



**T.C.**  
**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MODİFİYE BİTÜMLÜ KARIŞIMLARIN MARSHALL STABİLİTE**  
**DEĞERLERİNİN YAPAY SINIR AĞI İLE TAHMİNİ**

**İBRAHİM ERGİNER**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HATAY**  
**ŞUBAT-2018**

**T.C.**  
**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MODİFİYE BİTÜMLÜ KARIŞIMLARIN MARSHALL STABİLİTE**  
**DEĞERLERİNİN YAPAY SİNİR AĞI İLE TAHMİNİ**

**İBRAHİM ERGİNER**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HATAY**  
**ŞUBAT-2018**

T.C.  
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tezin Adı: Modifiye Bitümlü Karışımların Marshall Stabilite Değerlerinin Yapay Sinir Ağı ile Tahmini

Öğrencinin, Adı Soyadı: İbrahim ERGİNER

Tez Savunma Tarihi: 28/02/2018

Kod No: 90

Enstitü Onayı :

(Doç. Dr. Mustafa DEMİRCİ)  
Enstitü Müdür V.

Bu tezin Yüksek Lisans/Doktora tezi olarak gerekli şartları sağladığımı onaylarım.

(Doç. Dr. Murat ÖRNEK)  
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tez tarafımda (tarafımızca) okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans/Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

(Unvanı, Adı ve SOYADI)  
İkinci Tez Danışmanı (varsa)

(Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇALIŞICI)  
Tez Danışmanı

Bu tez tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans/Doktora tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Unvanı, ADI ve SOYADI):

İmzası

Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇALIŞICI

.....

Yrd. Doç. Dr. Ömer Faruk CANSIZ

.....

Doç. Dr. Cahit BİLİM

.....

Not : Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

28.02.2018

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülediğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

İmza

.....

İbrahim ERGİNER

## ÖZET

### MODİFİYE BİTÜMLÜ KARIŞIMLARIN MARSHALL STABİLİTE DEĞERLERİNİN YAPAY SİNİR AĞI İLE TAHMİNİ

Ülkemiz karayollarında iklim koşullarının olumsuz etkileri ile birlikte artan trafik hacmi yol üst kaplamalarında kalıcı deformasyonlar oluşturmaktadır. Bu çalışmada; asfalt kaplamanın ömrünün uzatılması için modifiye edilmiş bitümlerin, marshall stabilite değerlerini tahmin etmek amacıyla yapay sinir ağları ve regresyon teknikleri kullanılarak modeller oluşturulmuştur. Modeller oluşturulurken modifiye edilmiş bitüm numunelerinin penetrasyon, viskozite, yumuşama noktası, bitümün sudaki ağırlığı ve bitümün havadaki ağırlığı değerleri bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. Bağımsız değişkenler kendi aralarında 2'li, 3'lü, 4'lü ve 5'li kombinasyonlar halinde kullanılarak tahmin modellerinin sayısı arttırılmaya çalışılmıştır. Oluşturulan modeller Matlab programı yardımıyla analizlere tabi tutularak regresyon modelleri ve yapay sinir ağı metotları karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda yapay sinir ağı ile oluşturulan modellerin regresyon teknikleri kullanılarak oluşturulan modellere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

2018, 104 Sayfa

**Anahtar Kelimeler :** Marshall Stabilite, Modifiye Bitüm, Yapay Sinir Ağı, Matlab

## **ABSTRACT**

### **ESTIMATING OF THE MARSHALL STABILITY VALUES OF MODIFIED BITUMINOUS MIXTURES BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORK**

Increasing traffic volumes along with the adverse effects of climatic conditions on roads in our country are causing permanent deformations in road coverings. In this study; Models were constructed using artificial neural networks and regression techniques to estimate the marshall stability values of modified bitumen for the extension of the life of the asphalt coating. The penetration, viscosity, softening point, bitumen weight in water and bitumen weight in weather values of the modified bitumen samples were used as independent variables when modeling. Independent variables were used in combinations of 2, 3, 4, and 5 among themselves to increase the number of prediction models. The generated models were analyzed by Matlab program and regression models and artificial neural network methods were compared. As a result of the analyzes made, it was observed that the models constructed with artificial neural network gave better results than the models constructed using regression techniques.

2018, 104 Pages

**Keywords:** Marshall Stability, Modified Bitumen, Artificial Neural Network, Matlab

## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamın her aşamasında bana destek olan, yol gösteren ve bilimsel çalıőma ortamı hazırlayan danıőman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇALIŞICI'ya ve hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Ömer Faruk CANSIZ'a teőekkürlerimi sunarım.

Çalıőmalarım boyunca manevi desteklerini benden esirgemeyen bütün hocalarıma ve aileme teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	I
ABSTRACT .....	II
TEŞEKKÜR .....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	X
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	2
3. MATERYAL ve YÖNTEM .....	4
3.1. Tahmin Modellerinde Kullanılacak Veriler .....	4
3.1.1. Kullanılacak Veriler Hakkında Bilgi .....	5
3.1.2. Deney Metotaları.....	6
3.1.3. Numunelerin Elde Edilme Şekli.....	6
3.2. Regresyon Ve Yapay Sinir Ağları .....	7
3.2.1. Regresyon.....	7
3.2.2. Yapay Sinir Ağları .....	7
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA .....	11
4.1. Gerçek Değerler Kullanılarak Regresyon Modeli İle ST Analizi.....	11
4.1.1. Gerçek Değerler Kullanılarak Oluşturulan Regresyon Modellerinin Katsayıları .....	13
4.1.2. Gerçek Stabilite Değerleri İle En İyi Tahmin Modeli Sonucunun Karşılaştırılması.....	19
4.2. Gerçek Değerler Kullanılarak YSA Metodu İle ST Analizi.....	20
4.2.1. Stabilite Tahmin Modellerinin Eğitim Süreci Ve Korelasyon Katsayılarının Belirlenmesi.....	20
4.2.2. Stabilite Tahmin Modellerinin Sonuç Değerleri .....	53
4.2.3. PVYHS-ST Modelinin ST Tahmin Değerlerinin Gerçek ST Değerleri İle Karşılaştırılması.....	54
4.3. Gerçek Değerler Kullanılarak Doğrulamalı YSA Metodu İle ST Analizi.....	55
4.3.1. Stabilite Tahmin Modellerinin Eğitim Süreci Ve Korelasyon Katsayılarının Karşılaştırılması.....	55
4.3.2. Stabilite Tahmin Modellerinin Sonuç Değerleri .....	88
4.3.3. Doğrulamalı PVYHS-ST Modelinin ST Tahmin Değerlerinin Gerçek ST Değerleri İle Karşılaştırılması .....	89
4.4. YSA Modellerinin Karşılaştırılması .....	90
4.5. En İyi Sonuçların Karşılaştırılması.....	91
4.6. Test-train-doğrulama Veri Seti Kullanılarak Oluşturulan PVYHS-ST Modelinin YSA Denklem Açılımı.....	94
4.6.1. Test-train-doğrulama Veri Seti Kullanılarak Oluşturulan PVYHS-ST Modelinin Açık Denklemi.....	95



4.7. YSA Tahminlerinin Excel Programı Yardımıyla Çözümü.....	97
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	101
KAYNAKLAR.....	102
ÖZGEÇMİŞ .....	104



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1.	Yapay sinir ağı nöron şekli. ....	9
Şekil 3.2.	YSA modelinin R adet girdi elemanı olan girdi katmanı ve S adet nöronu olan çıktı katman şekli .....	10
Şekil 4.1.	Gerçek ST değerleri ile en iyi regresyon tahmin modelinin ST değerleri karşılaştırma grafiği .....	19
Şekil 4.2.	HS-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi .....	21
Şekil 4.3.	HS-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi .....	22
Şekil 4.4.	HS-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması .....	23
Şekil 4.5.	PH-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi .....	24
Şekil 4.6.	PH-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi .....	25
Şekil 4.7.	PH-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması .....	26
Şekil 4.8.	PV-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi .....	27
Şekil 4.9.	PV-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi .....	28
Şekil 4.10.	PV-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması .....	29
Şekil 4.11.	PY-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi .....	30
Şekil 4.12.	PY-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi .....	31
Şekil 4.13.	PY-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması .....	32
Şekil 4.14.	VY-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi .....	33
Şekil 4.15.	VY-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi .....	34
Şekil 4.16.	VY-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması .....	35
Şekil 4.17.	PVH-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi ...	36
Şekil 4.18.	PVH-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi .....	37
Şekil 4.19.	PVH-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması .....	38
Şekil 4.20.	PVY-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi ...	39
Şekil 4.21.	PVY-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi .....	40
Şekil 4.22.	PVY-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması .....	41
Şekil 4.23.	VYS-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi ...	42

Şekil 4.24.	VYS-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi.....	43
Şekil 4.25.	VYS-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması .....	44
Şekil 4.26.	PVYH-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi	45
Şekil 4.27.	PVYH-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi.....	46
Şekil 4.28.	PVYH-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması .....	47
Şekil 4.29.	PVYS-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi	48
Şekil 4.30.	PVYS-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi.....	49
Şekil 4.31.	PVYS-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması .....	50
Şekil 4.32.	PVYHS-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi .....	51
Şekil 4.33.	PVYHS-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi.....	52
Şekil 4.34.	PVYHS-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması .....	53
Şekil 4.35.	PVYHS-ST modelinin gerçek ST değerleri ile karşılaştırılması .....	54
Şekil 4.36.	HS-ST modelinin stabilite değeri için doğrulamalı eğitim sürecinin gösterilmesi .....	56
Şekil 4.37.	HS-ST modelinin stabilite değeri için doğrulamalı eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi.....	57
Şekil 4.38.	HS-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin doğrulamalı eğitim setine göre karşılaştırılması.....	58
Şekil 4.39.	PH-ST modelinin stabilite değeri için doğrulamalı eğitim sürecinin gösterilmesi .....	59
Şekil 4.40.	PH-ST modelinin stabilite değeri için doğrulamalı eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi.....	60
Şekil 4.41.	PH-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin doğrulamalı eğitim setine göre karşılaştırılması.....	61
Şekil 4.42.	PV-ST modelinin stabilite değeri için doğrulamalı eğitim sürecinin gösterilmesi .....	62
Şekil 4.43.	PV-ST modelinin stabilite değeri için doğrulamalı eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi.....	63
Şekil 4.44.	PV-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin doğrulamalı eğitim setine göre karşılaştırılması.....	64
Şekil 4.45.	PY-ST modelinin stabilite değeri için doğrulamalı eğitim sürecinin gösterilmesi .....	65
Şekil 4.46.	PY-ST modelinin stabilite değeri için doğrulamalı eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi.....	66
Şekil 4.47.	PY-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin doğrulamalı eğitim setine göre karşılaştırılması.....	67

Şekil 4.48.	VY-ST modelinin stabilite değeri için doğrulamalı eğitim sürecinin gösterilmesi .....	68
Şekil 4.49.	VY-ST modelinin stabilite değeri için doğrulamalı eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi.....	69
Şekil 4.50.	VY-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin doğrulamalı eğitim setine göre karşılaştırılması.....	70
Şekil 4.51.	PVH-ST modelinin stabilite değeri için doğrulamalı eğitim sürecinin gösterilmesi .....	71
Şekil 4.52.	PVH-ST modelinin stabilite değeri için doğrulamalı eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi.....	72
Şekil 4.53.	PVH-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin doğrulamalı eğitim setine göre karşılaştırılması.....	73
Şekil 4.54.	PVY-ST modelinin stabilite değeri için doğrulamalı eğitim sürecinin gösterilmesi .....	74
Şekil 4.55.	PVY-ST modelinin stabilite değeri için doğrulamalı eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi.....	75
Şekil 4.56.	PVY-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin doğrulamalı eğitim setine göre karşılaştırılması.....	76
Şekil 4.57.	VYS-ST modelinin stabilite değeri için doğrulamalı eğitim sürecinin gösterilmesi .....	77
Şekil 4.58.	VYS-ST modelinin stabilite değeri için doğrulamalı eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi.....	78
Şekil 4.59.	VYS-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin doğrulamalı eğitim setine göre karşılaştırılması.....	79
Şekil 4.60.	PVYH-ST modelinin stabilite değeri için doğrulamalı eğitim sürecinin gösterilmesi .....	80
Şekil 4.61.	PVYH-ST modelinin stabilite değeri için doğrulamalı eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi.....	81
Şekil 4.62.	PVYH-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin doğrulamalı eğitim setine göre karşılaştırılması.....	82
Şekil 4.63.	PVYS-ST modelinin stabilite değeri için doğrulamalı eğitim sürecinin gösterilmesi .....	83
Şekil 4.64.	PVYS-ST modelinin stabilite değeri için doğrulamalı eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi.....	84
Şekil 4.65.	PVYS-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin doğrulamalı eğitim setine göre karşılaştırılması.....	85
Şekil 4.66.	PVYHS-ST modelinin stabilite değeri için doğrulamalı eğitim sürecinin gösterilmesi .....	86
Şekil 4.67.	PVYHS-ST modelinin stabilite değeri için doğrulamalı eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi.....	87
Şekil 4.68.	PVYHS-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin doğrulamalı eğitim setine göre karşılaştırılması.....	88
Şekil 4.69.	Doğrulmalı PVYHS-ST modelinin gerçek ST değerleri ile karşılaştırılması .....	90

Şekil 4.70. En iyi YSA-Regresyon tahminleri ile gerçek ST değerleri karşılaştırma grafiği .....	91
Şekil 4.71. Regresyon modelleri korelasyon katsayıları grafiği. ....	92
Şekil 4.72. YSA modelleri korelasyon katsayıları grafiği. ....	92
Şekil 4.73. Doğrulama YSA modelleri korelasyon katsayıları grafiği. ....	93
Şekil 4.74. 0 ile 1 arasında normalize edilmiş değerlerin çözümü.....	98
Şekil 4.75. Bütün değerlerin bir arada 0 ile 1 arasında normalize edilmesiyle çözüm. ....	98



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Numunelerin özellikleri ve stabilite değerleri tablosu.....	4
Çizelge 4.1. ST tahmin modellerinin farklı regresyon teknikleri ile oluşturulan performans değerlerinin sonuçları .....	12
Çizelge 4.2. HSST modeli regresyon katsayıları .....	13
Çizelge 4.3. PHST modeli regresyon katsayıları .....	14
Çizelge 4.4. PVST modeli regresyon katsayıları .....	14
Çizelge 4.5. PYST modeli regresyon katsayıları .....	14
Çizelge 4.6. VYST modeli regresyon katsayıları .....	15
Çizelge 4.7. PVHST modeli regresyon katsayıları .....	15
Çizelge 4.8. PVYST modeli regresyon katsayıları .....	16
Çizelge 4.9. VYSST modeli regresyon katsayıları .....	16
Çizelge 4.10. PVYHST modeli regresyon katsayıları.....	17
Çizelge 4.11. PVYSST modeli regresyon katsayıları .....	17
Çizelge 4.12. PVYHSST modeli regresyon katsayıları .....	18
Çizelge 4.13. Stabilite tahmin modellerinin sonuç değerleri .....	54
Çizelge 4.14. Doğrulama YSA stabilite tahmin modellerinin sonuç değerleri .....	89
Çizelge 4.15. Test-train-doğrulama veri seti ile oluşturulan PVYHS-ST modeli YSA parametreleri .....	95
Çizelge 4.16. Verilerin -1 ile 1 arasında normalize edilmesiyle çözüm .....	99

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

H	: Havadaki Ağırlığı
HKO	: Hataların kareleri ortalaması
HSST	: Havadaki ağırlık ve sudaki ağırlık değeriyle oluşturulan stabilite tahmin modeli
P	: Penetrasyon
PHST	: Penetrasyon ve havadaki ağırlık değerleriyle oluşturulan stabilite tahmin modeli
PVST	: Penetrasyon ve viskozite değerleriyle oluşturulan stabilite tahmin modeli
PYST	: Penetrasyon ve yumuşama noktası değerleriyle oluşturulan stabilite tahmin modeli
PVHST	: Penetrasyon, viskozite ve havadaki ağırlık değerleriyle oluşturulan stabilite tahmin modeli
PVYST	: Penetrasyon, viskozite ve yumuşama noktası değerleriyle oluşturulan stabilite tahmin modeli
PVYHST	: Penetrasyon, viskozite, yumuşama noktası ve havadaki ağırlık değerleriyle oluşturulan stabilite tahmin modeli
PVYSST	: Penetrasyon, viskozite, yumuşama noktası ve sudaki ağırlık değerleriyle oluşturulan stabilite tahmin modeli
PVYHSST	: Penetrasyon, viskozite, yumuşama noktası, havadaki ağırlık ve sudaki ağırlık değerleriyle oluşturulan stabilite tahmin modeli
R	: Korelasyon katsayısı
S	: Sudaki ağırlık
ST	: Stabilite
V	: Viskozite
VYST	: Viskozite ve yumuşama noktası değerleriyle oluşturulan stabilite tahmin modeli
VYSST	: Viskozite, yumuşama noktası ve sudaki ağırlık değerleriyle oluşturulan stabilite tahmin modeli
Y	: Yumuşama noktası
YSA	: Yapay sinir ağları
Tansig	: Tanjant sigmoid transfer fonksiyon

## 1.GİRİŞ

Ülkemizde ulaştırma hizmetleri açısından en yoğun olarak kullanılan ulaşım türü karayollarıdır. Karayolları; stabilize edilmiş yollar, beton yollar ve bitümlü sıcak karışımlardan meydana gelen esnek kaplamalardan projelendirilmektedir. Esnek kaplamalar ülkemizde en yaygın kullanılan yol çeşididir. Hızla artan nüfus trafik hacminde büyümeye yol açmakta ve bununla birlikte esnek kaplamalarda birtakım bozulmalara neden olmaktadır.

Yoğun trafik, zemin ve malzeme özellikleri, evre ve iklim koşulları nedeniyle yol kaplamalarında çeşitli bozulmalar meydana gelmektedir. Esnek kaplamalarda meydana gelen bozulmalar temel ve alt temelden daha çok yüzey tabakalarında oluşmaktadır. Esnek kaplamalarda görülen bu kusurlar bitümlü sıcak karışımların içeriğine bağlı olarak düşük, orta ve yüksek şiddette olabilmektedir. Yol kaplamalarında görülen bu bozulmaların azaltılması ve ulaştırma olanaklarının aksama olmadan devam ettirilebilmesi oldukça önemlidir. Kaplama ömrünün gerektiği kadar uzun olabilmesi bölgenin iklim ve evre koşullarına bağlı olarak kaplamanın uygun içerikte hazırlanması ile mümkün olabilmektedir.

Esnek kaplamalarda meydana gelen bozulmaların tam olarak önlenmesi mümkün değildir. Ancak esnek kaplamaların projelendirilmesinde öngörülen hizmet ömrü boyunca bozulmadan kalabilmeleri kaplamaların stabilite değerleriyle doğrudan ilişkili olmaktadır. Esnek kaplamaların stabilitelerini arttırmak amacıyla birçok katkı malzemesi ile bitüm modifiye edilerek kaplamaların özellikleri geliştirilmeye çalışılmaktadır.

Ulaştırma politikalarının daha gerçekçi ve doğru olabilmesi için geleceğe yönelik tahminlerin doğru bir şekilde yapılması büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle ulaştırma politikalarına yön vermesi açısından uygun tahmin modelleri geliştirilmelidir. Günümüzde tahmin modelleri geliştirilirken kullanılan tekniklerden biri de yapay sinir ağları olmaktadır. Sonuçları matematiksel denklemlerle ifade edilemeyecek olan problemlerin çözümleri yapay sinir ağları ile modellenerek başarılı tahminler yapılabilir.

Yapılan bu çalışmada bitümlü bağlayıcıların stabilite değerlerinin tespit edildiği marshall testi sonuçları yapay sinir ağı modelleri oluşturularak tahmin edilmeye çalışılmıştır.



## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde yapay zeka tekniklerinden yapay sinir ağları kullanılarak bitümlü karışımların fiziksel ve kimyasal özelliklerini tamin eden modeller oluşturulmaktadır. Bitümlü karışımlara uygulanan testler sonucunda elde edilen veriler kullanılarak stabilite değerleri tahmin edilmeye çalışılmaktadır.

Golzar ve arkadaşları (2012) tarafından yapılan çalışmada etilen-bütül akrilat, stiren-etilen-bitülen-stiren, etilen vinil asetat ve stiren-bütadien-stiren gibi polimerik malzemeler ile modifiye edilmiş bitümlerin test sonuçlarıyla matlab programında yapay sinir ağı modelleri oluşturulmuştur. Model sonuçları ile deneysel veriler karşılaştırılarak oluşturulan modellerin yüksek kabul edilebilirliği sonucuna varılmıştır.

Kamboozia ve arkadaşları (2018) tarafından yapılan çalışmada çevresel ve yapısal parametrelerin etkisi altındaki asfalt döşemelerinin fonksiyonu hakkında kısa sürede değerlendirme yapılabilmesi amacıyla yapay sinir ağı modelleri oluşturulmuştur. Tahmin modellerinin çıktı sonuçları deneysel test sonuçları ile karşılaştırılmış, maliyetli ve zaman alan deneylere gerek kalmaksızın sonuçların tahmin edilebileceği savunulmuştur.

Shafabakhsh ve arkadaşları (2015) tarafından yapılan çalışmada doğal ve çelik cüruf gibi iki farklı agrega kaynağından oluşturulan bitümlü malzemeler gerilme testlerine tabi tutulmuş ve deney sonuçları yapay sinir ağları ile modellenerek tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Mirabdolazimi ve arkadaşları (2017) tarafından yapılan çalışmada sıcak karışım asfaltına uygun polimer materyal eklenmiş ve çatlak derinliği için yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur. Elde edilen deney sonuçları ile yapay sinir ağı modelinin tahmin değerleri karşılaştırılarak değerlerin birebir uyum gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Kök ve arkadaşları (2010) tarafından yapılan çalışmada baz ve stiren-bütadien-stiren ile modifiye edilen bitümlerin kompleks modüllerini tahmin etmek amacıyla yapay sinir ağı modelleri oluşturulmuştur. Yapay sinir ağı modelleri değerlendirilirken hataların köklerinin ortalaması ve değişim katsayısı kriter olarak kullanılmış ve karşılaştırmalar neticesinde en uygun model sunulmuştur.

Tapkın ve arkadaşları (2009) tarafından yapılan çalışmada polipropilen modifiye asfalt karışımların tekrarlanan sünme test sonuçlarını tahmin etmek amacıyla yapay sinir ağları kullanılmıştır. Yapay sinir ağı modellerinde standart marshall numunelerinin fiziksel

özellikleri kullanılmış ve sonuçlar tahmin edilmiştir. Sonuç olarak deney sonuçları ile yapay sinir ağı tahmin değerlerinin uygunluğu gösterilmiştir.

Vasseghian ve arkadaşları (2014) tarafından yapılan çalışmada yapay sinir ağıları modifiye bitümün flotasyon yöntemiyle elde edilen kül ve kükürt giderim verilerinin modellenmesi için kullanılmıştır. Yapay sinir ağı modellerinde gizli ve çıktı katmanında sırasıyla tanjant sigmoid ve purelin transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Yapılan tahminler neticesinde düşük hata oranları saptanmış ve ağların geçerliliği doğrulanmıştır.

Khuntia ve arkadaşları (2014) tarafından yapılan çalışmada kullanılmış süt paketlerinden işlenmiş elyaf biçimindeki atık polietilen kullanılarak bitüm modifiye edilmiş ve marshall testleri uygulanmıştır. Marshall özelliklerinin tahmininde yapay sinir ağıları ve en küçük kareli destek vektör makinesinin uygulaması yapılmıştır. Sonuç olarak yapay sinir ağı modeli ile en küçük kareli destek vektör makinesi karşılaştırılmış ve yapay sinir ağının daha güvenilir olduğu vurgulanmıştır.

Yıldız (2003) tarafından yapılan çalışmada Marshall verileri kullanılarak, asfalt betonunun fiziksel özellikleri için regresyon model denklemleri oluşturulmuş ve oluşturulan bu model ile optimum bitüm muhtevası belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmadan elde edilen optimum bitüm muhtevası ve asfalt betonunun fiziksel özellikleri, model üzerinden elde edilen optimum bitüm muhtevası ve asfalt betonunun özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Özgan ve arkadaşları (2013) tarafından yapılan çalışmada Düzce'de farklı bölgelerden 60 karot numune alınmıştır. Bu karot numuneleri üzerinde agrega tane çapları, farklı sıcaklık ve çevre koşulları dikkate alınarak Marshall deney aleti ve ekstraksiyon test cihazı kullanılarak Marshall stabilite sonuçları incelenmiş ve regresyon analizleri ile birlikte sonuçlar paylaşılmıştır.

Özgan (2011) tarafından yapılan çalışmada bitümlü sıcak karışımlara değişik sıcaklık ve pozlanma süreleri altında marshall testleri yapılmıştır. Marshall stabilite değerleri yapay sinir ağı yardımıyla modellenmiştir. Değişik sıcaklık ve sürelerde deneye tabi tutulan örnekler birbirleriyle karşılaştırılmış ve bu modelin kullanılabilirliği ileri sürülmüştür.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmanın bu bölümünde materyal olarak kullanılan veriler ve stabilite tahmin modellerinin oluşturulmasına yardımcı olan metotlardan Regresyon ve Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemleri hakkında bilgi verilmektedir.

#### 3.1. Tahmin Modellerinde Kullanılacak Veriler

Bu çalışmada materyal olarak yol tasarımında çok önemli bir kriter olan stabilite değerleri sunulmakta ve bu değerlere ulaşırken kullanılan deneyler hakkında bilgiler verilmektedir. Stabilite değerlerine ulaşırken veri olarak kullanılan viskozite, penetrasyon, yumuşama noktası, numunenin havadaki ağırlığı ve numunenin sudaki ağırlık değerleri ile stabilite değerleri veri seti olarak Çizelge 3.1.'de sunulmaktadır.

Çizelge 3.1. Numunelerin özellikleri ve stabilite değerleri tablosu

Numune No	Viskozite	Penetrasyon	Yumuşama Noktası	Havadaki ağırlık(gr)	Sudaki ağırlık(gr)	Stabilite
1	427.3	26	54	1145	694	803.9013
2	427.3	26	54	1129	685	710.3486
3	427.3	26	54	1145	694	874.0659
4	330	38	50.3	1137	683	967.6186
5	330	38	50.3	1136	688	883.4211
6	330	38	50.3	1142	695	874.0659
7	336	37	50.5	1133	686	696.3157
8	336	37	50.5	1141	695	883.4211
9	336	37	50.5	1149	699	836.6448
10	346.7	37	50.8	1148	699	761.8026
11	346.7	37	50.8	1141	693	803.9013
12	346.7	37	50.8	1140	696	874.0659
13	340	37	50.5	1148	698	743.0921
14	340	37	50.5	1148	703	1014.395
15	340	37	50.5	1147	703	967.6186
16	340	36	51	1149	701	836.6448
17	340	36	51	1149	702	874.0659
18	340	36	51	1148	696	724.3816
19	366.7	32	51.3	1136	689	864.7106
20	366.7	32	51.3	1143	694	757.125
21	366.7	32	51.3	1148	702	976.9738
22	376.7	29	52	1141	692	663.5723
23	376.7	29	52	1143	698	864.7106
24	376.7	29	52	1152	704	1000.362

Çizelge 3.1. (Devamı) Numunelerin özellikleri ve stabilite değerleri tablosu

Numune No	Viskozite	Penetrasyon	Yumuşama Noktası	Havadaki ağırlık(gr)	Sudaki ağırlık(gr)	Stabilite
25	376.7	29	52	1143	697	986.3291
26	376.7	29	52	1142	691	733.7368
27	376.7	29	52	1145	696	1037.783
28	262.3	51	47.3	1148	701	897.454
29	262.3	51	47.3	1148	702	920.8422
30	262.3	51	47.3	1140	696	953.5857
31	260	51	47.2	1146	700	883.4211
32	260	51	47.2	1147	702	817.9343
33	260	51	47.2	1146	700	972.2962
34	263	51	47.3	1144	702	967.4698
35	263	51	47.3	1150	702	888.0988
36	263	51	47.3	1141	697	920.8422
37	260	51	48	1143	698	827.2895
38	260	51	48	1144	700	911.4869
39	260	51	48	1147	701	916.1646
40	253.3	53	46.9	1146	699	874.0659
41	253.3	53	46.9	1145	701	878.7435
42	253.3	53	46.9	1144	700	911.4869
43	253.2	53	46.7	1143	699	923.0136
44	253.2	53	46.7	1143	699	903.2552
45	253.2	53	46.7	1144	699	850.6777
46	276.7	42	48.8	1140	697	932.8927
47	276.7	42	48.8	1140	704	972.4094
48	276.7	42	48.8	1141	698	953.5857
49	296.7	40	50	1147	697	813.2566
50	296.7	40	50	1141	690	757.125
51	296.7	40	50	1146	699	944.2304

### 3.1.1. Kullanılacak Veriler Hakkında Bilgi

Kullanılan veriler Yrd.Doç.Dr Mustafa Çalışıcı tarafından yapılan deneyler sonucunda elde edilmiştir (Çalışıcı, 2009). Bu çalışmada kullanılan verilerin elde edilmesi amacıyla bitüm numunelerine yapılan viskozite, penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri hakkında bilgi verilmiştir.

### **3.1.2. Deney Metotları**

#### Dönel viskozite deneyi

Çalışmada orijinal ve katkılı bitümlü bağlayıcıların viskozite değerlerinin bulunmasında dönel viskozite testi (ASTM D 4402) kullanılmıştır. Dönel viskozite testi Brookfield DVIII Ultra model reometre kullanılarak yapılmıştır. Bitümlü bağlayıcı numuneleri 140°C'ye kadar etüvde ısıtılmış, reometrenin termoseli de 150°C'ye ayarlanmıştır. Termosel 150°C'ye ulaştığında içindeki bitüm numunesi 135°C olmaktadır. Daha sonra numuneler termosel yerleştirilip 20 dakika ısıl kararlılığın sağlanması beklendikten sonra ardından birer dakika aralıklarla üçer ölçüm yapıp ortalamaları alınmış ve numunelerin viskoziteleri elde edilmiştir.

#### Penetrasyon testi

Bitümlü bağlayıcıların penetrasyon değerlerini bulmak amacıyla bitüm numuneleri penetrasyon kaplarında hazır edildikten sonra 25°C 'lik su banyosunda gerekli süre bekletilmiş ve ardından penetrasyon deneyine tabi tutulmuştur.

#### Yumuşama noktası

Bitümlü bağlayıcının yumuşama noktasının belirlenmesinde önceden ısıtılmış ve akıcı hale getirilmiş bitüm numuneleri halkalara dökülerek oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra sıcaklığı dakikada 5 derece arttırılan behere konulan halkaların üzerine toplar yerleştirilmiştir. Yumuşayan bitümünler dibe değdiği noktada sıcaklıkları ölçülerek bitümünlerin yumuşama noktaları bulunmuştur.

### **3.1.3 Numunelerin Elde Edilme Metodu**

1200 gr agregası ile hazırlanarak etüvde 120°C'ye kadar ısıtılmış bitüm %4-4,5-5-5,5-6 oranlarında 185°C ısıdaki agregaya karıştırılmıştır. Bitüm ise 120°C'ye kadar ısıtılır. Isıtılan malzeme değişik oranlardaki bitümlerle karıştırılır. Farklı bağlayıcı yüzdelere sahip karışımlardan üçer numune hazırlanmıştır. Marshall numuneleri 4.5 kg ağırlığındaki tokmanın 45 cm yükseklikten numunelerin her iki yüzeyine 50'şer defa düşürülerek sıkıştırılmasıyla hazırlanmıştır. Numuneler 1 gece oda sıcaklığında bekletildikten sonra Marshall stabilite deneyine tabi tutularak stabilite değerlerine ulaşılmıştır.

### **3.2. Regresyon ve Yapay Sinir Ağları**

Yapılan bu çalışmada yöntem olarak ilk aşamada regresyon modelleri oluşturulmakta ve daha sonra ikinci aşamada yapay zeka teknikleri kullanılmaktadır.

#### **3.2.1. Regresyon**

Üzerinde durulan verilerden birinin sonucu diğerini etkiliyorsa etkilenen değişkene bağımlı değişken, etkiyi oluşturan değişkene ise bağımsız değişken denir. Bağımlı değişkenin bağımsız değişkenin bir fonksiyonu olarak tanımlanmasına ise regresyon, bağımlı değişken ile bir ya da birden fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi bulmak için yapılan analize ise regresyon analizi denir. Regresyon analizi yardımıyla bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasında bir ilişki var mıdır var ise bu ilişkinin gücü nedir sorularının cevabı aranmaktadır. Regresyon analizleri başlıca iki çeşittir. Bunlar tek değişkenli regresyon ve çok değişkenli regresyondur. Tek değişkenli regresyonda bir bağımlı ve bir bağımsız değişken bulunur ve regresyon denklemi bir doğrusal fonksiyon ile formüle edilir. Çok değişkenli regresyonda ise bir bağımlı değişken ve birden fazla bağımsız değişken bulunmaktadır. Yapılan bu çalışmada çok değişkenli regresyon modeli kullanılmaktadır.

Çalışmamızda stabilite tahmin modellerinin oluşturulması amacıyla ilk olarak regresyon yöntemi kullanılmaktadır. Bitümlerin stabilite değerlerini etkileyen çok sayıda değişken vardır. Bu değişkenlerle stabilite arasındaki ilişki, karmaşık ve lineer olmayan özelliklere sahip olmaktadır.

#### **3.2.2. Yapay Sinir Ağları**

Beynin üstün özellikleri, bilim insanlarını üzerinde çalışmaya yönlendirmiş ve beynin nörofiziksel yapısından hareketle matematiksel modeli çıkarılması için uğraş verilmiştir. Beynin bütün davranışlarını doğru bir şekilde modelleyebilmek için bileşenlerinin doğru olarak belirlenmesi gerektiği düşüncesiyle çeşitli yapay hücre ve ağ modelleri üretilmiştir.

Bu çalışmada YSA yöntemi ile bitümün stabilite değerlerinin tahmininde, viskozite, penetrasyon, yumuşama noktası, marshall numunelerinin havadaki ağırlığı, marshall numunelerinin sudaki ağırlığı değişkenlerini temel alan modeller YSA ile oluşturulmaktadır. YSA metodu kullanılarak yapılan uygulamalarda çok katman ve ileri beslemeli ağlar kullanılmaktadır. Oluşturulan YSA modelleri girdi katmanı, bir gizli katman ve çıktı katmanı

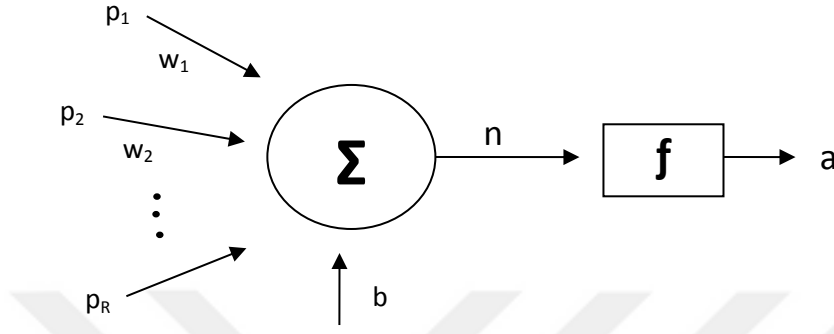
bulunmaktadır. Karmaşık problemlerin çözümlenmesinde genel olarak tek gizli katman kullanılması çözüme ulaşmak için yeterli olmaktadır (Cybenko, 1989). YSA yöntemi birçok araştırmacı tarafından trafik ile ilgili tahminlerde kullanılmakta ve başarılı sonuçlar alınmaktadır (Abdelwahab, 2001; Abdel-Aty, 2001).

Trafik mühendislerinin karşılaştığı birçok karmaşık konu YSA yönteminin kolaylıkları sayesinde kolayca çözümlenmekte ve bağımlı değişkenler ile bağımsız değişkenler arasında tanımlanamayan ilişkiler yansıtılabilmektedir. Bundan dolayı YSA yöntemi ile istatistiksel tahmin metotlarından daha başarılı sonuçlara ulaşılabilir. Bunun yanı sıra biyolojik sinir sisteminin yapısı model alınarak geliştirilen YSA yönteminde istatistiksel metotlar gibi herhangi bir ön kabul yapılmadan modeller geliştirilebilir. Yeterli veri sağlandığında, YSA yöntemi kullanılarak hızlı ve pratik tahmin modelleri oluşturulabilmektedir (Riviere ve ark., 2006). Bunun yanı sıra istatistiksel analizler sayesinde ham veriler incelenmekte ve YSA modeli oluşturulmadan önce verilerin değerlendirilmesi sağlanmaktadır.

YSA metodu, girdilerle çıktılar arasında lineer olmayan ilişkiler kurabilme yeteneğine sahip matematiksel araçlara sahiptir. Her bir girdi değerinin farklı ağırlıklar ile bir sonraki katmandaki bütün nöronlara dağıtılması, nöronlara dağıtılan bu değerlerin toplandıktan sonra transfer fonksiyonundan geçirilerek sonra tekrar ağırlıklarla bir sonraki katmana dağıtılması verilerin çok sayıda matematiksel araçlarla ağda değerlendirildiğini göstermektedir. YSA metodunun en önemli özelliği ise üst düzey öğrenme yeteneğine sahip olmasıdır. Nöronlar arasındaki ağırlıkların belirlenmesi anlamına gelen öğrenme, matematiksel algoritmalar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir.

YSA yönteminde değişkenler arasındaki karmaşık ilişkiler bilinmeden kara kutuya benzer olarak modeller oluşturulmaktadır (Karayiannis ve Venetsanopoulos, 1993). Bu düşünceden hareketle ağ içerisinde mühendislik yargısına varılmadan, girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkiler analitik temele oturtulmadan modeller geliştirilmektedir. Ağ içerisinde işlemlere müdahale etmeden bir çözüme gidilmesi, YSA yönteminin bir dezavantajı olarak düşünülebilmektedir. YSA'nın bir diğer önemli dezavantajı ise ezberleme olayıdır. Eğer eğitim verilerinde mükemmel yakın doğruluk dereceleri yakalanmış fakat test verilerinde büyük hatalar göze çarpıyor ise, YSA modeli öğrenmemiş aksine ezberlemiş olmaktadır. Bu duruma düşmemek için eğitim, geçerlilik ve test verilerinde hata oranlarının kontrol edilerek en iyi modele ulaşmaya çalışılmaktadır.

YSA yapı olarak katmanlardan, herbir katman ise yapay nöronlardan meydana gelmektedir. Şekil 3.1.'de nöron şekli gösterilmektedir. Yapay nöronlara bir önceki katmandan gelen girdiler ağırlıklarla çarpılarak toplanır ve bias değeri eklenir. Daha sonra bu toplam değer, transfer fonksiyonundan geçirilerek yapay nöronların sonucu elde edilmektedir (Denklemler 3.1). Bu sonuç bir sonraki katmana ağırlıklarla çarpılarak dağıtılır.



Şekil 3.1. Yapay sinir ağı nöron şekli

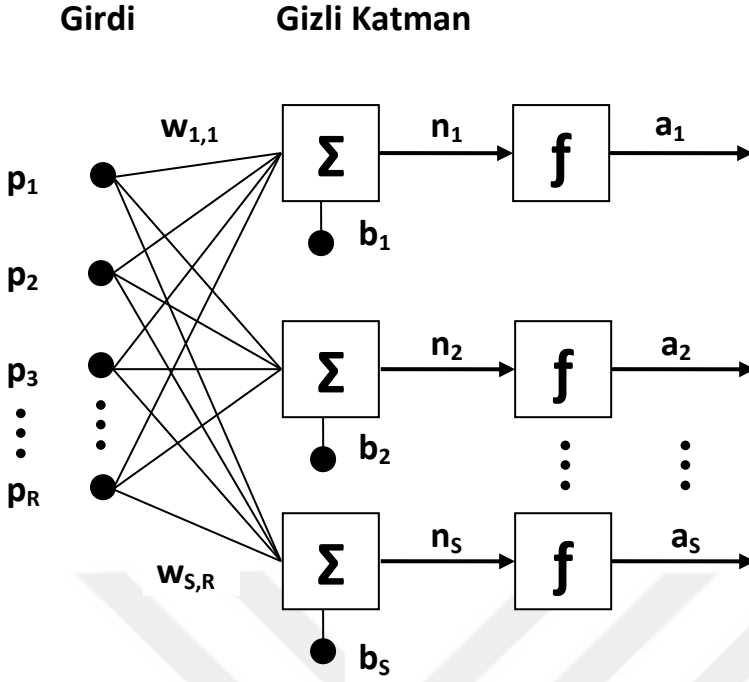
$$a_S = f\left(\sum w_{SR}p_R + b\right)$$

(3.1)

Bu denklemde  $a$  yapay nöronun sonucunu,  $w$  nöronlar arasındaki bağlantı katsayılarını,  $p$  önceki katmanlardan gelen girdi değerlerini,  $f$  transfer fonksiyonunu ve  $b$  ise bias değerini göstermektedir. Alt indis olan  $S$  nöron sayısını,  $R$  ise girdi sayısını göstermektedir.

Yapay nöronlardan meydana gelen katman çeşitleri, girdi, gizli ve çıktı katmanı olarak üç gruptan oluşmaktadır. Şekil 3.2.'de Matlab notasyonlarına bağlı olarak düzenlenmiş katmanlar gösterilmektedir (Matlab, 2016). Girdi ve çıktı katmanları birer adet olmakla birlikte, gizli katman çözümlenmek istenen problemlerin karmaşıklığına bağlı olarak çok sayıda olabilmektedir. Katmanların kendi içerisindeki nöronlar arasında bağlantı bulunmazken, bir önceki ve bir sonraki katmanların bütün nöronlarıyla bağlantılar kurulmaktadır.





Şekil 3.2. YSA modelinin R adet girdi elemanı olan girdi katmanı ve S adet nöronu olan gizli katmanı

Katman ve nöron sayısının belirlenmesi, iyi sonuçların alınması için önemli olmaktadır. Daha çok katman ve daha çok nöron sayısı daha iyi sonuç verir düşüncesi doğru olmamaktadır. Dahası fazla sayıda katman ve nöron sayıları istenmeyen sonuçların çıkmasına sebep olabilmektedir. Genellikle ulaştırma mühendisliği problemlerinde tek gizli katmana sahip olan YSA yapıları kullanılmaktadır. Optimum nöron sayısı ise deneme-yanılma metodlarıyla belirlenmektedir.

Nöronlar arasındaki bağlantıları sağlayan ağırlık değerleri eğitim işlemiyle belirlenmektedir. Eğitimin her aşamasında ağırlık değerleri girdi ve çıktı değerleri arasındaki hata paylarına göre düzenlenerek en uygun ağırlık değerlerine ulaşılmaktadır.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Yapılan bu çalışmada modifiye bitümün stabilite değerini etkileyen parametre değerlerine bağlı olarak lineer regresyon, interuption regresyon, Quadratic regresyon, PureQuadratic regresyon ve YSA modelleri oluşturulmak suretiyle Matlab programı yardımıyla analizler yapılmaktadır.

Regresyon modelleri ile yapılan analizler sonucunda elde edilen sonuç değerleri tablo ve grafikler yardımıyla sunulmaktadır. Regresyon modelleri öncelikle kendi içlerinde kıyaslanmakta ve daha sonra en iyi modeller seçilmektedir.

YSA modelleri ile yapılan analizler sonucunda ulaşılan analiz sonuçları tablo ve grafikler yardımıyla sunulmaktadır. YSA modelleri içerisinde en iyi sonuçlara ulaşmamızı sağlayan model, regresyon analizleri ile ulaşılan en iyi sonuçla kıyaslanmaktadır.

##### 4.1. Gerçek Değerler Kullanılarak Regresyon Modeli ile ST Analizi

Regresyon teknikleri ile yapılan ST tahmin modelleri Çizelge 4.1.'de verilmektedir. Burada modeller Linear, Interaction, Quadratic ve Purequadratic regresyon analizlerine tabi tutularak korelasyon katsayısı, Hataların Karesinin Ortalaması ve Yüzde Hata değerlerine bakılmaktadır. Beş adet bağımsız değişken ile oluşturulan iki değişkenli, üç değişkenli, dört değişkenli ve beş değişkenli kombinasyonlarla toplam 11 adet ST tahmin modeli oluşturulmakta ve regresyon tekniklerine tabi tutularak 44 adet farklı model sonucunun performans değerleri incelenmektedir. Oluşturulan tahmin modellerinin arasında en yüksek korelasyon katsayısına sahip olan model beş değişkenli PVYHS-ST modelinin değeri 0,77 çıktığı görülmektedir. Tahmin modelleri arasında yüzde hata değeri de aynı modelde %5,08 değeriyle en düşük değer olarak saptanmaktadır. PVYHS-ST tahmin modelinin hatalarının kareleri ortalaması değeri ise 3072,130 çıktığı görülmektedir. Tahmin modelleri arasında en iyi sonucu veren ikinci model dört değişkenli PVYH-ST modelidir. Bu modelin korelasyon katsayısı değeri 0,70 çıkmaktadır ve hatalarının kareleri ortalaması değeri ise 3927,464 çıktığı görülmektedir. Bu modelin yüzde hata değeri de %5,74 ile farklı regresyon modellerine göre ikinci en düşük hata oranını verdiği görülmektedir. İkili kombinasyonlarda en iyi sonuçları veren model ise iki değişkenli HS-ST modelidir. Modelin korelasyon katsayısı değeri 0,66 olarak saptanmaktadır ve hataların kareleri ortalaması değeri 4294,6312 dir. Bu modelin ortalama yüzde hata değeri ise %5,84 tür. Üçlü kombinasyonlarda en iyi sonuçları veren model ise PVH-ST modeli olmaktadır. Bu modelin korelasyon katsayısı değeri 0,66 olarak

saptanmakta ve hataların kareleri ortalaması değeri 4334,455 olarak bulunmaktadır. Bu modelin ortalama yüzde hata değeri ise %6,27 dir.

Çizelge 4.1. ST tahmin modellerinin farklı regresyon teknikleri ile oluşturulan performans değerlerinin sonuçları

Modeller	Korelasyon Katsayısı	Hataların Karesinin Ortalaması	Yüzde Hata
HSSTLinear	0.53	5460.94094	6.52
HSSTInteraction	0.53	5457.4901	6.52
HSSTQuadratic	0.66	4294.6312	5.84
HSSTPurequadratic	0.64	4450.076	5.98
PHSTLinear	0.49	5836.029	7.17
PHSTInteraction	0.54	5442.627	6.86
PHSTQuadratic	0.63	4621.311	6.47
PHSTPurequadratic	0.54	5433.391	7.01
PVSTLinear	0.32	6874.481	7.53
PVSTInteraction	0.33	6812.887	7.52
PVSTQuadratic	0.34	6766.778	7.45
PVSTPurequadratic	0.33	6806.751	7.54
PYSTLinear	0.38	6515.657	7.45
PYSTInteraction	0.39	6499.400	7.47
PYSTQuadratic	0.42	6312.639	7.23
PYSTPurequadratic	0.39	6493.771	7.49
VYSTLinear	0.31	6929.236	7.65
VYSTInteraction	0.31	6913.194	7.61
VYSTQuadratic	0.33	6833.728	7.49
VYSTPurequadratic	0.33	6833.895	7.49
PVHSTLinear	0.51	5687.517	6.95
PVHSTInteraction	0.59	5002.825	6.44
PVHSTQuadratic	0.66	4334.455	6.27
PVHSTPurequadratic	0.56	5210.21	6.89
PVYSTLinear	0.38	6514.865	7.46
PVYSTInteraction	0.43	6249.493	7.22
PVYSTQuadratic	0.43	6199.772	7.17
PVYSTPurequadratic	0.43	6235.453	7.24
VYSSTLinear	0.36	6646.957	7.82
VYSSTInteraction	0.45	6097.331	7.30
VYSSTQuadratic	0.47	5979.773	7.08
VYSSTSPurequadratic	0.39	6463.197	7.50
PVYHSTLinear	0.53	5477.695	6.87
PVYHSTInteraction	0.62	4710.506	6.27
PVYHSTQuadratic	0.70	3927.464	5.73
PVYHSTPurequadratic	0.60	4900.777	6.68
PVYSSTLinear	0.43	6217.101	7.48
PVYSSTInteraction	0.56	5256.919	6.74
PVYSSTQuadratic	0.58	5104.455	6.58
PVYSSTPurequadratic	0.49	5814.524	7.16
PVYHSSTLinear	0.56	5232.329	6.44
PVYHSSTInteraction	0.67	4248.972	5.74
PVYHSSTQuadratic	0.77	3072.130	5.08
PVYHSSTPurequadratic	0.66	4273.750	5.85

#### 4.1.1. Gerçek Değerler Kullanılarak Oluşturulan Regresyon Modellerinin Katsayıları

Matlab programı yardımı ile oluşturulan iki değişkenli modellerin regresyon katsayıları Çizelge 4.2.-Çizelge 4.3.-Çizelge 4.4.-Çizelge 4.5.-Çizelge 4.6.'da gösterilmektedir. İki değişkenli modellerin genel denklem formları ise Denklem 4.1- Denklem 4.2- Denklem 4.3 ve Denklem 4.4'te verilmektedir.

Lineer denklem formu

$$y = \beta_0 + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 \quad (4.1)$$

Interaction denklem formu

$$y = \beta_0 + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \beta_3 * x_1 * x_2 + \beta_4 x_1^2 + \beta_5 x_2^2 \quad (4.2)$$

Quadratic denklem formu

$$y = \beta_0 + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \beta_3 x_1^2 + \beta_4 x_2^2 \quad (4.3)$$

Purequadratic denklem formu

$$y = \beta_0 + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \beta_3 * x_3 + \beta_4 * x_1 * x_2 + \beta_5 * x_1 * x_3 + \beta_6 * x_2 * x_3 + \beta_7 x_1^2 + \beta_8 x_2^2 + \beta_9 x_3^2 + \varepsilon \quad (4.4)$$

Çizelge 4.2. HSST modeli regresyon katsayıları

Modeller	HSST Linear	HSST Interaction	HSST Quadratic	HSST Purequadratic
b0	-375.189	54082.15	-1197782	-852940
b1	-7.37883	-55.1197	3904.541	2578.496
b2	13.89816	-64.3944	-2969.76	-1784.39
b3		0.068635	1.710867	-1.13087
b4			-2.23261	1.292142
b5			0.739972	

Çizelge 4.3. PHST modeli regresyon katsayıları

Modeller	PHST Linear	PHST Interaction	PHST Quadratic	PHST Purequadratic
b0	-4837.49	-21331.4	407716.1	321587.4
b1	0.588996	458.4053	797.1941	0.558024
b2	8.158791	31.78772	-1221.26	-931.833
b3		-0.65551	-1.17828	-0.0007
b4			0.31994	0.676675
b5			0.91558	

Çizelge 4.4. PVST modeli regresyon katsayıları

Modeller	PVST Linear	PVST Interaction	PVST Quadratic	PVST Purequadratic
b0	1374.904	1297.942	-10719.6	1763.246
b1	-1.12254	-0.58212	42.37142	-1.0424
b2	-3.62972	1.696679	271.2258	-19.3999
b3		-0.02508	-0.51493	-0.00066
b4			-0.03788	0.169745
b5			-1.47481	

Çizelge 4.5. PYST modeli regresyon katsayıları

Modeller	PYST Linear	PYST Interaction	PYST Quadratic	PYST Purequadratic
b0	4736.748	4441.739	322623	3831.208
b1	-12.9138	-0.94821	-2538.47	-21.6805
b2	-67.1401	-60.5451	-10768.2	-21.3714
b3		-0.25933	42.55319	0.101405
b4			4.997257	-0.4803
b5			90.03	

Çizelge 4.6. VYST modeli regresyon katsayıları

Modeller	VYST Linear	VYST Interaction	VYST Quadratic	VYST Purequadratic
b0	1474.523	995.6496	-23122.3	-19099.4
b1	-0.03818	2.298603	-16.7723	-7.23905
b2	-11.8331	-3.56482	1095.184	874.3293
b3		-0.04238	0.259342	0.012314
b4			0.006856	-9.07419
b5			-12.0979	

Üç değişkenli stabilite tahmin modelleri katsayıları ve üç değişkenli modellerin regresyon katsayıları Çizelge 4.7.-Çizelge 4.8- Çizelge 4.9.'da verilmektedir.

Çizelge 4.7. PVHST modeli regresyon katsayıları

Modeller	PVHST Linear	PVHST Interaction	PVHST Quadratic	PVHST Purequadratic
b0	-4171.58	-87659.7	435525.5	340273.1
b1	-0.86638	105.3374	-19.3924	-2.12269
b2	-4.09857	1332.747	806.0934	-15.4056
b3	7.867733	126.8514	-1291.43	-982.356
b4		-0.06171	0.097617	0.00127
b5		-0.14963	0.005373	0.107548
b6		-1.89195	-1.26579	0.712756
b7			0.016362	
b8			0.499446	
b9			0.966965	

Çizelge 4.8. PVYST modeli regresyon katsayıları

Modeller	PVYST Linear	PVYST Interaction	PVYST Quadratic	PVYST Purequadratic
b0	4819.776	20016.19	-24301.8	-26884.9
b1	0.084665	-2.15018	-123.22	-16.0092
b2	-12.9497	-263.861	-490.98	-21.2947
b3	-69.3167	-423.993	2299.632	1349.787
b4		-0.22209	0.457482	0.025732
b5		0.219463	1.805135	0.037784
b6		6.304963	3.521599	-14.5897
b7			0.024774	
b8			1.935733	
b9			-31.269	

Çizelge 4.9. VYSST modeli regresyon katsayıları

Modeller	VYSST Linear	VYSST Interaction	VYSST Quadratic	VYSST Purequadratic
b0	-3058.77	990.3705	380712.4	-430829
b1	-0.08556	-167.572	-180.166	-8.1716
b2	-9.26895	1025.522	1367.869	895.1195
b3	3.865102	1.259933	-674.296	716.3636
b4		0.061879	0.10135	0.013691
b5		0.143832	0.146226	-9.24373
b6		-0.92413	-0.44609	-0.31194
b7			0.012962	
b8			-9.17868	
b9			0.284847	

Dört değişkenli stabilite tahmin modelleri regresyon katsayıları Çizelge 4.10. ve Çizelge 4.11.'de verilmektedir.

Çizelge 4.10. PVYHST modeli regresyon katsayıları

Modeller	PVYHST Linear	PVYHST Interaction	PVYHST Quadratic	PVYHST Purequadratic
b0	-1201.6	-118841	435806.1	298022.6
b1	0.049565	56.99872	-156.362	-13.0165
b2	-11.2556	1157.076	1684.522	-16.6545
b3	-53.4274	851.5112	8756.207	975.6706
b4	7.421238	193.4321	-1902.54	-919.488
b5		-0.165	1.438817	0.020509
b6		0.261588	1.833144	0.006696
b7		-0.09152	-0.0986	-10.5739
b8		4.277912	-44.5747	0.667071
b9		-1.91379	0.170637	
b10		-1.69535	8.998799	
b11			0.121876	
b12			-0.54493	
b13			-139.394	
b14			1.065921	

Çizelge 4.11. PVYSST modeli regresyon katsayıları

Modeller	PVYSST Linear	PVYSST Interaction	PVYSST Quadratic	PVYSST Purequadratic
b0	225.4327	-710899	-1120212	-207205
b1	0.038298	-128.292	-360.522	-18.5686
b2	-13.1927	2995.869	4167.831	-9.59989
b3	-67.7609	12294.44	24302.93	1257.94
b4	3.970665	642.369	856.628	315.6873
b5		-0.18876	1.052159	0.029631
b6		0.43192	6.44669	-0.13329
b7		0.09948	0.004131	-13.729



Çizelge 4.11. (Devamı) PVYSST modeli regresyon katsayıları

Modeller	PVYSST Linear	PVYSST Interaction	PVYSST Quadratic	PVYSST Purequadratic
b8		6.509343	-20.136	-0.13613
b9		-2.86783	-3.13722	
b10		-11.1769	-10.0042	
b11			-0.01225	
b12			0.967182	
b13			-142.177	
b14			-0.1011	

Beş değişkenli stabilite tahmin modelleri regresyon katsayıları Çizelge 4.12.'de verilmektedir.

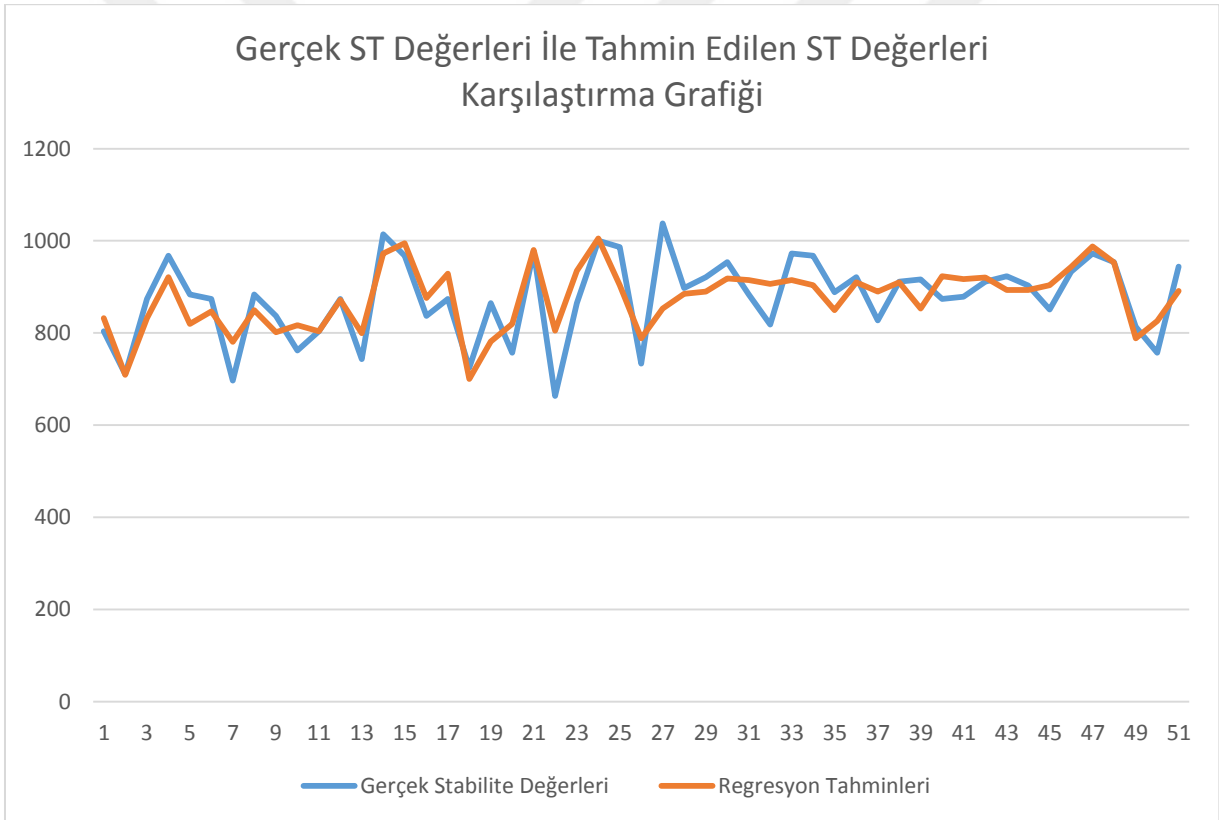
Çizelge 4.12. PVYHSST modeli regresyon katsayıları

Modeller	PVYHSST Linear	PVYHSST Interaction	PVYHSST Quadratic	PVYHSST Purequadratic
b0	1880.382	585195	-2593530	-854697
b1	0.09833	-172.432	-524.118	-5.21609
b2	-9.70783	-37.7388	6090.508	-9.78423
b3	-44.9413	-327.81	34650.45	300.6767
b4	-6.24419	-167.941	5925.997	2592.819
b5	12.52741	-1291.45	-4866.56	-1819.33
b6		-0.0631	0.614406	0.00832
b7		0.504724	6.082548	0.011134
b8		0.236583	0.368828	-3.40167
b9		-0.17412	-0.29613	-1.1368
b10		2.592351	-72.0909	1.317115
b11		-0.27126	-4.63985	
b12		0.326201	4.568489	
b13		-7.23956	-32.8349	
b14		11.90445	37.62681	
b15		0.656314	0.739291	
b16			-0.03446	
b17			-7.22284	
b18			-224.122	
b19			-2.07552	
b20			1.487547	

Gerçek değerler ile oluşturulan regresyon modelleri içerisinde en iyi sonuçları quadratic regresyon ile PVYHS-ST modeli vermektedir. Bu modelin korelasyon katsayısı, yüzde hata ortalaması ve hataların kareleri ortalaması değerleri sırasıyla 0.77-5.08 ve 3072.130 olarak saptanmaktadır.

#### 4.1.2. Gerçek Stabilite Değerleri İle En İyi Tahmin Modeli Sonucunun Karşılaştırılması

Linear, Interaction, Quadratic ve Purequadratic regresyon teknikleri kullanılarak, 11 adet tahmin modeli ile 44 adet performans değerleri sonucunda en iyi sonuç değerlerini Quadratic regresyon tekniği ile beş değişkenli model olan PVYHS-ST tahmin modelinin verdiği görülmektedir. Bu modelin tahmin ettiği sonuçların gerçek değerler ile karşılaştırılması Şekil 4.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Gerçek ST değerleri ile en iyi regresyon tahmin modelinin ST değerleri karşılaştırılma grafiği

Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi en iyi regresyon modelinin bazı numunelerin gerçek ST değerlerine yaklaşımda iyi bir performans göstermektedir. 1-25 numuneleri arasında regresyon tahminleri gerçek değerlerle oldukça yakın bir ilişki içerisinde olduğu

görülmektedir. 25-35 numuneleri arasında regresyon tahminleri gerçek değerlerden uzaklaşmakta ancak 35. Numuneden sonra yaklaşımlar tekrar iyileşmektedir.

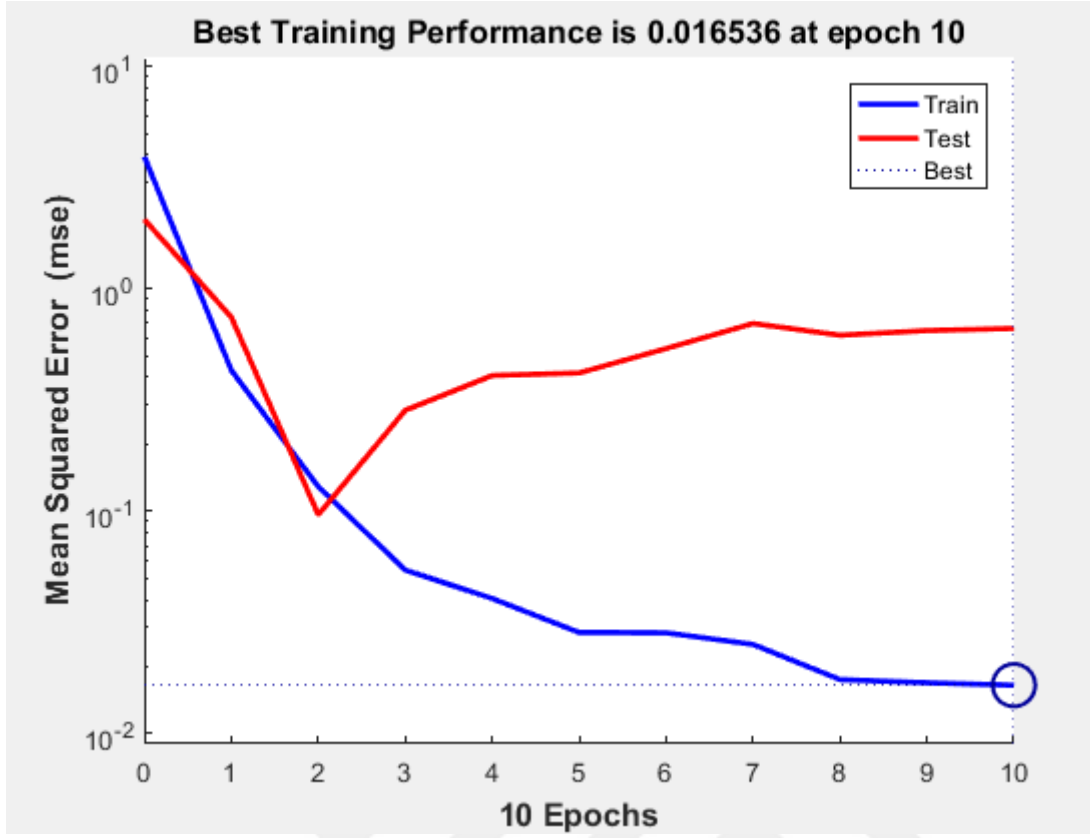
## **4.2. Gerçek Değerler Kullanılarak YSA Metodu ile ST Analizi**

YSA tahmin modelleri oluşturulurken penetrasyon, viskozite, yumuşama noktası, numunenin sudaki ağırlığı ve numunenin havadaki ağırlığı bağımsız değişkenleri kullanılarak stabilite tahmin modelleri oluşturulmaktadır. 51 adet numune üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen değerlerden 36 tanesi eğitim 15 tanesi ise test verisi olarak belirlenmektedir. Oluşturulan tahmin modelleri modelin yapısındaki gizli katmanlarda farklı nöron sayılarına sahip olmasıyla birlikte farklı öğrenim algoritmaları ile eğitilmekte olup farklı transfer fonksiyonlarından geçirilmektedir. Ayrıca performans fonksiyonlardan hataların kareleri ortalaması değerlerinden yararlanılmaktadır. YSA tekniği ile oluşturulan stabilite tahmin modelleri performans sonuçları aşağıda sunulmaktadır.

### **4.2.1. Stabilite Tahmin Modellerinin Eğitim Süreci ve Korelasyon Katsayılarının Belirlenmesi**

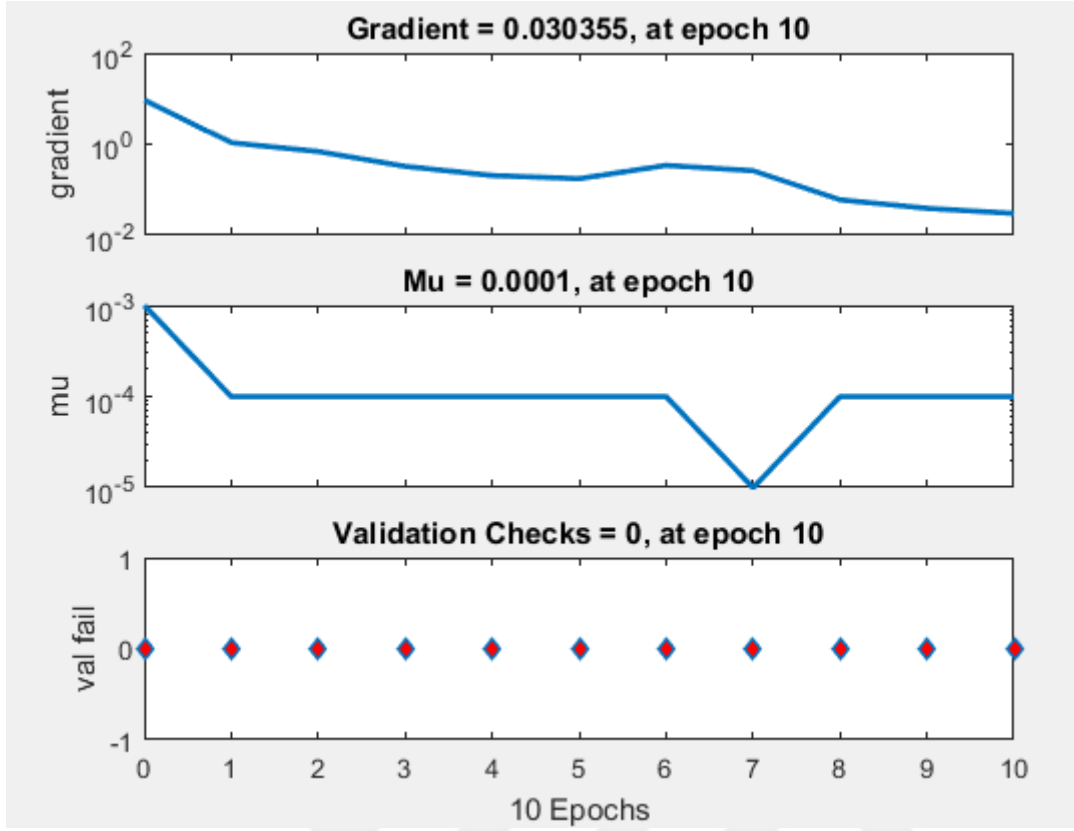
#### **a. HS-ST MODELİ**

Bitümün havadaki ağırlığı ve bitümün sudaki ağırlığı değerleriyle oluşturulan stabilite tahmin modelinin eğitim süreci Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Modellerin performans değerleri karşılaştırılırken hataların kareleri ortalaması (HKO) kıstas olarak önemli bir kriter olmaktadır. HS-ST modelinin eğitim sürecindeki HKO değeri 7245.013 olarak saptanmaktadır. Bu değer analiz sırasında normalize edilmiş olduğu için excel programı yardımıyla hesaplanmaktadır. Ayrıca bu modelin ortalama yüzde hata değeri 5.33'tür.



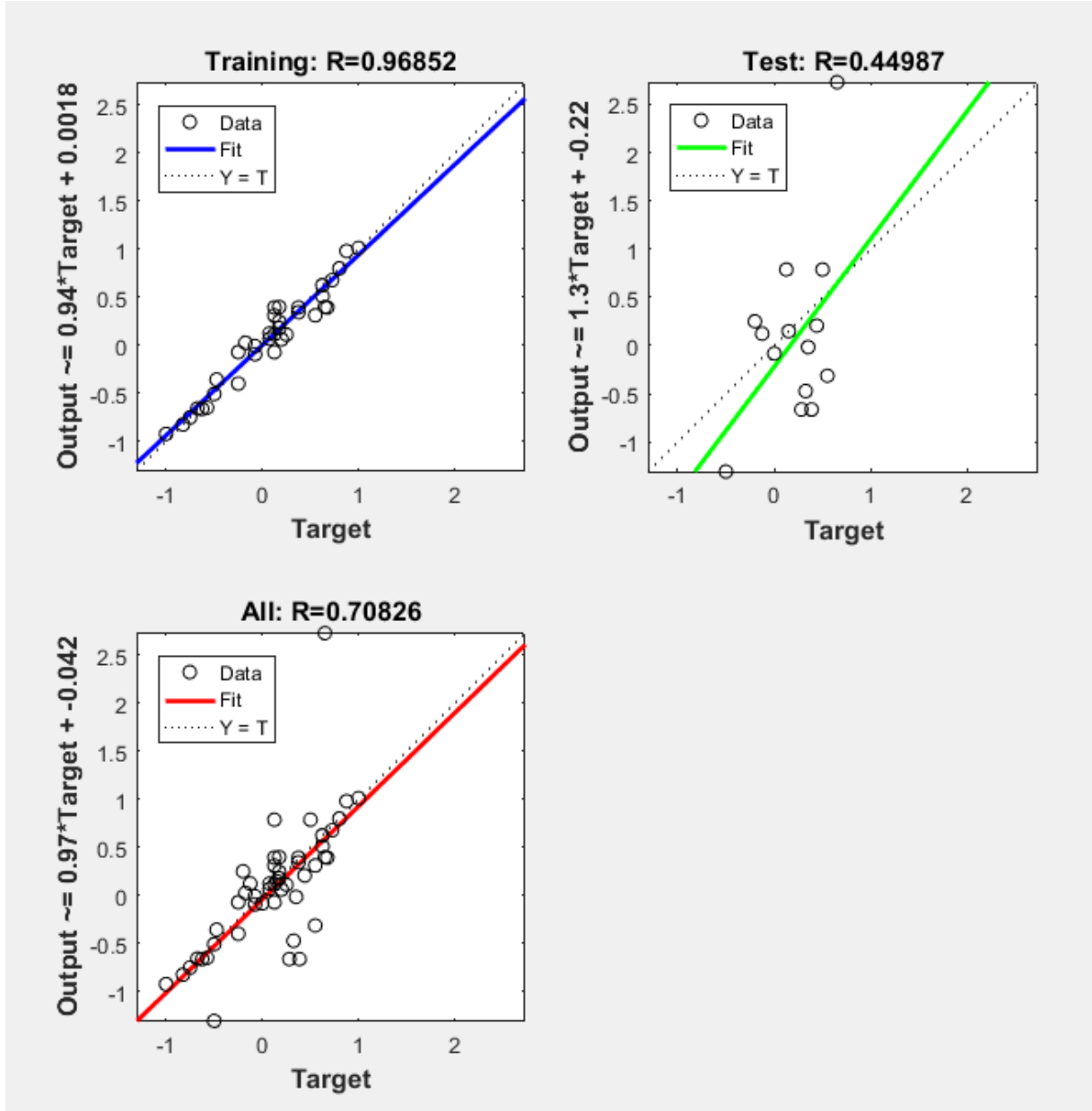
Şekil 4.2. HS-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi

Şekil 4.3.'te HS-ST modelinin eğitim sürecindeki kullanılan parametreler (Gradient, Mu) ve geçerlilik veri seti eğrilerinin değişim grafiklerini gösterilmektedir.



Şekil 4.3. HS-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi

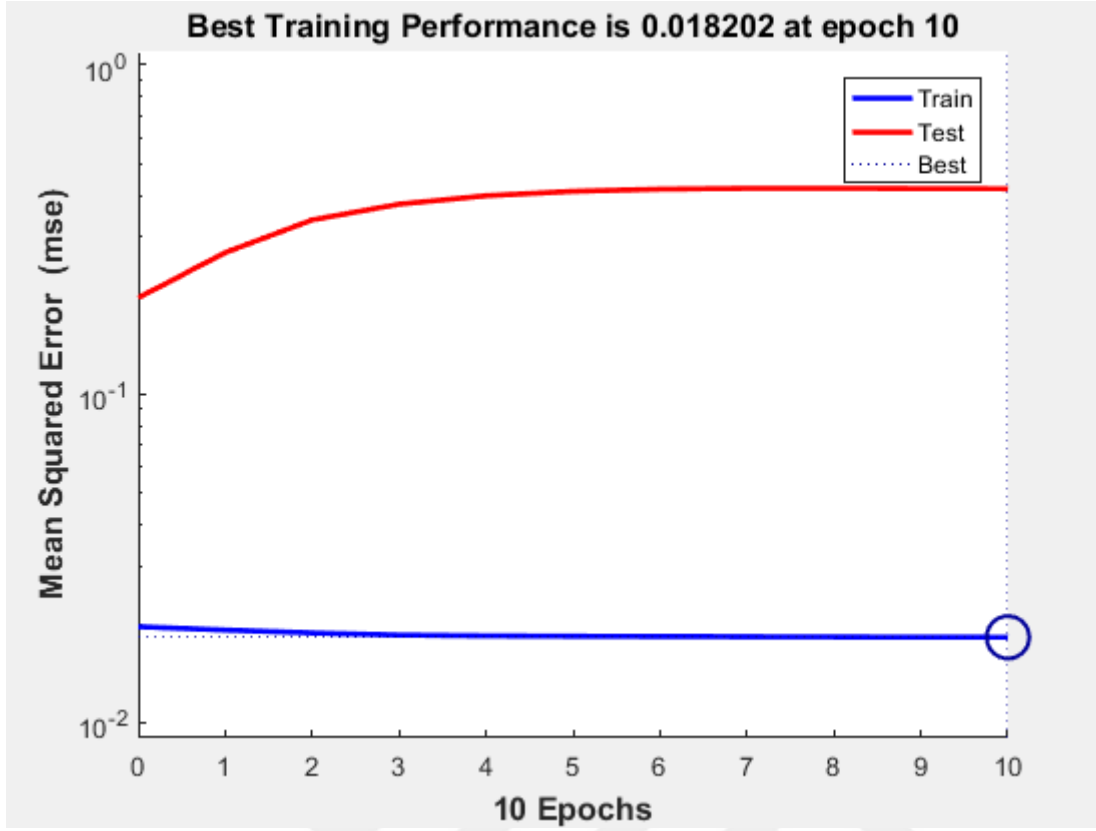
Şekil 4.4.'te eğitilen HS-ST modelinin eğitim ve test verilerinde elde edilen sonuçlarının dağılım grafiği kullanılarak gerçek değerlerle karşılaştırılması gösterilmektedir. Oluşturulan modelin tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki ilişim gösterilmektedir. Her veri seti için farklı ilişim katsayıları belirlenmektedir. Bu yolla eğitim sürecinin iyi bir performansla gerçekleşip gerçekleşmediği değerlendirilebilmektedir. Eğitim sürecinde en iyi HS-ST modelinde elde edilen korelasyon katsayıları eğitim, test ve toplam olmak üzere elde edilmektedir. Eğitim ve test verilerindeki korelasyon katsayıları sırasıyla  $R=0.96852$  ve  $R=0.44987$  olarak saptanmaktadır. Eğitim ve test verileri toplam olarak dikkate alındığında ise korelasyon katsayı  $R=0.70826$  olmaktadır.



Şekil 4.4. HS-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması

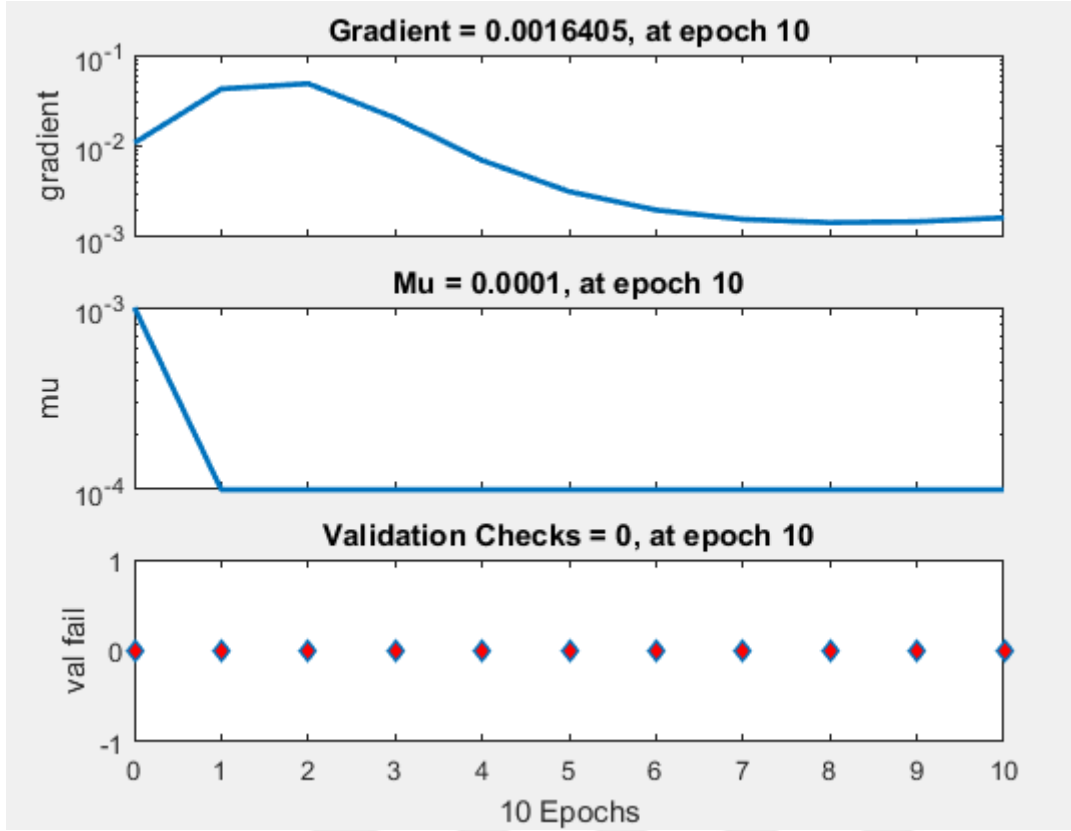
## b. PH-ST MODELİ

Penetrasyon değeri ve bitümün havadaki ağırlığı değerleriyle oluşturulan stabilite tahmin modelinin eğitim süreci Şekil 4.5.'te gösterilmektedir. Modellerin performans değerleri karşılaştırılırken hataların kareleri ortalaması (HKO) kıstas olarak önemli bir kriter olmaktadır. PH-ST modelinin eğitim sürecindeki HKO değeri 4773.092 olarak saptanmaktadır. Bu değer analiz sırasında normalize edilmiş olduğu için excel programı yardımıyla hesaplanmaktadır. Ayrıca bu modelin ortalama yüzde hata değeri 3.97'dir.



Şekil 4.5. PH-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi

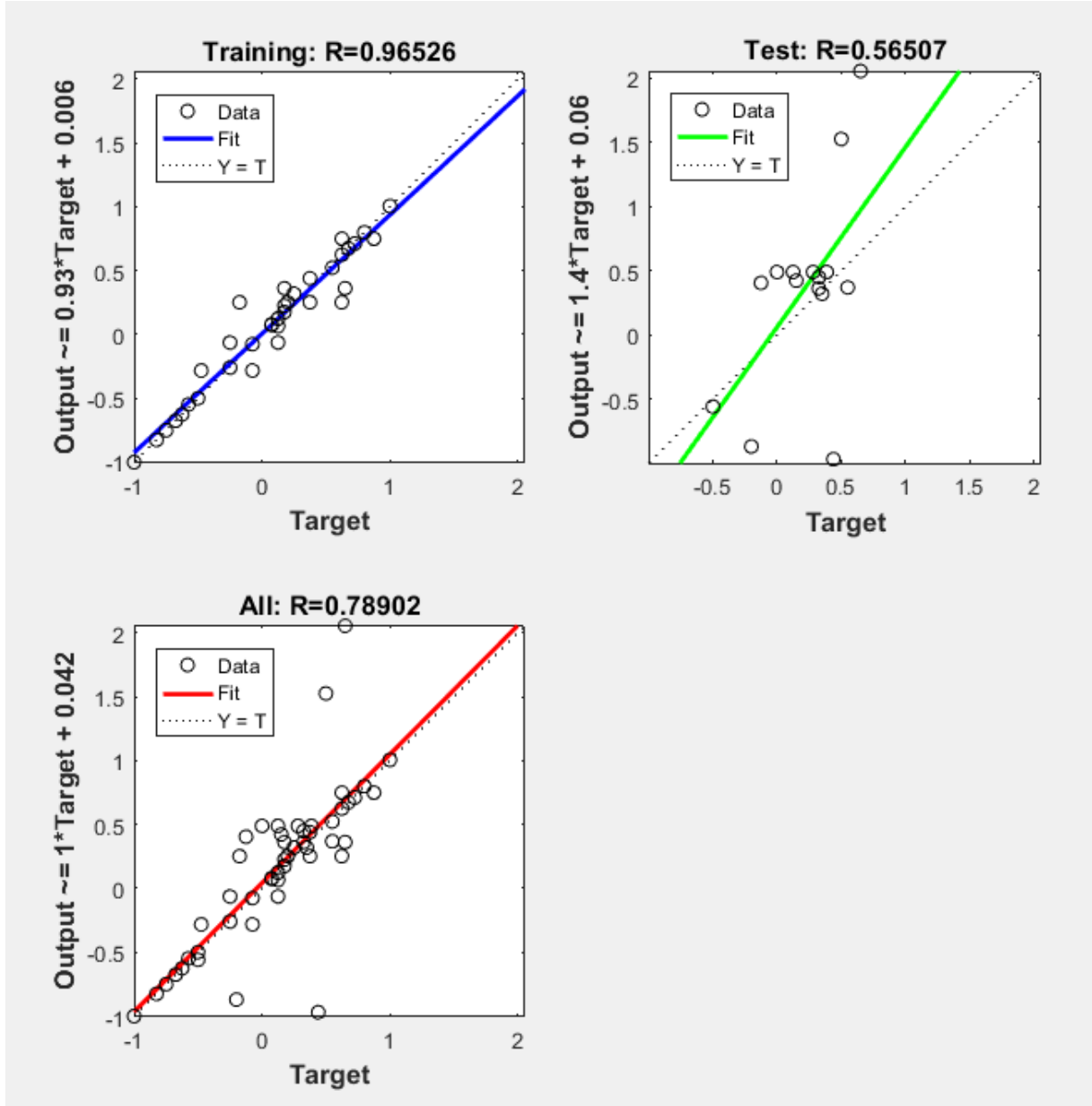
Şekil 4.6.'da PH-ST modelinin eğitim sürecindeki kullanılan parametreler (Gradient, Mu) ve geçerlilik veri seti eğrilerinin değişim grafiklerini gösterilmektedir.



Şekil 4.6. PH-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi

Şekil 4.7.'de eğitilen PH-ST modelinin eğitim ve test verilerinde elde edilen sonuçlarının dağılım grafiği kullanılarak gerçek değerlerle karşılaştırılması gösterilmektedir. Oluşturulan modelin tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki ilişki gösterilmektedir. Her veri seti için farklı ilişki katsayıları belirlenmektedir. Bu yolla eğitim sürecinin iyi bir performansla gerçekleşip gerçekleşmediği değerlendirilebilmektedir. Eğitim sürecinde en iyi PH-ST modelinde elde edilen korelasyon katsayıları eğitim, test ve toplam olmak üzere elde edilmektedir. Eğitim ve test verilerindeki korelasyon katsayıları sırasıyla  $R=0.96526$  ve  $R=0.56507$  olarak saptanmaktadır. Eğitim ve test verileri toplam olarak dikkate alındığında ise korelasyon katsayısı  $R=0.78902$  olmaktadır.

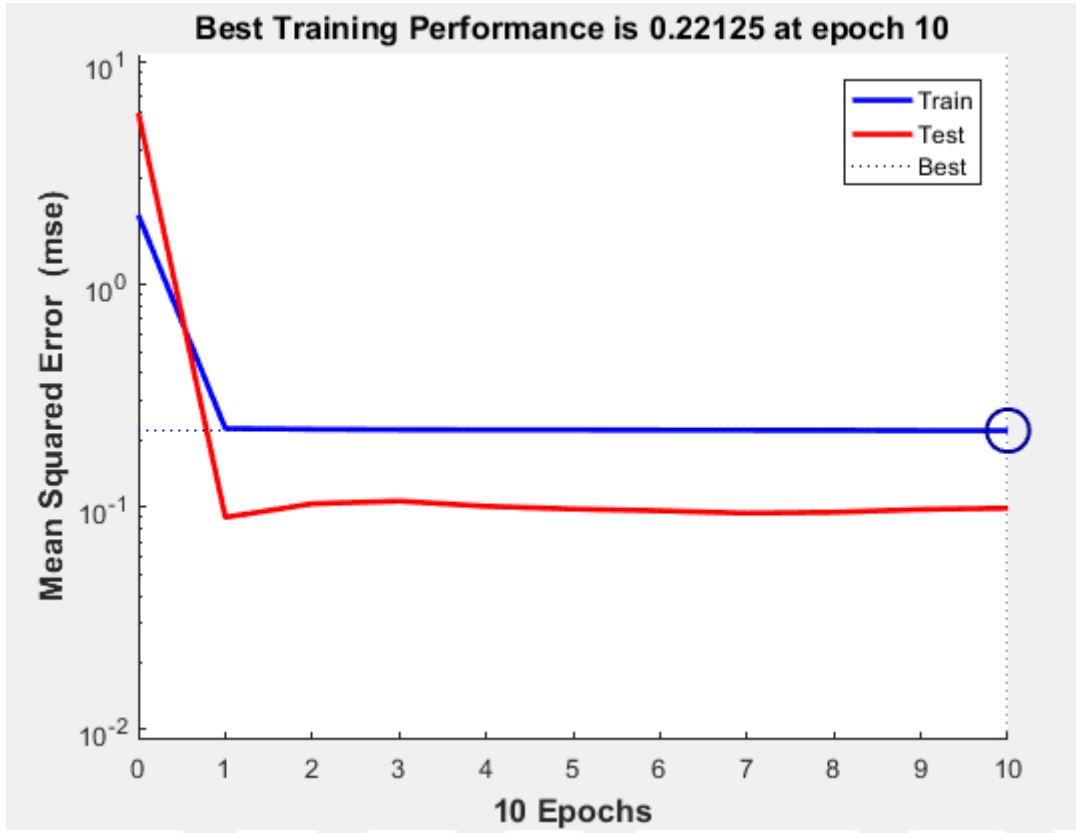




Şekil 4.7. PH-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması

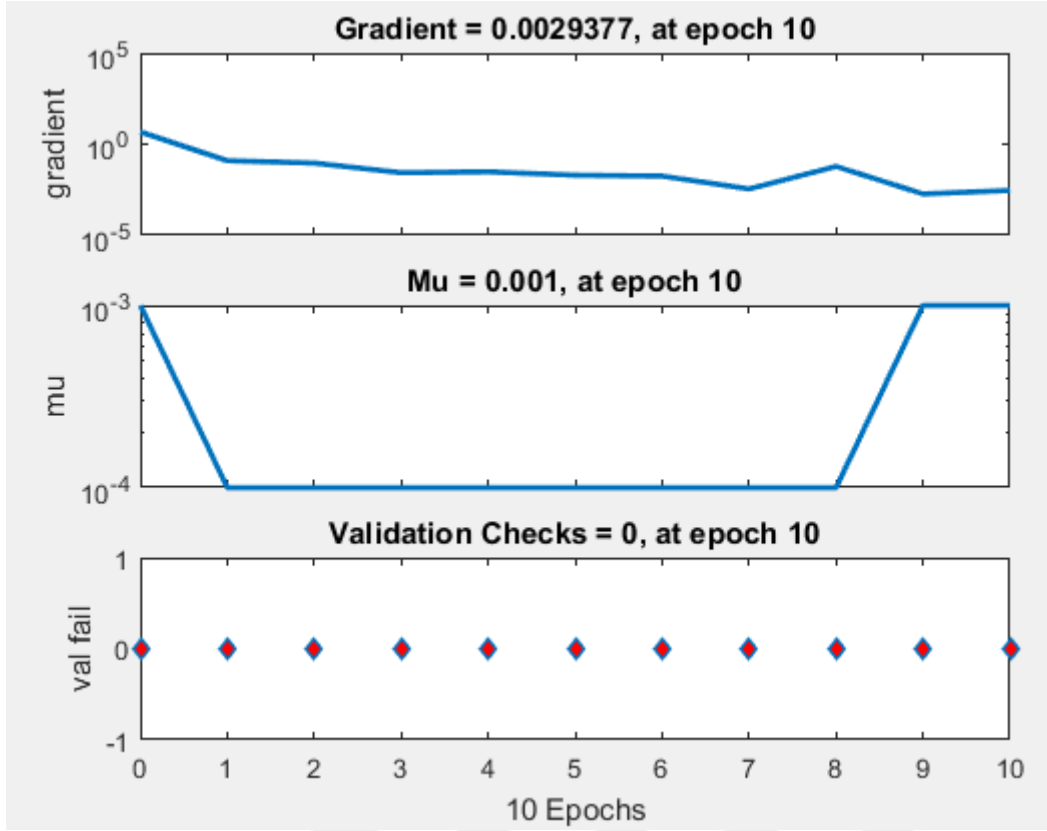
### c. PV-ST MODELİ

Penetrasyon değeri ve viskozite değerleriyle oluşturulan stabilite tahmin modelinin eğitim süreci Şekil 4.8.'te gösterilmektedir. Modellerin performans değerleri karşılaştırılırken hataların kareleri ortalaması (HKO) kıstas olarak önemli bir kriter olmaktadır. PV-ST modelinin eğitim sürecindeki HKO değeri 6488.188 olarak saptanmaktadır. Bu değer analiz sırasında normalize edilmiş olduğu için excel programı yardımıyla hesaplanmaktadır. Ayrıca bu modelin ortalama yüzde hata değeri 7.45'tir.



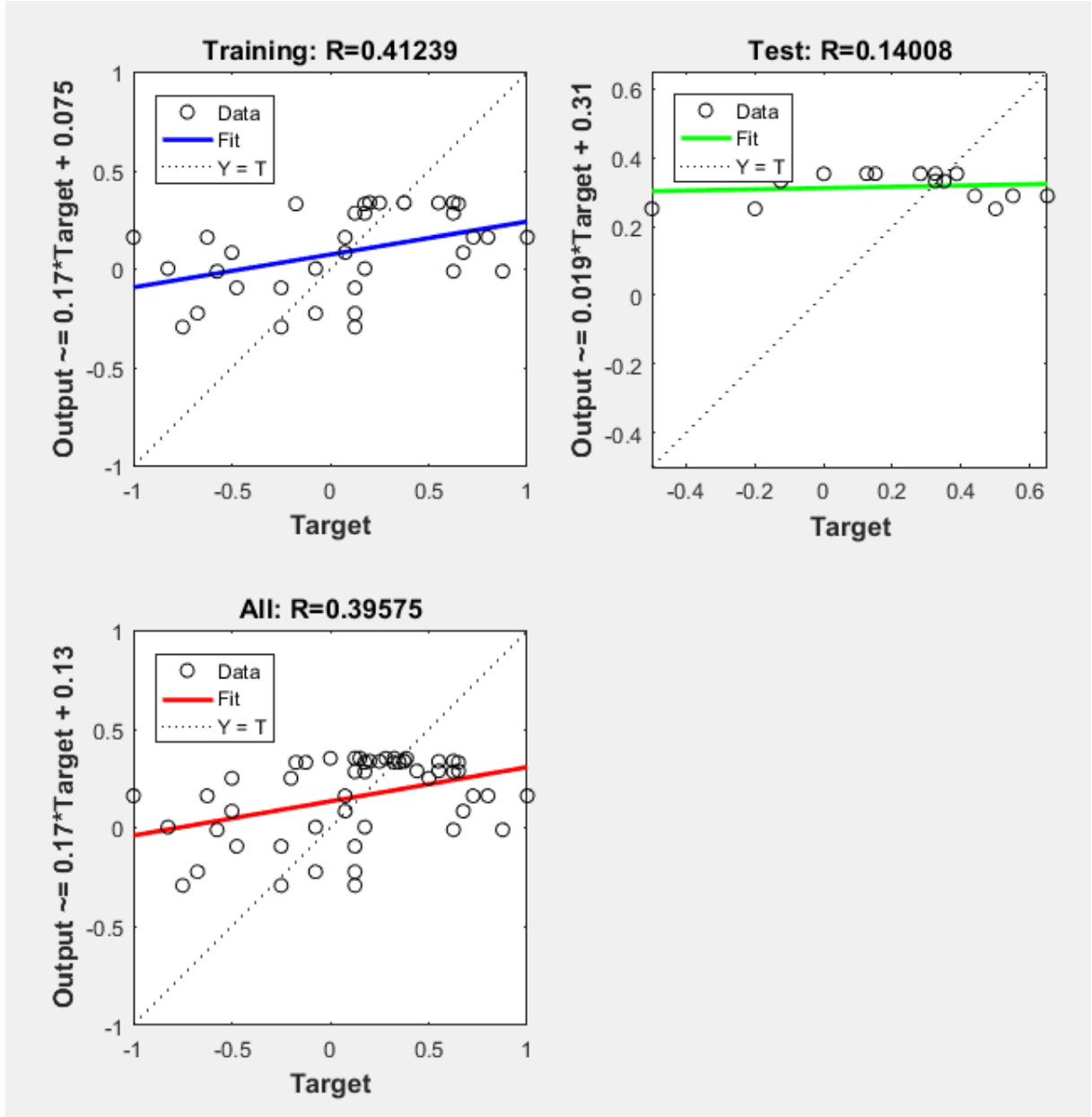
Şekil 4.8. PV-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi

Şekil 4.9.'da PV-ST modelinin eğitim sürecindeki kullanılan parametreler (Gradient, Mu) ve geçerlilik veri seti eğrilerinin değişim grafiklerini gösterilmektedir.



Şekil 4.9. PV-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi

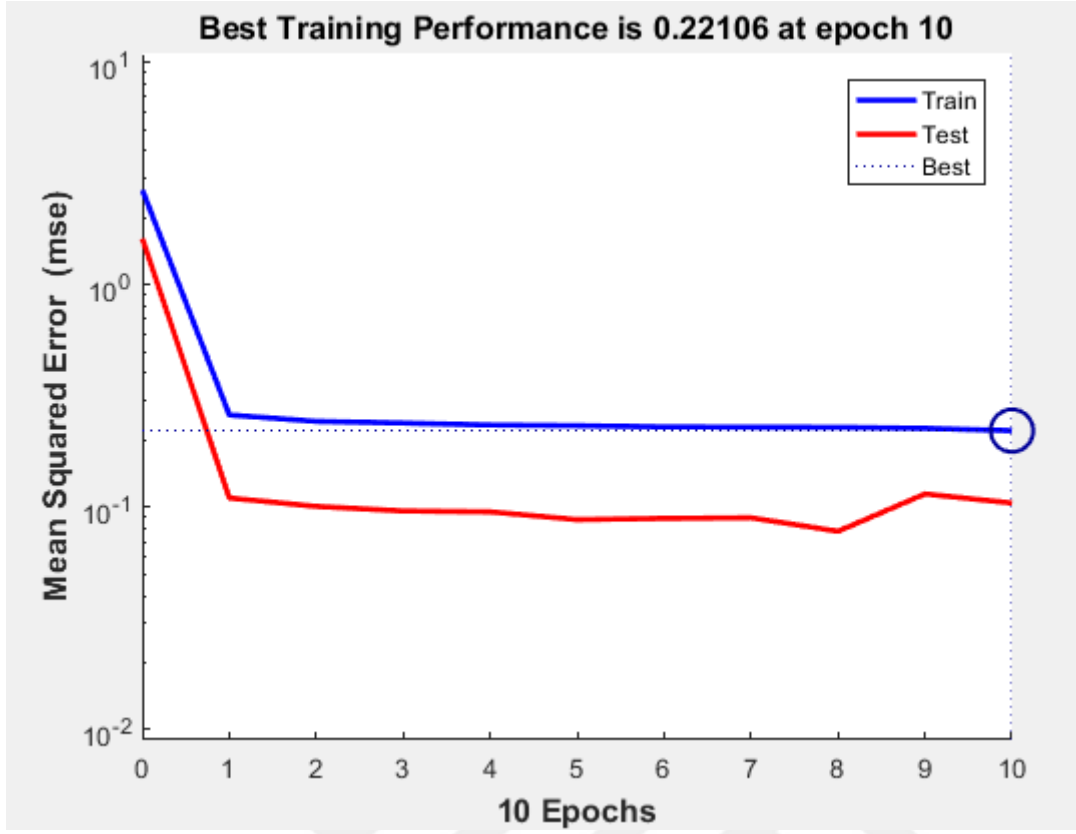
Şekil 4.10.'da eğitilen PV-ST modelinin eğitim ve test verilerinde elde edilen sonuçlarının dağılım grafiği kullanılarak gerçek değerlerle karşılaştırılması gösterilmektedir. Oluşturulan modelin tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki ilişim gösterilmektedir. Her veri seti için farklı ilişim katsayıları belirlenmektedir. Bu yolla eğitim sürecinin iyi bir performansla gerçekleşip gerçekleşmediği değerlendirilebilmektedir. Eğitim sürecinde en iyi PV-ST modelinde elde edilen korelasyon katsayıları eğitim, test ve toplam olmak üzere elde edilmektedir. Eğitim ve test verilerindeki korelasyon katsayıları sırasıyla  $R=0.41239$  ve  $R=0.14008$  olarak saptanmaktadır. Eğitim ve test verileri toplam olarak dikkate alındığında ise korelasyon katsayı  $R=0.39575$  olmaktadır.



Şekil 4.10. PV-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması

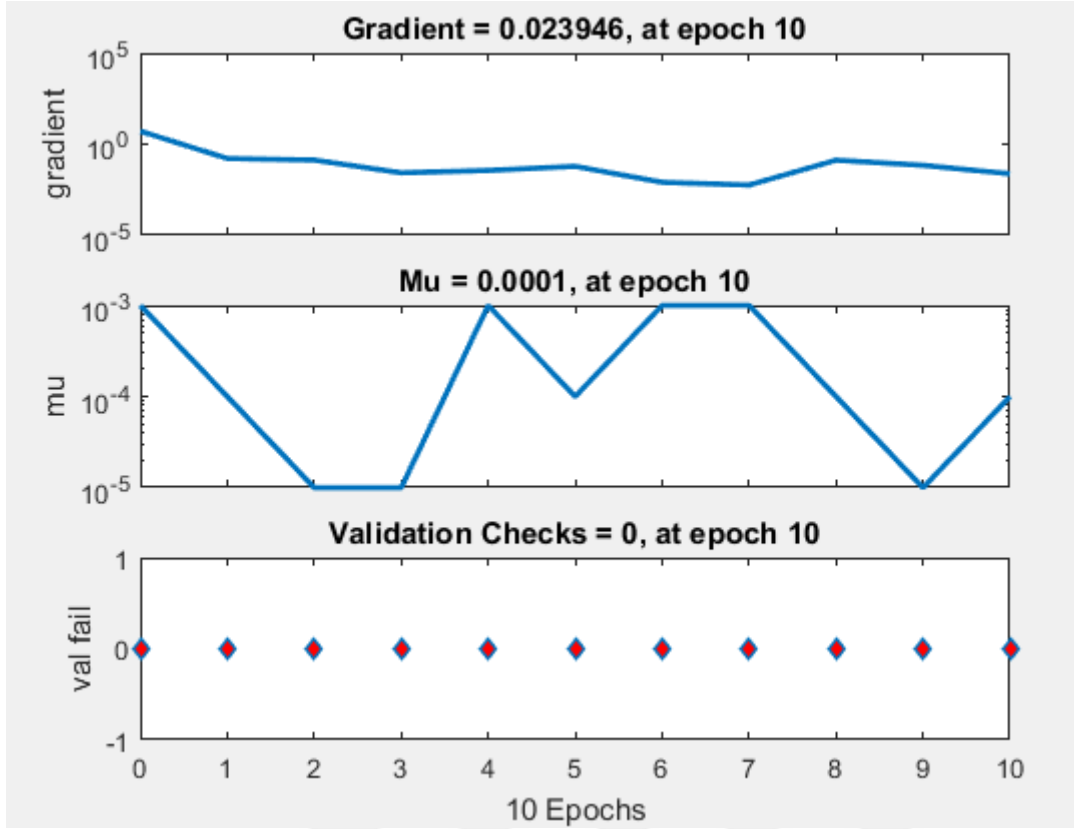
#### d. PY-ST MODELİ

Penetrasyon değeri ve yumuşama noktası değerleriyle oluşturulan stabilite tahmin modelinin eğitim süreci Şekil 4.11.'de gösterilmektedir. Modellerin performans değerleri karşılaştırılırken hataların kareleri ortalaması (HKO) kıstas olarak önemli bir kriter olmaktadır. PY-ST modelinin eğitim sürecindeki HKO değeri 6538.678 olarak saptanmaktadır. Bu değer analiz sırasında normalize edilmiş olduğu için excel programı yardımıyla hesaplanmaktadır. Ayrıca bu modelin ortalama yüzde hata değeri 7.36'dır.



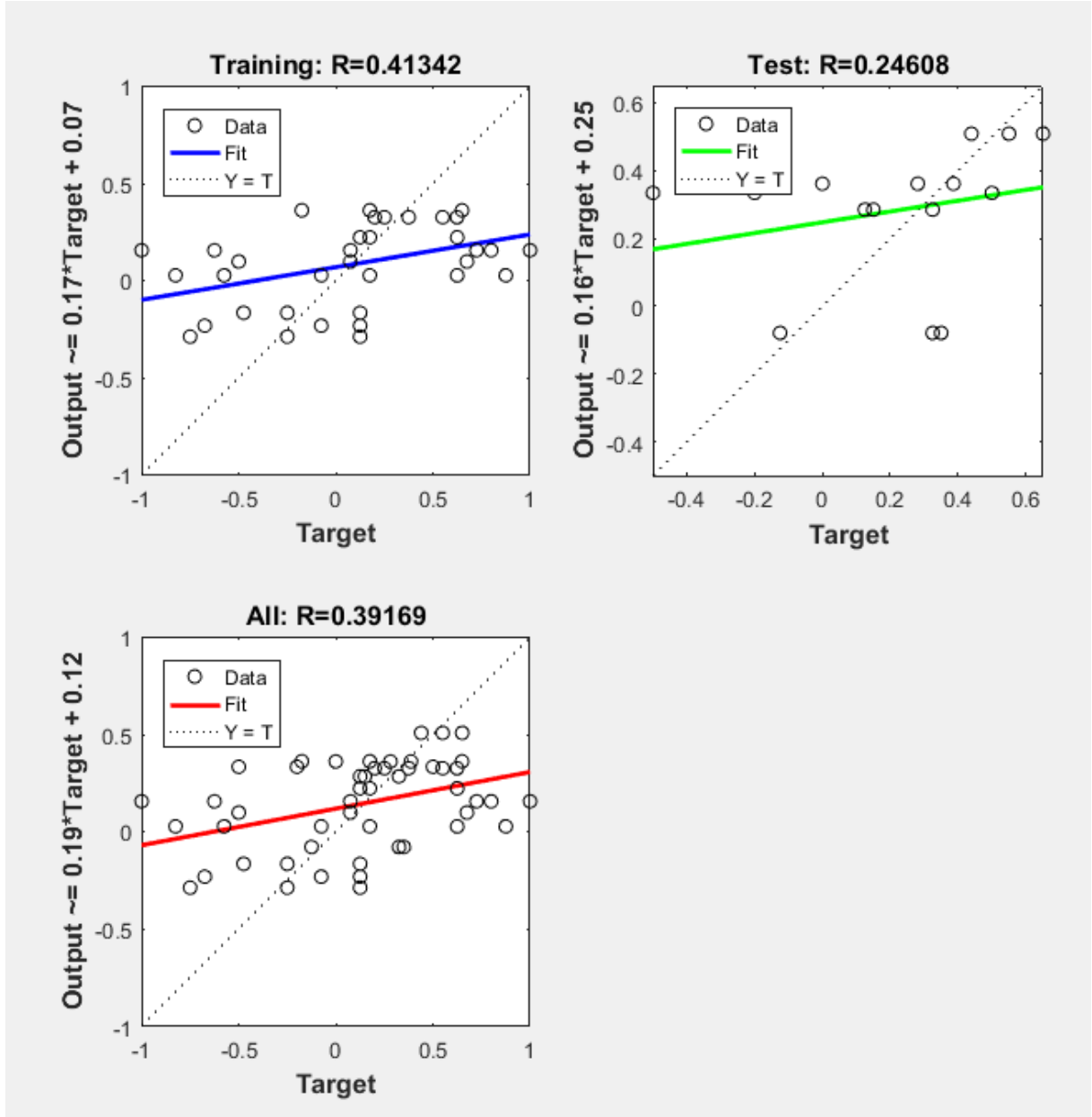
Şekil 4.11 PY-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi

Şekil 4.12.'de PY-ST modelinin eğitim sürecindeki kullanılan parametreler (Gradient, Mu) ve geçerlilik veri seti eğrilerinin değişim grafiklerini gösterilmektedir.



Şekil 4.12. PY-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi

Şekil 4.13.'te eğitilen PY-ST modelinin eğitim ve test verilerinde elde edilen sonuçlarının dağılım grafiği kullanılarak gerçek değerlerle karşılaştırılması gösterilmektedir. Oluşturulan modelin tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki ilişki gösterilmektedir. Her veri seti için farklı ilişki katsayıları belirlenmektedir. Bu yolla eğitim sürecinin iyi bir performansla gerçekleşip gerçekleşmediği değerlendirilebilmektedir. Eğitim sürecinde en iyi PY-ST modelinde elde edilen korelasyon katsayıları eğitim, test ve toplam olmak üzere elde edilmektedir. Eğitim ve test verilerindeki korelasyon katsayıları sırasıyla  $R=0.41342$  ve  $R=0.24608$  olarak saptanmaktadır. Eğitim ve test verileri toplam olarak dikkate alındığında ise korelasyon katsayısı  $R=0.39169$  olmaktadır.



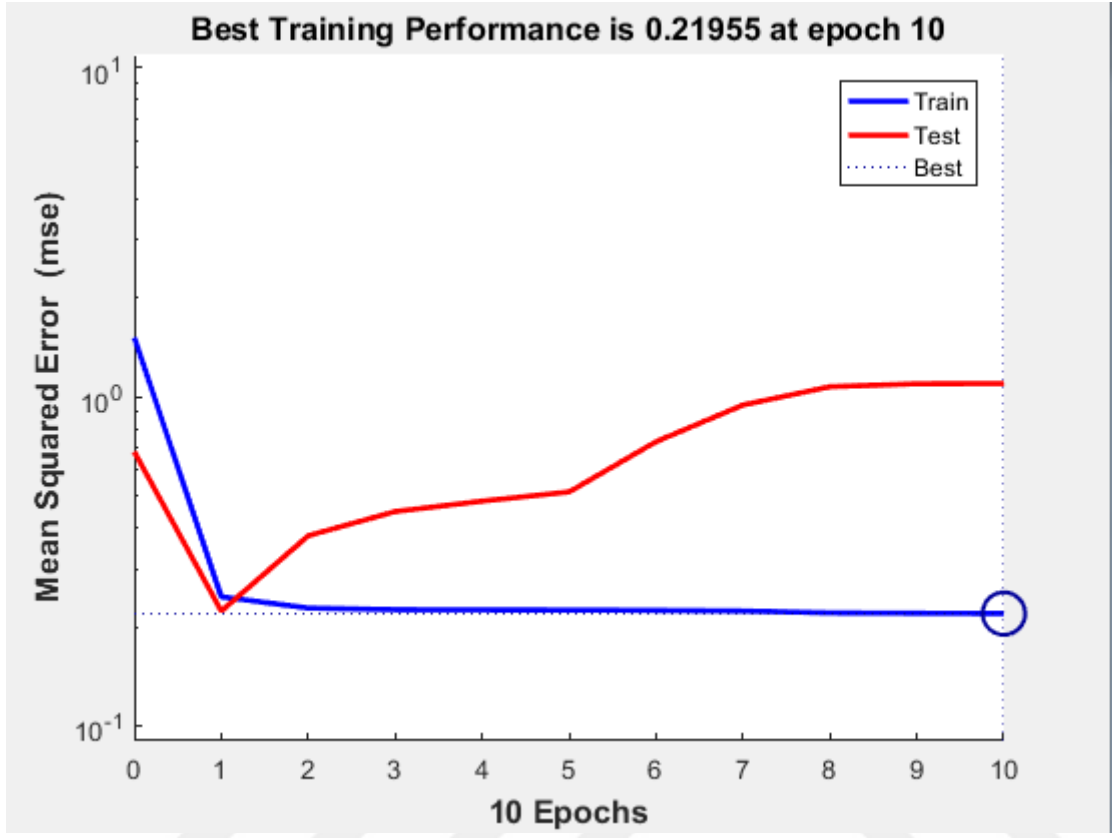
Şekil 4.13. PY-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim

setine göre karşılaştırılması

#### e. VY-ST MODELİ

Viskozite değeri ve yumuşama noktası değerleriyle oluşturulan stabilite tahmin modelinin eğitim süreci Şekil 4.14.'te gösterilmektedir. Modellerin performans değerleri karşılaştırılırken hataların kareleri ortalaması (HKO) kıstas olarak önemli bir kriter olmaktadır. VY-ST modelinin eğitim sürecindeki HKO değeri 16728.61 olarak

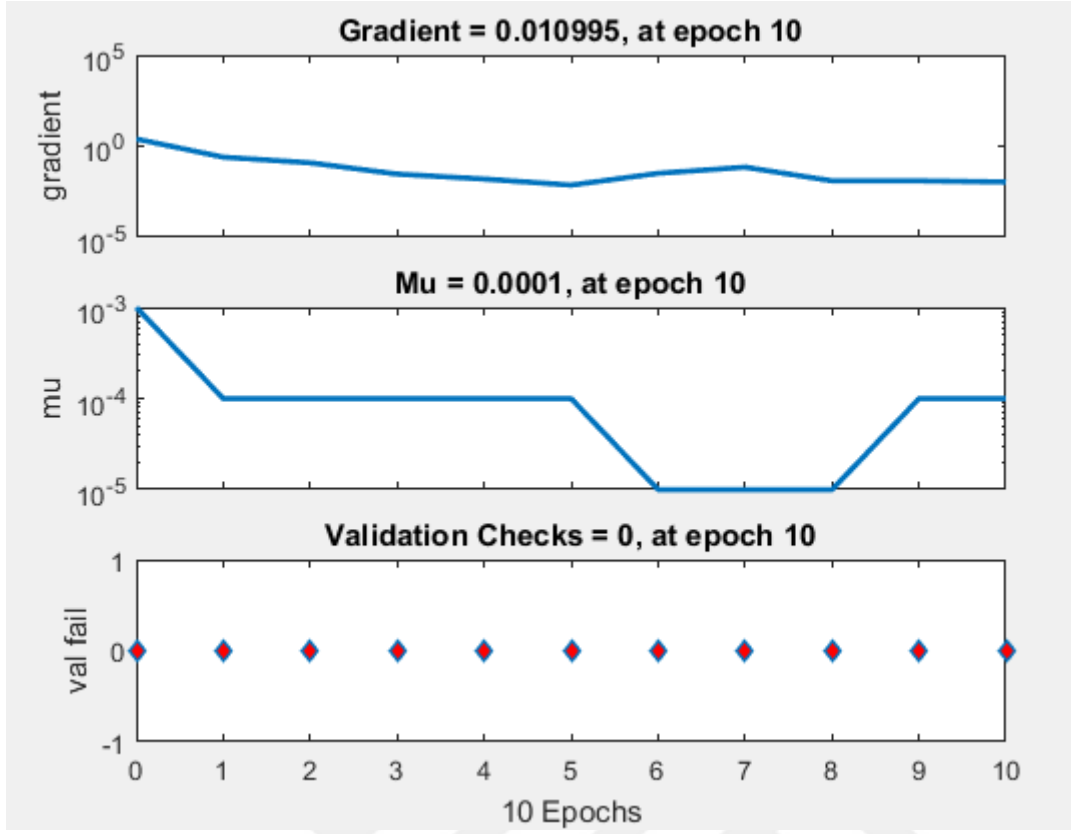
saptanmaktadır. Bu değer analiz sırasında normalize edilmiş olduğu için excel programı yardımıyla hesaplanmaktadır. Ayrıca bu modelin ortalama yüzde hata değeri 11.65'tir.



şekil 4.14. VY-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gsterilmesi

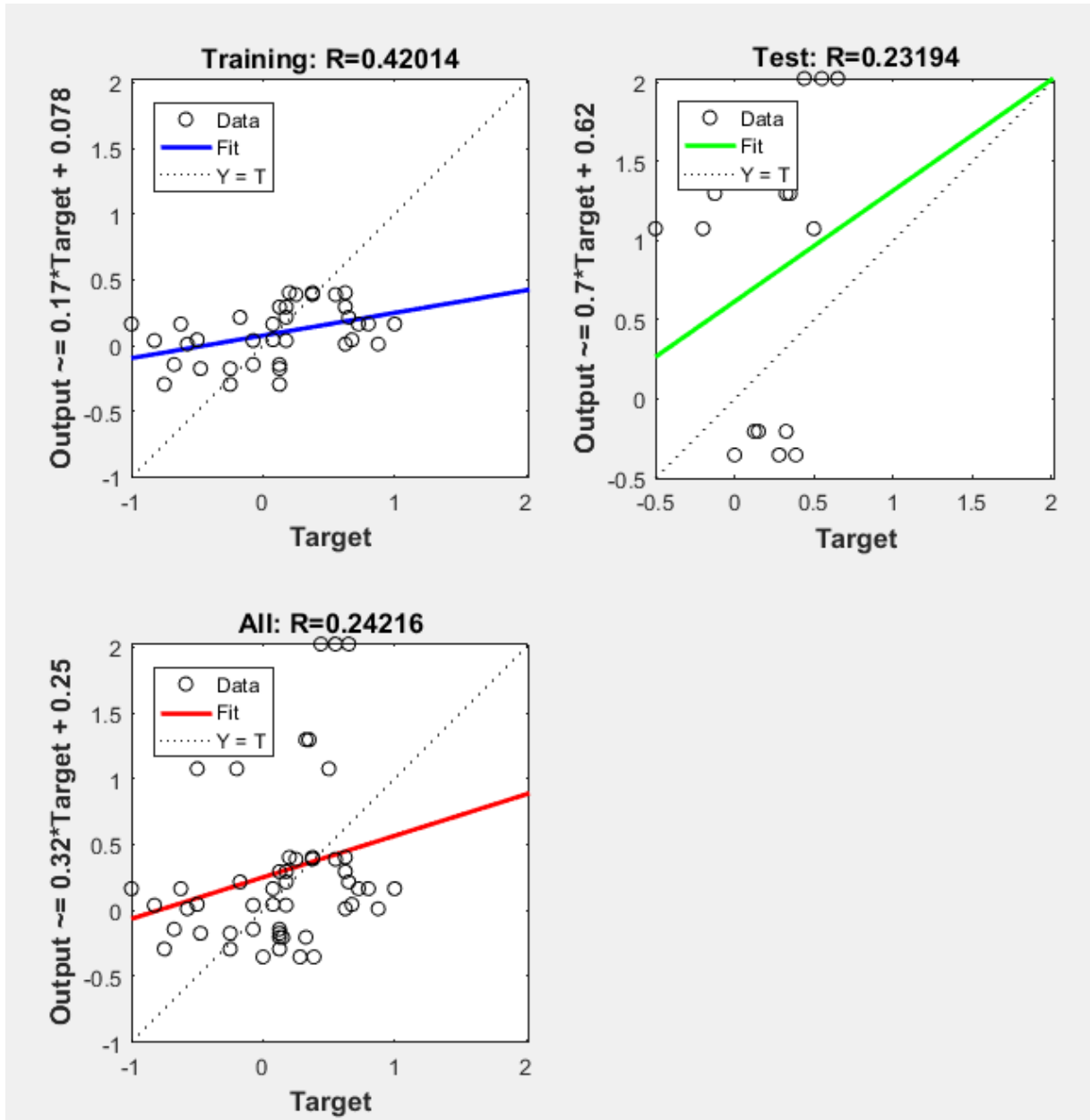
şekil 4.15.'te VY-ST modelinin eğitim sürecindeki kullanılan parametreler (Gradient, Mu) ve geçerlilik veri seti eğrilerinin değişim grafiklerini gsterilmektedir.





Şekil 4.15. VY-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi

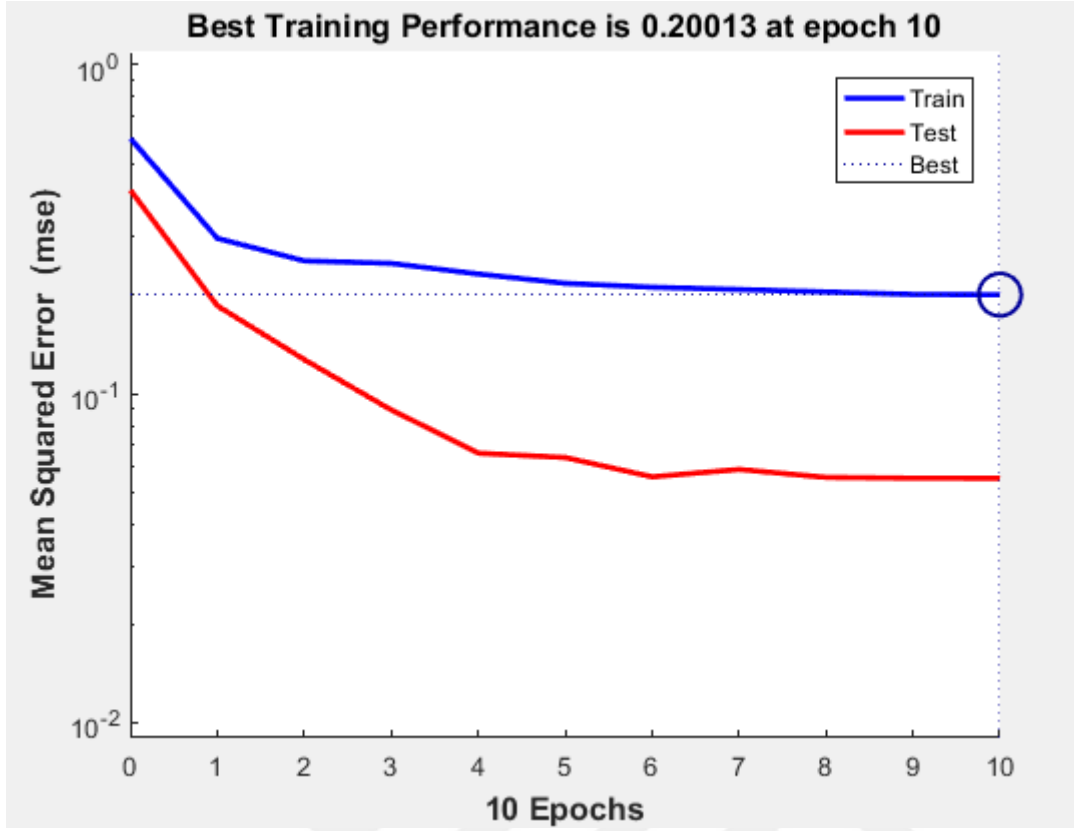
Şekil 4.16.'da eğitilen VY-ST modelinin eğitim ve test verilerinde elde edilen sonuçlarının dağılım grafiği kullanılarak gerçek değerlerle karşılaştırılması gösterilmektedir. Oluşturulan modelin tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki ilişim gösterilmektedir. Her veri seti için farklı ilişim katsayıları belirlenmektedir. Bu yolla eğitim sürecinin iyi bir performansla gerçekleşip gerçekleşmediği değerlendirilebilmektedir. Eğitim sürecinde en iyi VY-ST modelinde elde edilen korelasyon katsayıları eğitim, test ve toplam olmak üzere elde edilmektedir. Eğitim ve test verilerindeki korelasyon katsayıları sırasıyla  $R=0.42014$  ve  $R=0.23194$  olarak saptanmaktadır. Eğitim ve test verileri toplam olarak dikkate alındığında ise korelasyon katsayısı  $R=0.24216$  olmaktadır.



Şekil 4.16. VY-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması

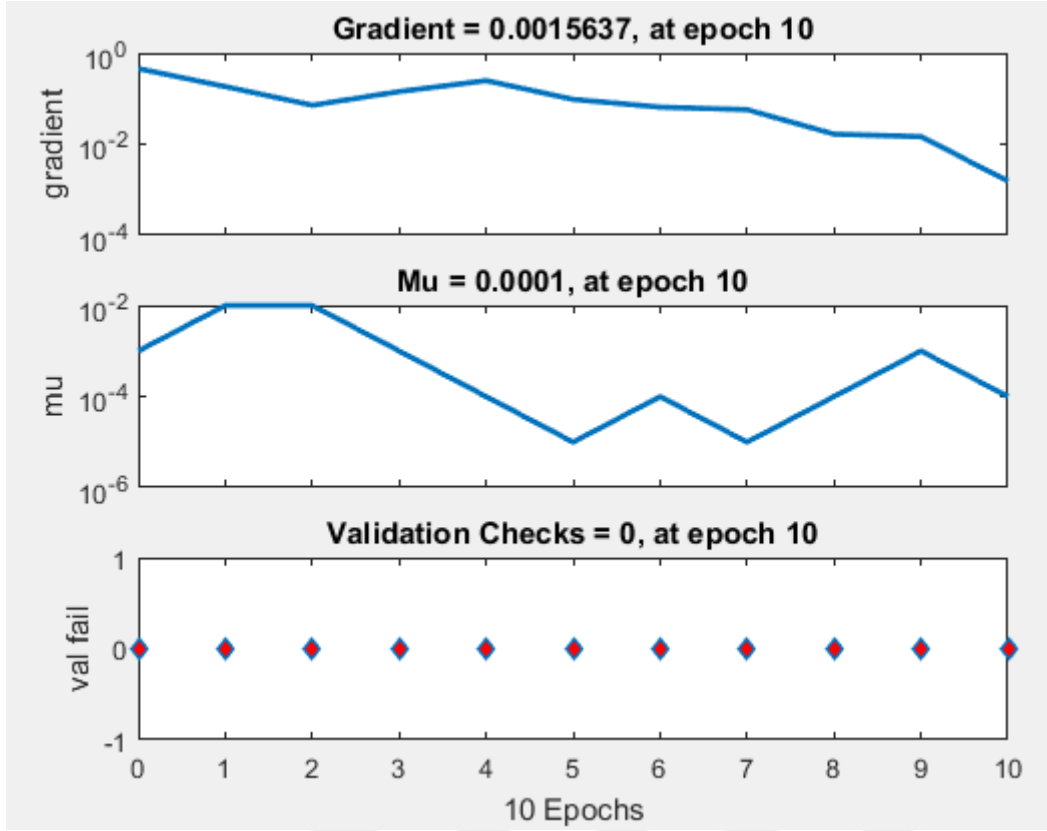
#### f. PVH-ST MODELİ

Penetrasyon, Viskozite ve bitümün havadaki ağırlığı değerleriyle oluşturulan stabilite tahmin modelinin eğitim süreci Şekil 4.17.'de gösterilmektedir. Modellerin performans değerleri karşılaştırılırken hataların kareleri ortalaması (HKO) kıstas olarak önemli bir kriter olmaktadır. PVH-ST modelinin eğitim sürecindeki HKO değeri 5515.806 olarak saptanmaktadır. Bu değer analiz sırasında normalize edilmiş olduğu için excel programı yardımıyla hesaplanmaktadır. Ayrıca bu modelin ortalama yüzde hata değeri 6.91'dir.



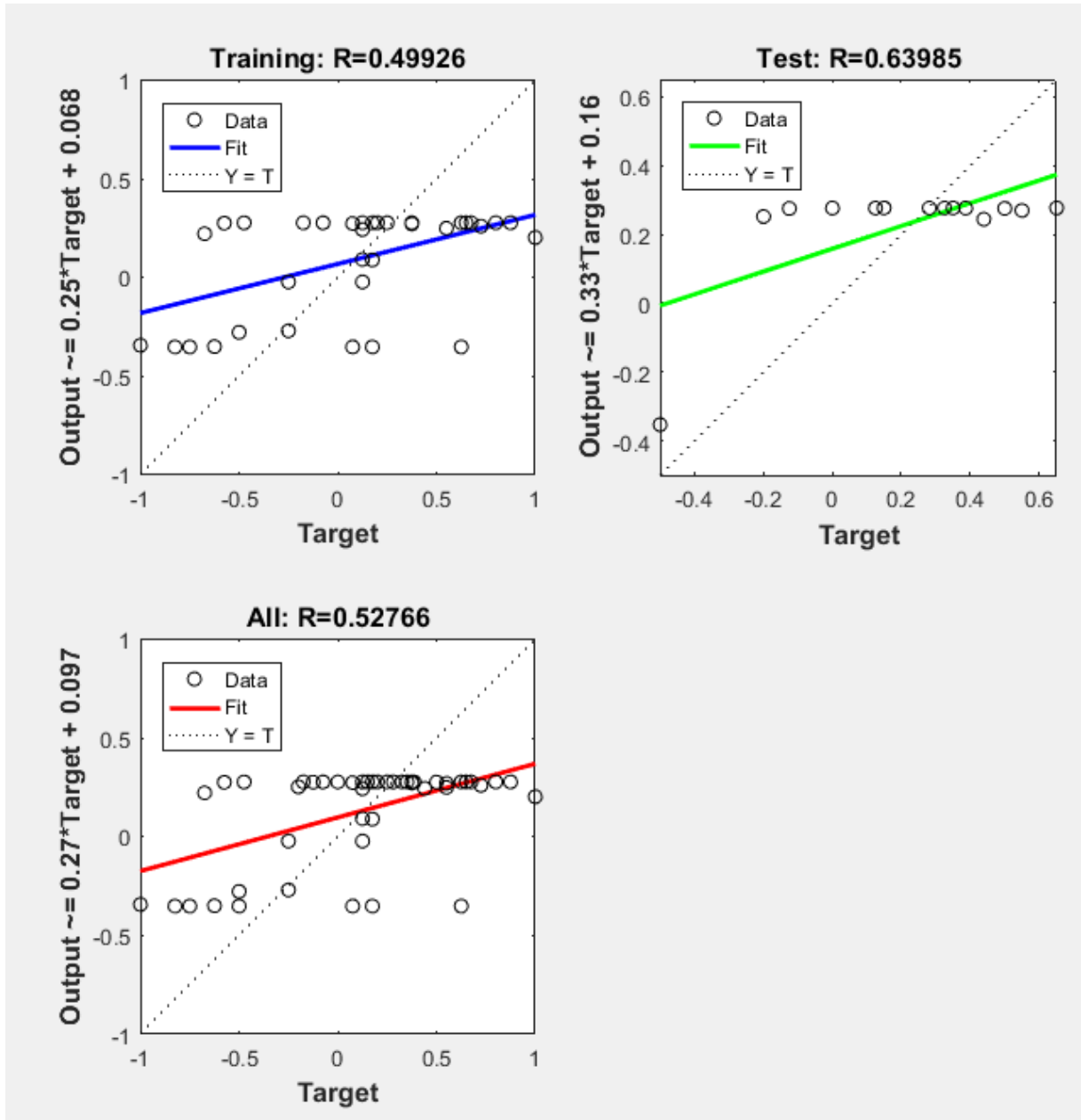
Şekil 4.17. PVH-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi

Şekil 4.18.'de PVH-ST modelinin eğitim sürecindeki kullanılan parametreler (Gradient, Mu) ve geçerlilik veri seti eğrilerinin değişim grafiklerini gösterilmektedir.



Şekil 4.18. PVH-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi

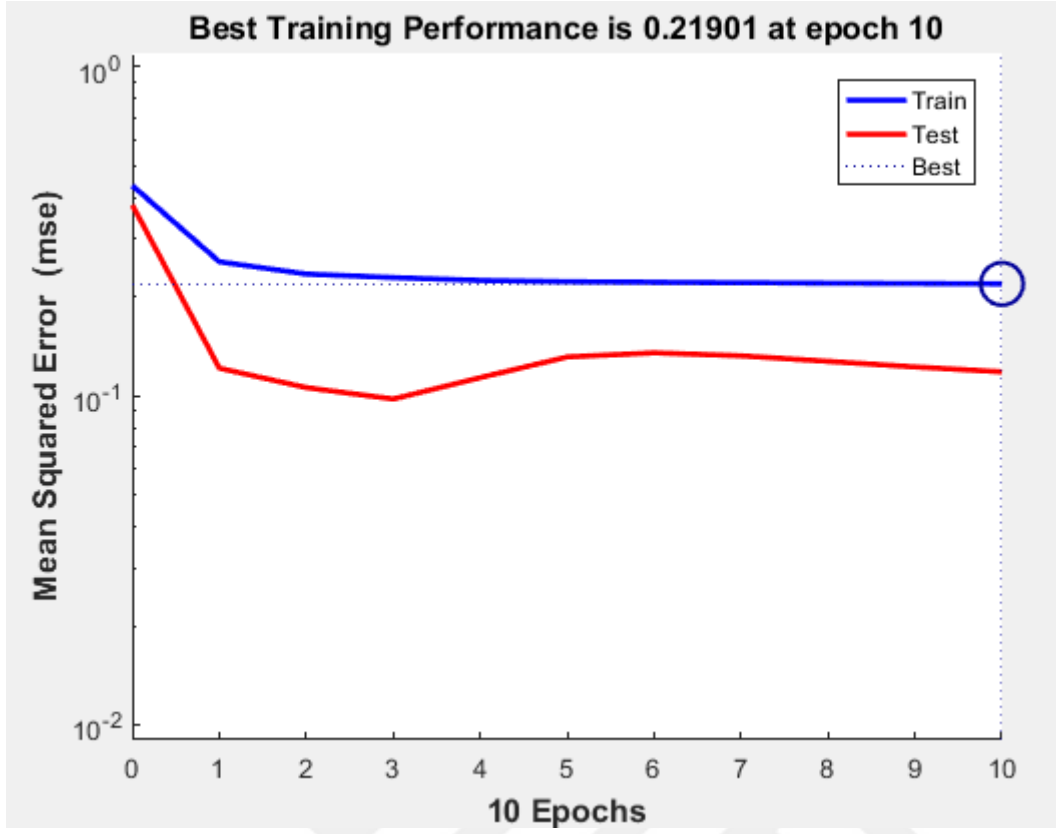
Şekil 4.19.'da eğitilen PVH-ST modelinin eğitim ve test verilerinde elde edilen sonuçlarının dağılım grafiği kullanılarak gerçek değerlerle karşılaştırılması gösterilmektedir. Oluşturulan modelin tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki ilişim gösterilmektedir. Her veri seti için farklı ilişim katsayıları belirlenmektedir. Bu yolla eğitim sürecinin iyi bir performansla gerçekleşip gerçekleşmediği değerlendirilebilmektedir. Eğitim sürecinde en iyi PVH-ST modelinde elde edilen korelasyon katsayıları eğitim, test ve toplam olmak üzere elde edilmektedir. Eğitim ve test verilerindeki korelasyon katsayıları sırasıyla  $R=0.63985$  ve  $R=0.49926$  olarak saptanmaktadır. Eğitim ve test verileri toplam olarak dikkate alındığında ise korelasyon katsayı  $R=0.52766$  olmaktadır.



Şekil 4.19. PVH-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması

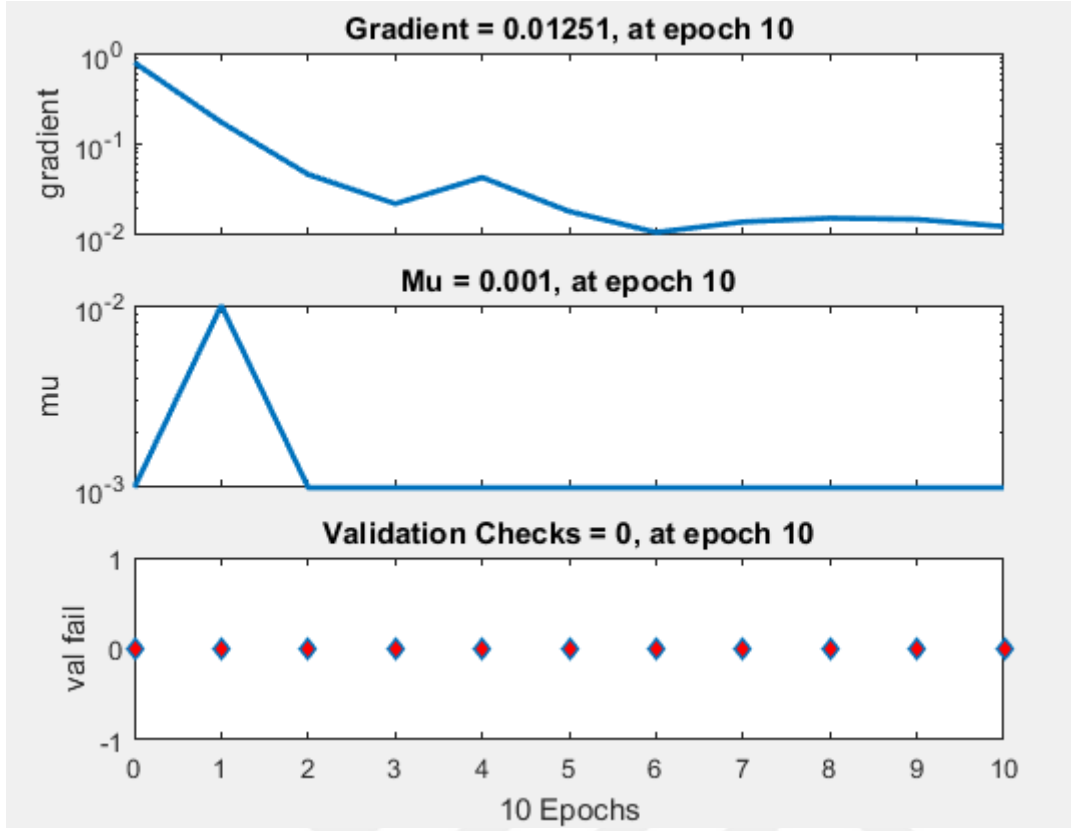
### g. PVY-ST MODELİ

Penetrasyon, viskozite ve yumuşama noktası değerleriyle oluşturulan stabilite tahmin modelinin eğitim süreci Şekil 4.20.'de gösterilmektedir. Modellerin performans değerleri karşılaştırılırken hataların kareleri ortalaması (HKO) kıstas olarak önemli bir kriter olmaktadır. PVY-ST modelinin eğitim sürecindeki HKO değeri 6630.554 olarak saptanmaktadır. Bu değer analiz sırasında normalize edilmiş olduğu için excel programı yardımıyla hesaplanmaktadır. Ayrıca bu modelin ortalama yüzde hata değeri 7.36'dır.



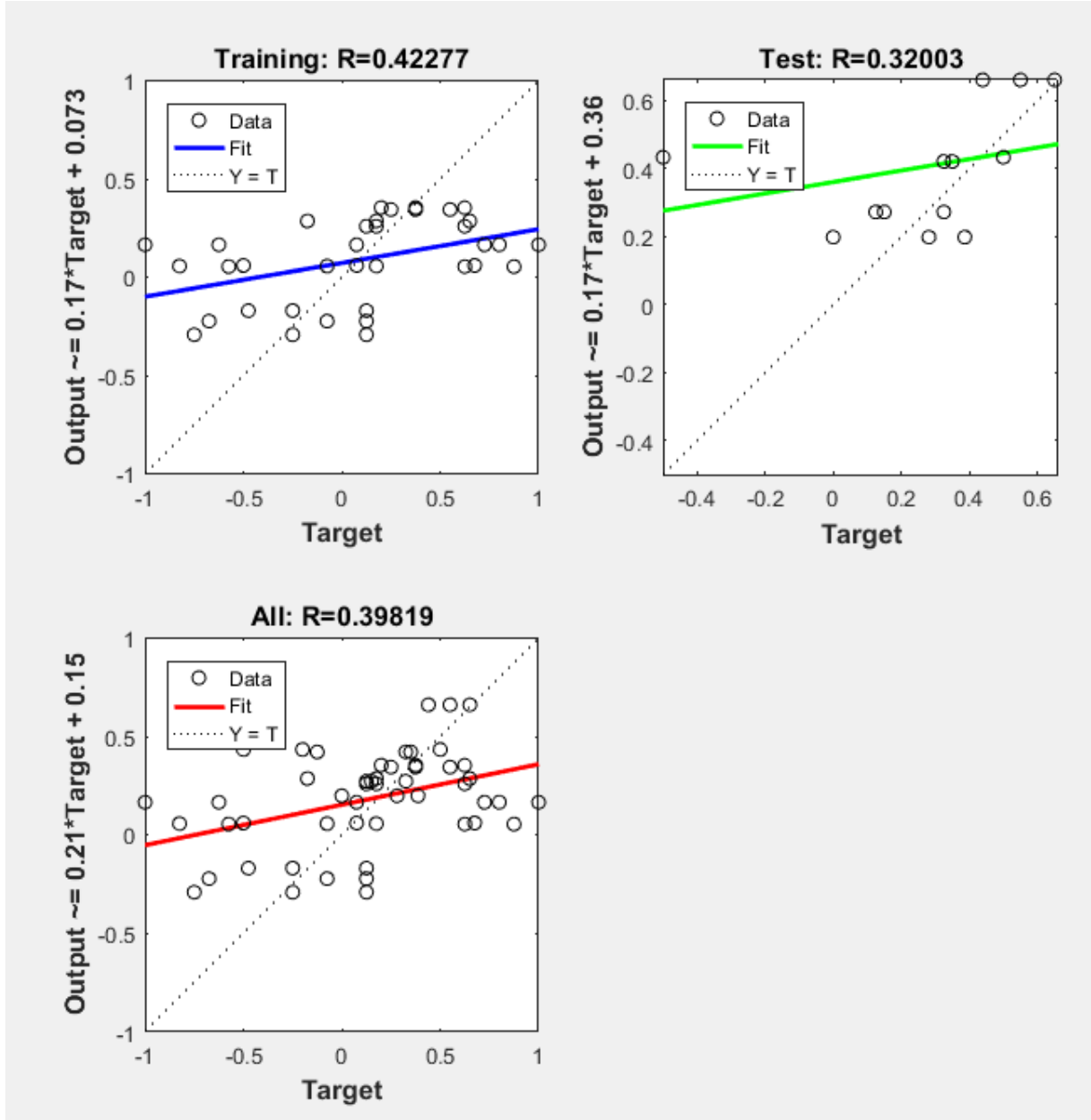
Şekil 4.20. PVY-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi

Şekil 4.21.'de PVY-ST modelinin eğitim sürecindeki kullanılan parametreler (Gradient, Mu) ve geçerlilik veri seti eğrilerinin değişim grafiklerini gösterilmektedir.



Şekil 4.21. PVY-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi

Şekil 4.22.'de eğitilen PVY-ST modelinin eğitim ve test verilerinde elde edilen sonuçlarının dağılım grafiği kullanılarak gerçek değerlerle karşılaştırılması gösterilmektedir. Oluşturulan modelin tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki ilişim gösterilmektedir. Her veri seti için farklı ilişim katsayıları belirlenmektedir. Bu yolla eğitim sürecinin iyi bir performansla gerçekleşip gerçekleşmediği değerlendirilebilmektedir. Eğitim sürecinde en iyi PVY-ST modelinde elde edilen korelasyon katsayıları eğitim, test ve toplam olmak üzere elde edilmektedir. Eğitim ve test verilerindeki korelasyon katsayıları sırasıyla  $R=0.42277$  ve  $R=0.32003$  olarak saptanmaktadır. Eğitim ve test verileri toplam olarak dikkate alındığında ise korelasyon katsayısı  $R=0.39819$  olmaktadır.

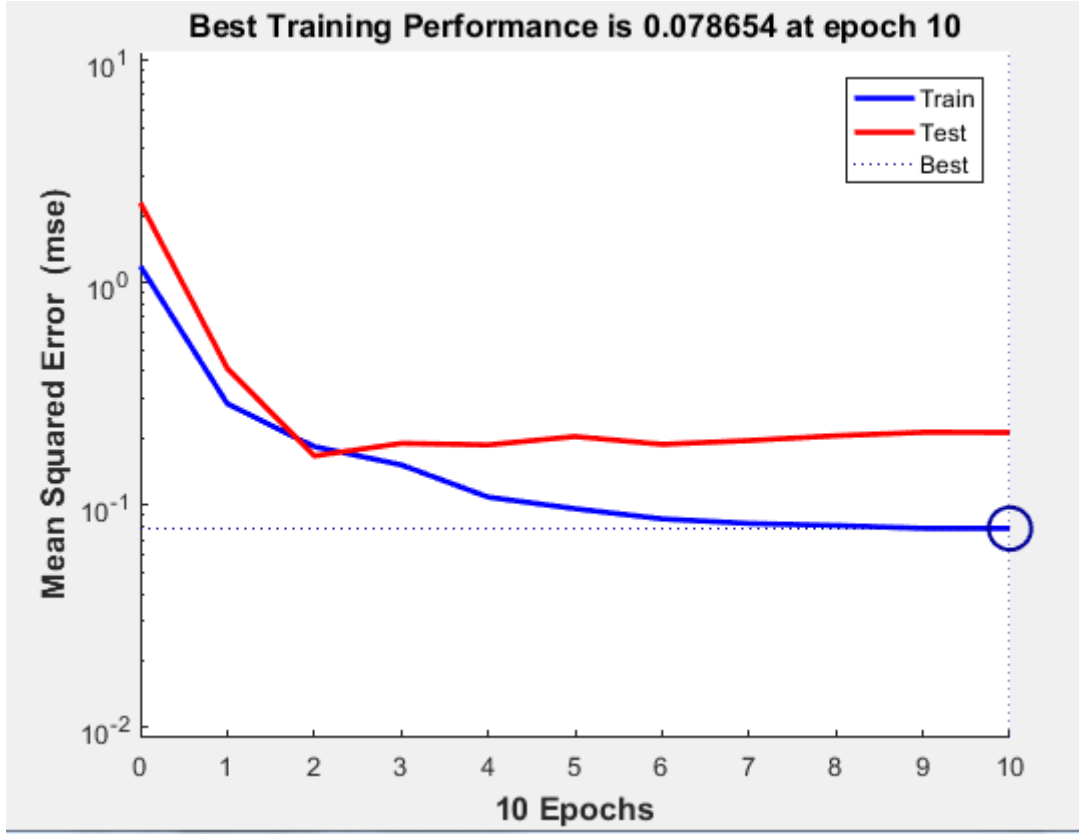


Şekil 4.22. PVY-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması

#### h. VYS-ST MODELİ

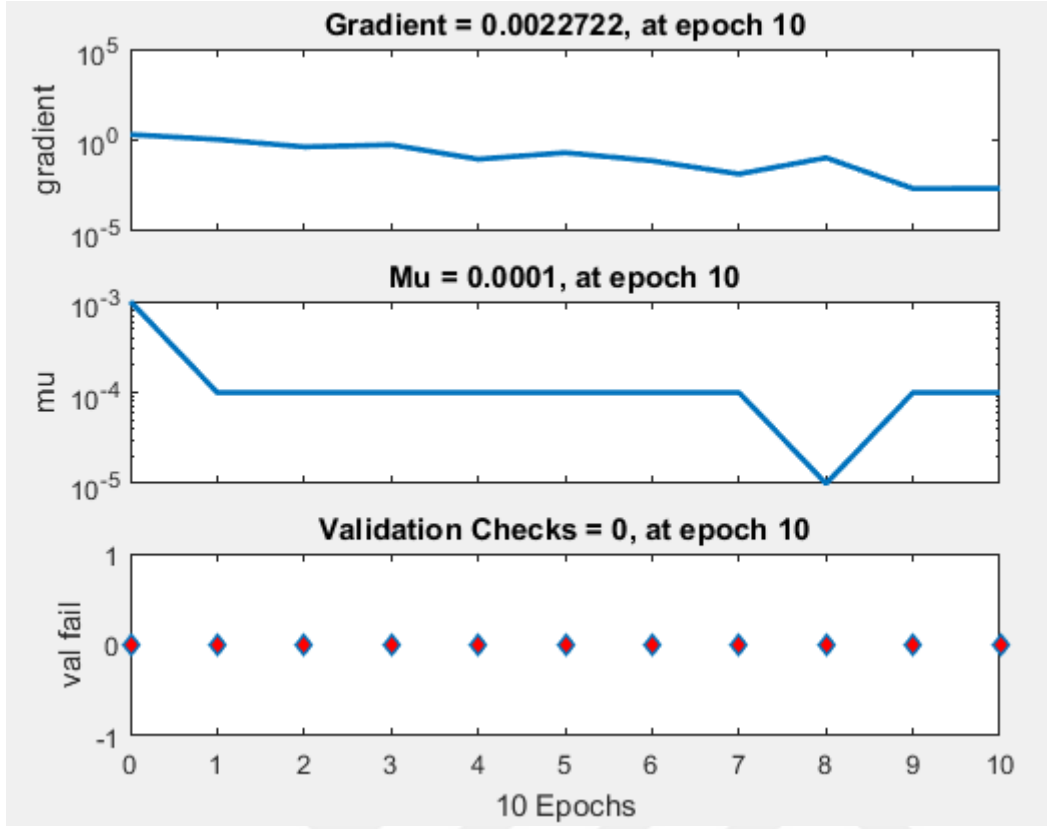
Viskozite, yumuşama noktası ve bitümün sudaki ağırlığı değerleriyle oluşturulan stabilite tahmin modelinin eğitim süreci Şekil 4.23.'te gösterilmektedir. Modellerin performans değerleri karşılaştırılırken hataların kareleri ortalaması (HKO) kıstas olarak önemli bir kriter olmaktadır. VYS-ST modelinin eğitim sürecindeki HKO değeri 4131.966 olarak saptanmaktadır. Bu değer analiz sırasında normalize edilmiş olduğu için excel programı yardımıyla hesaplanmaktadır. Ayrıca bu modelin ortalama yüzde hata değeri 5.63'tür.





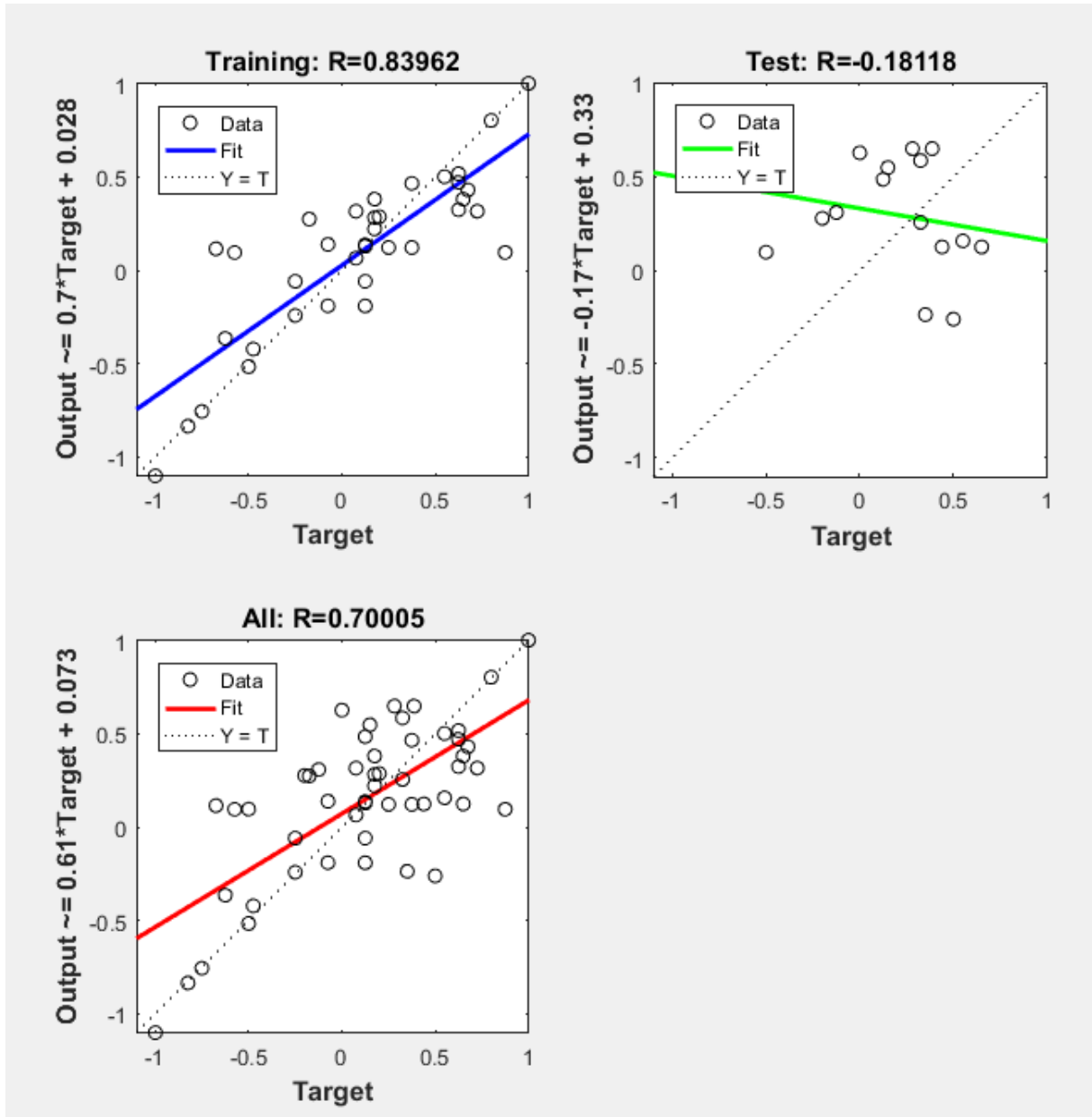
Şekil 4.23. VYS-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi

Şekil 4.24.'te VYS-ST modelinin eğitim sürecindeki kullanılan parametreler (Gradient, Mu) ve geçerlilik veri seti eğrilerinin değişim grafiklerini gösterilmektedir.



Şekil 4.24. VYS-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi

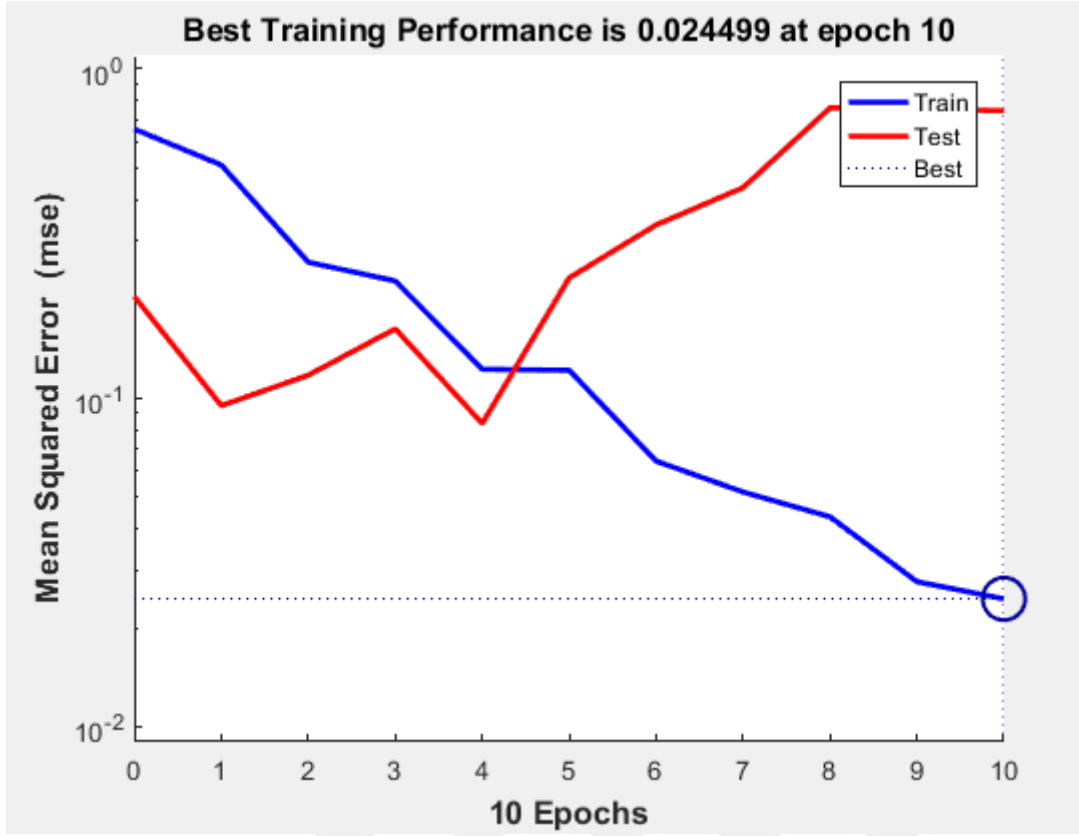
Şekil 4.25.'te eğitilen VYS-ST modelinin eğitim ve test verilerinde elde edilen sonuçlarının dağılım grafiği kullanılarak gerçek değerlerle karşılaştırılması gösterilmektedir. Oluşturulan modelin tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki ilişim gösterilmektedir. Her veri seti için farklı ilişim katsayıları belirlenmektedir. Bu yolla eğitim sürecinin iyi bir performansla gerçekleşip gerçekleşmediği değerlendirilebilmektedir. Eğitim sürecinde en iyi VYS-ST modelinde elde edilen korelasyon katsayıları eğitim, test ve toplam olmak üzere elde edilmektedir. Eğitim ve test verilerindeki korelasyon katsayıları sırasıyla  $R=0.83962$  ve  $R=0.18118$  olarak saptanmaktadır. Eğitim ve test verileri toplam olarak dikkate alındığında ise korelasyon katsayısı  $R=0.70005$  olmaktadır.



Şekil 4.25. VYS-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması

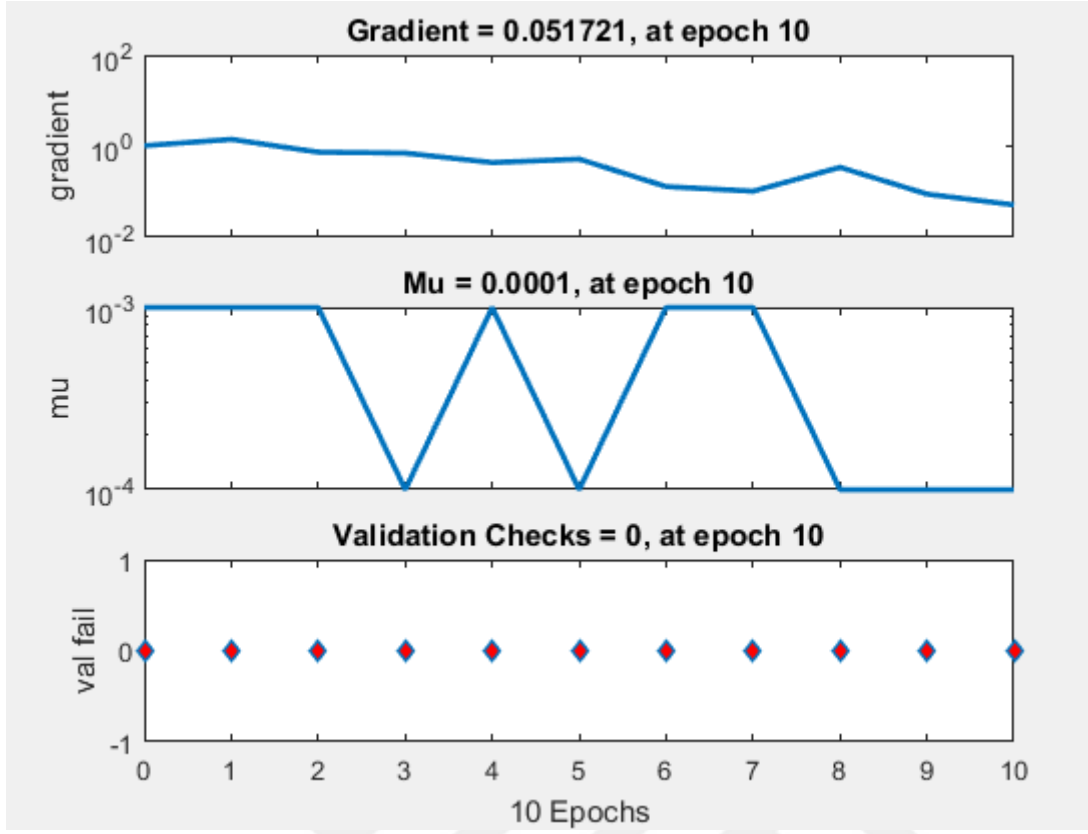
### 1. PVYH-ST MODELİ

Penetrasyon, viskozite, yumuşama noktası, bitümün havadaki ağırlığı değerleriyle oluşturulan stabilite tahmin modelinin eğitim süreci Şekil 4.26.'da gösterilmektedir. Modellerin performans değerleri karşılaştırılırken hataların kareleri ortalaması (HKO) kıstas olarak önemli bir kriter olmaktadır. PVYH-ST modelinin eğitim sürecindeki HKO değeri 8282.926 olarak saptanmaktadır. Bu değer analiz sırasında normalize edilmiş olduğu için excel programı yardımıyla hesaplanmaktadır. Ayrıca bu modelin ortalama yüzde hata değeri 6.37'dir.



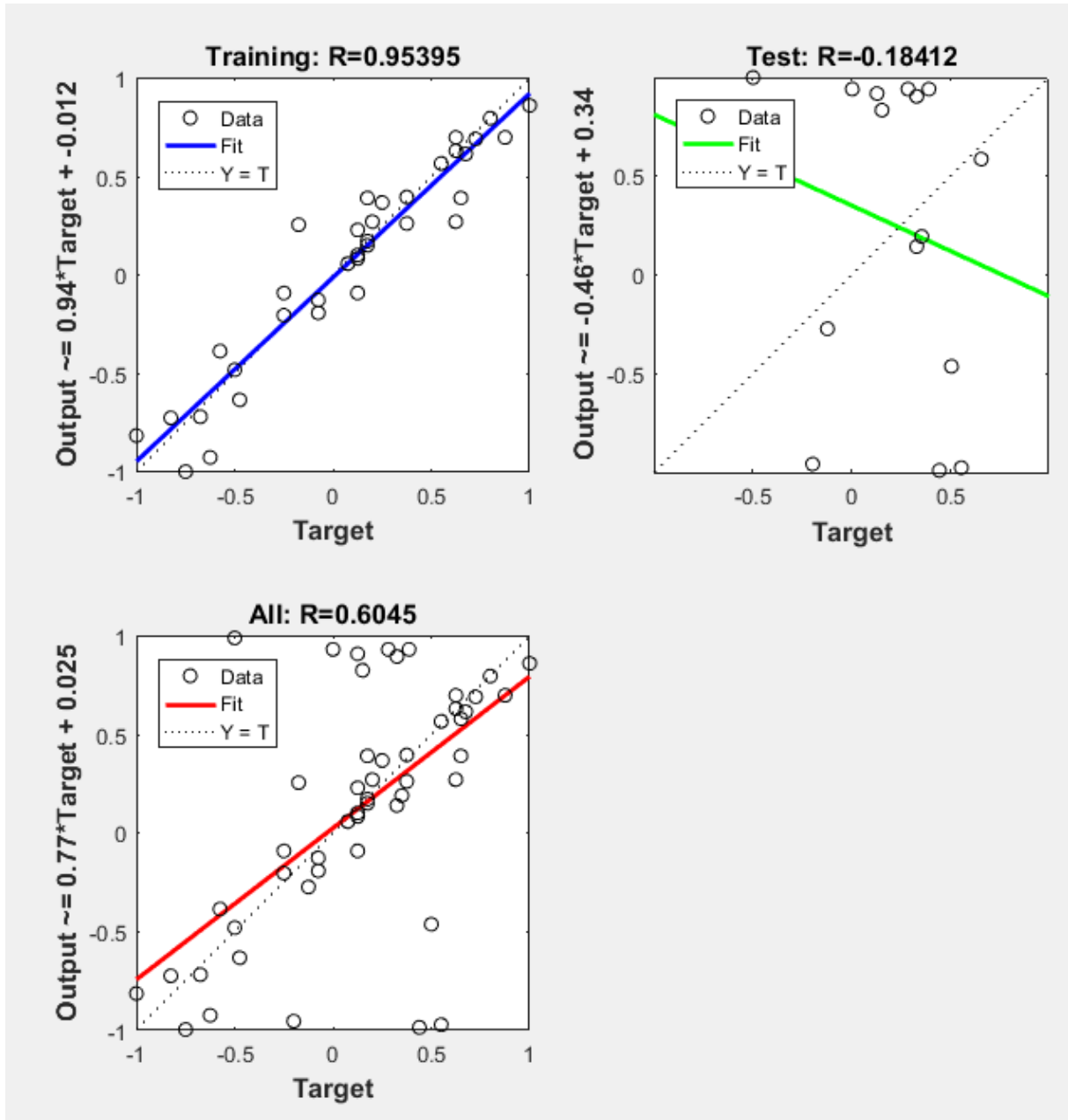
Şekil 4.26. PVYH-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi

Şekil 4.27.'de PVYH-ST modelinin eğitim sürecindeki kullanılan parametreler (Gradient, Mu) ve geçerlilik veri seti eğrilerinin değişim grafiklerini gösterilmektedir.



Şekil 4.27. PVYH-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi

Şekil 4.28.'de eğitilen PVYH-ST modelinin eğitim ve test verilerinde elde edilen sonuçlarının dağılım grafiği kullanılarak gerçek değerlerle karşılaştırılması gösterilmektedir. Oluşturulan modelin tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki ilişim gösterilmektedir. Her veri seti için farklı ilişim katsayıları belirlenmektedir. Bu yolla eğitim sürecinin iyi bir performansla gerçekleşip gerçekleşmediği değerlendirilebilmektedir. Eğitim sürecinde en iyi PVYH-ST modelinde elde edilen korelasyon katsayıları eğitim, test ve toplam olmak üzere elde edilmektedir. Eğitim ve test verilerindeki korelasyon katsayıları sırasıyla  $R=0.95395$  ve  $R=0.18412$  olarak saptanmaktadır. Eğitim ve test verileri toplam olarak dikkate alındığında ise korelasyon katsayı  $R=0.6045$  olmaktadır.

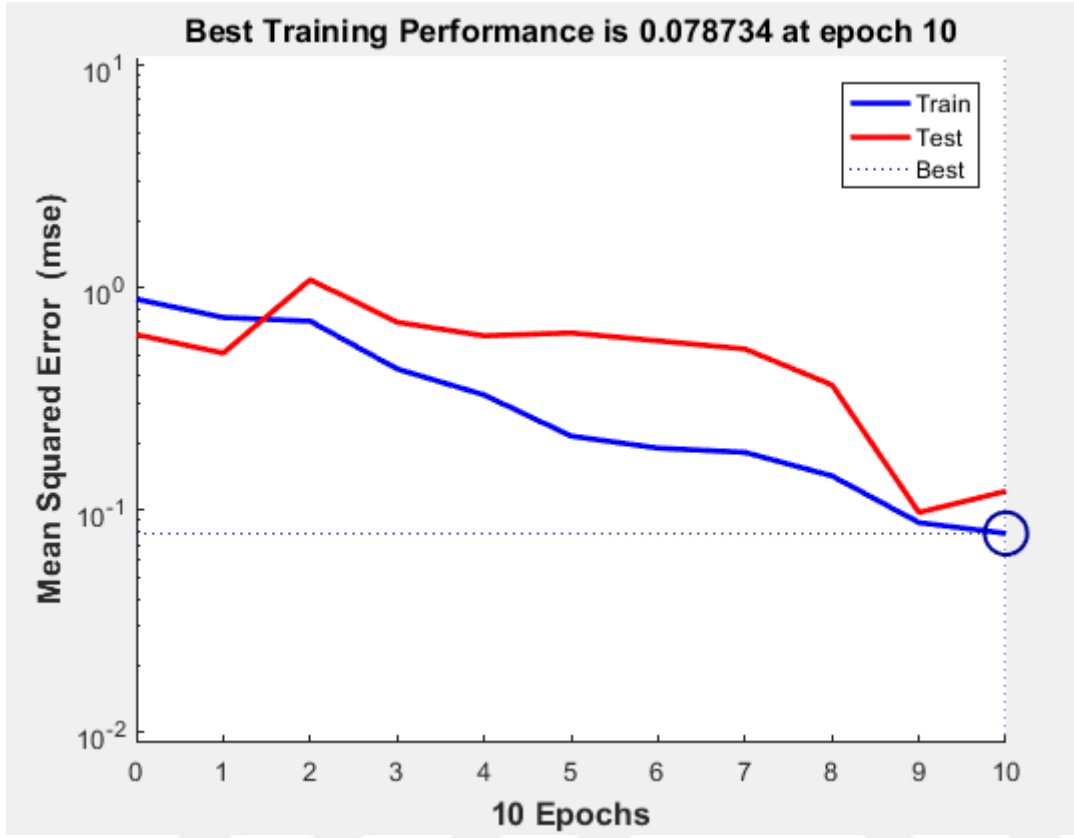


Şekil 4.28. PVYH-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması

#### j. PVYS-ST MODELİ

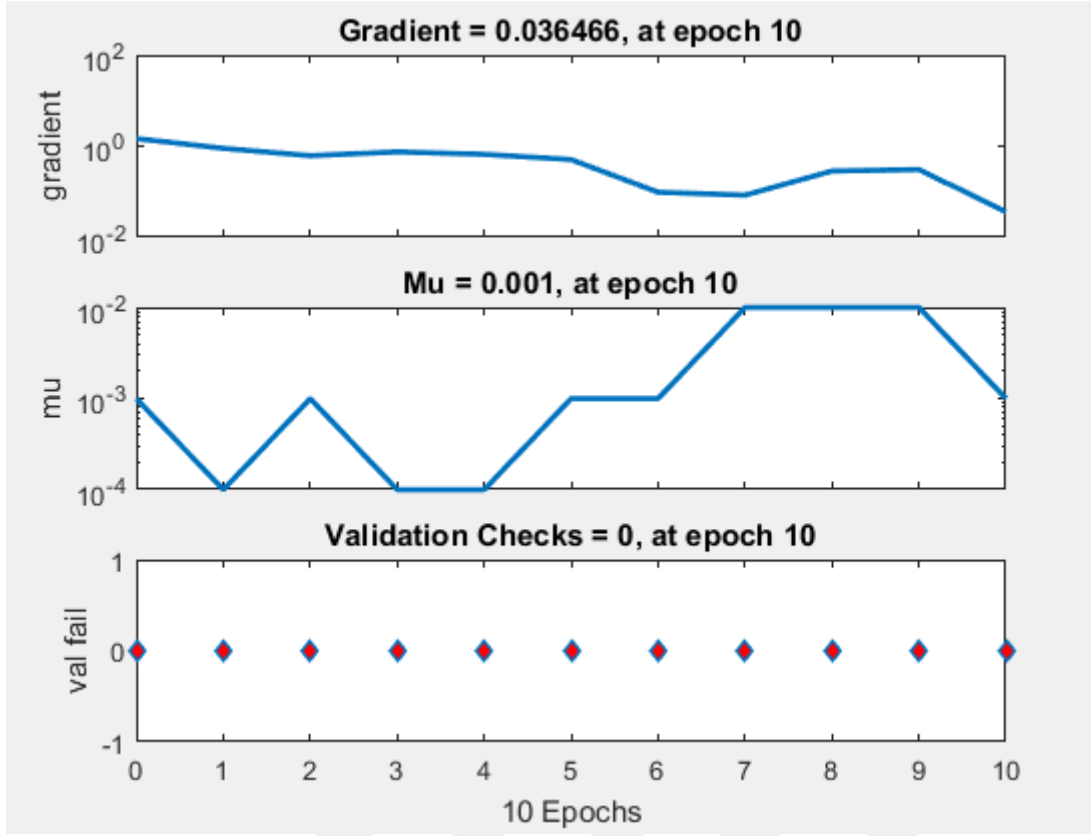
Penetrasyon, viskozite, yumuşama noktası, bitümün sudaki ağırlığı değerleriyle oluşturulan stabilite tahmin modelinin eğitim süreci Şekil 4.29.'da gösterilmektedir. Modellerin performans değerleri karşılaştırılırken hataların kareleri ortalaması (HKO) kıstas olarak önemli bir kriter olmaktadır. PVYS-ST modelinin eğitim sürecindeki HKO değeri 3199.846 olarak saptanmaktadır. Bu değer analiz sırasında normalize edilmiş olduğu için excel

programı yardımıyla hesaplanmaktadır. Ayrıca bu modelin ortalama yüzde hata değeri 5.15'tir.



Şekil 4.29. PVYS-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi

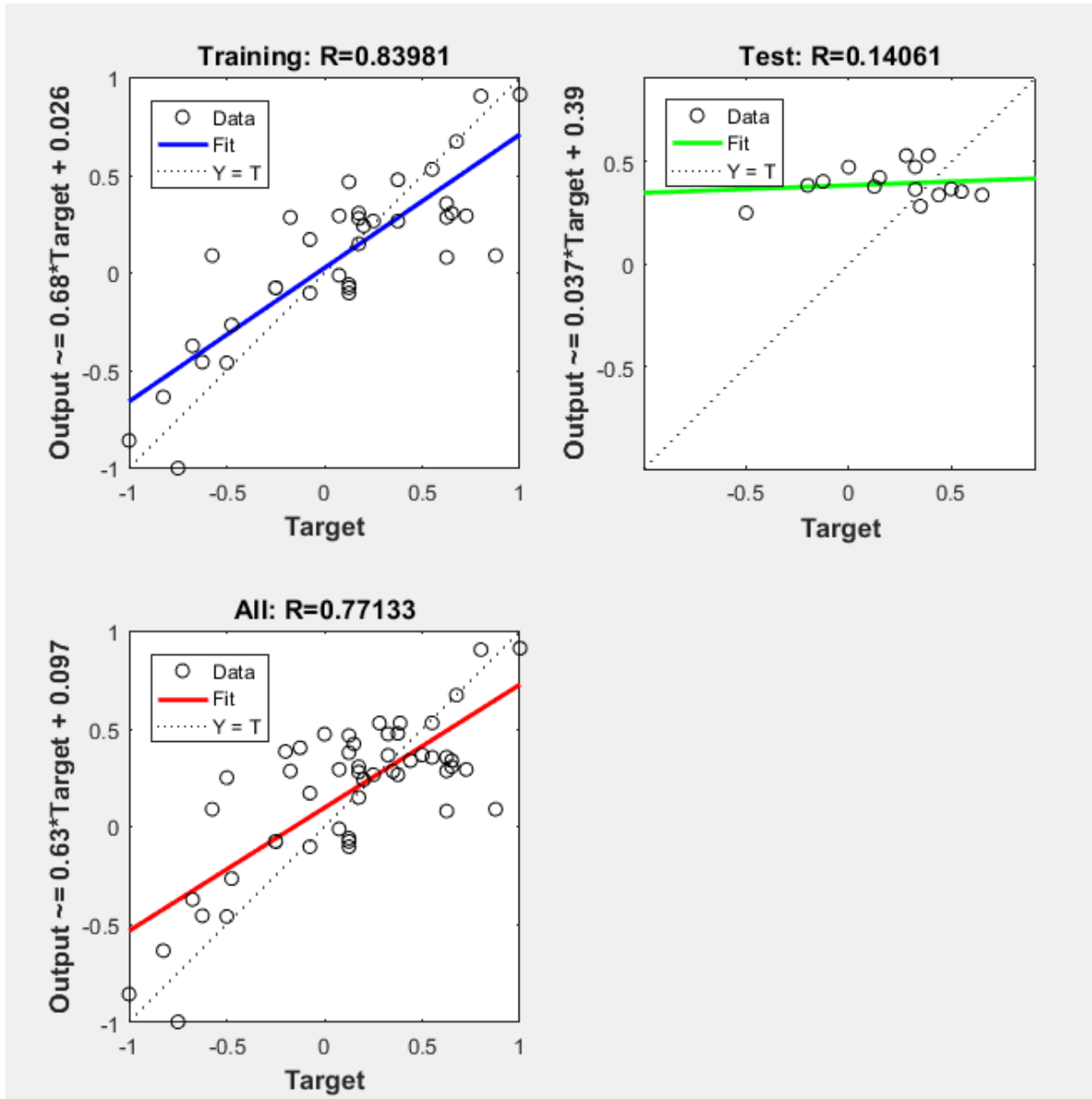
Şekil 4.30.'da PVYS-ST modelinin eğitim sürecindeki kullanılan parametreler (Gradient, Mu) ve geçerlilik veri seti eğrilerinin değişim grafiklerini gösterilmektedir.



Şekil 4.30. PVYS-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi

Şekil 4.31.'de eğitilen PVYS-ST modelinin eğitim ve test verilerinde elde edilen sonuçlarının dağılım grafiği kullanılarak gerçek değerlerle karşılaştırılması gösterilmektedir. Oluşturulan modelin tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki ilişki gösterilmektedir. Her veri seti için farklı ilişki katsayıları belirlenmektedir. Bu yolla eğitim sürecinin iyi bir performansla gerçekleşip gerçekleşmediği değerlendirilebilmektedir. Eğitim sürecinde en iyi PVYS-ST modelinde elde edilen korelasyon katsayıları eğitim, test ve toplam olmak üzere elde edilmektedir. Eğitim ve test verilerindeki korelasyon katsayıları sırasıyla  $R=0.83981$  ve  $R=0.14061$  olarak saptanmaktadır. Eğitim ve test verileri toplam olarak dikkate alındığında ise korelasyon katsayısı  $R=0.77133$  olmaktadır.

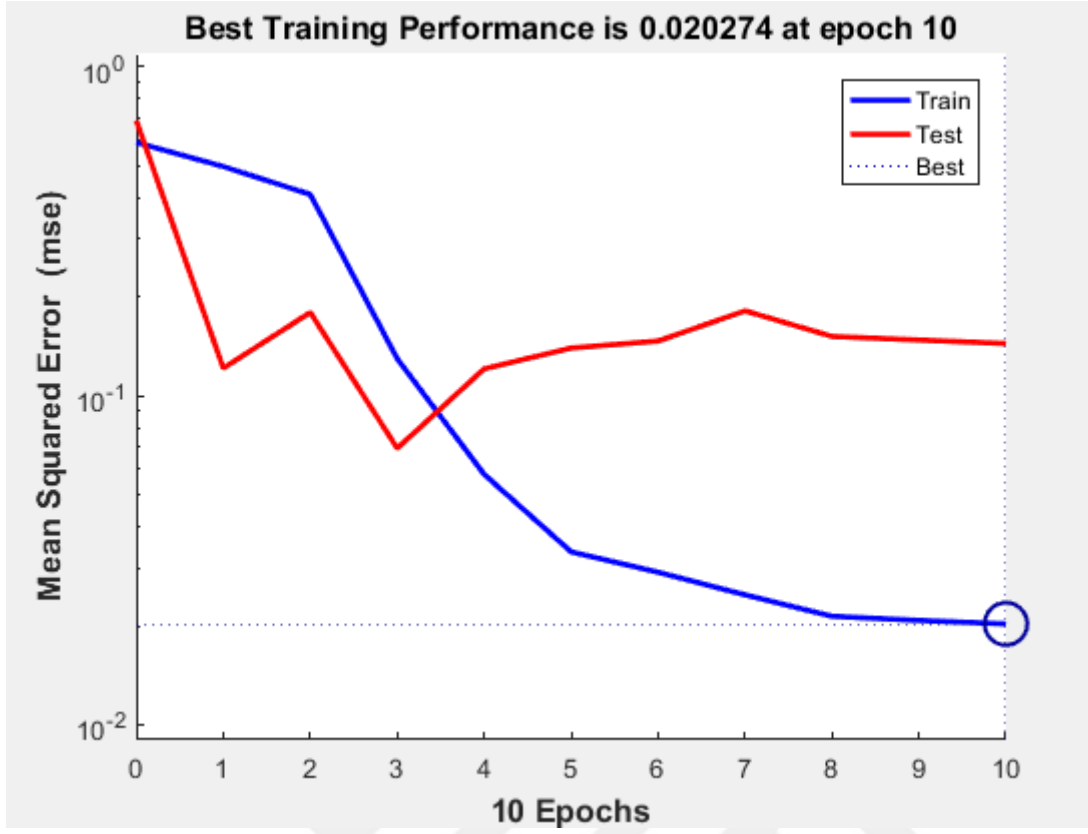




Şekil 4.31. PVYS-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması

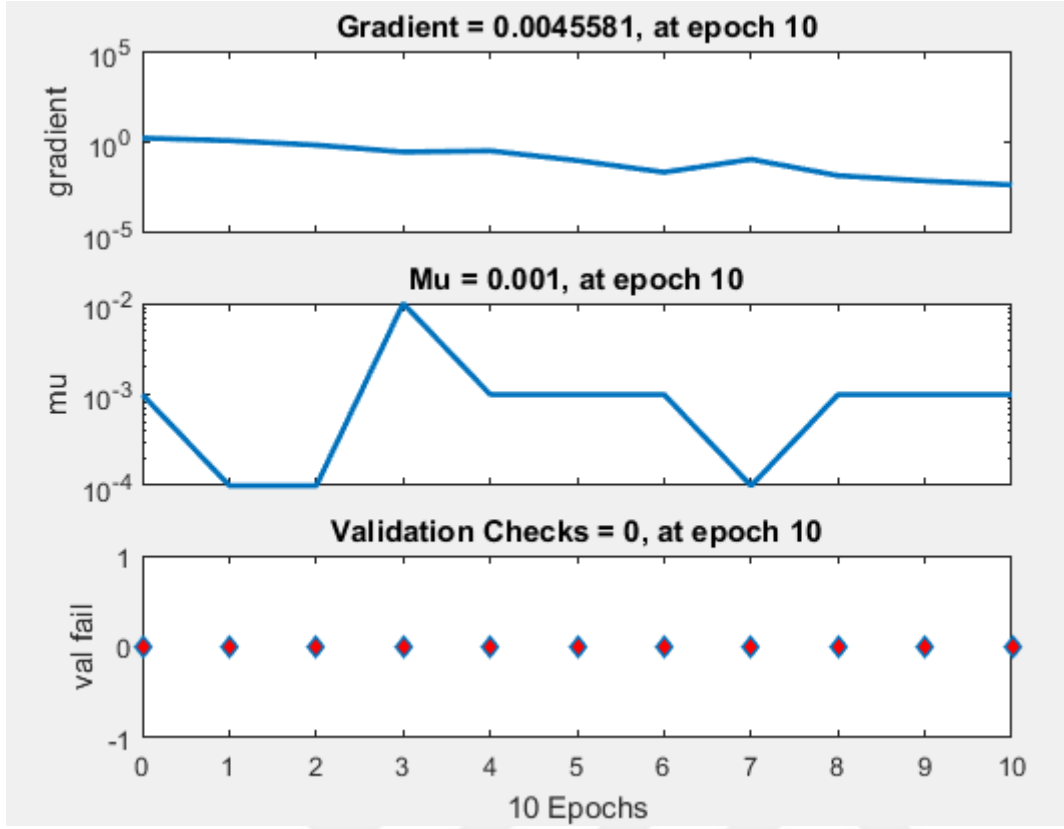
### k. PVYHS-ST MODELİ

Penetrasyon, viskozite, yumuşama noktası, bitümün havadaki ağırlığı, bitümün sudaki ağırlığı değerleriyle oluşturulan stabilite tahmin modelinin eğitim süreci Şekil 4.32.'de gösterilmektedir. Modellerin performans değerleri karşılaştırılırken hataların kareleri ortalaması (HKO) kıstas olarak önemli bir kriter olmaktadır. PVYHS-ST modelinin eğitim sürecindeki HKO değeri 1986.217 olarak saptanmaktadır. Bu değer analiz sırasında normalize edilmiş olduğu için excel programı yardımıyla hesaplanmaktadır. Ayrıca bu modelin ortalama yüzde hata değeri 3.57'dir.



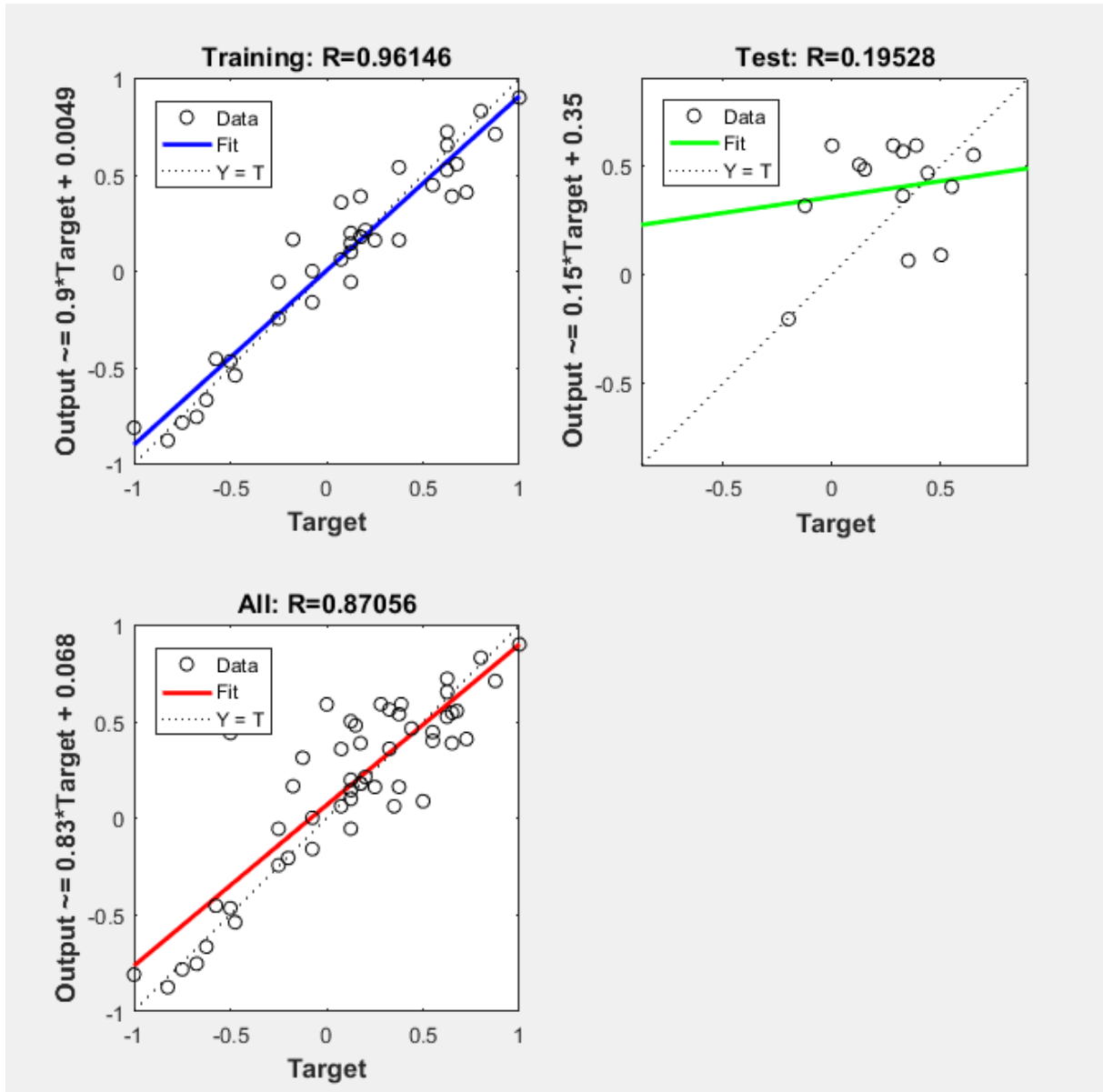
Şekil 4.32. PVYHS-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi

Şekil 4.33.'te PVYHS-ST modelinin eğitim sürecindeki kullanılan parametreler (Gradient, Mu) ve geçerlilik veri seti eğrilerinin değişim grafiklerini gösterilmektedir.



Şekil 4.33. PVYHS-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi

Şekil 4.34.'te eğitilen PVYHS-ST modelinin eğitim ve test verilerinde elde edilen sonuçlarının dağılım grafiği kullanılarak gerçek değerlerle karşılaştırılması gösterilmektedir. Oluşturulan modelin tahmin değerleri ile gerçek değerler arasındaki ilişim gösterilmektedir. Her veri seti için farklı ilişim katsayıları belirlenmektedir. Bu yolla eğitim sürecinin iyi bir performansla gerçekleşip gerçekleşmediği değerlendirilebilmektedir. Eğitim sürecinde en iyi PVYHS-ST modelinde elde edilen korelasyon katsayıları eğitim, test ve toplam olmak üzere elde edilmektedir. Eğitim ve test verilerindeki korelasyon katsayıları sırasıyla  $R=0.96146$  ve  $R=0.19528$  olarak saptanmaktadır. Eğitim ve test verileri toplam olarak dikkate alındığında ise korelasyon katsayı  $R=0.87056$  olmaktadır.



Şekil 4.34. PVYHS-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması

#### 4.2.2 Stabilite Tahmin Modellerinin Sonuç Değerleri

Bir önceki bölümde iki değişkenli, üç değişkenli, dört değişkenli ve beş değişkenli tahmin modellerinin sonuç değerleri ve dağılım grafiklerinin doğrusal eğilim çizgilerinin gerçek değerler ile ilgisi incelenmektedir. Bu modellerin performans sonuçları verilmektedir. Tüm modeller arasında seçim yapılırken en belirgin özellik olarak HKO değeri kriter olarak alınmaktadır. Oluşturulan modellerden en iyi performans sonucu veren modelin PVYHS-ST tahmin modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin korelasyon katsayısının 0.87056 olduğu görülmektedir. HKO değeri ise en düşük değer olarak 1986.217 olduğu görülmektedir. Ayrıca

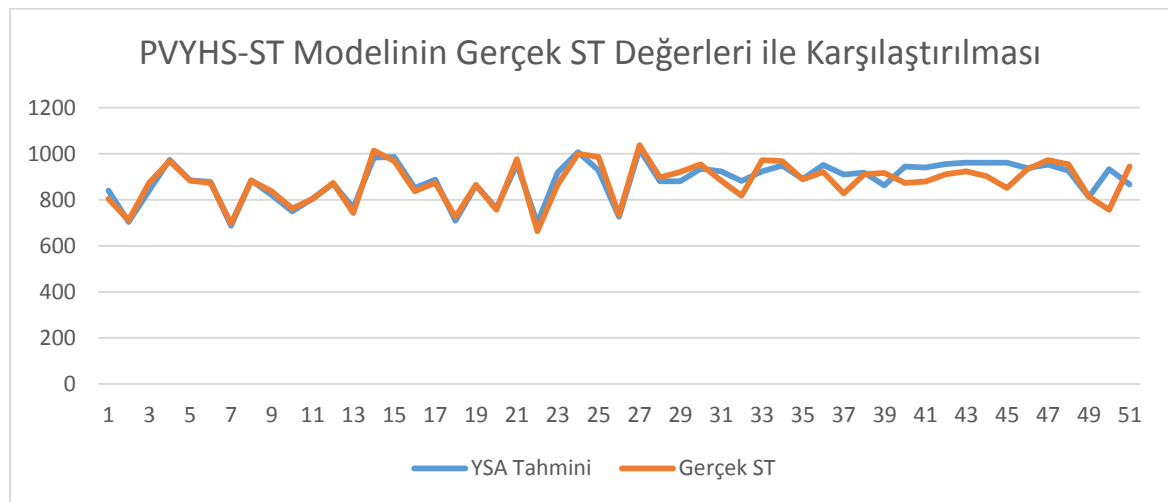
bu modelin ortalama yüzde hata değeri ise 3.57 olduğu görülmektedir. Çizelge 4.13.'te stabilite tahmin modellerinin sonuç değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.13. Stabilite tahmin modellerinin sonuç değerleri

Modeller	Korelasyon Katsayısı	Hataların Karesinin Ortalaması	Yüzde Hata
HS-ST	0,70826	7245,013	5,33
PH-ST	0,78902	4773,092	3,97
PV-ST	0,39575	6488,188	7,45
PY-ST	0,39169	6538,678	7,36
VY-ST	0,24216	16728,61	11,65
PVH-ST	0,52766	5515,806	6,91
PVY-ST	0,39819	6630,554	7,36
VYS-ST	0,70005	4131,966	5,63
PVYH-ST	0,6045	8282,926	6,37
PVYS-ST	0,77133	3199,846	5,15
PVYHS-ST	0,87056	1986,217	3,57

#### 4.2.3 PVYHS-ST Modelinin ST Tahmin Değerlerinin Gerçek ST Değerleri ile Karşılaştırılması

Penetrasyon, viskozite, yumuşama noktası, bitümün havadaki ağırlığı ve bitümün sudaki ağırlığı bağımsız değişkenleriyle oluşturulan model tüm modeller arasında en düşük HKO değerine sahip olan modeldir. PVYHS-ST modelinin ST tahmin değerleri ile gerçek ST değerleri arasındaki kıyaslama grafiği Şekil 4.35'te verilmektedir.



Şekil 4.35. PVYHS-ST modelinin gerçek ST değerleri ile karşılaştırılması

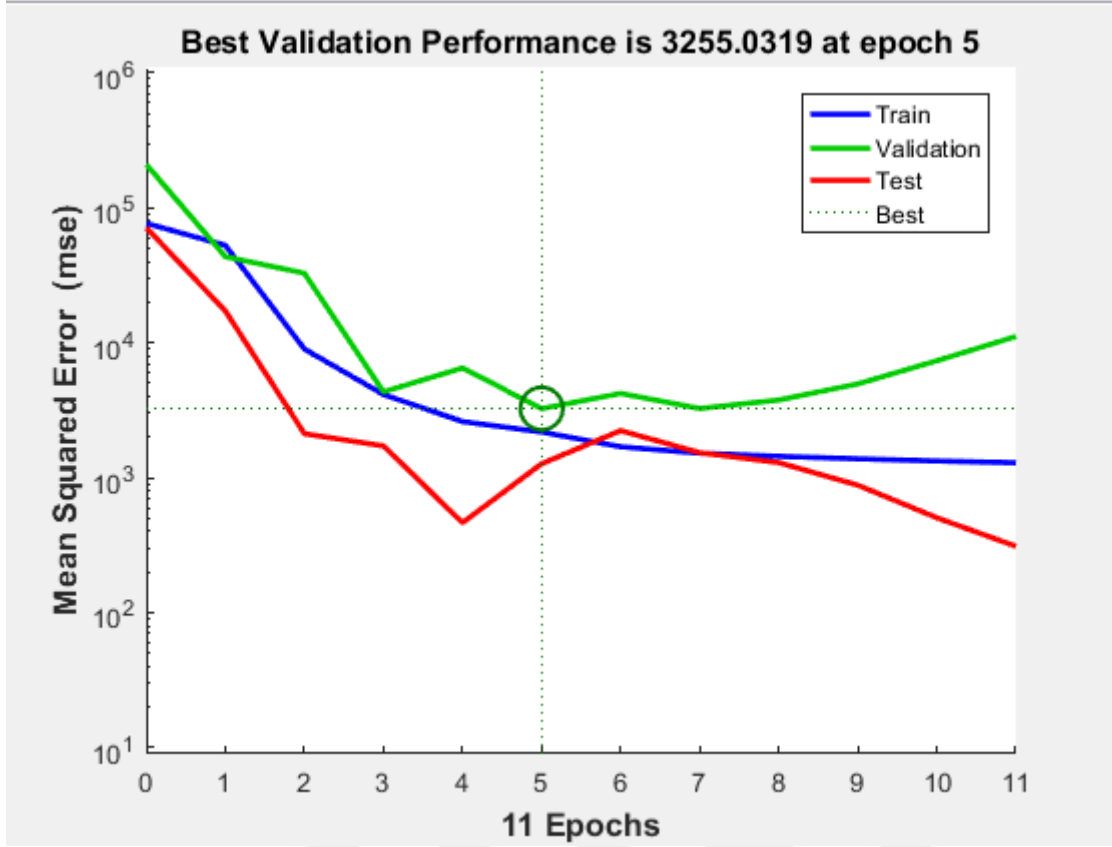
### **4.3. Gerçek Değerler Kullanılarak Doğrulamalı YSA Metodu ile ST Analizi**

YSA tahmin modelleri oluşturulurken penetrasyon, viskozite, yumuşama noktası, bitümün sudaki ağırlığı ve bitümün havadaki ağırlığı bağımsız değişkenleri kullanılarak stabilite tahmin modelleri oluşturulmaktadır. 51 adet numune üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen değerlerden %80'i eğitim, %10'u doğrulama ve diğer %10'luk kısmı ise test verisi olarak belirlenmektedir. Oluşturulan tahmin modelleri modelin yapısındaki gizli katmanlarda farklı nöron sayılarına sahip olmasıyla birlikte farklı öğrenim algoritmaları ile eğitilmekte olup farklı transfer fonksiyonlarından geçirilmektedir. Ayrıca performans fonksiyonlardan hataların kareleri ortalaması değerlerinden yararlanılmaktadır. YSA tekniği ile oluşturulan stabilite tahmin modelleri performans sonuçları aşağıda sunulmaktadır.

#### **4.3.1. Stabilite Tahmin Modellerinin Eğitim Süreci ve Korelasyon Katsayılarının Belirlenmesi**

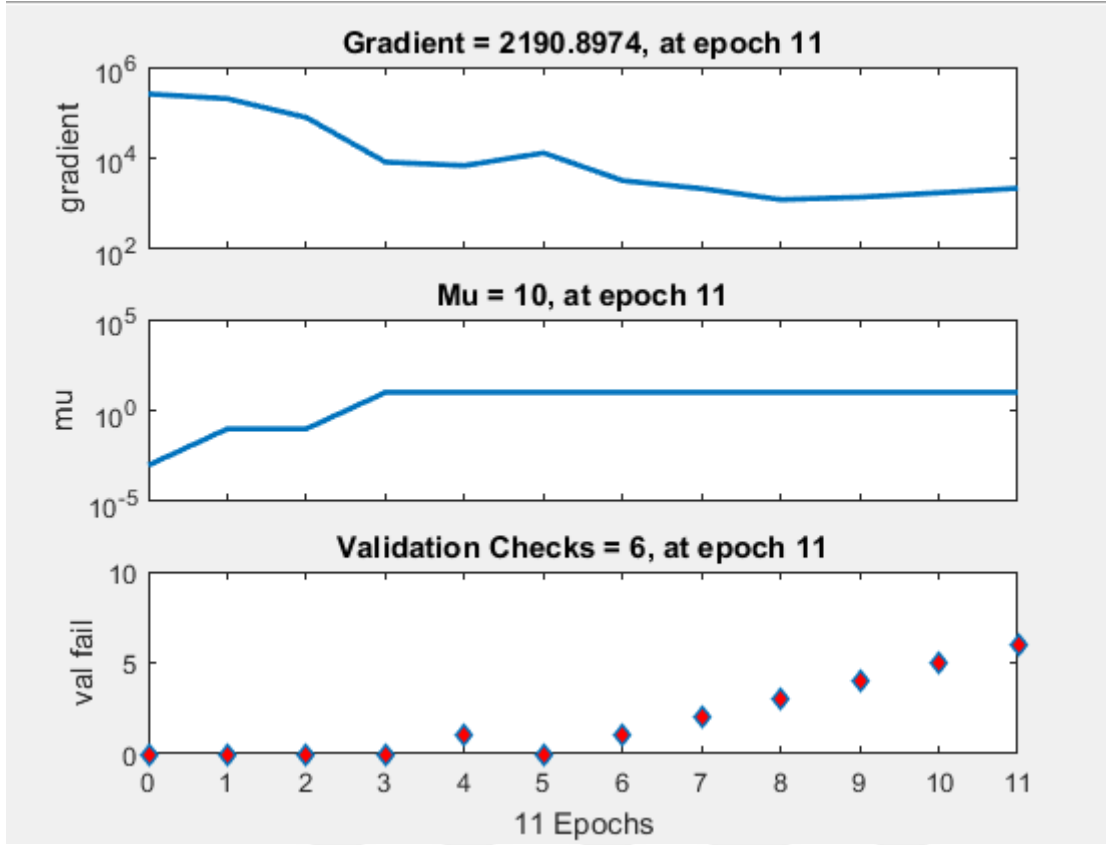
##### **a. HS-ST MODELİ**

Bitümün havadaki ağırlığı ve bitümün sudaki ağırlığı bağımsız değişkenleriyle oluşturulan stabilite tahmin modelinin eğitim süreci Şekil 4.36.'da gösterilmektedir. Tahmin modellerin performans değerleri ölçülürken hataların kareleri ortalaması (HKO) önemli bir kriter olmaktadır. HS-ST modelinin eğitim süresince geçerlilik (validation) veri setinin HKO değeri 3255.0319 olduğu görülmektedir. Buradaki amaç modelin devir (epoch) sayısını belirlemektir. Tahmin modelinin devir sayısı, geçerlilik veri setinin 6 devir üst üste HKO değerinin artış göstermesi ile ortaya çıkmaktadır. Bunun yanısıra train (eğitim) veri setinin ise öğrenme aşamasından ezberleme aşamasına geçiş noktasında model devir sayısını tamamlamaktadır. Eğitim sürecinin en iyi (best) noktası modelin ideal devir sayısının gösterilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca modelin devir sayısının tamamlandığı noktada modelin ağırlıkları da belirlenmiş olur.



Şekil 4.36. HS-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi

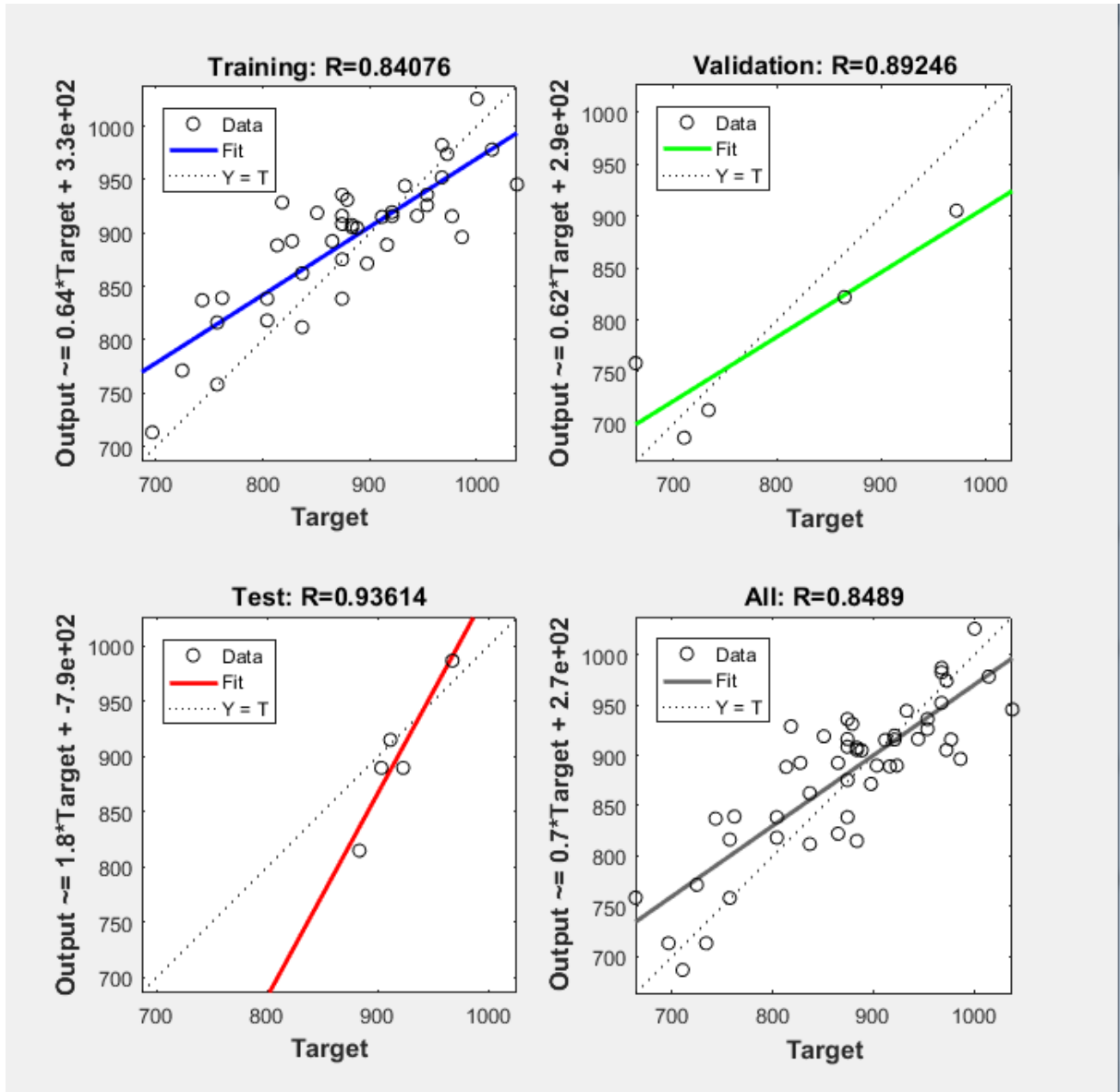
Şekil 4.37.'de HS-ST modelinin eğitim sürecinde kullanılan parametreler (Gradient, Mu) ve geçerlilik veri seti eğrilerinin değişim grafiklerini göstermektedir. Şekil 4.37.'de geçerlilik veri setinin 11 devirlik bölümünde 6 devir yükseldiği görülmektedir. Bu da geçerlilik veri setinin HKO değeri ve modelin ağırlıklarını belirlemektedir.



Şekil 4.37. HS-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi

Şekil 4.38.'de eğitilmiş HS-ST modelinin eğitim, geçerlilik ve test verilerinde elde edilen sonuçlarının dağılım grafiği verilmektedir. Oluşturulan modelinin tahmin değeri ile gerçek veriler arasındaki ilişim gösterilmektedir. Her veri seti için ayrı ilişim katsayıları belirlenmektedir. Böylece eğitim sürecinin hatalı geçip geçmediği değerlendirilmektedir. Modelin eğitim veri setinin çıktısı, bulunan dağılımın doğru çizgisi gerçek değerlere ( $y=t$ ) göre başlangıç ve sonuç bölümünde sapmalar olduğu görülmektedir. Toplam dağılım grafiğinde görüldüğü gibi dağılımın doğrusal eğilim çizgisi ile gerçek değerler arasındaki korelasyon katsayısı 0.8489 olmaktadır. Bu grafikler modelin eğitim, geçerlilik ve testte nasıl eğitim aldığı hakkında fikir vermektedir.





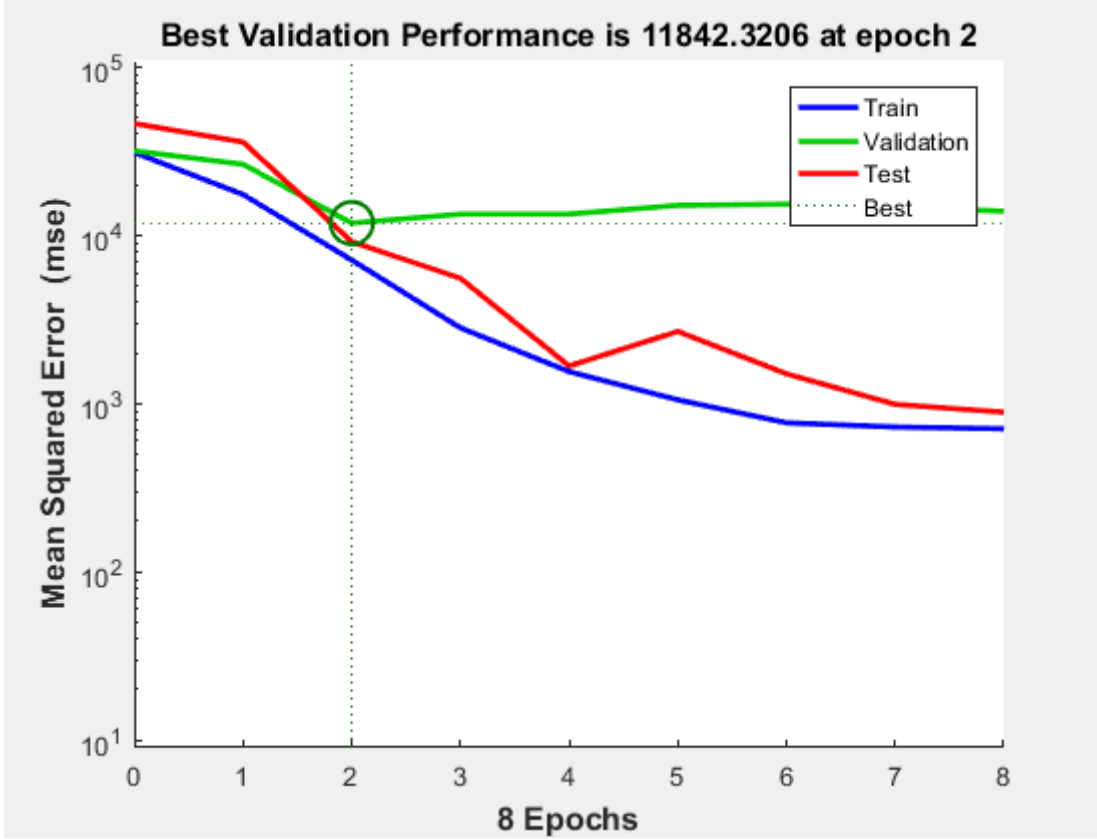
Şekil 4.38. HS-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim

setine göre karşılaştırılması

## b. PH-ST MODELİ

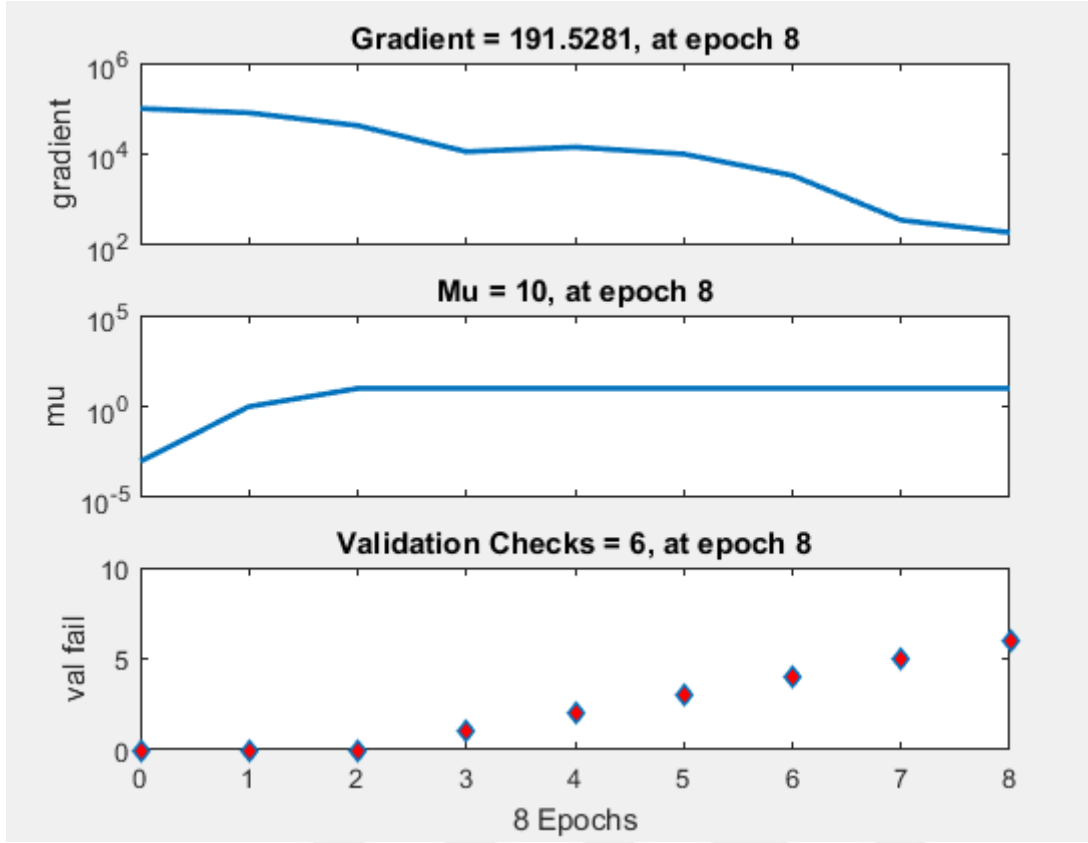
Penetrasyon değeri ve bitümün havadaki ağırlığı bağımsız değişkenleriyle oluşturulan stabilite tahmin modelinin eğitim süreci Şekil 4.39.'da gösterilmektedir. Tahmin modellerin performans değerleri ölçülürken hataların kareleri ortalaması (HKO) önemli bir kriter olmaktadır. PH-ST modelinin eğitim süresince geçerlilik (validation) veri setinin HKO değeri 11842.3206 olduğu görülmektedir. Buradaki amaç modelin devir (epoch) sayısını belirlemektir. Tahmin modelinin devir sayısı, geçerlilik veri setinin 6 devir üst üste HKO

değerinin artış göstermesi ile ortaya çıkmaktadır. Bunun yanısıra train (eğitim) veri setinin ise öğrenme aşamasından ezberleme aşamasına geçiş noktasında model devir sayısını tamamlamaktadır. Eğitim sürecinin en iyi (best) noktası modelin ideal devir sayısının gösterilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca modelin devir sayısının tamamlandığı noktada modelin ağırlıkları da belirlenmiş olur.



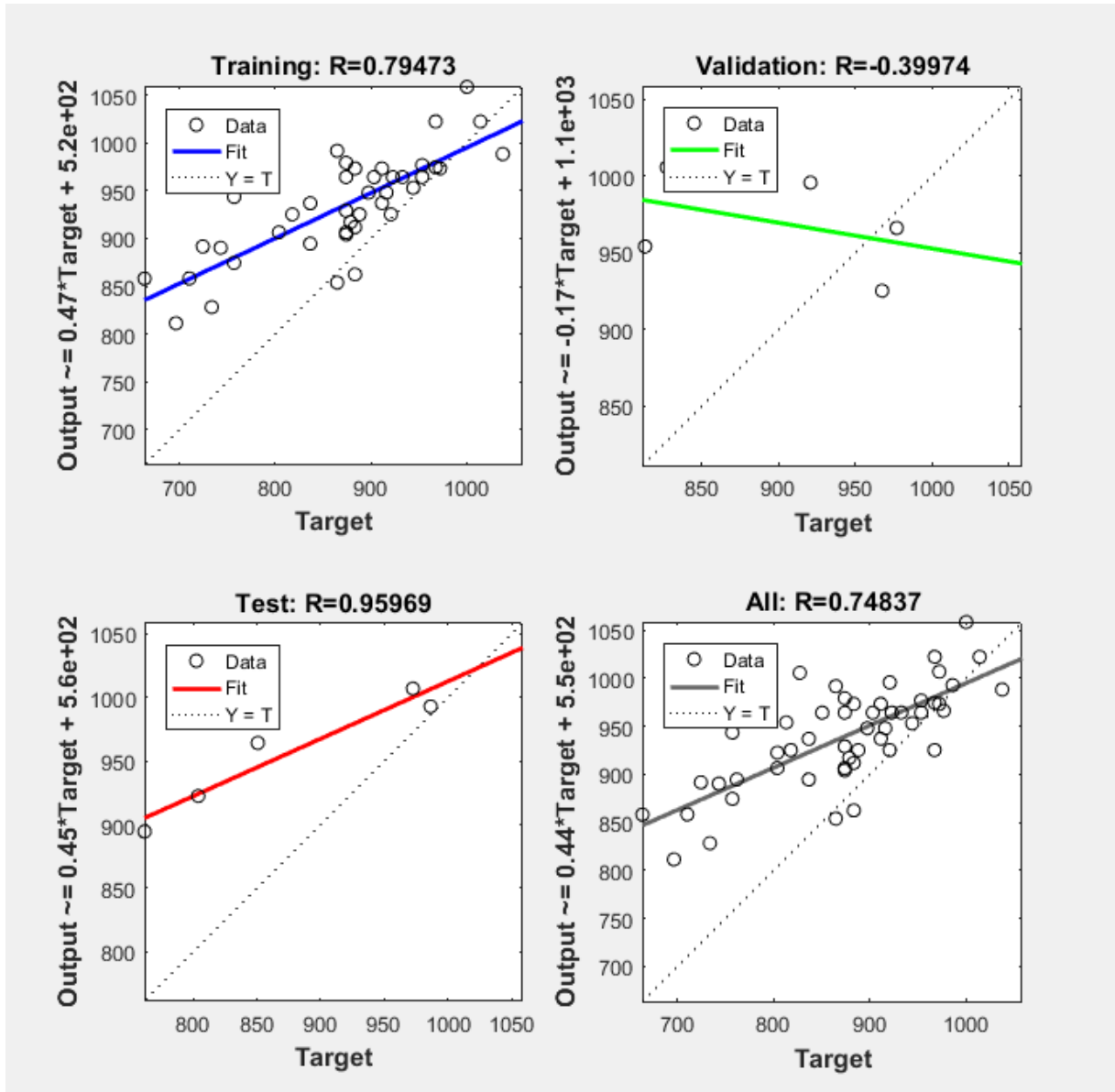
Şekil 4.39. PH-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi

Şekil 4.40.'ta PH-ST modelinin eğitim sürecinde kullanılan parametreler (Gradient, Mu) ve geçerlilik veri seti eğrilerinin değişim grafiklerini göstermektedir. Şekil 4.40.'ta geçerlilik veri setinin 8 devirlik bölümünde 6 devir yükseldiği görülmektedir. Bu da geçerlilik veri setinin HKO değeri ve modelin ağırlıklarını belirlemektedir.



Şekil 4.40. PH-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi

Şekil 4.41.'de eğitilmiş PH-ST modelinin eğitim, geçerlilik ve test verilerinde elde edilen sonuçlarının dağılım grafiği verilmektedir. Oluşturulan modelinin tahmin değeri ile gerçek veriler arasındaki ilişki gösterilmektedir. Her veri seti için ayrı ilişki katsayıları belirlenmektedir. Böylece eğitim sürecinin hatalı geçip geçmediği değerlendirilmektedir. Modelin eğitim veri setinin çıktısı, bulunan dağılımın doğru çizgisi gerçek değerlere ( $y=t$ ) göre başlangıç ve sonuç bölümünde sapmalar olduğu görülmektedir. Toplam dağılım grafiğinde görüldüğü gibi dağılımın doğrusal eğilim çizgisi ile gerçek değerler arasındaki korelasyon katsayısı 0.74837 olmaktadır. Bu grafikler modelin eğitim, geçerlilik ve testte nasıl eğitim aldığı hakkında fikir vermektedir.



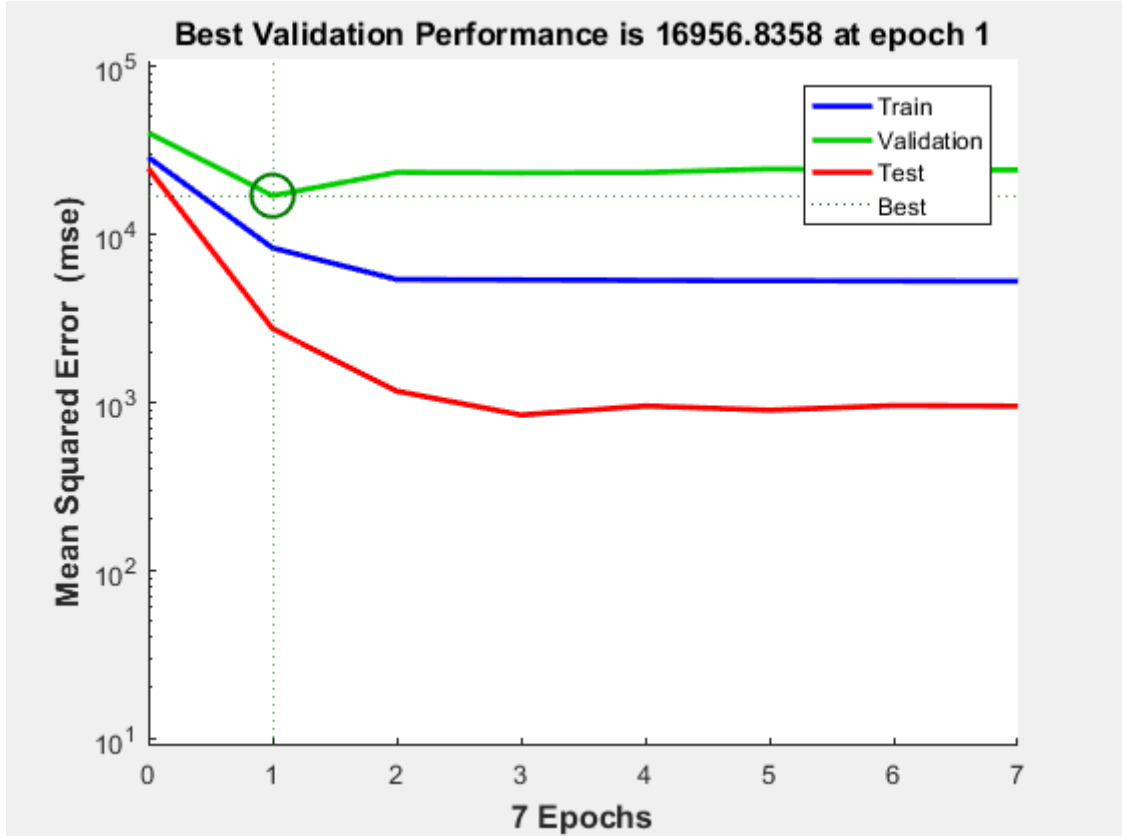
Şekil 4.41. PH-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim

setine göre karşılaştırılması

### c. PV-ST MODELİ

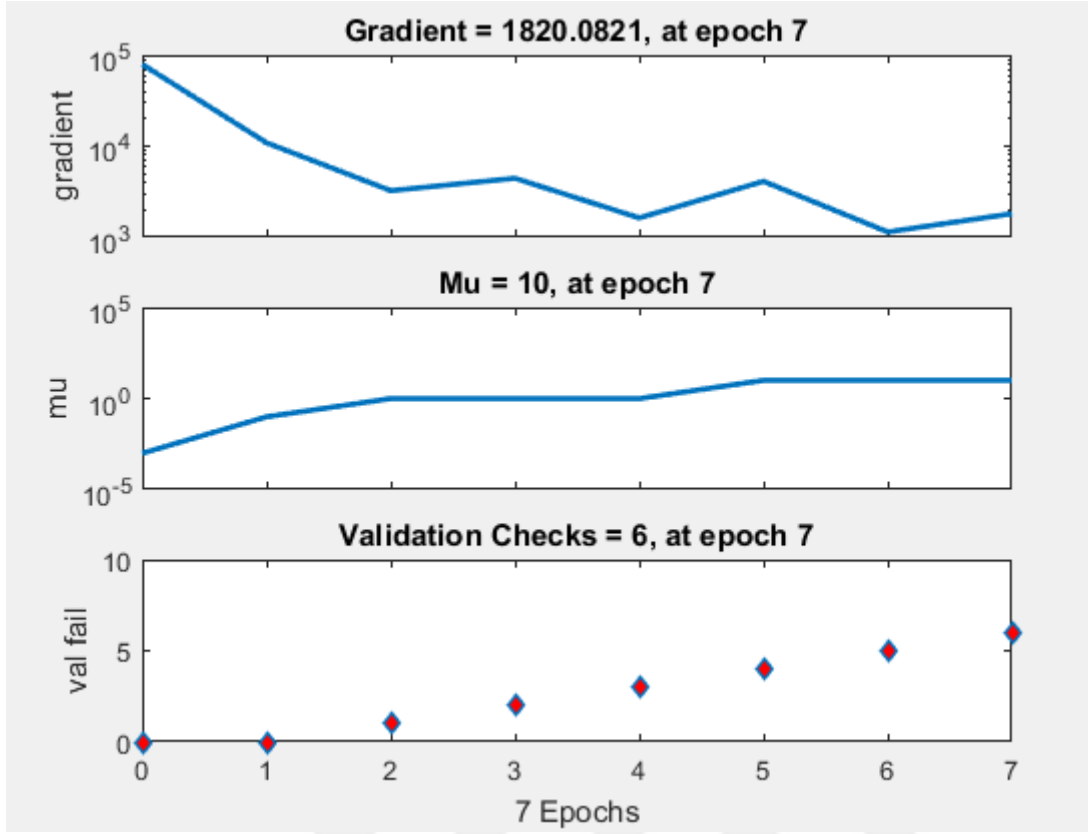
Penetrasyon değeri ve viskozite bağımsız değişkenleriyle oluşturulan stabilite tahmin modelinin eğitim süreci Şekil 4.42.'de gösterilmektedir. Tahmin modellerin performans değerleri ölçülürken hataların kareleri ortalaması (HKO) önemli bir kriter olmaktadır. PV-ST modelinin eğitim süresince geçerlilik (validation) veri setinin HKO değeri 16956.8358 olduğu görülmektedir. Buradaki amaç modelin devir (epoch) sayısını belirlemektir. Tahmin modelinin devir sayısı, geçerlilik veri setinin 6 devir üst üste HKO değerinin artış göstermesi

ile ortaya çıkmaktadır. Bunun yanısıra train (eğitim) veri setinin ise öğrenme aşamasından ezberleme aşamasına geçiş noktasında model devir sayısını tamamlamaktadır. Eğitim sürecinin en iyi (best) noktası modelin ideal devir sayısının gösterilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca modelin devir sayısının tamamlandığı noktada modelin ağırlıkları da belirlenmiş olur.



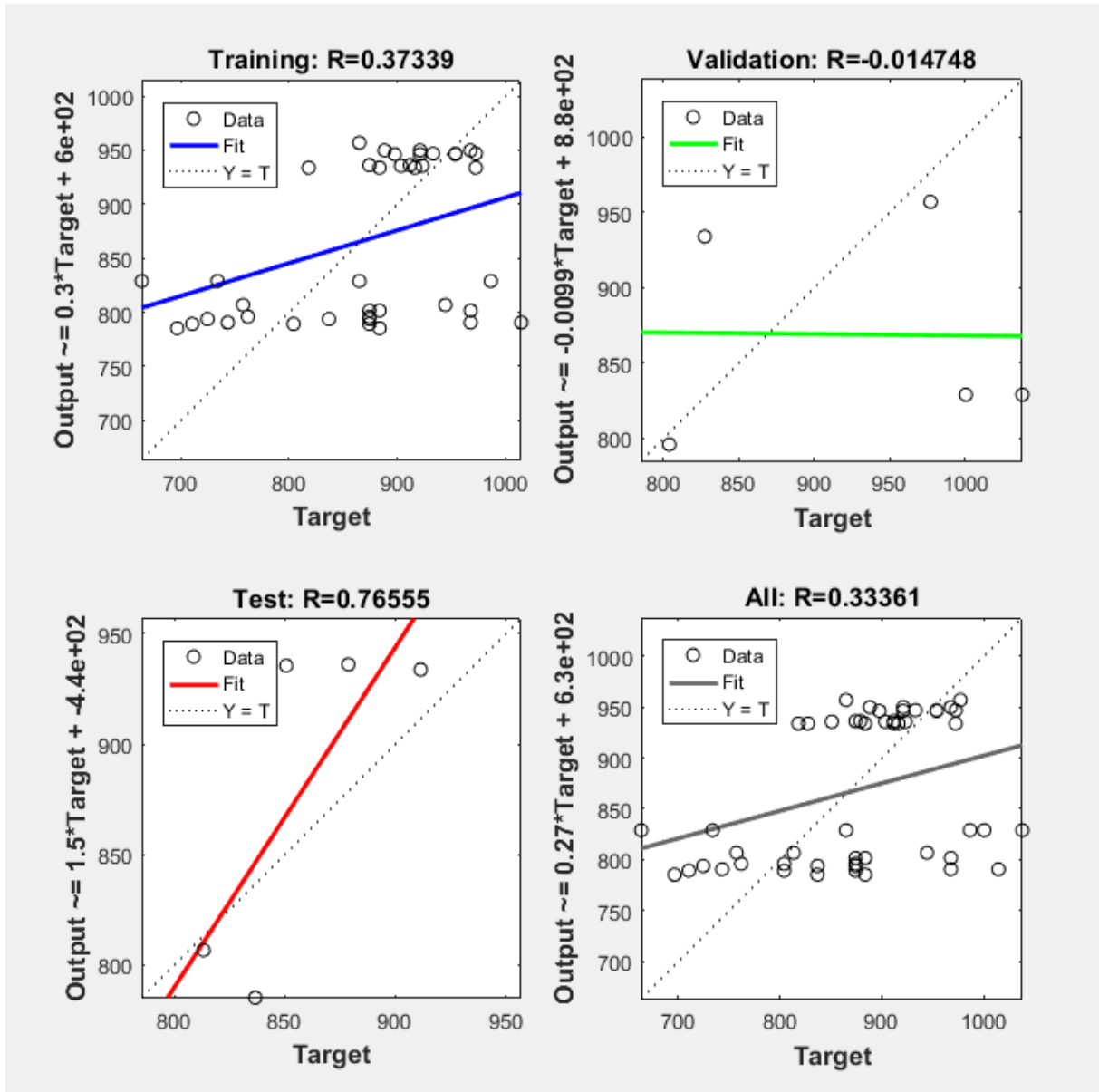
Şekil 4.42. PV-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi

Şekil 4.43.'te PV-ST modelinin eğitim sürecinde kullanılan parametreler (Gradient, Mu) ve geçerlilik veri seti eğrilerinin değişim grafiklerini göstermektedir. Şekil 4.43.'te geçerlilik veri setinin 7 devirlik bölümünde 6 devir yükseldiği görölmektedir. Bu da geçerlilik veri setinin HKO değeri ve modelin ağırlıklarını belirlemektedir.



Şekil 4.43. PV-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi

Şekil 4.44.'te eğitilmiş PV-ST modelinin eğitim, geçerlilik ve test verilerinde elde edilen sonuçlarının dağılım grafiği verilmektedir. Oluşturulan modelinin tahmin değeri ile gerçek veriler arasındaki ilişim gösterilmektedir. Her veri seti için ayrı ilişim katsayıları belirlenmektedir. Böylece eğitim sürecinin hatalı geçip geçmediği değerlendirilmektedir. Modelin eğitim veri setinin çıktısı, bulunan dağılımın doğru çizgisi gerçek değerlere ( $y=t$ ) göre başlangıç ve sonuç bölümünde sapmalar olduğu görülmektedir. Toplam dağılım grafiğinde görüldüğü gibi dağılımın doğrusal eğilim çizgisi ile gerçek değerler arasındaki korelasyon katsayısı 0.33361 olmaktadır. Bu grafikler modelin eğitim, geçerlilik ve testte nasıl eğitim aldığı hakkında fikir vermektedir.



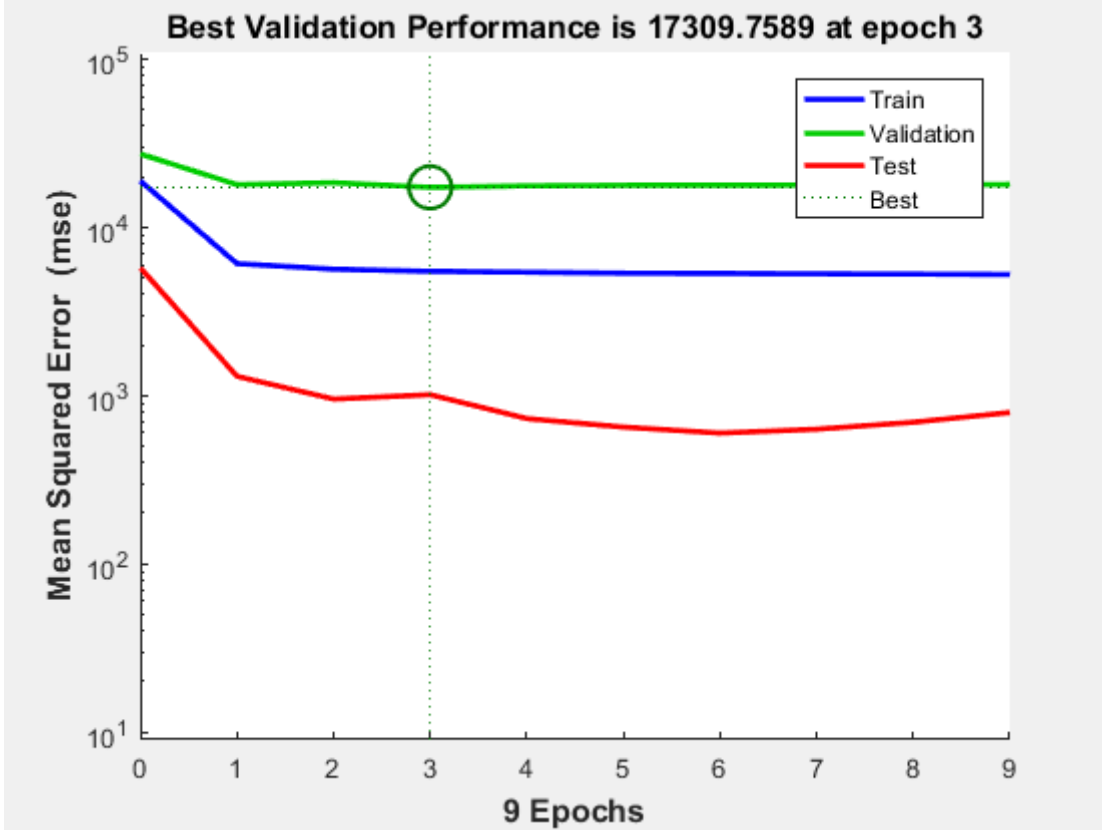
Şekil 4.44. PV-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim

setine göre karşılaştırılması

#### d. PY-ST MODELİ

Penetrasyon değeri ve yumuşama noktası bağımsız değişkenleriyle oluşturulan stabilite tahmin modelinin eğitim süreci Şekil 4.45.'te gösterilmektedir. Tahmin modellerin performans değerleri ölçülürken hataların kareleri ortalaması (HKO) önemli bir kriter olmaktadır. PY-ST modelinin eğitim süresince geçerlilik (validation) veri setinin HKO değeri 17309.7589 olduğu görülmektedir. Buradaki amaç modelin devir (epoch) sayısını belirlemektir. Tahmin modelinin devir sayısı, geçerlilik veri setinin 6 devir üst üste HKO

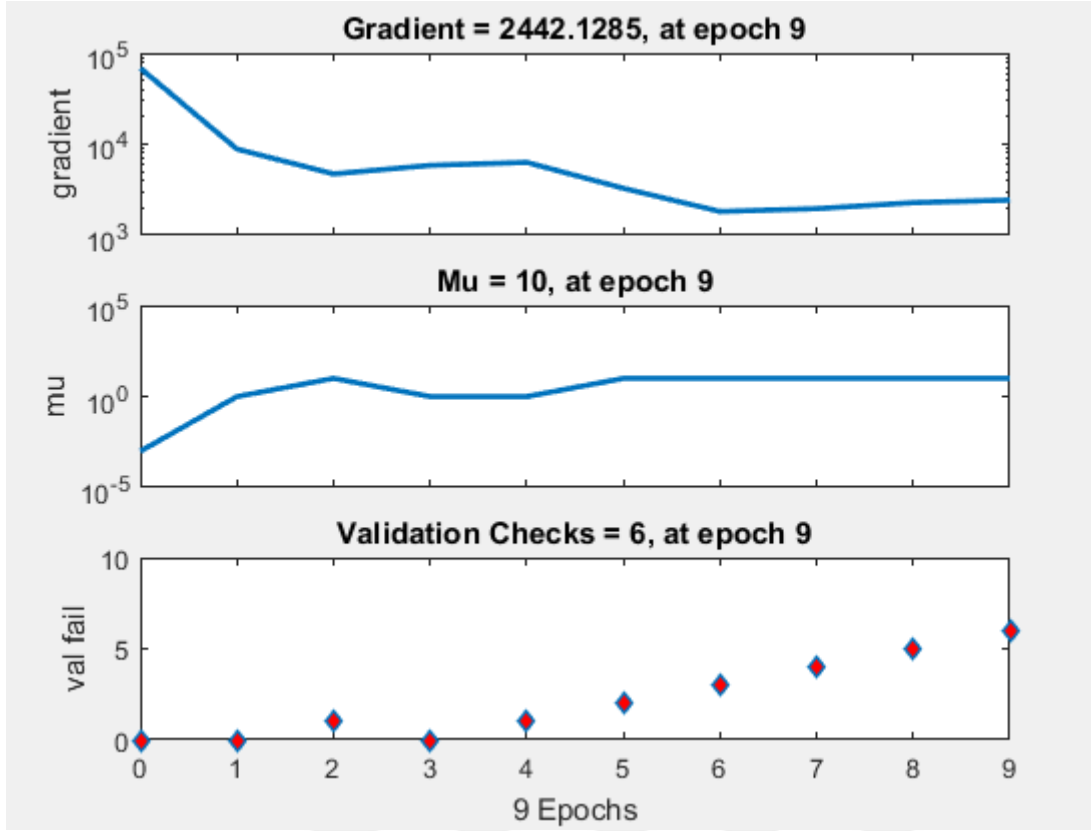
değerinin artış göstermesi ile ortaya çıkmaktadır. Bunun yanısıra train (eğitim) veri setinin ise öğrenme aşamasından ezberleme aşamasına geçiş noktasında model devir sayısını tamamlamaktadır. Eğitim sürecinin en iyi (best) noktası modelin ideal devir sayısının gösterilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca modelin devir sayısının tamamlandığı noktada modelin ağırlıkları da belirlenmiş olur.



Şekil 4.45. PY-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi

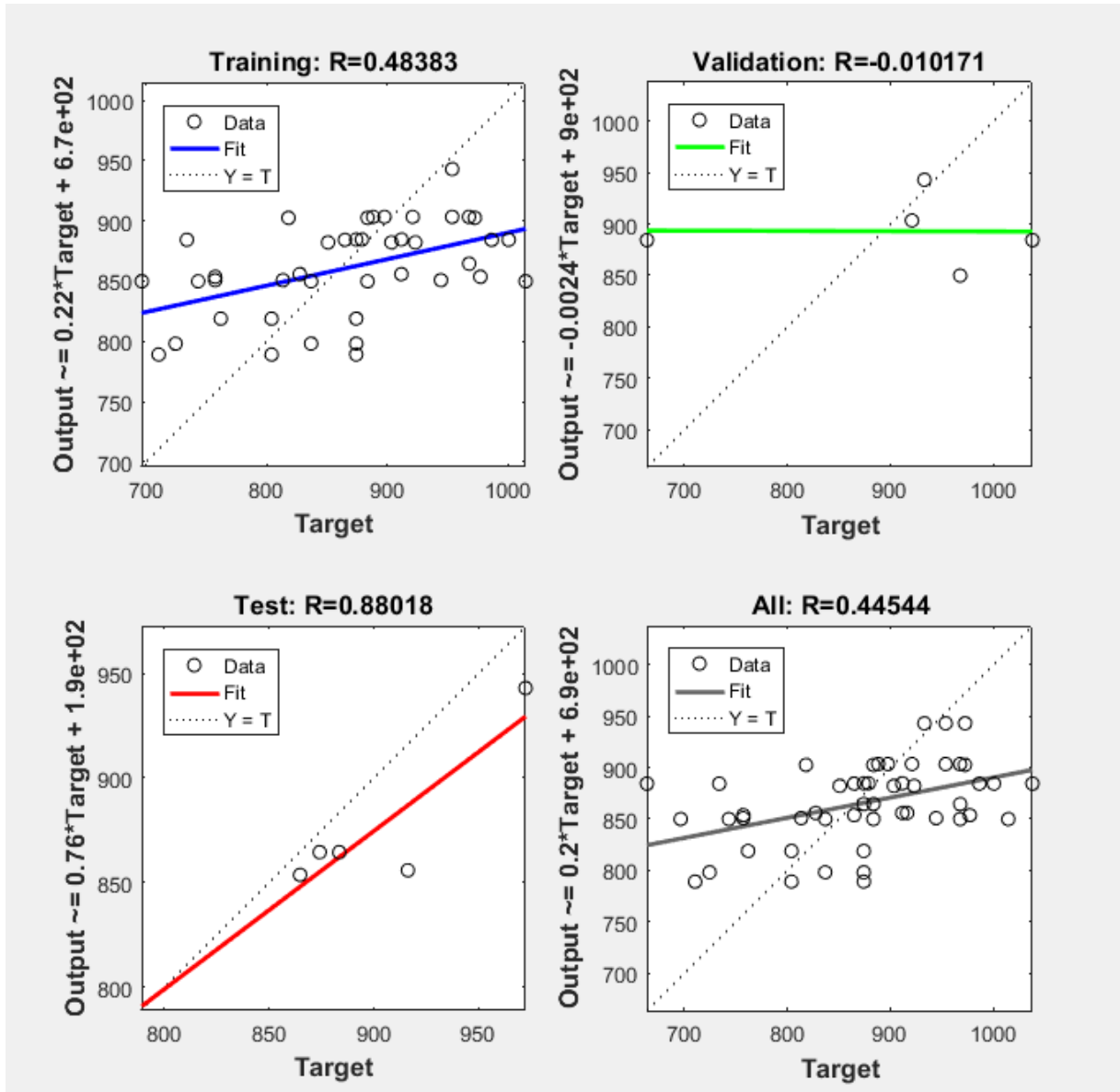
Şekil 4.46.'da PY-ST modelinin eğitim sürecinde kullanılan parametreler (Gradient, Mu) ve geçerlilik veri seti eğrilerinin değişim grafiklerini göstermektedir. Şekil 4.46.'da geçerlilik veri setinin 9 devirlik bölümünde 6 devir yükseldiği görülmektedir. Bu da geçerlilik veri setinin HKO değeri ve modelin ağırlıklarını belirlemektedir.





Şekil 4.46. PY-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi

Şekil 4.47.'de eğitilmiş PY-ST modelinin eğitim, geçerlilik ve test verilerinde elde edilen sonuçlarının dağılım grafiği verilmektedir. Oluşturulan modelinin tahmin değeri ile gerçek veriler arasındaki ilişki gösterilmektedir. Her veri seti için ayrı ilişki katsayıları belirlenmektedir. Böylece eğitim sürecinin hatalı geçip geçmediği değerlendirilmektedir. Modelin eğitim veri setinin çıktısı, bulunan dağılımın doğru çizgisi gerçek değerlere ( $y=t$ ) göre başlangıç ve sonuç bölümünde sapmalar olduğu görülmektedir. Toplam dağılım grafiğinde görüldüğü gibi dağılımın doğrusal eğilim çizgisi ile gerçek değerler arasındaki korelasyon katsayısı 0.44544 olmaktadır. Bu grafikler modelin eğitim, geçerlilik ve teste nasıl eğitim aldığı hakkında fikir vermektedir.

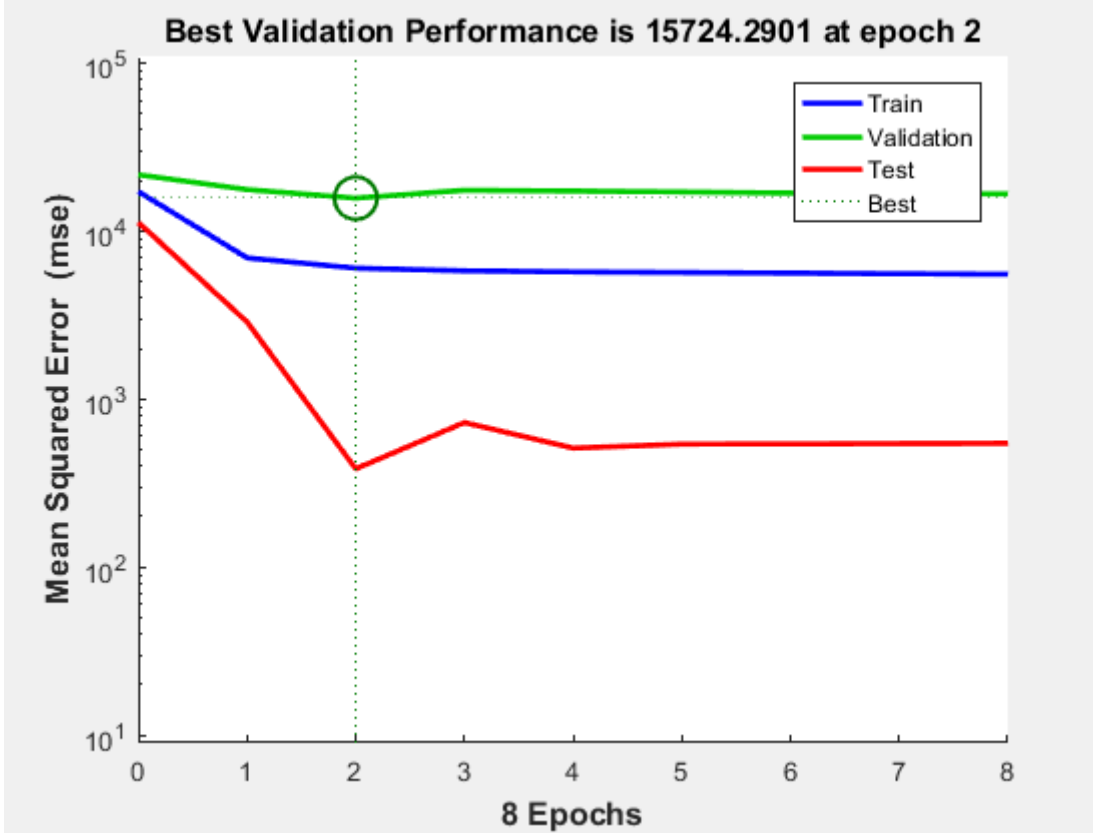


Şekil 4.47. PY-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması

#### e. VY-ST MODELİ

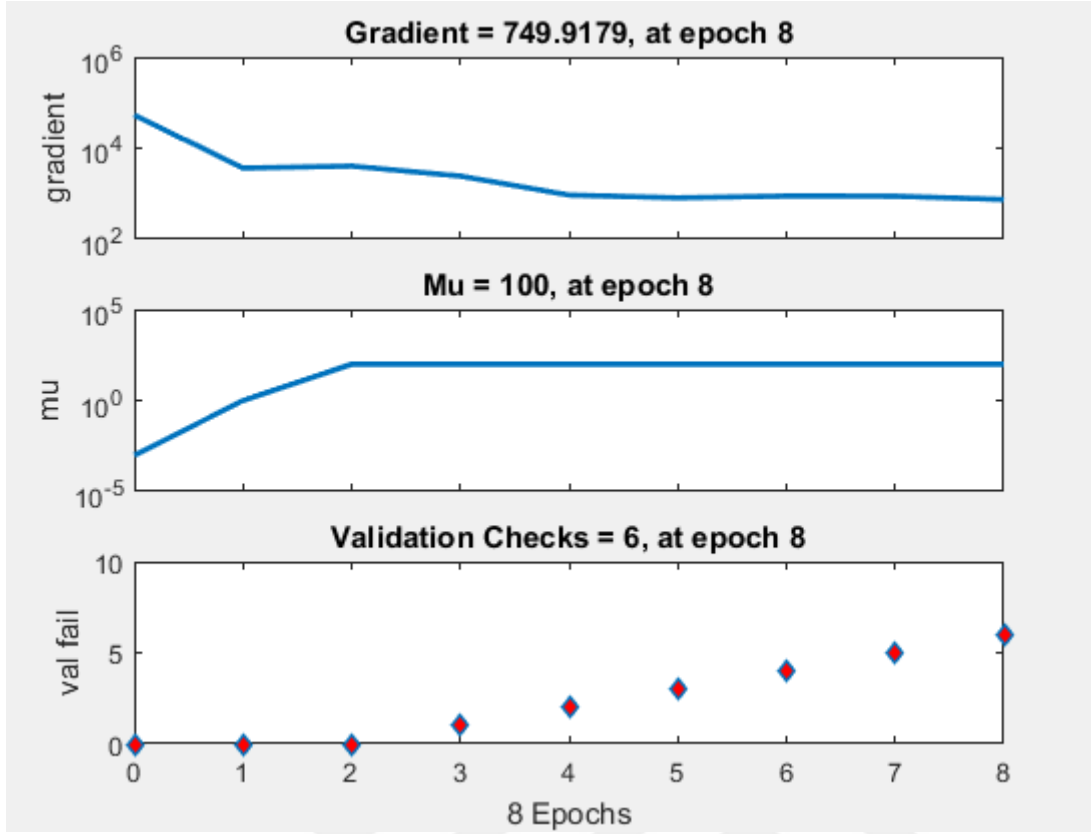
Viskozite ve yumuşama noktası bağımsız değişkenleriyle oluşturulan stabilite tahmin modelinin eğitim süreci Şekil 4.48.'de gösterilmektedir. Tahmin modellerin performans değerleri ölçülürken hataların kareleri ortalaması (HKO) önemli bir kriter olmaktadır. VY-ST modelinin eğitim süresince geçerlilik (validation) veri setinin HKO değeri 15724.2901 olduğu görülmektedir. Buradaki amaç modelin devir (epoch) sayısını belirlemektir. Tahmin modelinin devir sayısı, geçerlilik veri setinin 6 devir üst üste HKO değerinin artış göstermesi ile ortaya çıkmaktadır. Bunun yanısıra train (eğitim) veri setinin ise öğrenme aşamasından

ezberleme aşamasına geçiş noktasında model devir sayısını tamamlamaktadır. Eğitim sürecinin en iyi (best) noktası modelin ideal devir sayısının gösterilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca modelin devir sayısının tamamlandığı noktada modelin ağırlıkları da belirlenmiş olur.



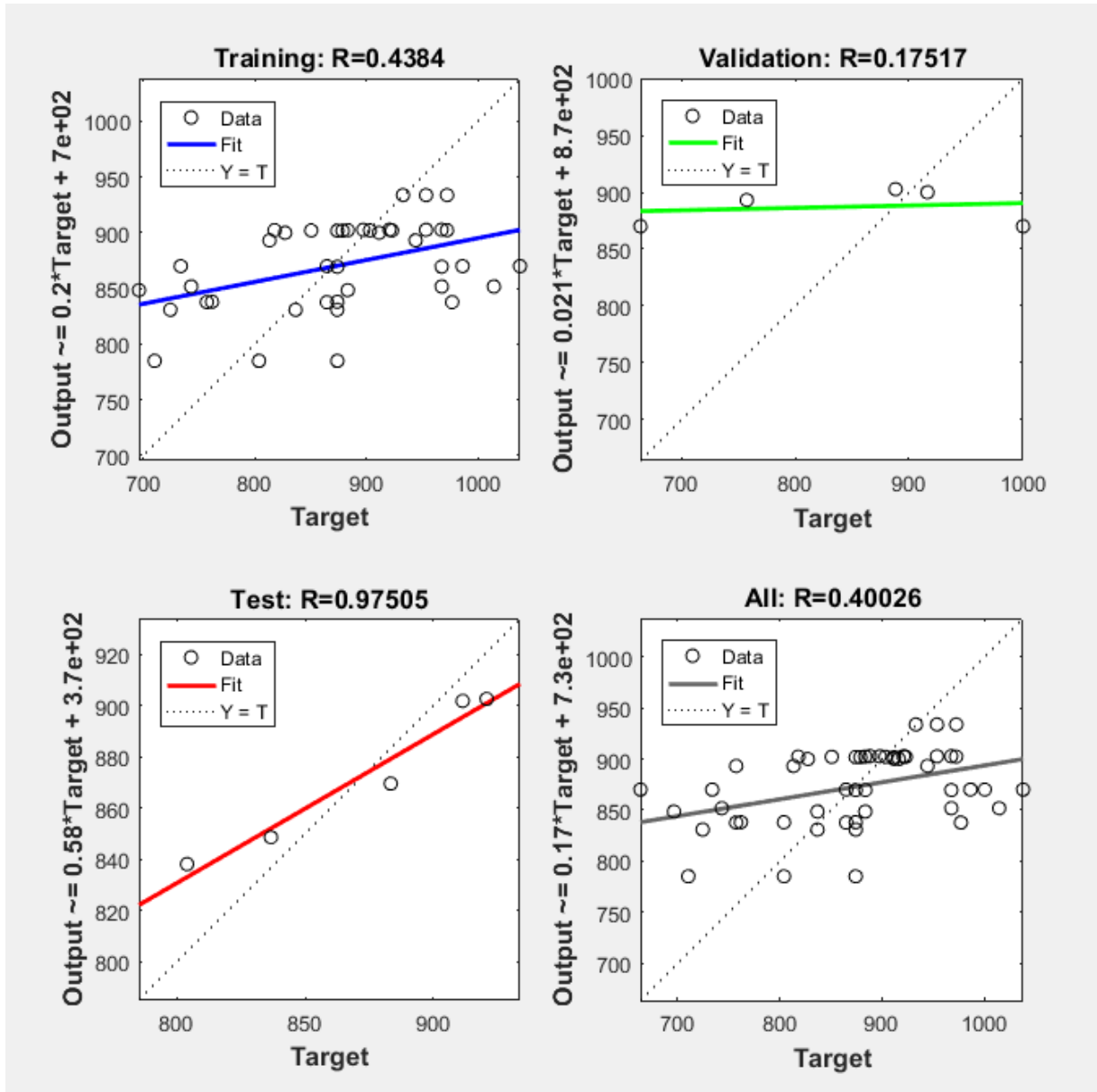
Şekil 4.48. VY-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi

Şekil 4.49.'da VY-ST modelinin eğitim sürecinde kullanılan parametreler (Gradient, Mu) ve geçerlilik veri seti eğrilerinin değişim grafiklerini göstermektedir. Şekil 4.49.'da geçerlilik veri setinin 8 devirlik bölümünde 6 devir yükseldiği görülmektedir. Bu da geçerlilik veri setinin HKO değeri ve modelin ağırlıklarını belirlemektedir.



Şekil 4.49. VY-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi

Şekil 4.50.'de eğitilmiş VY-ST modelinin eğitim, geçerlilik ve test verilerinde elde edilen sonuçlarının dağılım grafiği verilmektedir. Oluşturulan modelinin tahmin değeri ile gerçek veriler arasındaki ilişki gösterilmektedir. Her veri seti için ayrı ilişki katsayıları belirlenmektedir. Böylece eğitim sürecinin hatalı geçip geçmediği değerlendirilmektedir. Modelin eğitim veri setinin çıktısı, bulunan dağılımın doğru çizgisi gerçek değerlere ( $y=t$ ) göre başlangıç ve sonuç bölümünde sapmalar olduğu görülmektedir. Toplam dağılım grafiğinde görüldüğü gibi dağılımın doğrusal eğilim çizgisi ile gerçek değerler arasındaki korelasyon katsayısı 0.40026 olmaktadır. Bu grafikler modelin eğitim, geçerlilik ve testte nasıl eğitim aldığı hakkında fikir vermektedir.

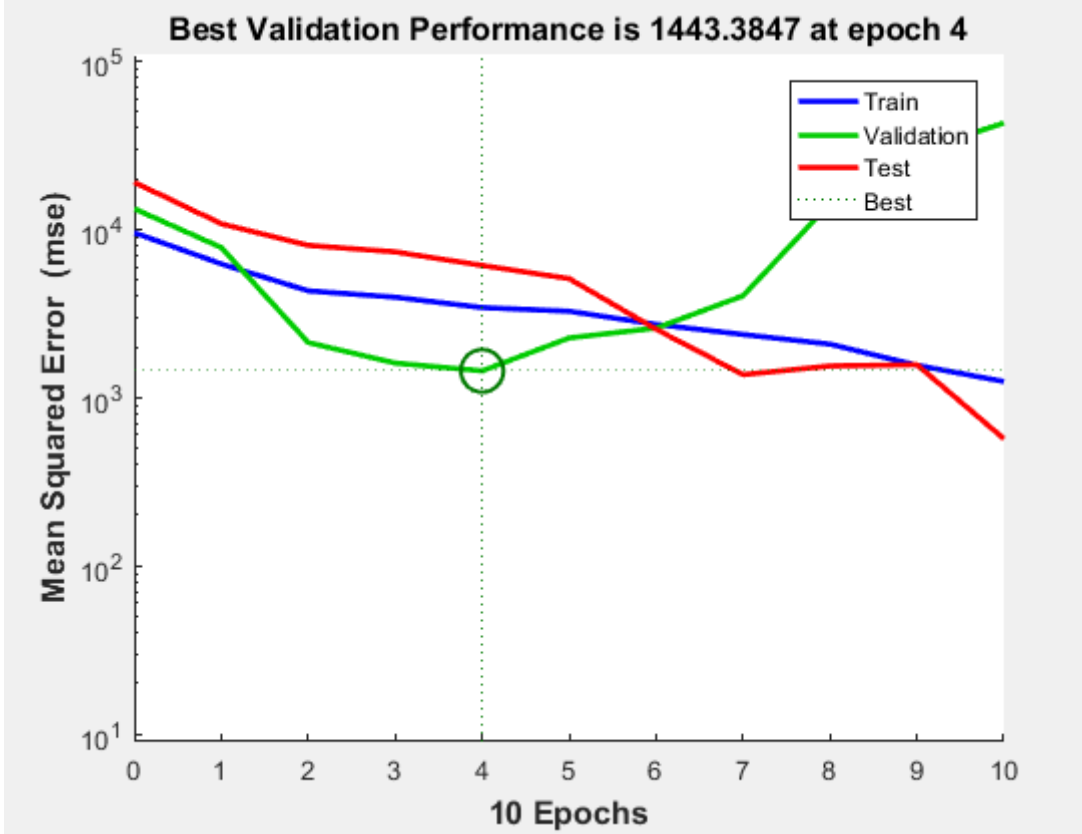


Şekil 4.50. VY-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması

#### f. PVH-ST MODELİ

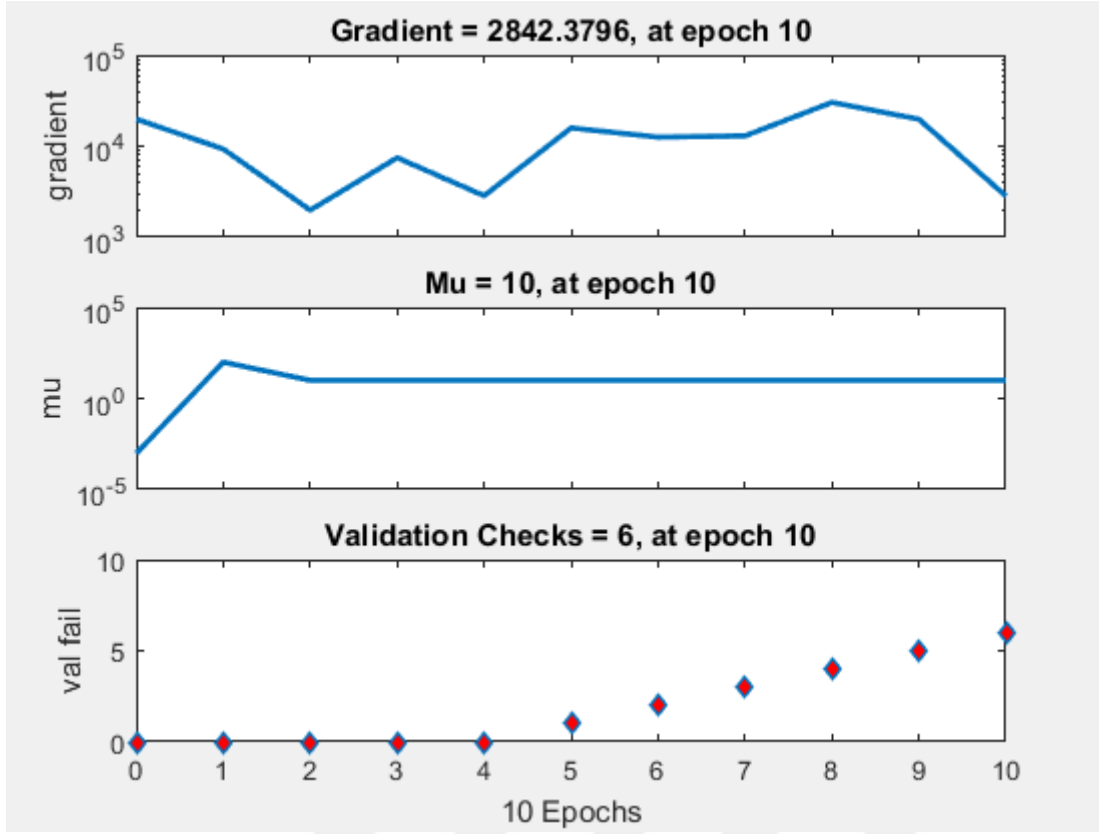
Penetrasyon, viskozite ve bitümün havadaki ağırlığı bağımsız değişkenleriyle oluşturulan stabilite tahmin modelinin eğitim süreci Şekil 4.51.'de gösterilmektedir. Tahmin modellerin performans değerleri ölçülürken hataların kareleri ortalaması (HKO) önemli bir kriter olmaktadır. PVH-ST modelinin eğitim süresince geçerlilik (validation) veri setinin HKO değeri 1443.3847 olduğu görülmektedir. Buradaki amaç modelin devir (epoch) sayısını belirlemektir. Tahmin modelinin devir sayısı, geçerlilik veri setinin 6 devir üst üste HKO

değerinin artış göstermesi ile ortaya çıkmaktadır. Bunun yanısıra train (eğitim) veri setinin ise öğrenme aşamasından ezberleme aşamasına geçiş noktasında model devir sayısını tamamlamaktadır. Eğitim sürecinin en iyi (best) noktası modelin ideal devir sayısının gösterilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca modelin devir sayısının tamamlandığı noktada modelin ağırlıkları da belirlenmiş olur.



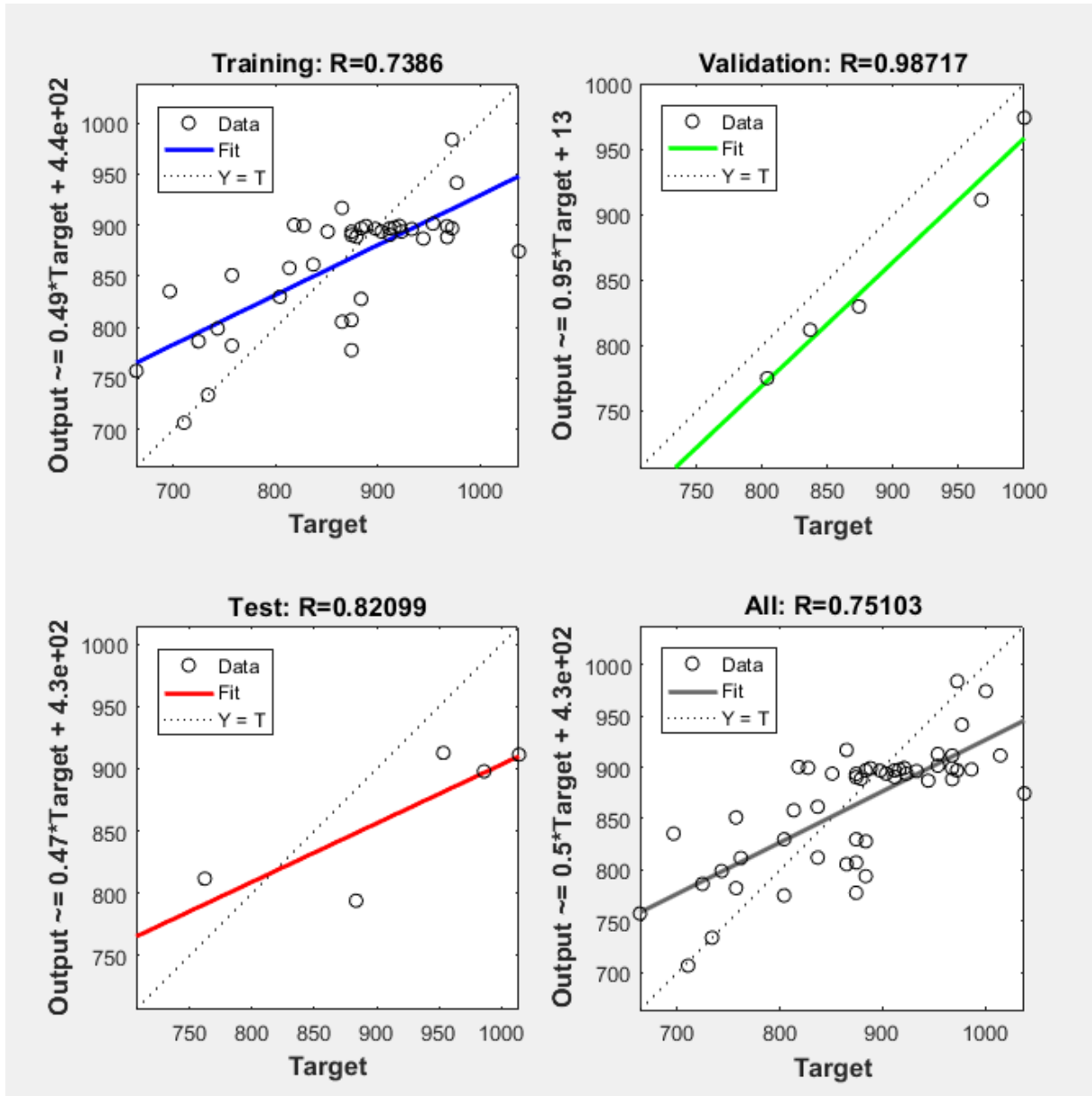
Şekil 4.51. PVH-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi

Şekil 4.52.'de PVH-ST modelinin eğitim sürecinde kullanılan parametreler (Gradient, Mu) ve geçerlilik veri seti eğrilerinin değişim grafiklerini göstermektedir. Şekil 4.52.'de geçerlilik veri setinin 10 devirlik bölümünde 6 devir yükseldiği görülmektedir. Bu da geçerlilik veri setinin HKO değeri ve modelin ağırlıklarını belirlemektedir.



Şekil 4.52. PVH-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi

Şekil 4.53.'te eğitilmiş PVH-ST modelinin eğitim, geçerlilik ve test verilerinde elde edilen sonuçlarının dağılım grafiği verilmektedir. Oluşturulan modelinin tahmin değeri ile gerçek veriler arasındaki ilişki gösterilmektedir. Her veri seti için ayrı ilişki katsayıları belirlenmektedir. Böylece eğitim sürecinin hatalı geçip geçmediği değerlendirilmektedir. Modelin eğitim veri setinin çıktısı, bulunan dağılımın doğru çizgisi gerçek değerlere ( $y=t$ ) göre başlangıç ve sonuç bölümünde sapmalar olduğu görülmektedir. Toplam dağılım grafiğinde görüldüğü gibi dağılımın doğrusal eğilim çizgisi ile gerçek değerler arasındaki korelasyon katsayısı 0.75103 olmaktadır. Bu grafikler modelin eğitim, geçerlilik ve testte nasıl eğitim aldığı hakkında fikir vermektedir.



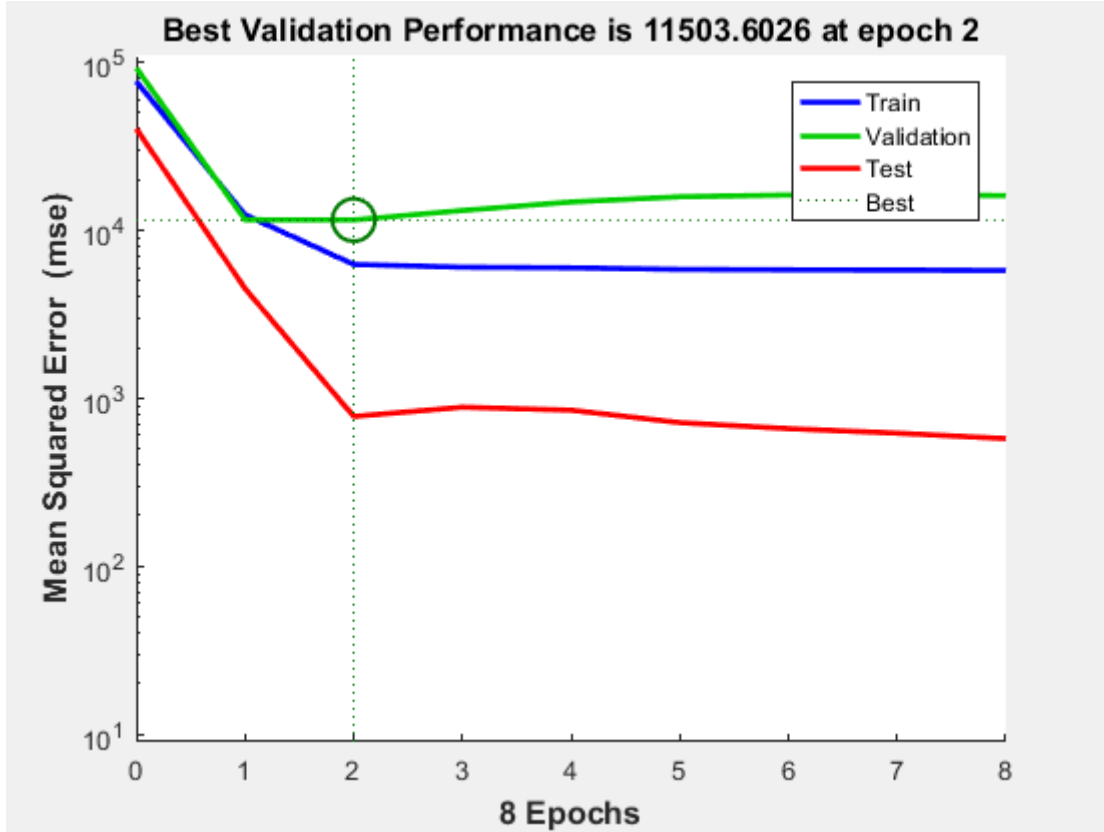
Şekil 4.53. PVH-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması

### g. PVY-ST MODELİ

Penetrasyon, viskozite ve yumuşama noktası bağımsız değişkenleriyle oluşturulan stabilite tahmin modelinin eğitim süreci Şekil 4.54.'te gösterilmektedir. Tahmin modellerin performans değerleri ölçülürken hataların kareleri ortalaması (HKO) önemli bir kriter olmaktadır. PVY-ST modelinin eğitim süresince geçerlilik (validation) veri setinin HKO değeri 11503.6026 olduğu görülmektedir. Buradaki amaç modelin devir (epoch) sayısını belirlemektir. Tahmin modelinin devir sayısı, geçerlilik veri setinin 6 devir üst üste HKO değerinin artış göstermesi ile ortaya çıkmaktadır. Bunun yanısıra train (eğitim) veri setinin ise

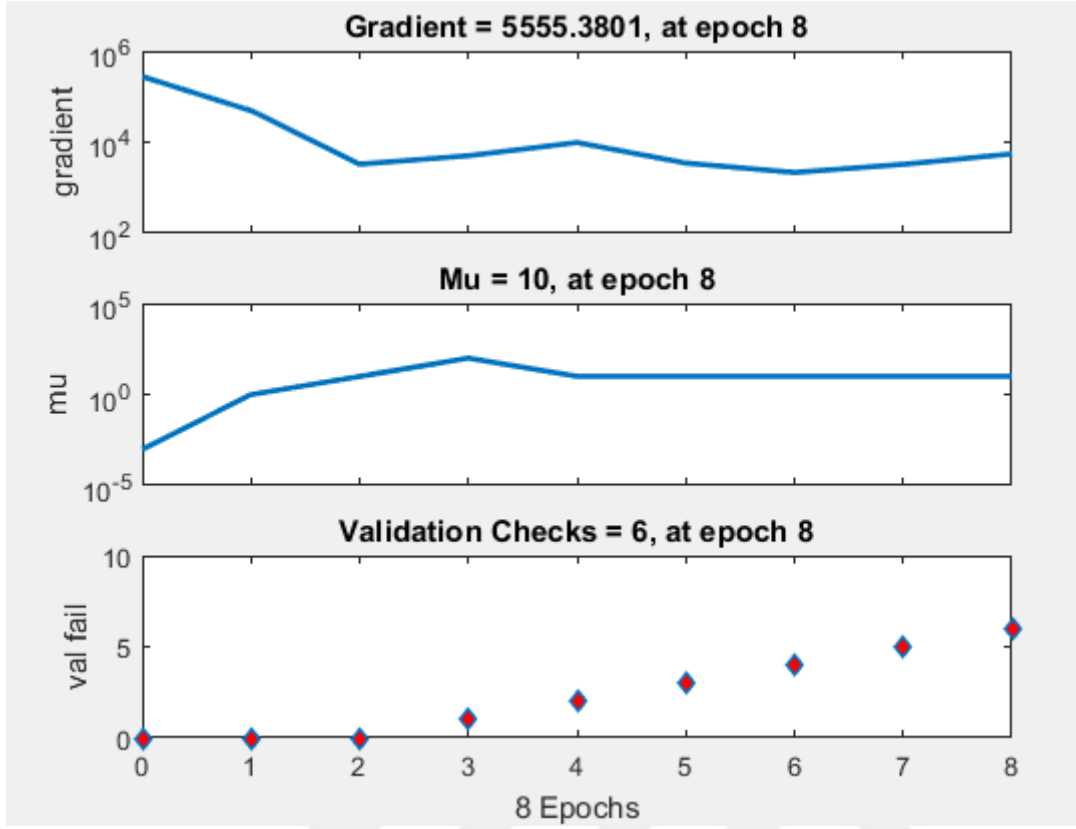


öğrenme aşamasından ezberleme aşamasına geçiş noktasında model devir sayısını tamamlamaktadır. Eğitim sürecinin en iyi (best) noktası modelin ideal devir sayısının gösterilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca modelin devir sayısının tamamlandığı noktada modelin ağırlıkları da belirlenmiş olur.



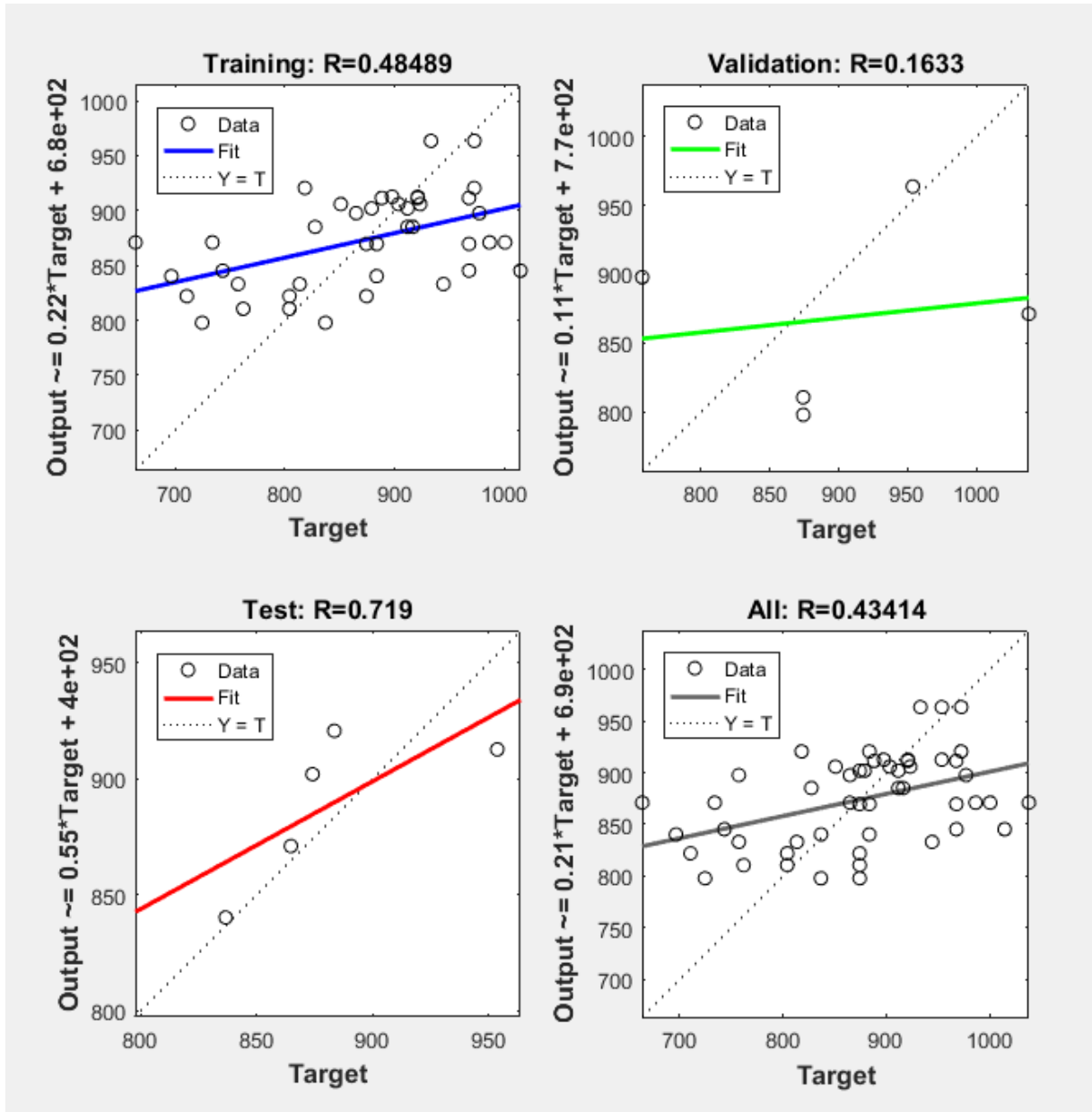
Şekil 4.54. PVY-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi

Şekil 4.55.'te PVY-ST modelinin eğitim sürecinde kullanılan parametreler (Gradient, Mu) ve geçerlilik veri seti eğrilerinin değişim grafiklerini göstermektedir. Şekil 4.55.'te geçerlilik veri setinin 8 devirlik bölümünde 6 devir yükseldiği görülmektedir. Bu da geçerlilik veri setinin HKO değeri ve modelin ağırlıklarını belirlemektedir.



Şekil 4.55. PVY-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi

Şekil 4.56.'da eğitilmiş PVY-ST modelinin eğitim, geçerlilik ve test verilerinde elde edilen sonuçlarının dağılım grafiği verilmektedir. Oluşturulan modelinin tahmin değeri ile gerçek veriler arasındaki ilişki gösterilmektedir. Her veri seti için ayrı ilişki katsayıları belirlenmektedir. Böylece eğitim sürecinin hatalı geçip geçmediği değerlendirilmektedir. Modelin eğitim veri setinin çıktısı, bulunan dağılımın doğru çizgisi gerçek değerlere ( $y=t$ ) göre başlangıç ve sonuç bölümünde sapmalar olduğu görülmektedir. Toplam dağılım grafiğinde görüldüğü gibi dağılımın doğrusal eğilim çizgisi ile gerçek değerler arasındaki korelasyon katsayısı 0.43414 olmaktadır. Bu grafikler modelin eğitim, geçerlilik ve teste nasıl eğitim aldığı hakkında fikir vermektedir.

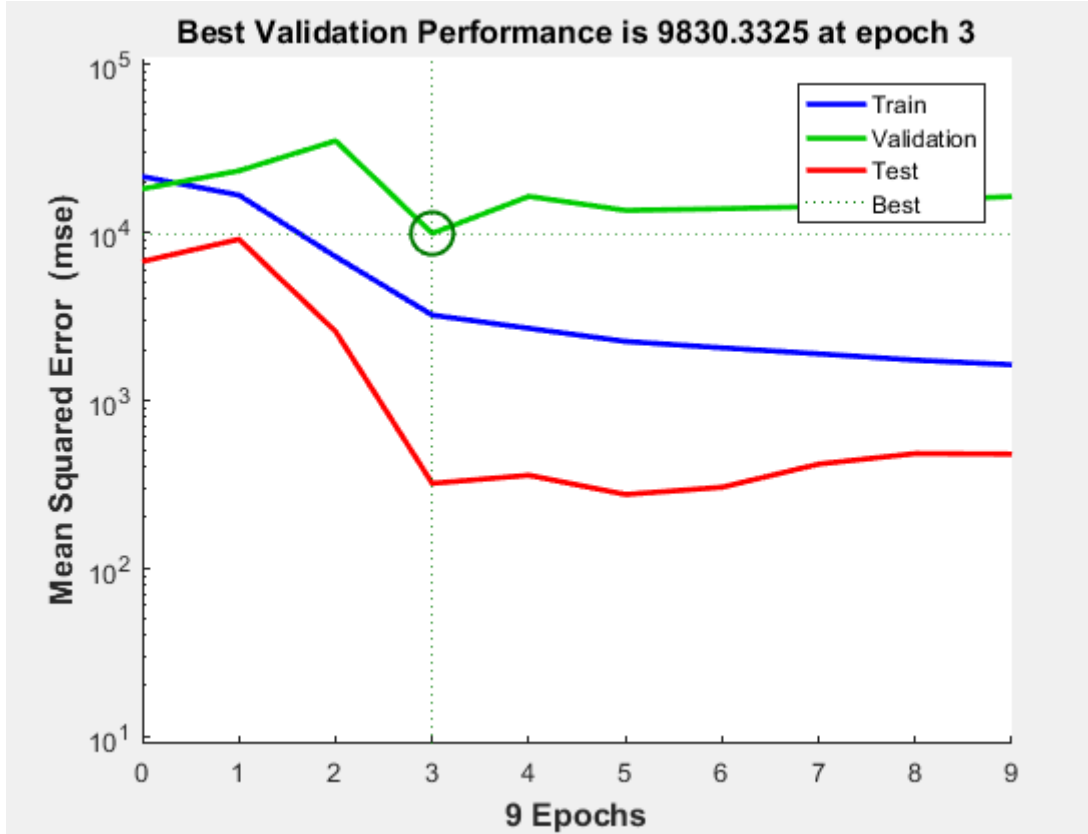


Şekil 4.56. PVY-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması

#### h. VYS-ST MODELİ

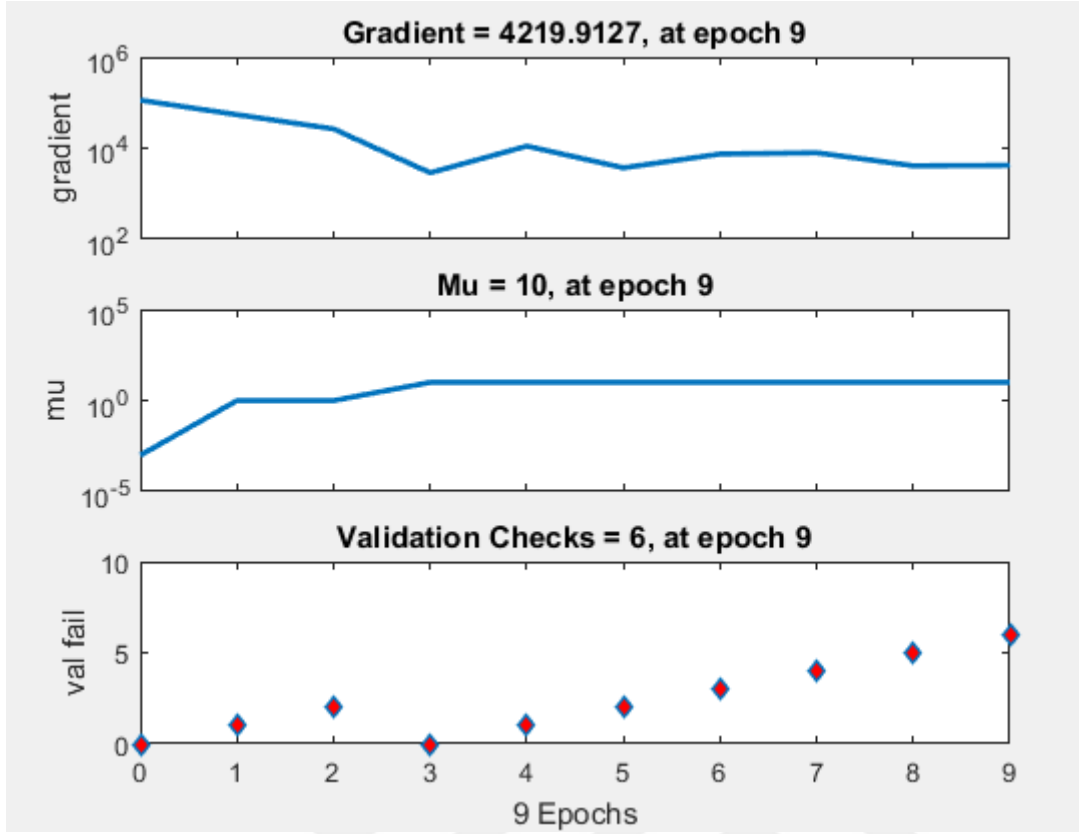
Viskozite, yumuşama noktası ve bitümün sudaki ağırlığı bağımsız değişkenleriyle oluşturulan stabilite tahmin modelinin eğitim süreci Şekil 4.57.'de gösterilmektedir. Tahmin modellerin performans değerleri ölçülürken hataların kareleri ortalaması (HKO) önemli bir kriter olmaktadır. VYS-ST modelinin eğitim süresince geçerlilik (validation) veri setinin HKO değeri 9830.3325 olduğu görülmektedir. Buradaki amaç modelin devir (epoch) sayısını belirlemektir. Tahmin modelinin devir sayısı, geçerlilik veri setinin 6 devir üst üste HKO değerinin artış göstermesi ile ortaya çıkmaktadır. Bunun yanısıra train (eğitim) veri setinin ise

öğrenme aşamasından ezberleme aşamasına geçiş noktasında model devir sayısını tamamlamaktadır. Eğitim sürecinin en iyi (best) noktası modelin ideal devir sayısının gösterilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca modelin devir sayısının tamamlandığı noktada modelin ağırlıkları da belirlenmiş olur.



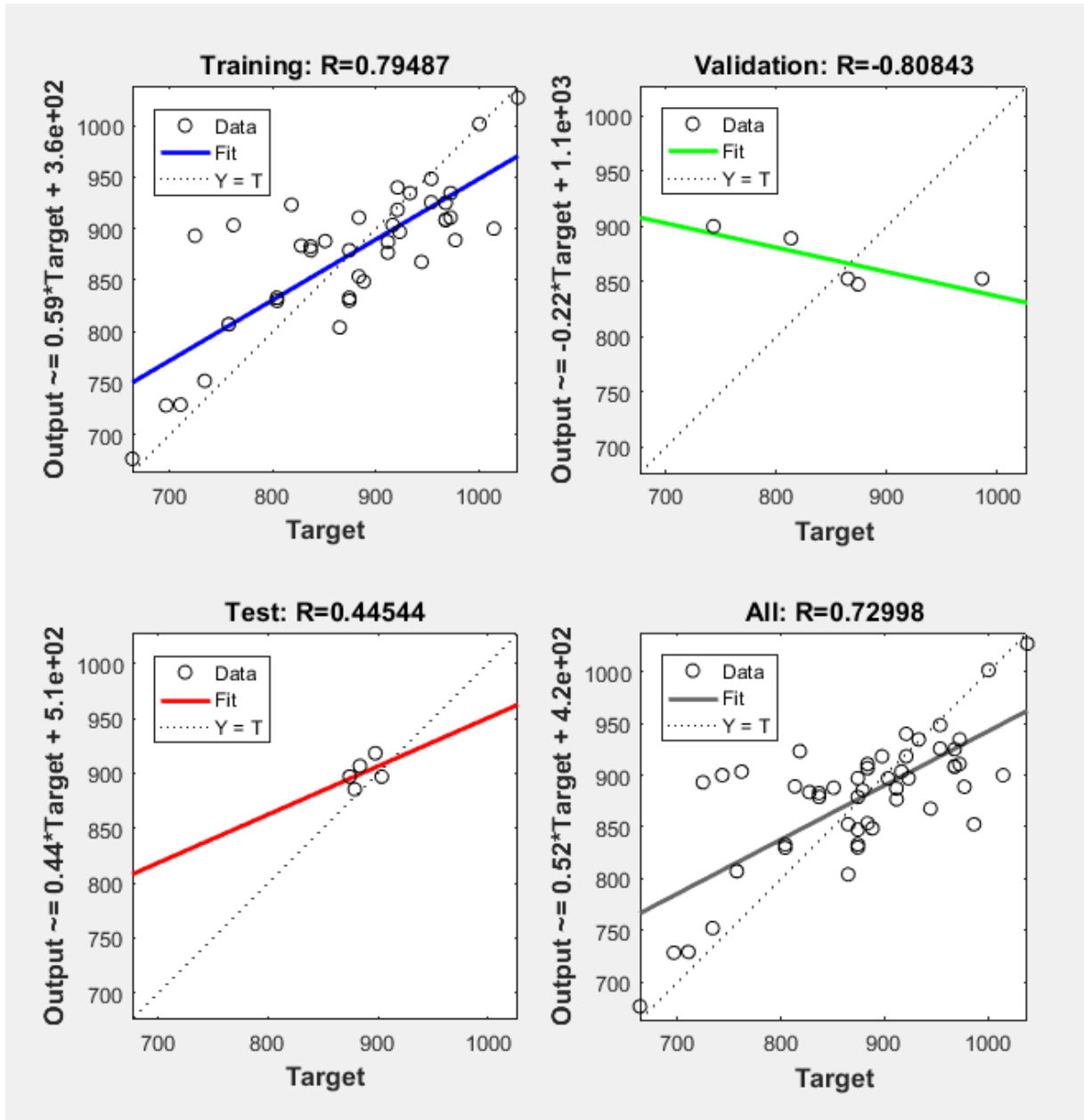
Şekil 4.57. VYS-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi

Şekil 4.58.'de VYS-ST modelinin eğitim sürecinde kullanılan parametreler (Gradient, Mu) ve geçerlilik veri seti eğrilerinin değişim grafiklerini göstermektedir. Şekil 4.58.'de geçerlilik veri setinin 9 devirlik bölümünde 6 devir yükseldiği görülmektedir. Bu da geçerlilik veri setinin HKO değeri ve modelin ağırlıklarını belirlemektedir.



Şekil 4.58. VYS-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi

Şekil 4.59.'da eğitilmiş VYS-ST modelinin eğitim, geçerlilik ve test verilerinde elde edilen sonuçlarının dağılım grafiği verilmektedir. Oluşturulan modelinin tahmin değeri ile gerçek veriler arasındaki ilişki gösterilmektedir. Her veri seti için ayrı ilişki katsayıları belirlenmektedir. Böylece eğitim sürecinin hatalı geçip geçmediği değerlendirilmektedir. Modelin eğitim veri setinin çıktısı, bulunan dağılımın doğru çizgisi gerçek değerlere ( $y=t$ ) göre başlangıç ve sonuç bölümünde sapmalar olduğu görülmektedir. Toplam dağılım grafiğinde görüldüğü gibi dağılımın doğrusal eğilim çizgisi ile gerçek değerler arasındaki korelasyon katsayısı 0.72998 olmaktadır. Bu grafikler modelin eğitim, geçerlilik ve testte nasıl eğitim aldığı hakkında fikir vermektedir.

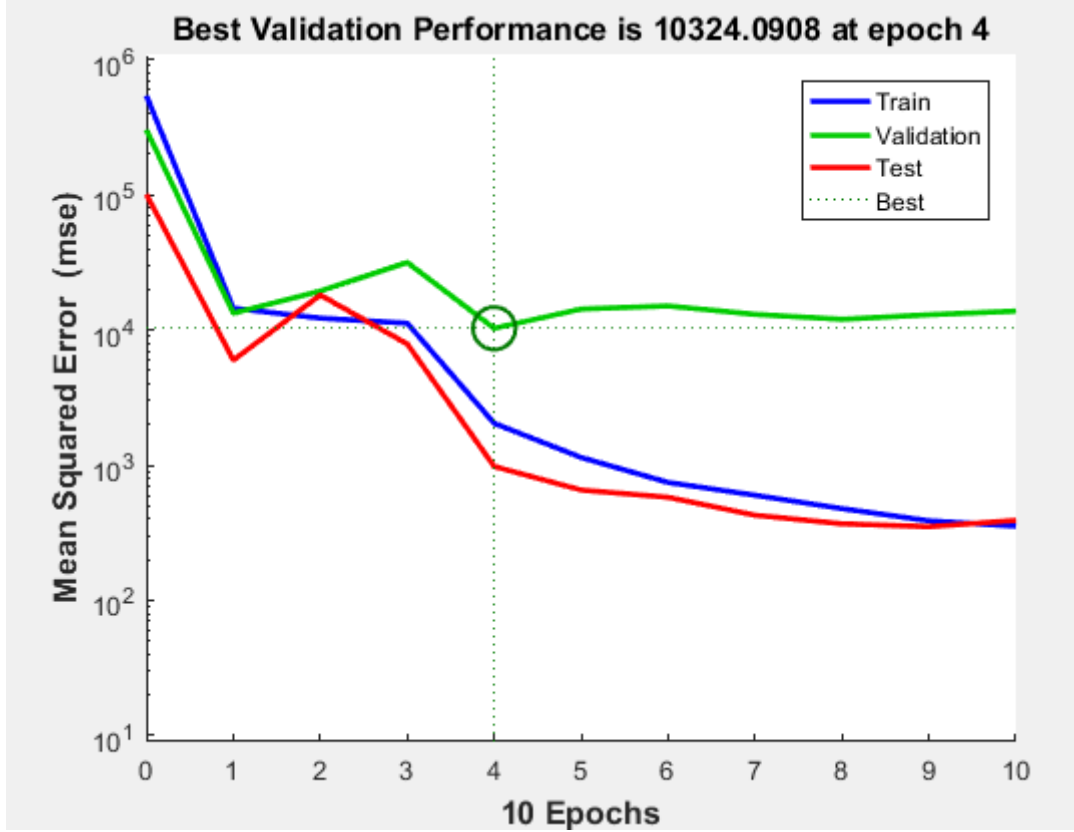


Şekil 4.59. VYS-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması

### 1. PVYH-ST MODELİ

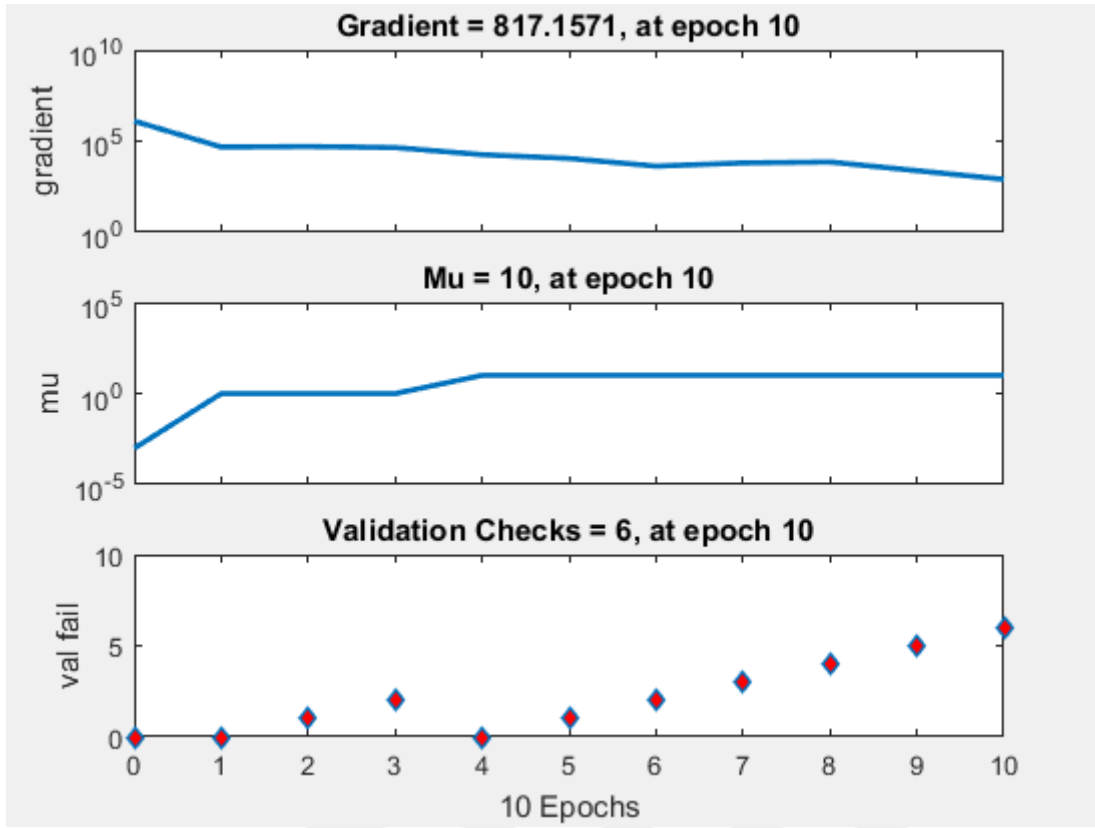
Penetrasyon, viskozite, yumuşama noktası ve bitümün havadaki ağırlığı bağımsız değişkenleriyle oluşturulan stabilite tahmin modelinin eğitim süreci Şekil 4.60.'ta gösterilmektedir. Tahmin modellerin performans değerleri ölçülürken hataların kareleri ortalaması (HKO) önemli bir kriter olmaktadır. PVYH-ST modelinin eğitim süresince geçerlilik (validation) veri setinin HKO değeri 10324.0908 olduğu görülmektedir. Buradaki amaç modelin devir (epoch) sayısını belirlemektir. Tahmin modelinin devir sayısı, geçerlilik

veri setinin 6 devir üst üste HKO değerinin artış göstermesi ile ortaya çıkmaktadır. Bunun yanısıra train (eğitim) veri setinin ise öğrenme aşamasından ezberleme aşamasına geçiş noktasında model devir sayısını tamamlamaktadır. Eğitim sürecinin en iyi (best) noktası modelin ideal devir sayısının gösterilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca modelin devir sayısının tamamlandığı noktada modelin ağırlıkları da belirlenmiş olur.



Şekil 4.60. PVYH-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi

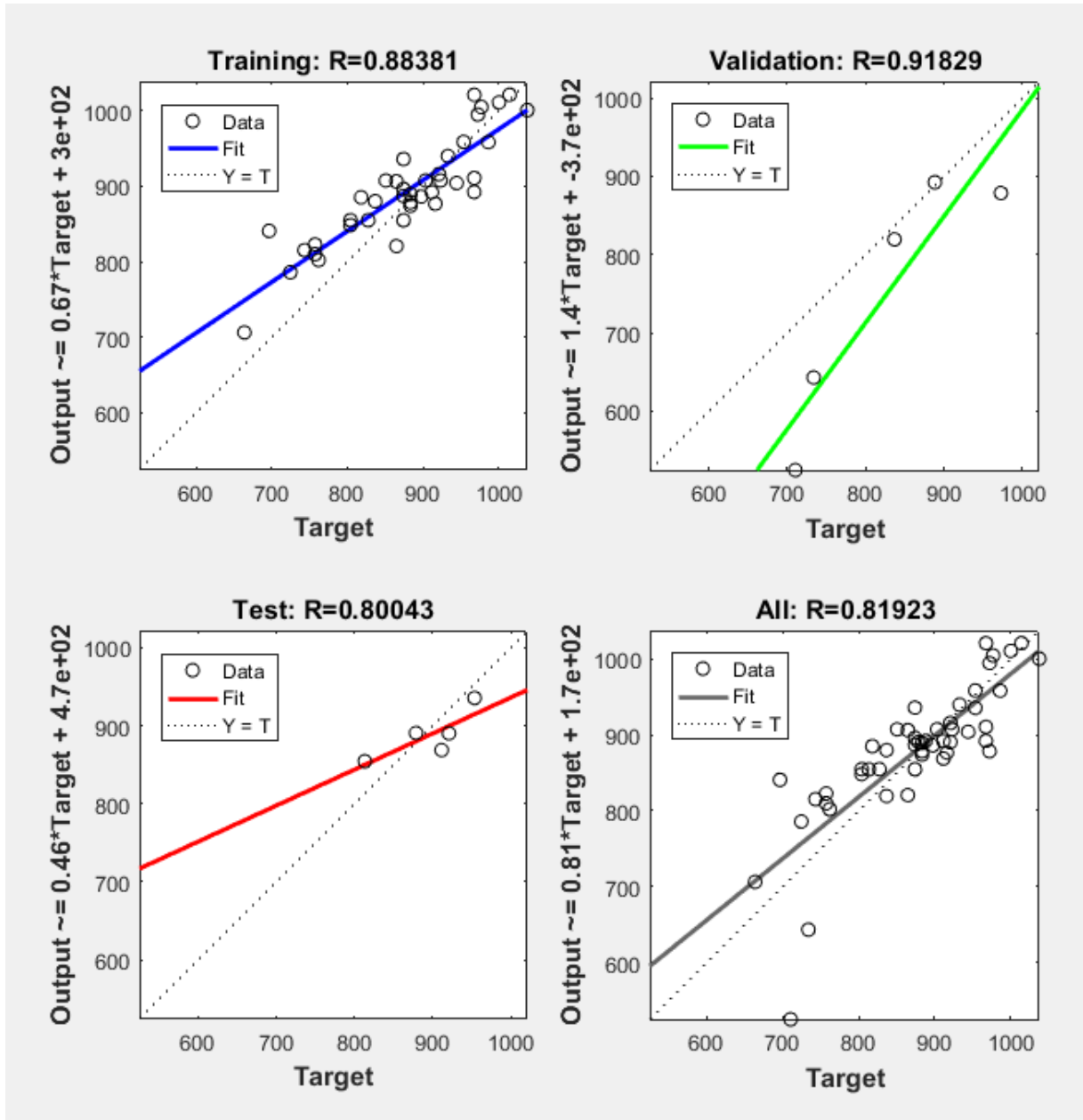
Şekil 4.61.'de PVYH-ST modelinin eğitim sürecinde kullanılan parametreler (Gradient, Mu) ve geçerlilik veri seti eğrilerinin değişim grafiklerini göstermektedir. Şekil 4.61.'de geçerlilik veri setinin 10 devirlik bölümünde 6 devir yükseldiği görülmektedir. Bu da geçerlilik veri setinin HKO değeri ve modelin ağırlıklarını belirlemektedir.



Şekil 4.61. PVYH-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi

Şekil 4.62.'de eğitilmiş PVYH-ST modelinin eğitim, geçerlilik ve test verilerinde elde edilen sonuçlarının dağılım grafiği verilmektedir. Oluşturulan modelinin tahmin değeri ile gerçek veriler arasındaki ilişim gösterilmektedir. Her veri seti için ayrı ilişim katsayıları belirlenmektedir. Böylece eğitim sürecinin hatalı geçip geçmediği değerlendirilmektedir. Modelin eğitim veri setinin çıktısı, bulunan dağılımın doğru çizgisi gerçek değerlere ( $y=t$ ) göre başlangıç ve sonuç bölümünde sapmalar olduğu görülmektedir. Toplam dağılım grafiğinde görüldüğü gibi dağılımın doğrusal eğilim çizgisi ile gerçek değerler arasındaki korelasyon katsayısı 0.81923 olmaktadır. Bu grafikler modelin eğitim, geçerlilik ve testte nasıl eğitim aldığı hakkında fikir vermektedir.



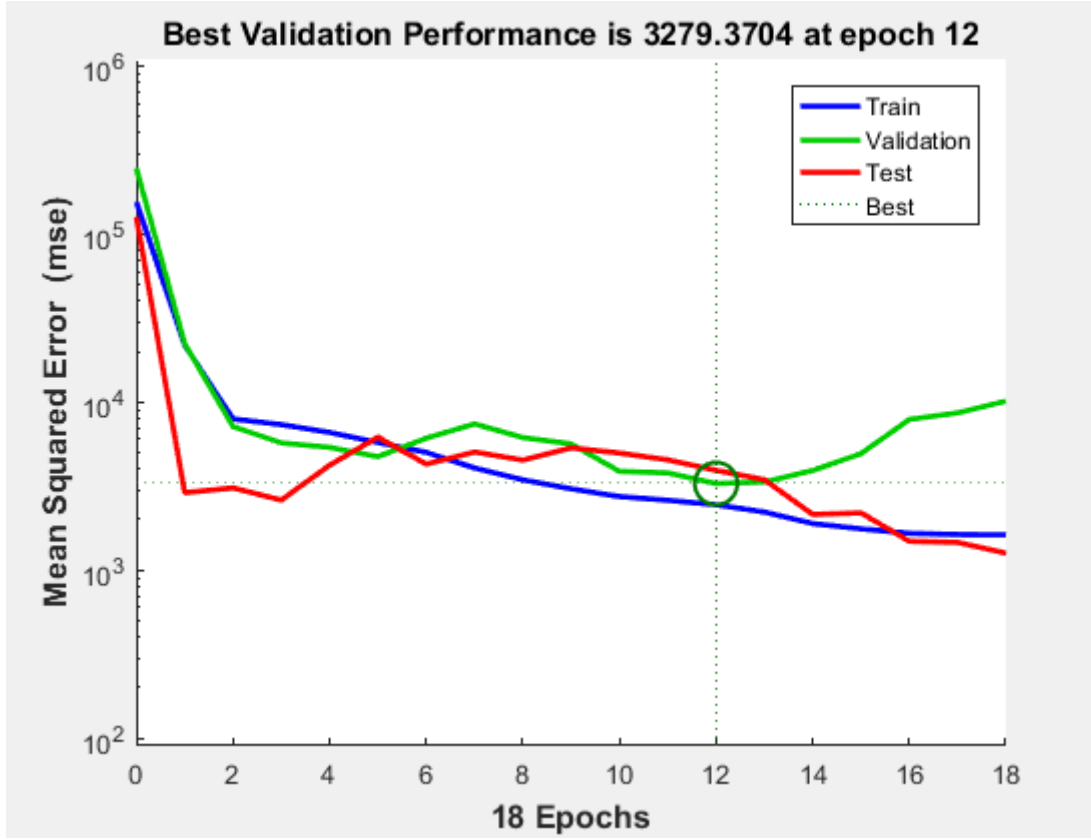


Şekil 4.62. PVYH-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması

#### j. PVYS-ST MODELİ

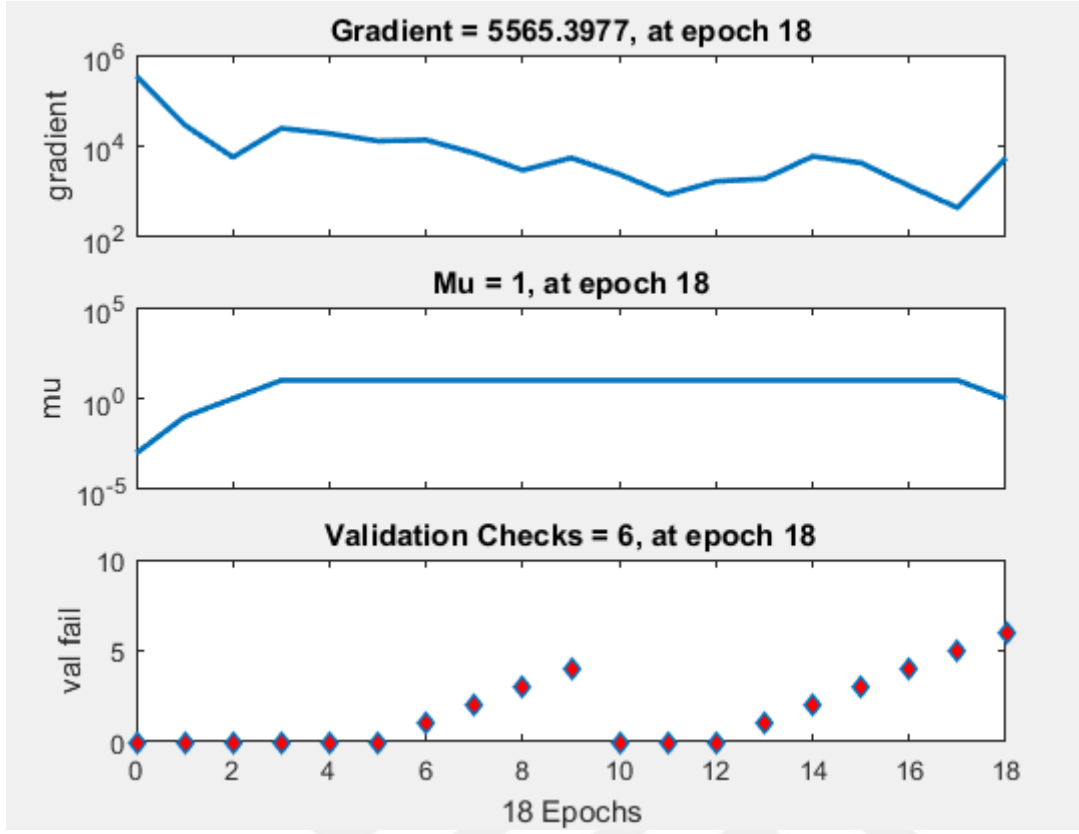
Penetrasyon, viskozite, yumuşama noktası ve bitümün sudaki ağırlığı bağımsız değişkenleriyle oluşturulan stabilite tahmin modelinin eğitim süreci Şekil 4.63.'te gösterilmektedir. Tahmin modellerin performans değerleri ölçülürken hataların kareleri ortalaması (HKO) önemli bir kriter olmaktadır. PVYS-ST modelinin eğitim süresince geçerlilik (validation) veri setinin HKO değeri 3279.3704 olduğu görülmektedir. Buradaki amaç modelin devir (epoch) sayısını belirlemektir. Tahmin modelinin devir sayısı, geçerlilik veri setinin 6 devir üst üste HKO değerinin artış göstermesi ile ortaya çıkmaktadır. Bunun

yanısıra train (eğitim) veri setinin ise öğrenme aşamasından ezberleme aşamasına geçiş noktasında model devir sayısını tamamlamaktadır. Eğitim sürecinin en iyi (best) noktası modelin ideal devir sayısının gösterilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca modelin devir sayısının tamamlandığı noktada modelin ağırlıkları da belirlenmiş olur.



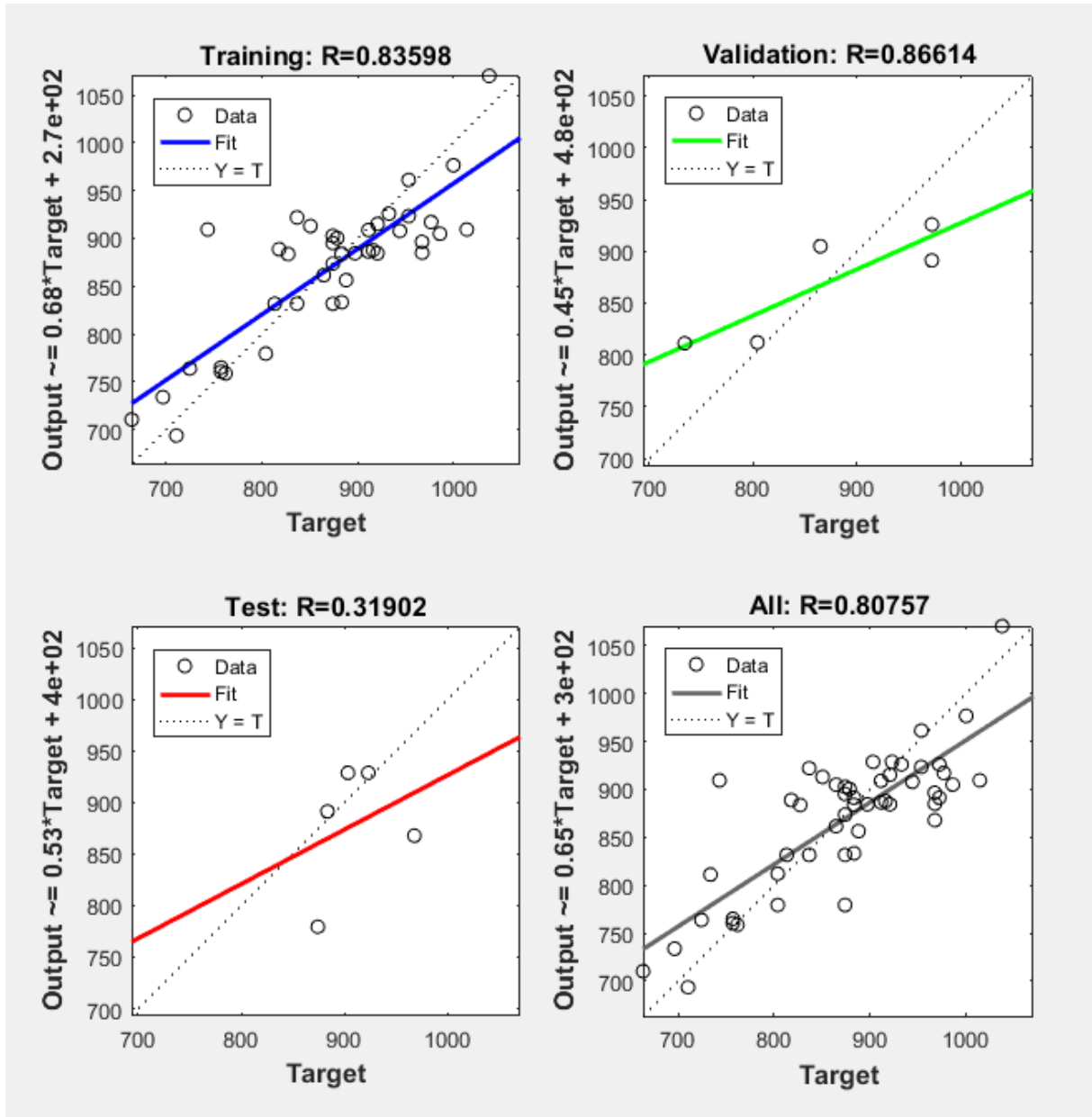
şekil 4.63. PVYS-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi

şekil 4.64.'te PVYS-ST modelinin eğitim sürecinde kullanılan parametreler (Gradient, Mu) ve geçerlilik veri seti eğrilerinin değişim grafiklerini göstermektedir. şekil 4.64.'te geçerlilik veri setinin 18 devirlik bölümünde 6 devir yükseldiği görülmektedir. Bu da geçerlilik veri setinin HKO değeri ve modelin ağırlıklarını belirlemektedir.



Şekil 4.64. PVYS-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi

Şekil 4.65.'te eğitilmiş PVYS-ST modelinin eğitim, geçerlilik ve test verilerinde elde edilen sonuçlarının dağılım grafiği verilmektedir. Oluşturulan modelinin tahmin değeri ile gerçek veriler arasındaki ilişki gösterilmektedir. Her veri seti için ayrı ilişki katsayıları belirlenmektedir. Böylece eğitim sürecinin hatalı geçip geçmediği değerlendirilmektedir. Modelin eğitim veri setinin çıktısı, bulunan dağılımın doğru çizgisi gerçek değerlere ( $y=t$ ) göre başlangıç ve sonuç bölümünde sapmalar olduğu görülmektedir. Toplam dağılım grafiğinde görüldüğü gibi dağılımın doğrusal eğilim çizgisi ile gerçek değerler arasındaki korelasyon katsayısı 0.80757 olmaktadır. Bu grafikler modelin eğitim, geçerlilik ve testte nasıl eğitim aldığı hakkında fikir vermektedir.

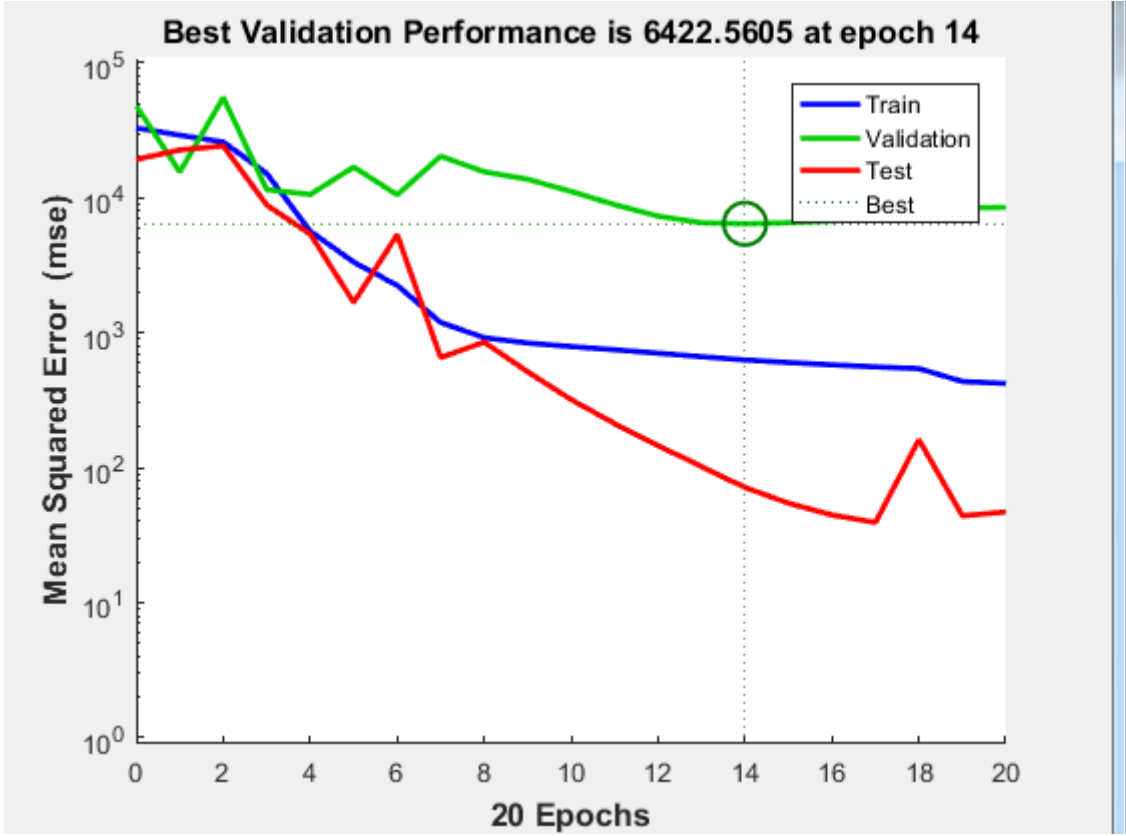


Şekil 4.65. PVYS-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması

### k. PVYHS-ST MODELİ

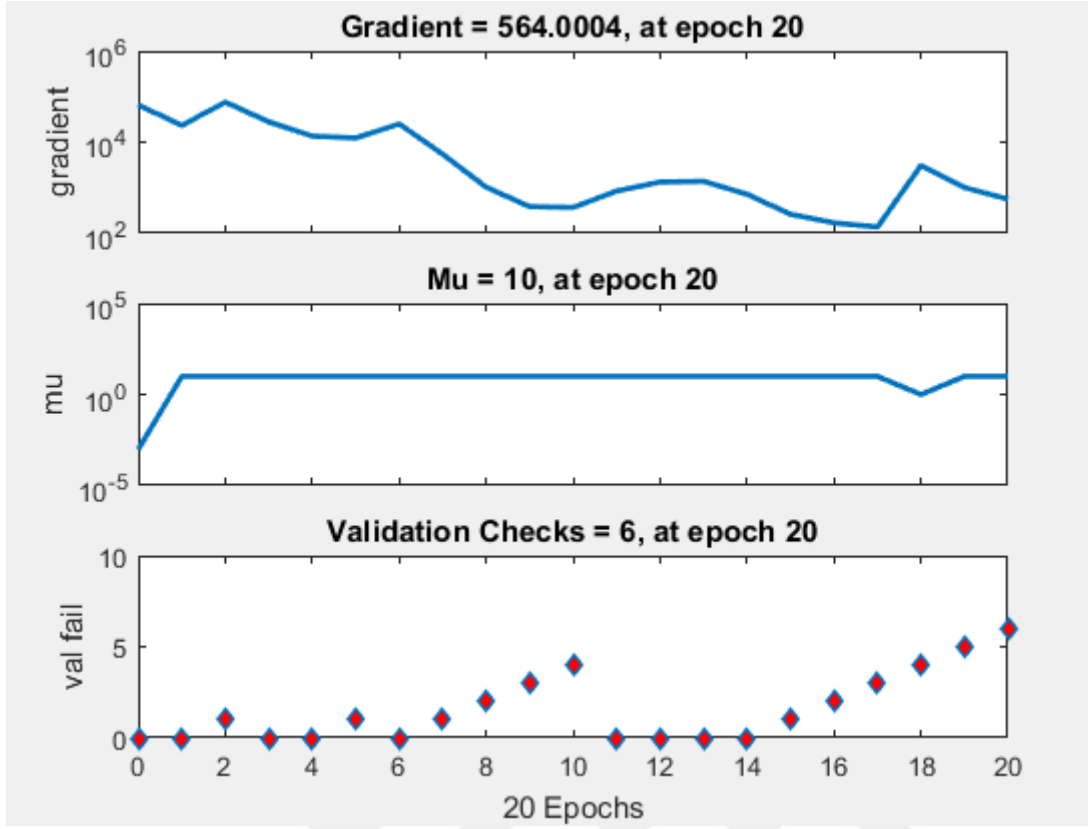
Penetrasyon, viskozite, yumuşama noktası, bitümün havadaki ağırlığı ve bitümün sudaki ağırlığı bağımsız değişkenleriyle oluşturulan stabilite tahmin modelinin eğitim süreci Şekil 4.66.'da gösterilmektedir. Tahmin modellerin performans değerleri ölçülürken hataların kareleri ortalaması (HKO) önemli bir kriter olmaktadır. PVYHS-ST modelinin eğitim süresince geçerlilik (validation) veri setinin HKO değeri 6422.5605 olduğu görülmektedir. Buradaki amaç modelin devir (epoch) sayısını belirlemektir. Tahmin modelinin devir sayısı, geçerlilik veri setinin 6 devir üst üste HKO değerinin artış göstermesi ile ortaya çıkmaktadır.

Bunun yanısıra train (eğitim) veri setinin ise öğrenme aşamasından ezberleme aşamasına geçiş noktasında model devir sayısını tamamlamaktadır. Eğitim sürecinin en iyi (best) noktası modelin ideal devir sayısının gösterilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca modelin devir sayısının tamamlandığı noktada modelin ağırlıkları da belirlenmiş olur.



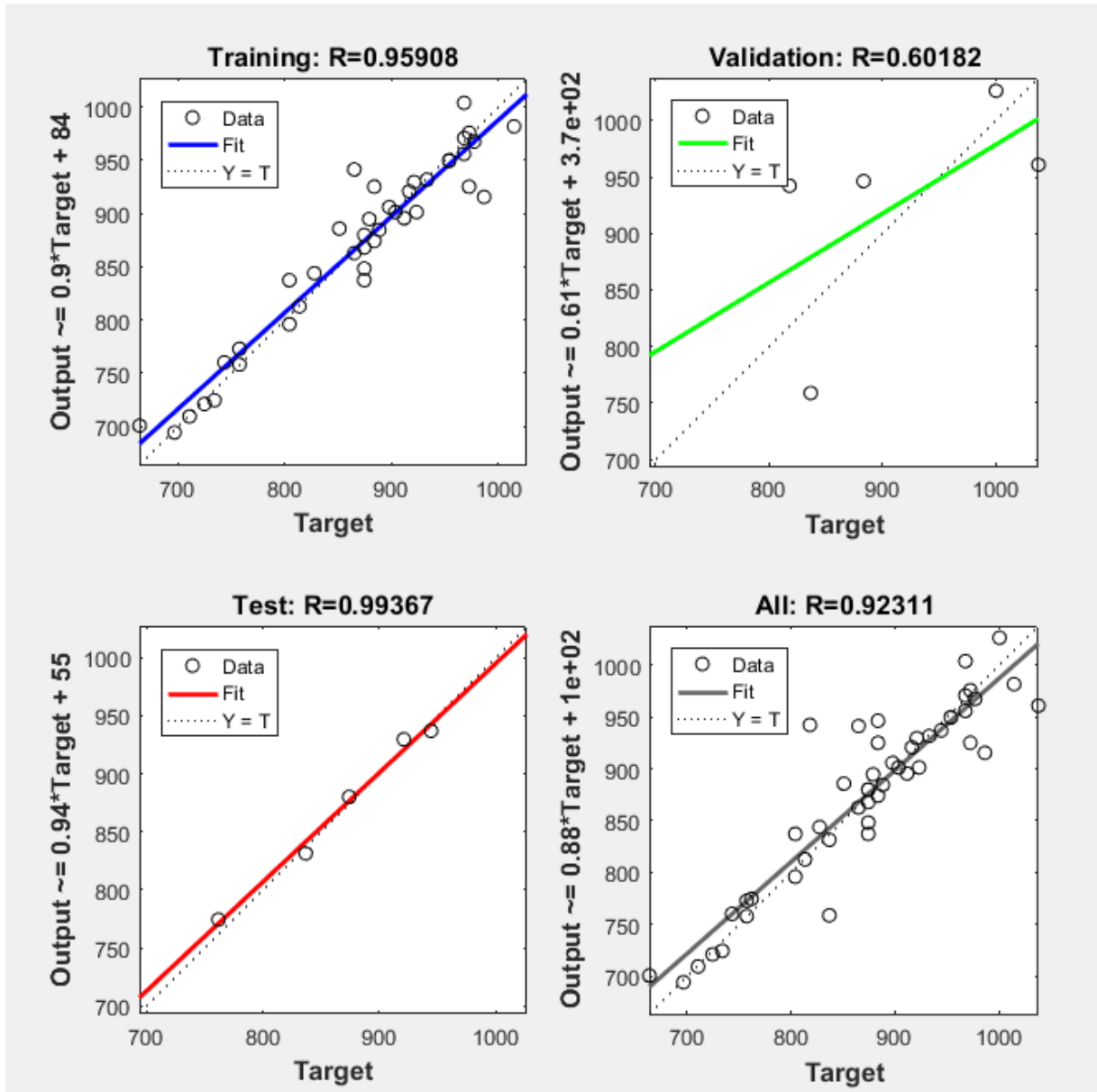
şekil 4.66. PVYHS-ST modelinin stabilite değeri için eğitim sürecinin gösterilmesi

şekil 4.67.'de PVYHS-ST modelinin eğitim sürecinde kullanılan parametreler (Gradient, Mu) ve geçerlilik veri seti eğrilerinin değişim grafiklerini göstermektedir. şekil 4.67.'de geçerlilik veri setinin 20 devirlik bölümünde 6 devir yükseldiği görülmektedir. Bu da geçerlilik veri setinin HKO değeri ve modelin ağırlıklarını belirlemektedir.



Şekil 4.67. PVYHS-ST modelinin stabilite değeri için eğitimde kullanılan parametrelerin değişimi

Şekil 4.68.'de eğitilmiş PVYHS-ST modelinin eğitim, geçerlilik ve test verilerinde elde edilen sonuçlarının dağılım grafiği verilmektedir. Oluşturulan modelinin tahmin değeri ile gerçek veriler arasındaki ilişki gösterilmektedir. Her veri seti için ayrı ilişki katsayıları belirlenmektedir. Böylece eğitim sürecinin hatalı geçip geçmediği değerlendirilmektedir. Modelin eğitim veri setinin çıktısı, bulunan dağılımın doğru çizgisi gerçek değerlere ( $y=t$ ) göre başlangıç ve sonuç bölümünde sapmalar olduğu görülmektedir. Toplam dağılım grafiğinde görüldüğü gibi dağılımın doğrusal eğilim çizgisi ile gerçek değerler arasındaki korelasyon katsayısı 0.92311 olmaktadır. Bu grafikler modelin eğitim, geçerlilik ve testte nasıl eğitim aldığı hakkında fikir vermektedir.



Şekil 4.68. PVYHS-ST modelinin stabilite değeri için gerçek değerler ile tahmin değerlerinin eğitim setine göre karşılaştırılması

#### 4.3.2 Stabilite Tahmin Modellerinin Sonuç Değerleri

Bir önceki bölümde iki değişkenli, üç değişkenli, dört değişkenli ve beş değişkenli tahmin modellerinin sonuç değerleri ve dağılım grafiklerinin doğrusal eğilim çizgilerinin gerçek değerler ile ilgisi incelenmektedir. Bu modellerin performans sonuçları verilmektedir. Tüm modeller arasında seçim yapılırken en belirgin özellik olarak HKO değeri kriter olarak alınmaktadır. Oluşturulan modellerden en iyi performans sonucu veren modelin PVYHS-ST tahmin modeli olduğu görülmektedir. Bu modelin korelasyon katsayısının 0.92311 olduğu görülmektedir. HKO değeri ise eğitim, test ve doğrulama verilerinin tamamı dikkate alınarak

excel programında hesaplanmış ve 1142.585 olarak bulunmuştur. Ayrıca bu modelin ortalama yüzde hata değeri ise 2,48 olduğu görülmektedir. Çizelge 4.14.'te stabilite tahmin modellerinin sonuç değerleri verilmektedir.

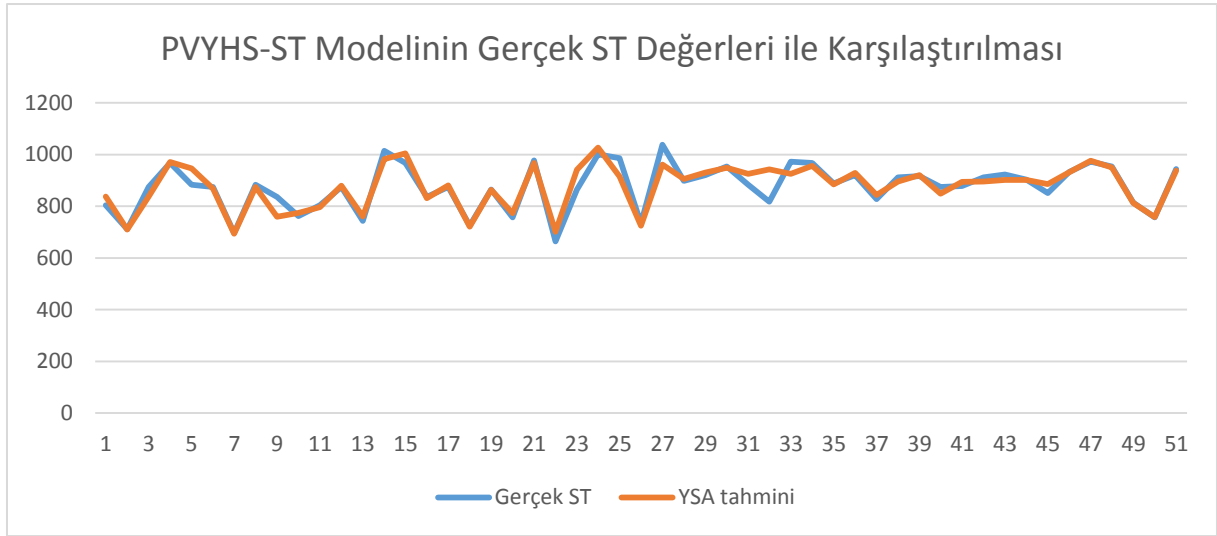
Çizelge 4.14. Doğrulamalı YSA Stabilite tahmin modellerinin sonuç değerleri

Modeller	Korelasyon Katsayısı	Hataların Karesinin Ortalaması	Yüzde Hata
HS-ST	0.8489	2198.649	4.39
PH-ST	0.74837	7800.297	8.67
PV-ST	0.33361	8583.817	8.37
PY-ST	0.44544	6204.162	7.19
VY-ST	0.40026	6421.619	7.20
PVH-ST	0.75103	3498.708	5.52
PVY-ST	0.43414	6230.03	7.09
VYS-ST	0.72998	3576.659	5.24
PVYH-ST	0.81923	2753.184	4.80
PVYS-ST	0.80757	2679.387	4.47
PVYHS-ST	0.92311	1142.585	2.48

#### 4.3.3 Doğrulamalı PVYHS-ST Modelinin ST Tahmin Değerlerinin Gerçek ST Değerleri ile Karşılaştırılması

Penetrasyon, viskozite, yumuşama noktası, bitümün havadaki ağırlığı ve bitümün sudaki ağırlığı bağımsız değişkenleriyle oluşturulan model tüm modeller arasında en düşük HKO değerine sahip olan modeldir. PVYHS-ST modelinin ST tahmin değerleri ile gerçek ST değerleri arasındaki kıyaslama grafiği Şekil 4.69.'de verilmektedir.





Şekil 4.69. Doğrulmalı PVYHS-ST modelinin gerçek ST değerleri ile karşılaştırılması

#### 4.4 YSA Modellerinin Karşılaştırılması

Penetrasyon, viskozite, yumuşama noktası, numunenin havadaki ağırlığı ve numunenin sudaki ağırlığı verileri kullanılarak oluşturulan doğrulamalı YSA marshall stabilite tahmin modellerinden en iyi sonucu veren PVYHS-ST modeli; penetrasyon, viskozite, yumuşama noktası, numunenin havadaki ağırlığı ve numunenin sudaki ağırlığı verileri kullanılarak oluşturulan YSA marshall stabilite tahmin modellerinden en iyi sonucu veren PVYHS-ST modelinden daha iyi sonuçlar vermektedir. Doğrulama-train-test verileri kullanılarak oluşturulan en iyi modelin HKO, korelasyon katsayısı ve ortalama yüzde hata değerleri sırasıyla 1142.585, 0.92311 ve %2.48'dir. Train-test verileri kullanılarak oluşturulan en iyi modelin HKO, korelasyon katsayısı ve ortalama yüzde hata değerleri sırasıyla 1986.217, 0.87056 ve %3,57'dir.

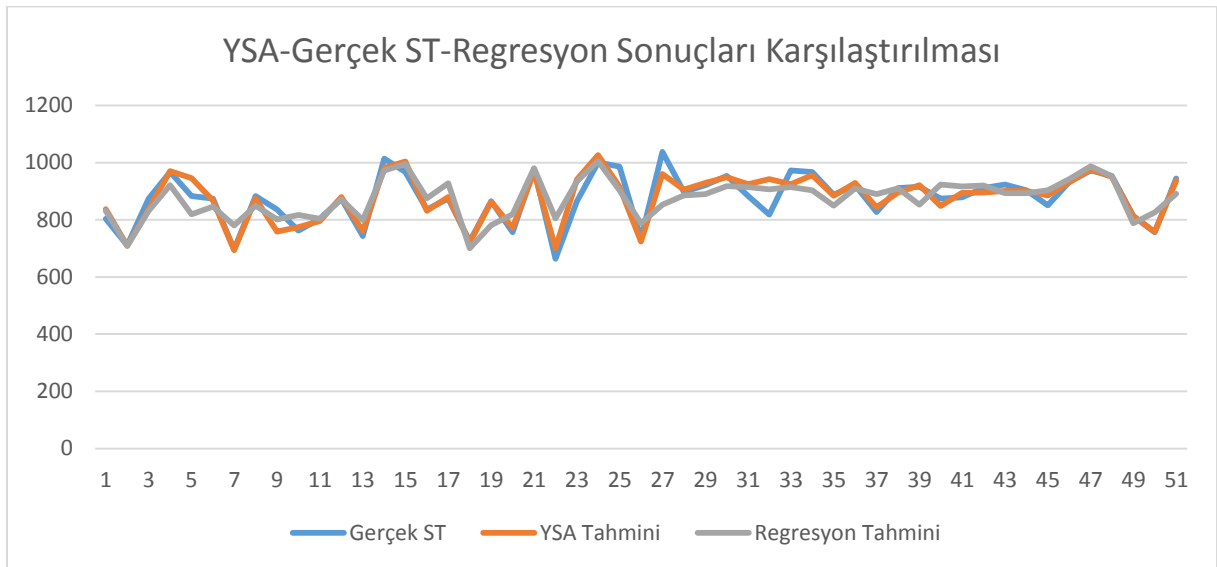
#### 4.5 En İyi Modellerin Karşılaştırılması

Oluşturulan marshall stabilitesi tahmin modellerinde regresyon modelleri içerisinde en iyi sonucu quadratic regresyon vermektedir. Linear, interuction, quadratic ve purequadratic regresyon analizleri sonuçlarına bakıldığında regresyon çeşitleri arasında en iyi sonuçları quadratic regresyon ile PVYHS-ST modelinin HKO, korelasyon katsayısı ve ortalama yüzde hata değerlerini sırasıyla 3072.30, 0.77 ve 5.08 olarak verdiği görülmektedir.

Train-test verileri kullanılarak oluşturulan YSA modelleri arasında en iyi sonucu PVYHS-ST modelinin HKO, korelasyon katsayısı ve ortalama yüzde hata değerlerini sırasıyla 1986.217, 0.87056 ve 3.57 olarak verdiği görülmektedir.

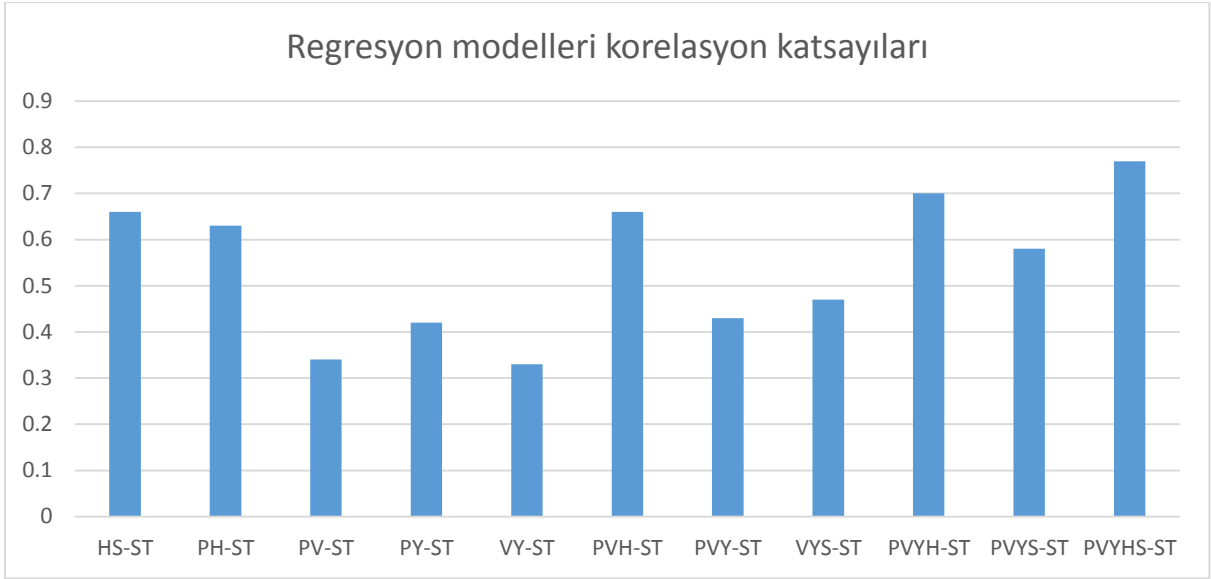
Train-test-doğrulama verileri kullanılarak oluşturulan YSA modelleri arasında en iyi sonucu PVYHS-ST modelinin HKO, korelasyon katsayısı ve ortalama yüzde hata değerlerini sırasıyla 1142.585, 0.92311 ve 2.48 olarak verdiği görülmektedir.

Yapılan regresyon ve YSA analizlerinin tamamı göz önünde bulundurulduğunda en iyi sonucu train-test-doğrulama veri seti kullanılarak oluşturulan PVYHS-ST modelinin verdiği görülmektedir. Oluşturulan en iyi model olan PVYHS-ST doğrulama-train-test veri setine sahip YSA marshall stabilite tahmin sonuçları ve regresyon modelleri arasında en iyi olan model olan quadratic regresyon PVYHS-ST modelinin tahmin sonuçlarıyla birlikte gerçek marshall stabilite değerleri Şekil 4.70.'te gösterilmektedir.



Şekil 4.70. En iyi YSA-Regresyon tahminleri ile gerçek ST değerlerinin karşılaştırma grafiği

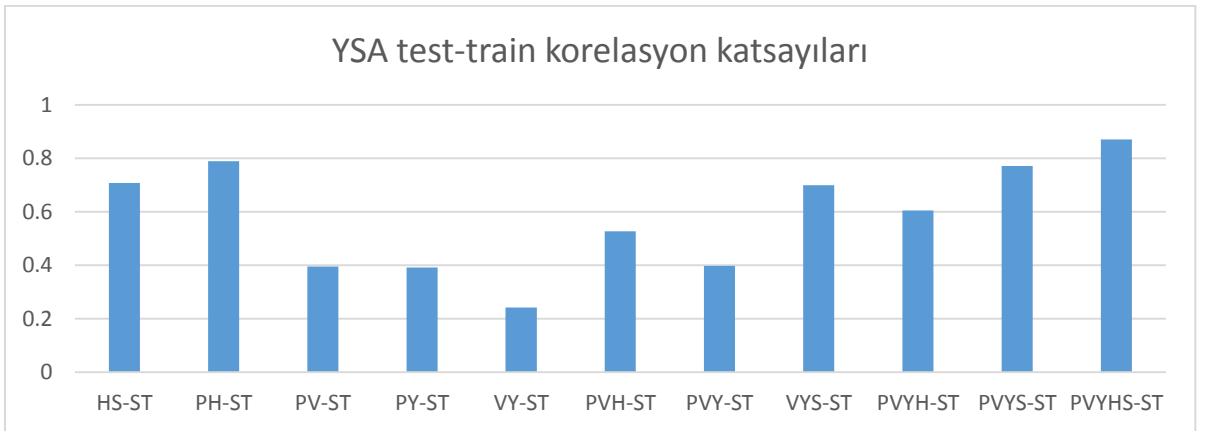
Yapılan regresyon analizlerinde modellerin korelasyon katsayıları Şekil 4.71.'de sunulmaktadır.



Şekil 4.71. Regresyon modelleri korelasyon katsayıları grafiği

Şekil 4.71.'de görüldüğü üzere en yüksek korelasyon katsayısına sahip model PVYHS-ST modelidir. Bu modelin gerçek marshall stabilite değerleriyle ilgileşimi diğer modellerden daha yüksek olmaktadır. Ancak genel olarak bakıldığında korelasyon katsayısı 0,77 değeriyle düşük olarak değerlendirilmektedir.

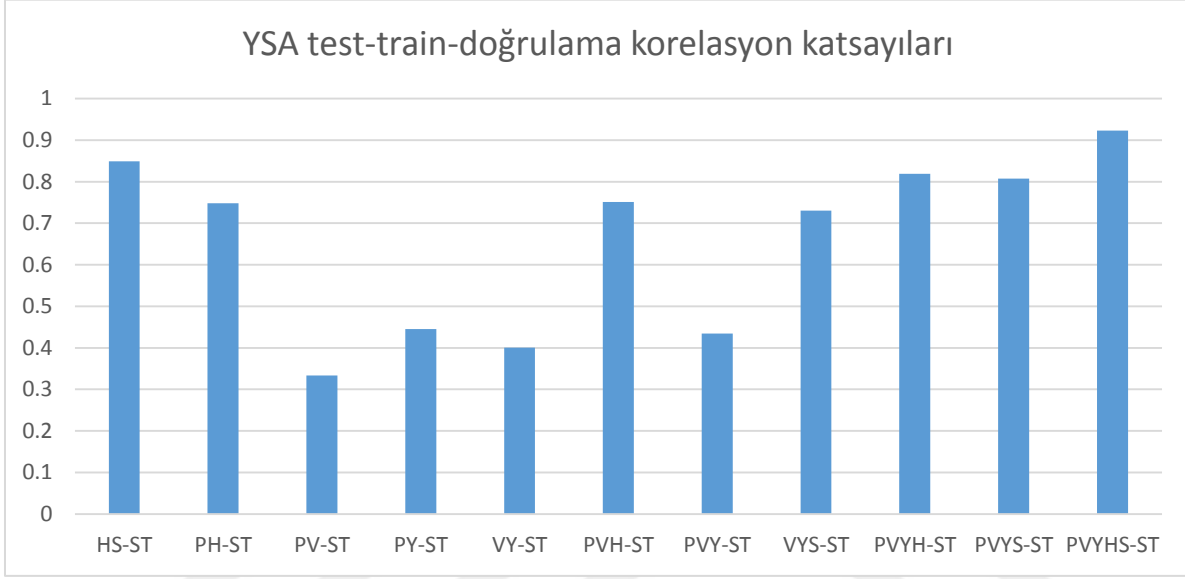
Test-train veri seti oluşturulan YSA modellerinin korelasyon katsayıları Şekil 4.72.'de sunulmaktadır.



Şekil 4.72. YSA modelleri korelasyon katsayıları grafiği

Şekil 4.72.'de görüldüğü gibi en yüksek korelasyon katsayısına sahip olan iki modelin sırasıyla PH-ST ve PVH-ST modeli olduğu görülmektedir. Bu modellerin gerçek marshall stabilite değerleriyle ilgileşimi diğer modellere göre daha iyi olmaktadır. Ancak HKO değerleri göz önüne alındığında en iyi model PVYHS-ST modeli olduğu saptanmaktadır.

Test-train-doğrulama veri seti ile oluşturulan YSA modellerinin korelasyon katsayıları Şekil 4.73.'te sunulmaktadır.



Şekil 4.73. Doğrulamalı YSA modelleri korelasyon katsayıları grafiği

Şekil 4.73.'te görüldüğü üzere doğrulamalı YSA analiz modelleri içinde korelasyon katsayısı en yüksek olan model PVYHS-ST modelidir. Bu modelin gerçek marshall stabilite değerleriyle ilgileşimi diğer modellere göre daha yüksek olmaktadır. Ayrıca bu modelin HKO değeri de diğer modellerden daha yüksek olmaktadır ve tüm analizler göz önüne alındığında bu modelin en iyi model olduğu görülmektedir.

#### 4.6. Test-train-doğrulama Veri Seti Kullanılarak Oluşturulan PVYHS-ST Modelinin YSA Denklemi Açılımı

YSA eğitim sürecinde stabilite değerleri tahmin modelleri içerisinde en iyi model olan PVYHS-ST modelinin YSA parametreleri aşağıdaki çizelgede verilmektedir.

Çizelge 4.15. Test-train-doğrulama veri seti ile oluşturulan PVYHS-ST modeli YSA parametreleri

Nöron	1.Ağırlık Değerleri					1.Bias değerleri
1	2.5450896	-1.0532204	-0.8607805	-2.1274632	-0.7157901	-1.9001655
2	1.6412305	0.4735762	-1.6019811	2.2491246	-0.3819924	-1.4317573
3	1.2996017	-1.1348246	1.5237621	1.3433617	-0.2805281	-2.6729834
4	-0.7178879	-0.7293754	-1.5531412	-0.977476	1.7073775	-0.9980321
5	-0.0249837	-1.9298407	0.6375436	-0.1488396	0.0353546	0.9697607
6	-0.5157563	-0.1568448	-0.3228496	-2.466853	-1.58305	-0.9686251
7	-1.0886708	-0.0811378	1.7447499	-0.1353488	-0.5713836	0.3722285
8	-2.4940246	1.0928891	-0.6633532	-1.2285771	-0.6917902	-1.4466261
9	0.9904487	0.6964451	-1.1713105	0.679298	0.9822653	1.821212
10	0.7353521	0.2291811	-1.1581654	0.5232902	1.8800539	0.9383944
11	-0.8522197	1.1746832	-0.3037094	-2.0681954	0.8051395	-1.8228552
12	-0.8854421	-0.33619	0.2533204	0.192103	-2.4149571	-2.9097018

Çizelge 4.15. (Devamı) Test-train-doğrulama veri seti ile oluşturulan PVYHS-ST modeli YSA

#### Parametreleri

2.Ağırlık Değerleri	2.Bias değeri
-2.4630083	0.4025047
-1.5668158	
1.8818181	
1.2272121	
-0.5375854	
1.6322138	
-1.3453136	
-0.9146246	
-0.0840252	
0.3439778	
-1.1820289	

Nöron; Modelin nöron sayısını belirtmektedir ve bu model 12 nörona sahiptir.

1.Ağırlık değerleri 1.Sütun; V bağımsız değişkeninin her bir nöron için giriş ağırlık değerleridir.

1.Ağırlık değerleri 2.Sütun; P bağımsız değişkeninin her bir nöron için giriş ağırlık değerleridir.

1.Ağırlık değerleri 3.Sütun; Y bağımsız değişkeninin her bir nöron için giriş ağırlık değerleridir.

1.Ağırlık değerleri 4.Sütun; H bağımsız değişkeninin her bir nöron için giriş ağırlık değerleridir.

1.Ağırlık değerleri 5.Sütun; S bağımsız değişkeninin her bir nöron için giriş ağırlık değerleridir.

2.Katman ağırlıkları; Çıktı katmanı ağırlık değerleridir.

1.Bias Değerleri; Girdi katmanında oluşturulan değerlerin optimizasyon ağırlık değerleridir.

2.Bias Değerleri; Çıkış değerinin optimizasyonu için kullanılan ağırlık değeridir.

#### **4.6.1. Test-train-doğrulama Veri Seti Kullanılarak Oluşturulan PVYHS-ST Modelinin Açık Denklemi**

Marshall stabilitesi için oluşturulan PVYHS-ST modelinin denklem açılımı Denklem 4.8'de verilmektedir. Bu formülde V, P, Y, H ve S değerleri ağırlık değerleri ile çarpılarak değerlerin optimizasyonu için her bir nörona Bias değeri eklenmekte ve transfer fonksiyonu olan tansig'ten geçirilmektedir. Bu aşamada çıkış ağırlıkları ile tekrar düzenlenerek çıktı değerleri bulunmaktadır. Çıkış ağırlıklarının transpozu matris çarpımı için alınmaktadır. Çıkış değerine Bias değeri eklenerek optimizasyon sağlanmış olmakta ve stabilite tahmini bulunmaktadır.



(4.8)

#### 4.7 En İyi YSA Modelinin Excel Programı Yardımıyla Çözümü

Yapılan bu çalışmada oluşturulan stabilite tahmin modelleri arasında en iyi sonuçları veren modelde tek gizli katman kullanılmaktadır. Bu modelin transfer fonksiyonu ise tanjant sigmoid fonksiyonudur. Değişkenler Matlab programı tarafından girdi katmanında atanan ağırlıklar ile çarpılıp ardından bias değerleri ile toplanmakta ve daha sonra tanjant sigmoid fonksiyonundan geçirilmektedir. Buradan elde edilen değer 2.katman ağırlıkları ile çarpılıp ardından bias değeri ile toplanmakta ve tekrar tanjant sigmoid fonksiyonundan geçirilmektedir. Elde edilen sonuç çıktı katmanı sonuçlarıdır.

Yapılan çözümde model değişkenleri gerçek değerlerle excel programına aktarılmakta ve işlemler yapılmaktadır. Ayrıca model değişkenleri farklı aralıklarda normalize edilerek bir kez daha çözümlenmektedir.

Çözümler yapılırken kullanılan normalize formülü ve transfer fonksiyonumuz olan tanjant sigmoid formülleri sırasıyla Denklem 4.5. ve Denklem 4.6.'da verilmektedir.

$$Normalize = \frac{(Y_{max}-Y_{min}) * (X-X_{min})}{(X_{max}-X_{min})} - [Y_{min}] \quad (4.5)$$

$$Tansig(N) = \frac{2}{(1 + \exp(-2 * N))} - 1 \quad (4.6)$$

#### **0 ile 1 arasında normalize edilmiş değerlerle çözüm**

Deney verileri ve YSA metoduyla tahmin edilen değerler 0 ile 1 arasında normalize edilmiştir. Normalize işlemi yapılırken her değişken kendi arasında normalize edilmiştir. Daha sonra excel programında formül yazılarak Marshall stabilite değerlerine ulaşılmaya çalışılmıştır. Ancak yazılan formül neticesinde YSA tahmin sonuçlarına ulaşamamıştır.

Excel programı yardımıyla yapılan işlem sonucu ekran görüntüsü alınarak Şekil 4.74'te sunulmaktadır.



BA	BB	BC	BD	BE	BF
2.KATMAN ÇÖZÜMÜ	2.KATMAN ÇÖZÜMÜ				
2.Ağırlık değerleri	1.Kt sonucu*2.ağr	2.Bias	1.Kt sonucu*2.ağr+2.bias	2.Katman Sonucu	YSA Tahmini
-2,463008344	-0,474526714	0,402505	-0,072022062	-0,07189779	-0,13892918
-1,566815821					
1,881818075					
1,227212056					
-0,537585415					
1,632213824					
-1,345313551					
-0,914624618					
-0,084025172					
0,343977835					
-1,182028943					
1,319320152					

Şekil 4.74. 0 ile 1 arasında normalize edilmiş değerlerin çözümü

### **Bütün verilerin bir arada 0 ile 1 arasında normalize edilmesiyle çözümü**

Deney verileri ve YSA metoduyla tahmin edilen değerler hepsi bir arada değerlendirilerek 0 ile 1 arasında normalize edilmiştir. Normalize işlemi yapılırken bütün değişkenler arasında en küçük değer ve en büyük değer hangisiyse diğer değişkenlerde bu değerlere göre normalize edilmiştir. Daha sonra excel programında formül yazılarak işlemler yapılmıştır. Ancak sonuçlara ulaşamamıştır.

Excel programı yardımıyla yapılan işlem sonucu ekran görüntüsü alınarak Şekil 4.75.'te sunulmaktadır.

BA	BB	BC	BD	BE	BF
2.KATMAN ÇÖZÜMÜ	2.KATMAN ÇÖZÜMÜ				
2.Ağırlık değerleri	1.Kt sonucu*2.ağr	2.Bias	1.Kt sonucu*2.ağr+2.bias	2.Katman Sonucu	YSA Tahmini
-2,463008344	-1,691537849	0,402505	-1,289033197	-0,858873121	0,727127748
-1,566815821					
1,881818075					
1,227212056					
-0,537585415					
1,632213824					
-1,345313551					
-0,914624618					
-0,084025172					
0,343977835					
-1,182028943					
1,319320152					

Şekil 4.75. Bütün değerlerin bir arada 0 ile 1 arasında normalize edilmesiyle çözüm

### **-1 ile 1 arasında normalize edilmiş değerlerle çözüm**

Deney verilerindeki her bir değişken kendi içinde -1 ile 1 arasında normalize edilmiştir. YSA metoduyla yapılan tahmin sonuçları ise gerçek stabilite değerlerinin normalizasyonuna uyarlanmıştır. Normalize edilen değerler excel programında formül yazılarak işlemlere dahil edilmiş ve tahmin sonuçlarına excel programında birebir ulaşılmıştır.

Yapılan bu işlemde sonuçlara sağlıklı bir şekilde ulaşılmasını sağlayan en önemli nokta transfer fonksiyonu olan tanjant sigmoid fonksiyonunun tanım aralığında normalize yapılmış olmasıdır. Tanjant sigmoid fonksiyonu -1 ile +1 arasında değerler alabilmektedir. Böylece sonuçlara da ulaşmak mümkün olmaktadır.

Excel programı yardımıyla yapılan işlem sonucu Çizelge 4.16.'da sunulmaktadır.

Numune Numarası	Excel Formül Sonuçları	YSA Tahmini
1	-0,07189779	-0,07189779
2	-0,755833936	-0,755833936
3	-0,07189779	-0,07189779
4	0,641766843	0,641766843
5	0,511559415	0,511559415
6	0,091626418	0,091626418
7	-0,836500443	-0,836500443
8	0,125263809	0,125263809
9	-0,49179063	-0,491790629
10	-0,406440917	-0,406440917
11	-0,292728322	-0,292728322
12	0,155321912	0,155321912
13	-0,48447508	-0,48447508
14	0,700278557	0,700278557
15	0,818679368	0,818679368
16	-0,102300066	-0,102300066
17	0,157451255	0,157451255
18	-0,693295101	-0,693295101
19	0,064246893	0,064246893
20	-0,416524778	-0,416524778
21	0,624209494	0,624209494
22	-0,802096146	-0,802096146
23	0,48397445	0,48397445
24	0,939433982	0,939433982
25	0,346111377	0,346111377

Çizelge 4.16. Verilerin -1 ile 1 arasında normalize edilmesiyle çözüm

Numune Numarası	Excel Formül Sonuçları	YSA TAHMİNİ
26	-0,674858744	-0,674858744
27	0,589216436	0,589216436
28	0,294965371	0,294965371
29	0,421996647	0,421996647
30	0,527077731	0,527077731
31	0,397864843	0,397864843
32	0,489918154	0,489918154
33	0,397864843	0,397864843
34	0,562374987	0,562374987
35	0,180669492	0,180669491
36	0,421210965	0,421210965
37	-0,036668601	-0,036668601
38	0,239631304	0,239631304
39	0,374502875	0,374502875
40	-0,013294529	-0,013294529
41	0,235127308	0,235127308
42	0,239142404	0,239142404
43	0,270232825	0,270232825
44	0,270232825	0,270232825
45	0,187194754	0,187194754
46	0,433148861	0,433148861
47	0,668603938	0,668603938
48	0,530253915	0,530253915
49	-0,20327491	-0,20327491
50	-0,495727291	-0,495727291
51	0,461189506	0,461189506

Çizelge 4.16. (Devamı) Verilerin -1 ile 1 arasında normalize edilmesiyle çözüm

## 5.SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada penetrasyon, viskozite, yumuşama noktası, bitümün havadaki ağırlığı ve bitümün sudaki ağırlığı verileri kullanılarak oluşturulan YSA marshall stabilite tahmin modelleri; penetrasyon, viskozite, yumuşama noktası, bitümün havadaki ağırlığı ve bitümün sudaki ağırlığı verileri kullanılarak oluşturulan regresyon marshall stabilite tahmin modellerinden daha iyi sonuçlar vermektedir. Ayrıca analizlerde kullanılan bağımsız değişkenlerin sayılarının artırılması genel olarak sonuçlara pozitif yansımaktadır.

Regresyon modelleri içerisinde en iyi sonuçları quadratic regresyon modellerinin verdiği görülmektedir. YSA modellerinde ise en iyi sonuçları ileri beslemeli, tek gizli katmanlı doğrulama-train-test veri seti kullanılarak oluşturulan YSA modelinin verdiği görülmektedir.

Regresyon analizlerinde 2 değişkenli HS-ST modeli 3 değişkenli PVH-ST modeline göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Eğitim-test veri seti kullanılarak oluşturulan YSA modellerinde 2 değişkenli PH-ST modeli 4 değişkenli PVYH-ST modeline göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Eğitim-test-doğrulama veri seti kullanılarak oluşturulan 2 değişkenli HS-ST modeli 4 değişkenli PVYS-ST modeline göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

Yapılan regresyon ve YSA analizlerinde veri setinin artırılması genel olarak sonuçlara pozitif yansımış ve 5 değişkenli kombinasyonlar 2'li, 3'lü ve 4'lü değişken kombinasyonlarına göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Ancak bu sonuç veri seti artırıldığında mutlaka daha iyi sonuçlar alınacağı anlamına gelmemektedir.

Yapay zeka teknikleri son zamanlarda birçok akademik çalışmada kullanılmakta ve bu yöntemlerle başarılı sonuçlar alınmaktadır. Yapılan analizlerde veri setinin ve modelin uygun oluturulması hayati bir öneme sahip olmaktadır. Elde ne kadar fazla veri olursa olsun bu veriler kullanılarak uygun modeller geliştirilememişse oldukça kötü sonuçlara ulaşmak mümkün olmaktadır. Yapılan bu çalışmada farklı kombinasyonlar kullanılarak bunun örneğine rastlanmış ancak çoğu kombinasyonda başarılı sonuçlara ulaşılmıştır.

Sonuç olarak daha önce yapılan bilimsel çalışmalarda kullanılan ve başarılı sonuçlar alınan regresyon modellerinden daha iyi sonuçlar veren yapay sinir ağları buna benzer bilimsel çalışmalarda kullanılmalı ve üzerinde çalışılarak geliştirilmelidir.

## KAYNAKLAR

- Yıldız, K., "Marshall Dizayn Metodu ile Optimum Bitüm Muhtevasının Belirlenmesinde Deneysel Parametrelerinin Sonuç Etkisi", **Gazi Üniversitesi**, Yüksek Lisans Tezi (Ankara, 2003)
- Özgan, E., Serin, S., Kap, T., "Multi-faceted investigation into the effects of hot-mix asphalt parameters on Marshall Stability", **Construction and Building Materials**, Volume 40, Pages 419-425 (2013)
- Özgan, E., "Artificial Neural Network Based Modelling of The Marshall Stability of Asphalt Concrete", **Expert Systems With Applications**, Volume 38, Issue 5, Pages 6025-6030(2011)
- Cybenko, G., 1989. Approximation by superpositions of sigmoidal function. *Mathematics of Control, Signals, and Systems*, 2,303.314
- Abdelwahab, H.T., Abdel-Aty, M.A., 2001. Development of ANN Models to Predict Driver Injury Severity in Traffic Accidents at Signalized Intersections, *Transport. Res.Rec.*, 1746, 6-13
- MATLAB, 2016. Neural Network Toolbox. The MathWorks Inc., Natick, MA.
- Riviere, C., Lauret, P., Manicom Ramsamy, J.F., Page, Y., 2006. A Bayesian Neural Network approach to estimating the Energy Equivalent Speed. *Accident Analysis and Prevention*, 38, 248-259.
- Karayiannis, N.B., Venetsanopoulos, A.N., 1993. ANNs: Learning Algorithms. Performance Evaluation and Applications. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Çalışıcı, M., "Bitümün Sentetik Metal ve Polimer Katkı Maddeleriyle Yaşlanma Direncinin Arttırılması", Gazi Üniversitesi, Doktora Tezi, (Ankara, 2009)
- Golzar, K., "Statistical investigation on physical-mechanical properties of base and polymer modified bitumen using Artificial Neural Network", *Construction and Building Materials*, Volume 37, Pages 822-831(2012)
- Kamboozia, N., Behbahani, Z., "Artificial neural networks approach to predicting rut depth of asphalt concrete by using of visco-elastic parameters", *Volume 158*, Pages 873-882(2018)
- Shafabakhsh, G.H., Talebsafa, J.M., "Artificial neural network modeling (ANN) for predicting rutting performance of nano-modified hot-mix asphalt mixtures containing steel slag aggregates", *Construction and Building Materials*, Volume 85, Pages 136-143(2015)
- Mirabdolazimi, S.M., Shafabakhsh, G.H., "Rutting depth prediction of hot mix asphalt modified with forta fiber using artificial neural networks and genetic programming technique", *Construction and Building*, Volume 148, Pages 666-674(2017)
- Kök, B.H., Yılmaz, M., Şengöz, B., Sengur, A., Avcı, E., "Investigation of complex modulus of base and SBS modified bitumen with artificial neural networks", *Expert Systems with Applications*, Volume 37, Issue 12, Pages 7775-7780(2010)
- Tapkın, S., Çevik, A., Uşar, Ü., "Accumulated strain prediction of polypropylene modified marshall specimens in repeated creep test using artificial neural networks", *Expert Systems with Applications*, Volume 36, Issue 8, Pages 11186-11197(2009)
- Vasseghian, Y., Heidari, N., Ahmadi, M., Zahedi, G., Mohsenipour, A.A., "Simultaneous ash and sulfur removal from bitumen: Experiments and neural network modeling", *Fuel Processing Technology*, Volume 125, Pages 79-85(2014)

Khuntia, S., Das, A.K., Mohanty, M., Panda, M., “Prediction of Marshall Parameters of Modified Bituminous Mixtures Using Artificial Intelligence Techniques”, International Journal of Transportation Science and Technology, Volume 3, Issue 3, Pages 211-227(2014)



## ÖZGEÇMİŞ

16.06.1991 tarihinde Hatay'da dünyaya geldim. İlkokul, ortaokul ve lise öğrenimimi Hatay'da tamamladım. 2009 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans eğitimime başlayıp 2013 yılında inşaat mühendisliği diplomasıyla mezun oldum. 2014 yılında İskenderun Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında tezli yüksek lisans eğitimime başladım. 01.01.2015 tarihinden itibaren Kemal Çağlar Grup firmasının Hatay bölge temsilciliği görevini sürdürmekteyim. Halen İskenderun Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde İnşaat Mühendisliği Bölümü İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimimi tez aşamasında devam ettirmekteyim.