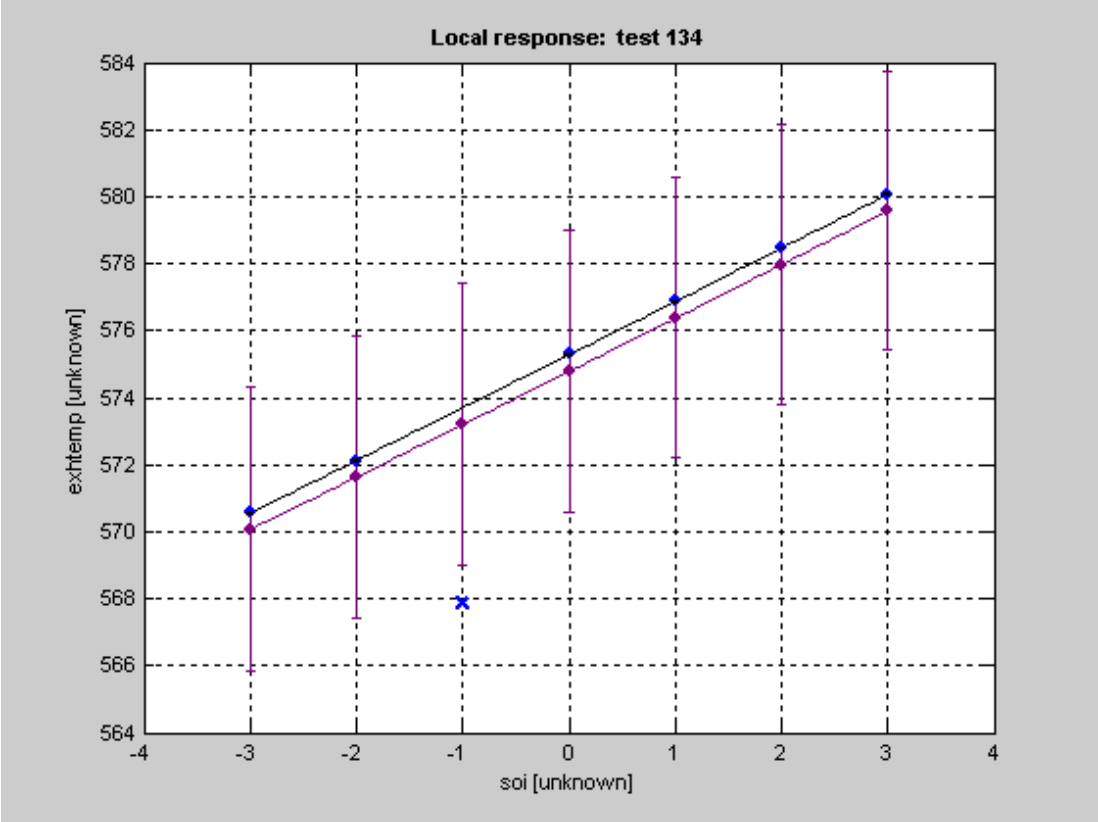


Şekil 4.21: 5. test için lokal model grafiği

5. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

$$exhtemp = 575.0226 + 11.74002 * soi + 0.3958393 * soi^2 \qquad (4.8)$$

Hangi model tipinin test verisine daha iyi uydurulduğunu görmek için çeşitli parametreler göz önüne alınmıştır. Bunların başında hataların kareleri toplamının karekökü (RMSE) değeri gelmektedir. RMSE, model tüm data noktalarına yakınlaştıkça minimize olur; dolayısıyla veriyi takip etmek RMSE değerini geliştirir. RMSE değerinden lokal ve iki-aşamalı modeller için ayrı ayrı bahsedilebilir. Bu iki parametre yanında, tüm cevap özelliği modelleri için normalize edilmiş hataların kareleri toplamı(İki-Aşamalı T^2) ve bazı parametrelerin bulunduğu gözlemlerin olasılıkları(-logL) da iki lokal model tipinin karşılaştırılmasında kullanılmıştır. Tüm cevap özelliği modelleri için normalize edilmiş hataların kareleri toplamı büyük bir değer ise, bu cevap özelliği modelleri ile ilgili bir problem olduğu anlamına gelir.



Şekil 4.22: 20. test için lokal model grafiği

20. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

$$exhtemp = 570.5612 + 9.404471 * soi + 0.1019195 * soi^2 \quad (4.9)$$

Burada RMSE değerlerinin karşılaştırılmasında değerlerin tek başlarına çok küçük veya büyük olması değil, hangi model tipinin diğerine nazaran daha küçük değere sahip olduğu önemlidir. Bazı parametrelerin bulunduğu gözlemlerin olasılık değerinin ise negatif sonsuza doğru büyümesi istenir, dolayısıyla büyük negatif bir değer iyi bir sonuçtur.

20. test için uydurulmuş lokal model grafiğinde hataların azaltılması amacıyla artık değeri diğer noktalara göre büyük olan veri noktası çıkartılmıştır. Bu durumdaki aykırı değerlerin seçimi için kriter, bu nokta için artık değerin 3'den büyük olmasıdır. Bu koşula uyan aykırı değerler çıkartıldıktan sonra model kalan verilere yeniden uydurulmuştur. Araştırması yapılan lokal model tipleri için istatistik bilgileri aşağıdaki tabloda verilmektedir:

Tablo 4.5: Egzost sıcaklığı çıkışı lokal model tipleri için istatistiksel verileri

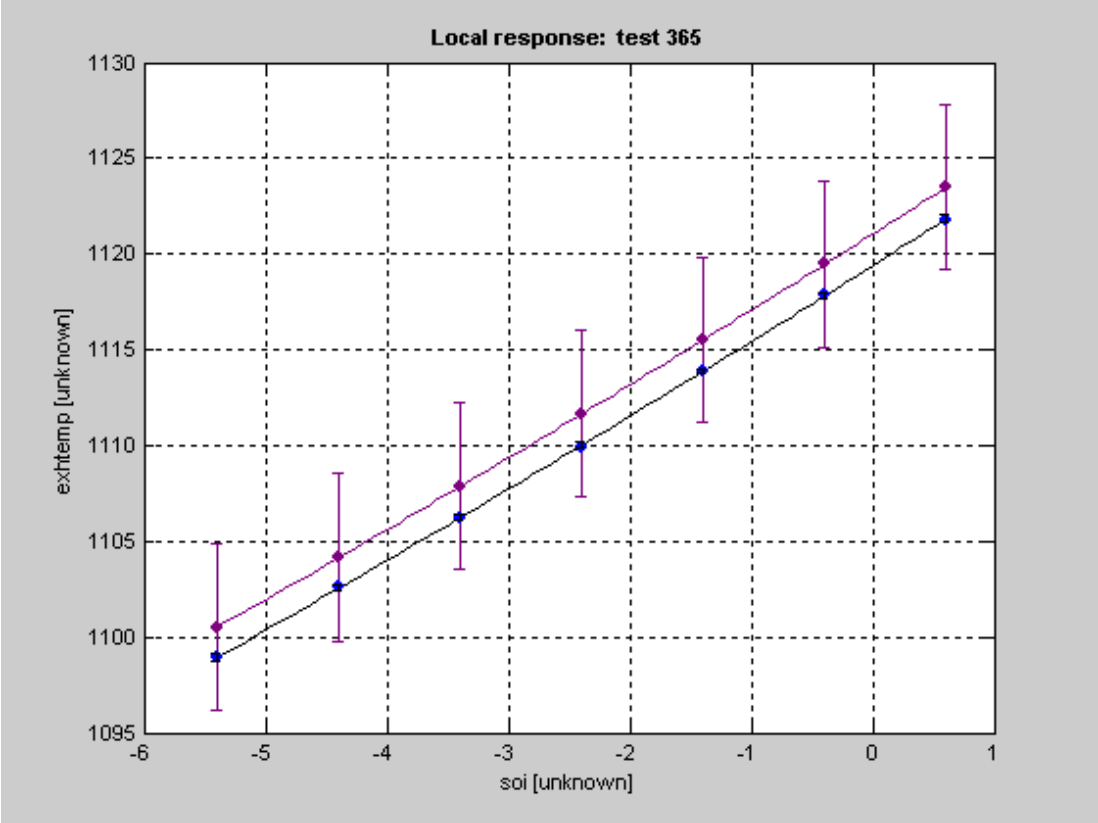
Lokal Model	**Lokal RMSE**	**İki-Aşamalı RMSE**	**İki-Aşamalı T^2**	**-logL**
Quadratik	0,059075	2,3129	2,1016	-58,61
Linear	0,10334	4,3676	1,9959	191,28

Verilen tablodaki istatistikler değerlendirildiğinde en uygun lokal model tipinin quadratik eğri tipi olduğu görülmektedir.

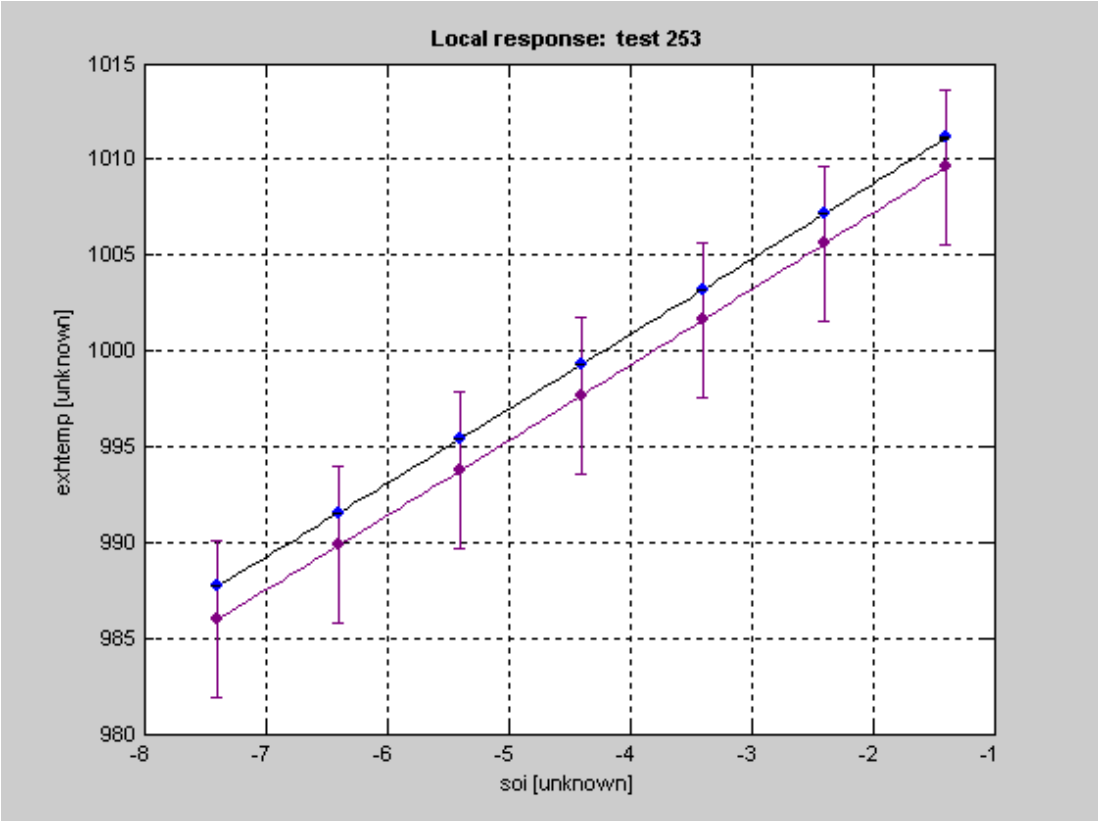
Aşağıda diğer bazı testler için model tipi quadratik bir eğri olacak şekilde uydurulan lokal modellerin grafik ve matematiksel ifadelerine yer verilmiştir:

53. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

$$exhtemp = 1107.7408 + 22.616605 * soi + 1.4662276 * soi^2 \quad (4.10)$$



Şekil 4.23: 53. test için lokal model grafiği



Şekil 4.24: 37. test için lokal model grafiği

37. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

$$exhtemp = 1004.7876 + 23.659267 * soi + 0.49577114 * soi^2 \quad (4.11)$$

4.4.2. Global Model Seçim Sonuçları

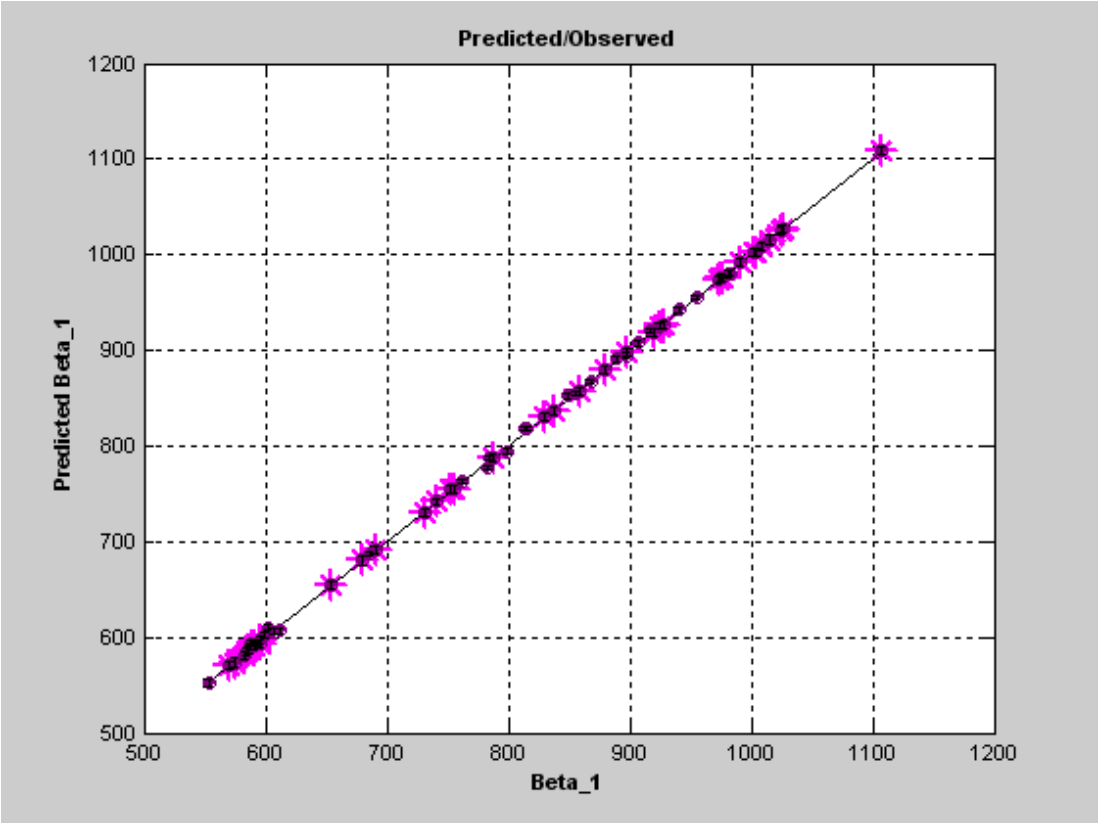
Lokal model olarak quadratik model tipi belirlendiği için tork çıkışında olduğu gibi üç adet cevap özelliği uydurulmuştur. Her üç cevap özelliği içinde ayrıca model tipi araştırması yapılmış ve iki cevap özelliği için kuadratik-radyal tabanlı fonkiyon model tipi uygun bulunurken diğer cevap özelliği için en iyi uydurma doğrusal-radyal tabanlı fonksiyon model tipi durumunda alınmıştır.

Her üç cevap özelliğinin model tipi seçimi için aynı istatistiksel parametreler kullanılmıştır. Aşağıda istatistiksel seçim kriterlerinin değerleri tablolar halinde düzenlenmiş ayrıca her üç cevap özelliğine uydurulan modellerin matematiksel ifadesi ile gerekli grafikler verilmiştir:

Tablo 4.6: Egzost sıcaklığı çıkışı Beta_1 cevap özelliği için istatistiksel verileri

Models	Observation	PRESS RMSE	RMSE	AICc	R^2 adj
Cubic	63	19,3509	16,4674	375,1645	0,98942
Quadratik	63	22,6989	19,7696	396,1187	0,98475
Quadratik-RBF	63	9,3372	6,1197	324,2644	0,99854
Linear-RBF	63	6,1685	3,934	351,219	0,9994

Beta_1 cevap özelliği için verilen istatistik değerlerine bakıldığında PRESS RMSE ve RMSE değerleri düşük olan iki alternatif Quadratik-RBF ve Linear-RBF model tipleri olduğu görülmektedir. Fakat bu iki alternatif arasında bir karşılaştırma yapıldığında Linear-RBF model tipinin akaike bilgi ölçütü değeri daha küçük olmasına rağmen diğer istatistikleri Quadratik-RBF model tipine göre daha iyidir. Bu nedenle en uygun model tipi olarak Linear-RBF belirlenmiş ve matematiksel model ile ilgili cevap özelliği grafiği bu model tipi için verilecektir.



Şekil 4.25: Egzost sıcaklığı çıkışı Beta_1 cevap özelliği grafiği

Buna göre Beta_1 cevap özelliğinin matematiksel modeli:

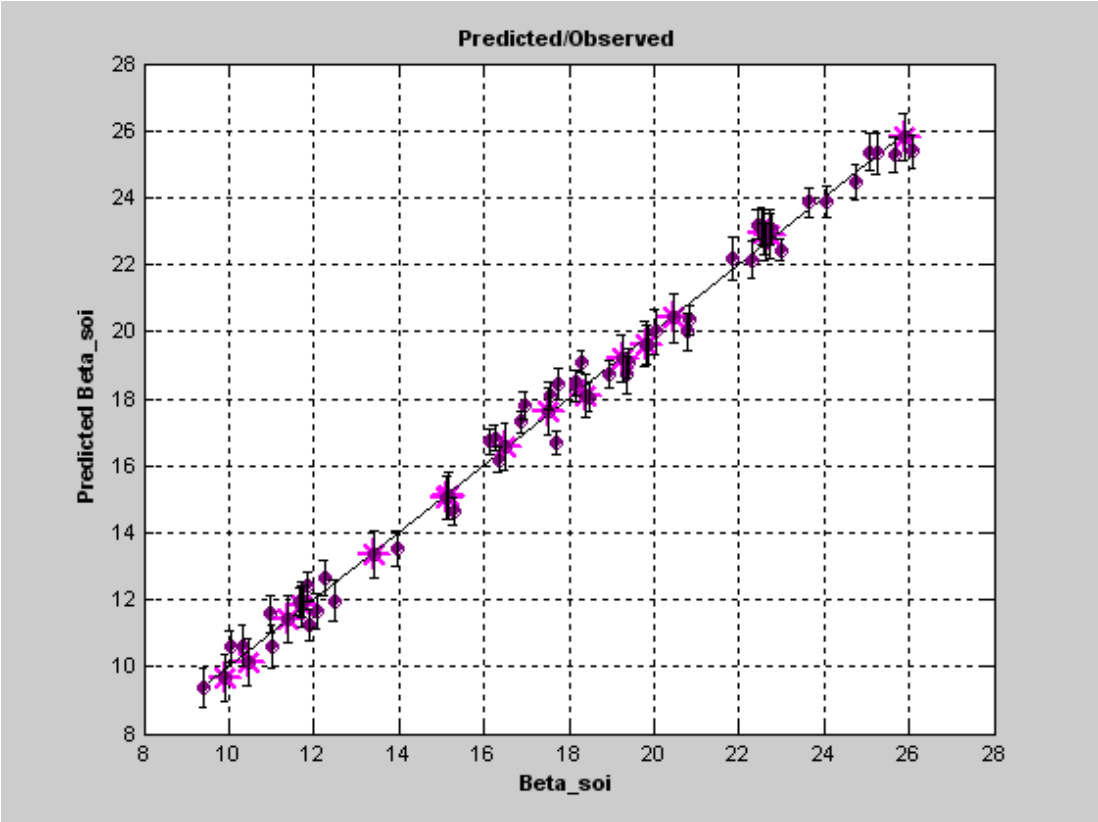
$$Beta_1 = 746.3224 - 146.8938 * basefuelmass - 181.491 * fuelpress - 76.44552 * grackmea + 39.2682 * egrlft \quad (4.12)$$

Tablo 4.7: Egzost sıcaklığı çıkışı Beta_soi cevap özelliği için istatistiksel verileri

Models	Observation	PRESS RMSE	RMSE	AICc	R^2 adj
Cubic	63	1,9397	1,8073	89,091	0,8605
Quadratic-RBF	63	0,93622	0,63255	52,6592	0,98291
RBF-gaussian	63	2,1523	2,0301	100,1635	0,98775
Linear-RBF	63	0,7918	0,4713	105,0361	0,99051

Yukarıda verilen tabloda görüldüğü gibi yine iki en iyi alternatif olan Linear-RBF ve Quadratic-RBF model tipleridir. Burada Linear-RBF model tipi için verilen istatistik değerlerin Quadratic-RBF model tipine göre daha iyi olduğu görülmektedir. Fakat Akaike bilgi ölçütü istatistiklerinde büyük bir fark oluşmuştur. Dolayısıyla bu durum incelendiğinde Beta_soi cevap özelliği için model tipi olarak Quadratic-RBF model tipi seçildiğinde Linear-RBF model tipine göre daha iyi istatistik sonuçlara sahip bir

iki-aşamalı model elde edildiği görülmüştür. Seçilen en uygun model tipi için uydurulan matematiksel model ve ilgili grafik verilmiştir:



Şekil 4.26: Egzost sıcaklığı çıkışı Beta_soi cevap özelliği grafiği

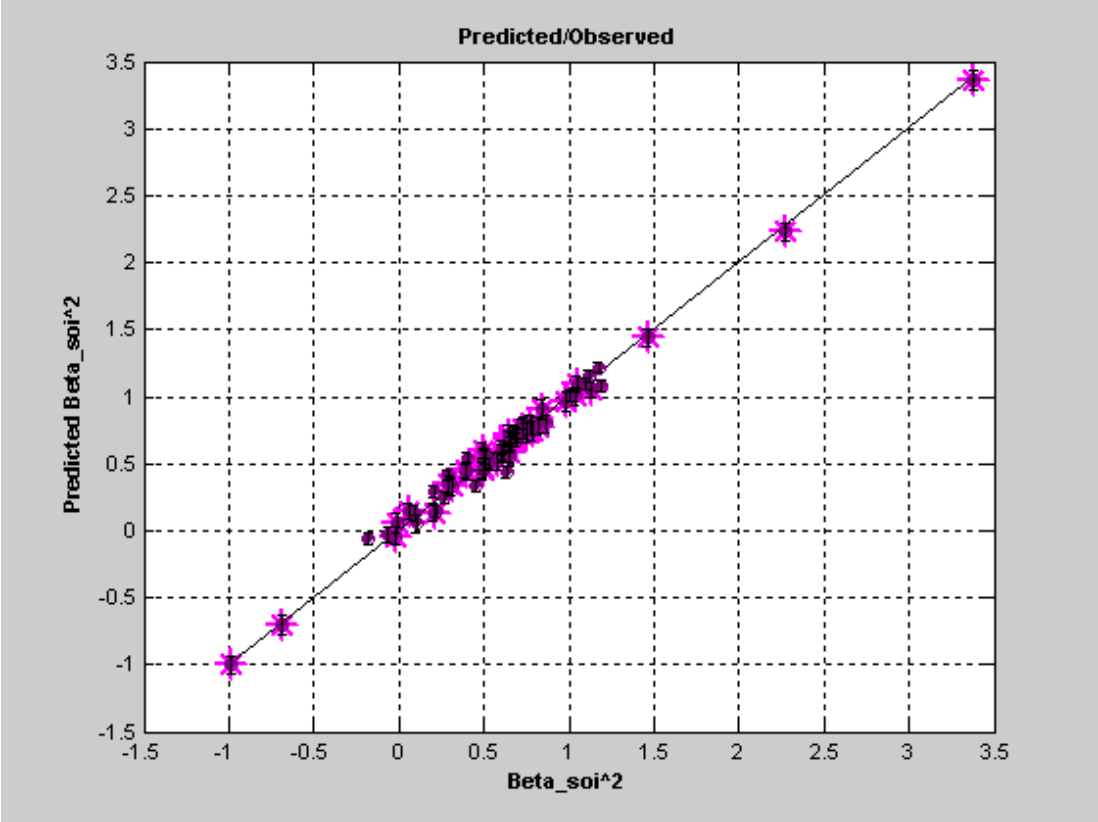
Buna göre Beta_soi cevap özelliğinin matematiksel modeli:

$$\begin{aligned} Beta_soi = {} & 98.972 - 1.9255 * measrpm - 29.321 * basefuelmass + 6.3503 * fuelpress - 8.3848 * egrlft \\ & + 9.53991 * measrpm^2 - 2.67412 * measrpm * grackmea + 1.02568 * measrpm * egrlft \\ & + 12.1969 * basefuelmass^2 + 3.29472 * basefuelmass * fuelpress \\ & + 1.7311 * basefuelmass * grackmea - 2.0243 * basefuelmass * egrlft + 7.8852 * fuelpress^2 \\ & - 2.72051 * fuelpress * grackmea + 3.49692 * fuelpress * egrlft + 12.2313 * grackmea^2 \\ & + 1.13694 * grackmea * egrlft + 10.6358 * egrlft^2 \end{aligned} \tag{4.13}$$

Tablo 4.8: Egzost sıcaklığı çıkışı Beta_soi^2 cevap özelliği için istatistiksel verileri

Models	Observation	PRESS RMSE	RMSE	AICc	R^2 adj
Cubic	63	3,2377	0,6359	1240,932	0,1572
Quadratic-RBF	63	0,20402	0,1186	-184,7962	0,95972
Quadratic	63	0,72677	0,5718	-26,6665	0,06418
Linear-RBF	63	0,1804	0,09498	-129,4417	0,97418

İncelemesi yapılan bu dört model tipi içinde Linear-RBF model tipi için oluşan istatistik veriler en iyi değerlere sahiptir. Dolayısıyla Beta_soi^2 cevap özelliği Linear-RBF model tipi için uydurulmuştur. Seçilen en uygun model tipi için uydurulan matematiksel model ve ilgili grafik verilmiştir:



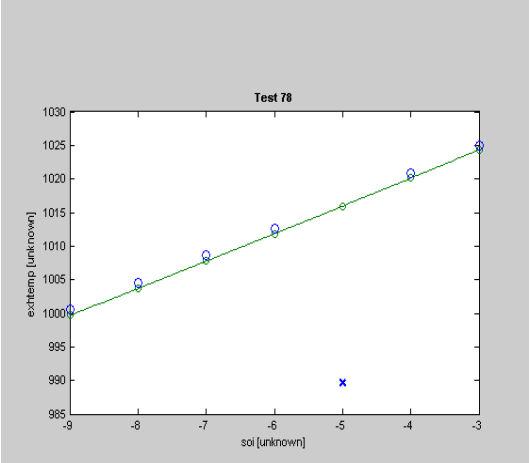
Şekil 4.27: Egzost sıcaklığı çıkışı Beta_soi^2 cevap özelliği grafiği

Buna göre Beta_soi cevap özelliğinin matematiksel modeli:

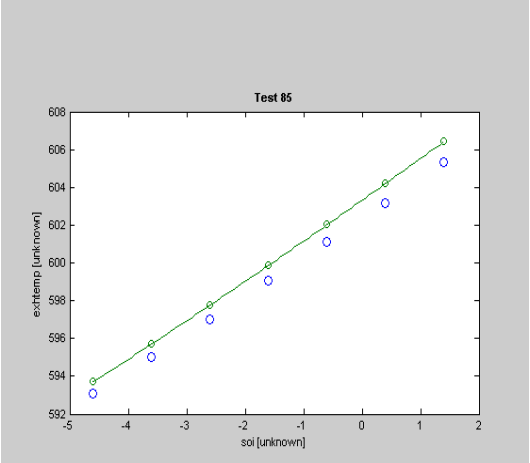
$$Beta_soi^2 = 8.6041 - 3.7631 * measrpm - 5.6563 * grackmea + 4.2535 * egrlft \quad (4.14)$$

4.4.3. İki Aşamalı Model Sonuçları

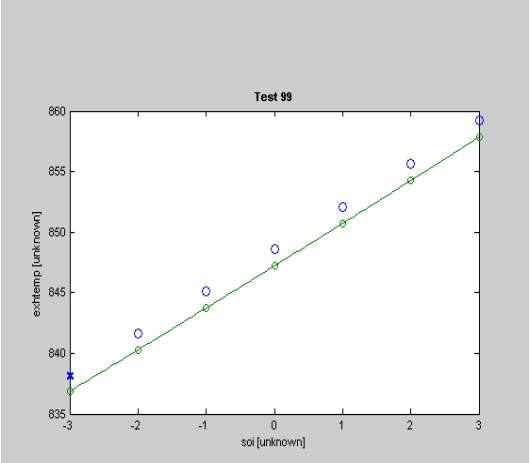
Yukarıda verilen global ve lokal model için uydurulmuş eğriler kullanılarak egzost çıkışı sıcaklığının iki aşamalı modeli oluşturulmuştur.



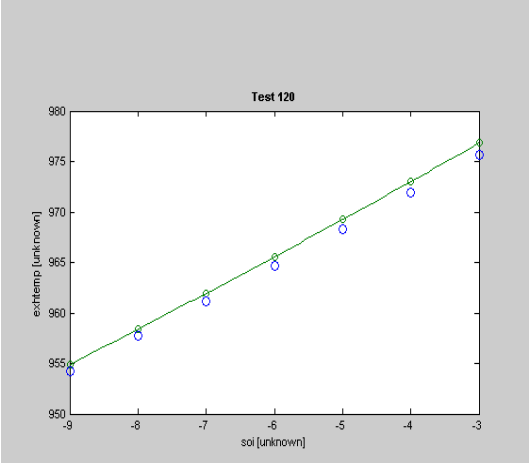
Şekil 4.28: 8. test için iki-aşamalı model grafiği



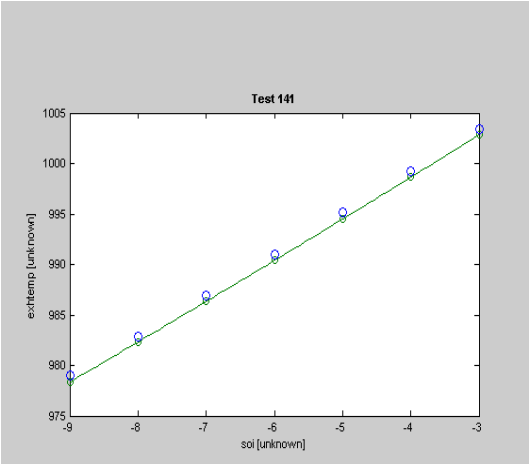
Şekil 4.29: 9. test için iki-aşamalı model grafiği



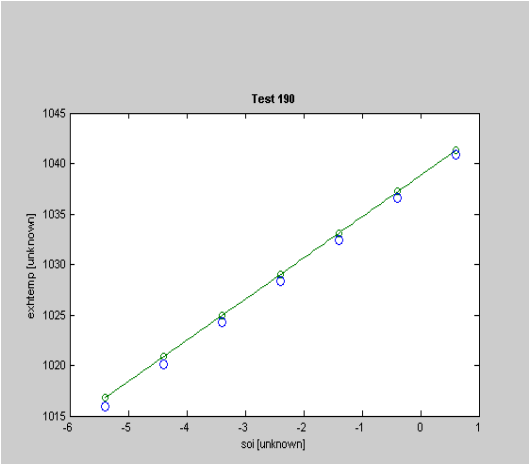
Şekil 4.30: 15. test için iki-aşamalı model grafiği



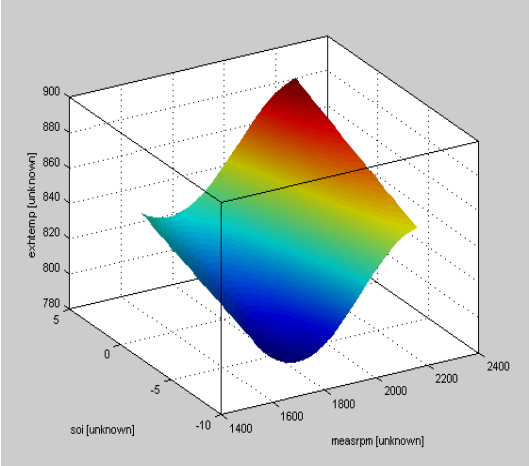
Şekil 4.31: 25. test için iki-aşamalı model grafiği



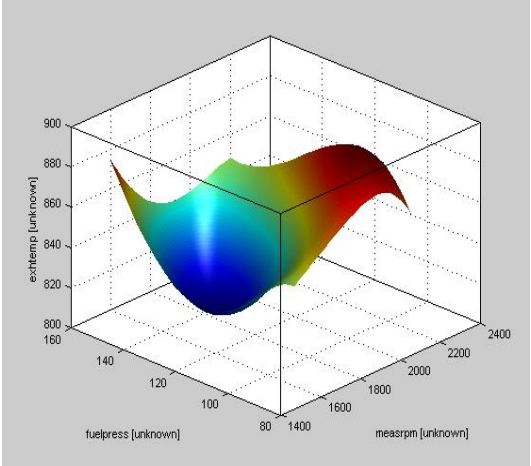
Şekil 4.32: 32. test için iki-aşamalı model grafiği



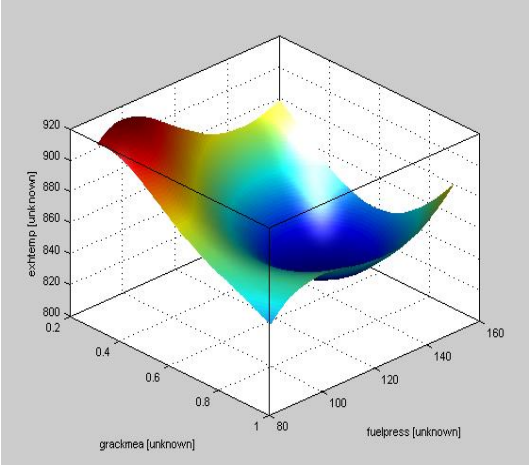
Şekil 4.33: 40. test için iki-aşamalı model grafiği



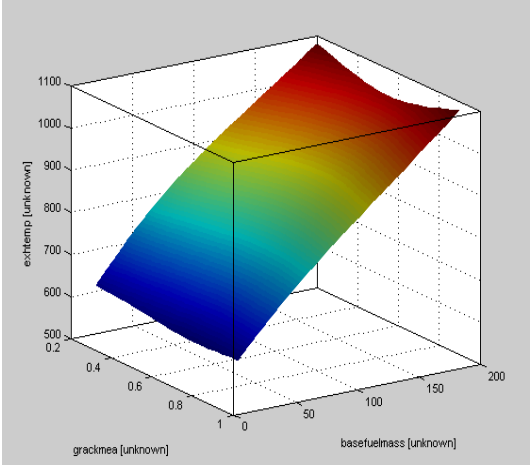
Şekil 4.34: soi ve measrpm girişlerine göre egzost sıcaklığı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi



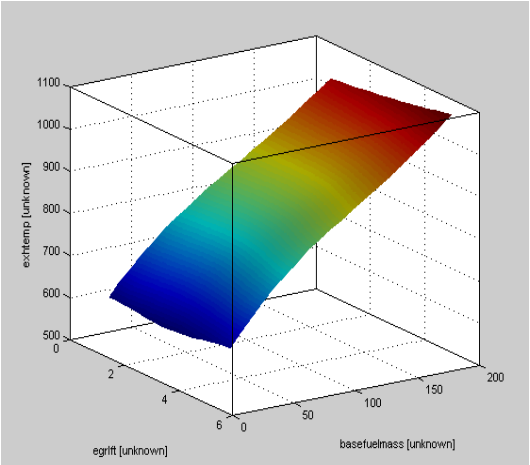
Şekil 4.35: fuelpress ve measrpm girişlerine göre egzost sıcaklığı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi



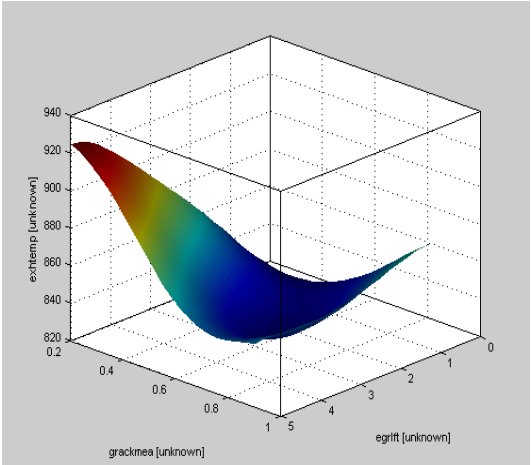
Şekil 4.36: grackmea ve fuelpress girişlerine göre egzost sıcaklığı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi



Şekil 4.37: grackmea ve basefuelmass girişlerine göre egzost sıcaklığı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi



Şekil 4.38: egrlft ve basefuelmass girişlerine göre egzost sıcaklığı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi



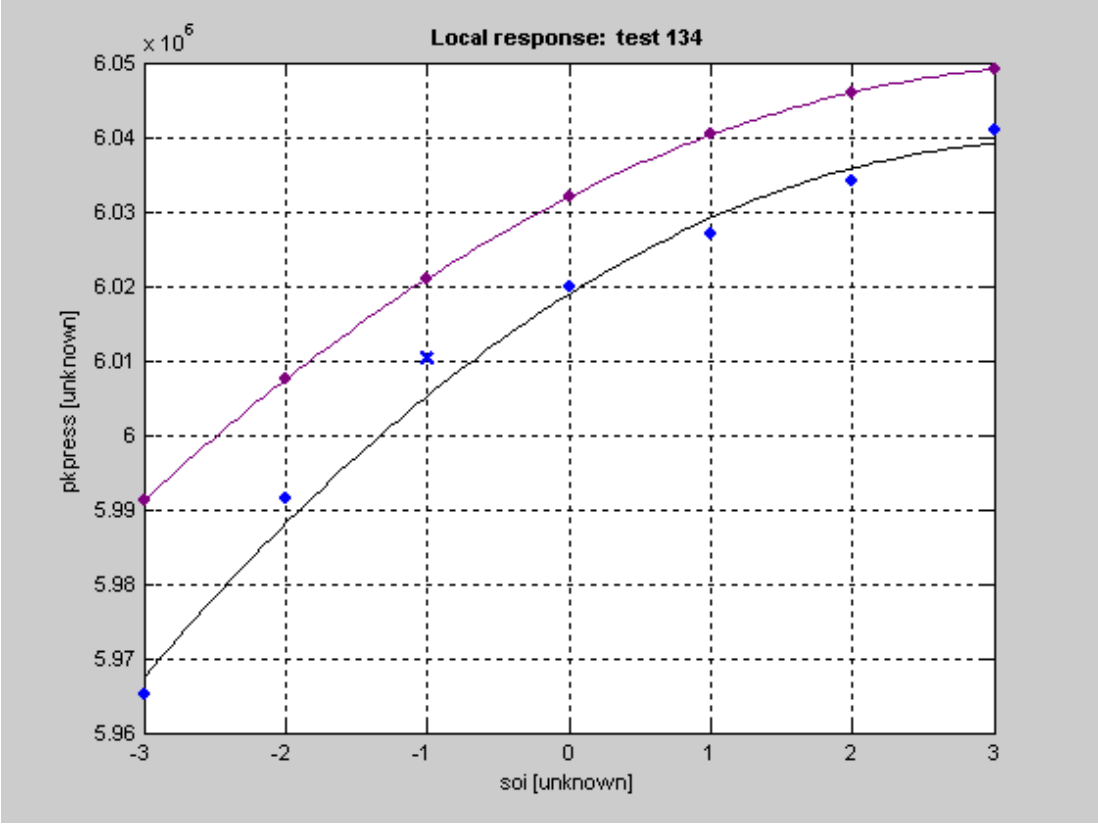
Şekil 4.39: grackmea ve egrlft girişlerine göre egzost sıcaklığı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi

4.5. Silindir İçindeki En Yüksek Basınç Cevabının Modellenmesi

Silindir içindeki en yüksek basınç çıkışı için daha önceki çıkışlarda olduğu gibi doğrusal ve kuadratik lokal model tipleri denenmiştir. Burada şu ana kadar incelenen lokal model tiplerinin aynı olması dizel motoru için sadece bu lokal modellerin geçerli olduğunu göstermemektedir. Bir başka deyişle lokal model tipi olarak kübik bir model veya bir başka model tipi de seçilebilir. Lokal model tipi seçiminde noktaların grafikteki dağılım şekli ve daha önceki mühendislik bilgisinden yararlanılmıştır. Silindir içindeki en yüksek basınç çıkışının lokal ve global modelleri ile ilgili grafikler ve gerekli bilgiler aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

4.5.1. Lokal Model Seçim Sonuçları

Silindir içindeki en yüksek basınç cevabı için lokal modeller uydurulurken quadratik ve doğrusal olmak üzere iki farklı model tipi kullanılmıştır.



Şekil 4.40: 20. test için lokal model grafiği

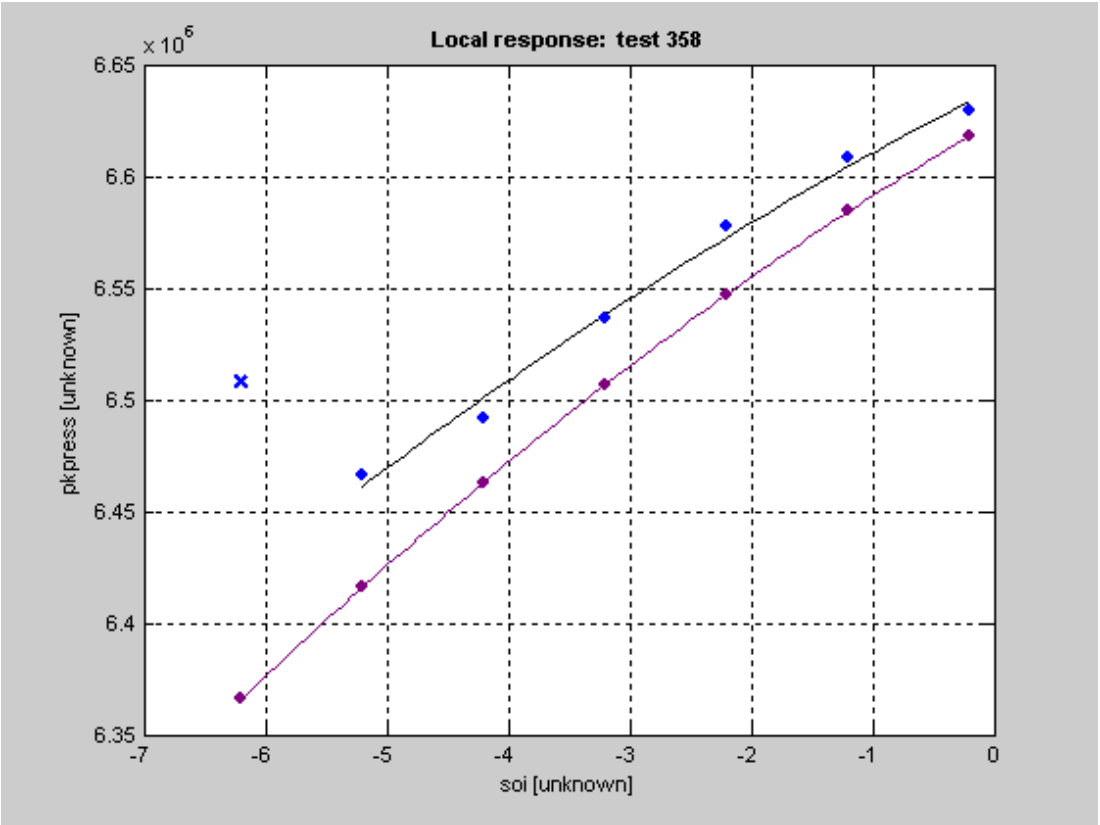
20. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

$$pkpress = 59675295501 + 1338383617 * soi - 62263484498 * soi^2 \qquad (4.15)$$

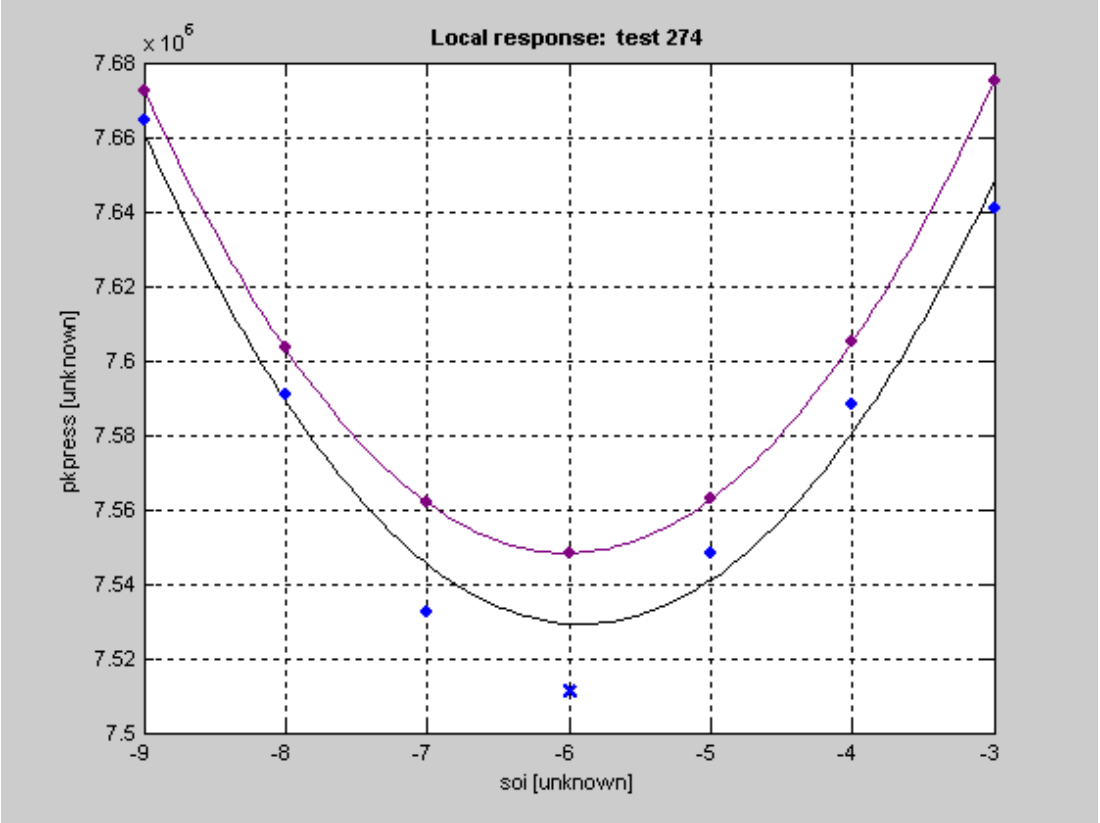
Tablo 4.9: Silindir içindeki en yüksek basınç çıkışı lokal modelleri istatistiksel verileri

Lokal Model	Lokal RMSE	İki-Aşamalı RMSE	İki-Aşamalı T^2	-logL
Quadratik	9477,4033	6930,3225	7.9868e-10	3515,34
Linear	62353,4841	96002,1211	1,0952	2908,97

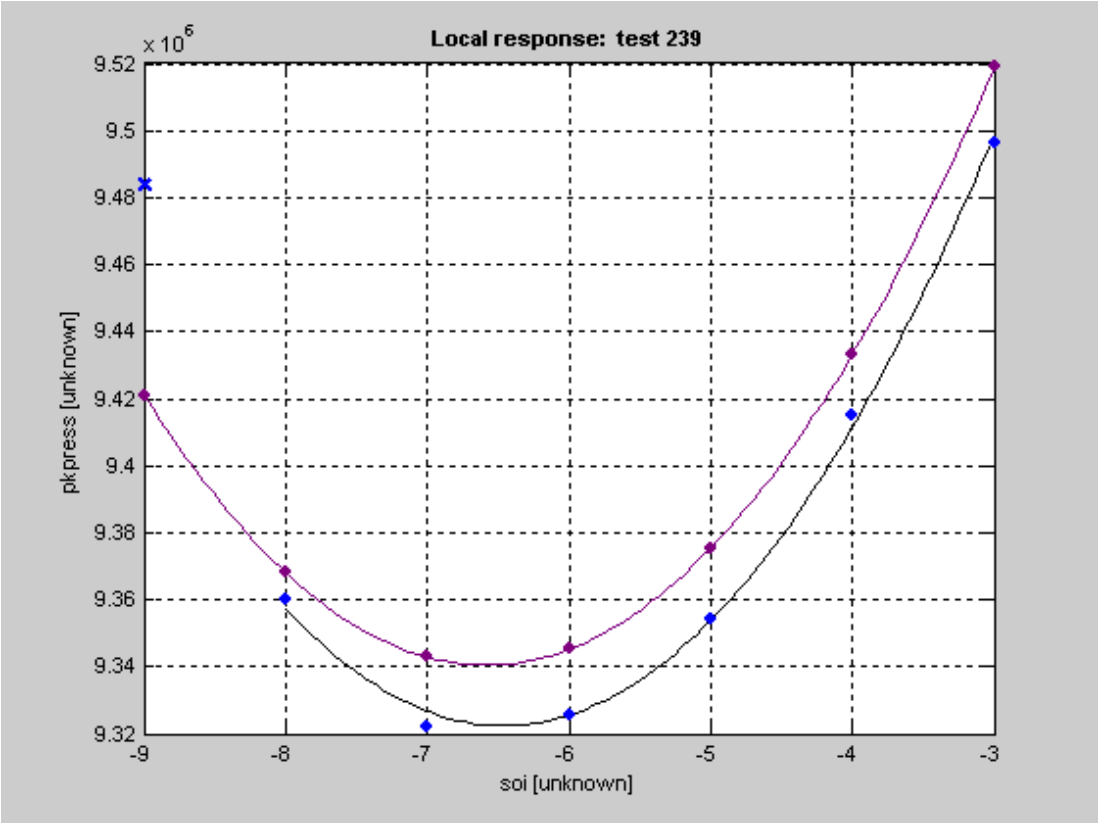
Yukarıda istatistikleri tablo halinde verilen lokal model tipleri için hata ifadelerinin oldukça büyük değerlerde seyrettiği görülmektedir. Bunun nedeni birimsel olarak silindir içindeki en yüksek basınç değerlerinin çok büyük olmasıdır. Burada bilnmesi gereken, tabloda verilen istatistik hata değerlerinin tek başına bir anlamı olmadığıdır. İki istatistik değeri karşılaştırma yapıldığında bir anlam ifade edecektir. Nitekim tabloda kuadratik lokal model tipinin hem lokal hem de iki aşamalı hatalarının çok daha az olduğu görülmektedir. Dolayısıyla iki model tipi arasında bir karşıaştırma yapıldığında hata değerleri az olan seçildiğinden kuadratik lokal model tipinin daha uygun olduğu belirlenmektedir.



Şekil 4.41: 52. test için lokal model grafiği



Şekil 4.42: 37. test için lokal model grafiği



Şekil 4.43: 33. test için lokal model grafiği

52. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

$$pkpress = 65452196762 + 21171908599 * soi - 48014200549 * soi^2 \quad (4.16)$$

37. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

$$pkpress = 76478993646 + 48749560039 * soi + 5004822506 * soi^2 \quad (4.17)$$

33. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

$$pkpress = 94986823634 + 61146325588 * soi + 53019676891 * soi^2 \quad (4.18)$$

4.5.2. Global Model Seçim Sonuçları

Lokal modelin kuadratik model tipinde en iyi sonuçları vermesi nedeniyle, global modeller veya cevap özellikleri bu model tipi iin incelenecektir. Daha öncede bahsedildiği gibi lokal model tipinin kuadratik olması durumunda üç adet cevap özelliği belirlenmektedir. Buna göre bu cevap özellikleri için istatistiksel seçim kriterlerinin değerleri tablolar halinde düzenlenmiş ayrıca her üç cevap özelliğine uydurulan modellerin matematiksel ifadesi ile gerekli grafikler verilmiştir:

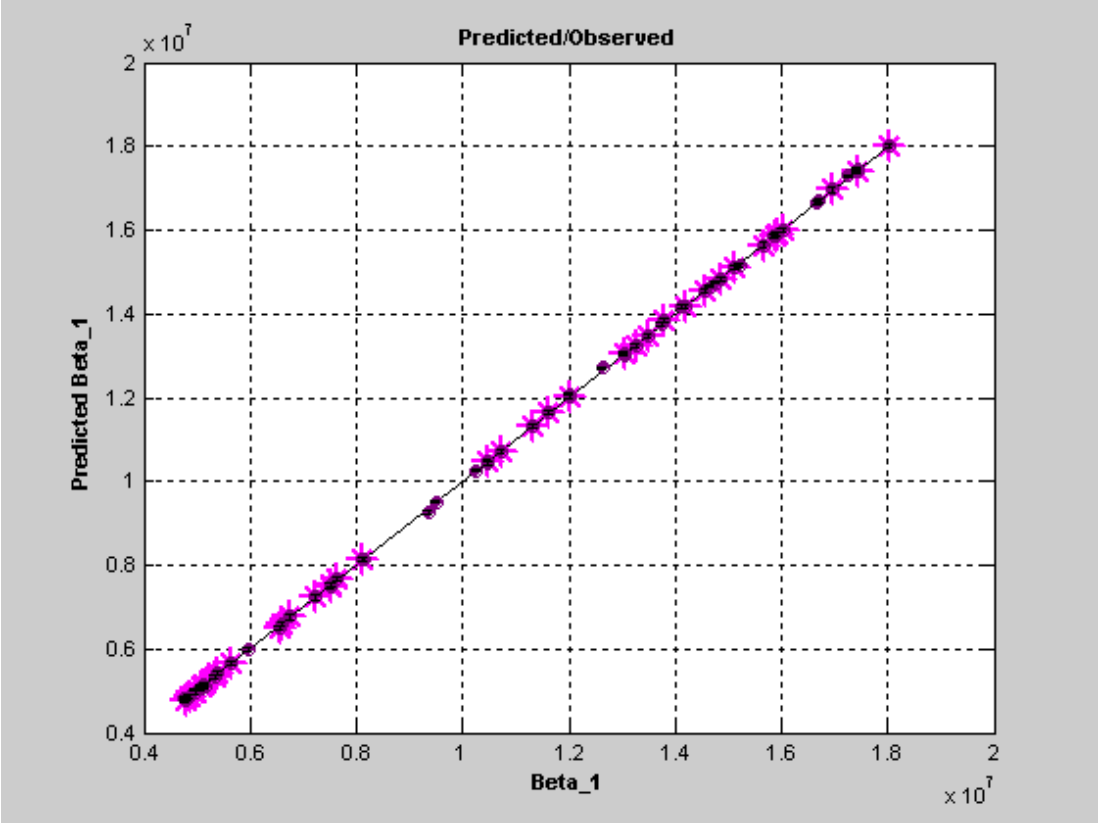
Tablo 4.10: Silindir içindeki en yüksek basınç çıkışı Beta_1 cevap özelliği için istatistiksel verileri

Models	Observation	PRESS RMSE	RMSE	AICc	R^2 adj
Cubic	63	431785,3682	372424,20	1638,49	0,99314
Quadratik	63	443270,8141	385061,18	1640,62	0,99267
Quadratik-RBF	63	209782,2482	131248,21	1595,67	0,99915
Linear-RBF	63	101044,1743	48050,11	1621,78	0,99989

Tabloda görülen değerlere göre en düşük hata değerlerine sahip model tipi doğrusal-radyal tabanlı fonksiyon modeldir. Ayrıca düzeltilmiş R^2 ifadesi 1 değerine oldukça yakın ve akaike bilgi ölçütü değeri diğerlerine göre karşılaştırıldığında daha küçüktür. Seçilen en uygun model tipi için uydurulan matematiksel model ve ilgili grafik verilmiştir:

Buna göre Beta_1 cevap özelliğinin matematiksel modeli:

$$Beta_1 = 162389041322 - 558879506298 * measrpm + 354633318996 * basefuelmass + 9782644801 * fuelpress - 14590180886 * grackmea - 3181920748 * egrlft \quad (4.19)$$

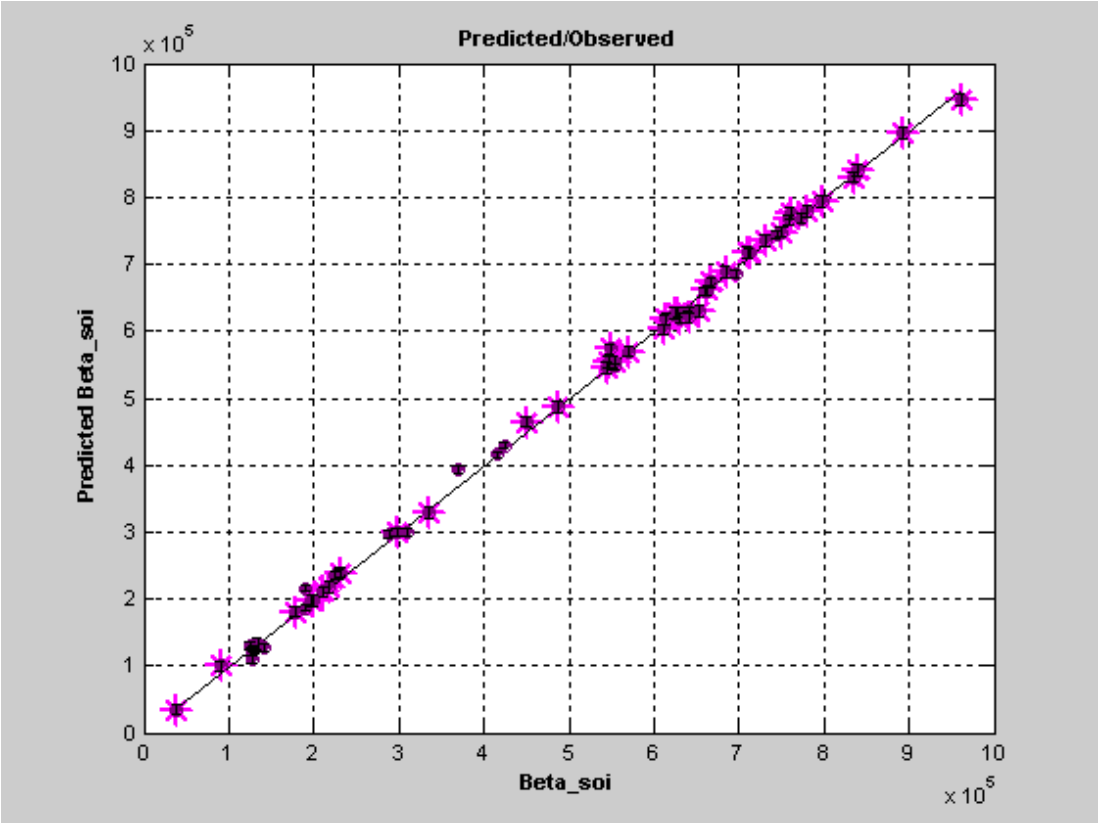


Şekil 4.44: Silindir içindeki en yüksek basınç çıkışı Beta_1 cevap özelliği grafiği

Tablo 4.11: Silindir içindeki en yüksek basınç çıkışı Beta_soi cevap özelliği için istatistiksel verileri

Models	Observation	PRESS RMSE	RMSE	AICc	R^2 adj
Cubic	63	74306,7891	62573,66	1420,69	0,93848
Quadratik	63	73447,4951	67579,96	1415,77	0,92824
Quadratik-RBF	63	36607,5051	25782,30	1368,64	0,98956
Linear-RBF	63	39054,707	13366,08	1478,52	0,99719

Bu cevap özelliği de Beta_1 cevap özelliğinde olduğu gibi doğrusal- radyal tabanlı fonksiyon model tipi için en iyi hata değerlerine sahiptir. Ayrıca düzeltilmiş R^2 değeride bu model tipleri içinde 1 değerine en yakın değerdir. Bunu yanında akaike bilgi ölçütü değeri incelemesi yapılan tüm model tipleri içinde en düşük olmasa da diğer üç istatistiksel değerin daha iyi olması nedeniyle bu cevap özelliği için doğrusal- radyal tabanlı fonksiyon model tipi seçilmiştir. Bu durumda seçilen en uygun model tipi için uydurulan matematiksel model ve ilgili grafik verilmiştir:



Şekil 4.45: Silindir içindeki en yüksek basınç çıkışı Beta_soi cevap özelliği grafiği

Beta_soi cevap özelliğinin matematiksel modeli:

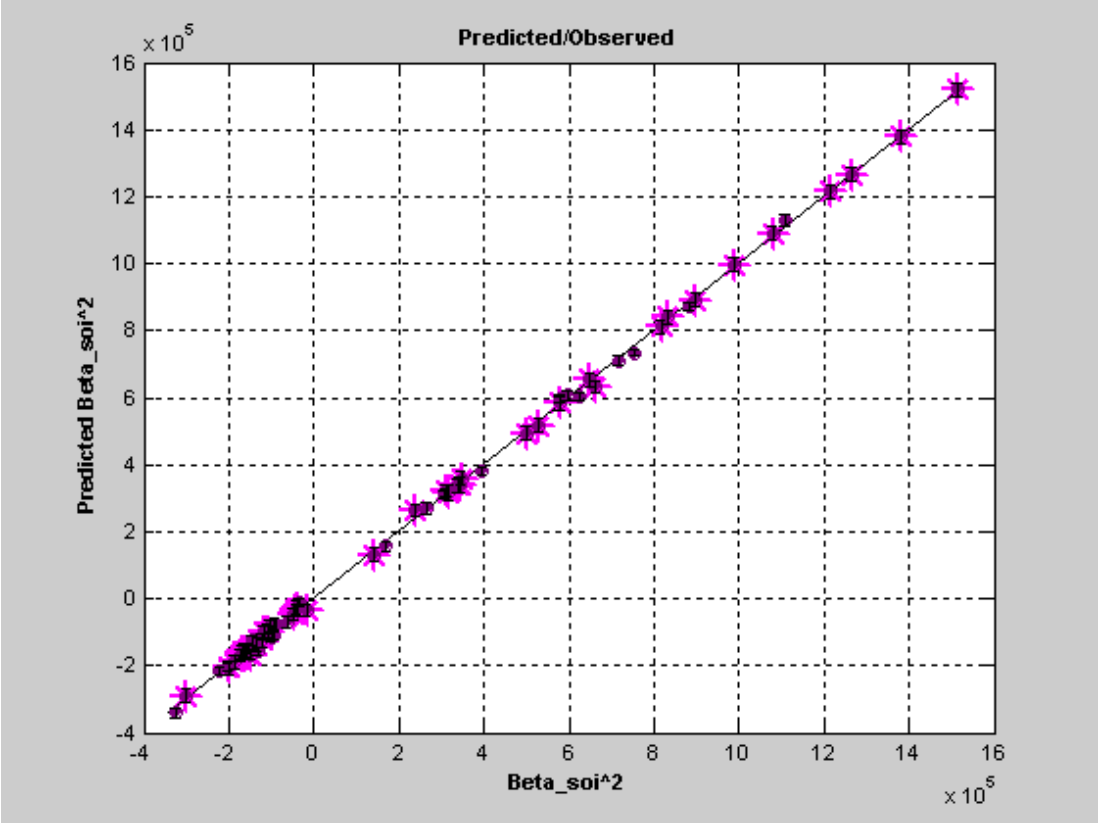
$$Beta_soi = -69267297 - 12094304 * measrpm + 399412463 * basefuelmass + 244032956 * fuelpress - 2152322283 * grackmea + 1025120936 * egrlft \quad (4.20)$$

Tablo 4.12: Silindir içindeki en yüksek basınç çıkışı Beta_soi^2 cevap özelliği için istatistiksel verileri

Models	Observation	PRESS RMSE	RMSE	AICc	R^2 adj
Cubic	63	141730,3682	124956,79	1500,89	0,93227
Quadratik	63	159103,9336	147005,19	1513,69	0,90625
Quadratik-RBF	63	89497,7222	45502,28	1460,97	0,99102
Linear-RBF	63	37940,0764	17059,90	1439,52	0,99874

Bu cevap özelliği de Beta_1 cevap özelliğinde olduğu gibi doğrusal- radyal tabanlı fonksiyon model tipi için en iyi hata değerlerine sahiptir. Bunun yanında akaike bilgi ölçütü değeri incelemesi yapılan tüm mdoel tipleri içinde en düşük değere sahiptir. Ayrıca düzeltilmiş R^2 değeride bu model tipleri içinde 1 değerine en yakın değerdir.

Dolayısıyla diğer cevap özelliklerinde olduğu gibi model tipi olarak yine doğrusal-radyal tabanlı fonksiyon model tipi seçilmiştir Bu durumda seçilen en uygun model tipi için uydurulan matematiksel model ve ilgili grafik verilmiştir:



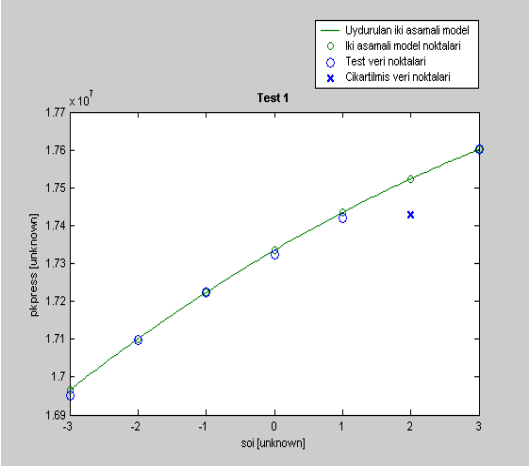
Şekil 4.46: Silindir içindeki en yüksek basınç çıkışı Beta_soi^2 cevap özelliği grafiği

Beta_soi^2 cevap özelliğinin matematiksel modeli:

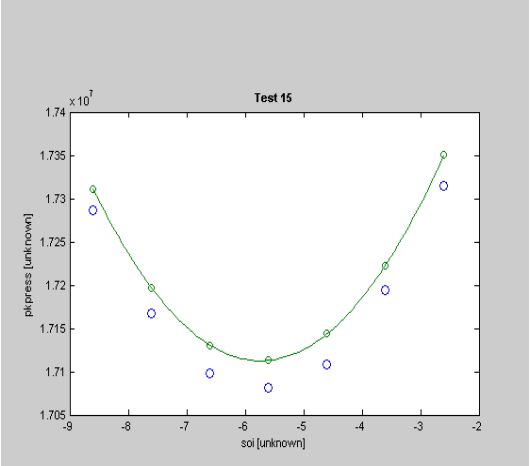
$$Beta_soi^2 = -44111299428 * measrpm - 15564663999 * basefuelmass + 2384535351 * fuelpress - 83846676907 * grackmea + 1523417.8823 * egrlft \quad (4.21)$$

4.5.3. İki Aşamalı Model Sonuçları

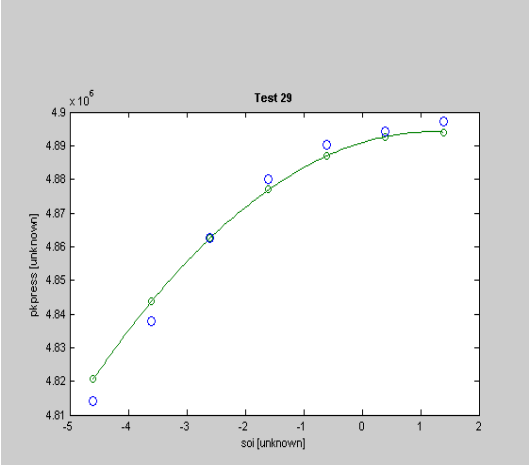
Yukarıda verilen global ve lokal model için uydurulmuş eğriler kullanılarak silindir içindeki en yüksek basınç çıkışı sıcaklığının iki aşamalı modeli oluşturulmuştur. Daha önce de bahsedildiği gibi lokal model olarak kuadratik model tipi, cevap özellikleri beta_1, beta_soi ve beta_soi^2 için ise doğrusal-radyal tabanlı fonksiyon, model tipi seçilmiştir. Sonuçta elde edilen iki-aşamalı model için üç boyutlu ve lokal grafikler aşağıda verilmektedir:



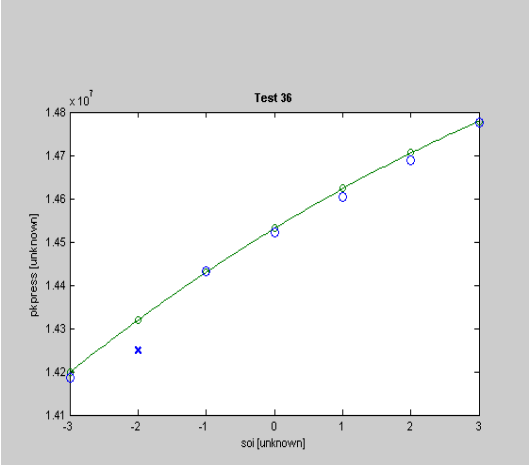
Şekil 4.47: 1. test için iki-aşamalı model grafiği



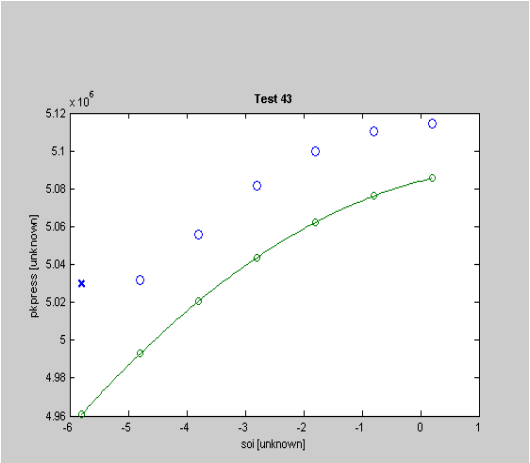
Şekil 4.48: 3. test için iki-aşamalı model grafiği



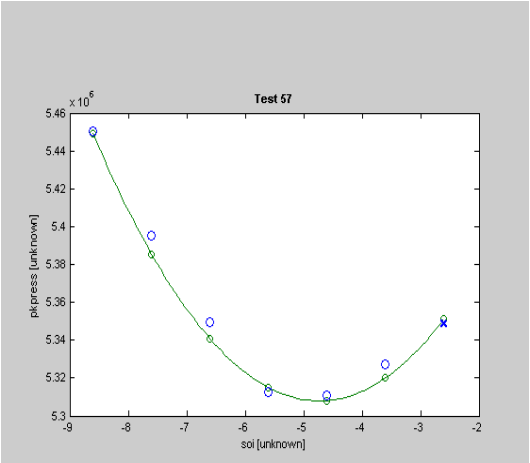
Şekil 4.49: 5. test için iki-aşamalı model grafiği



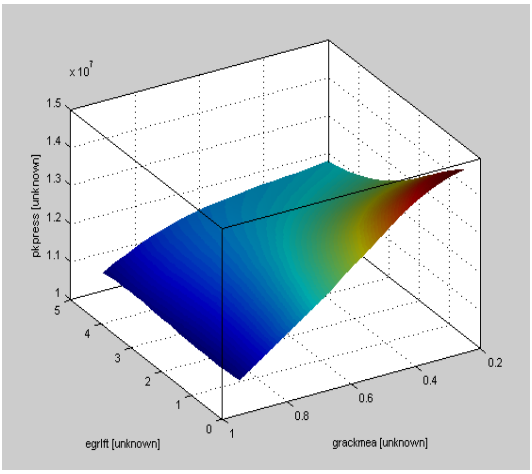
Şekil 4.50: 9. test için iki-aşamalı model grafiği



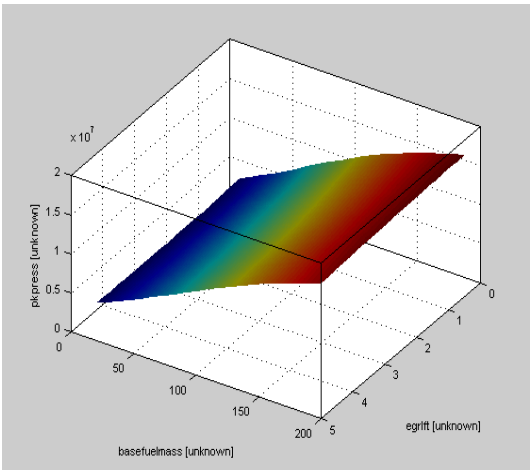
Şekil 4.51: 10. test için iki-aşamalı model grafiği



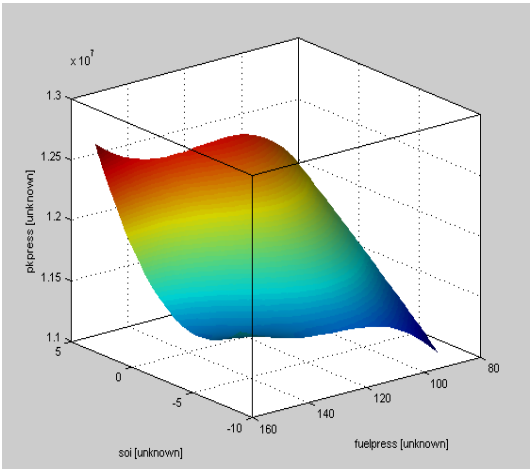
Şekil 4.52: 12. test için iki-aşamalı model grafiği



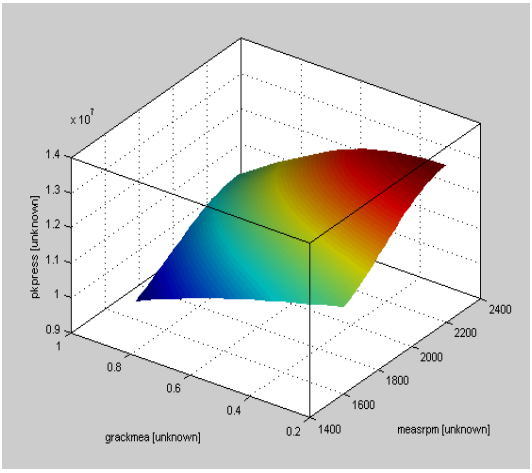
Şekil 4.53: grackmea ve egrlft girişlerine göre silindir en yüksek basıncı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi



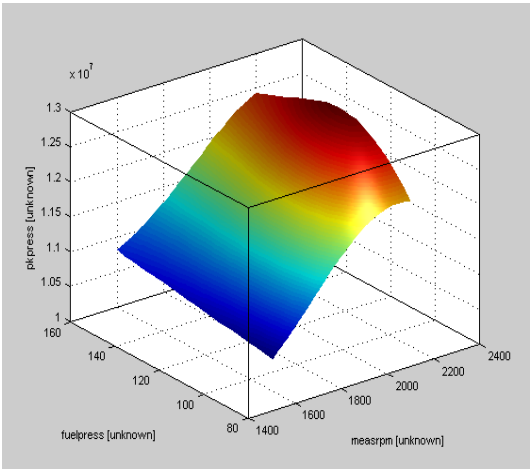
Şekil 4.54: basefuelmass ve egrlft girişlerine göre silindir en yüksek basıncı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi



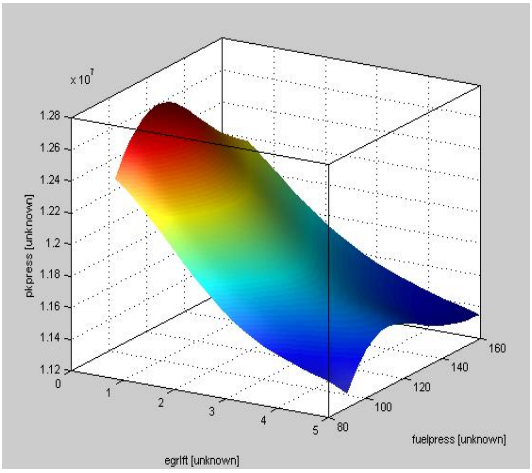
Şekil 4.55: soi ve fuelpress girişlerine göre egzost silindir en yüksek basıncı veren iki-aşamalı model yüzeyi



Şekil 4.56: grackmea ve measrpm girişlerine göre silindir en yüksek basıncı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi



Şekil 4.57: fuelpress ve measrpm girişlerine göre silindir en yüksek basıncı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi

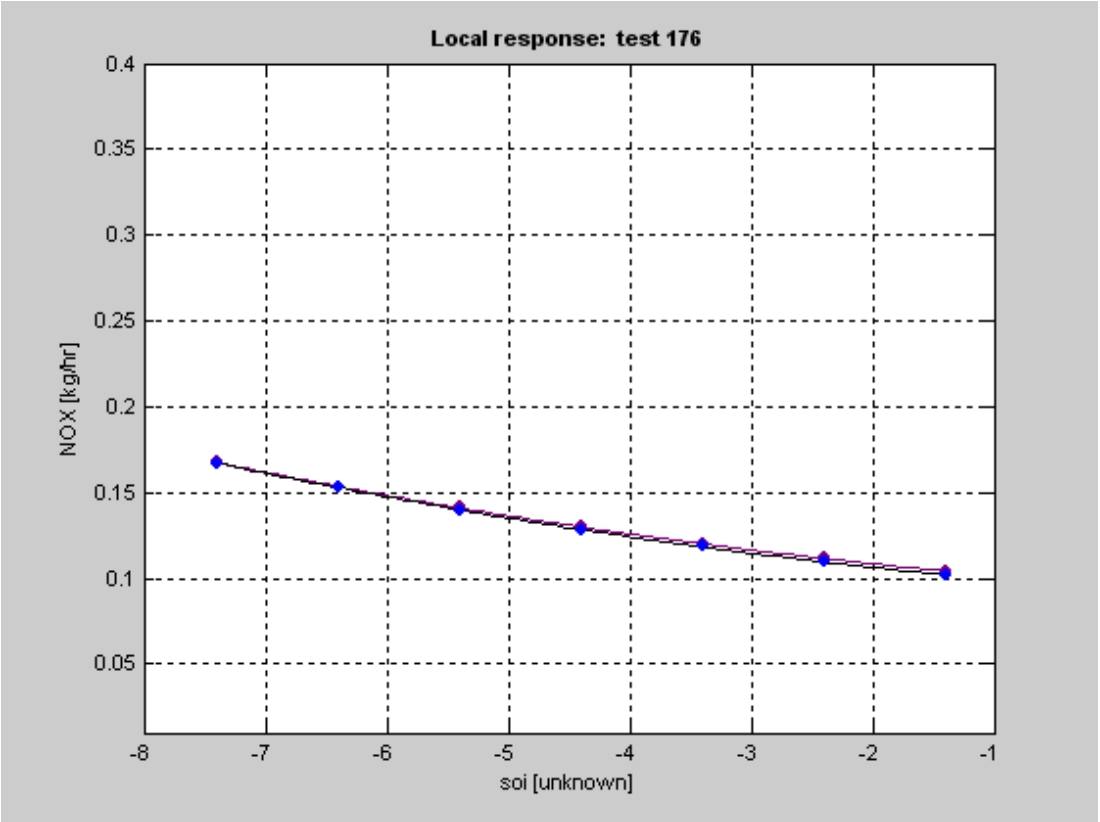


Şekil 4.58: egrlft ve fuelpress girişlerine göre silindir en yüksek basıncı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi

4.6. Azot Oksid Emisyonu Cevabının Modellenmesi

4.6.1. Lokal Model Seçim Sonuçları

Azot oksid emisyonu cevabı için lokal modeller uydurulurken kuadratik ve doğrusal olmak üzere iki farklı model tipi kullanılmıştır.



Şekil 4.59: 24. test için lokal model grafiği

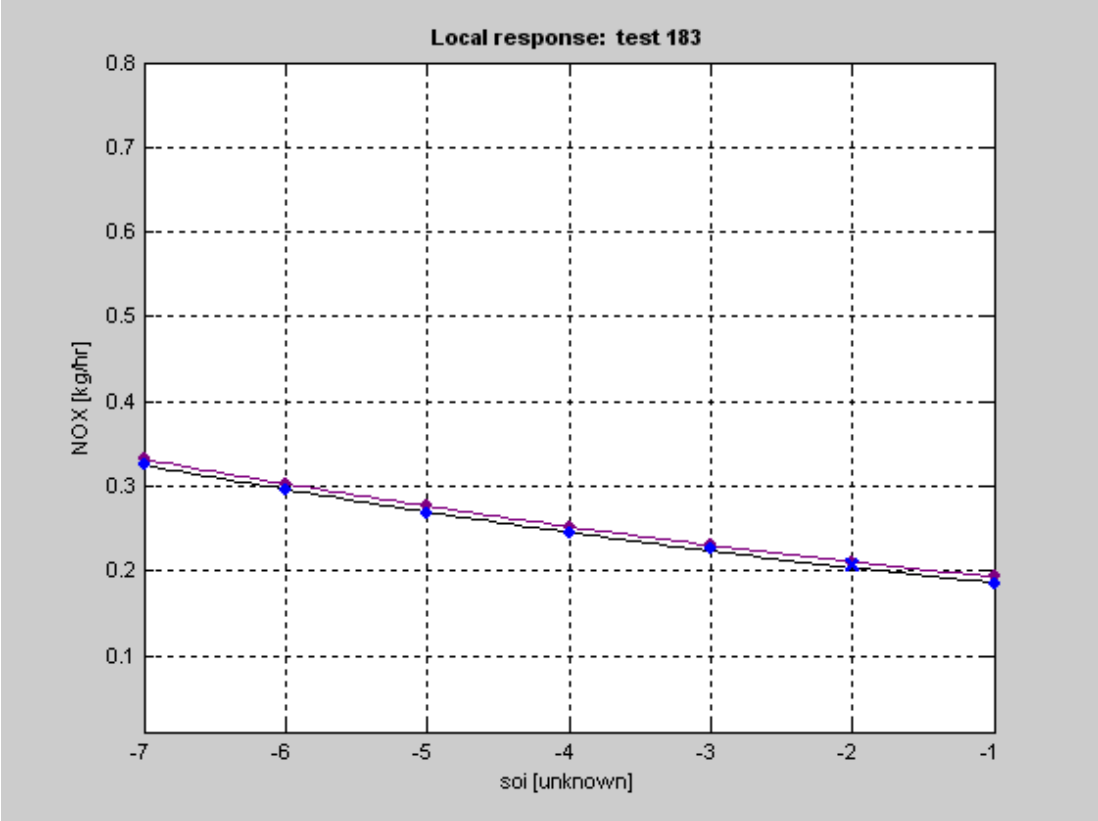
24. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

$$NOX = 0.11457 - 0.053248 * soi + 0.025155 * soi^2 \quad (4.22)$$

Tablo 4.13: Azot oksid emisyonu çıkışı lokal modelleri istatistiksel verileri

Lokal Model	Lokal RMSE	İki-Aşamalı RMSE	İki-Aşamalı T^2	-logL
Quadratik	0,00041885	0,0062189	2,706	-2215,9
Linear	0,0056719	0,02273	1,9985	-993,08

Tablo 4.13'de verilen lokal model tipleri için hata ifadelerinin oldukça küçük olduğu görülmektedir. Bu bir önceki cevap olan silindir içindeki en yüksek basınç cevabının incelemesinde olduğunun tersi bir durumdur ve nedeni ve etkileri bir önceki incelemede açıklanmışıtır. Tablo 4.13'de verilen iki lokal model tipinden kuadratik model tipinin üç istatistik değerinin doğrusal model tipine göre daha iyi olduğu belirlenmiştir. Burada sadece iki aşamalı T^2 değeri kuadratik model için daha kötüdür. Ayrıca iki model tipi arasında bir karşılaştırma yapıldığında hata değerleri az olan seçildiğinden kuadratik lokal model tipinin daha uygun olduğu belirlenmektedir.



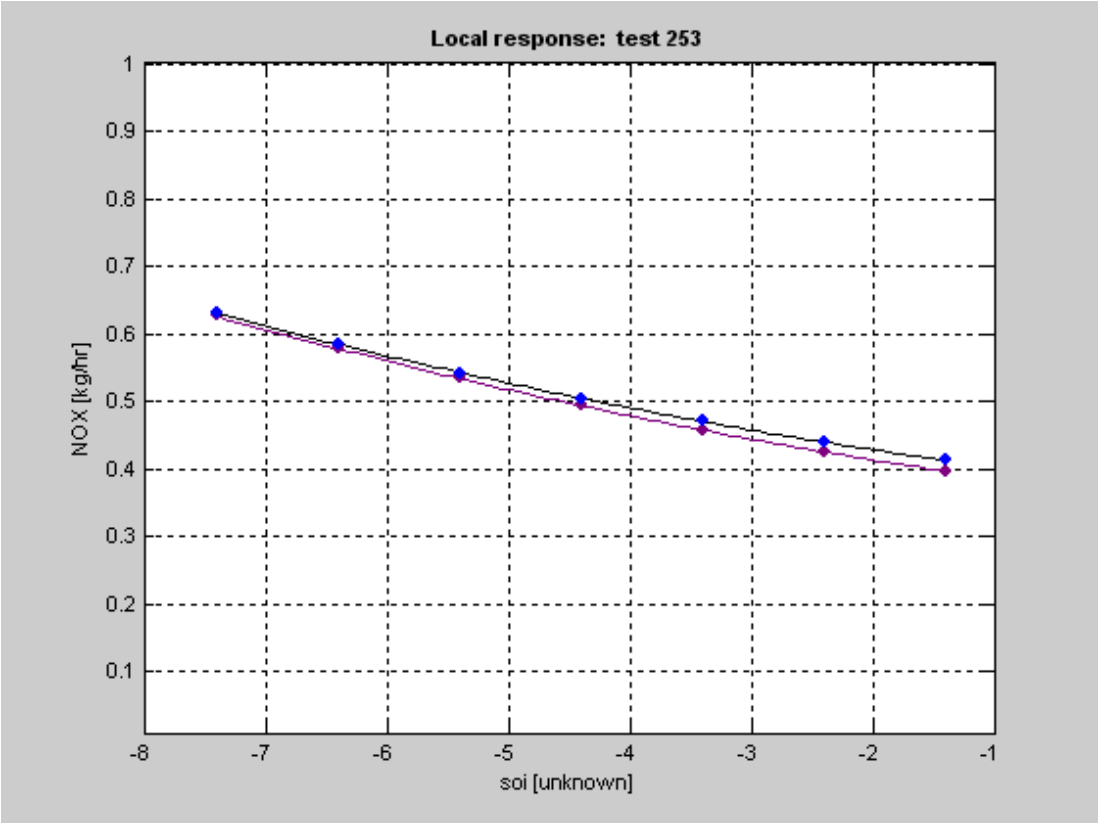
Şekil 4.60: 26. test için lokal model grafiği

26. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

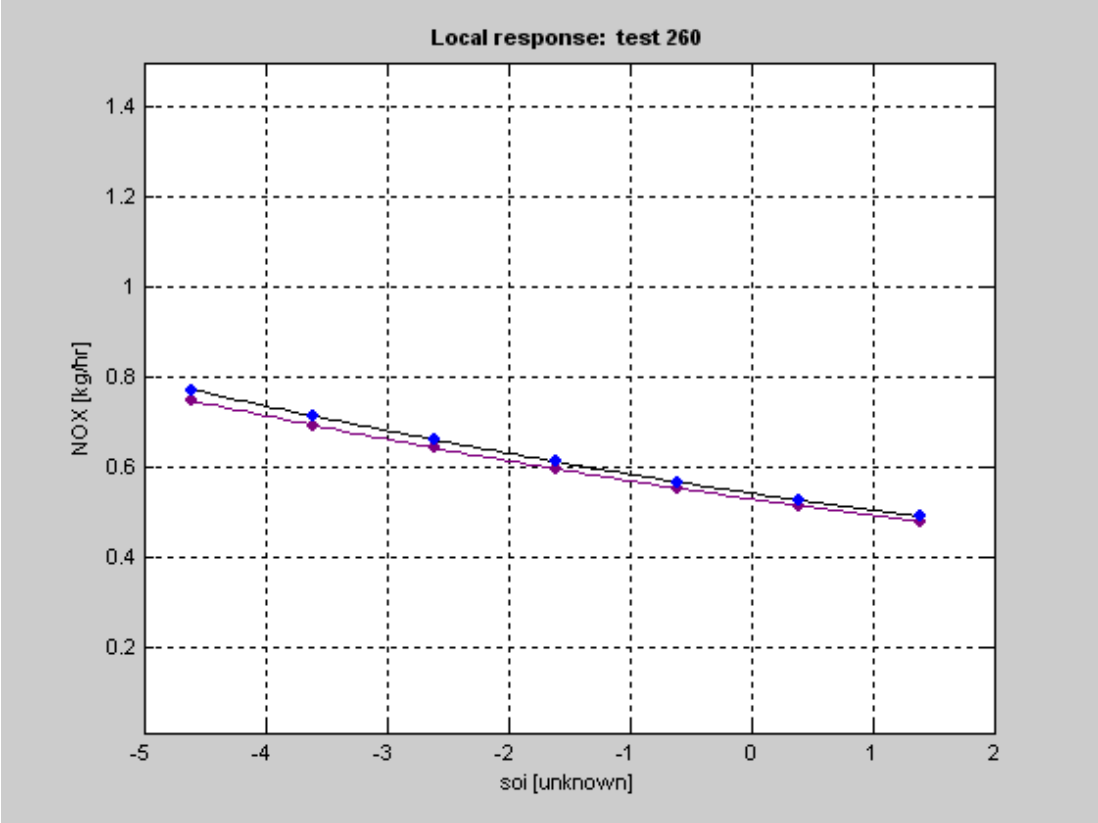
$$NOX = 0.22331 - 0.12519 * soi + 0.040734 * soi^2 \quad (4.23)$$

37. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

$$NOX = 0.44773 - 0.18642 * soi + 0.065775 * soi^2 \quad (4.24)$$



Şekil 4.61: 37. test için lokal model grafiği



Şekil 4.62: 33. test için lokal model grafiği

38. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

$$NOX = 0.68167 + 0.31695 * soi + 0.076739 * soi^2 \quad (4.25)$$

4.6.2. Global Model Seçim Sonuçları

Cevap özellikleri için istatistiksel seçim kriterlerinin değerleri tablolar halinde düzenlenmiş bununla birlikte her üç cevap özelliğine uydurulan modellerin matematiksel ifadesi ile gerekli grafikler verilmiştir:

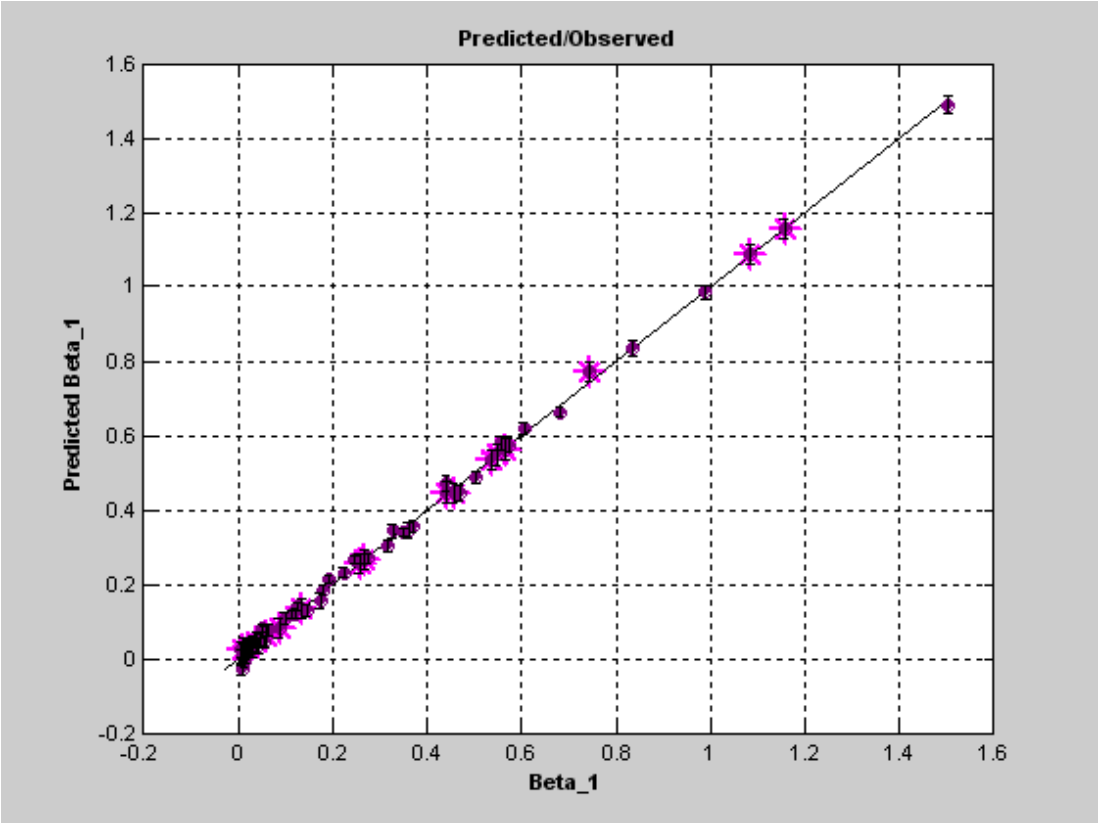
Tablo 4.14: Azot oksid emisyonu çıkışı Beta_1 cevap özelliği için istatistiksel verileri

Models	Observation	PRESS RMSE	RMSE	AICc	R^2 adj
Cubic	63	0,12625	0,10252	-262,60	0,9013
Quadratik-RBF	63	0,095428	0,02157	-422,74	0,9956
RBF-gaussian	63	0,044198	0,03373	-363,88	0,9938
Linear-RBF	63	0,034726	0,009921	-308,10	0,9990

Tabloda görülen değerlere göre en düşük hata değerlerine sahip model tipi doğrusal-radyal tabanlı fonksiyon modeldir. Ayrıca düzeltilmiş R^2 ifadesi 1 değerine oldukça yakın olmasına rağmen akaike bilgi ölçütü değerinin en küçük değer olmadığı görülmektedir. Fakat bu üç istatistik bilginin diğerlerine göre daha iyi olması en uygun modelin doğrusal radyal tabanlı fonksiyon model olduğunu göstermektedir. Seçilen en uygun model tipi için uydurulan matematiksel model ve ilgili grafik verilmiştir:

Buna göre Beta_1 cevap özelliğinin matematiksel modeli:

$$\begin{aligned} Beta_1 = \; & 0.96963 - 0.18552 * measrpm + 0.61824 * basefuelmass - 0.067134 * fuelpress \\ & + 0.1603 * grackmea + 0.0214 * egrlft - 0.0142 * measrpm^2 - 0.176 * measrpm * basefuelmass \\ & + 0.026785 * measrpm * fuelpress - 0.013627 * measrpm * egrlft - 0.12678 * basefuelmass^2 \\ & - 0.0251 * basefuelmass * fuelpress + 0.179 * basefuelmass * grackmea - 0.0458 * fuelpress^2 \\ & + 0.027025 * fuelpress * grackmea - 0.025691 * grackmea^2 + 0.010045 * grackmea * egrlft \\ & - 0.0027423 * egrlft^2 \end{aligned} \quad (4.26)$$



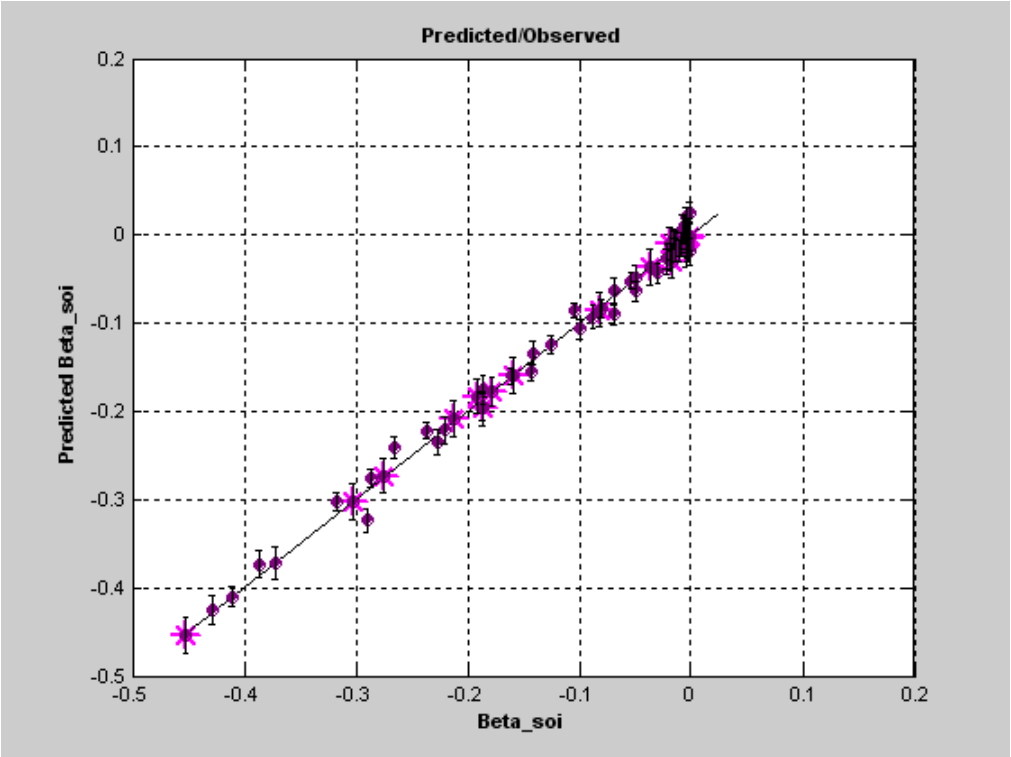
Şekil 4.63: Azot oksid emisyonu çıkışı Beta_1 cevap özelliği grafiği

Tablo 4.15: Azot oksid emisyonu çıkışı Beta_soi cevap özelliği için istatistiksel verileri

Models	Observation	PRESS RMSE	RMSE	AICc	R^2 adj
Cubic	63	0,045392	0,038228	-386,90	0,9122
Quadratik-RBF	63	0,0057161	0,0022185	-387,66	0,9997
RBF-gaussian	63	0,0235	0,018003	-445,03	0,9892
Linear-RBF	63	0,017726	0,0076249	-393,01	0,9965

Cevap özellikleri için model tipi belirlemesi esnasında bir çok radyal tabanlı fonksiyon ile bunların farklı değerlerdeki genişlik ve düzenleme parametreleri ile incelemeler yapılmaktadır. Yukarıda tabloda ise incelemeleri yapılan radyal tabanlı fonksiyonların en iyi değerlerini gösteren istatistikler verilmektedir. Burada verilen kuardartik-radyal tabanlı fonksiyonun genişlik parametresi(σ) 0,98604 ve düzenleme parametresi(λ) ise 6.8697e-005 değerlerindedir. En uygun model tipinin ise

kuadratik-radyal tabanlı fonksiyon model tipi olduğu açıkca tablodan görülmektedir.



Şekil 4.64: Azot oksid emisyonu çıkışı Beta_soi cevap özelliği grafiği

Beta_soi cevap özelliğinin matematiksel modeli:

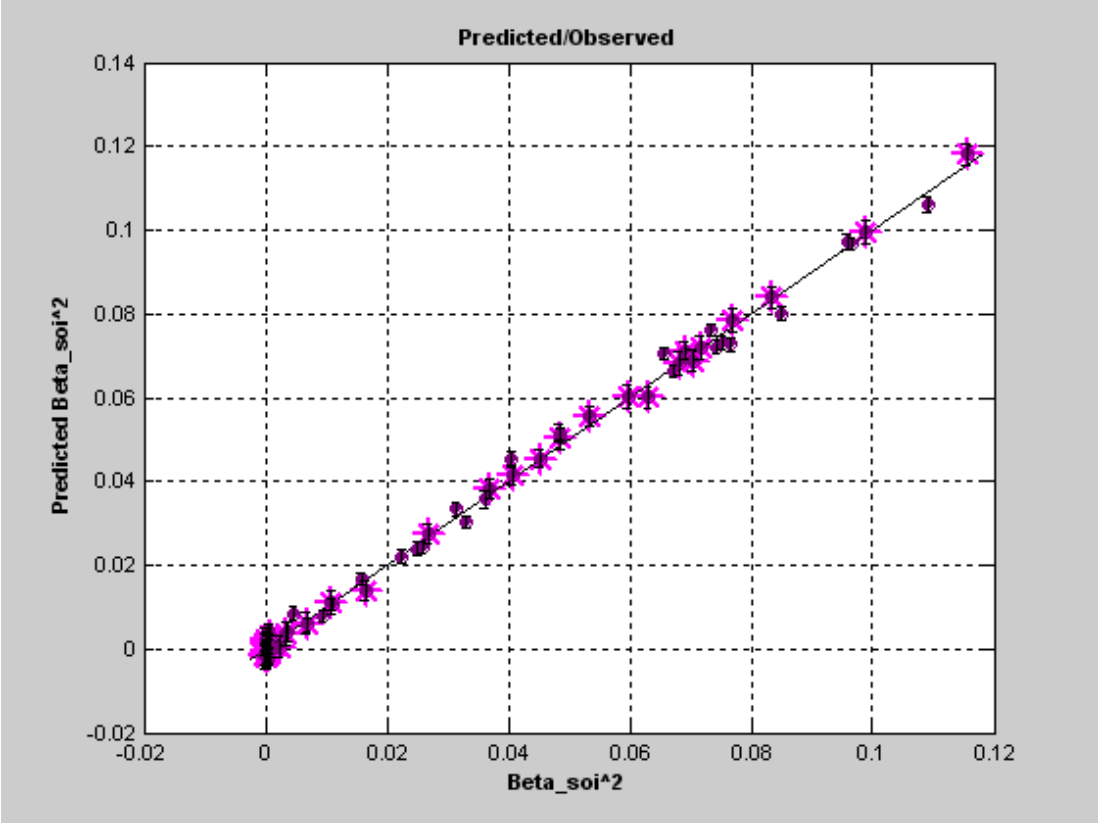
$$\begin{aligned} Beta_soi = & -0.32518 - 0.029078*measrpm - 0.069809*basefuelmass - 0.05714*fuelpress \\ & - 0.148*grackmea - 0.0707*egrlft - 0.0425*measrpm^2 - 0.0973*measrpm*basefuelmass \\ & + 0.050048*measrpm*grackmea - 0.013627*measrpm*egrlft \\ & - 0.086731*basefuelmass*fuelpress - 0.16541*basefuelmass*grackmea \\ & - 0.005774*basefuelmass*egrlft + 0.077*fuelpress^2 + 0.0254*fuelpress*grackmea \\ & + 0.01657*fuelpress*egrlft + 0.059184*grackmea^2 \end{aligned} \quad (4.27)$$

Tablo 4.16 Azot oksid emisyonu çıkışı Beta_soi^2 cevap özelliği için istatistiksel verileri

Models	Observation	PRESS RMSE	RMSE	AICc	R^2 adj
Cubic	63	0,013622	0,012087	-540,08	0,8788
Quadratik-RBF	63	0,019585	0,003427	-623,50	0,99025
RBF-gaussian	63	0,0096545	0,006789	-575,58	0,98135
Linear-RBF	63	0,0040937	0,0022496	-564,73	0,9958

Bu cevap özelliği de Beta_1 cevap özelliğinde olduğu gibi doğrusal- radyal tabanlı fonksiyon model tipi için en iyi hata değerlerine sahiptir. Düzeltilmiş R^2 değeri bu

model tipleri içinde 1 değerine en yakın değerdir. Dolayısıyla en uygun model tipi olarak doğrusal-radyal tabanlı fonksiyon model tipi seçilmiştir Bu durumda seçilen en uygun model tipi için uydurulan matematiksel model ve ilgili grafik verilmiştir:



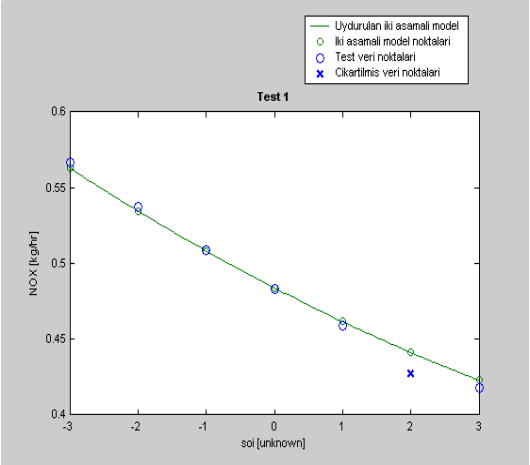
Şekil 4.65: Azot oksid emisyonu çıkışı Beta_soi^2 cevap özelliği grafiği

Beta_soi^2 cevap özelliğinin matematiksel modeli:

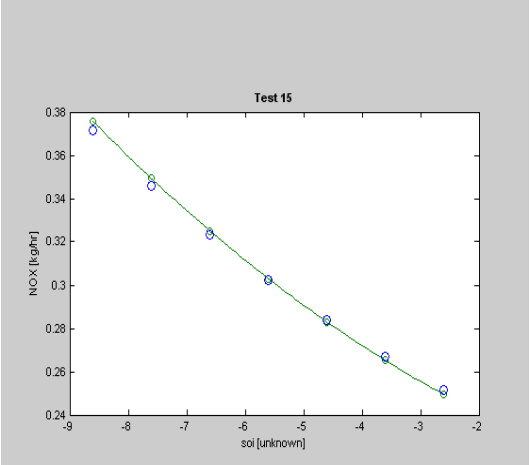
$$Beta_soi^2 = 0.057663 * measrpm - 0.15638 * fuelpress - 0.18084 * grackmea + 0.024351 * egrlft \quad (4.28)$$

4.6.3. İki Aşamalı Model Sonuçları

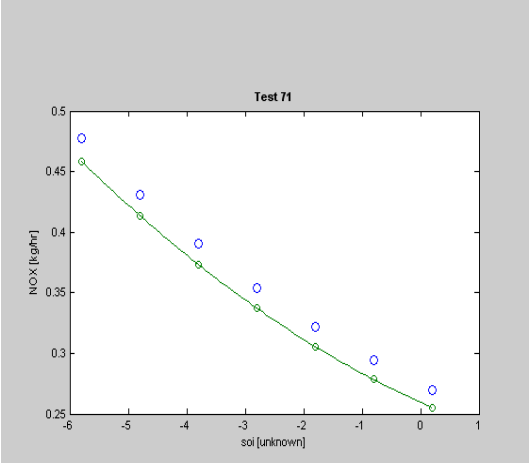
Yukarıda verilen global ve lokal model için uydurulmuş eğriler kullanılarak silindir içindeki en yüksek basınç çıkışı sıcaklığının iki aşamalı modeli oluşturulmuştur. Daha önce de bahsedildiği gibi lokal model olarak kuadratik model tipi, cevap özellikleri beta_1, beta_soi ve beta_soi^2 için ise doğrusal-radyal tabanlı fonksiyon, model tipi seçilmiştir. Sonuçta elde edilen iki-aşamalı model için üç boyutlu ve lokal grafikler aşağıda verilmektedir:



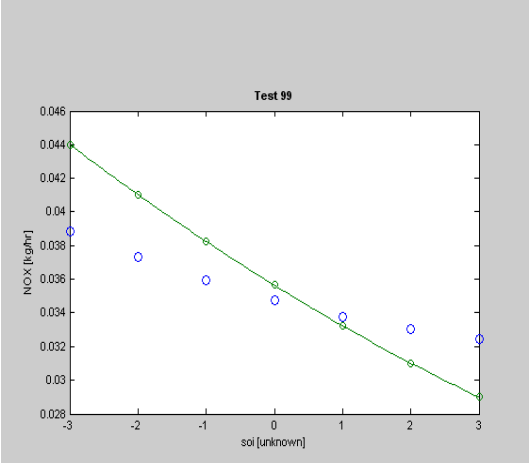
Şekil 4.66: 1. test için iki-aşamalı model grafiği



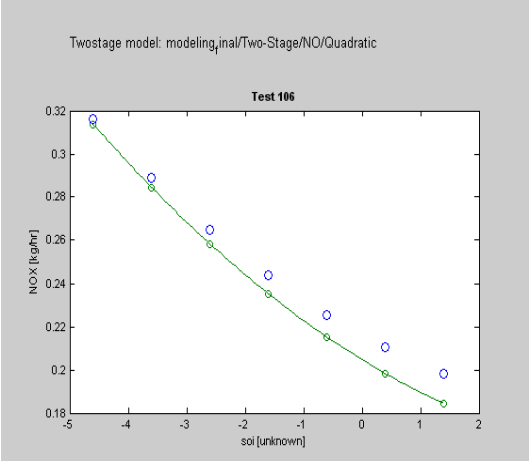
Şekil 4.67: 3. test için iki-aşamalı model grafiği



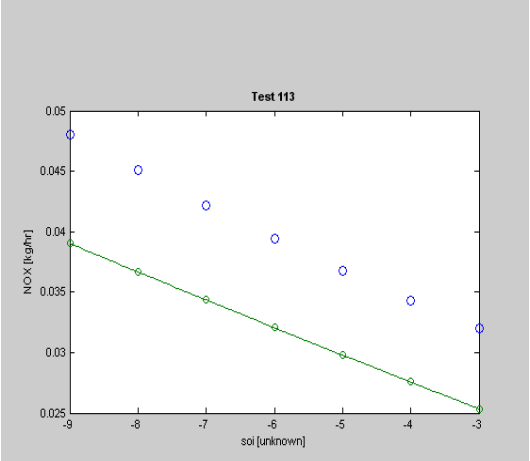
Şekil 4.68: 11. test için iki-aşamalı model grafiği



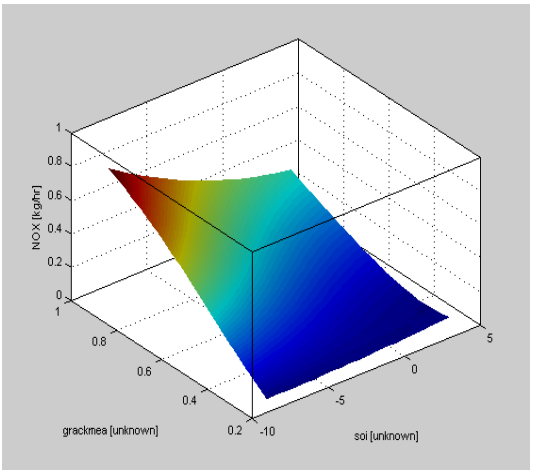
Şekil 4.69: 15. test için iki-aşamalı model grafiği



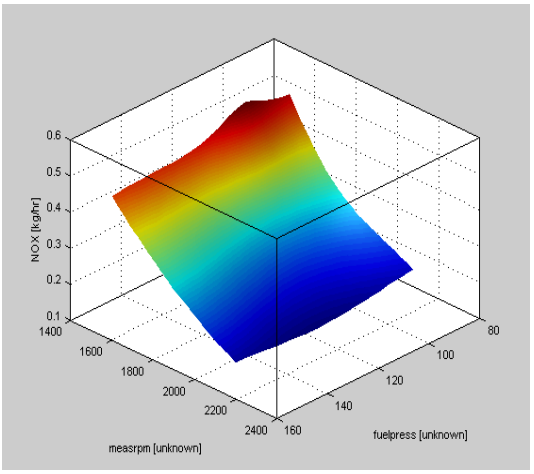
Şekil 4.70: 16. test için iki-aşamalı model grafiği



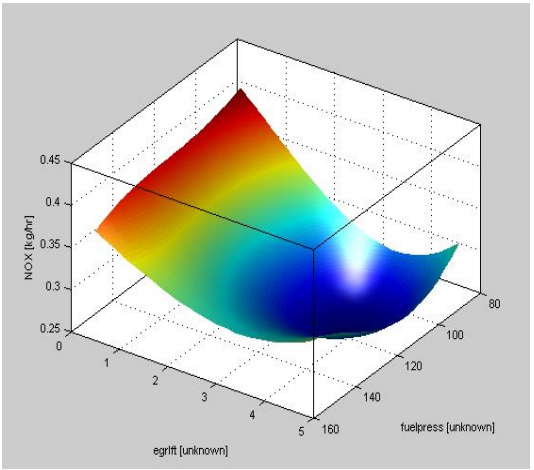
Şekil 4.71: 17. test için iki-aşamalı model grafiği



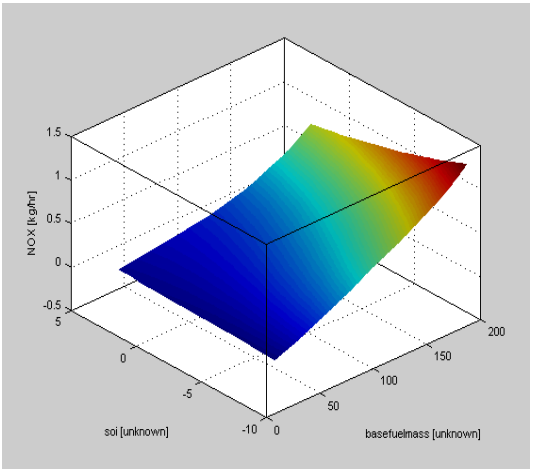
Şekil 4.72: grackmea ve egrlft girişlerine göre azot oksid emisyonu çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi



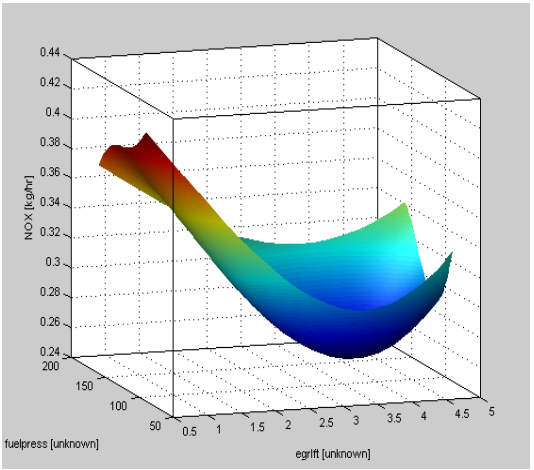
Şekil 4.73: basefuelmass ve egrlft girişlerine göre azot oksid emisyonu çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi



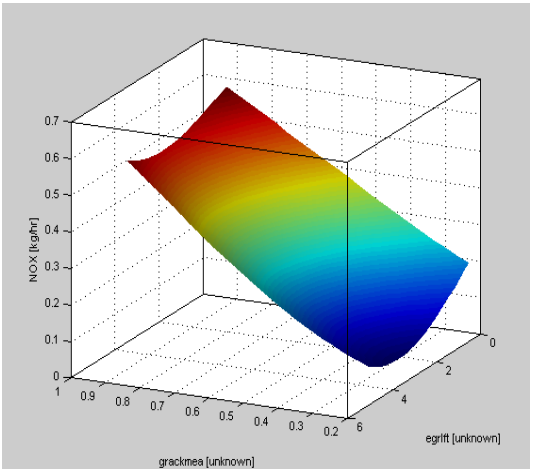
Şekil 4.74: soi ve fuelpress girişlerine göre azot oksid emisyonu çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi



Şekil 4.75: grackmea ve measrpm girişlerine göre azot oksid emisyonu çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi



Şekil 4.76: fuelpress ve measrpm girişlerine göre azot oksid emisyonu çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi

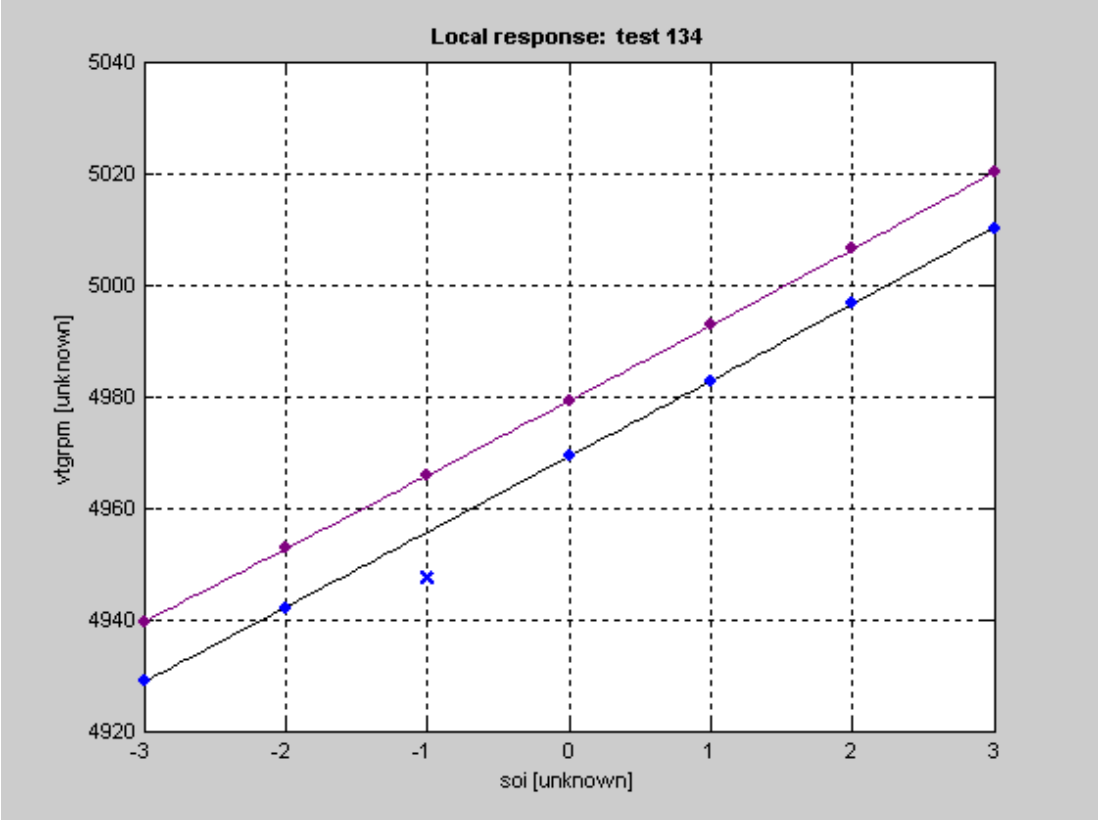


Şekil 4.77: egrlft ve fuelpress girişlerine göre azot oksid emisyonu çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi

4.7. Değişken Geometrili Turbo Hızı Cevabının Modellenmesi

4.7.1. Lokal Model Seçim Sonuçları

Değişken geometrili turbo hızı cevabı için lokal modeller uydurulurken quadratik ve doğrusal olmak üzere iki farklı model tipi kullanılmıştır.



Şekil 4.78: 20. test için lokal model grafiği

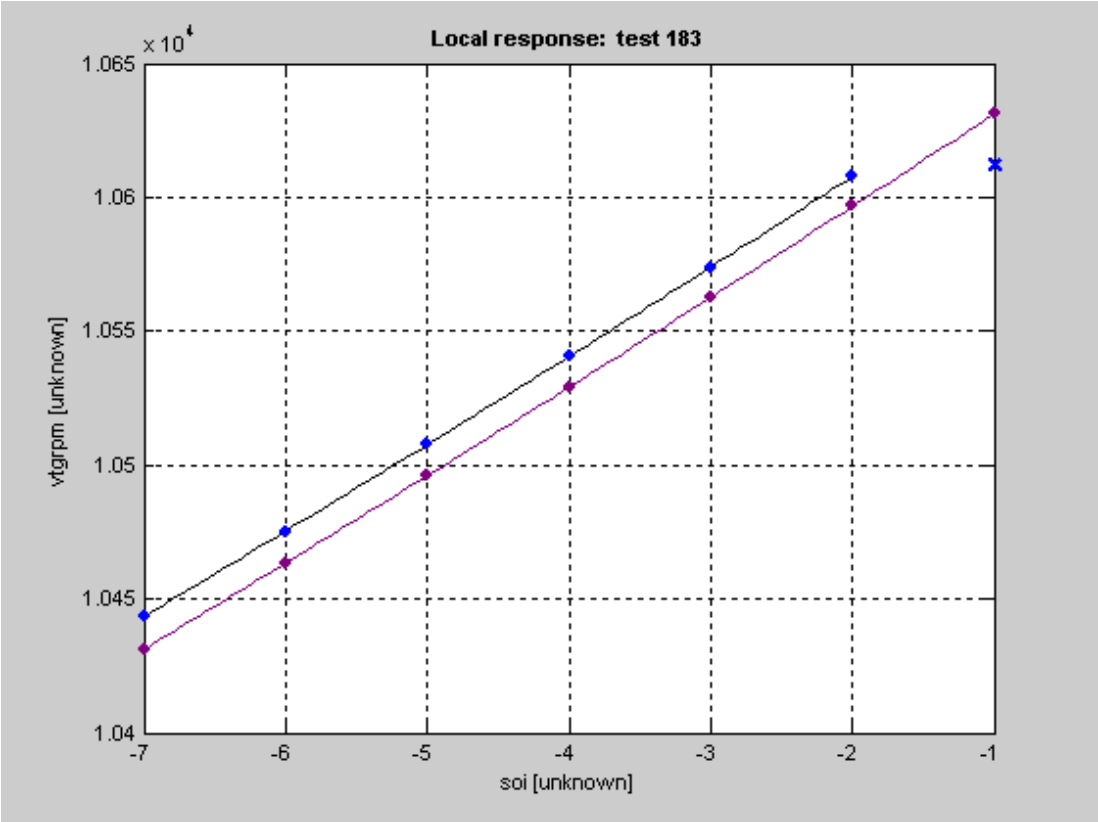
20. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

$$vgtrpm = 4928.7328 + 80.141819 * soi + 1.3348346 * soi^2 \qquad (4.29)$$

Tablo 4.17: Değişken geometrili turbo hızı çıkışı lokal modelleri istatistiksel verileri

Lokal Model	Lokal RMSE	İki-Aşamalı RMSE	İki-Aşamalı T^2	-logL
Quadratik	0,47214	0,37567	0,49244	-175,49
Linear	0,99327	88,1287	1,9974	779,53

Tabloda verilen iki lokal model tipinden kuadratik model tipinin tüm istatistik değerlerinin doğrusal model tipine göre daha iyi olduğu görülmektedir. Dolayısıyla en iyi model tipi olarak kuadratik model tipi belirlenmiş ve buna ait matemetiksel ifade ve grafikler aşağıda verilmiştir:



Şekil 4.79: 27. test için lokal model grafiği

27. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

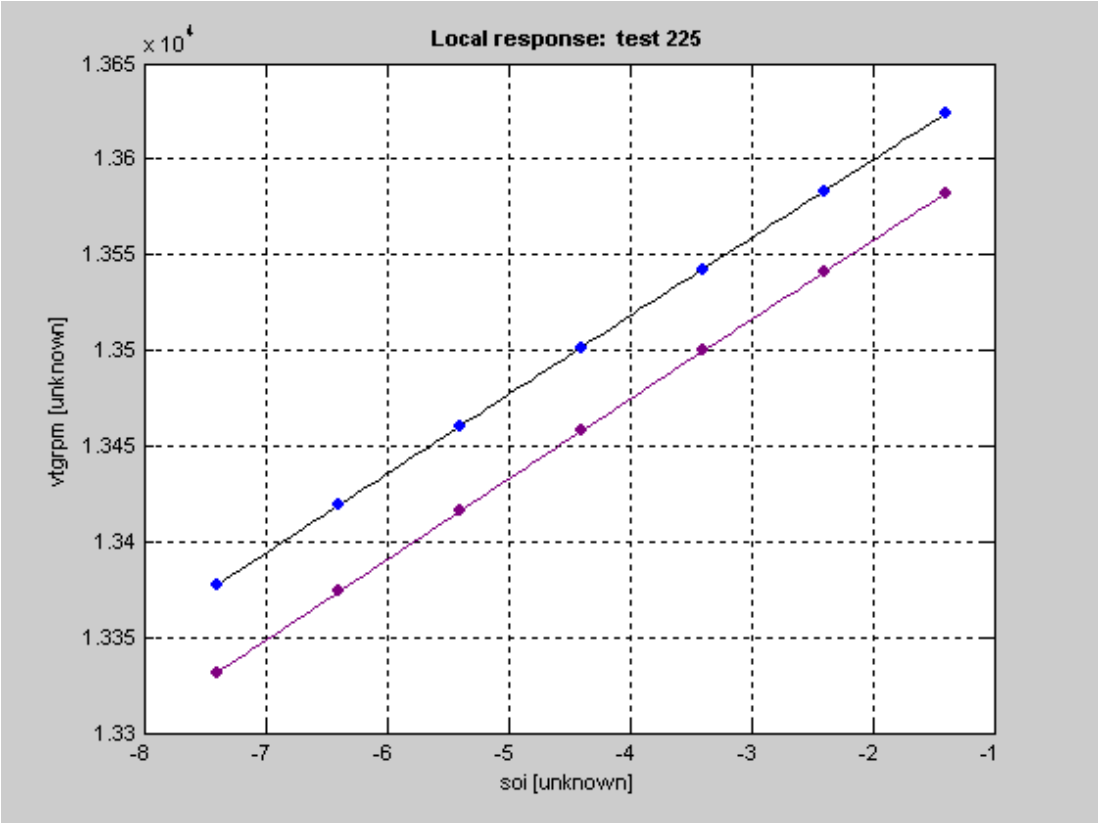
$$vgtrpm = 10573842 + 201.68454 * soi + 9.05068584 * soi^2 \quad (4.30)$$

33. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

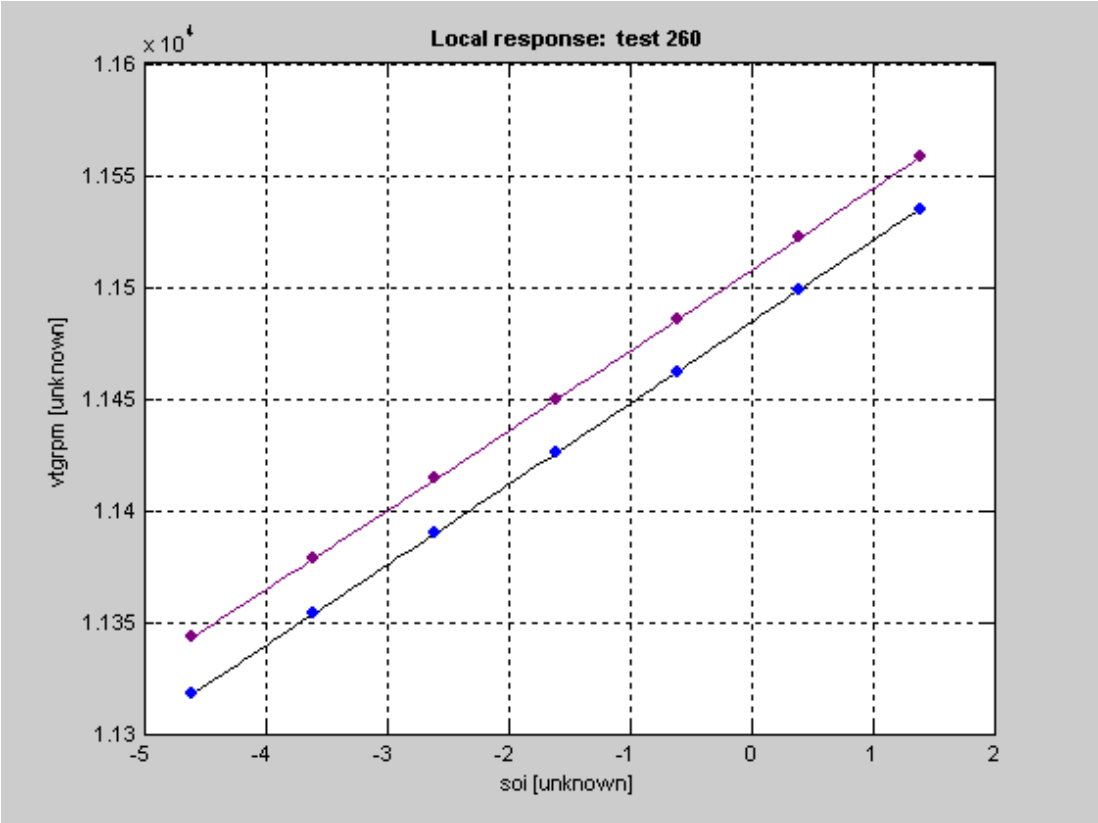
$$vgtrpm = 135586909 + 244.824879 * soi - 3.83700833 * soi^2 \quad (4.31)$$

38. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

$$vgtrpm = 113752342 + 216.389428 * soi + 2.38863943 * soi^2 \quad (4.32)$$



Şekil 4.80: 33. test için lokal model grafiği



Şekil 4.81: 38. test için lokal model grafiği

4.7.2. Global Model Seçim Sonuçları

Cevap özellikleri için istatistiksel seçim kriterlerinin değerleri tablolar halinde düzenlenmiş bununla birlikte her üç cevap özelliğine uydurulan modellerin matematiksel ifadesi ile gerekli grafikler verilmiştir:

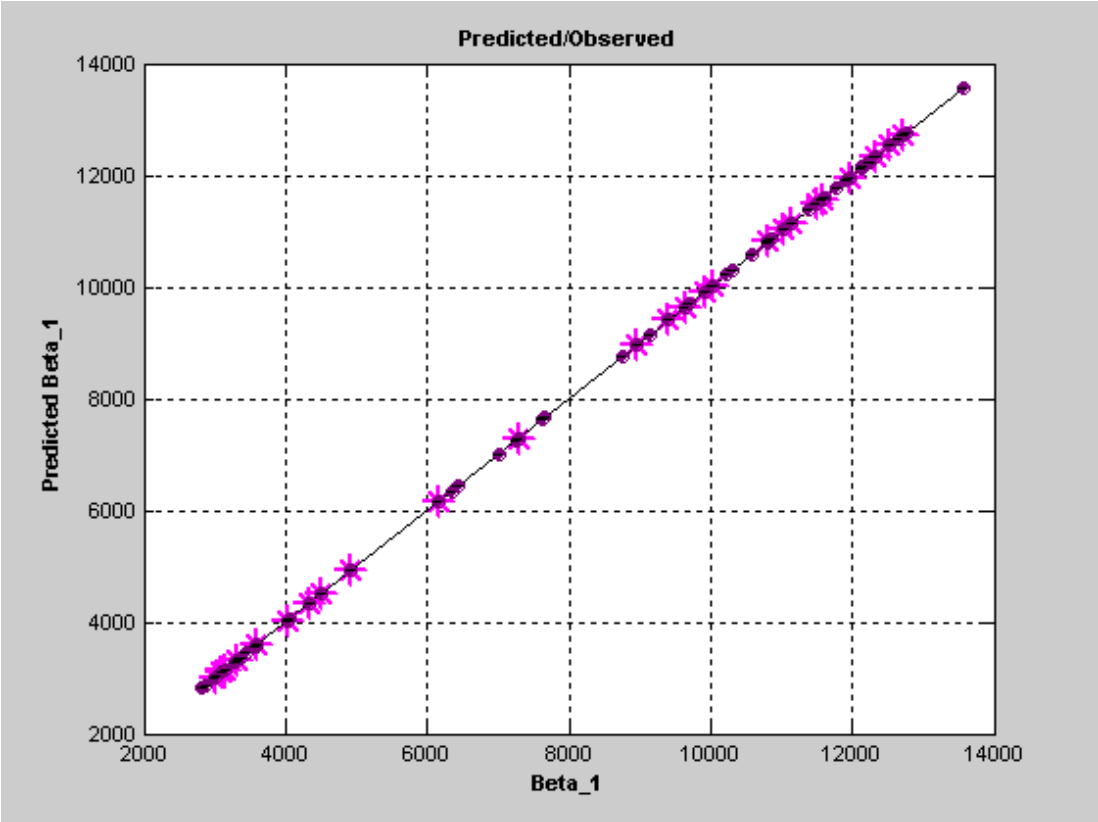
Tablo 4.18: Değişken geometrili turbo hızı çıkışı Beta_1 cevap özelliği için istatistiksel verileri

Models	Observation	PRESS RMSE	RMSE	AICc	R^2 adj
Cubic	61	1151,3354	171,6379	2793,14	0,9982
Quadratik-RBF	61	73,6195	38,7786	729,48	0,99988
RBF-gaussian	61	444,7718	388,0509	749,67	0,9982
Linear-RBF	61	106,0604	43,7822	952,34	0,99981
POLY_4-RBF	61	5,3408	0,4424	-138,1	1

Yukarıda verilen tabloda daha önce modellemesi yapılan cevap özelliklerinde incelenen model tiplerine ek olarak 4. mertebeden bir polinom ve radyal tabanlı fonksiyonunun birleştirilmesi ile ortaya çıkan POLY_4-RBF adındaki model tipi yer almaktadır. Bunun nedeni diğer model tipleri ile bu cevap özelliği için uygun bir hata değerine ulaşılamamış olmasıdır. Tabloda polinom-radyal tabanlı fonksiyon tüm istatistik değerleri diğer model tiplerine göre daha iyidir. Seçilen en uygun model tipi için uydurulan matematiksel model ve ilgili grafik verilmiştir:

Buna göre Beta_1 cevap özelliğinin matematiksel modeli:

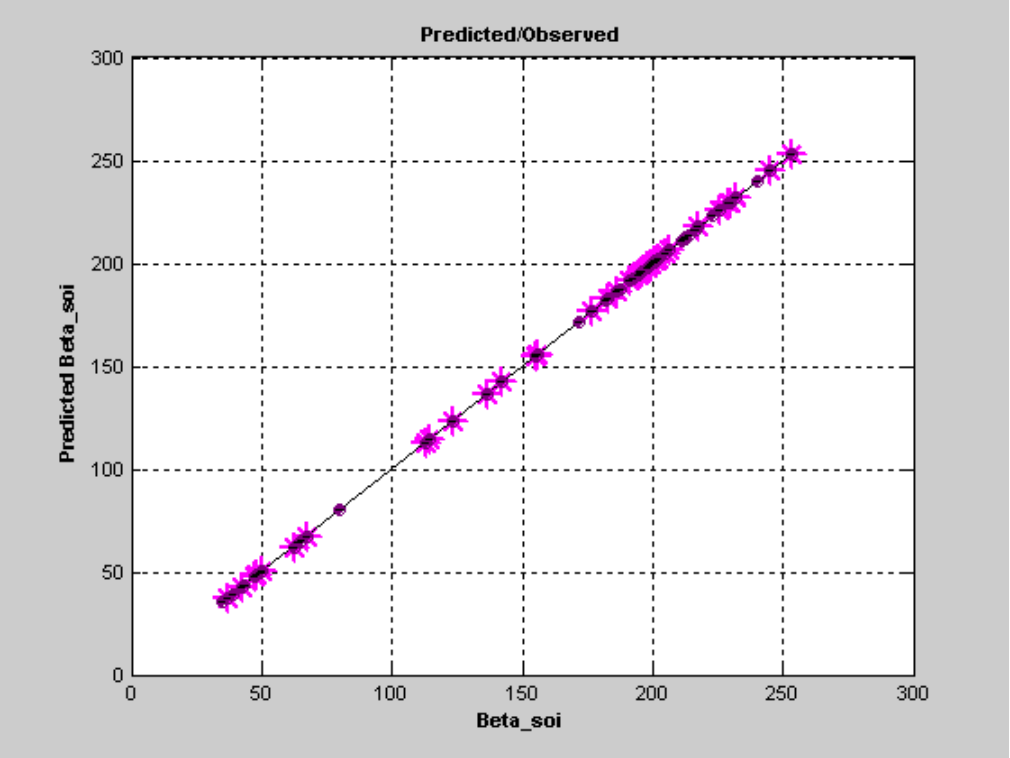
$$\begin{aligned} Beta_1 = {} & 219019776 - 865.27623 * measrpm + 5124.26122 * basefuelmass - 989.211691 * fuelpress \\ & - 2950.964 * grackmea + 1603.340 * egrlft + 525.107 * measrpm^2 + 490.647 * measrpm * basefuelmass \\ & + 308.758334 * measrpm * fuelpress - 750.0274 * measrpm * grackmea - 71.5058 * measrpm * egrlft \\ & - 715.107 * basefuelmass^2 - 113.763 * basefuelmass * fuelpress + 374.090 * basefuelmass * grackmea \\ & - 204.446349 * basefuelmass * egrlft + 576.849064 * fuelpress^2 + 95.6772845 * fuelpress * grackmea \\ & + 185.925 * fuelpress * egrlft + 1395.175 * grackmea^2 + 700.339 * grackmea * egrlft + 1191.031 * egrlft^2 \\ & + 203.7251 * measrpm^3 + 1284.715 * basefuelmass^3 + 226.797 * fuelpress^3 + 760.379 * grackmea^3 \\ & - 238.7478 * egrlft^3 + 110.7666 * measrpm^4 - 225.3116 * basefuelmass^4 + 499.648 * fuelpress^4 \\ & - 806.849426 * grackmea^4 + 207.952802 * egrlft^4 \end{aligned} \tag{4.33}$$



Şekil 4.82: Değişken geometrili turbo hızı çıkışı Beta_1 cevap özelliği grafiği

Tablo 4.19: Değişken geometrili turbo hızı çıkışı Beta_soi cevap özelliği için istatistiksel verileri

Models	Observation	PRESS RMSE	RMSE	AICc	R^2 adj
Cubic	61	100,4471	14,7652	2493,86	0,955
Quadratik-RBF	61	10,0816	6,927	421,26	0,9990
RBF-gaussian	61	25,0876	22,6972	402,91	0,9823
Linear-RBF	61	7,7823	3,4652	421,26	0,9975
POLY_4-RBF	61	0.27688	0.005541	-722,3	1



Şekil 4.83: Değişken geometrili turbo hızı çıkışı Beta_soi cevap özelliği grafiği

Beta_soi cevap özelliğinin matematiksel modeli:

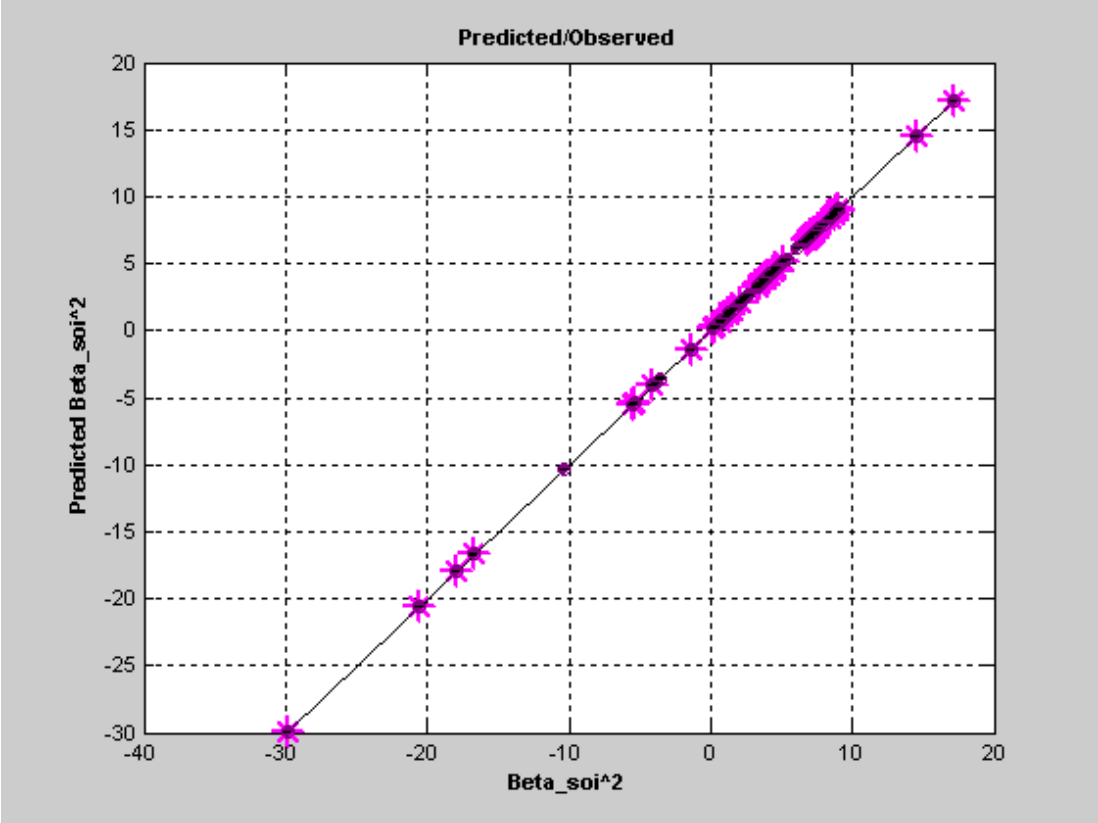
$$Beta_soi = -715.7237 - 224.8548 * measrpm - 203.3042 * basefuelmass + 308.9595 * fuelpress - 361.882 * grackmea - 704.813 * egrlft - 171.423 * measrpm^2 - 264.848 * basefuelmass^2 - 281.541 * fuelpress^2 - 350.205 * grackmea^2 - 282.353 * egrlft^2 - 10.6385 * measrpm^3 + 69.7761 * basefuelmass^3 - 16.1480 * fuelpress^3 + 38.1743 * grackmea^3 + 62.248 * egrlft^3 - 37.9403 * measrpm^4 - 95.5659 * basefuelmass^4 + 34.9337 * fuelpress^4 + 19.051 * egrlft^4 \quad (4.34)$$

Tablo 4.20: Değişken geometrili turbo hızı çıkışı Beta_soi^2 cevap özelliği için istatistiksel verileri

Models	Observation	PRESS RMSE	RMSE	AICc	R^2 adj
Cubic	61	42,2137	8,4323	2425,52	0,1675
Quadratik-RBF	61	3,4751	2,5201	187,85	0,8957
RBF-gaussian	61	7,4592	6,0122	242,23	0,4364
Linear-RBF	61	2,8916	0,97617	320,47	0,9843
POLY_4-RBF	61	0.59167	0.00213	-878.1	1

Bu cevap özelliği de Beta_1 cevap özelliğinde olduğu gibi polinom- radyal tabanlı fonksiyon model tipi için en iyi istatistik değerlerine sahiptir. Dolayısıyla en uygun

model tipi olarak polinom-radyal tabanlı fonksiyon model tipi seçilmiştir Bu durumda seçilen en uygun model tipi için uydurulan matematiksel model ve ilgili grafik verilmiştir:



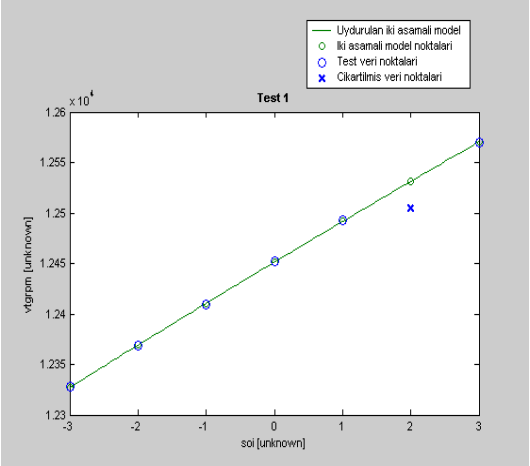
Şekil 4.84: Değişken geometrili turbo hızı çıkışı Beta_soi^2 cevap özelliği grafiği

Beta_soi^2 cevap özelliğinin matematiksel modeli:

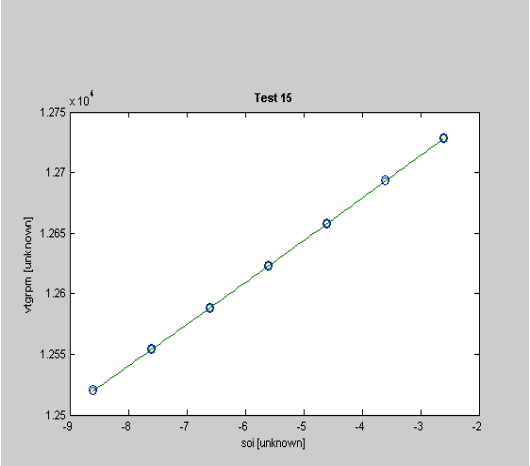
$$\begin{aligned} Beta_soi^2 = {} & 1038.753 - 95.52825 * measrpm - 30.79923 * basefuelmass + 5.42406 * fuelpress \\ & - 184.46 * grackmea - 296.85 * egrlft + 26.194 * measrpm^2 - 11.867 * basefuelmass^2 \\ & - 11.63 * fuelpress^2 + 21.574 * grackmea^2 + 19.16758 * egrlft^2 + 11.116 * measrpm^3 \\ & - 2.5821 * basefuelmass^3 - 15.672 * fuelpress^3 + 3.5392 * grackmea^3 + 16.484 * egrlft^3 \\ & - 17.509 * measrpm^4 - 5.3241 * basefuelmass^4 + 33.895 * fuelpress^4 + 1.0977 * egrlft^4 \\ & - 11.70757 * grackmea^4 \end{aligned} \tag{4.35}$$

4.7.3. İki Aşamalı Model Sonuçları

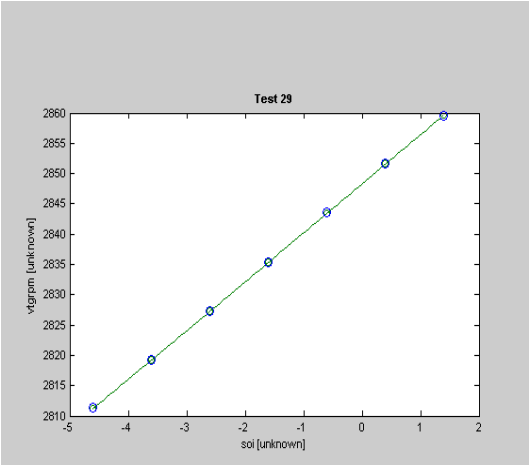
Yukarıda verilen global ve lokal model için uydurulmuş eğriler kullanılarak değişken geometrili turbo hızı çıkışı iki aşamalı modeli oluşturulmuştur. Sonuçta elde edilen iki-aşamalı model için üç boyutlu ve lokal grafikler aşağıda verilmektedir:



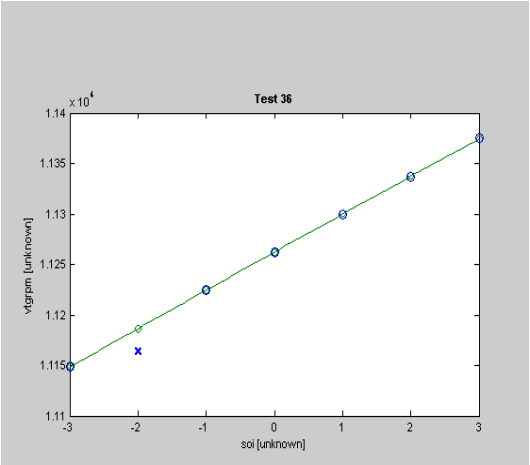
Şekil 4.85: 1. test için iki-aşamalı model grafiği



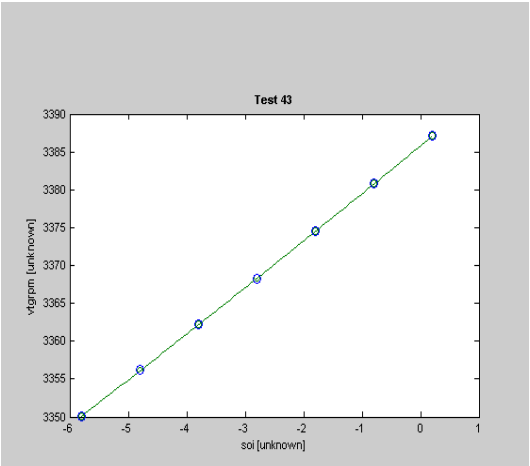
Şekil 4.86: 3. test için iki-aşamalı model grafiği



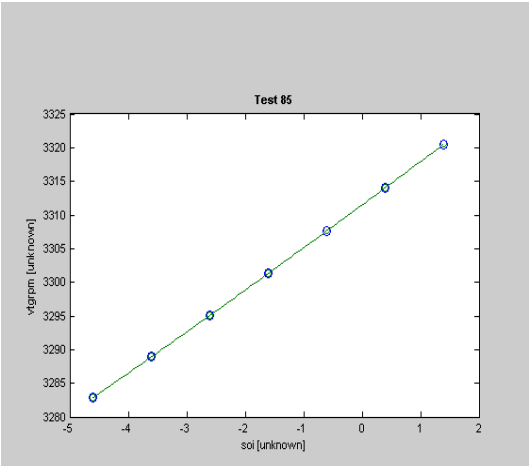
Şekil 4.87: 5. test için iki-aşamalı model grafiği



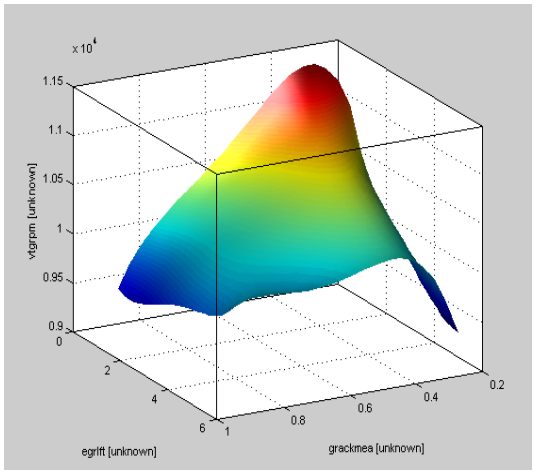
Şekil 4.88: 9. test için iki-aşamalı model grafiği



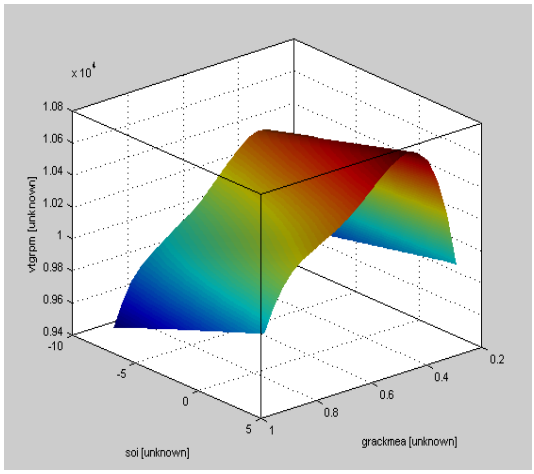
Şekil 4.89: 12. test için iki-aşamalı model grafiği



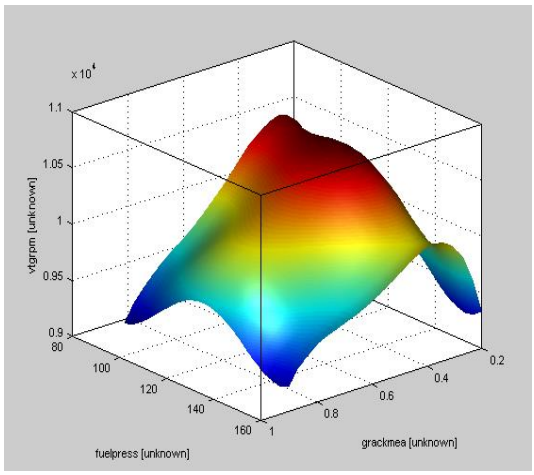
Şekil 4.90: 13. test için iki-aşamalı model grafiği



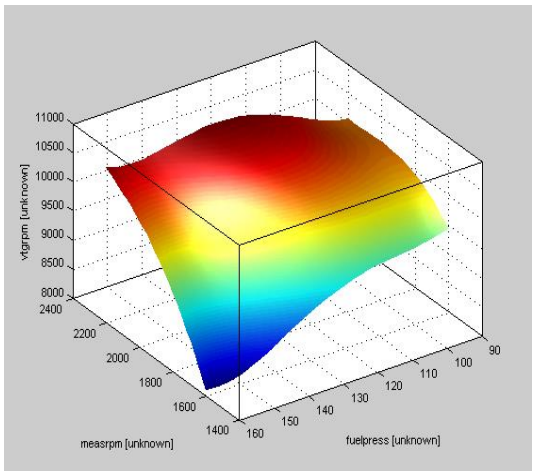
Şekil 4.91: grackmea ve egrlft girişlerine göre değişken geometrili turbo hızı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi



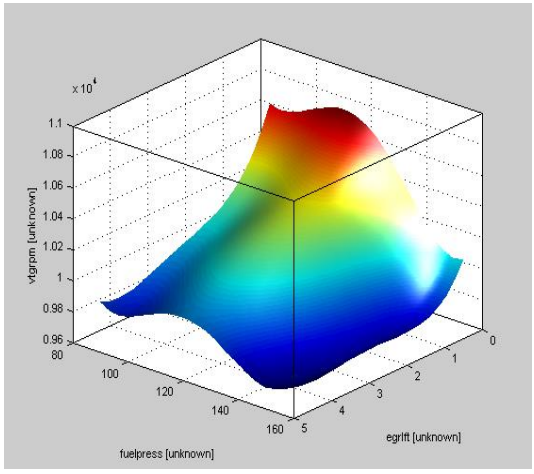
Şekil 4.92: soi ve grackmea girişlerine göre değişken geometrili turbo hızı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi



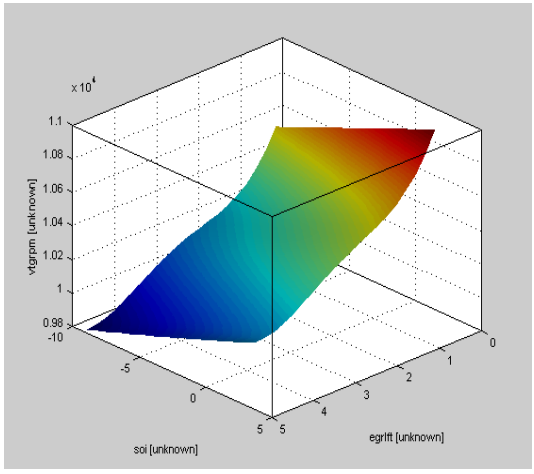
Şekil 4.93: grackmea ve fuelpress girişlerine göre egzost değişken geometrili turbo hızı veren iki-aşamalı model yüzeyi



Şekil 4.94: fuelpress ve measrpm girişlerine göre değişken geometrili turbo hızı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi



Şekil 4.95: fuelpress ve egrlft girişlerine göre değişken geometrili turbo hızı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi

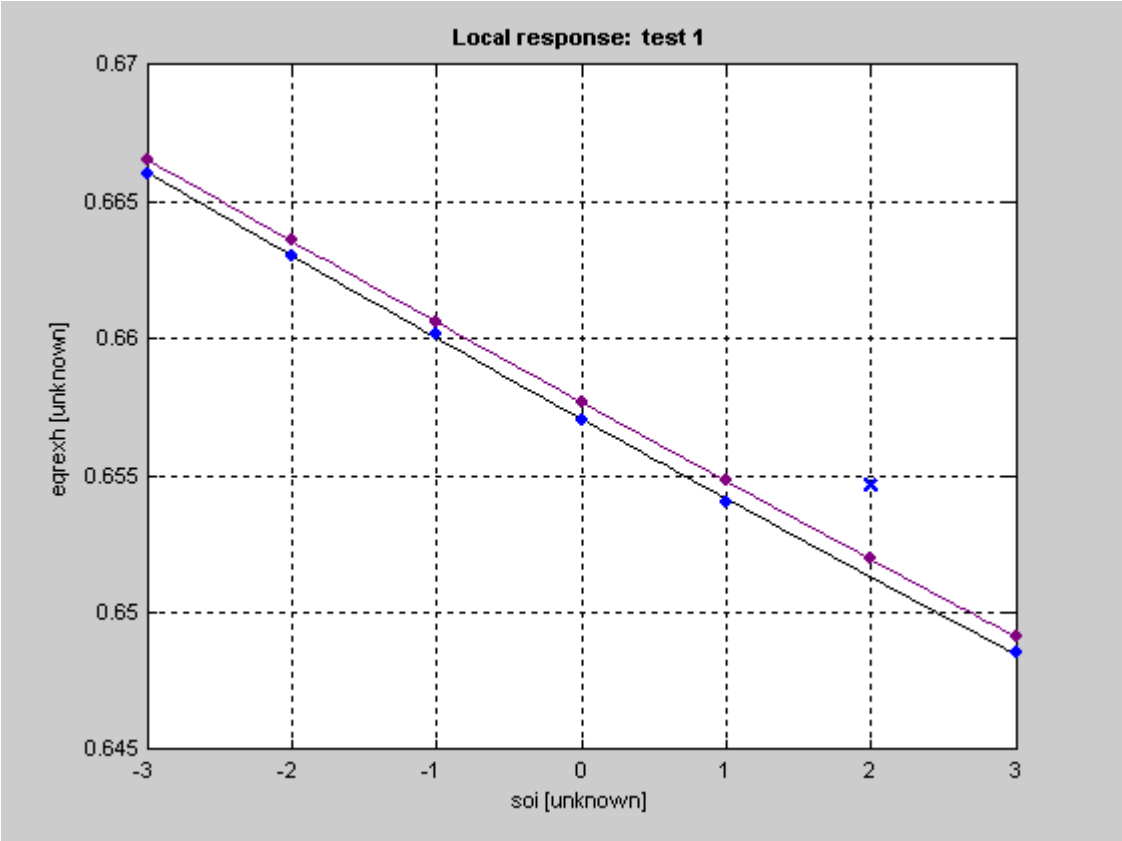


Şekil 4.96: egrlft ve soi girişlerine göre değişken geometrili turbo hızı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi

4.8. Egzost Gazı Yakıt Fazlalık Oranı Cevabının Modellenmesi

4.8.1. Lokal Model Seçim Sonuçları

Egzost gazı yakıt fazlalık oranı cevabı için lokal modeller uydurulurken kuadratik ve doğrusal olmak üzere iki farklı model tipi kullanılmıştır.



Şekil 4.97: 1. test için lokal model grafiği

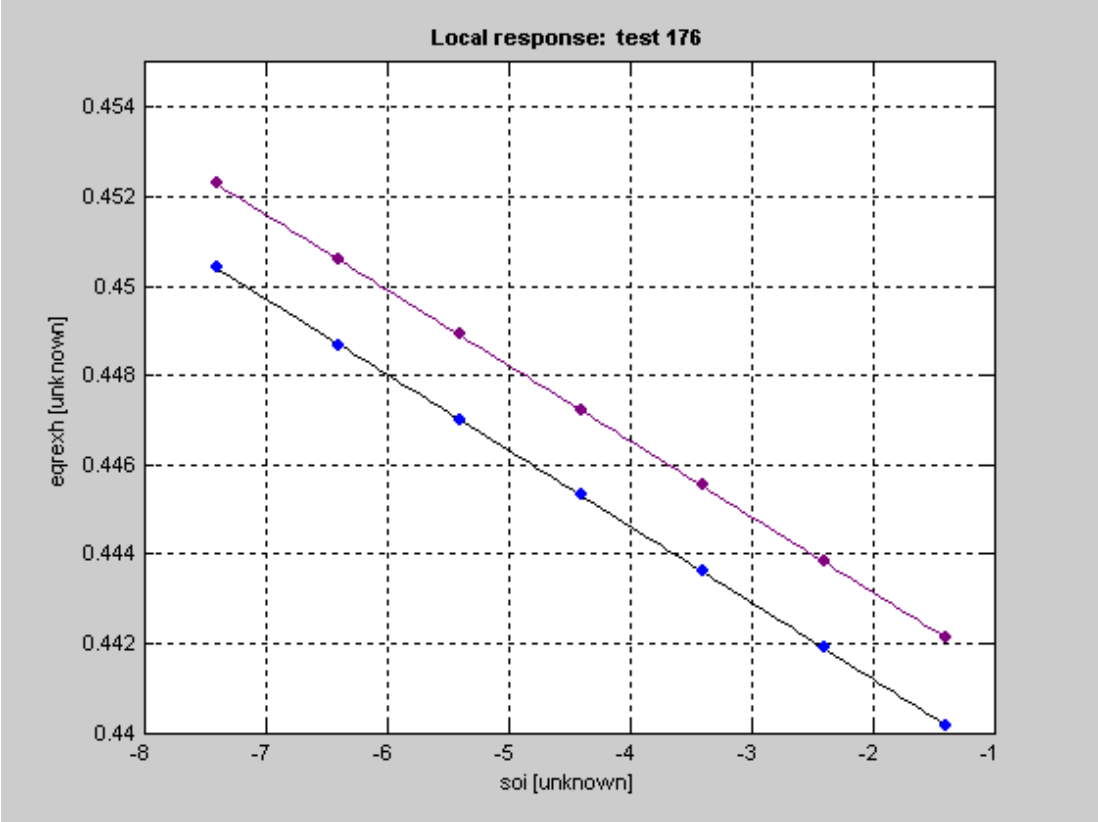
1. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

$$eqrexh = 0.66607 - 0.018415 * soi + 0.00082248 * soi^2 \qquad (4.36)$$

Tablo 4.21: Egzost gazı yakıt fazlalık oranı çıkışı lokal modelleri istatistiksel verileri

Lokal Model	Lokal RMSE	İki-Aşamalı RMSE	İki-Aşamalı T^2	-logL
Quadratik	6,4354e-5	0,0041741	2,2036	-2768,01
Linear	0,00016135	0,0066254	2,0058	-1499,14

Tabloda verilen iki lokal model tipinden kuadratik model tipinin tüm istatistik değerlerinin doğrusal model tipine göre daha iyi olduğu görülmektedir. Dolayısıyla en iyi model tipi olarak kuadratik model tipi belirlenmiş ve buna ait matemetiksel ifade ve grafikler aşağıda verilmiştir:



Şekil 4.98: 26. test için lokal model grafiği

26. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

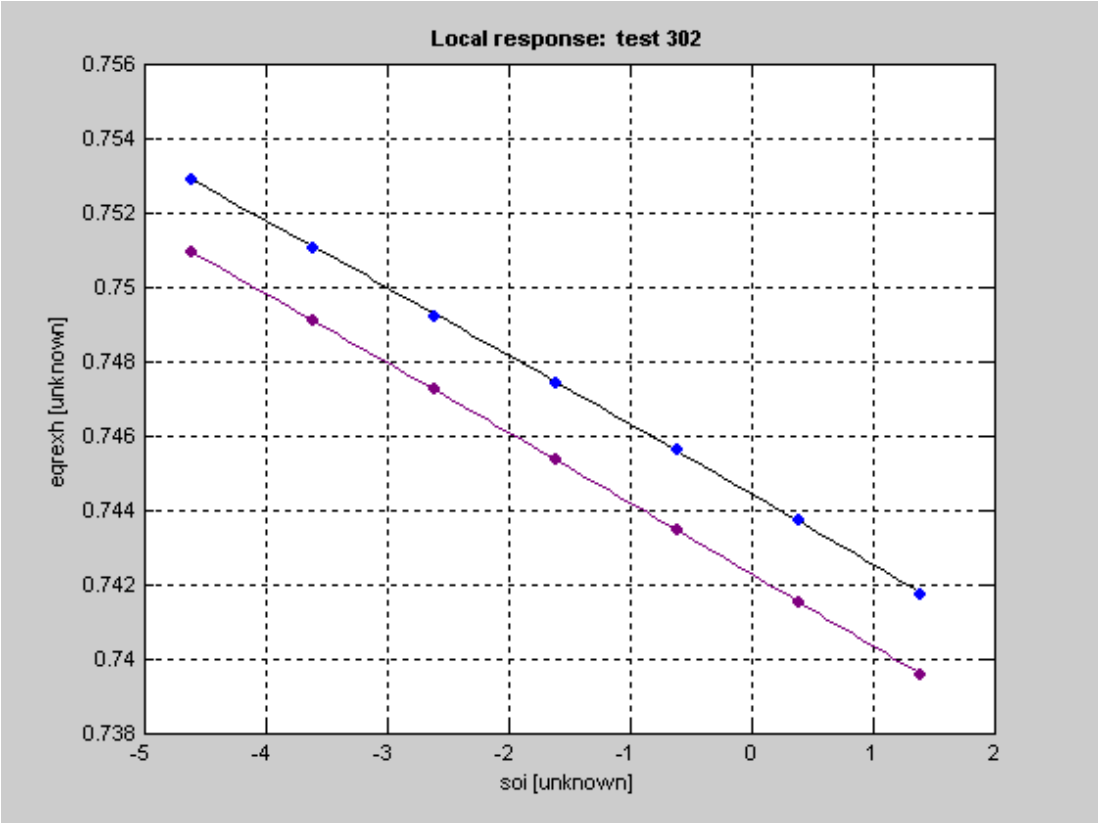
$$eqrexh = 0.44291 - 0.010277 * soi - 0.00010672 * soi^2 \quad (4.37)$$

45. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

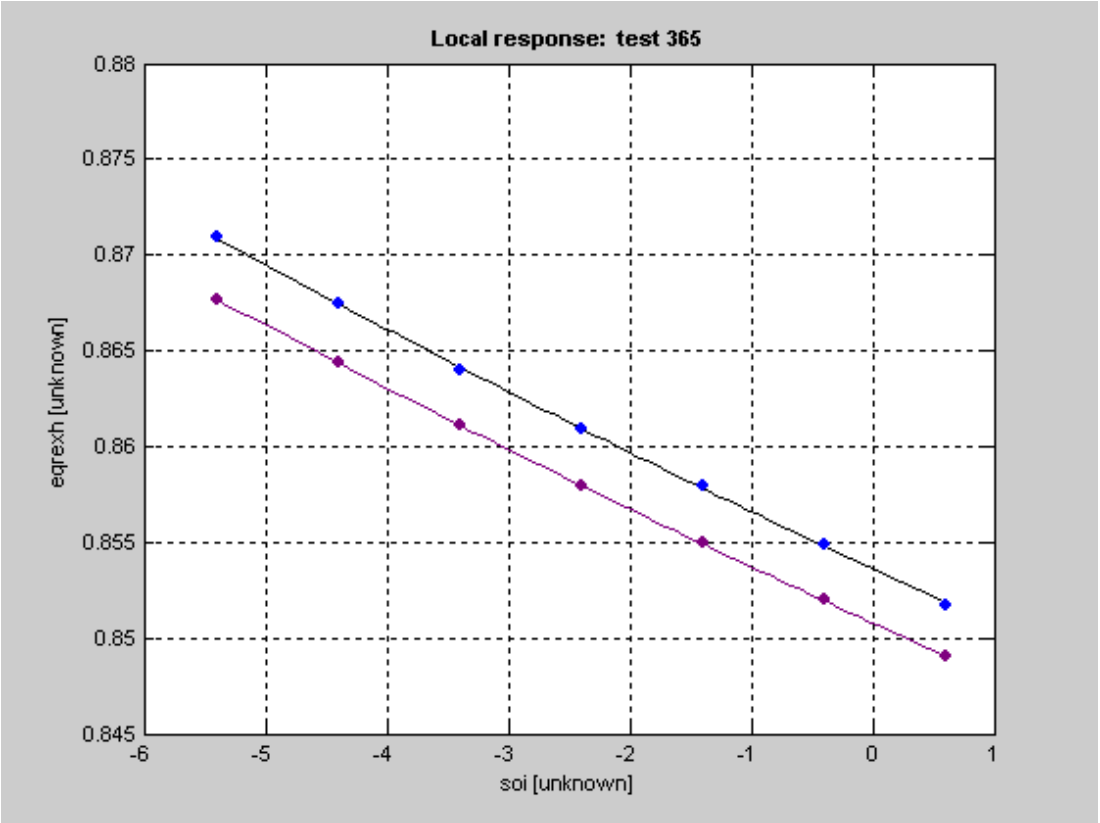
$$eqrexh = 0.74997 - 0.01089 * soi - 0.00042704 * soi^2 \quad (4.38)$$

54. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

$$eqrexh = 0.86285 - 0.019341 * soi + 0.0017049 * soi^2 \quad (4.39)$$



Şekil 4.99: 45. test için lokal model grafiği



Şekil 4.100: 54. test için lokal model grafiği

4.8.2. Global Model Seçim Sonuçları

Cevap özellikleri için istatistiksel seçim kriterlerinin değerleri tablolar halinde düzenlenmiş bununla birlikte her üç cevap özelliğine uydurulan modellerin matematiksel ifadesi ile gerekli grafikler verilmiştir:

Tablo 4.22: Egzost gazı yakıt fazlalık oranı çıkışı Beta_1 cevap özelliği için istatistiksel verileri

Models	Observation	PRESS RMSE	RMSE	AICc	R^2 adj
Cubic	63	0,042059	0,034671	-399,21	0,9537
Quadratik	63	0,46246	0,039779	-391,75	0,93914
Quadratik-RBF	63	0,013318	0,009442	-491,13	0,9965
Linear-RBF	63	0,009988	0,005604	-451,89	0,9987

İstatistik ve hata değerlerine göre Beta_1 cevap özelliği için model tipi doğrusal-radyal tabanlı fonksiyon model tipi olarak belirlenmiştir.

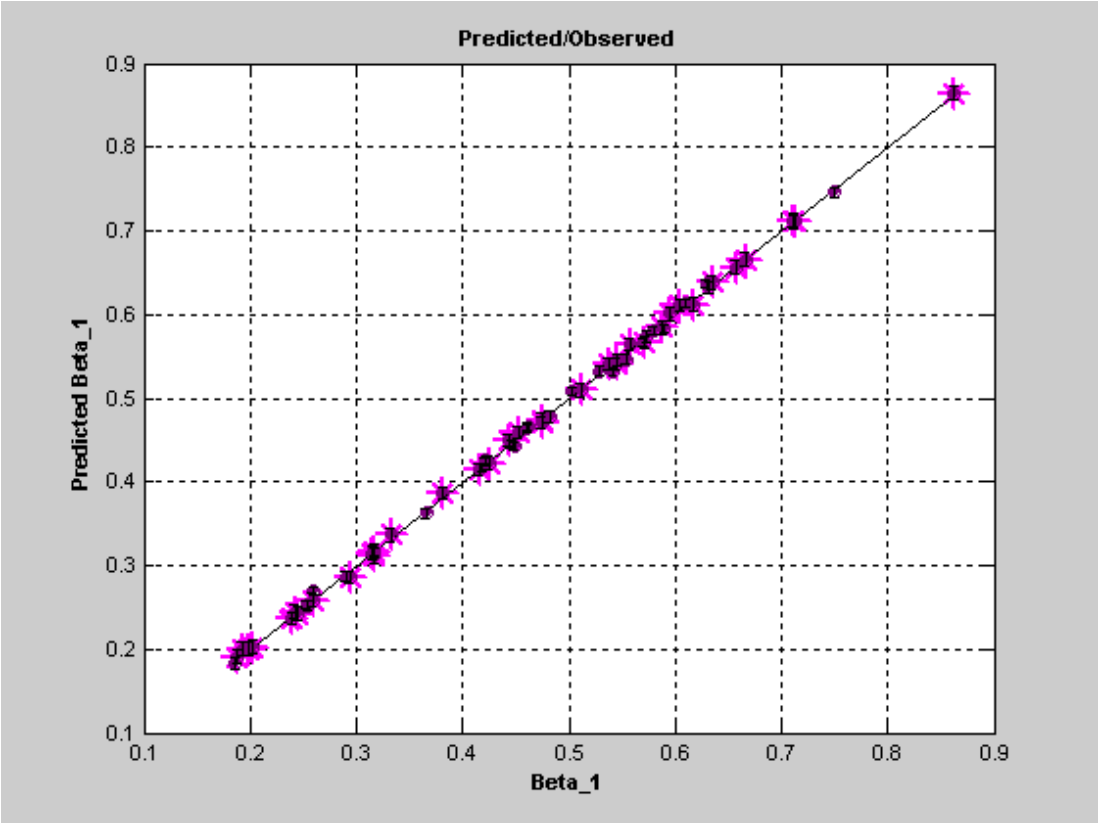
Buna göre Beta_1 cevap özelliğinin matematiksel modeli:

$$Beta_1 = 1.0254 + 0.16358 * measrpm + 0.33818 * basefuelmass - 0.19264 * fuelpress + 0.38904 * grackmea - 0.069051 * egrlft \quad (4.40)$$

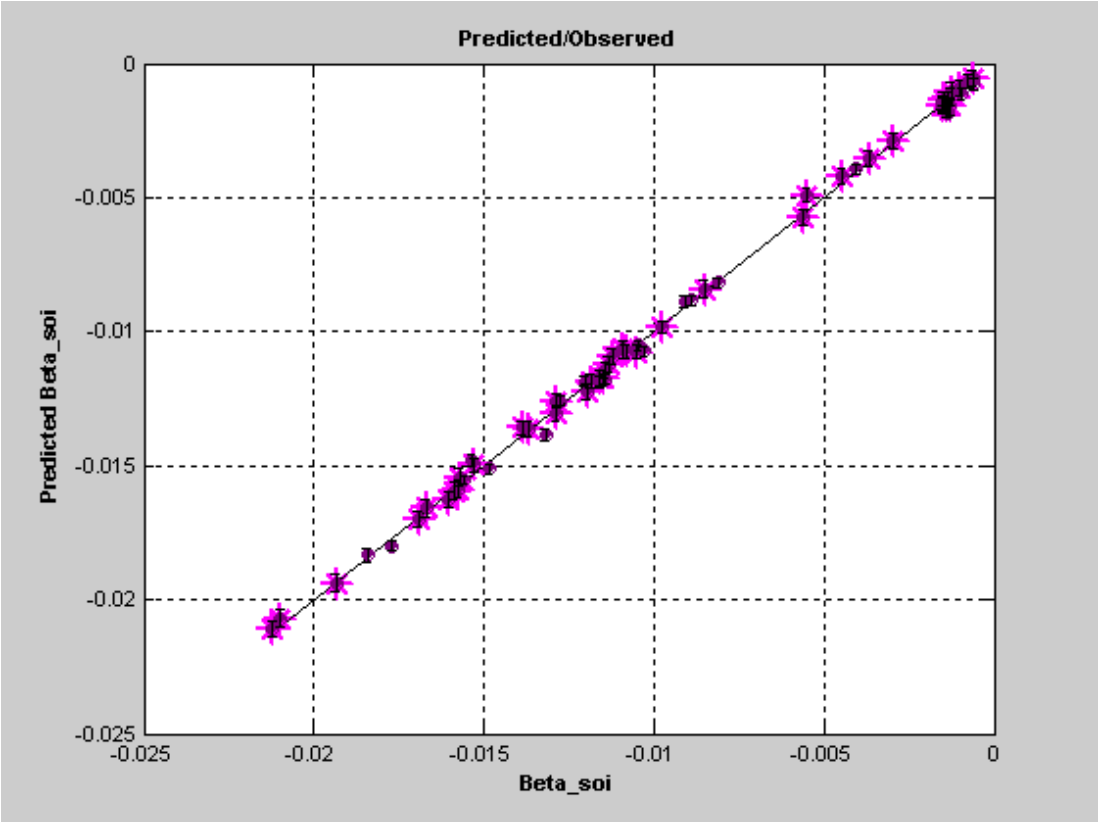
Tablo 4.23: Egzost gazı yakıt fazlalık oranı çıkışı Beta_soi cevap özelliği için istatistiksel verileri

Models	Observation	PRESS RMSE	RMSE	AICc	R^2 adj
Cubic	63	0,0022172	0,001933	-765,09	0,8998
Quadratik-RBF	63	0,00099887	0,0006889	-828,83	0,9872
RBF-gaussian	63	0,0023265	0,0019282	-750,92	0,9704
Linear-RBF	63	0,00078862	0,0003510	-756,26	0,9967

İstatistik ve hata değerlerine göre Beta_soi cevap özelliği için model tipi doğrusal-radyal tabanlı fonksiyon model tipi olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.101: Egzost gazı yakıt fazlalık oranı çıkışı Beta_1 cevap özelliği grafiği



Şekil 4.102: Egzost gazı yakıt fazlalık oranı çıkışı Beta_soi cevap özelliği grafiği

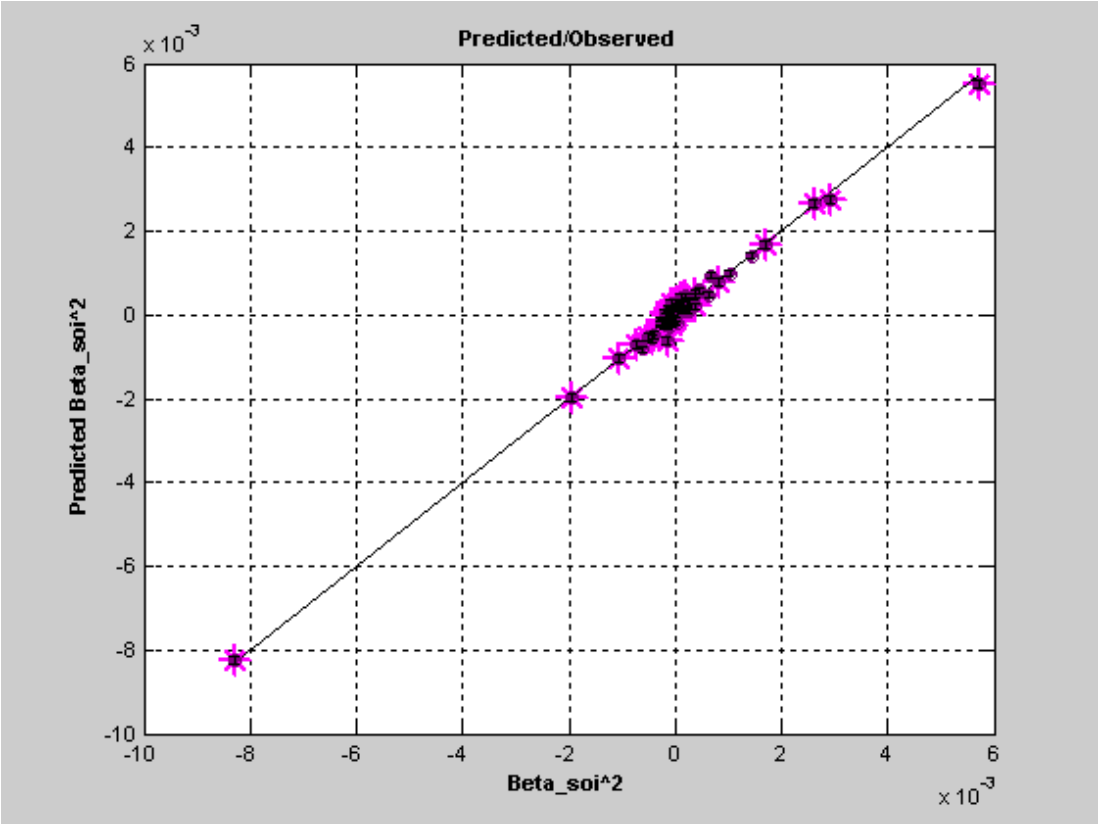
Beta_soi cevap özelliğinin matematiksel modeli:

$$Beta_soi = 0.0019305 + 0.0040129 * measrpm - 0.008128 * basefuelmass - 0.0028571 * fuelpress - 0.0019227 * egrlft \quad (4.41)$$

Tablo 4.24: Egzost gazı yakıt fazlalık oranı çıkışı Beta_soi^2 cevap özelliği için istatistiksel verileri

Models	Observation	PRESS RMSE	RMSE	AICc	R^2 adj
Cubic	63	0,0061114	0,0012518	455,89	0,2631
Quadratik-RBF	63	0,0005699	0,0002834	-938,91	0,9622
RBF-gaussian	63	0,0014429	0,012939	-808,85	02022
Linear-RBF	63	000037657	0,0001508	-884,85	0,9893

İstatistik ve hata değerlerine göre Beta_soi^2 cevap özelliği için model tipi doğrusal-radyal tabanlı fonksiyon model tipi olarak belirlenmiştir.



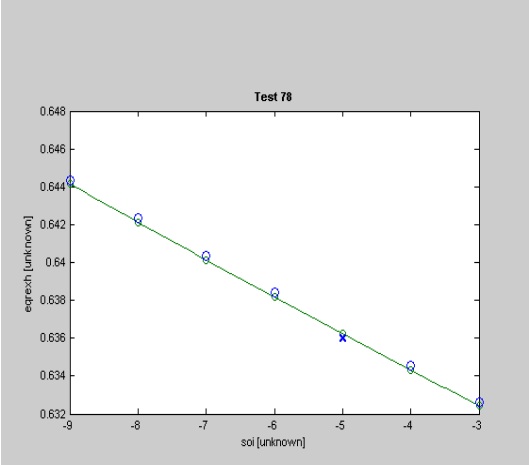
Şekil 4.103: Egzost gazı yakıt fazlalık oranı çıkışı Beta_soi^2 cevap özelliği grafiği

Beta_soi^2 cevap özelliğinin matematiksel modeli:

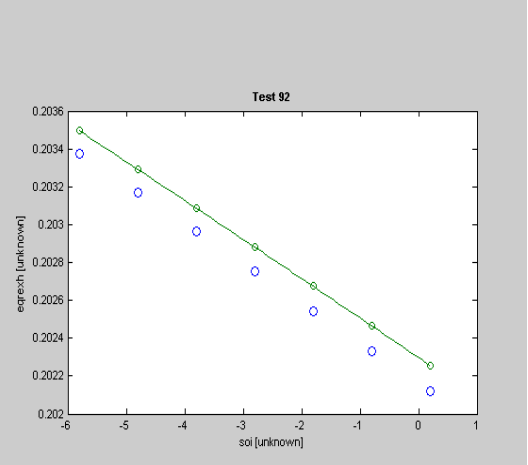
$$Beta_soi^2 = 0.056724 + 0.019789 * measrpm - 0.017583 * basefuelmass + 0.004939 * fuelpress - 0.000499 * grackmea - 0.016688 * egrlft \quad (4.42)$$

4.8.3. İki Aşamalı Model Sonuçları

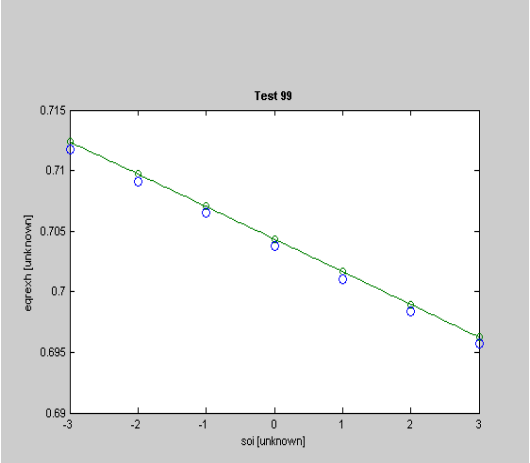
Yukarıda verilen global ve lokal model için uydurulmuş eğriler kullanılarak değişken geometrili turbo hızı çıkışı iki aşamalı modeli oluşturulmuştur. Sonuçta elde edilen iki-aşamalı model için üç boyutlu ve lokal grafikler aşağıda verilmektedir:



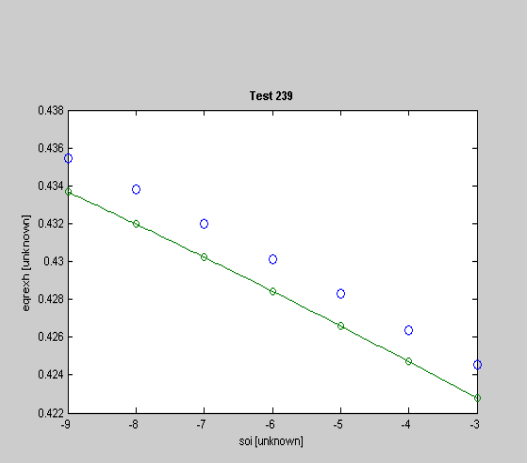
Şekil 4.104: 12. test için iki-aşamalı model grafiği



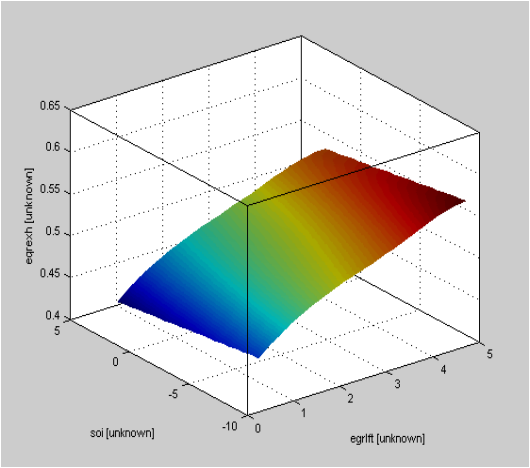
Şekil 4.105: 14. test için iki-aşamalı model grafiği



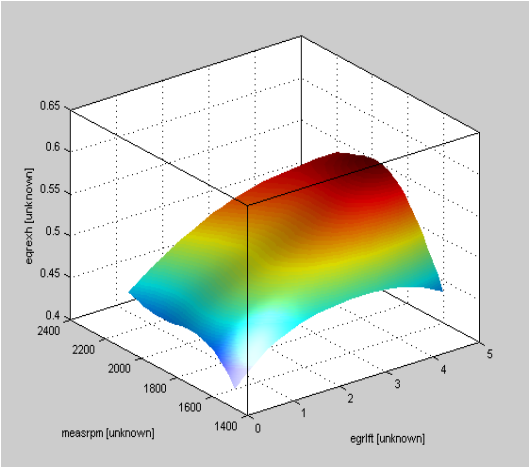
Şekil 4.106: 15. test için iki-aşamalı model grafiği



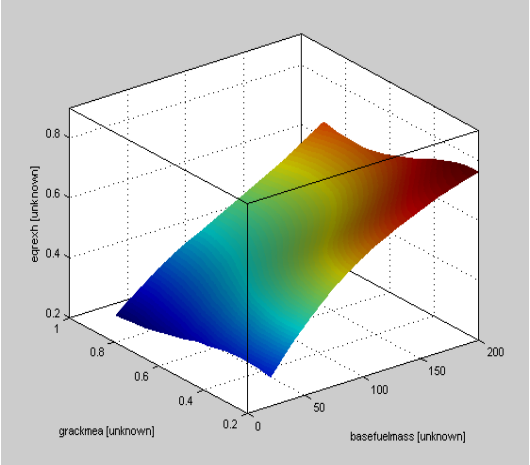
Şekil 4.107: 35. test için iki-aşamalı model grafiği



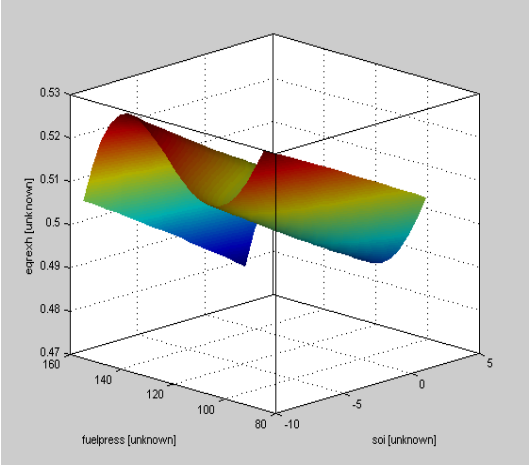
Şekil 4.108: soi ve egrlft girişlerine göre değişken egzost gazı yakıt fazlalık oranı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi



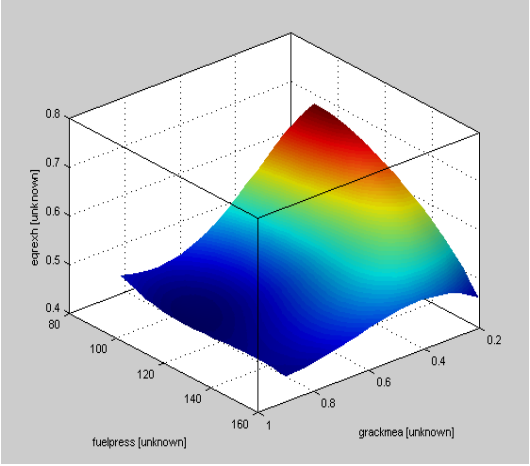
Şekil 4.109: measrpm ve egrlft girişlerine göre egzost gazı yakıt fazlalık oranı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi



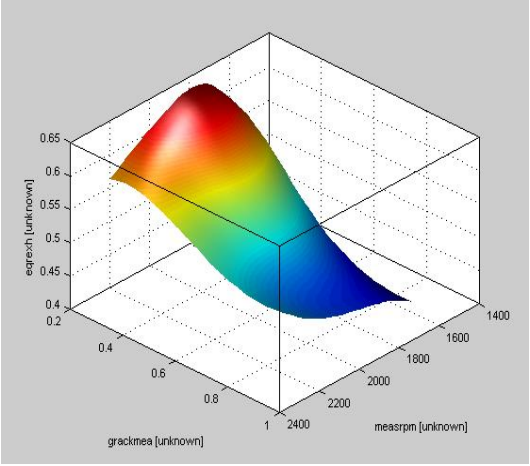
Şekil 4.110: grackmea ve basefuelmass girişlerine göre egzost gazı yakıt fazlalık oranı veren iki-aşamalı model yüzeyi



Şekil 4.111: fuelpress ve soi girişlerine göre egzost gazı yakıt fazlalık oranı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi



Şekil 4.112: fuelpress ve grackmea girişlerine göre egzost gazı yakıt fazlalık oranı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi

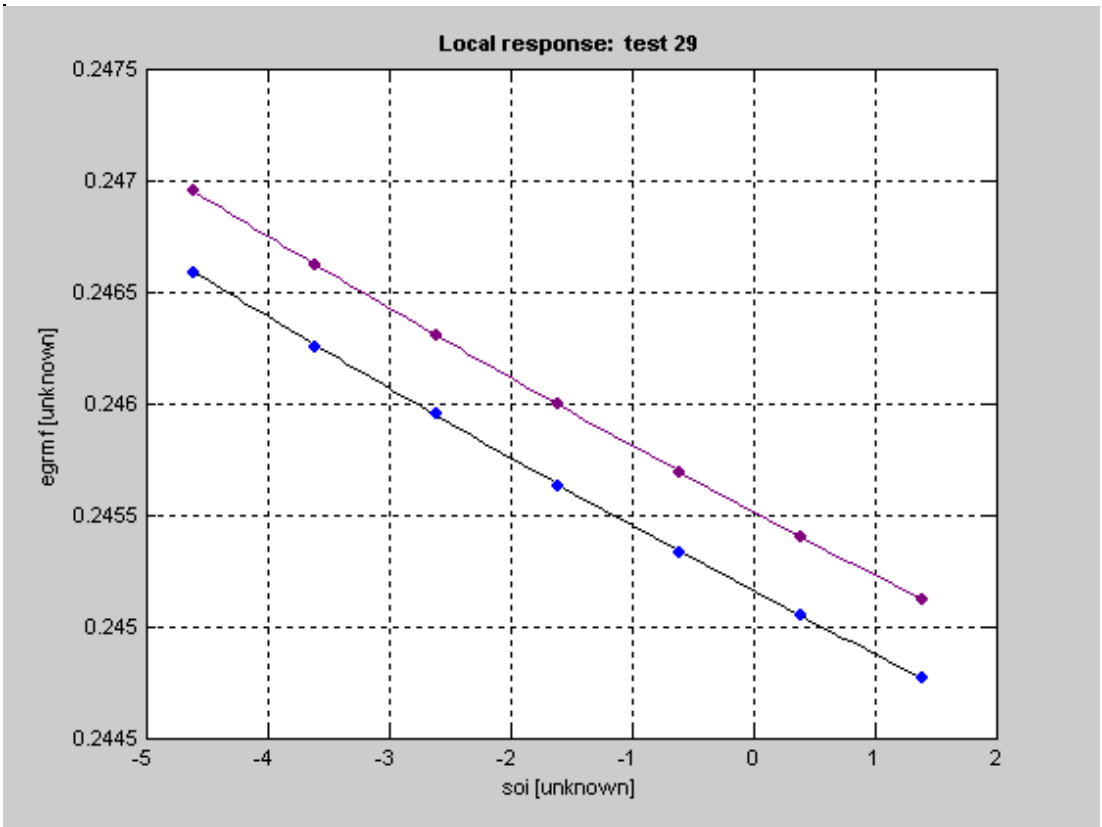


Şekil 4.113: grackmea ve measrpm girişlerine göre egzost gazı yakıt fazlalık oranı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi

4.9. Silindir İçindeki Artık Gaz Oranı Cevabının Modellenmesi

4.9.1. Lokal Model Seçim Sonuçları

Silindir içindeki artık gaz oranı cevabı için lokal modeller uydurulurken quadratik ve doğrusal olmak üzere iki farklı model tipi kullanılmıştır.



Şekil 4.114: 5. test için lokal model grafiği

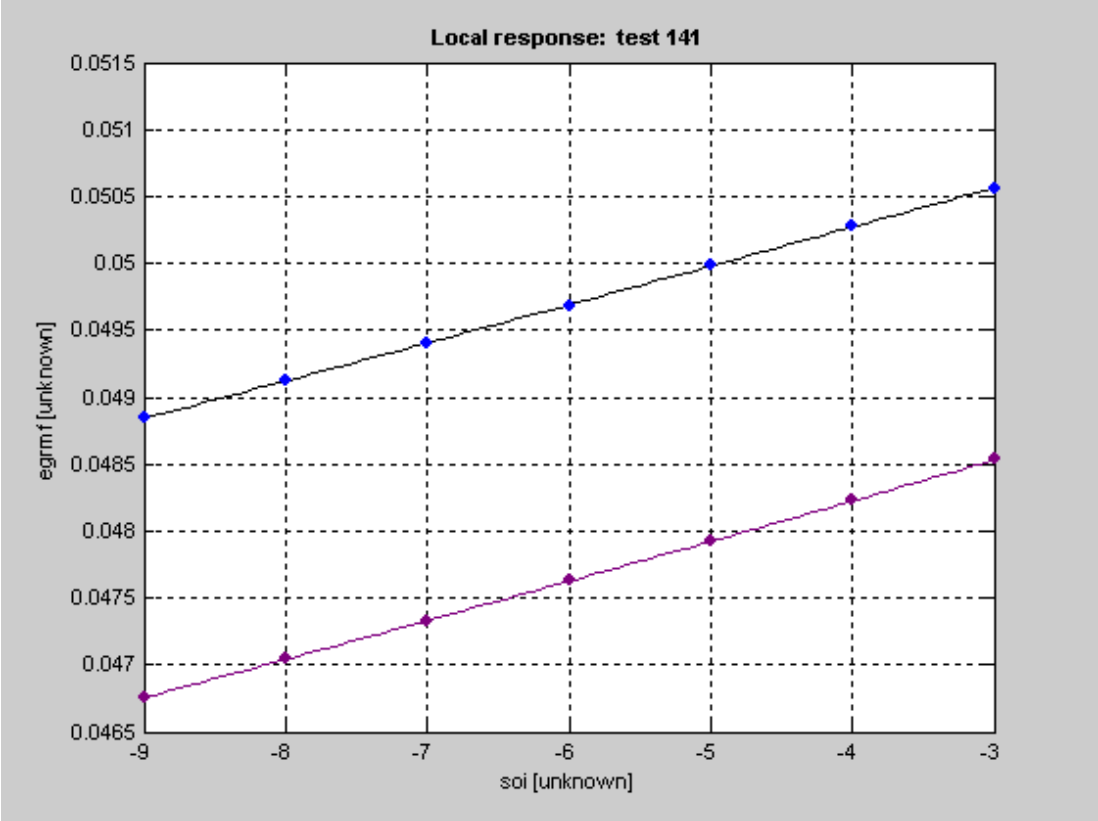
5. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

$$egrmf = 0.24607 - 0.0019028 * soi + 0.0001723 * soi^2 \qquad (4.43)$$

Tablo 4.25: Silindir içindeki artık gaz oranı çıkışı lokal modelleri istatistiksel verileri

Lokal Model	Lokal RMSE	İki-Aşamalı RMSE	İki-Aşamalı T^2	-logL
Quadratik	1,6074e-5	0,006118	2,3261	-2955,9
Linear	2,4239e-5	0,016933	1,9579	-939,65

Tabloda verilen iki lokal model tipinden kuadratik model tipinin tüm istatistik değerlerinin doğrusal model tipine göre daha iyi olduğu görülmektedir. Dolayısıyla en iyi model tipi olarak kuadratik model tipi belirlenmiş ve buna ait matemetiksel ifade ve grafikler aşağıda verilmiştir:



Şekil 4.115: 21. test için lokal model grafiği

21. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

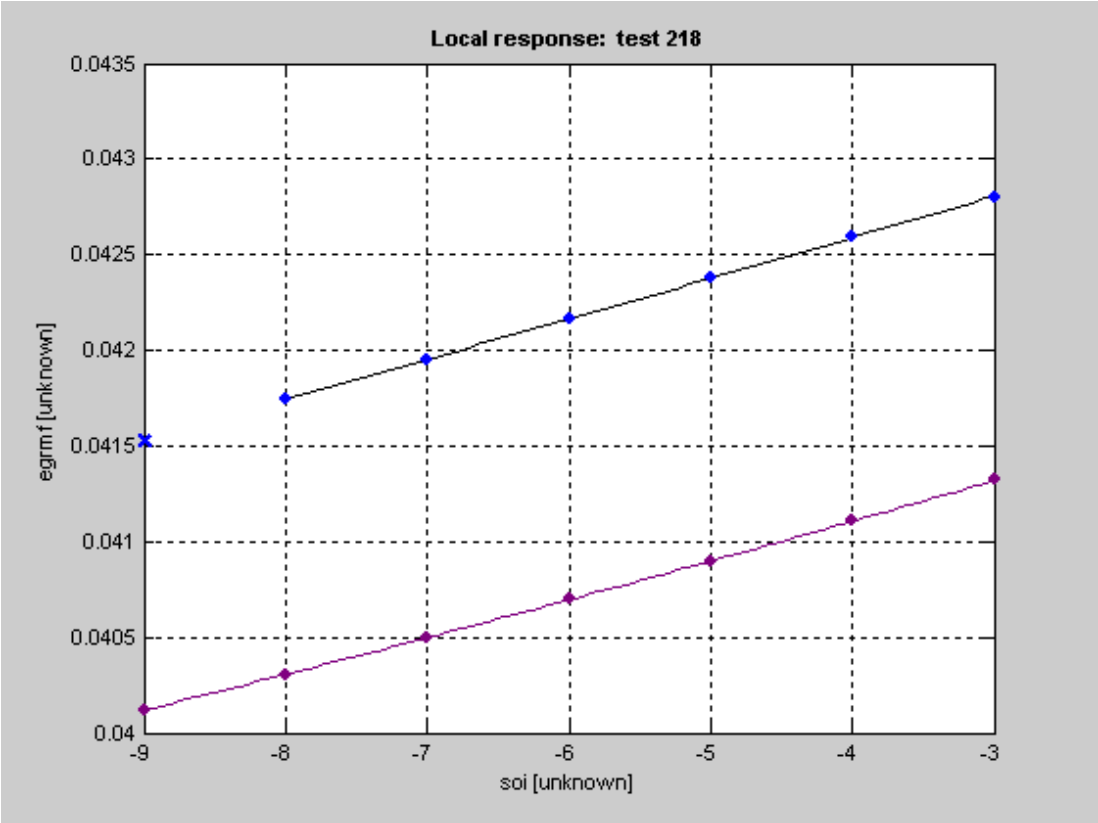
$$egrmf = 0.050565 + 0.0017776 * soi + 0.00053168 * soi^2 \qquad (4.44)$$

32. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

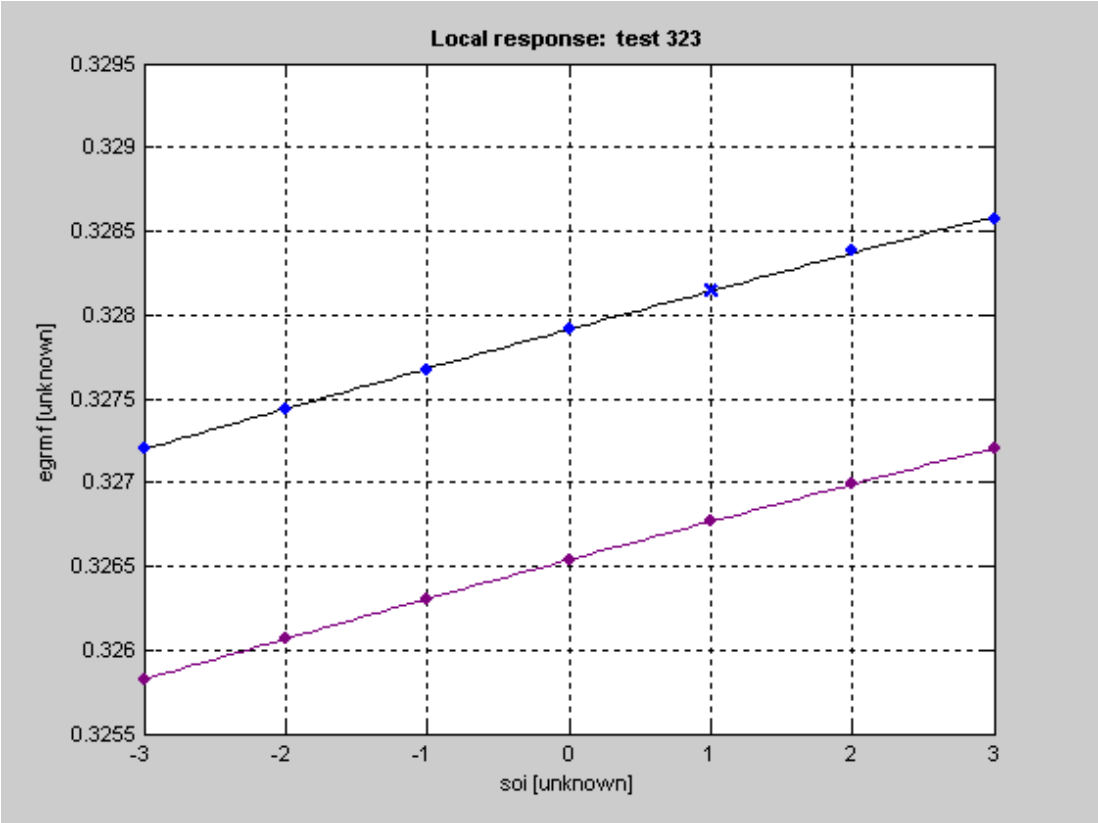
$$egrmf = 0.042805 + 0.0012993 * soi + 0.000030858 * soi^2 \qquad (4.45)$$

46. test için uydurulan lokal modelin matematiksel ifadesi :

$$egrmf = 0.3272 + 0.0014691 * soi - 0.00007807 * soi^2 \qquad (4.46)$$



Şekil 4.116: 32. test için lokal model grafiği



Şekil 4.117: 46. test için lokal model grafiği

4.9.2. Global Model Seçim Sonuçları

Cevap özellikleri için istatistiksel seçim kriterlerinin değerleri tablolar halinde düzenlenmiş bununla birlikte her üç cevap özelliğine uydurulan modellerin matematiksel ifadesi ile gerekli grafikler verilmiştir:

Tablo 4.26: Silindir içindeki artık gaz oranı çıkışı Beta_1 cevap özelliği için istatistiksel verileri

Models	Observation	PRESS RMSE	RMSE	AICc	R^2 adj
Cubic	63	0,048118	0,009303	708,62	0,9922
RBF-gaussian	63	0,030556	0,026518	-430,92	0,9832
Quadratik-RBF	63	0,011435	0,008173	-522,32	0,994
Linear-RBF	63	0,027769	0,021939	-442,89	0,9568

İstatistik ve hata değerlerine göre Beta_1 cevap özelliği için model tipi kuadratik-radyal tabanlı fonksiyon model tipi olarak belirlenmiştir.

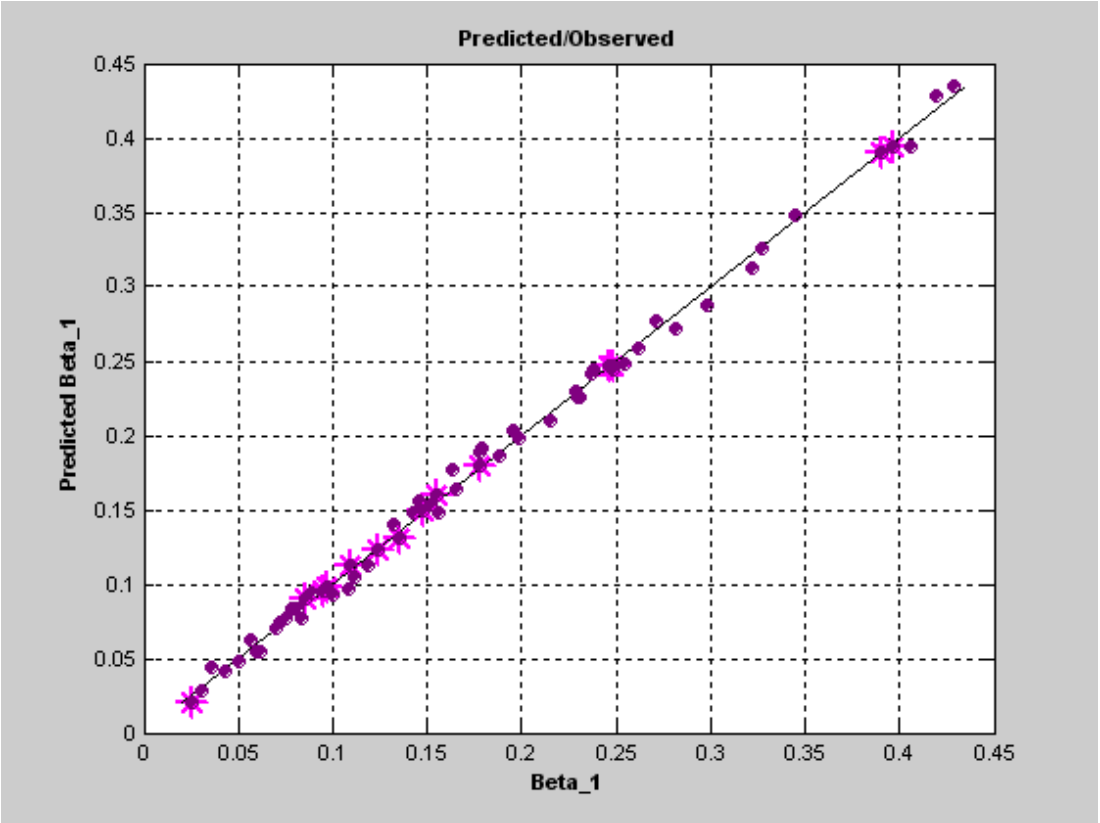
Buna göre Beta_1 cevap özelliğinin matematiksel modeli:

$$\begin{aligned} Beta_1 = \; & 0.6941 - 0.035 * measrpm - 0.07406 * basefuelmass - 0.05625 * fuelpress - 0.167 * grackmea \\ & + 0.11541 * egrlft + 0.02633 * measrpm * basefuelmass + 0.067646 * measrpm * grackmea \\ & - 0.013 * measrpm * egrlft + 0.00029 * basefuelmass^2 - 0.0093 * basefuelmass * fuelpress \\ & - 0.016791 * basefuelmass * grackmea - 0.053557 * basefuelmass * egrlft \\ & - 0.023314 * fuelpress * egrlft - 0.031593 * grackmea * egrlft - 0.085126 * egrlft^2 \end{aligned} \tag{4.47}$$

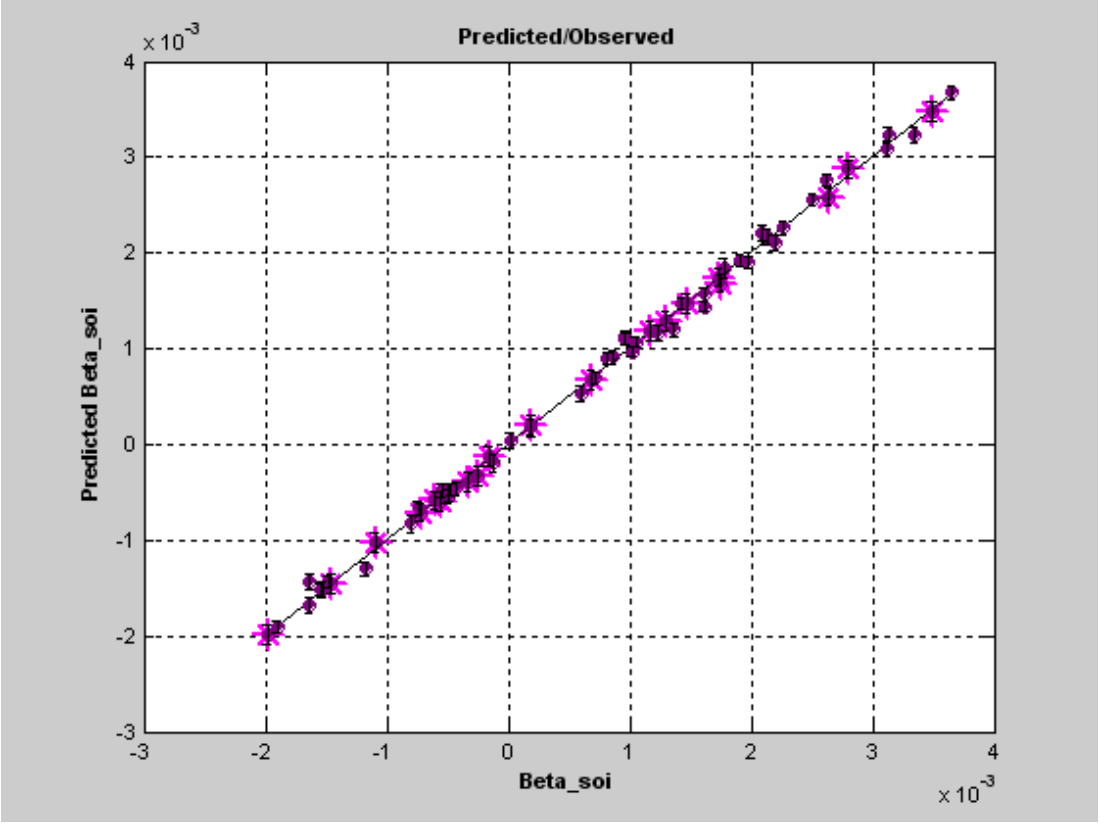
Tablo 4.27: Silindir içindeki artık gaz oranı çıkışı Beta_soi cevap özelliği için istatistiksel verileri

Models	Observation	PRESS RMSE	RMSE	AICc	R^2 adj
Cubic	63	0,0037882	0,0007243	386,97	0,783
Quadratik-RBF	63	0,00021788	0,0001085	-998,00	0,9951
RBF-gaussian	63	0,0005222	0,0004994	-938,92	0,9142
Linear-RBF	63	0,0004003	0,0003433	-957,26	0,9512

Beta_soi cevap özelliği için model tipi kuadratik-radyal tabanlı fonksiyondur.



Şekil 4.118 Silindir içindeki artık gaz oranı çıkışı Beta_1 cevap özelliği grafiği



Şekil 4.119: Silindir içindeki artık gaz oranı çıkışı Beta_soi cevap özelliği grafiği

Beta_soi cevap özelliğinin matematiksel modeli:

$$\begin{aligned} Beta_soi = {} & 0.0047875 - 0.0004029 * measrpm + 0.001833 * basefuelmass - 0.0002871 * fuelpress \\ & - 0.0004446 * grackmea + 0.000448 * egrlft - 0.0007745 * measrpm^2 \\ & + 0.00177 * measrpm * fuelpress + 0.000423 * measrpm * egrlft - 0.00179 * basefuelmass^2 \\ & - 0.000441 * basefuelmass * fuelpress + 0.002488 * basefuelmass * grackmea \\ & + 0.000083 * basefuelmass * egrlft - 0.00192 * fuelpress^2 + 0.000326 * fuelpress * egrlft \\ & - 0.000871 * grackmea^2 + 0.000501 * grackmea * egrlft - 0.000486 * egrlft^2 \end{aligned} \quad (4.48)$$

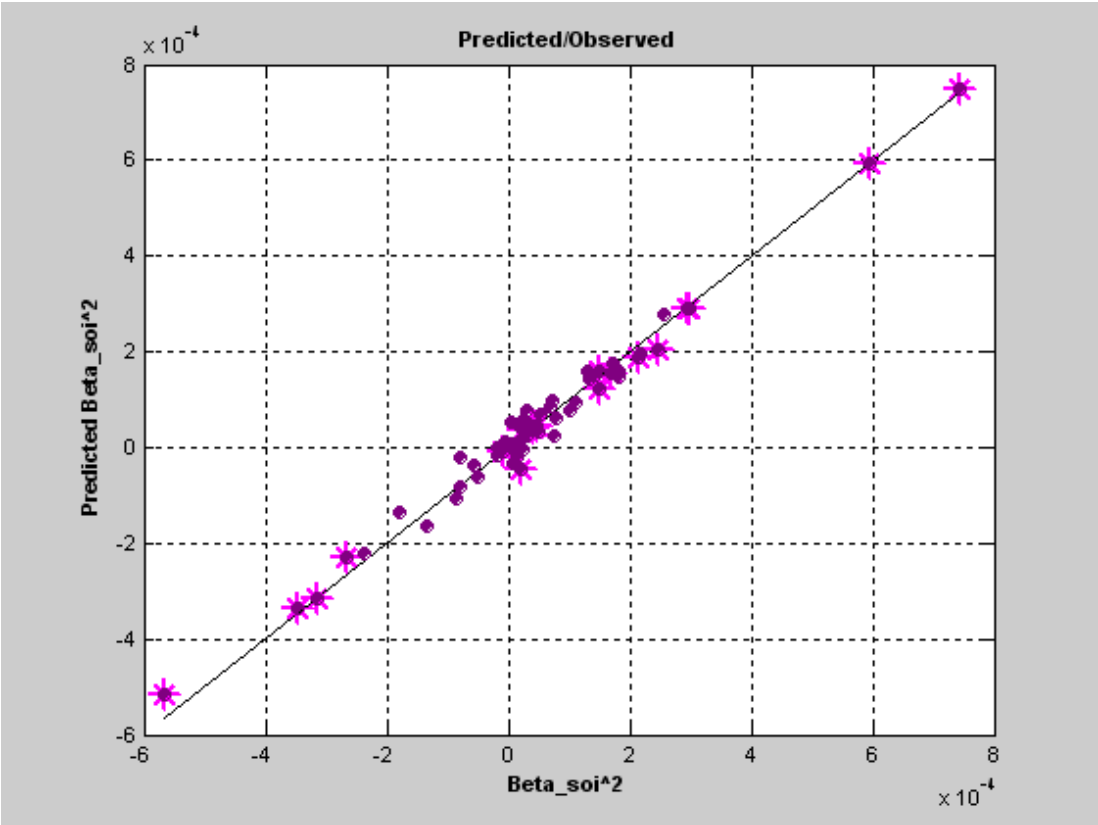
Tablo 4.28: Silindir içindeki artık gaz oranı çıkışı Beta_soi^2 cevap özelliği için istatistiksel verileri

Models	Observation	PRESS RMSE	RMSE	AICc	R^2 adj
Cubic	63	0,0005556	0,0001149	155	0,6283
Quadratik-RBF	63	0,0001777	3.18e-005	-1107	0,9728
RBF-gaussian	63	0,0001916	0,0001463	-1097	0,4225
Linear-RBF	63	0,02823	0,0001059	-1106	0,6847

İstatistik ve hata değerlerine göre Beta_soi^2 cevap özelliği için model tipi doğrusal-radyal tabanlı fonksiyon model tipi olarak belirlenmiştir.

Beta_soi^2 cevap özelliğinin matematiksel modeli:

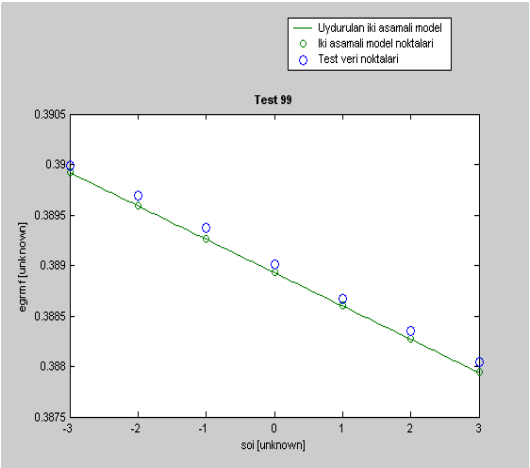
$$\begin{aligned} Beta_soi^2 = {} & 0.0001645 - 0.0000324 * measrpm + 0.0000705 * fuelpress - 0.0000198 * grackmea \\ & + 0.0000374 * egrlft - 0.0001675 * measrpm^2 + 0.0000699 * measrpm * basefuelmass \\ & + 0.0003615 * measrpm * fuelpress + 0.0001666 * measrpm * grackmea \\ & - 0.0000646 * measrpm * egrlft - 0.00004 * basefuelmass * egrlft - 0.000356 * fuelpress^2 \\ & - 0.000197 * fuelpress * grackmea + 0.000056 * fuelpress * egrlft - 0.000025 * grackmea^2 \\ & - 0.000074 * grackmea * egrlft - 0.000081 * egrlft^2 \end{aligned} \quad (4.49)$$



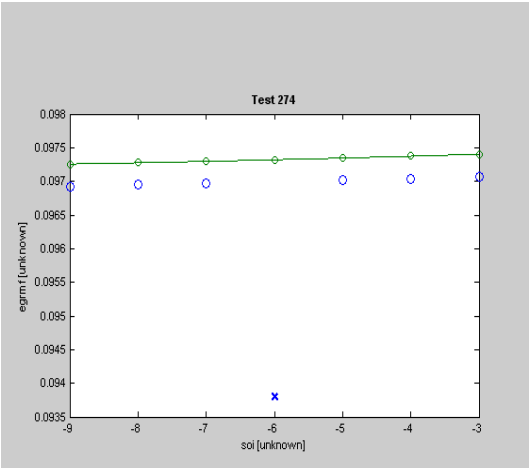
Şekil 4.120 Silindir içindeki artık gaz oranı çıkışı Beta_soi^2 cevap özelliği grafiği

4.9.3. İki Aşamalı Model Sonuçları

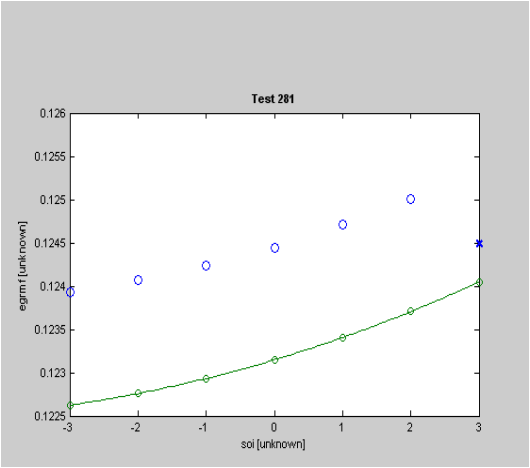
Yukarıda verilen global ve lokal model için uydurulmuş eğriler kullanılarak değişken geometrili turbo hızı çıkışı iki aşamalı modeli oluşturulmuştur. Sonuçta elde edilen iki-aşamalı model için üç boyutlu ve lokal grafikler aşağıda verilmektedir:



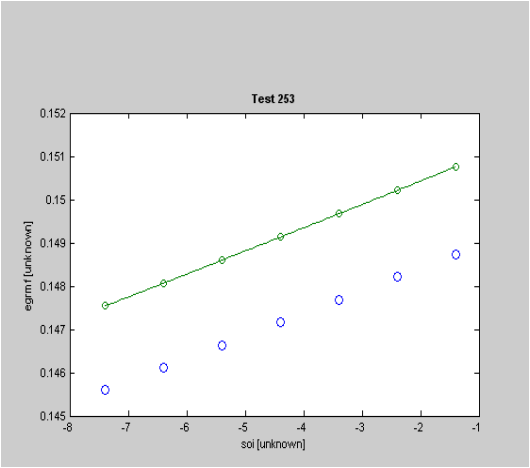
Şekil 4.121: 15. test için iki-aşamalı model grafiği



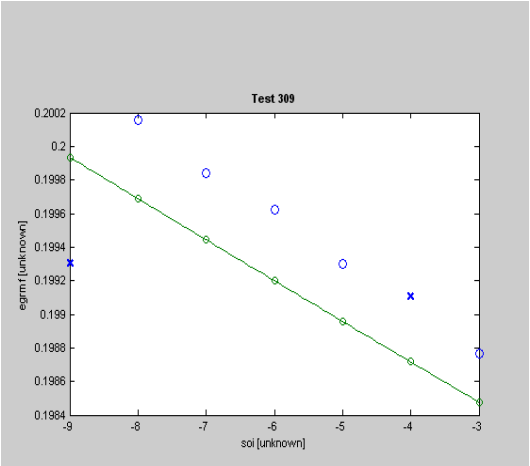
Şekil 4.122: 38. test için iki-aşamalı model grafiği



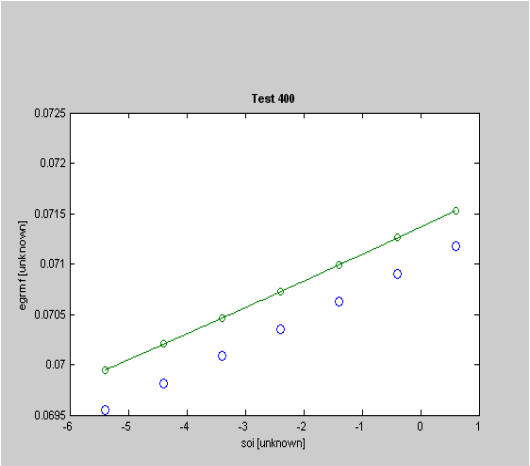
Şekil 4.123: 43. test için iki-aşamalı model grafiği



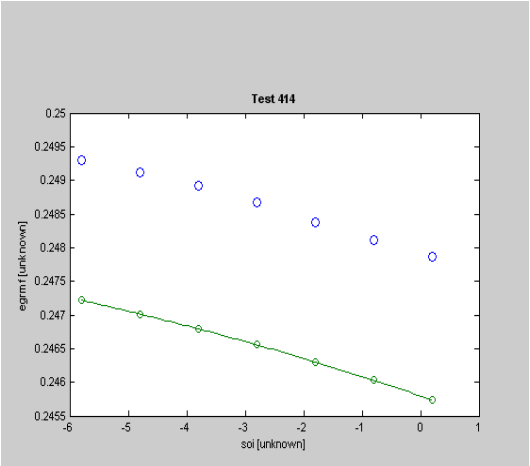
Şekil 4.124: 47. test için iki-aşamalı model grafiği



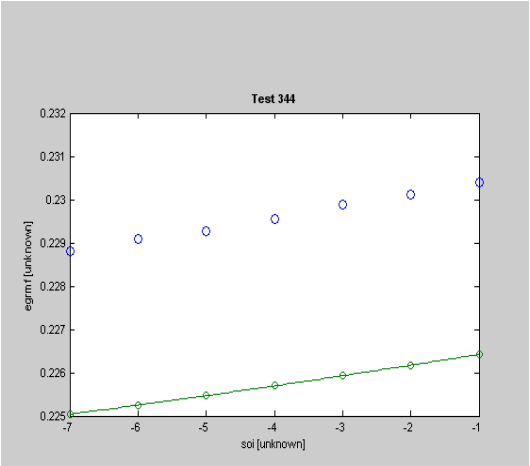
Şekil 4.125: 52. test için iki-aşamalı model grafiği



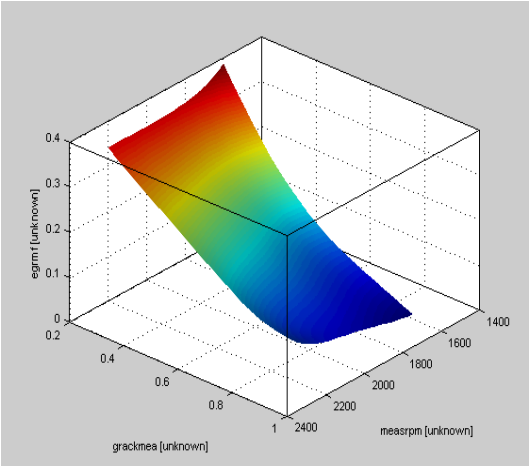
Şekil 4.126: 59. test için iki-aşamalı model grafiği



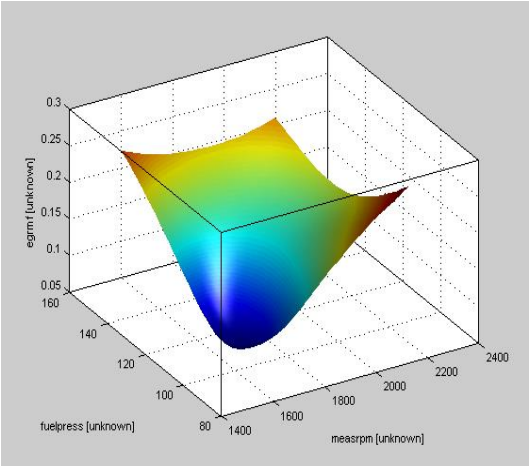
Şekil 4.127: 60. test için iki-aşamalı model grafiği



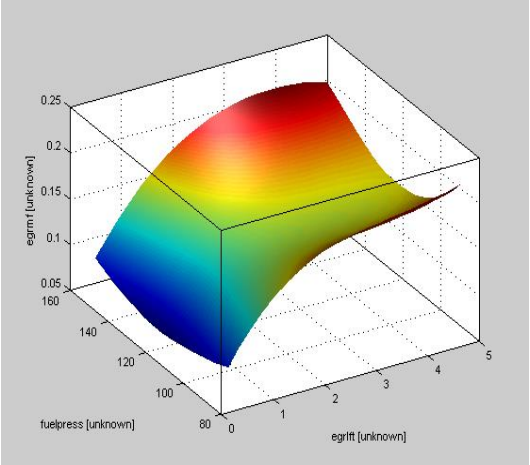
Şekil 4.128: 65. test için iki-aşamalı model grafiği



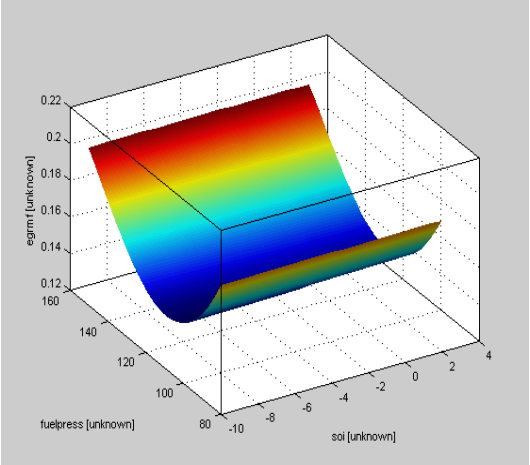
Şekil 4.129: grackmea ve measrpm girişlerine göre silindir içindeki artık gaz oranı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi



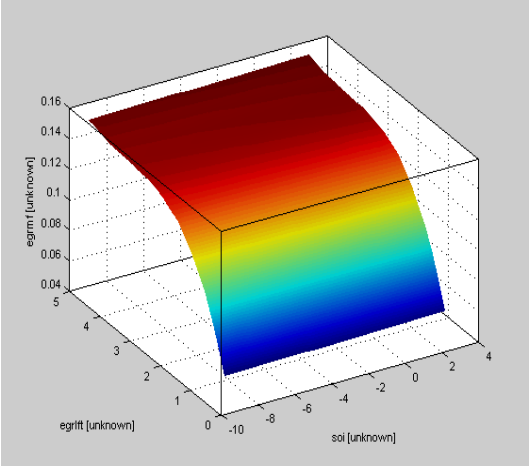
Şekil 4.130: fuelpress ve measrpm girişlerine göre silindir içindeki artık gaz oranı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi



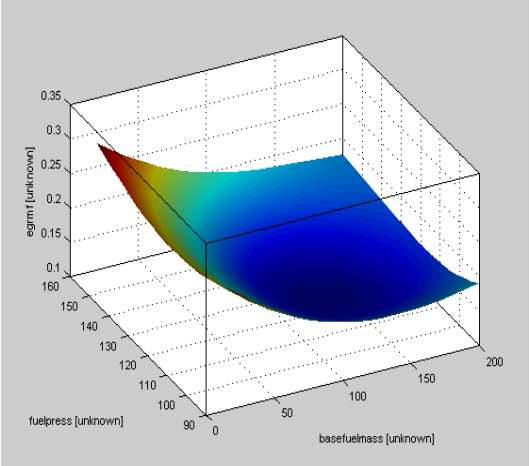
Şekil 4.131: egrlft ve fuelpress girişlerine göre egzost silindir içindeki artık gaz oranı veren iki-aşamalı model yüzeyi



Şekil 4.132: fuelpress ve soi girişlerine göre egzost gazı silindir içindeki artık gaz oranı veren iki-aşamalı model yüzeyi



Şekil 4.133: soi ve egrlft girişlerine göre değişken silindir içindeki artık gaz oranı oranı veren iki-aşamalı model yüzeyi



Şekil 4.134: fuelpress ve basefuelmass girişlerine göre silindir içindeki artık gaz oranı çıkışını veren iki-aşamalı model yüzeyi

5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, bir dizel motorunun kalibrasyonunda kullanılan motor haritalama modelinin iki aşamalı model yaklaşımı ile modellemesi yapılmıştır. Motor haritalama modelinin oluştulması amacıyla daha önce elde edilmiş ve standart bir deneysel dizayn ile tasarlanmış veri kümesi kullanılmış ve dizel motorunun tork, egzost sıcaklığı, silindir içindeki en yüksek basınç, azot-oksit emisyonları, değişken geometrili turbo hızı, egzost gazı eşitlik oranı, silindir içindeki artık gaz oranı çıkışları modellenmiştir.

Çalışmada kullanılan veri kümesi, yedi farklı püskürtme avansı için modellenecek cevapların alındığı ve diğer motor parametrelerinin sabit tutulduğu 65 ayrı test yapılarak oluşturulmuştur. Dolayısıyla modellemenin ilk aşamasında modellenecek tüm cevaplar ile püskürtme avansı arasında 65 adet lokal model uydurulmuştur. Uydurulacak lokal model tipi daha önceki mühendislik bilgisi ve çalışmalar dışında lokal cevap grafiğindeki noktaların şekillerine bakılarak önceden belirlenmiştir. Yapılan çalışmada tüm cevaplar için ilk aşamada lokal model tipi olarak doğrusal ve kuadratik lokal model tipleri öngörülmüştür. Deneylerde elde edilen noktalara en iyi yaklaşımı sağlayan model tipi standart istatistiksel yöntemler olan olasılık fonksiyonunun logaritmasının negatifi, tüm cevap özellikleri için normalize edilmiş hataların kareleri toplamı, iki-aşamalı ve lokal hataların kareleri toplamının kare kökü, kullanılarak tespit edilmiş ve lokal model olarak seçilmiştir.

İkinci aşamada ise uydurulan lokal modellerin katsayıları her püskürtme avansı taraması testinde sabit tutulan global parametreler cinsinden modellenmiştir. Bu aşamada da ilk aşamada olduğu gibi global model tipleri önceden öngörülmüştür. Fakat bu aşamada daha önceki mühendislik bilgisi ve noktaların şekilleri konusunda açıklayıcı bilgi bulunmaması sebebiyle daha çok sistem bilgisinin az olduğu durumlarda kullanılan radyal tabanlı ve karmaşık radyal tabanlı model tipleri öngörülmüştür. Çoğu cevap özelliği için kübik, doğrusal-radyal tabanlı fonksiyon, kuadratik-radyal tabanlı fonksiyon, radyal tabanlı fonksiyon-gaussian model tipleri

öngörülmüş ve noktalara iyi yaklaşımlar sağlanmıştır. Global modeller için model tipi belirlenirken akaike bilgi ölçütü, düzeltilmiş R^2, öngörüsel hataların kareleri toplamının kare kökü ve hataların kareleri ortalamasının karekökü gibi istatistik yöntemler kullanılmıştır.

Modellemesi yapılan motor cevapları için verilen grafikler ile testlerden elde edilen veri noktaları karşılaştırıldığında sonuçta oluşturulan iki aşamalı modelin çoğu cevap için oldukça iyi bir yaklaşıma sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu uygulamada ortaya çıkan modeller ile yapılacak kalibrasyon çalışmaları pratikte doğru sonuçlar vermeyebilir fakat oldukça iyi püskürtme avansı yaklaşımları sağlanmıştır. Pratikte bir dizel motorun daha fazla değişken parametreye sahip olmasının yanında birçok kısıtlayıcı şartın olması bu modellerin geliştirilebileceğini göstermektedir. Bunun anlamı pratik bir motor modelinin oluşturulması için daha fazla giriş ve daha fazla cevabın modellenmesi ile partikte kullanılabilecek bir kalibrasyonun elde edilebilir olmasıdır. Bu çalışmada iki aşamalı modellemenin, motor haritalama modellerinin büyük polinomlar kullanılmak suretiyle modellenmesine göre daha avantajlı bir yöntem olduğu gösterilmiştir.

Bu çalışmada yapılan uygulamada iki aşamalı modellemenin bir avantajı olan ve veri toplama aşamasında kolaylık ve verim sağlayacak deneysel dizayn yöntemleri göz önünde bulundurularak hazırlanmış bir veri kümesi ile çalışılmıştır. Bunun yanında verinin, hiyerarşik yapısına uygun bir şekilde modellenmesi, veri eleme ve mühendislik bilgisinin modelleme sürecine adapte edilmesine yardımcı olmaktadır.

En önemli avantaj bir çok kullanışlı grafik ve tekniğin ortaya konmasıdır. Bunlar büyük polinom modellerden daha büyük kolaylık ile ampirik modellemenin iyi uygulamalarının yapılmasına izin vermektedir. Bunlar, yorumlanması daha kolay, böylece de yetersizliklerinin araştırılması kolaylaşan ve geliştirmek için yolların bulunduğu modellere ulaşılmasını sağlamaktadır. Ayrıca bu çalışmada oluşturulan motor haritalama modeli yeni gelişmelere bağlı olarak çok yönlülük arzetmekte ve bu da yeni kalibrasyon parametrelerinin modele dahil edimesini kolaylaştırmaktadır.

Motor parçaları belli bir değişkenlik seviyesi olmadan üretilemez ve bu nedenle nominal olarak benzer motorlar az da olsa her zaman farklıdır, fakat her ikiside aynı kalibrasyonla uydurulabilir. Bu sebeple kalibrasyonun hassas olduğu parçaların

bulunması önemlidir ve bu parçaların değişkenliklerini azaltmak yönünde bir çaba harcanabilir.

Sistemin değişkenliğini oluşturan bir diğer faktör de zamandır; çünkü motor yaşlandıkça silindirde kurum oluşur ve bu motor çıkışını etkiler. Verinin toplanması için tüm motor ömrüne ihtiyaç duyan bir kalibrasyon prosesi ile optimum kalibrasyon için zamanın etkisini araştırmak zor olacaktır. Eğer bu veri ihtiyacı güçlü bir şekilde azaltılırsa, kalibrasyon prosesinin belli farklı yaşlarda tekrarlanması ile optimum kalibrasyon bulunabilir. Bu zaman içinde kalibrasyonunun nasıl değiştiğini incelemek için bilgi verici bir yol olabilir.

KAYNAKLAR

[1] **Holliday,T.,** 1995. The Design and Analysis of Engine Mapping Experiment: A Two-Stage Approach, Ph.D. thesis, University of Birmingham

[2] **Holliday,T., Lawrence, A. J., Davis, T. P.,** 1998. Engine Mapping Experiments: A Two-Stage Approach, Technometrics, Vol. 40, pp 120-126

[3] **Box,G. E. P., Draper, N. R.,** 1987. Emperical Model Building and Response Surfaces, Wiley.

[4] **Box,G. E. P., Hunter,W. G., Hunter,J. S.,** 1978. Statistics for Experimenters, Wiley.

[5] **Draper, N. R., Smith, H.,** 1998. Applied Regression Analysis, third edition, Wiley-Interscience.

[6] **Goldstein, H.,** 1995. Multilevel Statistical Models, second edition, Arnold.

[7] **Lindstorm,M. J., Bates, D. M.,** 1990. Nonlinear Mixed Effects Models for Repeated Measures Data,Biometrics, Vol. 46, pp 673-687.

[8] **Goldstein, H.,** 1986. Multilevel mixed linear model analysis using iterative generalised least squares, Biometrika, Vol. 73, 43-56.

[9] **Ferguson, C. R.,** 1986. Internal Combustion Engines, Wiley.

[10] **Heywood, J. B.,** 1988. Internal Combustion Engine Fundementals, McGraw-Hill, New York.

[11] **Holliday, T., Davis, T.P., Lawrance, A.J.,** 1996. A Nonlinear Two-Stage Model Approach to Engine Mapping, The 11th International Workshop on Statistical Modeling,Orvieto**,** Italy, pp. 208-215.

[12] **Mencik, Z., Blumberg, P. N.,** 1978. Representation of Engine Data by Multi-Variate Least-Squares Regression , Technical Paper Series 780288, Society of Automotive Engineers.

[13] **Stone, R.** 1992. Introduction to Internal Combustion Engines, second edition, MacMillan, London.

[14] **Davidian, M., Giltinan D. M.,** 1995. Nonlinear Models for Repeated Measurement Data, Chapman and Hall, London.

[15] **Barker, T. D.,** 1982. Engine Mapping Techniques, International Journal of Vehicle Design.,Vol. 3, 142-152.

[16] **Cassidy, J. F.,** 1977. A computerized on-line approach to calculating optimum engine calibrations , Technical Paper Series 770078, Society of Automotive Engineers.

[17] **Blumberg, P. N.,** 1976. Powertrain Simulation – a tool for design and evaluation of engine control strategies in vehicles, Technical Paper Series 760158, Society of Automotive Engineers.

[18] **Crowder, M. J., Hand, D. J.,** 1990. Analysis of Repeated Measures, Chapman and Hall, London.

[19] **Box, G.E.P., Hunter W. G., MacGregor, J. F., Erjavec J.,** 1973. Some problems associated with the analysis of multiresponse data, Technometrics, Vol. 15, 33-51.

[20] **Davidian, M., Giltinan, D. M.,** 1993. Some Simple Methods for Estimating Intraindividual Variability in Nonlinear Mixed Effects Models, Biometrics, Vol. 49, 59-73.

[21] **Davidian, M., Giltinan, D. M.,** 1993. Analysis of repeated measurement data using the nonlinear mixed effects model, Journal of Biopharmaceutical Statistics, Vol. 3, part 1, 23-55.

[22] **Mathworks,** 2003. Matlab Model Based Calibration Toolbox Model Browser User's Guide version 2.0, The Mathworks Inc., Natick.

[23] **Mathworks,** 2003. Matlab Model Based Calibration Toolbox CAGE User's Guide version 2.0, The Mathworks Inc., Natick.

ÖZGEÇMİŞ

Emre ESENTÜRK, 1977 yılında İstanbul'da doğdu. İlk,orta ve lise öğrenimini TED KDZ. Ereğli Vakfı Koleji'nde tamamladı. Lisans derecesini Yıldız Teknik Üniversitesi ve Yüksek Lisans derecesini İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde aldı. Digital haberleşme ağları, çeşitli bilgisayar programları yazmak , pic programlamak, tenis oynamak, yüzmek ve sinema mühendislik dışı ilgi alanlarını oluşturmaktadır.