

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KÖPRÜ AYAKLARINDA MEYDANA GELEN YEREL OYULMALARIN VERİ
ANALİZ YÖNTEMLERİ KULLANILARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Öner YELEĞEN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı

OCAK 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KÖPRÜ AYAKLARINDA MEYDANA GELEN YEREL OYULMALARIN VERİ
ANALİZ YÖNTEMLERİ KULLANILARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mehmet Öner YELEĞEN
(501111506)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Hidrolik ve Su Kaynakları Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ali UYUMAZ

OCAK 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501111506 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Mehmet Öner YELEĞEN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**KÖPRÜ AYAKLARINDA MEYDANA GELEN YEREL OYULMALARIN VERİ ANALİZ YÖNTEMLERİ KULLANILARAK İNCELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Ali UYUMAZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Hafzullah AKSOY**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ahmet DOĞAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **13 Aralık 2013**
Savunma Tarihi : **21 Ocak 2014**

Bu günlere gelmemin en büyük sebebi; merhum BABAM'a,

ÖNSÖZ

Öncelikle, bu araştırma sürecinde hiçbir yardımını ve kıymetli fikirlerini esirgemeyen, tez danışmanlığımı yürüten değerli hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Ali UYUMAZ'a,

Çalışma boyunca eşsiz katkılarda bulunarak bana ışık tutan ve önümü aydınlatan kıymetli hocam, Sayın Prof. Dr. Zekâi ŞEN'e,

Çalışma boyunca destek ve hoşgörülerini her zaman hissettiğim Fakülte Dekanım Sayın Prof. Dr. Fevzi YILMAZ ve Bölüm Başkanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Cenk AKSOYLAR'a,

Son olarak bu süreçte yanımda olan, dualarını esirgemeyen ve maddi manevi hiçbir fedakârlıktan çekinmeyen başta annem Sayın Ümmügülsüm YELEĞEN ve ağabeylerim Sayın Oğuz ve Özkan YELEĞEN'e,

Sonsuz teşekkürlerimi arz ederim.

Aralık 2013

Mehmet Öner YELEĞEN
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
SEMBOL LİSTESİ	xxi
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Oyulma Kavramı	2
1.2 Konunun Önemi	3
1.3 Tezin Amacı	4
2. OYULMA İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	5
2.1 Kapsam.....	5
2.2 Oyulma Tahmini	5
2.3 Köprü Ayaklarında Meydana Gelen Oyulmaların Modellenmesi	7
2.3.1 Sayısal modeller	7
2.3.2 Laboratuvar modelleri.....	10
2.4 Köprü Ayaklarında Meydana Gelen Oyulmaların Gözlenmesi	14
2.5 Köprü Ayaklarında Meydana Gelebilecek Oyulmalar İçin Alınan Tedbirler..	19
2.5.1 Riprap kullanımı	19
2.5.2 Köprü ayağı üzerinde oluşturulan yarıklar.....	23
2.5.3 Ayak üzerinde yatay plakalar.....	25
2.5.4 Emme yöntemi	26
2.6 Yapılan Deneysel Çalışmalar ve Çıkarılan Ampirik Formüller.....	27
2.7 Köprü Orta Ayaklarında Meydana Gelen Yerel Oyulmalara Etki Eden Değişkenler.....	29
2.7.1 Zaman ölçeği.....	30
2.7.2 Yatak malzemesi derecelenmesi	31
2.7.3 Şekil faktörü	31
3. BULANIK MANTIK ÇIKARIM SİSTEMİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI MODELLEMELERİ.....	33
3.1 Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (BMÇS).....	33
3.1.1 Üyelik fonksiyonları	36
3.1.2 Kural tabanı oluşturulması.....	38
3.2 Yapay Sinir Ağları (YSA).....	40
3.2.1 İşlemci fonksiyonlar.....	42
3.2.1.1 Doğrusal işlemci.....	42
3.2.1.2 Eşik işlemcisi	43
3.2.1.3 Rampa işlemcisi	43

3.2.1.4 Sigmoid işlemcisi	43
3.2.2 YSA öğrenme algoritması	43
3.2.3 YSA modellemesinde önemli aşamalar	43
4. VERİ ANALİZİ.....	45
4.1 Oyulma Hesabında Deneysel Formüllerin Performansı	47
4.2 Girdiler ve Çıktı Arasındaki İlişki	50
4.3 YSA Modelleri	57
4.3.1 İki girdi bir çıktılı YSA modeli	58
4.3.2 Üç girdi bir çıktılı YSA modeli	70
4.3.3 Dört girdi bir çıktılı YSA modeli	79
4.3.4 Beş girdi bir çıktılı YSA Modeli	87
4.3.5 Altı girdi bir çıktılı YSA modeli	93
4.4 Bulanık Mantık Modeli	96
4.4.1 ANFIS tuzakları	96
4.4.2 BM modelleri	97
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	107
ÖZGEÇMİŞ	113

KISALTMALAR

AI	: Dizilim Faktörü
ANFIS	: Adaptive Neuro Fuzzy Inference System
BM	: Bulanık Mantık
BMÇS	: Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi
FBG	: Fiber Bragg Grating
KH	: Karesel Hata
MR	: Manyetik Rezonans
NET	: Network
OKH	: Ortalama Karesel Hata
Sh	: Şekil Faktörü
Sonar	: Sound Navigation and Ranging
YSA	: Yapay Sinir Ağları

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1: Ayak burun yapısına göre şekil katsayıları (Laursen & Toch, 1956)	32
Çizelge 2: Kullanılan deneysel veriler (Melville & Chiew, 1999).....	45

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Köprü oyulmalarının şematik gösterimi (Deng & Cai, 2009'dan uyarlanmıştır)	2
Şekil 1.2: Silindirik bir ayakta meydana gelen oyulma çukurunda akım şekli (Richardson & Davis, 2001'den uyarlanmıştır)	3
Şekil 2.1: Richardson ve Panchang (1998) tarafından kurulan üç boyutlu hidrodinamik sayısal modelin plan görünüşü a) Hesaplanan Hız değerleri b) Gözlenen hız değerleri	8
Şekil 2.2: Richardson ve Panchang (1998) tarafından kurulan üç boyutlu hidrodinamik sayısal modelin kesit görünüşü a) Gözlenen hız değerleri b) Hesaplanan hız değerleri	9
Şekil 2.3: Richardson ve Panchang (1998) tarafından kurulan üç boyutlu hidrodinamik sayısal modelde X-Z düzleminde yatak malzemesi taşınımı.....	10
Şekil 2.4: Richardson ve Panchang (1998) tarafından kurulan üç boyutlu hidrodinamik sayısal modelde X-Y düzleminde yatak malzemesi taşınımı	11
Şekil 2.5: Sheppard ve Miller (2006) tarafından yapılan deney sonrası köprü ayağı etrafında oyulma.....	12
Şekil 2.6: Sheppard ve Miller (2006) tarafından kurulan deney setinin kesit ve plan görünümü	12
Şekil 2.7: Sheppard ve diğ. (2004a) tarafından kurulan deney setinde köprü ayaklarına yerleştirilen kameralar	13
Şekil 2.8: Sheppard ve diğ. (2004b) tarafından kurulan deney setinde köprü ayaklarına yerleştirilen ses alıcılar	13
Şekil 2.9: Sheppard ve diğ. (2004b) tarafından yapılan deney sonrası hareketli taban oyulması ve yerel oyulmalar	13
Şekil 2.10: Radarlardaki İletim ve Yansıtma prensibi (Millard ve diğ, 1988)	15
Şekil 2.11: Radar anteninden gelen verilerin resim üzerine işlenmesi (Millard ve diğ, 1998)	16
Şekil 2.12: Sonar TDR sistemi (Yankielun & Zabilansky, 1999)	17
Şekil 2.13: Model 1 - Düşey kablo üzerine yerleştirilen FBG sensörleri (Lin ve diğ, 2005)	17
Şekil 2.14: Model 2 - Köprü ayağına sabitlenen çelik kazıkta bulunan FBG sensörleri (Lin ve diğ, 2005).....	18
Şekil 2.15: Riprap uygulamasına bir örnek (Melville & Coleman, 2000)	20
Şekil 2.16: Nehir yatağı üzerine yerleştirilen riprap (Lagasse ve diğ, 2007)	20
Şekil 2.17: Nehir yatağı kazılarak yerleştirilen riprap (Lagasse ve diğ, 2007)	21
Şekil 2.18: Nehir yatağı kotundan daha derine yerleştirilen riprap (Lagasse ve diğ, 2007)	21
Şekil 2.19: Savrulma bozulmasından ötürü oluşan oyulmaya örnek (Chiew, 1995). 22	
Şekil 2.20: Akım hızının yavaş iken riprap tabakasında meydana gelen bozulmaya örnek (Chiew, 1995).....	22

Şekil 2.21: Kenar bozulmasına örnek (Chiew, 1995).....	23
Şekil 2.22: Kenar bozulmasının şematik gösterimi (Chiew, 1995)	23
Şekil 2.23: Oyulma derinliğini azaltmak için kullanılan yarıklar (Shen ve diğ, 1966)	24
Şekil 2.24: Nehir yatağı ve su yüzüne yakın olarak yerleştirilen yarıkların şematik gösterimi (Chiew, 1992).....	24
Şekil 2.25: Plaka kullanımının at-nalı çevrintisi ve düşey akım etkileşimini engellemesi (Zarrati ve diğ, 2010)	26
Şekil 2.26: Oyulma önlemi olarak Jukowski halkası kullanımı (Dargahi, 1990).....	26
Şekil 2.27: Oyulma azaltmaya yarayan emme sistemi (Rooney, 1997)	27
Şekil 2.28: Oyulma Derinliğinin hız değerlerine göre değişimi (Raudkivi, 1986; Shen ve diğ, 1969).....	28
Şekil 2.29: Oyulma derinliğinin üniform yatak malzemeli bir silindirik köprü ayağındaki hız değişimi ile değişimi (Raudkivi, 1986).....	29
Şekil 2.30: Farklı şekillere sahip köprü ayak çeşitleri (Chabert ve diğ, 1956).....	32
Şekil 3.1: İki bulanık kümede en büyükleme ve en küçüklemesinin gösterimi (Zadeh, 1965'ten uyarlanmıştır)	36
Şekil 3.2: Bitişik dikdörtgen kümeleme	37
Şekil 3.3: Bitişik üçgen kümeleme	37
Şekil 3.4: Örtüşmeli üçgen gösterimi	38
Şekil 3.5: Mekanik kural tabanı ve üyelik fonksiyonları	39
Şekil 3.6: Klasik bir YSA mimarisi	42
Şekil 4.1: Laursen & Toch (1956) modeline göre elde edilen sonuçların karşılaştırılması	48
Şekil 4.2: Shen ve diğ. (1969) modeline göre elde edilen sonuçların karşılaştırılması	49
Şekil 4.3: Köprü ayak çapı ile denge oyulması derinliği ilişkisi	51
Şekil 4.4: Akım hızının kritik hıza oranı ile denge oyulması ilişkisi	51
Şekil 4.5: Ortalama akım yaklaşım derinliği ile denge oyulması derinliği ilişkisi....	52
Şekil 4.6: Ortalama akım hızı ile denge oyulması derinliği ilişkisi.....	52
Şekil 4.7: Tanecik ortalama büyüklüğü ile denge oyulması derinliği ilişkisi.....	53
Şekil 4.8: Denge oyulması süresi ile denge oyulması derinliği ilişkisi	53
Şekil 4.9: Köprü ayak çapı ile denge oyulması derinliği ilişkisi	54
Şekil 4.10: Akım hızının kritik hıza oranı ile denge oyulması ilişkisi	54
Şekil 4.11: Ortalama akım yaklaşım derinliği ile denge oyulması derinliği ilişkisi..	55
Şekil 4.12: Ortalama akım hızı ile denge oyulması derinliği ilişkisi.....	55
Şekil 4.13: Tanecik ortalama büyüklüğü ile denge oyulması derinliği ilişkisi.....	55
Şekil 4.14: Denge oyulması süresi ile denge oyulması derinliği ilişkisi	56
Şekil 4.15: İki girdi bir çıktıdan oluşan model	57
Şekil 4.16: 2 sinir hücresi ile yapılan eğitim sonrası OKH değerleri	59
Şekil 4.17: 2 sinir hücresi ile yapılan eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	59
Şekil 4.18: 3 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası OKH değerleri	60
Şekil 4.19: 3 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	61
Şekil 4.20: Hata-hücre sayısı değişimi (Şen, 2004).....	62
Şekil 4.21: 3 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası OKH değerleri	62
Şekil 4.22: 3 Sinir Hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	63

Şekil 4.23: 3 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası ölçülen ve tahmin edilen denge oyulması derinlikleri.....	64
Şekil 4.24: 3 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası ölçülen ve tahmin edilen denge oyulması derinlikleri.....	64
Şekil 4.25: 4 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası OKH değerleri	65
Şekil 4.26: 4 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	66
Şekil 4.27: 4 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası OKH değerleri	66
Şekil 4.28: 4 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	67
Şekil 4.29: 4 sinir hücresi ile yapılan 3. eğitim sonrası OKH değerleri	67
Şekil 4.30: 4 sinir hücresi ile yapılan 3. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	68
Şekil 4.31: 5 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası OKH değerleri	69
Şekil 4.32: 5 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	69
Şekil 4.33: 4 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası en iyi model.....	70
Şekil 4.34: 2 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası OKH değerleri	71
Şekil 4.35: 2 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	71
Şekil 4.36: 3 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası OKH değerleri	72
Şekil 4.37: 3 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	72
Şekil 4.38: 3 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası en iyi model.....	73
Şekil 4.39: 3 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası OKH değerleri	74
Şekil 4.40: 3 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	74
Şekil 4.41: 3 sinir hücresi ile yapılan 3. eğitim sonrası OKH değerleri	75
Şekil 4.42: 3 sinir hücresi ile yapılan 5. eğitim sonrası OKH değerleri	76
Şekil 4.43: 3 sinir hücresi ile yapılan 5. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	76
Şekil 4.44: 4 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası OKH değerleri	77
Şekil 4.45: 4 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	77
Şekil 4.46: 4 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası OKH değerleri.....	78
Şekil 4.47: 4 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası en iyi model.....	78
Şekil 4.48: 2 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası OKH değerleri	79
Şekil 4.49: 2 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	80
Şekil 4.50: 3 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası OKH değerleri	80
Şekil 4.51: 3 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	81
Şekil 4.52: 3 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası OKH değerleri	81
Şekil 4.53: 3 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	82
Şekil 4.54: 3 Sinir Hücresi ile yapılan 3. Eğitim sonrası OKH değerleri.....	83
Şekil 4.55: 3 sinir hücresi ile yapılan 4. eğitim sonrası OKH değerleri	83
Şekil 4.56: 3 sinir hücresi ile yapılan 4. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	84
Şekil 4.57: 3 sinir hücresi ile yapılan 5. eğitim sonrası OKH değerleri	84

Şekil 4.58: 3 sinir hücresi ile yapılan 5. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	85
Şekil 4.59: 4 sinir hücresi ile yapılan 4. eğitim sonrası OKH değerleri	86
Şekil 4.60: 4 sinir hücresi ile yapılan 4. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	86
Şekil 4.61: 2 sinir hücresi ile yapılan eğitim sonrası OKH değerleri	87
Şekil 4.62: 2 sinir hücresi ile yapılan eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	88
Şekil 4.63: 3 sinir hücresi ile yapılan eğitimler sonucu OKH değerleri	88
Şekil 4.64: 3 sinir hücresi ile yapılan 8. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	89
Şekil 4.65: 4 sinir hücresi ile yapılan eğitimler sonucu OKH değerleri	90
Şekil 4.66: 4 sinir hücresi ile yapılan 9. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	91
Şekil 4.67: 5 sinir hücresi ile yapılan eğitimler sonucu OKH değerleri	91
Şekil 4.68: 5 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	92
Şekil 4.69: 3 sinir hücresi ile yapılan eğitim sonrası OKH değerleri	93
Şekil 4.70: 3 sinir hücresi ile yapılan eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	94
Şekil 4.71: 3 sinir hücresi ile yapılan eğitimler sonucu OKH değerleri	94
Şekil 4.72: 4 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası OKH değerleri	95
Şekil 4.73: 4 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	95
Şekil 4.74: Eğitim sonucu ANFIS yöntemi ile girdi değişkenlerine yanlış atanan üyelik fonksiyonları.....	97
Şekil 4.75: D girdisi için üyelik fonksiyonları.....	97
Şekil 4.76: 2 girdi 1 çıktı BM modeli için kural tabanı	98
Şekil 4.77: Kural tabanını ifade eden 3 boyutlu görsel.....	99
Şekil 4.78: 2 girdi 1 çıktı BM modeli eğitim verisi tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	99
Şekil 4.79: 2 girdi 1 çıktı BM modeli sınama verisi tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	100
Şekil 4.80: 3 girdi 1 çıktıdan oluşan BM modeli	101
Şekil 4.81: 3 girdi 1 çıktıdan oluşan BM modelinin kural tabanı.....	101
Şekil 4.82: 3 girdi 1 çıktı BM modelinde eğitim verileri tahmin edilen değerler ile ölçülen değerlerin gösterimi.....	101
Şekil 4.83: 3 girdi 1 çıktı BM modelinde sınama verileri tahmin edilen değerler ile ölçülen değerlerin gösterimi.....	102
Şekil 4.84: 3 girdi 1 çıktı BM modelinde eğitime verisi tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	102
Şekil 4.85: 3 girdi 1 çıktı BM modelinde sınama verisi tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	103
Şekil 4.86: 4 girdi 1 çıktı BM modelinde sınama verisi tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	104
Şekil 4.87: 4 girdi 1 çıktı BM modelinde eğitime verisi tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	104
Şekil 4.88: 5 girdi 1 çıktı BM modelinde eğitime verisi tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması	105

Şekil 4.89: 5 girdi 1 çıktı BM modelinde sınama verisi tahmin edilen ve ölçülen
oyulma derinliği saçılması 105

SEMBOL LİSTESİ

d_s	: Oyulma çukuru derinliği
K_1	: Ayak burun şekil katsayısı
K_2	: Yaklaşan su açısı katsayısı
K_3	: Yatak düzeltme katsayısı
b	: Ayak çapı
y	: Ayağın memba tarafındaki akım derinliği
F	: Froude sayısı
ϕ	: Ayak burun şekil katsayısı
b_e	: Gelen akım normali doğrultusunda köprü ayak genişliği
D_{50}	: Ortalama yatak malzemesi tane boyutu
K_l	: Akım yoğunluğu faktörü
K_d	: Yatak malzemesi faktörü
K_y	: Akım derinliği faktörü
K_a	: Ayak hizalanma faktörü
K_s	: Ayak şekil faktörü
V	: Ortalama akım yaklaşım hızı
ν	: Kinematik viskozite
V_c	: Kritik hız
D	: Köprü ayak çapı
D_c	: Jukowski halkası genişliği
u^*	: Kayma gerilmesi
u	: Su akış hızı
ρ	: Su yoğunluğu
g	: Yerçekimi ivmesi
σ_g	: Parçacık dağılımının standart sapması
ρ_s	: Sediment yoğunluğu
t	: Süre
t_d	: Denge oyulması oluşumu için geçen süre
Sh	: Ayak şekil parametresi
Al	: Ayak dizilim parametresi
K_σ	: Sediment dağılımı katsayısı
d_{se}	: Denge oyulması derinliği

KÖPRÜ AYAKLARINDA MEYDANA GELEN OYULMALARIN VERİ ANALİZ YÖNTEMLERİ KULLANILARAK İNCELENMESİ

ÖZET

Köprüler, ulaşım sürekliliğinin sağlanması için gerekli yapılardır. Özellikle akarsuları geçen köprülerin alternatif yöntemlere göre çok daha işlevsel olmaları bu yapıların önemini bir kat daha artırmaktadır. Günlük ulaşımında bu denli önemli olan köprülerin tasarımında genel olarak yapısal faktörler gözönünde bulundurulmuş, hidrolik etkenlere ise gereken önem verilmemiştir. Ancak durum ayrıntılı olarak incelendiğinde yapısal etkilerin yanısıra rüzgar, deprem, taşkın vb. birçok etkenin köprü stabilitesine zarar verdiği görülmüştür. Özellikle mertebesi kolayca kestirilemeyen ve meydana gelme mekanizması bir hayli karmaşık olan hidrolik etkenler ihmal edildiğinde ortaya geri dönüşü bulunmayan olumsuzluklar çıkmaktadır.

Söz konusu hidrolik etkenlerin başında, çözülmesi zor bir yapıya sahip oyulma kavramı göze çarpmaktadır. Son zamanlarda yapılan çalışmalar köprü yıkılmalarında oyulma faktörünün çok önemli olduğunu göstermiştir. Öyle ki son 30 yılda Amerika Birleşik Devletleri'nde 1000'den fazla köprü yıkılmış ve bunların yaklaşık %60'ının oyulma sebepli olduğu araştırmacılar tarafından saptanmıştır.

Oyulma probleminin karmaşık bir süreç olması, yapılan araştırmaların önemini daha da artırmıştır. Bu araştırmalar oyulmanın hangi faktörlere bağlı olarak değiştiğini genel olarak açıklamaktadır. Köprü ayaklarında meydana gelen oyulmaların asli sebepleri arasında köprü ayak çapı ve şekli, akıntı hızı, yatak malzemesi çeşidi gösterilebilir. Süreç bu sebeplere bağlı olarak teker teker incelendiğinde daha net sonuçlara ulaşılabılır. Aslında oyulma mekanizması birçok etkene aynı anda bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bu etkenlerin arasındaki bağımlılık derecesini bulmak çok zor olduğundan dolayı bunları bağımsız düşünüp ayrı ayrı incelemek ve daha sonra üst üste çakıştırılmış (süperpoze) hale getirmek yapılabilecek en sağlıklı analiz olarak görülmektedir.

Bu çalışmada köprü ayaklarında meydana gelen oyulmalara ait bazı araştırmacılar tarafından yapılan deneylere ait veriler alınmış, yapay sinir ağları ve bulanık mantık çıkarım sistemi kullanılarak bu veriler analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar literatürde sıklıkla kullanılan deneysel formüllerin performanslarıyla karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın 1. bölümünde problem genel olarak tanıtılmıştır. 2. bölümde oyulma konusu ile ilgili şimdiye kadar yapılan çalışmalar, alınan önlemler ve ulaşılan sonuçlar ayrıntılı bir şekilde aktarılmıştır. 3. bölümde bulanık mantık çıkarım sistemi ve yapay sinir ağları yöntemlerinin mantık altyapıları açıklanmış ve kullanım alanları hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. 4. Bölümde ise, bahsedilen veri analiz yöntemleri elde edilen deneysel verileri analiz etme noktasında kullanılmıştır. Analiz sonucu elde edilen bulgular ve deneysel formüllerle elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. 5. bölümde ise yapılan çalışma neticesinde çıkarılabilecek sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

INVESTIGATION OF SCOUR AT BRIDGE PIERS USING DATA ANALYSIS METHODS

SUMMARY

Bridges are the essential parts of transportation networks. Especially river bridges are more advantageous than alternative ways. Up to the present, usually structural factors have been considered but hydraulic factors haven't been. However, while the condition analyzed in detail, there are many factors that harm the stability of bridges like wind, earthquake, flood etc. as well as structural ones. In particular hydraulic factors have a very complex mechanism that can not be solved easily. Hence, the scour mechanism has to be cared for preventing bad results.

It is a common failure of bridge that scouring at bridge piers, abutments or supports. The scour concept has a very complicated mechanism and it is the most difficult hydraulic problem to solve in bridges as mentioned above. Especially the last studies show that scour is the most important factor in bridge failures. Such that there are more than 1000 bridges have collapsed in United States during last 30 years time and 60% of these caused by scour interaction according to researchers.

Scour mechanism is generally divided into two parts. First is clear water scour and the other is live bed scour. The main difference between these is flow velocity. If critical velocity exceeded, which is the peak point of clear water scour condition, live bed scour starts. When the flow velocity values lower than the critical velocity, clear water scour occurs. Local scour at bridge piers occurs when the flow velocity exceeds about half of the critical velocity.

The vortexes are the another important factor in scour mechanism. Horse shoe vortex is the most effective factor in scour. The basic principle of horse shoe vortex is, the flow moves at the base of the piers when flow approaches pier. A portion of flow moves down to the pier and interacts with the river bed. This interaction between the horse shoe vortex and the down flow commences the scour.

Scour phenomenon is a very complicated process. Because of this, the importance of researchs about scour has increased. Also these researchs can explain how the scour changes and depends on which factors. The main factors of bridge pier scour can be shown as diameter and shape of the pier, flow velocity and the type of bed material. When the scour process analyzed individually, conclusions can be more clearer. Actually scouring mechanism depends on many factors simultaneously. It is difficult to find the dependence between these factors, so thinking independence them first and then making a superpose is a good analyse for scour. Therefore, the best real model can be built with the most dependent factors.

Analysis of data is a process of inspecting, transforming and modeling data with the goal of discovering useful information about unknown events, get some conclusions, and supporting decision making. There are many data analysis methods using many

years. Fuzzy logic inference system and artificial neural network are some of the useful data analysis methods.

Fuzzy logic method has used first in 1960s. The main idea is grading the membership functions of system components. When the fuzzy logic compared to classical logic, fuzzy logic variables may have different values that ranges in degree between 0 and 1. Classical logic only permits propositions having a value of true or false. It accepts only an absolute, immutable, mathematical truth. However, there exist certain propositions with variable answers, such as asking different people to identify a color or smell. Moreover, fuzzy set theory describes fuzzy operators on fuzzy sets. The problem in applying that is the appropriate fuzzy operator may not be known from user. Because of this, fuzzy logic constructs some fuzzy logic rule base using IF-THEN rules.

In some disciplines, artificial neural networks are artificial intelligence models inspired by animals' nervous systems (in particular the brain) that are capable of machine learning and pattern recognition. They are usually presented as systems of interconnected "neurons" that can compute output values from inputs by feeding information through the network. Artificial neural networks (ANNs); these are essentially simple mathematical models defining some functions may be linear or non-linear. Furthermore, models are also intimately associated with a particular learning algorithm or learning rule.

A commonly used parameter is the mean-squared error, which tries to minimize the average squared error between the network's output, $f(a)$, and the target value b over all the example pairs. When one tries to minimize this parameter using gradient descent for the class of neural networks called multilayer perceptrons (MLP), one obtains the common and well-known backpropagation algorithm for training neural networks.

The aim of this study is to solve the effects of complicated scour mechanism parameters. There are many parameters defined from researchers that effect the scour occurrence. In this study, the dataset has six inputs and one output. Because of this, the effects of these inputs has investigated in this study.

In this study, the experimental data about scour obtained and examined with fuzzy logic inference system and artificial neural networks. Also two empirical scour calculation formula has used for comparing the calculated, estimated and measured values.

In fuzzy logic model, the data were divided into two parts so called training and testing data. The system try to learn the model via training data. The learning examined on testing data. This methodology used to find the best estimation model with many membership functions. Takagi-Sugeno model used iin this investigation.

Artificial neural networks model has tried to minimize the average squared error between the network's output. Besides, the network trained with Levenberg-Marquardt backpropagation algorithm. The number of nodes in the hidden layer and network control parameters were determined through calibration.

In the first section, the scour mechanism identified in general. In the second section, the studies ever made was described which are countermeasures, predictions, models and monitoring systems. Many countermeasures has been tried to minimize the scour occurrence and researchers recommends the riprap layer for the best solution. In the third section, the principles of fuzzy logic inference system and artificial neural

networks has described. Also detailed information has given about application areas. In the fourth part, the data analysis methods mentioned above, used for analysing the obtained data from some researchers. The outcomes of these analysis compared with the results obtained from empirical formulas. The scatter diagrams were drawn for observed and estimated results. If estimations are correct the data is stacked on the 45° line. In the last part, some results and suggestions presented.

As a result of study, the most important inputs for equilibrium scour depth occurrence has determined. Pier diameter, critical to the flow velocity ratio, the average flow depth and the average flow velocity model is the best model for artificial neural network analysis. Similarly pier diameter, critical to the flow velocity ratio and the average flow velocity model is the best model for fuzzy logic inference system analysis. It has also determined that the best model is the simplest model.

1. GİRİŞ

Köprü yıkılmaları aniden gerçekleşen ve maddi-manevi büyük kayıplara sebebiyet verdiklerinden mühendislik kapsamı içerisinde ayrıntılı biçimde incelenmesi gereken bir konudur. Özellikle bu tip yapıların stabilitesinin korunumu için, olumsuz etkenlerin büyüklüğü ve değişim hızları iyice belirlenmelidir. Bu faktörler arasında taşıt ve yaya trafiğinin yanı sıra rüzgar, deprem, taşkın gibi mertebesi çok belli olmayan faktörler de bulunmaktadır. Bu etkilerin varlığı, köprünün yapısal tasarımının yanı sıra hidrolik tasarımını da öne çıkarmaktadır. Bu hidrolik nedenlerin arasında köprü ayakları etrafında gerçekleşen yerel oyulmalar veya köprü ayak açıklığının gerekenden dar olması sebebiyle ortaya çıkabilecek hidrolik sıçramaların etkileri sayılabilir. Örneğin nehir yataklarının taban seviyesinde meydana gelebilecek ani alçalma veya yükselmeler, seçilen yüklemelere göre emniyetli olan köprünün güvenliğini tehlikeye atmaktadır (Yanmaz, 2002).

Yapılan bir çalışmaya göre Amerika Birleşik Devletleri'nde son 30 yılda 1000'in üzerinde köprü yıkılması meydana gelmiştir. Bu yıkılmaların yaklaşık %60'ı köprü ayağı etrafında meydana gelen oyulma kaynaklıdır (Shirole & Holt, 1991). Bu ve benzeri veriler, otoyol köprü yıkılmalarının en büyük sebebi olarak oyulma problemini işaret etmektedir (Kattell & Eriksson, 1998). Aslında bu sorun bölgede dere ve nehirler üzerinde bulunan 488,750 köprü ele alındığında, yıllık maliyet potansiyeli yaklaşık 30 milyon dolara varabilecek önemli bir meseledir (Lagasse, 1997).

Özetle sorunun bu denli büyük ve karmaşık olduğu hatırlandığında çözüm olarak araştırmacılar birçok yöntemi denemişlerdir. Bunlar arasında tahmin yöntemleri, zemini iyileştirme konusunda alınan önlemler, akım karakteristiklerini değiştirmek üzerine yapılan düzenlemeler veya oyulma sürecini ayrıntılı gözlemleyip olayın fizik arka planını tam olarak ortaya koymak bulunmaktadır.

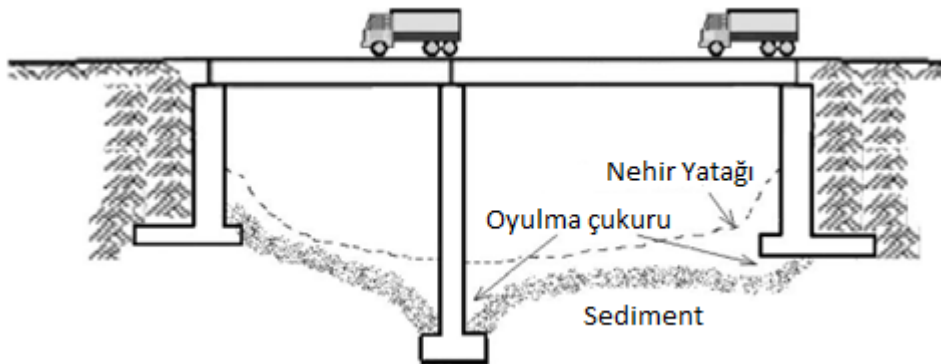
1.1 Oyulma Kavramı

Oyulma; belirli bir akım hızı olan suyun, aşındırıcı etkisi sebebiyle nehir yatağında veya köprü kenar ve orta ayaklarında bulunan yatak malzemesini taşıması ile meydana gelen problemidir. Bu sorunun çözümüne yönelik birçok çalışma uzun yıllardır yapılmıştır ve yapılmaya devam edilmektedir. Araştırmacılar oyulmalara karşı önlem teşkil edebilecek farklı yöntemler denemişlerdir. Bunları genel olarak zemini güçlendirme ve akım koşullarını başkalaştırma şeklinde iki başlık altında toplayabiliriz. Zemin güçlendirme önlemi basitçe şöyle tanımlanabilir. Akarsu yatağına eklenen tabaka, ortaya çıkabilecek hidrolik kayma gerilmelerini önleyecek şekilde çalışır ve böylelikle zeminin aşınarak yer değiştirmesi engellenmiş olur (Deng & Cai, 2009).

Oyulma kavramı genel olarak üç başlık altında sınıflandırılabilir.

1. Akarsu yatağında meydana gelen genel oyulmalar (hareketli taban oyulması),
2. Akarsu kesitinde meydana gelen daralmalardan ötürü oluşan oyulmalar,
3. Köprü ayakları ile akım etkileşimi sebebiyle köprü ayakları etrafında meydana gelen yerel oyulmalar (Raudkivi, 1986).

Şekil 1.1’de köprü oyulmalarının nehir yatağına etkisi şematik olarak görülmektedir.

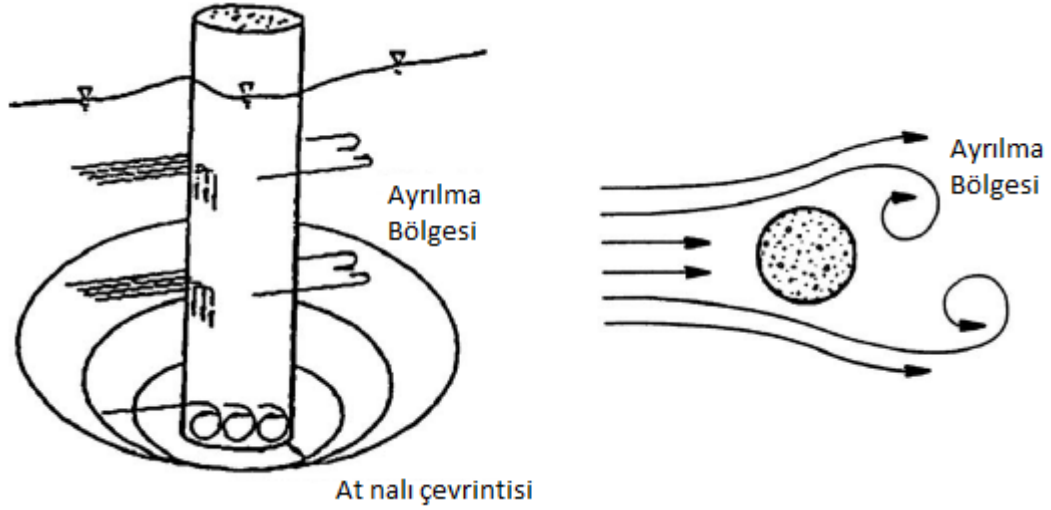


Şekil 1.1: Köprü oyulmalarının şematik gösterimi (Deng & Cai, 2009’dan uyarlanmıştır)

Bunun yanında akarsu yatağında meydana gelen genel oyulma (hareketli taban oyulması) sebebiyle de yatak malzemesi kötü gitgide daha derine inmektedir.

Şekil 1.2, dairesel kesitli bir köprü ayağı etrafında ortaya çıkan çevrintileri göstermektedir. Köprü ayağı etrafında oyulma çukuru oluşmasında at-nalı

çevrintilerinin önemli etkileri olduğu görülmüştür. Oyulma çukuru derinleştikçe at-nalı çevrintilerinin etkileri azalmaktadır (Deng & Cai, 2009).



Şekil 1.2: Silindirik bir ayakta meydana gelen oyulma çukurunda akım şekli (Richardson & Davis, 2001'den uyarlanmıştır)

Bununla birlikte oyulma mekanizması bariz bir etki olmadan da her an gerçekleşebilir. Özellikle taşkın dönemlerinde, akım karakterlerinde meydana gelebilecek gözle görülür değişimler, oyulma değişimini de doğrudan etkiler. Dolayısıyla taşkın karakteristiği oyulmayı doğrudan etkileyebileceği gibi bununla birlikte akımın hidrolik özellikleri, kanal ve köprü geometrisi, yatak malzemesi özellikleri, kanal koruma önlemleri, kanal stabilitesi, akımla gelen sürüntü malzemeleri, vb. birçok sebep oyulma derinliğine doğrudan etki eder (Deng & Cai, 2009).

1.2 Konunun Önemi

Literatürde, 1950'li yıllardan bu yana araştırılan bir konu olmasına karşın problemin karmaşık yapısı net bir çözümün ortaya konmasına engel teşkil etmiştir. Bununla beraber köprü ayakları etrafında ortaya çıkabilecek en büyük oyulma derinliğinin hesaplanması, köprü stabilitesi açısından büyük önem arz etmektedir. Yapılan bu hesaplamalar can ve mal kayıplarını engelleyeceği için ayrıca önemlidir.

Köprü oyulmalarının büyük bir bölümü taşkın gibi değişken akım koşullarında meydana gelir. Bununla birlikte daha önceden de belirtildiği üzere oyulma problemi genel itibarıyla akış karakterine, yatak malzemesi özelliklerine (boyut, şekil, alüvyal

veya kohesif olma) ve köprü ayaklarının geometrisine göre değişkenlik gösterir (Raudkivi, 1986).

1.3 Tezin Amacı

Köprü ayaklarında meydana gelen oyulma problemine bakıldığında göze çarpan nokta; problemin çok farklı parametrelere bağlı olması ve her koşulun farklı değerler alması sonucu farklı mertebede bir sorun ortaya çıkması sebebiyle, genel bir yaklaşımla kolayca çözülebilecek bir mesele olmamasıdır. Yapılan yanlış hidrolik hesapların büyük sorunlara yol açması ise bu karmaşık mekanizmanın çözülmesini adeta kaçınılmaz hale getirmiştir. Deneysel çalışmalar sonunda elde edilen verilerin kullanılması ile çıkarılan deneysel formüller problemin çözümüne önemli katkılar sunmaktadır. Bununla beraber verilerin daha ayrıntılı incelenmesiyle kurulan modeller sonucu sisteme etkileyen parametrelerin girdiler ve çıktılar gibi alt sistemlere ayrılarak incelenmesi, bazı durumlarda daha etkin tahminler yapılmasını sağlamaktadır.

Temeli son 50 yıla dayanan bulanık mantık çıkarım sistemi (BMÇS) ve yaklaşık 1 asırdır bilinen fakat son 30 yılda etkin olarak kullanılmaya başlanan yapay sinir ağları (YSA) yöntemleri, çok fazla değişken içeren veri kümeleri üzerinde daha isabetli analizler ve tahminler yapılmasını sağlamaktadırlar.

Bu tez çalışmasında, çeşitli koşullar altında elde edilen deneysel veriler, BMÇS ve YSA ilkeleri ile incelenerek köprü ayaklarında meydana gelebilecek denge oyulması çukuru derinlikleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar, hem deneysel verilerle hem de bu veriler ışığında çıkarılan deneysel formüllerin neticeleri ile karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda benzer değişken değerlerine sahip olan dere ve akarsular üzerine yapılacak köprülerde meydana gelebilecek en büyük oyulma derinlikleri kurulan modelle tahmin edilebilmektedir. Aynı zamanda, farklı değişken değerlerine sahip olan yerlerde, bu değişkenlerin katsayıları üzerinde, mantık oynamalar veya veriler ışığında birtakım değişiklikler yapılarak yeni tahminler geliştirilebilir.

2. OYULMA İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1 Kapsam

Köprü ayaklarında meydana gelen oyulmaları incelemek için öncelikle konuyu altbaşlıklara bölmek gerekmektedir. Bu konu hakkında şimdiye kadar yapılan çalışmaları genel olarak dört başlık altında sınıflandırılabilir. Bunlar; oyulma ile ilgili yapılan tahminler, modellemeler, gözlem ve izleme çalışmaları ve oyulmaya karşı alınan önlemlerdir (Deng & Cai, 2009).

2.2 Oyulma Tahmini

Köprü oyulmaları hakkında yapılan çalışmaların arasında tahminin çok önemli bir yeri vardır. Bunun sebebi, köprü yapımından sonra meydana gelebilecek oyulma miktarı eğer önceden öngörülmemiş ise bu durum büyük felaketlere yol açabilmektedir.

Oyulma tahminleri ile alakalı şimdiye kadar sayısız çalışma yapılmış ve bu çalışmalara bağlı olarak birçok ampirik formül çıkarılmıştır (Lim, 1997; Melville & Sutherland, 1988; Shen ve diğ., 1969). Bunlar ve benzeri diğer ampirik formüller genel itibarıyla laboratuvarından elde edilen verilere bağlı olarak değişmektedir. Aralarındaki fark ise araştırmacıların gözönünde bulundurdıkları parametrelerin farklılığı, yani kurdukları model yapısının birbirlerinden farklı olmasıdır (Deng & Cai, 2009).

Bulunan deneysel formüller incelenirse; göze ilk çarpanlardan birisi, Amerika Birleşik Devletleri Ulaştırma Bakanlığı tarafından da tavsiye edilen Colorado Üniversitesi denklemidir (Doc & Factor, 1993). Bu denklemde oyulma çukuru derinliği;

$$d_s = 2.0yK_1K_2K_3(b/y)^{0.65}F^{0.43} \quad (1.1)$$

ifadesiyle tahmin edilmektedir. Burada d_s oyulma derinliğini; y ayağın memba tarafındaki akım derinliğini; K_1 , K_2 ve K_3 sırasıyla ayak burun şekli, ayağa çarpan

suyun açısı ve yatak durumu düzeltme katsayılarıdır. b ayak çapı, F ise Froude sayısını ifade eder. Yapılan deneylerde, d_s/y değerinin, Froude sayısının $F>0.8$ olduğu durumlarda limit değer olarak 3.0 değerini aldığı görülmüştür.

Buna benzer birçok çalışmada aşağıda verilmiştir. Terimlerin açıklamasını daha basitleştirmek adına ortak terimler tekrar açıklanmayacaktır.

Froehlich denklemi (Froehlich, 1989):

$$d_s = 0.32\phi F^{0.2}(b_e/b)^{0.62}(y/b)^{0.46}(b/D_{50})^{0.082} \quad (1.2)$$

şeklinde dir. Burada ϕ ayak burnunun şekil katsayısını ifade etmektedir. Ayrıca b_e köprü ayağının gelen akım doğrultusunun normali doğrultusundaki genişliği ve D_{50} ortalama yatak malzemesi tane boyutudur.

Melville ve Sutherland (1988) denklemi:

$$d_s = K_l K_d K_y K_a K_s b \quad (1.3)$$

şeklinde olan K_l akım yoğunluğu faktörü, K_d yatak malzemesi faktörü, K_y akım derinliği faktörü, K_a ayak hizalanma faktörü ve K_s de ayak şekil faktörüdür.

Shen ve diğ. (1969) denklemi ise,

$$d_s = 0.00022*(V*b/v)^{0.619} \quad (1.4)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Bu denklemde V ; ortalama akım yaklaşım hızını gösterirken v ; kinematik viskozite değeridir. $v = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ alınmıştır.

Bahsedilen bu denklemler her ne kadar uygulamaya yönelik olsa ve isabetli neticeler verse de bazı durumlarda gözle görülür belirsizlikler ve bulanıklıklar ortaya çıkmaktadır (Deng & Cai, 2009).

Çıkarılan bu denklemlerin doğruluğunu sınamak amacıyla bazı araştırmacılar karşılaştırmalı çalışmalar yapmışlardır. Johnson (1995), yaptığı çalışmada hem temiz su oyulması hem de hareketli taban oyulmasına dair geniş bir veri kümesini, en çok kullanılan 7 oyulma denkleminde test etmiştir. Bu testlerde önemli olan nokta ise yapılan tahminlerin gözlemlenen değerden büyük çıkmasıdır. Bunun sebebi ise güvenli tarafta kalıp doğru bir ayak tasarımı yapmaktır. Johnson (1995), içerisinde Colorado State Üniversitesi denkleminin de yer aldığı 7 denklem arasında en isabetli sonuçlara Melville ve Sutherland (1988) denklemiyle ulaşmıştır.

Buna benzer başka bir çalışmada ise Landers ve Mueller (1996), seçtikleri bazı ampirik denklemlerin doğruluğunu araştırmak amacıyla yine hem hareketli taban oyulması hem de temiz su oyulmasına dair 139 veri üzerinde çalışmışlardır. Köprü ayak oyulma verileri 12 farklı eyalette bulunan 44 farklı köprünün 90 ayrı ayağına aittir. Hesaplanan ve gözlemlenen oyulma değerleri karşılaştırıldığında, kullanılan hiçbir denklemin tam olarak isabetli tahmin yapamadığı görülmüştür. Bu çalışmada yer alan bazı denklemlerin ise, sıklıkla kullanılan ve literatürde yer edinmiş denklemler gibi iyi sonuç verdiği, fakat gözlemlenen değerin çok üstünde neticelere götürdüğü görülmüştür. Mesela, 3 metreden daha az miktarda gözlemlenen oyulma çukuru derinlikleri için kullanılan denklemler iyi sonuç verirken, daha büyük oyulma değerlerinde isabetli olmayan sonuçlar verdikleri Landers ve Mueller (1996) tarafından tespit edilmiştir.

Özet olarak yapılan karşılaştırmalı çalışmalar arasında ufak farklılıklar olsa da, genel olarak araştırmacılar arasında en çok kullanılan birkaç denklemin gözlemlenen değerden daha büyük değerleri tahmin ettiği görülmüştür. Bu fazlalık genel itibarıyla ölçülüdür (Johnson & Ayyub, 1996).

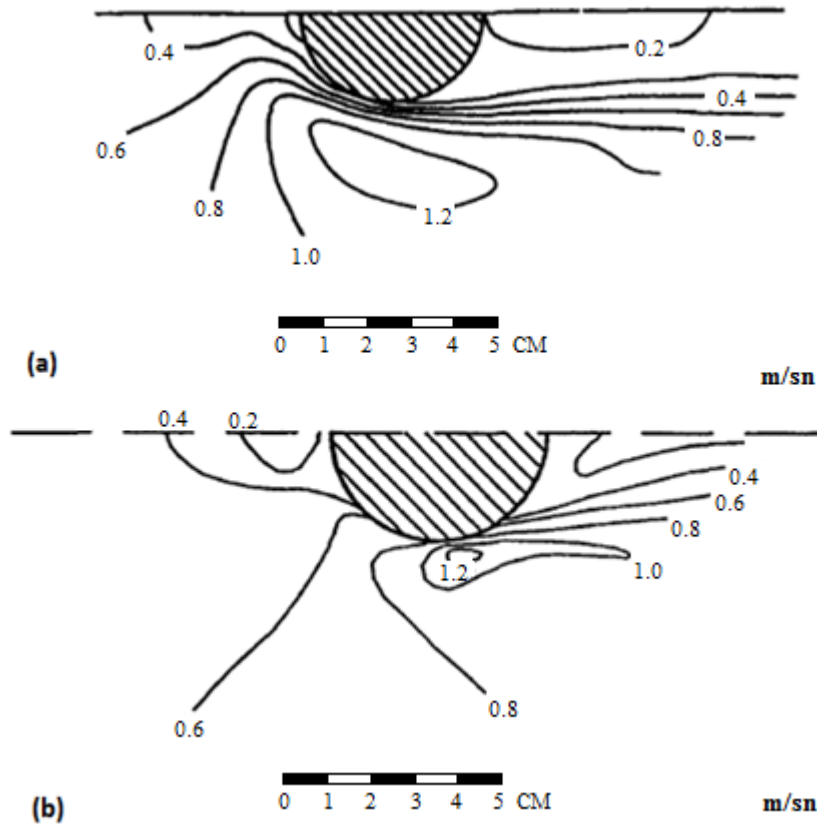
2.3 Köprü Ayaklarında Meydana Gelen Oyulmaların Modellenmesi

Daha önceden de belirtildiği üzere köprü ayak oyulmaları; akım, köprü ayağı ve akarsu yatağı üçlüsünün etkileşimi ile meydana gelen karmaşık bir mekanizmadır (Deng & Cai, 2009). Bu mekanizmanın açıklığa kavuşturulabilmesi için araştırmacılar tarafından birçok laboratuvar modelleri ve sayısal modeller kurulmuştur.

2.3.1 Sayısal modeller

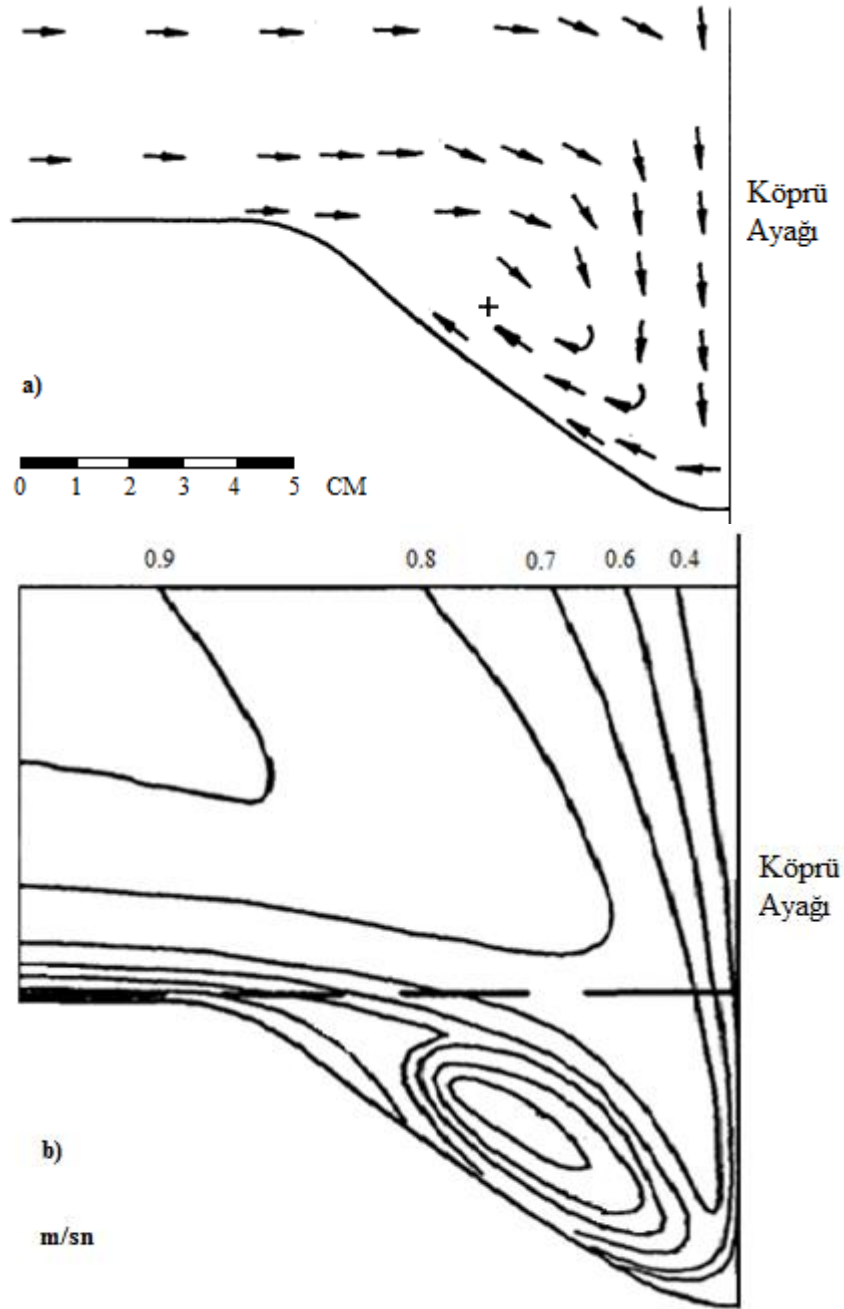
Mühendislik problemlerinin çözümü için kurulan modellerde kesinliğin artması istenirse, bu hem maliyeti artırır hem de modelin kurulma süresini bazı durumlarda bir hayli uzatabilir. Bunun sebebi ise kesinlik ve maliyet kavramlarının doğru orantılı olarak değişen iki değişken olmalarıdır. Dolayısıyla yapılacak modellemelerde yüksek kesinlik elde etmeye çalışmak maliyeti artıracak gibi, problemin olduğundan çok daha fazla karmaşılaşmasına ve çözümün de bir o kadar zorlaşmasına sebep olacaktır (Şen, 2009).

Köprü oyulmaları hakkında çeşitli çalışmalar yapan araştırmacılardan Richardson ve Panchang (1998), üç boyutlu hidrodinamik bir model kurarak silindirik köprü ayağı etrafında meydana gelebilecek oyulma çukuru derinliğini incelemişlerdir. Ayrıca kurulan bu sayısal modelin sonuçlarını Melville ve Raudkivi (1977) 'nin kurduğu laboratuvar modeli sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada tamamen üç boyutlu hidrodinamik bir model kurulmasının sebebi; en büyük oyulma derinliğini bulmak için daha önceden elde edilen bağıntıların güvenilir sonuçlar vermemesi olarak açıklanmıştır. Yine bu çalışma içerisinde, kurulan 3 boyutlu hidrodinamik sayısal modelde tahmin edilen ve gözlenen oyulma derinlik değerleri Şekil 2.1a ve Şekil 2.1b'de gösterilmiştir.



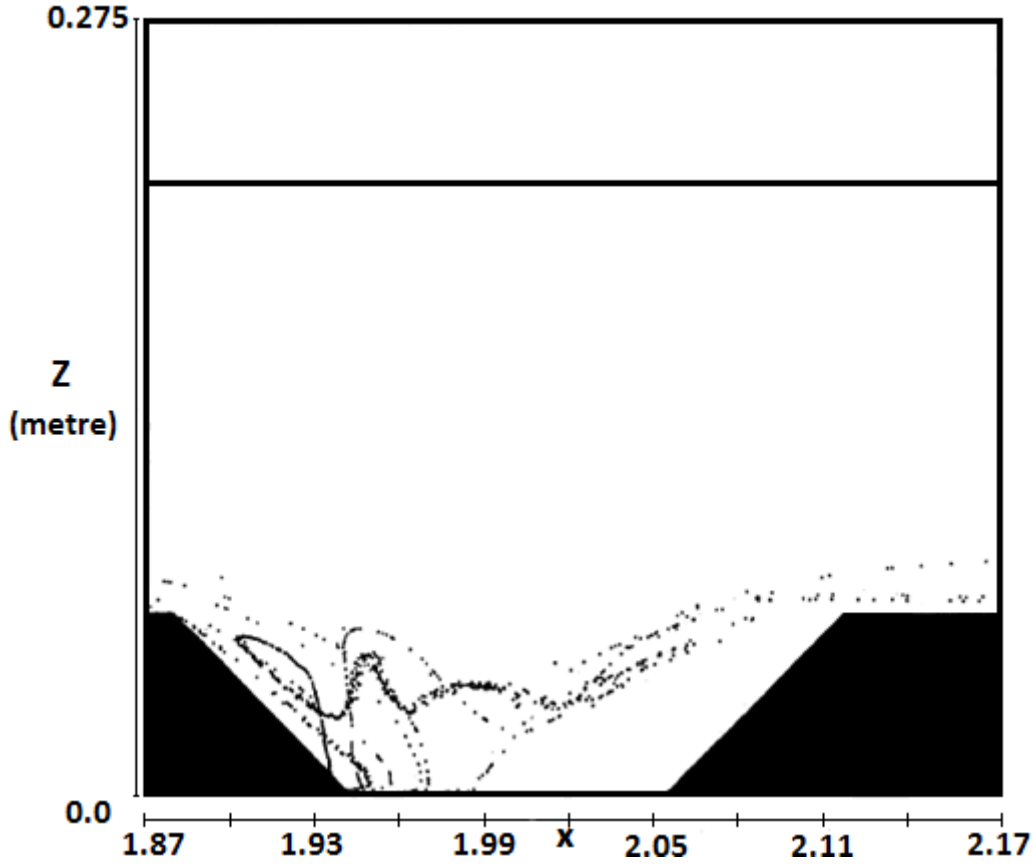
Şekil 2.1: Richardson ve Panchang (1998) tarafından kurulan üç boyutlu hidrodinamik sayısal modelin plan görünüşü a) Hesaplanan Hız değerleri b) Gözlenen hız değerleri

Şekil 2.2a'da Richardson ve Panchang (1998) tarafından kurulan üç boyutlu hidrodinamik modelde oluşan oyulma çukurunda su hareketi ve at-nalı çevtintisi görülmektedir. Şekil 2.2b'de ise yine aynı kesitte bu harekete ait hız değerleri m/sn cinsinden görülmektedir.



Şekil 2.2: Richardson ve Panchang (1998) tarafından kurulan üç boyutlu hidrodinamik sayısal modelin kesit görünüşü a) Gözlenen hız değerleri b) Hesaplanan hız değerleri

Şekil 2.3'te ise denge oyulması durumunda akımın x-z düzleminde yaptığı hareket sonucu, yatak malzemesinin taşınımı görülmektedir. Burada akım soldan sağa doğrudur. MR (Manyetik Rezonans) çekimi yapılan bu sistemde görüldüğü üzere hem oyulma çukuruna katı madde taşınımı gerçekleşirken hem de çukurdan dışarı doğru da sediment taşınımı gerçekleşmektedir. Şekilde olayı daha ayrıntılı bir şekilde görebilmek için köprü ayağı kaldırılmıştır.



Şekil 2.3: Richardson ve Panchang (1998) tarafından kurulan üç boyutlu hidrodinamik sayısal modelde X-Z düzleminde yatak malzemesi taşınımı

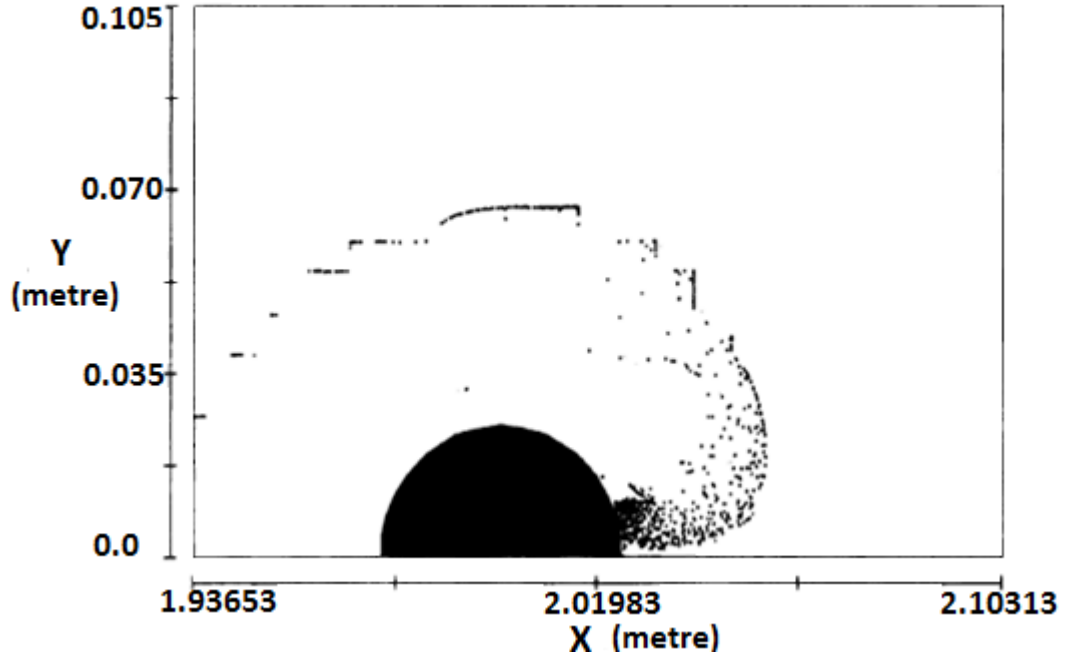
Şekil 2.4’te de x-y düzleminde denge oyulması anında soldan sağa doğru olan akımın yatak malzemesi parçacıklarını nasıl taşıdıkları görülmektedir. Plan görünümü olması nedeniyle oyulma çukurunun derinliği görülememektedir. Fakat akımın sürüklediği malzeme ve ayrılma bölgesi net bir şekilde görülebilmektedir.

2.3.2 Laboratuvar modelleri

Oyulma ile ilgili yapılan laboratuvar çalışmalarının faydaları arasında farklı değişken ve parametreleri ayrıntılı bir şekilde inceleyerek daha isabetli oyulma tahminleri yapmanın yanı sıra, oyulma için alternatif veya daha gelişmiş önlemler almak da bulunur (Deng & Cai, 2009). Bu açıdan yapılan bilimsel çalışmalar içerisinde laboratuvar deneylerinin önemi büyüktür.

Nil nehri üzerinde bulunan en büyük köprülerden biri olan Imbaba Köprüsünün oldukça büyük olan bir ayağında ortaya çıkan oyulma derinliğini gözlemlemek amacıyla 1:60 ölçeğinde bir model kurularak araştırma yapılmıştır (Abed & Gasser, 1993). Temiz su oyulması ile ilgili bir kısım veriler toplanarak silindirik bir köprü

ayağında meydana gelebilecek yerel oyulma miktarı araştırılmıştır. Çalışma sonucunda at-nalı çevrıntilerinin haricinde, yakın olan köprü ayaklarında ortaya çıkan kuyruk çevrıntilerinin kesişimi sonucu derin oyulma çukurları gözlemlenmiştir.



Şekil 2.4: Richardson ve Panchang (1998) tarafından kurulan üç boyutlu hidrodinamik sayısal modelde X-Y düzleminde yatak malzemesi taşınımı

Sheppard ve Miller (2006), yerel temiz su oyulması ve hareketli taban oyulması testlerini, çapı yaklaşık 0.15 m olan silindirik bir ayak üzerinde, farklı su derinlikleri ve hız durumları altında iki değişik kohezyonsuz malzeme boyutu (0.27 ve 0.84 mm) için yapmışlardır. Deneyler Yeni Zelanda'da bulunan Auckland Üniversitesi Hidrolik Laboratuvarı'nda 1.5 m eninde, 1.3 m derinliğinde ve 45 m uzunluğunda eğimli bir kanalda yapılmıştır. Araştırmacılar tarafından V/V_c değeri en yüksek 6 olacak şekilde deney düzeneği kurulmuş ve birçok ölçüm yapılmıştır. Aslında bu değer yaklaşık olarak hareketli taban oyulması değerinin pik noktasıdır. Deneyde oyulma derinlikleri daha önceden elde edilen 4 denklem kullanılarak tahmin edilmiş ve bu tahminler deney sonrasında elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır.

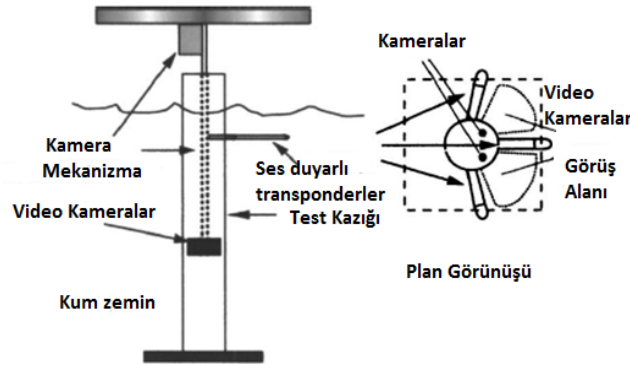
Şekil 2.5'te ise hareketli taban oyulmasına dair yapılan deney sonrası köprü ayağı ve oyulma çukurları belirgin bir şekilde görülmektedir.

Şekil 2.6'da ise araştırmacıların yerel oyulmayı ölçmek amacıyla kullandıkları cihazlar ve deney seti görülmektedir. Zamanın bir fonksiyonu olan oyulma derinliği, sese duyarlı transponderler ve kameralar yardımıyla ölçülmektedir. Yatak formları ve

savak duvarındaki yatak seviyesi deney boyunca kameralarla görüntülenmiştir. Akım hızı, su derinliği ve su sıcaklığı ise deneyler sırasında ayrıca gözlemlenen değişkenlerdir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilere en uygun sonuçlar Sheppard (2004) denkleminde görülmüştür. Şekil 2.7’de 0.305 m çaplı köprü ayağına yerleştirilen kameralar görülmektedir.



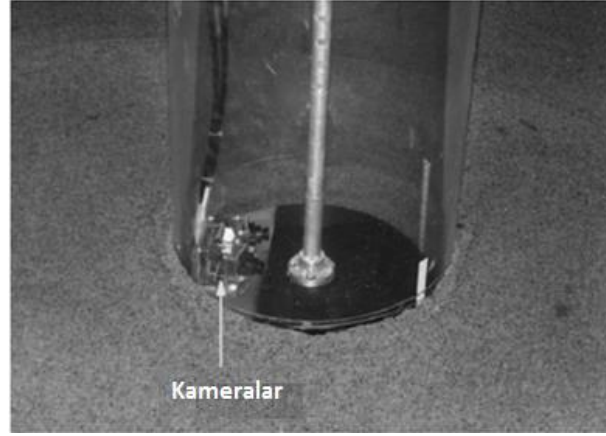
Şekil 2.5: Sheppard ve Miller (2006) tarafından yapılan deney sonrası köprü ayağı etrafında oyulma



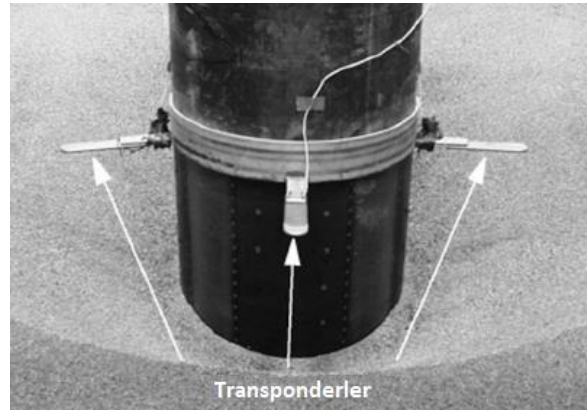
Şekil 2.6: Sheppard ve Miller (2006) tarafından kurulan deney setinin kesit ve plan görünümü

Şekil 2.8’de ise araştırmacılar, oyulma derinliğini ölçmek için kurdukları laboratuvar modelindeki ayağa, sese karşı duyarlı transponderler yerleştirmişlerdir.

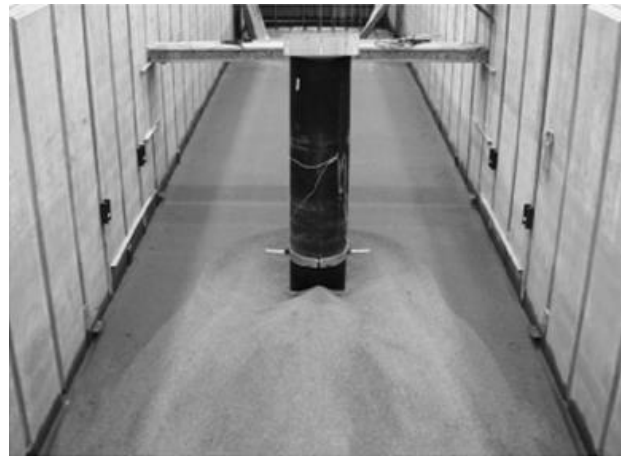
Şekil 2.9 ise deney sonrası bir görüntüdür. Görüldüğü üzere belirgin bir hareketli taban oyulmasının yanısıra, köprü ayağına yakın bölgelerde yerel oyulmalar da farkedilmektedir.



Şekil 2.7: Sheppard ve diğ. (2004a) tarafından kurulan deney setinde köprü ayaklarına yerleştirilen kameralar



Şekil 2.8: Sheppard ve diğ. (2004b) tarafından kurulan deney setinde köprü ayaklarına yerleştirilen ses alıcılar



Şekil 2.9: Sheppard ve diğ. (2004b) tarafından yapılan deney sonrası hareketli taban oyulması ve yerel oyulmalar

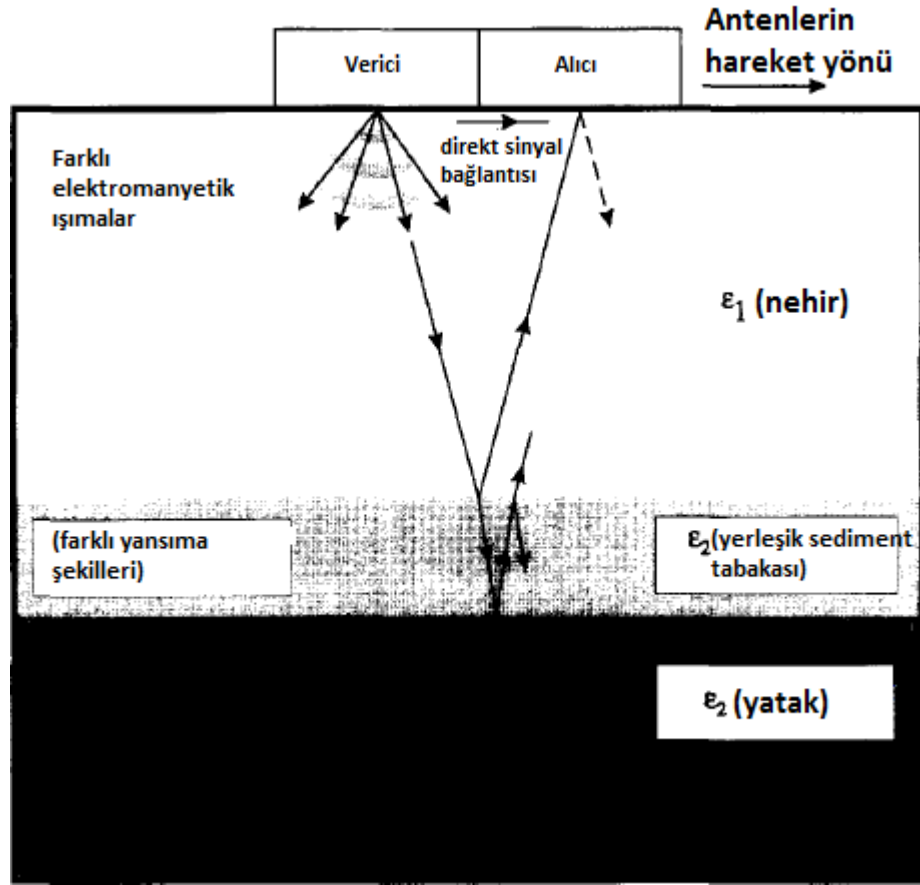
2.4 Köprü Ayaklarında Meydana Gelen Oyulmaların Gözlenmesi

Laboratuvar modelleri, daha önceden de belirtildiği üzere aslında çok karmaşık olan oyulma mekanizmasının daha iyi anlaşılmasını ve oyulma hakkındaki teorilerin rahatça doğrulanabilmesini sağlamasına rağmen; alınan veriler bazı farklı durumlarda çok sağlıklı olmayabilir. Bunun yanında laboratuvar çalışmaları neticesinde ortaya çıkan sonuçlar çoğu zaman pratik uygulanabilir değildir. Bu durumların en büyük sebeplerinden birileri de model kurulurken yapılan kabuller ve sistemi basitleştirme çabalarıdır. Bu yüzden sahadan alınan veriler, her zaman için önemini korumuştur. Aynı zamanda elde edilen laboratuvar sonuçlarının ve ampirik bağıntıların test edilip doğrulanması açısından saha çalışmaları mutlak surette yapılmalıdır (Deng & Cai, 2009).

Köprü ayaklarının memba tarafında meydana gelen oyulmalar genellikle daha tehlikelidir. Taşkın durumlarında ise taşkın öncesi oluşan oyulma çukurları derinliklerinde bazen azalmalar meydana gelir. Taşkınla beraber askıda olan yatak malzemeleri oyulma çukurlarının tekrar dolmasına sebebiyet verirken bazı durumlarda bu meydana gelmez. Dolayısıyla bu durumların çözümü için afet sonrası tekrar gözlemler yapılmalıdır. Çözüm olarak bazı araştırmacılar yüzey altı radarları kullanmışlardır. Bu tip radarlar ilk icad edilmelerinden bugüne inşaat mühendisliği haricinde de birçok alanda kullanılmışlardır. İnşaat mühendisliği kapsamında ise yığma bina yapımından tünelciliğe, beton binalardan köprülere kadar birçok farklı alanda kullanılmışlardır (Millard ve diğ, 1998).

Ses alıcı radarların böylesine çok farklı disiplinlerde kullanılabilmesini sağlayan özelliği, sıklık (frekans) aralıklarının değiştirilebilmesidir. Örneğin, 500 MHz ile 1 GHz arasındaki sıklıklarda ses alıcı radarlar beton veya taş bina yapımında kullanılır. 50 ile 300 MHz arasında ise genellikle geoteknik çalışmalarda kullanılır (Millard ve diğ, 1998).

Millard ve diğ. (1998)'in yaptığı çalışmada Şekil 2.10'da da görüldüğü gibi, sistemde TX verici anteni, RX ise alıcı anten görevini görmektedir. TX ve RX anteni şekilde görüldüğü üzere aynı yöne doğru hareket etmektedirler. Bu tip deneylerde vericiden gönderilen çoğu sinyalin kırılması ve sadece belirli bir bölümünün yansıtılması sebebiyle bu verileri yorumlamak ve değerlendirmek bazen zor olabilmektedir.

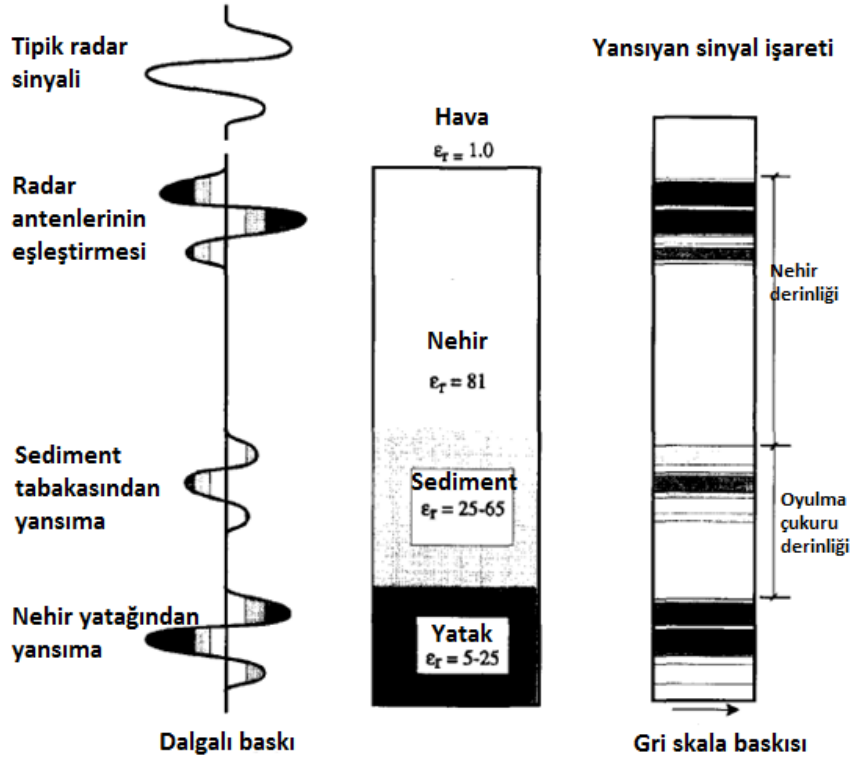


Şekil 2.10: Radarlardaki İletim ve Yansıtma prensibi (Millard ve diğ, 1998)

Radar sonuçlarını okumak için mühendislikte kullanılan yollardan biri de elde edilen her sinyalin büyüklüğünü gri tonlama yaparak bir kağıda işlemektir. Bu sayede antenin taradığı veriler beyaz ve siyah renklerin tonlarında resimlenir. Benzer bir uygulama Şekil 2.11’de gösterilmiştir (Millard ve diğ, 1998). Şekil 2.11 üzerinde görülen ϵ_r ifadesi söz konusu ortamların elektriksel geçirgenliklerini sembolize etmektedir. Sonuç olarak Millard ve diğ. (1998)’in yaptıkları bu çalışmalar göstermiştir ki, radarlarla yapılan oyulma çalışmaları oyulmanın yer, büyüklük ve derinliğini ortaya çıkarabilmektedir. Hatta oyulma çukuru, taşkın vb. durumlarla taşınan malzemelerle dolsa dahi, eğer yatak malzemesi ile taşınan askı malzemelerinin elektriksel geçirgenlikleri farklı ise, radar kullanılarak yapılan çalışmalar oyulma çukuru hakkında ayrıntılı bilgi verebilir.

Radar kullanımının yanı sıra Sonar sistemler de birçok mühendislik dalında kullanılmaktadır. Sonar kelimesi İngilizce “sound navigation and ranging” kelimelerinin başta bulunan birkaç harflerinden oluşan bir kısaltmadır. Sonar sistemler ses dalgaları yayarak genel itibarıyla su altında yön bulma, iletişime geçme

veya su altında bulunan başka kütleleri algılamaya yararlar. Sonar ile oyulma derinliğini ölçme prensibi aslında radar sistemine benzerdir (Şekil 2.12).

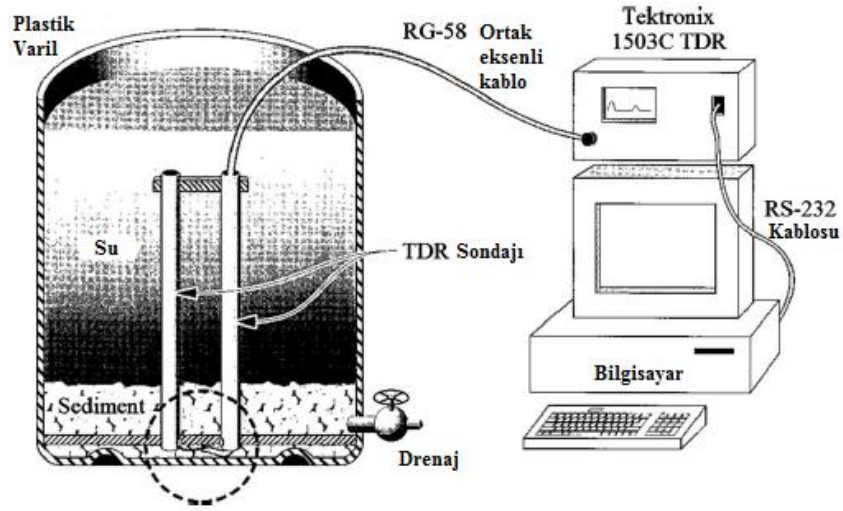


Şekil 2.11: Radar anteninden gelen verilerin resim üzerine işlenmesi (Millard ve diğ., 1998)

Herhangi bir nesnenin konumunu belirlemek amacıyla kaynaktan o cisme bir ses titreşimi gönderilir. Hedefte bulunan cisimden geri yansıyan dalga alıcı tarafından algılanır. Bu arada geçen süre; ses hızının bilinmesinden dolayı, nesnenin yerini belirlemek için yeterli bir parametredir. Sonar daha çok denizaltı yüzeyinin karakteristiğini ortaya çıkarmak amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Temel felsefesi yansıyan ses dalgalarının enerjisinde veya şeklinde meydana gelen değişmelere göre yüzeyin özelliklerini tanımdır.

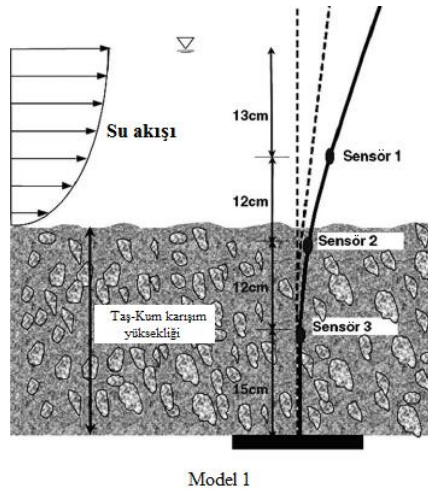
Her ne kadar radar ve sonar sistemler, başarılı bir şekilde bir yüzeyin topoğrafyası hakkında bilgiler verseler dahi, bu sistemlerde özellikle oyulma derinliği ölçme gibi bir süreç gerektiren durumlarda uygulamaya yönelik bazı sorunlar görülmektedir. Bu durumun sebebi ise radar ve sonar sistemlerin bir köprü ayağında meydana gelebilecek oyulmaların gelişim sürecini gözlemlemekten çok, taşınan yatak malzemesinin son durumunu hakkında tarama yapabilmeleridir. Özellikle de taşkın

zamanlarında sürekli olarak oyulma değerlerini bu yöntemlerle gözlemlemek oldukça zordur.



Şekil 2.12: Sonar TDR sistemi (Yankielun & Zabilansky, 1999)

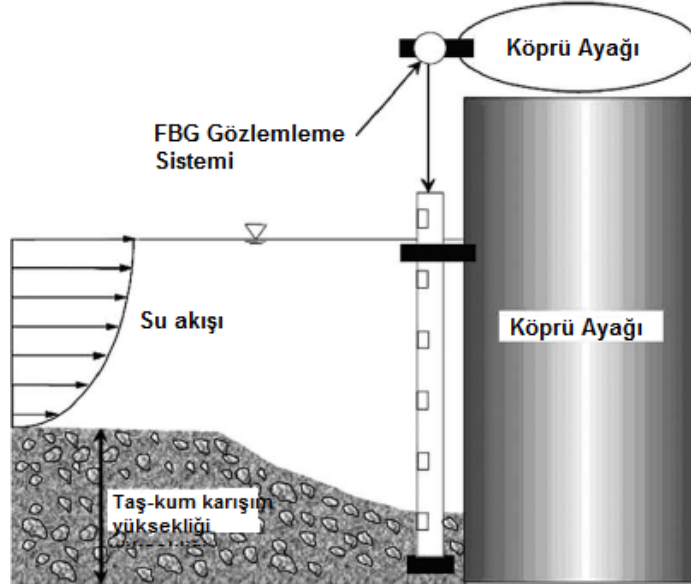
Oyulma derinliğinde meydana gelen anlık değişimleri gerçek zamanlı olarak gözlemlemek, meydana gelebilecek olumsuzluklara karşı önceden önlem alınabilmesi adına oldukça gereklidir. Bunun yanısıra gerçek zamanlı gözlem, taşkın zamanlarında alınacak kritik kararlarda köprü mühendislerine yardımcı olacaktır.



Şekil 2.13: Model 1 - Düşey kablo üzerine yerleştirilen FBG sensörleri (Lin ve diğ., 2005)

Bu duruma karşın oyulma derinliğini gerçek zamanlı gözlemlemek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Lin ve diğ. (2005), yaptıkları çalışmada iki tip model geliştirerek yerel oyulma değerlerini gözlemlemeye çalışmışlardır. Şekil 2.13'te ilk tipte düşey bir kablo üzerine yerleştirilen üç adet FBG (Fiber Bragg Grating)

sensorünün ve kablunun nehir yatağı ve su içerisindeki konumu görülmektedir. İkinci tip modelde ise FBG sensörleri, köprü ayağına tutturulmuş çelik bir kazık üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14: Model 2 - Köprü ayağına sabitlenen çelik kazıkta bulunan FBG sensörleri (Lin ve diğ, 2005)

Her iki sistemde de su akışından ötürü kurulan modellerde zorlanmalar ve moment etkileri FBG sensörleri tarafından tespit edilmektedir. Bununla birlikte sistemden de anlaşılabacağı üzere bu tip zorlanmalar yalnızca akarsu yatağının üzerinde kalan sensörlerde hissedilecektir. Toprak altında kalan sensörlerde ise su akışından ötürü herhangi bir gerilme veya zorlanma meydana gelmez. Dolayısıyla kurulan bu sistem oyulma derinliğini gerçek zamanlı olarak ölçebilmektedir. Sistemin hassasiyeti ise kullanılan FBG sensörlerinin sayısına bağlı olarak değişebilir (Lin ve diğ, 2005).

Lu ve diğ. (2008) da SMC ismi verilen, kayabilen bir çelik halkayı kullanarak taşkın zamanlarında meydana gelen oyulmaları gözlemlemeye çalışmışlardır. Kurulan sistem şu şekilde çalışmaktadır; öncelikle köprü ayağının nehir yatağı ile birleştiği kota bu çelik halka yerleştirilmiştir. Oyulma meydana geldiğinde, yerleştirilen çelik halkanın altında boşluk oluşacağı için bu halka aşağı kayacaktır. Dolayısıyla toplam oyulma derinliği çelik halkanın toplam yer değiştirmesine eşit olur. Bu sistemin en büyük dezavantajı ise, oyulma çukurunun sediment taşınımı sebebiyle tekrar dolması halinde, çelik halkanın toprak altında kalarak işlevsiz hale gelmesidir (Lu ve diğ, 2008).

2.5 Köprü Ayaklarında Meydana Gelebilecek Oyulmalar İçin Alınan Tedbirler

Köprü ayaklarında meydana gelen oyulma problemi için yapılan tahminler, modellemeler ve gözlemler önemli olduğu kadar alınan önlemler de bir hayli önemlidir. Çünkü problemi, daha ortaya çıkmadan önlemek ve gerçekleşmesini engellemek meydana gelebilecek kötü sonuçların da önünü önceden kesmeye yarayacaktır.

Bu sebeple araştırmacılar oyulma mekanizmasının meydana gelme sebepleri üzerinde durmuşlar ve bu sebepleri ortadan kaldırmaya çalışmışlardır. Oyulmaya karşı alınan tedbirler temelde iki gruba ayrılabilir. Bunlar, zemin iyileştirmeye yönelik yapılan çalışmalar ve akım karakterini değiştirmeye yönelik yapılan çalışmalardır. Zemin iyileştirmeye yönelik yapılan çalışmalardaki temel fikir, nehir yatağı üzerine yeni bir katman yerleştirerek altta kalan ve kolay aşınabilen akarsu yatağının hidrolik etkenlerle olan bağıını kesmektir. Normal şartlarda ortaya çıkan kayma gerilmesinden ötürü taşınabilen yatak malzemesi, akımla bağının kesilmesinden ötürü aşınmaya karşı korunaklı bir yapıya getirilir. Akım karakterini değiştirmeye yönelik yapılan çalışmalar ise isminden de anlaşılacağı üzere akımın hidrolik karakterini değiştirerek oyulmaya neden olan etkilerini azaltan önlemlerdir. Bunlar arasında köprü ayağı çevresine yapılan paralel duvarlar veya ayak çevresine yerleştirilen halkalar sayılabilir (Deng & Cai, 2009).

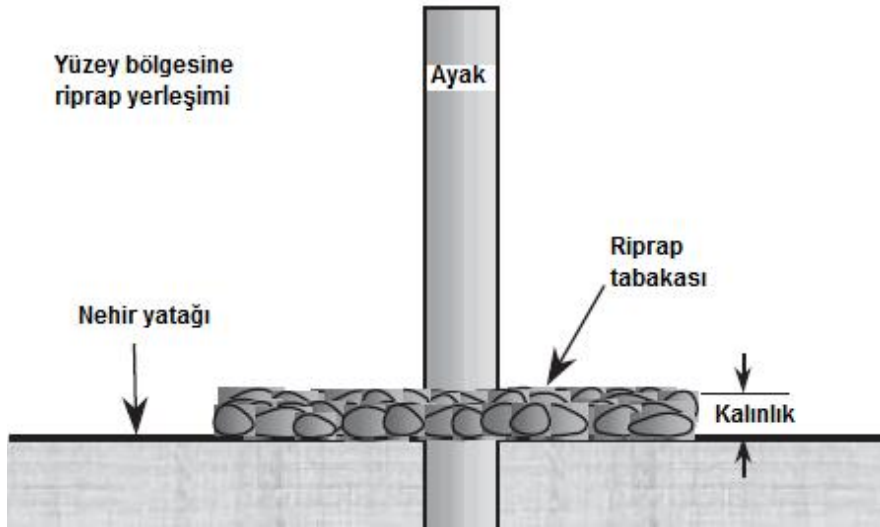
2.5.1 Riprap kullanımı

Zemin iyileştirmeye yönelik nehir yatağına yerleştirilen koruyucu katman çeşitlerinden en etkili olanı “riprap” olarak adlandırılan çeşittir. Bu katman nehir yatağı üst kotundan başlayarak yapılabileceği gibi, doğal taşınım ile ortaya çıkan oyulma çukurlarına da yapılabilir. Bunun yanısıra son çalışmalar, nehir yatağı kotunun daha aşağısına yerleştirilen riprap tabakasının oyulmaya karşı daha iyi bir önlem olduğunu göstermiştir (Lagasse ve diğ, 2007).

Şekil 2.15’te riprap uygulamasına bir örnek gösterilmiştir (Melville & Coleman, 2000). Riprap tabakası birçok şekilde yerleştirilebilir. Riprap tabakasının üst kotu nehir yatağının üzerinde olabileceği gibi (Şekil 2.16), nehir yatağı kotuyla aynı seviyede de olabilir (Şekil 2.17). Hatta nehir yatağına gömülü bir şekilde de yerleştirilebilir (Şekil 2.18).

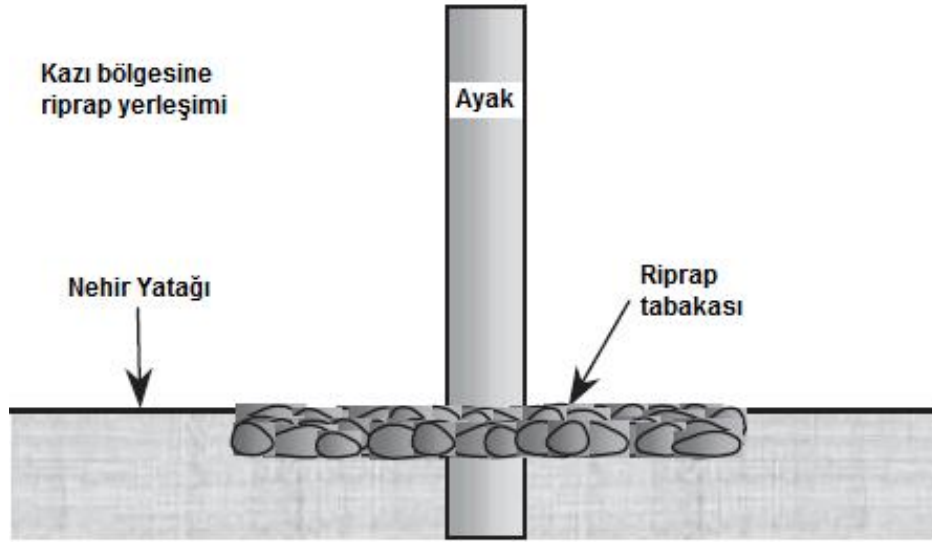


Şekil 2.15: Riprap uygulamasına bir örnek (Melville & Coleman, 2000)

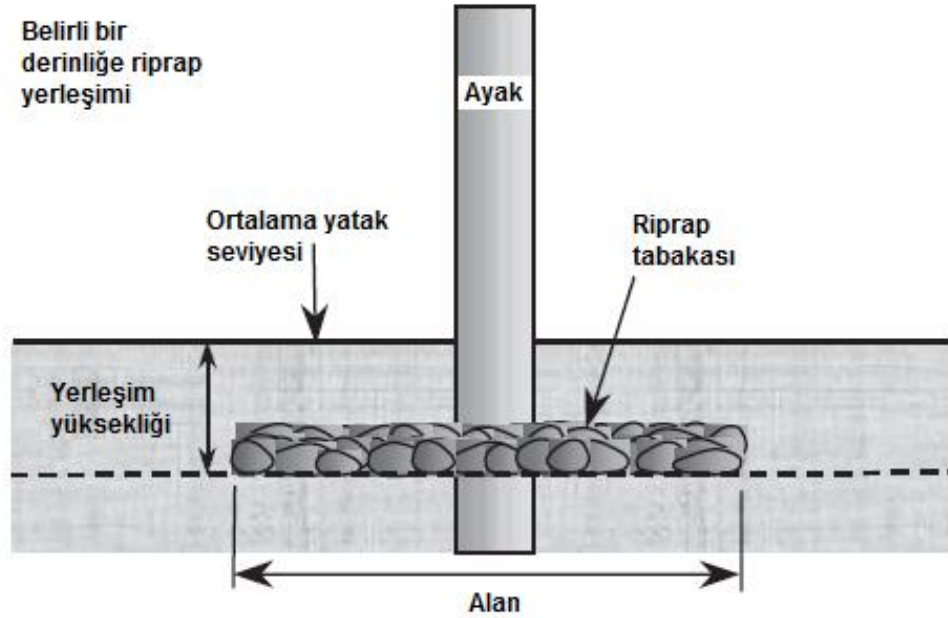


Şekil 2.16: Nehir yatağı üzerine yerleştirilen riprap (Lagasse ve diğ, 2007)

Riprap tabakasının kararlılığı, kullanılan taşların boyutları ve bu taşların akımdan ötürü beliren kayma gerilmelerine göstereceği direnç ile doğrudan alakalıdır. Dolayısıyla riprap tabakası da nehir yatağında meydana gelen oyulma problemi ile karşı karşıyadır. Bazı araştırmacılar riprap tabakasında meydana gelen bozulmaları üç ana başlık altında toplamışlardır (Chiew, 1995). Bunlar kayma gerilmesi bozulması, savrulma bozulması ve kenar bozulmasıdır.

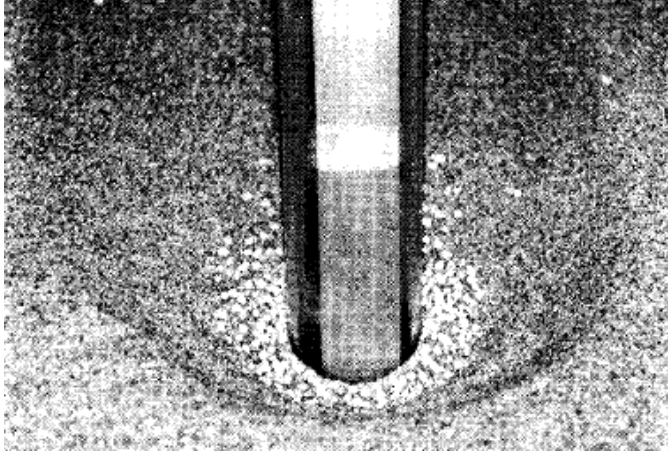


Şekil 2.17: Nehir yatağı kazılarak yerleştirilen riprap (Lagasse ve diğ, 2007)

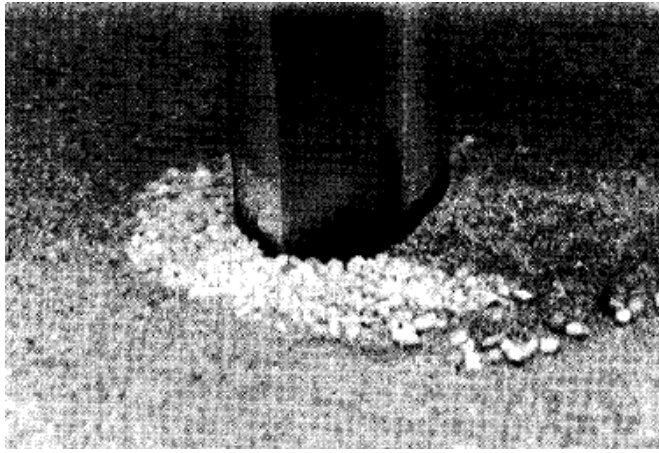


Şekil 2.18: Nehir yatağı kotundan daha derine yerleştirilen riprap (Lagasse ve diğ, 2007)

Chiew (1995), yaptığı çalışmada riprap tabakasında meydana gelen bu üç tip kararsızlığı şu şekilde açıklar: İlk olarak, kayma gerilmesinden dolayı bozulmanın sebebi yerleştirilen taşların yeterince büyük veya ağır olmaması nedeniyle akım kayma gerilmesinin bu tabakayı yerinden oynatmasıdır (Şekil 2.19). İkinci kararsızlık tipi olarak tanımlanan savrulma bozulmasının sebebi ise riprap tabakasının altında kalan ince yatak malzemelerinin, bu tabakada bulunan boşluklardan sızmasıdır (Şekil 2.20).



Şekil 2.19: Savrulma bozulmasından ötürü oluşan oyulmaya örnek (Chiew, 1995)



Şekil 2.20: Akım hızının yavaş iken riprap tabakasında meydana gelen bozulmaya örnek (Chiew, 1995)

Son olarak kenarda meydana gelen bozulmanın sebebi de yine ince malzemelerin oyulmayı tetiklemesi ve taşınan ince malzemenin üzerinde bulunan riprap tabakasının form değiştirmesidir (Şekil 2.21).

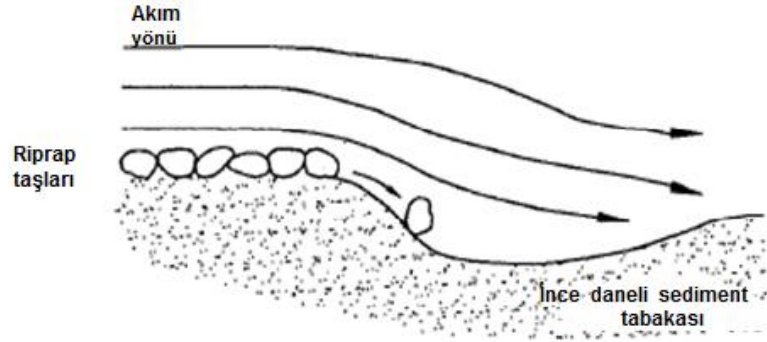
Savrulma bozulması, alüvyonlu nehirlerde nisbeten daha ince daneli yapıda olan yatak malzemesi üzerine iri daneli riprap yerleştirilmesi sonucu oluşur. Üst kısımda bulunan riprap tabakasında bulunan boşluklardan, ince daneli yatak malzemesinin çıkarak riprap altında boşluk oluşturması bu bozulmanın ana sebebidir. Savrulma bozulması eşik değerinin aşılması, hem akım hızının büyüklüğüne hem de iki tabaka arasındaki malzeme boyutu oranına bağlıdır (Chiew, 1995).

Riprap katmanının kararlılığı sadece kullanılan taşların boyutları ve ağırlığıyla alakalı değil, aynı zamanda kapsadığı alan ve kalınlığıyla da alakalıdır. Bozulma sürecinin başlangıcı ilk olarak riprap tabakası ve korunmaya çalışılan tabakanın

birleştigi yerde yani kenar kısımda meydana gelir. Chiew (1995), bu bozulmayı kenar bozulması olarak adlandırır (Şekil 2.22).



Şekil 2.21: Kenar bozulmasına örnek (Chiew, 1995)



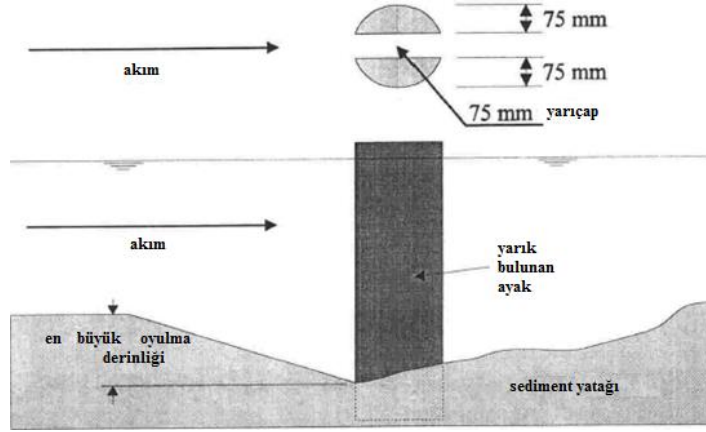
Şekil 2.22: Kenar bozulmasının şematik gösterimi (Chiew, 1995)

Chiew (1995), yaptığı çalışmada riprap tabakasının kararlılığının sürdürülebilmesini ve bu kararlılığın hangi durumlarda bozulduğunu araştırmıştır. Araştırmanın deneysel kısmında elde edilen veriler; akım hızı, zemin kritik kayma gerilmesi hızının 0.3 katına eşit olduğunda oyulmanın başladığını göstermiştir. Aynı zamanda Chiew, savrulma bozulmasının riprap tabakası kararlılığını olumsuz olarak en çok etkileyen bozulma çeşidi olduğunu belirtmiştir. Bunlarla birlikte oyulmayı engellemede riprap tabakası kalınlığı ve genişliğinin çok önemli bir rol oynadığını göstermiştir.

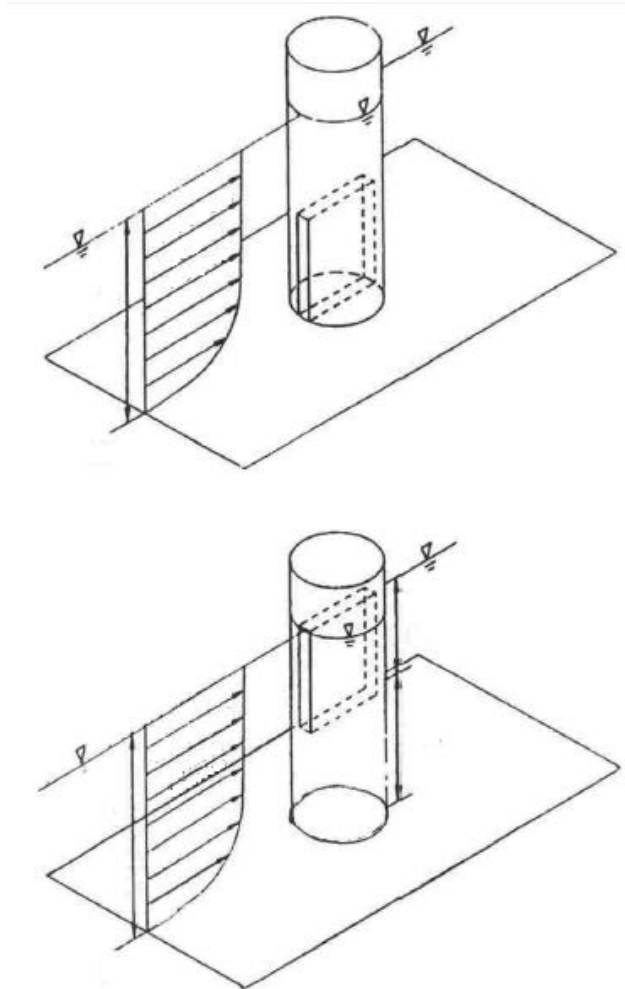
2.5.2 Köprü ayağı üzerinde oluşturulan yarıklar

Köprü ayağı üzerine açılan yarıklar, akarsuyun memba tarafından gelen düşey akımın şiddetini azaltır ve böylelikle meydana gelebilecek at-nalı çevrintilerinin de şiddeti azaltılmış olur. Açılacak bu yarığın tahmin edileceği üzere genişliği,

uzunluğu, bulunduğu konumu gibi birçok özelliği oyulma derinliğini doğrudan etkiler.



Şekil 2.23 : Oyulma derinliğini azaltmak için kullanılan yarıklar (Shen ve diğ, 1966)



Şekil 2.24 : Nehir yatağı ve su yüzüne yakın olarak yerleştirilen yarıkların şematik gösterimi (Chiew, 1992)

Shen ve diğ. (1966), yaptıkları çalışmada simetri eksenini boyunca yarıklı meydana getirmiş köprü ayağında oyulma azalma potansiyelini araştırmışlardır (Şekil 2.23). Sonuçlar, bu uygulamanın oyulma etkisini %24 ilâ %38 arasında azalttığını göstermiştir. Fakat daha sonra, sürüntü malzemelerinin bu yarığı kolay bir şekilde doldurabileceği, bundan dolayı ayağın normal bir ayak görevi göreceği düşünülmüş ve bu tasarıma çok itibar edilmemiştir.

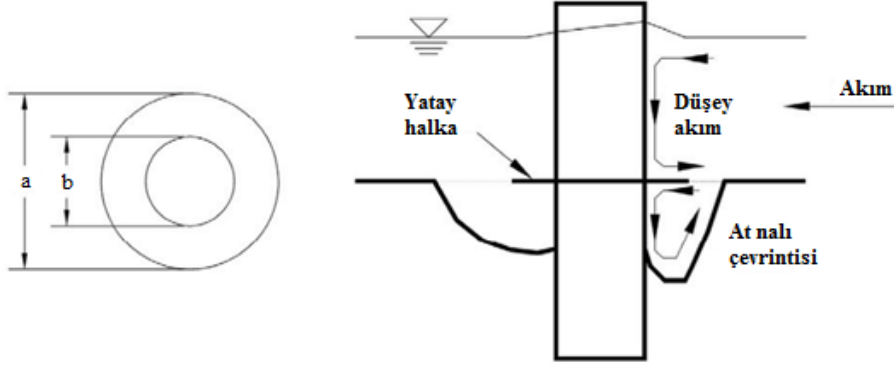
Daha sonraları Chiew (1992), hem su yüzüne yakın hem de nehir yatağına yakın olacak şekilde tasarlanan yarıklı köprü ayaklarının oyulma azalmasına etkisini incelemiştir. Yaptığı çalışmanın başında yarığın konumu ve boyutları konusunda yorumlar yapmıştır. Köprü ayak çapının (D) 0.25 katı genişliğinde bir yarığın su yüzüne veya nehir yatak seviyesine yakın olarak yerleştirilmesi sonucunda %20'ye yakın bir oyulma azalması görülmüştür. Ayrıca, 0.5D genişliğinde su yüzüne yakın tasarlanan yarıklı olması halinde bu rakam %30'lara yaklaşmıştır (Şekil 2.24).

2.5.3 Ayak üzerinde yatay plakalar

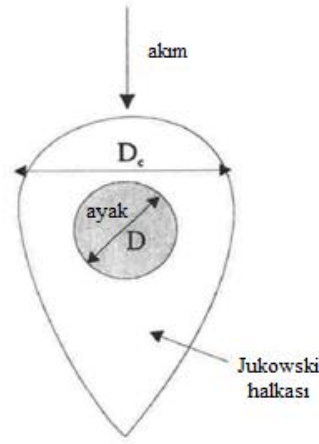
Yatay plakalar genel olarak akarsu yatak seviyesine yakın olarak yerleştirilen elemanlardır. Bu elemanlar, düşey akım ve at-nalı çevrintisi için bir set görevi görerek oyulma riskini azaltır (Chiew, 1992). Literatürde ayak çevresine yerleştirilen yatay plakalarla alakalı bir çok çalışma yapılmış, geniş tabanlı ve nehir yatak seviyesinden daha derine konuşturılan plakaların oyulma oranını ciddi derecede azalttığı görülmüştür (Lauchlan, 1999).

Zarrati ve diğ. (2010), oyulma etkisini azaltmak amacıyla riprap ve plakayı aynı düzenekte kullanmışlardır. Bunun sonucunda, plaka kullanımının düşey akım ve at-nalı çevrintisi etkileşimini engellemesinin yanısıra (Şekil 2.25), riprap tabakasının genişliğini de azalttığını, doğal olarak plaka ile beraber daha az riprap kullanımına ihtiyaç olduğunu görmüşlerdir.

Dargahi (1990), ayak etrafına yapılan plakaların at-nalı çevrintisine ve oyulmaya olan etkisini araştırmıştır. Bu araştırmada Jukowski profilini kullanmıştır (Şekil 2.26). Yapılan analizler sonucunda halka kullanımının at-nalı çevrintisine engel olmamasına rağmen, çevrintilerin şiddetini azaltan bir etki yaptığı görülmüştür. Ayrıca, Jukowski profili ile normal profillerin kullanımı arasında bir fark olmadığını gören araştırmacı, halka şeklinin yerel oyulmaya etki etmediğini belirtmiştir.



Şekil 2.25 : Plaka kullanımının at-nalı çevrintisi ve düşey akım etkileşimini engellemesi (Zarrati ve diğ, 2010)

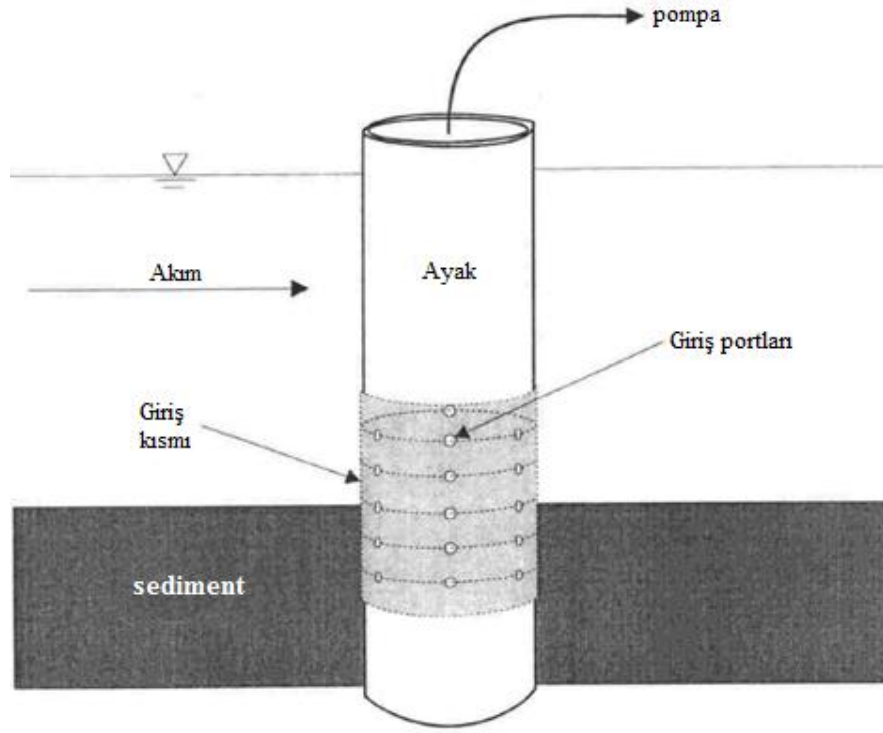


Şekil 2.26 : Oyulma önlemi olarak Jukowski halkası kullanımı (Dargahi, 1990)

2.5.4 Emme yöntemi

Bu yöntem riprap, plaka ve diğer kavramlara göre daha yenidir. Bu teknikte, köprü ayağı yüzeyinde bulunan ve suyu emmeye yarayan girişlerden su alınarak ayağın üst kısmından pompa yardımıyla uzaklaştırılır (Şekil 2.27). Bu konuda Rooney (1977) dışında çalışma yapan pek fazla araştırmacı bulunmamaktadır. Rooney yaptığı çalışmada, ayak etrafına beş satır altı sütundan oluşan toplam otuz delik açmıştır. 0.1 l/s gibi düşük pompa kapasitesinde oyulma %50 civarında azalırken, 0.4 l/s gibi bir pompalama neticesinde oyulma mekanizması ortadan kalkmıştır.

Bu konuyla alakalı daha fazla araştırma literatürde bulunmamaktadır. Ulaşılan en net sonuç ise, giriş potlarından çekilen debinin düşey akım etkisi azaltmasından dolayı bu tekniğin oyulmayı azalttığıdır. Araştırmacıların yaptıkları yorum ise, tekniğin ne kadar işe yaradığını görebilmek için daha fazla deneysel çalışmanın yapılması gerektiği doğrultusundadır (Lauchlan, 1999).



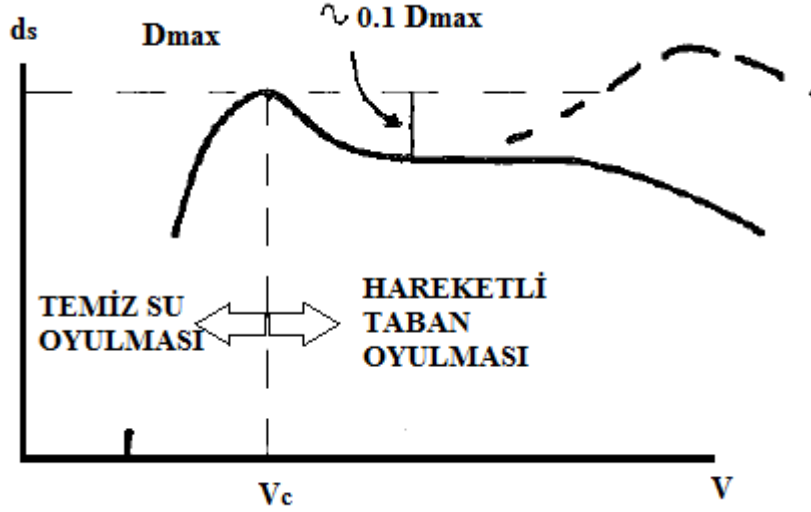
Şekil 2.27 : Oyulma azaltmaya yarayan emme sistemi (Rooney, 1997)

2.6 Yapılan Deneysel Çalışmalar ve Çıkarılan Ampirik Formüller

Köprü ayaklarında meydana gelen yerel oyulmalar, su akış hızı V değerlerinin, sediment hareketi için gerekli eşik değer olan V_c 'nin yaklaşık yarısını aşmasıyla birlikte başlar. Akış hızının eşik değeri aştığı durumlarda köprü ayağı etrafında oyulmalar meydana gelirken, membadan taşınan yatak malzemeleri de bu oyulma çukurlarını doldurabilir. Bu durum hareketli taban oyulması diye adlandırılır (Raudkivi, 1986). Akış hızının eşik değerin altında olduğu durumlarda ise membadan oyulma çukuruna sediment taşınımı gerçekleşmez. Bu duruma temiz su oyulması denir. Uyumaz, 1988 de dolu savaklardaki oyulmalar hakkında yaptığı çalışmalarda temiz su oyulmasını dikkate almıştır. En büyük temiz su oyulması değeri, ortalama hareketli taban oyulması değerinden yaklaşık olarak %10 daha fazladır (Şekil 2.28).

Köprü orta ayakları için akış modeline bakıldığında, köprü ayak alt kotundan ayrılan akış hızı, ortalama akarsu akış hızının yaklaşık %40'ı kadardır. Üniform yatak malzemelerinde eşik değere yakın durumlarda denge oyulması derinliği ayak çapının yaklaşık 2.3 katına eşit olur.

Köprü ayağının su yüzey kotunda ise at nalı çevrintisi ile tam ters yönde bir dalga yayı oluşur. Bu dalga yayı sığ akışlarda, köprü ayağına doğru oyulmayı tetikleyen akış sisteminin gücünü kırması sebebiyle önemlidir.



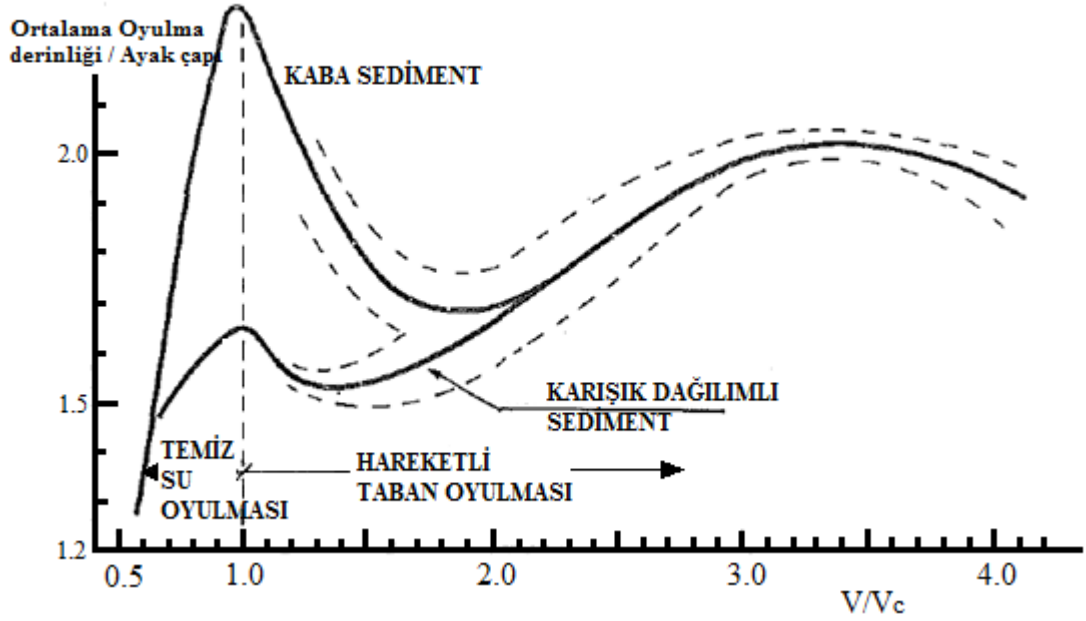
Şekil 2.28: Oyulma Derinliğinin hız değerlerine göre değişimi (Raudkivi, 1986; Shen ve diğ., 1969)

Köprü ayaklarında meydana gelen oyulmanın en önemli sebeplerinden biri de akışın ayağa çarpmasından sonra ayak sömeline doğru hareket etmesidir. Bu akış at-nalı çevrintisi ile birleşince oyulma çukuru içerisinde etkili bir oyulma mekanizması oluşur. Laboratuvar koşullarında yapılan çalışmalar temiz su oyulmasında denge durumuna yaklaşık 50 saatlik bir sürede geldiğini göstermiştir (Raudkivi, 1986).

Silindirik bir köprü ayağı etrafında, üniform sediment ve nehir akımı durumlarında gerçekleşebilecek oyulmanın genel özellikleri Şekil 2.29’da gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere hareketli taban oyulmasının başlamasıyla birlikte az da olsa oyulma derinliğinde önce bir azalma görülür ama kısa bir süre sonra oyulma derinliği tekrar artmaya başlar. Oyulma derinliğindeki dalgalanmalar, akış derinliğinin bir fonksiyonu olan yatak özellikleri boyutunun bir fonksiyonudur; köprü ayağı boyutlarının bir fonksiyonu değildir. Yerel oyulma derinliğinin ilk düşüşü, sediment taşınım oranındaki ani artışın da bir göstergesidir. Yerel oyulma derinliğindeki ikinci artış ise oyulma hızının sediment taşınım hızından daha fazla olduğunu gösterir.

Yerel oyulma değerleri, genel yatak oyulması ve daralma oyulmalarına ek olarak oluşur. Bazı durumlarda ise yatak genel itibariyle düz olmasına karşın yer yer oluşan kum tepecikleri, kendilerine temas eden akımın davranışını değiştirir. Akım bu kum

tepeciğine temas ederek kıvrımlı bir hal alır. Bu durum ise yatak seviyesinde çeşitliliğe yol açar. Taşkın zamanlarında ise yatak seviyesinde meydana gelmiş olan yerel çeşitlilikler daha çok artış gösterir, çünkü taşkınlar akarsu yatağında genel bir erozyona sebep olur. Bahsedilen bu yerel oyulmalar bazen çok önemli hale gelebilir (Raudkivi, 1986).



Şekil 2.29: Oyulma derinliğinin üniform yatak malzemeli bir silindirik köprü ayağındaki hız değişimi ile değişimi (Raudkivi, 1986)

2.7 Köprü Orta Ayaklarında Meydana Gelen Yerel Oyulmalara Etki Eden Değişkenler

Oyulma sürecinin karmaşık bir yapıya sahip olmasının asıl sebebi, sürece etki eden birçok değişkenin bulunmasıdır. Köprü ayağında meydana gelen yerel oyulmayı d_o ile gösterirsek ona bağlı parametreleri şu şekilde tanımlayabiliriz:

$$d_o = f [\text{Akım karakteristikleri (V, y), Yatak Malzemesi (d}_{50}, \sigma_g, \rho_s, V_c), \quad (2.1)$$

$$\text{Zaman (t, t}_d), \text{ Köprü Ayak Geometrisi (b, Sh, Al)]$$

Burada akım karakterlerinde; ν kinematik viskoziteyi, V ortalama akım hızını, y akım derinliğini ifade eder. Yatak malzemesi özelliklerine bakılacak olursa; d_{50} parçacık boyutlarının dağılım ortalamasını, σ_g parçacık dağılımının standart sapmasını, ρ_s sediment yoğunluğunu ve V_c ise kritik hızı ifade eder. Yine zaman parametresine bakıldığında t zamanı ifade ederken t_d ; denge oyulması için geçen

zamana göstermektedir. Son olarak köprü ayak geometrisi incelendiğinde, b köprü ayağının genişliği, Sh (Shape) ayak şeklini tanımlayan bir parametre ve Al (Alignment) ise köprü ayaklarının birbirlerine göre dizilimini ifade eden bir parametredir (Melville & Chiew, 1999).

D çaplı bir köprü ayağında denge oyulmasının hangi değişkenlere bağlı olduklarını şu şekilde ifade edebiliriz:

$$\frac{d_0}{D} = f\left(\frac{V}{V_c}, \frac{y}{D}, \frac{d_{50}}{D}, \frac{t}{t_d}\right) \quad (2.2)$$

Bu denklemin sağ tarafında baştaki üç parametre tanımlanacak olursa sırasıyla ilki akış yoğunluğu, ikincisi akış sıklığı üçüncüsü ise sediment iriliği olarak isimlendirilir (Melville & Chiew, 1999).

2.7.1 Zaman ölçeği

Köprü ayaklarında meydana gelen oyulma süreci zamana bağlı olarak gelişir. Zamanın oyulmaya etkisi, sahada meydana gelen oyulma miktarı ile laboratuvar şartlarında gözlemlenen değerler birbirleriyle uyuşmadıklarında önemli bir etken haline gelir (Melville & Chiew, 1999).

Oyulma mekanizması şu şekilde tanımlanabilir: at-nalı çevrintilerinin oluşturduğu hareketler köprü ayağına yakın yerlerdeki yatak malzemesinin yer değiştirmesine sebep olur. Eğer söz konusu bölgeden ayrılan yatak malzemesi miktarı, bu bölgeye taşınan madde miktarından fazla ise burada oyulma çukurları meydana gelir (Richardson & Davis, 2001).

Yanmaz ve Altınbilek (1991) yaptıkları çalışmada, zamana bağlı olarak silindirik ve kare köprü ayaklarında meydana gelen yerel temiz su oyulmalarını incelemişlerdir. Yapılan çalışmada elde edilen bir diferansiyel denklem ile zamana karşı oyulma derinliği hesaplanmaya çalışılmıştır. Çalışmada görülen bir başka durum oyulma çukuru şeklinin zamana bağlı olarak hemen hemen hiç değişmemesidir. Oyulma çukuru şekli zamanla değişmezken, oyulma oluşum hızı zamanla azalmaktadır. Yanmaz ve Altınbilek (1991), aynı zamanda köprü temel tasarımının elde edilen denge oyulması değerine göre yapılmasının gerekli olduğunu vurgulamışlardır.

Melville ve Chiew (1999) ise yaptıkları çalışmada, üniform dağılımlı kum nehir yatağında bulunan silindirik köprü ayaklarında meydana gelebilecek temiz su oyulmasının değişimini incelemişlerdir. Temiz su oyulması şartlarında oyulma

derinliğinin zamanla asimptotik olarak azaldığını ve sonunda denge oyulması durumunun oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Denge oyulması için geçen süre hesabı için çıkardıkları bağıntı ise şu şekildedir:

$$\begin{aligned} t_d (\text{gün}) &= 48.26 \frac{D}{V} \left(\frac{V}{V_c} - 0.4 \right) \frac{y}{D} > 6 \\ t_d (\text{gün}) &= 30.89 \frac{D}{V} \left(\frac{V}{V_c} - 0.4 \right) \left(\frac{y}{D} \right)^{0.25} \frac{y}{D} \leq 6 \end{aligned} \quad (2.3)$$

2.7.2 Yatak malzemesi derecelenmesi

Araştırmacılar yatak malzemesi derecelenmesinin temiz su oyulmasında denge derinliğine ciddi etkilerinin olduğunu görmüşlerdir. Araştırmacılar en büyük yerel oyulma derinliğinin, sediment derecelenmesinin geometrik standart sapması ($\sigma_g = (d_{84}/d_{16})^{0.5}$) ile değişimini araştırmışlardır. Araştırmacılar bir katsayı olarak sediment derecelenmesinin bir fonksiyonunu, K_σ olarak tanımlamışlardır (Raudkivi & Ettema, 1977).

2.7.3 Şekil faktörü

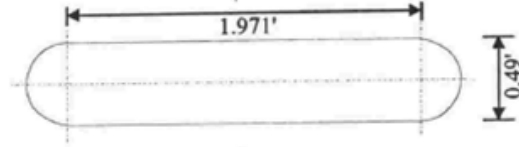
Köprü ayağı şeklinin, oyulma oluşumunda çok önemli parametrelerden biri olduğu araştırmacıların yaptıkları deneyler sonucu görülmüştür. Chabert ve Engeldinger (1956), yaptıkları çalışmada yapılan farklı şekillerdeki köprü ayakları neticesinde oluşan oyulma derinliğini incelemişlerdir (Şekil 2.31). Buna göre temelde iki tip köprü ayağı çeşidi vardır diyebiliriz. Bunlar: keskin uçlu ayaklar ve kör uçlu ayaklardır. Kör uçlu denilen yani daha yumuşak geçişlere sahip olan köprü ayağı tipinde, memba tarafında güçlü bir at-nalı çevrintisi oluşumu görülmüştür. Bunun doğal sonucu olarak en büyük oyulma derinliği de yine köprü ayağının memba kısmında gözlemlenmiştir. Keskin uçlu ayaklar ise akımı doğal olarak ikiye böldüğü için at-nalı çevrintisinin etkilerini azaltır. Fakat akımın ayak üzerinde yapabileceği etki açılarının şekil faktörü kullanılarak değiştirilmesi, aerodinamik yapıda yapılan ayaklarda oyulma çukuru derinliğini artırıcı etkiler de meydana getirebilir (Lauchlan, 1999).

Laursen ve Toch (1956) ise yaptıkları çalışmada köprü ayağı burun kısmının şekline göre değişen şekil katsayıları belirlemiştir (Çizelge 1). Araştırmacılar aerodinamik şekilde tasarlanan köprü ayaklarının, oyulma miktarını azalttığını görmüşlerdir. Bu durumda ayaklar mutlaka akımla aynı doğrultuda hizalanmış olmalıdır.

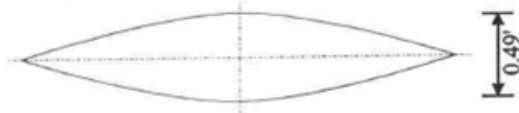
1. Silindirik Ayak



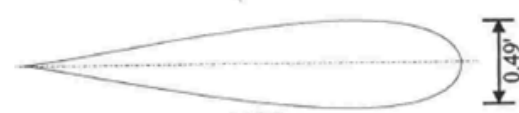
2. Yuvarlak burunlu Ayak



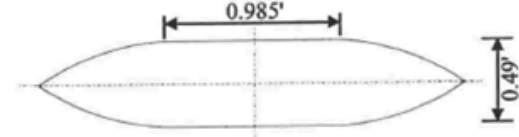
3. Merceksi Ayak



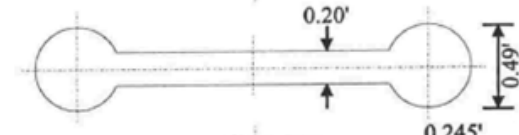
4. Jukowski Ayağı



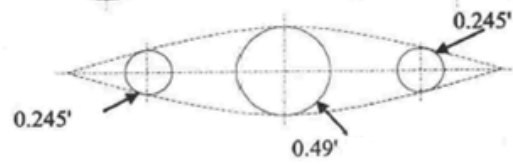
5. Ogival Ayak



6. İki parça top Ayak



7. Merceksi Ayak örtüsünde üçlü Ayak



Şekil 2.30: Farklı şekillere sahip köprü ayak çeşitleri (Chabert ve diğ, 1956)

Çizelge 1: Ayak burun yapısına göre şekil katsayıları (Laursen & Toch, 1956)

Ayak formu	Uzunluk Genişlik Oranı	Şekil Katsayısı, K_s
Dikdörtgen	N/A	1.00
Yarı dairesel	N/A	0.90
Eliptik	2:1	0.80
	3:1	0.75
Mercek şeklinde (Lentikular)	2:1	0.80
	3:1	0.70

3. BULANIK MANTIK ÇIKARIM SİSTEMİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI MODELLEMELERİ

3.1 Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (BMÇS)

İnsanoğlu düşüncelerini ifade ederken kimi zaman sayısal ifadeler kullanırken kimi zaman da sözel bazı ifadeler kullanır. Sözel ifadelerde kastedilenin ne olduğu anlaşılmasına rağmen, kişiden kişiye değişebilen bir ifade cetveli (skalası) bulunur. Bu şekilde karşılaşılan ve kesin olmayan belirsiz bilgi veya yargılar içeren her türlü kaynak bulanık olarak ifade edilir (Şen, 2009).

Matematiksel hesaplamaların sadece belirgin olarak adlandırılan yöntemlerle çözümlenemeyeceği 17. yüzyılda ihtimallerin ve şans oyunlarının düşünülmesi ile ortaya çıkmış olsa da, günümüze yaklaşıldıkça da bilimsel yöntemlerin daha belirgin olandan ziyade belirsiz olana doğru gittiği görülmektedir. Geçmişte çoğu toplumda belirsizlik yöntemlerinin doğru sonuç vermediği gibi bir kanı oluşmuş olsa da zamanla belirsizlik yöntemlerinin daha genel sonuçlar verdiği ve bu sonuçlara daha çok güvenilebileceği ortaya çıkmıştır (Şen, 2009).

20. yüzyıla bakıldığında da belirgin olan yöntemlerden belirsiz yöntemlere doğru bir gidiş tablosunu görmek yine mümkündür. 20. yüzyılın başlarında da, fizikçilerin fizikte artık bulunacak yeni bir yöntem veya uygulamanın kalmadığı yönündeki fikirleri oldukça güçlüydü. Tâ ki parçacık altı fiziği fikrinin (kuantum fiziği) ortaya atılıp parçacık altında gözlemlenen fiziksel olguların Newton fiziği diye adlandırılan klasik fizikten farklı ilkelere sahip olduğu görülünceye kadar bu algı devam etti. Heisenberg isimli bir fizikçinin 1927 yılında evrende insan var oldukça konum ve hız ölçümlerinin hatasız olamayacağını ileri sürmesi, zaman geçtikçe belirginlikten belirsizliğe geçişin sonlanmadığını son yüzyılda gösteren bir olaydır.

Günümüze gelindiğinde son 30 yıla kadar kullanılan klasik mantık (Aristo mantığı), bahsedildiği üzere belirsizliklerin artması sonucu yerini, temelleri 1960'lı yıllara

dayanan ve Azerbaycan'lı bilim adamı L tf  Askerzade tarafından ilk olarak kullanılan bulanık mantığa bırakmıştır.

Bu bahsedilen belirsizlik durumlarının incelenebilmesi için birçok teknik, yöntem, yaklaşım ve algoritmalar geliştirilmiştir. Belirgin matematiksel ifadeler yerine bu durumları belirsizleştirebilecek kuramlar vardır (şen, 2009).

Bir olgudaki belirsizliğin var olması, o olguda netlik ve kesinlikten çok bulanıklığın var olduğunu gösterir. Bulanıklık insan hayatının pek çok kısmında bulunmaktadır. Belirli bir yerde başlayan ve belirli (veya tahmini) bir yerde biteceği düşünülen işlemler kümesi, algoritma olarak adlandırılır. Algoritmalarda da çok kesin durumlar olabileceği gibi, belirsiz durumlar da olabilir. Bulanık algoritmaları şu şekilde bazı örneklerle açıklayabiliriz:

- Eğer a değeri 5'e yaklaşıyorsa b değerini yaklaşık 10 alınız.
- c değeri büyükse, d değerini yaklaşık aralıklarla artırınız.
- e değeri büyükse f değerini artırmayınız. e değeri küçükse f değerini eşit aralıklarla azaltınız.

Yukarıdaki  rnekler iki değişken arasındaki algoritma hakkında bilgiler barındırmaktadır. Dikkat edildiğinde bu algoritmaların net olmadığı aksine bulanık birer algoritma olduğu görülmektedir (Zadeh, 1968).

Bu şekilde tanımlanan bulanık algoritmalar aslında günlük yaşam içerisinde çok fazla yer almaktadır. Yemek yaparken, televizyon tamir ederken veya araba park ederken başlangıcı ve sonu yaklaşık olarak bilinen bir g zerg h kesin olmayan bir şekilde ifade edilmektedir (Zadeh, 1968).

Bulanık küme tabiri daha önce de belirtildiği üzere ilk olarak Zadeh (1965) tarafından ortaya atılmıştır. Burada bulanık küme; üyelik dereceleri değişen nesnelerden oluşan topluluk olarak isimlendirilmiştir. Bu karakteristik üyelik fonksiyonu ele alınan nesnenin, söz konusu kümeye olan üyeliğinin derecesini 0 ile 1 değerleri arasında değişen şekilde ifade eder.

Örneğin “uzun boylu erkekler” sınıfı veya “lezzetli yemekler” sınıfı şeklinde ifadeler kullanıldığında bu tip sınıflandırmalar matematiksel olarak kesin ifade edilemeyen topluluklar oluşturur. Fakat bu tarz belirsiz durumlar insan hayatında önemli rol alabilir (Zadeh, 1965). Dolayısıyla özellikle belirsizliğin yüksek olduğu bu tarz

durumlarda, üyelik derecelerini sadece iki değer (0 ve 1) olarak niteleyen klasik mantığın yerine, bulanık mantığın kullanılması daha uygundur.

Bulanık küme temel felsefesine inilecek olunursa, örneğin “uzun boylu insanlar” ifadesine “ne kadar uzun?” sorusunu sorduğumuzda kesin sayısal bir cevap alınamamaktadır. Çünkü ifade sayısal bir değer içermeyip sözel bir anlam içermektedir. İşte bu ve benzer kümeler için değerlendirmede Aristo mantığının yaklaşımına göre bir insan ya uzundur yahut değildir. Dolayısıyla o insanın “boy uzunluğu” kümesine aitliğini ifade eden değer 0 veya 1 ile ifade edilir. Buna karşın bulanık mantık yaklaşımında Zadeh, uzun olmayı derecelendirmiştir. Eğer dünyadaki en uzun insanın, “boy uzunluğu” kümesine aitliği $[0\ 1]$ değerleri içerisinde ifade edilecek olursa karşımıza çıkan üyelik derecesi 1 olacaktır. Bu kişiden daha kısa olan kişilerin ise “uzun boyluluk” kümesine aitlikleri 1 ile 0 değerleri arasında değişir. Sonuç olarak; dünyadaki her insan uzun boyluluk kümesine girmektedir ve her insanın boy açısından bir uzunluk aitlik dereceleri bulunur (Şen, 2009).

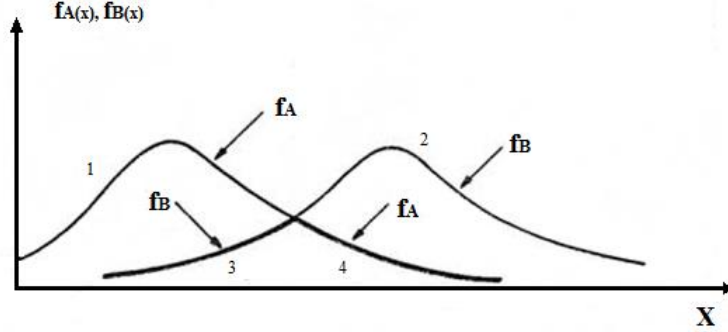
Örneğin A kümesi 1’den büyük sayılara ait bulanık sayılar kümesi olsun. Bu kümeye ait bazı elemanlar ve bu elemanların A kümesine olan aitlik derecesi aşağıdaki gibi olabilir: $f_A(0)=0$; $f_A(1)=0$; $f_A(5)=0.02$; $f_A(65)=0.20$; $f_A(120)=0.45$; $f_A(800)=0.95$ (Zadeh, 1965).

Gözardı edilmemesi gereken bir konu, bulanık kümelerdeki üyelik fonksiyonları, olasılık fonksiyonuna benzer gibi gözükse de ikisi arasında temel felsefi farklar vardır. Üyelik fonksiyonu netice olarak olasılık fonksiyonundan çok daha nettir. Çünkü bulanık kümelerde kuralların kombinasyonu olasılıksal değil mantıksal olarak kurulur. Bunun yanı sıra doğada, bulanık kümelerde istatistiksel olma diye bir eğilim yoktur (Zadeh, 1965).

Eğer A ve B gibi iki bulanık küme birbirine eşit ise, $A=B$ şeklinde yazılabilmeleri için tüm x’ler için ancak ve ancak $f_A(x)=f_B(x)$ olmalıdır. A gibi bir bulanık kümenin tümleyeni de $(f_A)'$ $1-f_A$ şeklindedir.

Şekil 3.1’den anlaşılacağı üzere normal kümeleme sistemindeki aitlik ifadesiyle bulanık kümelerde aitlik aynı şey değildir. Burada herhangi bir x noktasının ait olduğu küme hakkında net bir şey söylemek pek mantıklı olmayacaktır. Örneğin herhangi iki “ α ” ve “ β ” sayısı seçelim. $0<\alpha<1$, $0<\beta<1$ ve $\alpha>\beta$ olsun. Eğer $f_A(x)>>\alpha$ ise “x elemanı A kümesine aittir” denilebilir. Eğer $f_A(x)<<\beta$ ise yine “x elemanı A

kümesine ait değildir” denilebilir. Üçüncü olarak eğer $\beta < f_A(x) < \alpha$ ise “x elemanın A kümesine aitliği belirsizdir” de denilebilir. Görüldüğü üzere bulanık kümelerdeki aitlik kavramı normal kümelere benzemez (Zadeh, 1965).



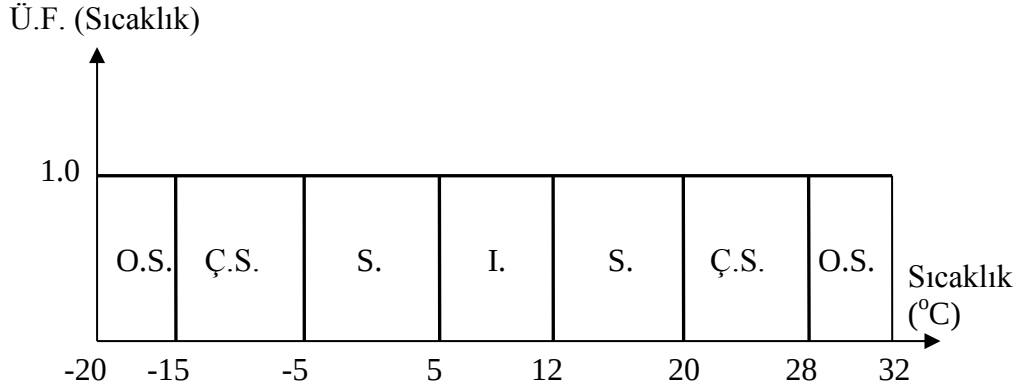
Şekil 3.1: İki bulanık kümede en büyükleme ve en küçüklemesinin gösterimi (Zadeh, 1965’ten uyarlanmıştır)

3.1.1 Üyelik fonksiyonları

Bulanık mantığın önemli alt başlıklarından biri de üyelik fonksiyonlarıdır. Üyelik fonksiyonları, bir elemanın söz konusu kümeye olan aitlik derecesini gösterir. Bu noktada klasik mantık ve bulanık mantık üyelik fonksiyonlarının farkının belirtilmesi gerekmektedir. Örneğin Sivas ilinin yıllık sıcaklık değişimi ele alınacak olursa, -20°C ile $+32^{\circ}\text{C}$ arasında olduğunu kabul edelim. Bu sıcaklık değerlerini de ‘Oldukça soğuk’, ‘Çok soğuk’, ‘Soğuk’, ‘Ilık’, ‘Sıcak’, ‘Çok sıcak’, ‘Oldukça sıcak’ şeklinde 7 alt kümeye ayıralım. Yıllık sıcaklık değişim farklarının bu şekilde 7 alt kümeye ayrılmış olması bulanık kümelemenin tam olarak yapılmış olduğu anlamına gelmez. Mesela, oldukça soğukun -20°C ile -15°C , çok soğukun -15°C ile -5°C , soğukun -5°C ile 5°C , ılığın 5°C ile 12°C , sıcakın 12°C ile 20°C , çok sıcakın 20°C ile 28°C ve oldukça sıcakın 28°C ile 32°C arasında olduğunu düşünelim. Dikkat edilirse her bir alt aralıktan bir diğerine geçiş çok keskindir ve biri biter bitmez diğeri başlamaktadır. Bu aralık sınırlarına göre sıcaklık değerlerini sınıflayacak olursak $4,98^{\circ}\text{C}$ ’nin ‘soğuk’ $5,02^{\circ}\text{C}$ ’nin ise ‘sıcak’ olduğuna karar verilir. Buradan hareketle her alt aralığa düşen sıcaklık değerinin üyelik derecesinin sadece o alt aralıkta 1’e, diğer aralıklarda ise 0’a eşit olduğu görülmektedir (Şekil 3.2).

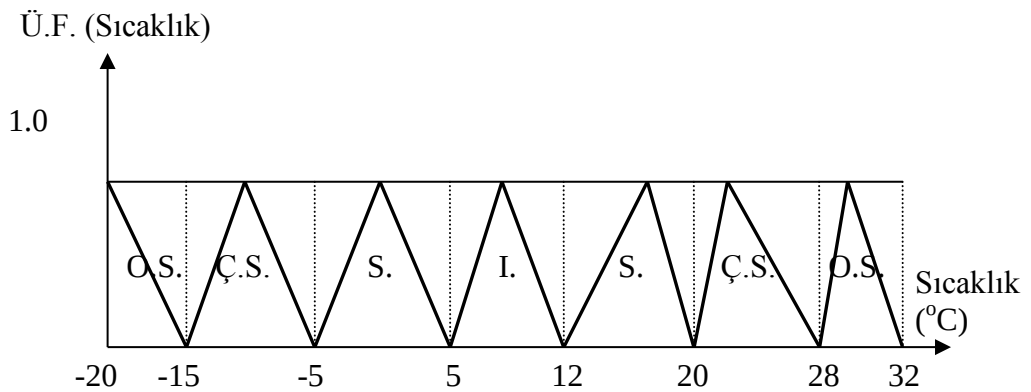
Şekil 30’da ayrıca görüldüğü üzere dikdörtgen kümelemede herhangi bir ögenin aitlik bakımında bir ayrıcalığı bulunmamaktadır. Her alt kümeye ait bir öge, bitişindeki diğer öge ile aynı derece o kümeye aittir. Bu sistemi daha çok

iyileştirmeye çalışıp, alt kümelerdeki her bir ögenin bir diğerinden daha ayrıcalıklı veya ayrıcalıksız olduğunu gösteren üçgen üyelik fonksiyonlarına ulaşılabilir.



Şekil 3.2: Bitişik dikdörtgen kümeleme

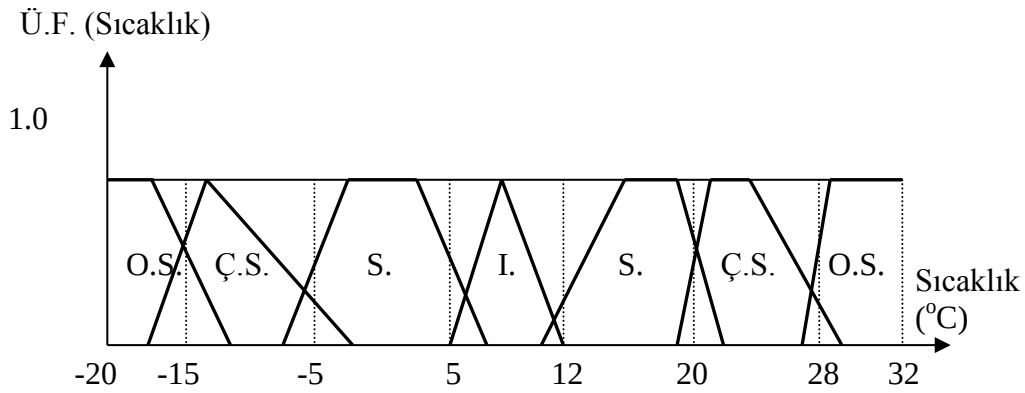
Üçgen kümeleme sistemine baktığımızda ise yine bazı sorunlar göze çarpmaktadır. Yapılan bu üçgen kümelemesinin alt kümeleri net olarak yansıtmadığı görülmektedir. Bir üçgenden diğerine geçişte, sınır bölgesinde, sıcaklık değerleri “0” üyelik derecelerine sahiptir (Şekil 3.3). Bunun anlamı bu değerlerin ait olduğu bir küme bulunmamaktadır. Tüm bunlarla birlikte, Şekil 3.3’te görülen üçgen kümeleme sistemi de yine Aristo mantığına (klasik mantık) göre tasarlanmıştır. Çünkü geçişler keskindir, ve bir alt kümede bulunan herhangi bir eleman sadece o kümeye aittir.



Şekil 3.3: Bitişik üçgen kümeleme

Örneğin ‘sıcak’ sınırlarının sadece +12°C ve +20°C arasında olacağını düşünmek ve ‘ılık’ kümesini bu şekilde tek bir aralığa keyfi olarak hapsetmek mümkün değildir. Dolayısıyla bu sistemi de daha iyileştirerek gerçeğe daha çok yakınsama ihtiyacı hissedilmektedir. Alt kümelerin birbiri ile örtüşmeli bir geçiş sağlaması akla en yatkın olan kümeleme biçimidir (Şen, 2009).

Şekil 3.4’teki grafiğe bakıldığında ilk ve son alt aralıktaki sıcaklık durumlarının ‘çok çok soğuk’ ve ‘çok çok sıcak’ alt kümelerine gittiği ve bu alt kümelere giderken de başka alt aralıkların bulunmadığı varsayılmıştır. Bu durumda üyelik derecelerinin 1’e eşit olması mantıklı durmaktadır (Şen, 2009).



Şekil 3.4: Örtüşmeli üçgen gösterimi

Yukarıda görülen her bir alt kümede 0 ile 1 arasındaki değişimin her bir öge için değerine üyelik derecesi, bu üyelik derecelerinin ise söz konusu alt küme içerisinde değişimini ifade eden fonksiyona ise üyelik fonksiyonu adı verilmiştir.

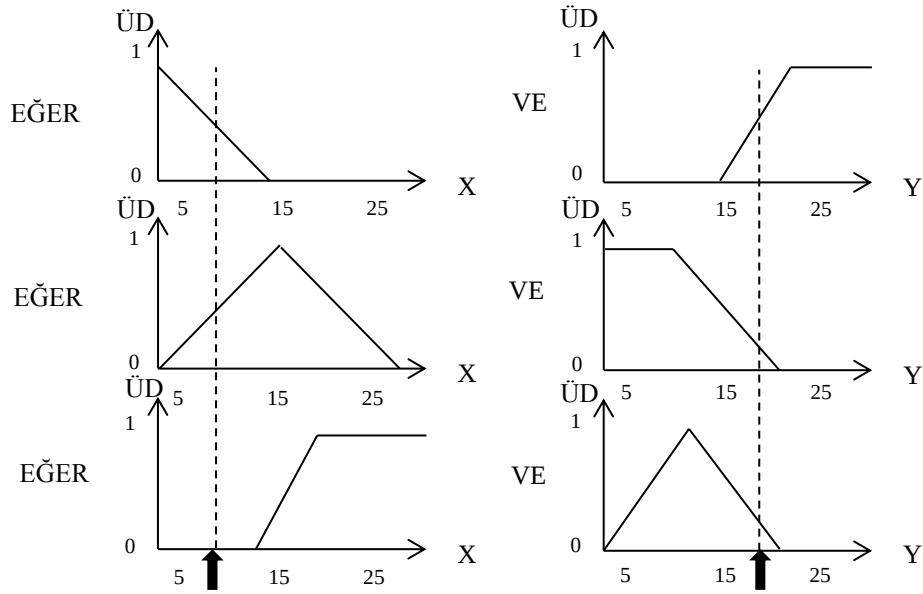
3.1.2 Kural tabanı oluşturulması

Bulanık kümelemenin daha önceden anlatıldığı gibi yapılmasının ardından sıra kural tabanı yazılmasındadır. Kural tabanı oluşturulurken en çok dikkat edilen hususlardan biri uzman görüşe yer verilmesidir. Çünkü hiç bilinmeyen veya az da olsa bilinen bir olayda oluşturulacak kural tabanında en iyi yorumlar ancak o işin uzmanları tarafından yapılabilir. Tabi olarak bir olay hakkında doğadan elde edilen veriler de çok iyi fikir verir. Çünkü en iyi uzmanlardan biri de veridir.

Gözlenen veya ölçülen veriler arasında şöyle bir ilişki olduğu varsayılabilir. Bir veri diğer bir verinin ya sebebi veya sonucudur. Bu şekilde olmayabilir fakat uzmanlar

tarafından bu iki değerin birbiri ile ilişkili olup olmadığına karar verilerek bu ilişki incelenebilir.

Kural tabanının temelini oluşturan iki kelime “EĞER”ve “İSE” dir. Örnek olarak “eğer hava soğuk ise yağmur yağar” cümlesinin hükmü eğer-ise kelimeleri ile oluşturulmuştur. Ancak tam olarak bulanıklaştırılmamıştır. Eğer burada “eğer hava çok soğuk ise çok yağmur yağar” ve “eğer hava çok soğuk ise orta yağmur yağar” gibi ifadelerin eklenmesiyle bulanıklık eklenir.



Şekil 3.5: Mekanik kural tabanı ve üyelik fonksiyonları

Bir fiziksel olaya ait “X” ve “Y” girdisi arasında Şekil 3.5’te olduğu gibi bir ilişki bulunduğu varsayılırsa bu girdilerin birbirine “ve” bağlacı ile bağlanmalarını sonucu kural tabanı oluşturulur. Buradaki şekillere yukarıdan aşağı doğru sırasıyla “K1”, “K2” ve “K3” isimleri verilirse X girdisinin yaklaşık 6 değeri için sadece K1 ve K2 tetiklenir (çalışır). Aynı şekilde Y girdisinin yaklaşık 25 değeri için ise sadece K1 tetiklenir. Tetikleme mekanizması Şekil 3.5’te ok işaretleriyle gösterilmiştir. Her bir girdinin tetiklenmesini üyelik derecesine göre de çıktı şekil alır. Bu bağlamda veriler ışığında kurulan modeller, kural tabanı ve tetikleme prensipleri kullanılarak tahmin yapılmasını sağlar.

3.2 Yapay Sinir Ağları (YSA)

YSA fikrinin ortaya atılışı son yüzyılda meydana gelmiş olmasına rağmen detaylı olarak kullanımı ise bilgisayar sistemlerinin gelişmesine bağlı olarak son 25-30 yılda ivmelenmiştir. Matematiksel analizler, yeni modellerin kurulmasıyla birçok problemi çözer hale gelmiş olsa dahi geleceğe dair araştırmalarda ve tahminlerde yeterli olmamıştır. Sinir hücreleri; yapısı, iletişim şekli, bağlantıları ve beynin temel birimi olması nedeniyle, modern biyoloji açısından çok önemli rol oynamaktadır. Hatta 1901 ile 1991 yılları arasında verilen nobel ödüllerinin %10'u, beyni ve beynin sinirsel iletiminin yapısını anlamaya çalışan fizyolog ve doktorlara verilmiştir. Son 50 yılda sinir sistemi hakkında öğrenilenler, bu süreçten önce öğrenilenlerden daha fazladır denirse bu yanlış bir yaklaşım olmaz (Rojas, 1996).

Canlı organizmaların sinirsel iletimini örnek alarak ortaya atılan ve bu fikirlerin matematiksel olarak ifade edilebildiği sistemlerden biri de YSA'dır. İnsan beyni araştırmacılar tarafından incelenirken ortaya çıkan şaşırtıcı sonuçlardan biri de; sinirsel iletimin yapıtaş olarak bilinen sinirler bir işleme ortalama 10^{-3} saniye yani 1 milisaniye mertebesinde cevap verirken, günümüz teknolojisinin ulaştığı noktada elektronik işlem kapasitesi 10^{-9} saniye yani yaklaşık 1 nanosaniye mertebesine inmiştir. Görüldüğü üzere teknolojinin geldiği noktanın işlem yapma kapasitesi, beynin işlem yapma kapasitesinden çok daha fazla olmasına rağmen şekil tanıma ve eksik bilgileri tamamlayarak işlem yapma konusunda beyin kapasitesinin çok gerisinde kalmaktadır. Bunun sebebi yine araştırmacılar tarafından sorgulandığında ortaya şu sonuç çıkmıştır. Beyin, gelen bilgileri paralel şekilde işlemektedir (Şen, 2004). Sinir sisteminin bu şekilde modellenerek, fiziksel olaylar için de bu modellerin kullanılması ve kullanılan bu modeller sayesinde bilinmeyenler arasında kurulan ilişkilerin gerçeğe yakın sonuçlar vermesi YSA modellerini önemli hale getirmektedir.

YSA, karmaşık yapıda sayılabilecek olgular arasındaki ilişkiyi bazı tabakalara ayırarak inceleyen sistemdir. Burada değişkenler arasında farklı tabakalar vardır ve her bir tabakada bulunan sinir hücrelerinin de olayın yapısına göre belirli ağırlıkları vardır. Araştırmacılar YSA çıkarım sisteminde modelleme kriteri olarak "hataların geriye yayılması" ilkesini önermişlerdir (Lippmann, 1988).

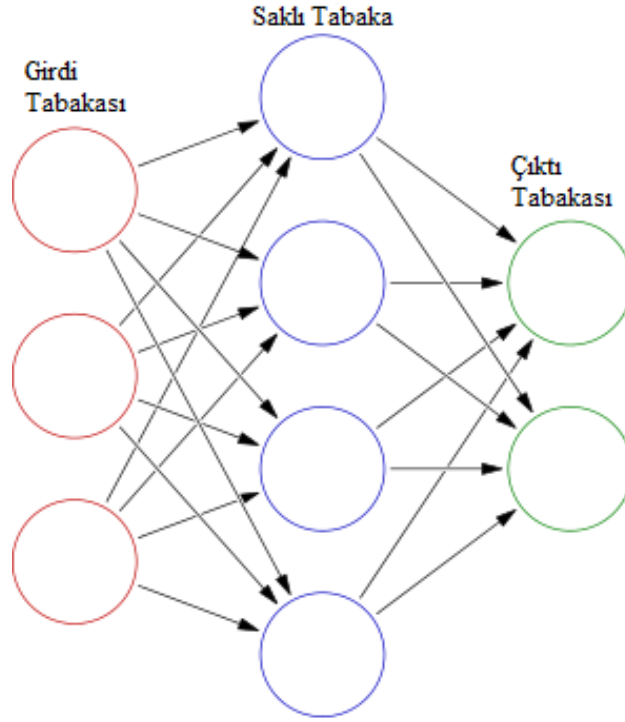
YSA mimarisinde genel itibariyle bir tane saklı tabaka olmak üzere bir girdi ve bir de çıktı tabakasından meydana gelen üç tabakalı bir sistem bulunur. Giriş ve çıkış tabakalarının arasında bulunan saklı tabakada bir katsayılar matrisi bulunur. Saklı tabakada bulunan katsayılar matrisi bu haliyle YSA'yı doğrusal işlem yapmaktan kurtaramaz. Bu konuda araştırmacılar uzun bir süre çalışmalar yapmış fakat yıllar boyu sadece doğrusal işlemler yapma saplantısından kurtulamadıkları için belirli bir zaman YSA'da gelişmeler kaydedilememiştir (Şen, 2004).

Dolayısıyla burada saklı tabakanın YSA'ya katması gereken özellikler gelmektedir. Temel olarak saklı tabakanın iki görevi olduğu söylenilebilir. İlk olarak girdi tabakasından bulunan hücrelerden gelen farklı ağırlıklardaki bilgilerin toplanması yani bir toplayıcı işlemcisi görevidir. İkincisi ise bu toplanan bilgilerin eğriselleştirilmesi veya doğrusallaştırılması işlemcisidir ki buna da aktivasyon fonksiyonu denir. Bu işlemcinin görevi ise toplayıcı işlemcisinden edindiği bilgilerin farklı matematiksel fonksiyonlarla işlenerek çıkış tabakasına iletilmesidir. YSA mimarisinde sona gelindiğinde ise çıkış tabakasından bulunan her bir çıktı hücresi, kendisine gelen işaretleri algılayıp toplayacak bir toplayıcı işlemcisi bulunmalıdır. Bu durumda bir YSA sisteminde girdi tabakasından hiçbir işlemci bulunmazken, saklı tabakada bir toplayıcı ve bir de matematiksel işlemci bulunur. Çıkış tabakasından ise sadece doğrusal bir toplayıcı işlemcisi bulunur. Doğrusal işlemciler basit aritmetik toplama işlemini yapan işlemciler olması nedeniyle basit birimlerdir. Önemli olan eğriselleştirme işlemcisinin belirlenmesi meselesidir. Bu eğriselleştirme işlemcisi (aktivasyon fonksiyonu) her bir saklı tabaka hücresine ayrı ayrı yerleştirilebileceği gibi işlemlerin sadeleştirilmesi açısından her bir saklı tabaka hücresine aynı işlemci de yerleştirilebilir (Şen, 2004).

Şekil 3.6'da klasik bir YSA mimarisi görülmektedir. Çoğunlukla kullanılan bu mimaride girdilerin bulunduğu ilk tabaka, birtakım eğriselleştirici veya doğrusallaştırıcı işlemcilerin bulunduğu saklı tabaka ve en son çıktıların oluşturulduğu çıktı tabakası bulunmaktadır. Bu tabakalar YSA'nın temelini oluştururken ardışık tabakaların hücre bağlantıları ileri beslemeli, geri beslemeli, simetrik veya antisimetrik olabilir. Bunların tanımları şu şekilde yapılabilir:

1) İleri beslemeli ağlar: Mimaride bulunan bütün bağlantılar bilgi akışını girişten çıkışa doğru sürdürürler.

- 2) Geri beslemeli ağırlar: Mimaride bulunan bütün bağlantılar bilgi akışını çıkıştan girişe doğru sürdürürler.
- 3) Simetrik bağlantılar: Bir hücreden diğerine ve daha sonra yine ilk hücreye akış olur. Bu akış ağırlıkları birbirine eşit ise bunlara simetrik bağlantılar denir.



Şekil 3.6: Klasik bir YSA mimarisi

3.2.1 İşlemci fonksiyonlar

YSA'daki giriş ve çıkış tabakaları arasındaki bağın en iyi şekilde kurulabilmesi için işlemci fonksiyonunun doğru seçilmesi gerekmektedir. Çok tabakalı YSA'larda saklı tabakada birçok matematiksel işlemci kullanılabilir. Ama pratik olarak karmaşıya sebebiyet vermemek için tek bir işlemci seçilerek matematiksel işlemler yapılır. En çok kullanılan işlemciler doğrusal işlemci, eşik işlemcisi, rampa işlemcisi ve sigmoid işlemcisidir.

3.2.1.1 Doğrusal işlemci

“a” skaler bir sayı olmak üzere herhangi bir $f(\text{NET})=a\text{NET}$ olarak ifade edilebilen bir tasviri gerçekleştiren işlemciye doğrusal işlemci adı verilir. “a”, 1 değerini alırsa saklı tabakaya gelen bilgiler aynı şekilde çıkış tabakasına ulaşır.

3.2.1.2 Eşik işlemcisi

Bu işlemcinin en büyük özelliği ise girdi değerine karşılık sadece iki çeşit çıktı üretmesidir. Eğer giriş değeri eşik değerini aşarsa a aksi takdirde b değerini alır.

3.2.1.3 Rampa işlemcisi

Bu işlemci, eşik işlemcisi ile doğrusal işlemcinin bir araya gelmesiyle oluşmuş bir tür işlemcidir. Eşik değerlerin birinden diğerine geçiş ani bir sıçrama halinde değil, doğrusal bir artış veya azalış şeklinde olur.

3.2.1.4 Sigmoid işlemcisi

Sigmoid işlemcisi ise rampa işlemcisinin sürekli olarak devam eden hali olarak tanımlanabilir. Sigmoid işlemcisi sürekli bir fonksiyonu gösterdiğinden dolayı özellikle eğrisel ilişki olduğu düşünülen yerlerde kullanılabilir.

3.2.2 YSA öğrenme algoritması

YSA kullanılırken izlenilen bir algoritma bulunmaktadır. Bu algoritma sıralanacak olursa:

- 1) Öncelikle sorunun durumuna göre uygun YSA mimarisi seçilmelidir.
- 2) Yine soruna uygun olarak YSA işlemcileri ve bağlantı katsayılarının tercihi yapılmalıdır.
- 3) Kurulan model ve karakteristiklere göre veri kullanılarak sistem eğitilmelidir.
- 4) Eğitilmiş sistem başka bir yerde sınanmalıdır. Uygun sonuçların elde edilmemesi halinde baştan itibaren işlemler yinelenmelidir.

3.2.3 YSA modellemesinde önemli aşamalar

YSA modellemesi yapılırken belirli bir sıraya bağlı olarak izlenilmesi gereken önemli aşamalar bulunur. Bu aşamalar sırasıyla verilerin toplanması, verilerin (eğitme, doğrulama ve sınama) alt kümelerine bölünmesi, YSA mimarisinin oluşturulması, matematiksel işlemci tercihinin yapılması, başlangıç ağırlık katsayılar ataması, ileri veya geri besleme modeli tercihi, döngülerin yinelenmesi, gerektiğinde döngülerin durdurulması, elde edilen hatanın kontrolü ve -eğer- yeterli hata aralığına ulaşıldıysa yapının kullanılması şeklinde sayılabilir. Elde edilen çıktılar üzerinde mutlaka sınama yapılması gerekir. Zira YSA'larda öğrenme amaçlı modeller

kurulurken, model bazı durumlarda problemi öğrenemez fakat ezberler. Dolayısıyla yapılan bir sınamada bu durum tahkik edilebilir (Şen, 2004)

4. VERİ ANALİZİ

Oyulma derinliği, temel tasarımının boyutlandırılmasında büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, literatürde sıkça kullanılan bazı deneysel formüllerin performansı, birtakım veriler üzerinde denenmiş ve çıkan sonuçlar, kurulan YSA ve Bulanık Mantık (BM) modellerinin çıktılarıyla mukayese edilmiştir. Zamana bağlı olarak oyulma değişimini gösteren veriler, temiz su oyulması durumu için silindirik şekilli köprü ayaklarında ve üniform yatak malzemesi koşullarında araştırmacılar tarafından elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan deneysel formüller; Laursen ve Toch (1956) ve Shen ve diğ. (1969)'e ait olan formüllerdir. Çalışmada kullanılan deneysel veriler Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 2: Kullanılan deneysel veriler (Melville & Chiew, 1999)

Deney Sayısı	D	d_{se}	d_{50}	y	V	t_e	V/V_c
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(m/s)	(dakika)	(boyutsuz)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
N1	70	94	0,96	200	0,231	3,142	0,688
N2	70	77	0,96	70	0,245	2,703	0,654
N3	70	69	0,96	70	0,218	2,880	0,623
N4	70	79	0,96	70	0,231	2,817	0,671
N5	70	39	0,96	70	0,198	1,537	0,623
N6	50	60	0,96	70	0,231	2,610	0,657
N7	50	60	0,96	200	0,231	3,090	0,649
N8	38	54	0,96	200	0,243	4,035	0,690
N9	38	45	0,96	200	0,231	1,741	0,660
AU1	16	24	0,80	200	0,213	1,753	0,676
AU2	25	25	0,80	200	0,213	2,695	0,676
N10	70	116	0,96	95	0,278	3,252	0,827
N11	70	118	0,96	95	0,278	4,194	0,827
N12	70	107	0,96	50	0,269	4,055	0,823
N13	70	121	0,96	70	0,304	4,089	0,850
N14	50	89	0,96	70	0,298	3,215	0,845
N15	38	77	0,96	200	0,278	4,230	0,817
N16	38	97	0,96	200	0,324	4,530	0,919
N17	50	91	0,96	70	0,317	4,163	0,901
AU3	16	32	0,80	200	0,250	1,740	0,827
AU4	25	48	0,80	200	0,250	2,895	0,827

Çizelge 2 devam: Kullanılan deneysel veriler (Melville & Chiew, 1999)

Deney Sayısı	D	d_{se}	d_{50}	y	V	t_e	V/V_c
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(m/s)	(dakika)	(boyutsuz)
AU5	16	38	0,80	200	0,294	2,065	0,957
AU6	25	64	0,80	200	0,294	2,690	0,957
N18	70	133	0,96	200	0,271	4,260	0,783
N19	70	107	0,96	77	0,271	3,100	0,779
N20	70	91	0,96	70	0,251	4,210	0,700
N21	50	79	0,96	70	0,265	4,158	0,753
N22	70	25	0,96	70	0,179	1,338	0,519
N23	50	26	0,96	200	0,197	1,425	0,527
N24	70	43	0,96	200	0,197	1,815	0,593
N25	70	37	0,96	70	0,185	2,429	0,556
N26	70	35	0,96	70	0,185	1,433	0,556
N27	50	29	0,96	70	0,198	1,768	0,587
N28	70	7	0,96	70	0,165	300,000	0,467
N29	70	20	0,96	200	0,171	1,298	0,400
N30	70	28	0,96	200	0,185	1,300	0,468
N31	50	11	0,96	200	0,174	450,000	0,459
N32	38	4	0,96	200	0,174	200,000	0,441
AU7	16	10	0,90	200	0,175	320,000	0,530
AU8	25	17	0,90	200	0,175	1,235	0,530
AU9	200	237	0,90	135	0,269	7,140	0,720
AU10	200	209	0,90	120	0,291	5,520	0,790
AU11	200	109	0,90	120	0,228	3,780	0,620
AU12	200	59	0,90	230	0,186	840,000	0,460
AU13	200	235	0,90	181	0,320	2,610	0,820
E1	28,5	58	1,90	600	0,571	1,990	0,900
E2	28,5	57	1,90	200	0,487	3,725	0,900
E3	28,5	48	1,90	100	0,434	2,184	0,900
E4	28,5	41	1,90	50	0,381	2,455	0,900
E5	101,6	224	1,90	600	0,571	5,640	0,900
E6	101,6	223	1,90	400	0,540	5,582	0,900
E7	101,6	211	1,90	300	0,518	5,615	0,900
E8	101,6	1,98	1,90	200	0,487	5,360	0,900
E9	101,6	170	1,90	100	0,434	5,286	0,900
E10	101,6	147	1,90	50	0,381	5,320	0,900
E11	101,6	69	1,90	20	0,311	5,625	0,900
E12	101,6	179	5,35	600	1,000	2,214	0,900
E13	101,6	178	5,35	400	0,939	1,498	0,900
E14	101,6	165	5,35	300	0,894	1,780	0,900
E15	101,6	148	5,35	200	0,831	1,765	0,900
E16	101,6	131	5,35	100	0,723	2,205	0,900
E17	101,6	102	5,35	50	0,615	2,216	0,900
E18	150,0	318	1,90	600	0,571	9,277	0,900
E19	50,8	115	1,90	600	0,571	3,660	0,900
E20	50,8	85	1,90	600	0,477	3,320	0,750

Çizelge 2 devam: Kullanılan deneysel veriler (Melville & Chiew, 1999)

Deney Sayısı	D	d_{se}	d_{50}	y	V	t_e	V/V_c
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(m/s)	(dakika)	(boyutsuz)
E21	50,8	16	1,90	600	0,318	580,000	0,500
G1	110	174	2,10	170	0,579	4,780	1,000
G2	100	195	2,10	232	0,609	6,200	1,000
G3	150	259	2,10	232	0,609	6,280	1,000
E22	150	225	0,84	600	0,428	15,000	0,950
E23	150	229	1,90	600	0,604	10,106	0,950
E24	150	207	5,35	600	1,060	3,802	0,950
E25	150	188	7,80	600	1,208	2,925	0,950
E26	101,6	227	0,80	600	0,399	10,000	0,900
E27	101,6	227	0,84	600	0,405	10,500	0,900
E28	101,6	224	1,90	600	0,572	5,640	0,900
E29	101,6	208	3,80	600	0,895	2,002	0,900
E30	101,6	179	5,35	600	1,000	2,214	0,900
E31	101,6	166	7,80	600	1,140	2,945	0,900
E32	150	315	0,80	600	0,399	15,000	0,900
E33	150	314	0,84	600	0,405	15,000	0,900
E34	150	318	1,90	600	0,572	9,277	0,900
E35	150	308	5,35	600	1,000	5,370	0,900
E36	150	290	7,80	600	1,140	2,996	0,900

Tabloda görünen laboratuvar deney veri kümesinde D ; ayak çapını, d_{se} ; denge oyulması derinliğini, d_{50} ; taneciklerin ortalama büyüklüğünü, y ; ortalama akım derinliğini, V ; ortalama akım hızını, t_e ; denge oyulmasının oluşması için geçen zamanı, V_c ise kritik hızı ifade etmektedir.

4.1 Oyulma Hesabında Deneysel Formüllerin Performansı

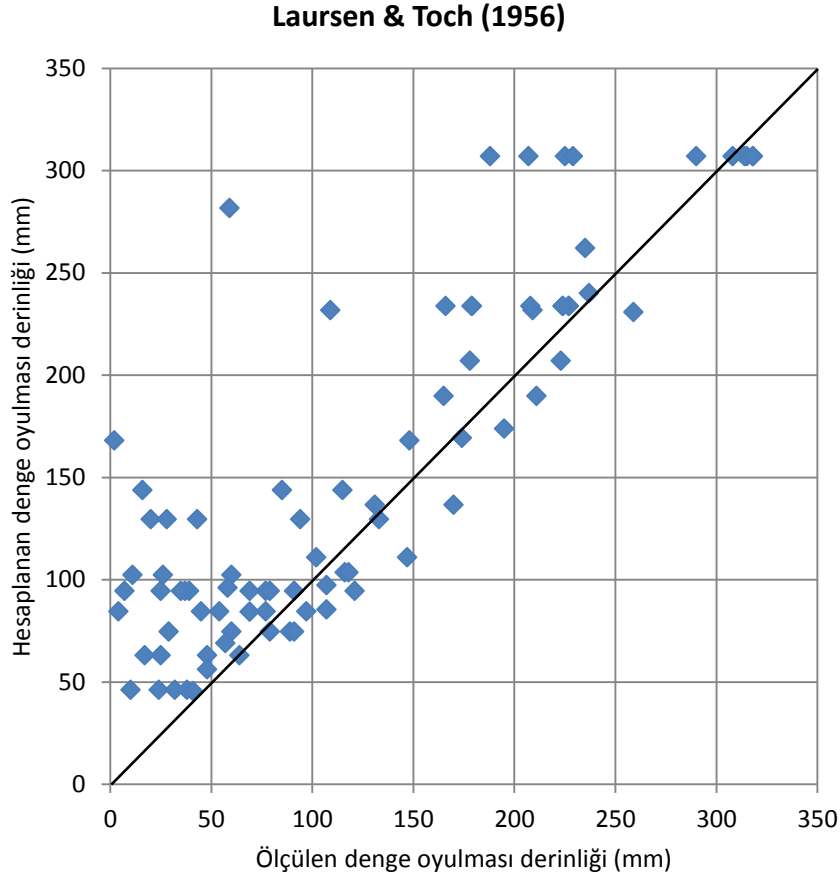
Laursen (1956), yaptığı çalışmada köprü ayaklarında meydana gelen yerel oyulmaları daha çok ayak çapı (b) ve ayak etrafındaki akım derinliğine (y) bağlamıştır. Geliştirdiği formül ise şu şekildedir:

$$d_s = 1.35 * b^{0.7} * y^{0.3} \quad (4.1)$$

Burada d_s ; oyulma derinliğini göstermektedir. b ; ayak çapını y ise ayak etrafındaki akım derinliğini ifade etmektedir. Bu parametrelerin birimleri seçilen birim sistemine göre şekil almaktadır.

Bu formül ışığında araştırmacılar tarafından elde edilen verilerle denge oyulması hesabı yapıldığında Laursen ve Toch (1956)'un modeli ile deneysel verileri

kıyaslayabiliriz. Şekil 4.1’de Laursen ve Toch (1956)’un geliştirdikleri oyulma tahmini formülü ile deneysel verilerin aynı grafik üzerinde saçılımı görülmektedir.



Şekil 4.1: Laursen & Toch (1956) modeline göre elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Şekil 4.1’de grafiğin yatay ekseninde araştırmacıların yaptıkları deneylerde ölçülen denge oyulması değerleri, düşey ekseninde ise Laursen ve Toch (1956) formülünde deneysel ölçüm verileri kullanılarak hesaplanan denge oyulması derinlikleri bulunmaktadır. Grafiğin tam ortasından yatay eksenle 45° ’lik açı yapacak şekilde bir çizgi geçmektedir. Ölçülen ve hesaplanan denge oyulması derinliği değerlerinin birbirine çok yakın olması durumunda grafik üzerindeki noktalar bu çizgiye yaklaşmaktadır. Görüldüğü üzere grafik üzerindeki noktalar genel itibariyle yatayla 45° ’lik açı yapan bu doğru üzerinde kümelenmektedir. Bu çizgiden sapmalar çoğunlukla küçük oyulma değerlerinde gözlemlenmiştir.

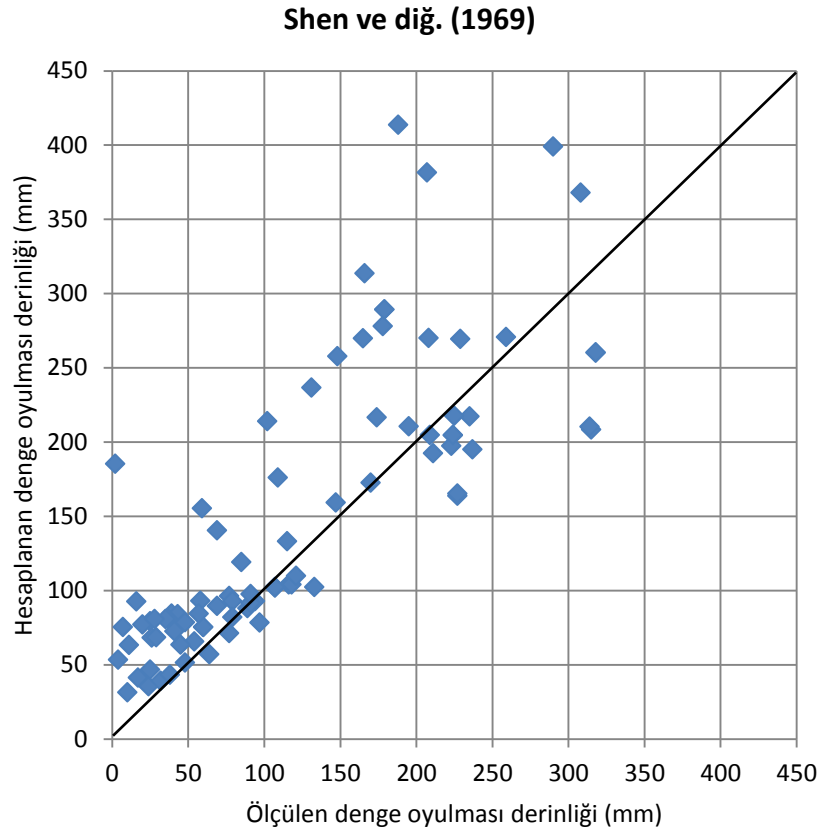
0-50 mm arasında ölçülen oyulma değerlerine karşılık hesaplanan değerler genel itibariyle büyüktür. Yapılan hesaplamalarda ölçülen küçük oyulma değerlerinden, hesaplanan oyulma değerlerinin 2-3 kat fazla çıktığı görülmüştür.

Shen ve diğ. (1969), yaptıkları çalışmada oyulma tahmini için farklı bir deneysel formül geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu formülde ayaklarda meydana gelen bu oyulmalar, akım yaklaşım hızı (V) ve ayak çapına (b) bağlı olarak tanımlanmıştır.

Shen ve diğ. (1969) geliştirdiği formül şu şekildedir:

$$d_s = 0.00022 * \left(\frac{V \times b}{v} \right)^{0.619} \quad (4.2)$$

Denklem 4.2’de d_s ; oyulma derinliğini, V; akım hızını ve v ; kinematik viskoziteyi ifade etmektedir. Denklem 4.2 ışığında araştırmacılar tarafından elde edilen verilerle denge oyulması hesabı yapıldığında Shen ve diğ. (1969)’in modeli ile deneysel veriler kıyaslanabilir. Şekil 4.2’de Shen ve diğ. (1956)’in geliştirdikleri oyulma tahmini denkleminin çıktıları ile deneysel verilerin aynı grafik üzerinde saçılımı görülmektedir.



Şekil 4.2: Shen ve diğ. (1969) modeline göre elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Şekil 4.2 incelendiğinde küçük oyulma derinliği değerlerinde daha isabetli hesaplamalar yapılırken 100 mm’den büyük değerlerde isabetli hesaplamalar yapılamadığı görülmüştür. 50-100 mm arasında ölçülen oyulma derinlikleri için

yapılan hesaplamalar genel itibariyle ölçülen oyulma derinliğinin üstünde kalmıştır. 100 mm'den büyük ölçülen oyulma derinliklerinde ise yapılan hesaplamalar ölçülen oyulma derinliğinin çok üstünde kalmıştır. Örneğin ölçülen yaklaşık 200 mm oyulma derinliği Shen formülü kullanılarak yaklaşık olarak 381 mm hesaplanmıştır. %100'e varan bu fark 100 mm'den büyük oyulma derinliklerinde genel olarak gözlemlenmektedir.

4.2 Girdiler ve Çıktı Arasındaki İlişki

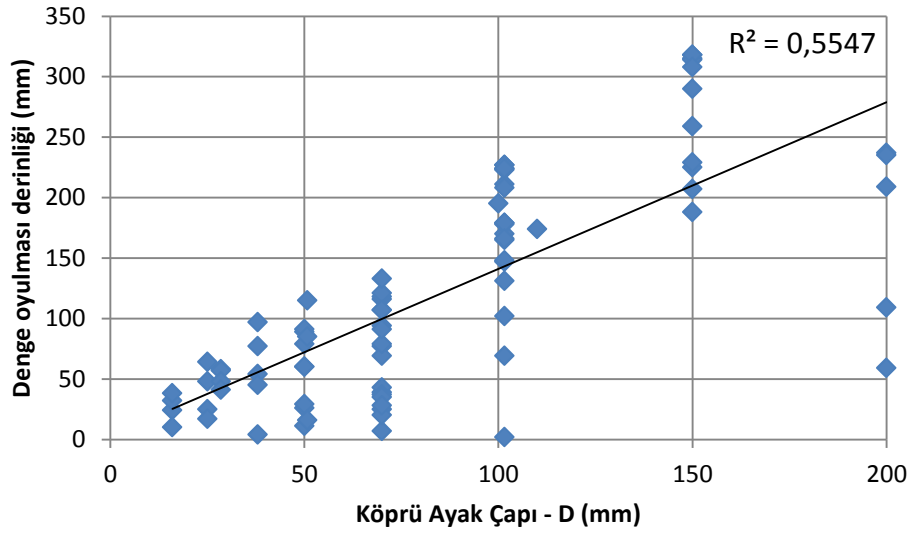
Köprü ayaklarında meydana gelen oyulmalar için birçok araştırmacı, yaptıkları çalışmalarda farklı değişkenleri girdi kabul ederek, modelin çıktısı olan denge oyulmasını hesaplamaya çalışmışlardır. Birkaç girdi biraraya getirilerek yapılan bu tahminler, o veri kümesine özel olarak iyi sonuç verebilmektedir. Her girdinin çıktı değerleriyle doğrudan olan ilişkisi de bir o kadar önem arz etmektedir. Dolayısıyla her bir girdi ile o girdiye karşılık gelen çıktıya bakılması, ve bu girdi ile çıktı arasında doğrusal mı eğrisel mi veya sürekli mi süresiz mi bir ilişki vardır, bunun incelenmesi gerekir. İkinci olarak ise her bir girdinin birbiri ile olan etkileşimi de olayın fiziğinin çözülmesi adına önemlidir. Bu aşamadan sonra öncelikle her bir girdi ile çıktı ilişkisine saçılma diyagramında bakılmıştır.

Sistem girdileri D ; ayak çapı, d_{50} ; taneciklerin ortalama büyüklüğü, y ; ortalama akım derinliği, V ; ortalama akım hızı, t_e ; denge oyulmasının oluşması için geçen zaman, V/V_c ise akım hızının, taneciklerin harekete geçmesi için gereken kritik hıza oranını ifade etmektedir. d_{se} ise oyulma derinliğinin belirli bir zamandan sonra sabitlenen değerini ifade etmektedir. Bu durum literatürde denge oyulması olarak ifade edilmiştir.

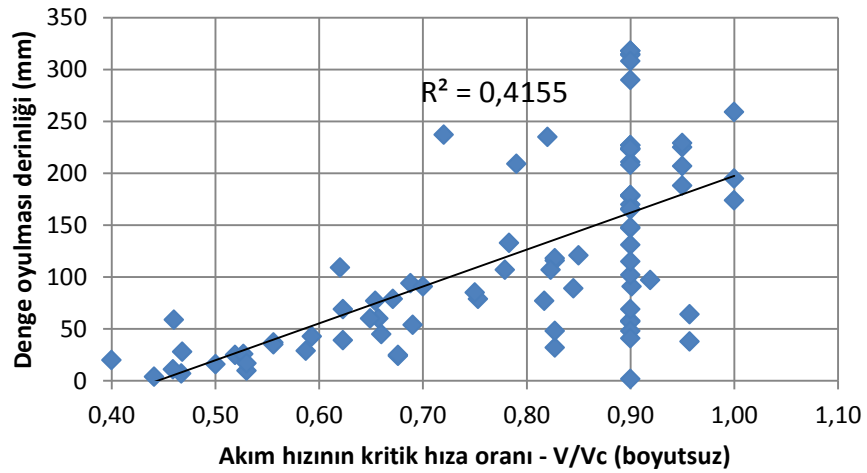
İlk olarak D ayak çapı girdi değerlerine karşılık gelen oyulma derinliklerine bakıldığında Şekil 4.3'teki gibi bir saçılma diyagramı ortaya çıkmaktadır.

Toplanılan veri tabanında 6 girdi 1 çıktı olarak değerlendirilebilecek veriler bulunmaktadır. Bunların herbirinin tek çıktı ile olan ilişkisine bakıldığında D ayak çapının denge oyulması derinliği ile saçılma diyagramında ilişkisini ifade eden R^2 değeri 0,55 gibi bir değer çıkmaktadır. Bu değer 1 çıkması, grafiğin x ve y ekseninde bulunan her bir değişkenin doğrudan bir ilişkisi olacağını gösterir. Burada

öyle bir durumun olması söz konusu değildir. Çünkü denge oyulması derinliğine etki eden birçok faktör bulunmaktadır.



Şekil 4.3: Köprü ayak çapı ile denge oyulması derinliği ilişkisi

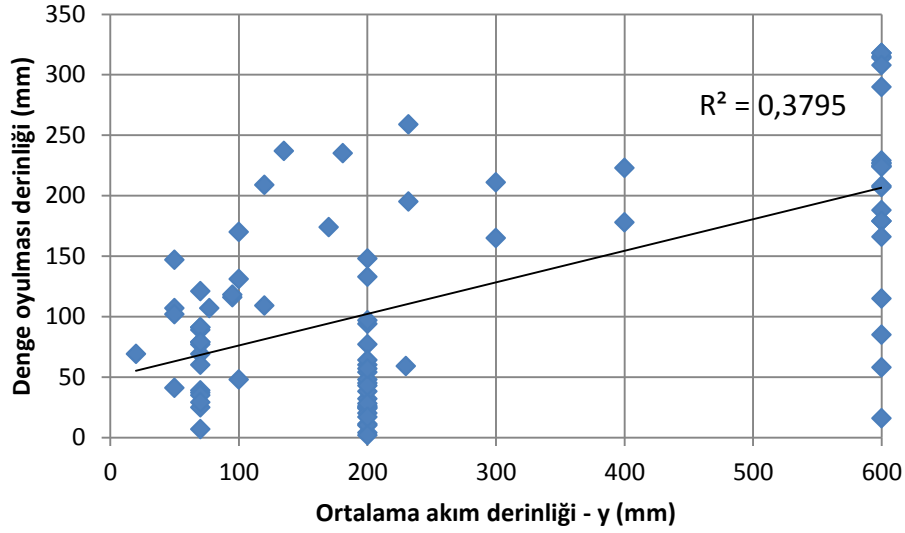


Şekil 4.4: Akım hızının kritik hıza oranı ile denge oyulması ilişkisi

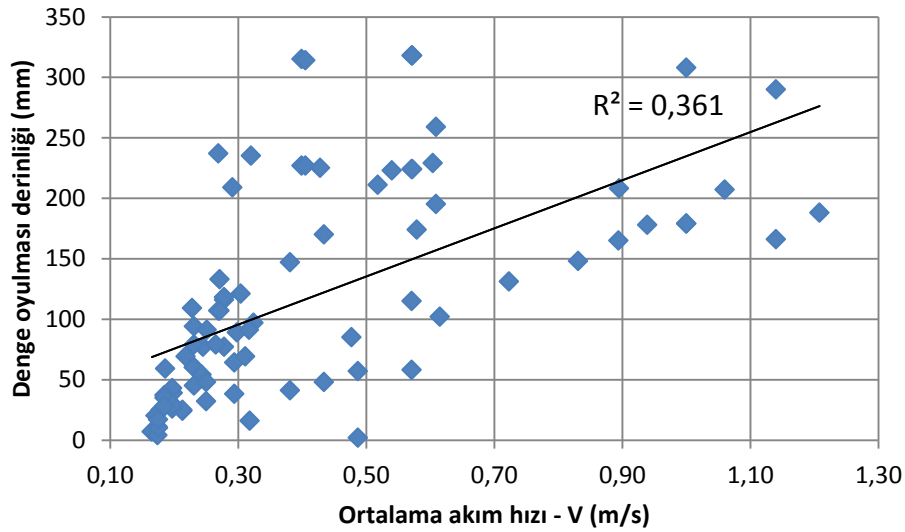
İkinci olarak “Akım hızının kritik hıza oranı” V/V_c değeri ile denge oyulması derinliği d_{se} saçılmasına bakılacak olursa Şekil 4.4 ortaya çıkar.

Burada R^2 değeri yaklaşık 0,42 gibi bir değer almıştır. Üçüncü değişken olarak ortalama akım yaklaşım derinliğinin denge oyulması derinliğine göre saçılması Şekil 4.5’deki gibidir.

R^2 değeri yaklaşık 0,38 gibi bir değer çıkmıştır. Ortalama akım derinliğinden sonra denge oyulması ile en çok ilişkili olduğu düşünülen ortalama akım hızında R^2 değeri ise yaklaşık 0,36 gibi bir değer almıştır (Şekil 4.6).

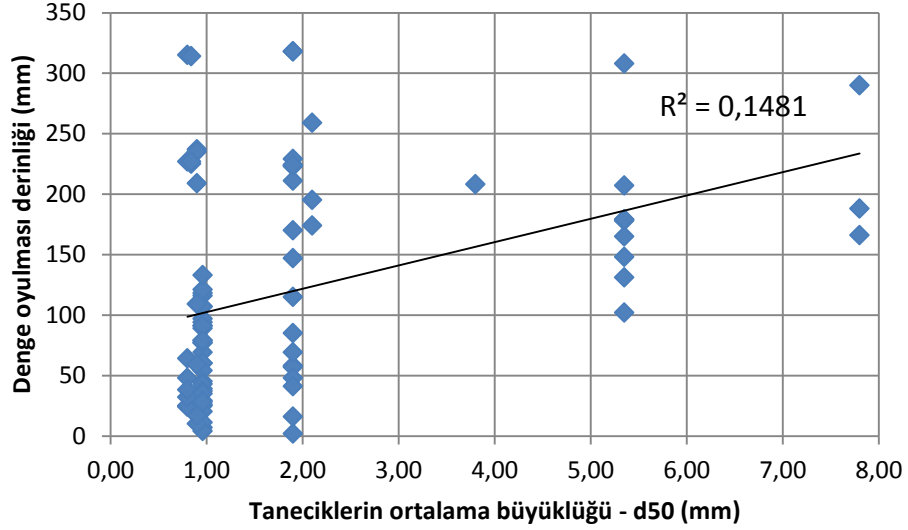


Şekil 4.5: Ortalama akım derinliği ile denge oyulması derinliği ilişkisi



Şekil 4.6: Ortalama akım hızı ile denge oyulması derinliği ilişkisi

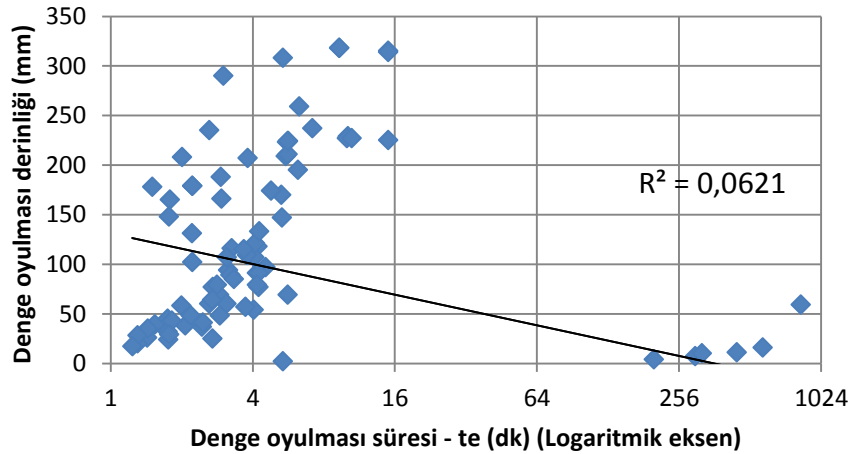
Ayrıca taneciklerin ortalama büyüklüğü de oyulma oluşum sürecini etkilemektedir. Köprü ayaklarında meydana gelen oyulmalar esasında bu taneciklerin yer değiştirmesi manasına gelir. Ölçülen verilere göre taneciklerin ortalama boyutunun denge oyulması ile saçılma diyagramında ilişkisi Şekil 4.7'deki gibidir.



Şekil 4.7: Tanecik ortalama büyüklüğü ile denge oyulması derinliği ilişkisi

Taneciklerin ortalama büyüklüğü ile denge oyulması derinliğine saçılma diyagramında bakıldığında R^2 değerleri yaklaşık 0,15 gibi diğer değişkenlere göre düşük değerler almaktadır.

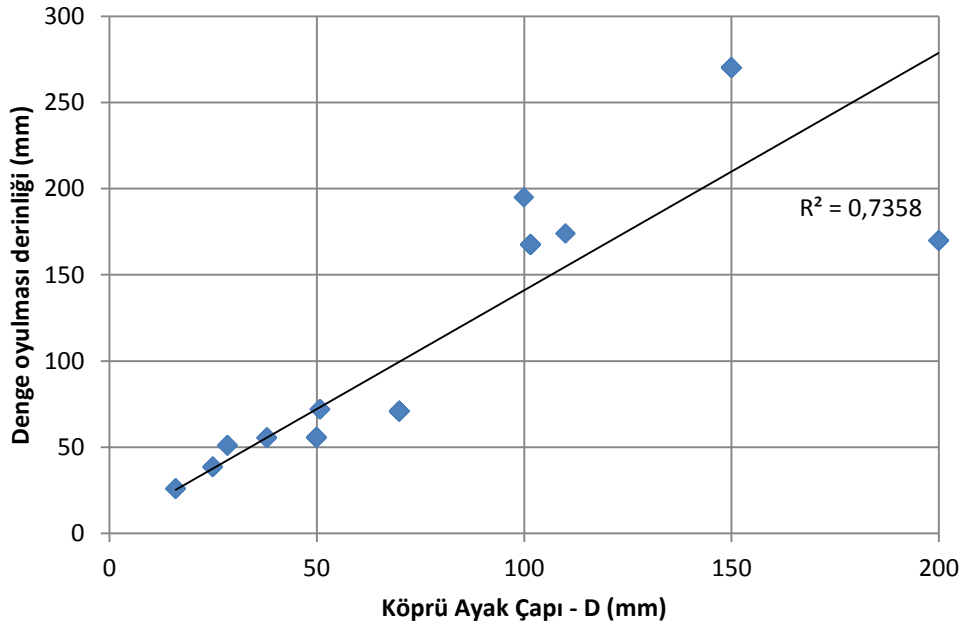
Son olarak, denge oyulması süresine ait veriler ile oyulma derinliği ilişkisi saçılma Şekil 4.8'deki gibi bir saçılma diyagramı oluşturmaktadır.



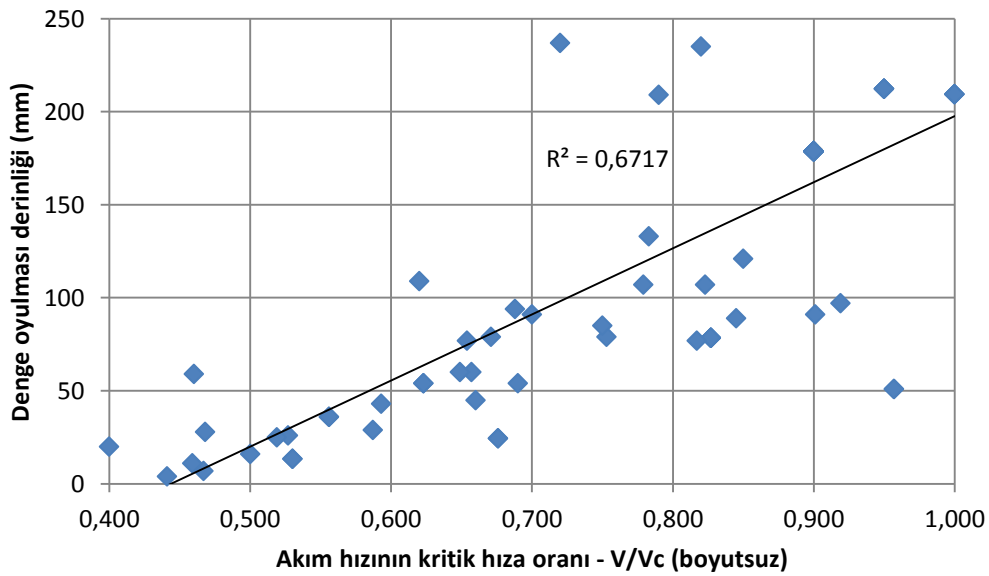
Şekil 4.8: Denge oyulması süresi ile denge oyulması derinliği ilişkisi

Şekil 4.8'de görüldüğü üzere t_e ile d_{se} arasındaki R^2 değerleri 0,0621 gibi çok düşük bir değer çıkmıştır. Bu şekilde düşük bir korelasyonun olması bu veriler ışığında, zamanın değişimi ile denge oyulması derinliği değişimi arasında çok düşük bir ilişki olduğunu göstermektedir.

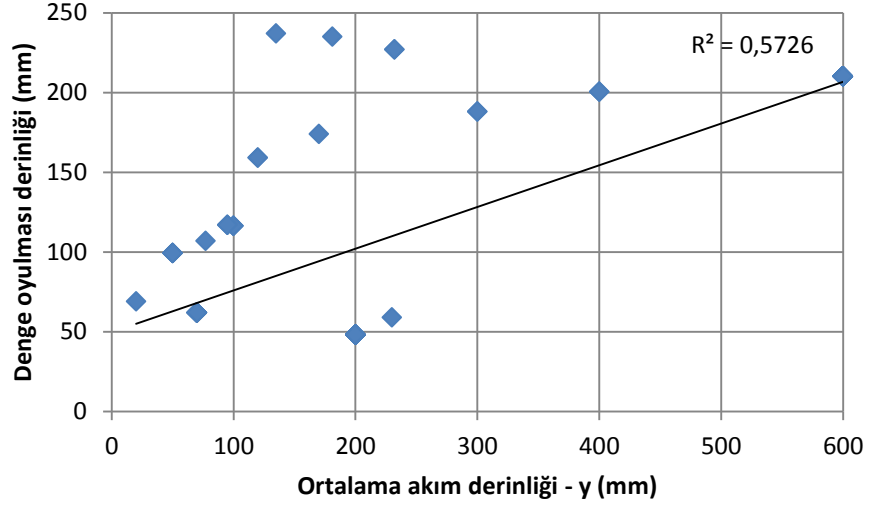
Bir girdi bir çıktı modellerinde bakılan saçılma diyagramları ayrıntılı incelendiğinde tek bir girdi değerine karşılık gelen birçok çıktı değeri bulunmaktadır. Bu tip durumlarda o girdi değerine karşılık gelen çıktı değerlerinin ortalaması alınarak yeni bir korelasyon ilişkisine bakılabilir. Her bir girdi ile çıktı ilişkisinde, aynı girdiye karşılık gelen çıktı değerlerinin ortalaması alınarak oluşturulan grafiklerde R^2 ilişkisine de bakılmıştır (Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14).



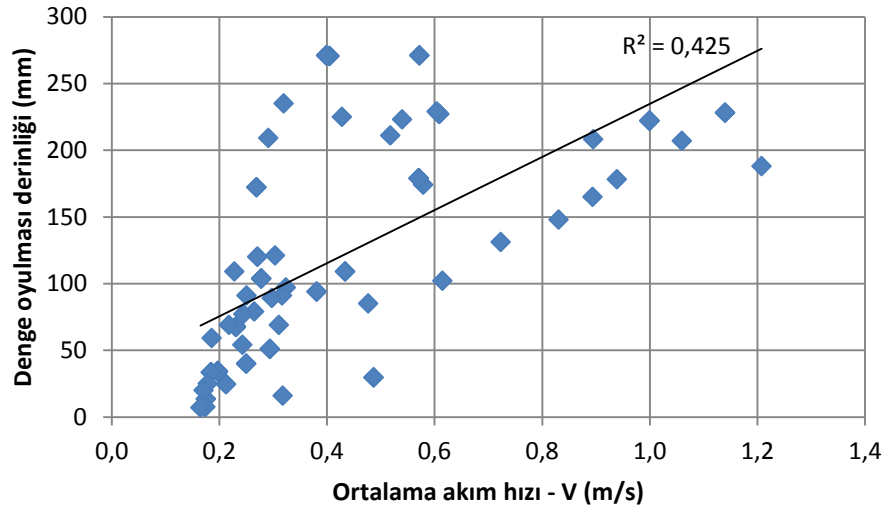
Şekil 4.9: Köprü ayak çapı ile denge oyulması derinliği ilişkisi



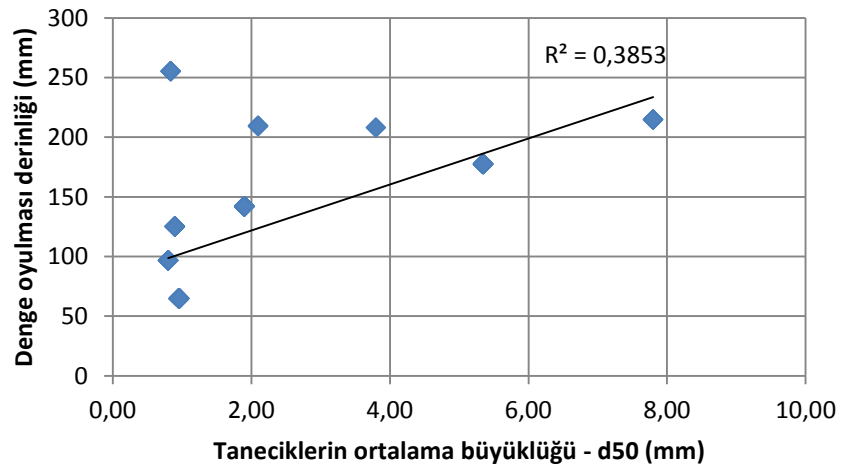
Şekil 4.10: Akım hızının kritik hıza oranı ile denge oyulması ilişkisi



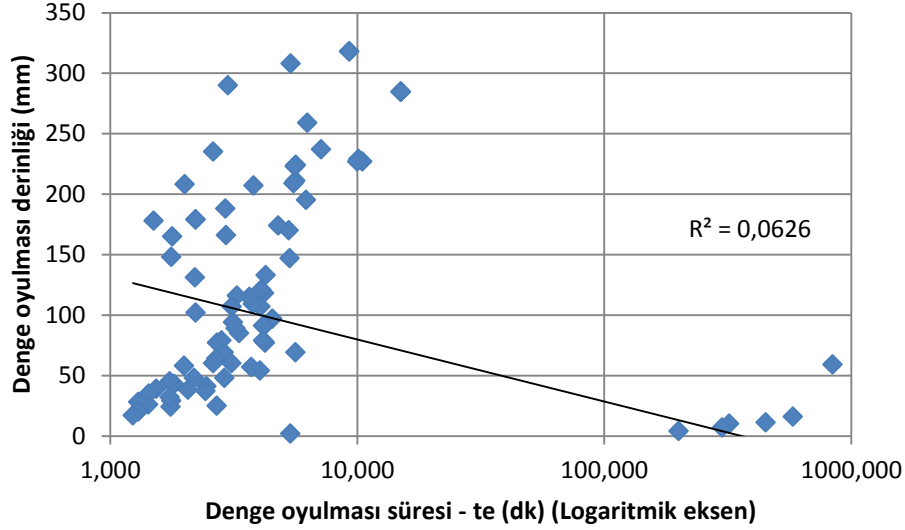
Şekil 4.11: Ortalama akım yaklaşım derinliği ile denge oyulması derinliği ilişkisi



Şekil 4.12: Ortalama akım hızı ile denge oyulması derinliği ilişkisi



Şekil 4.13: Tanecik ortalama büyüklüğü ile denge oyulması derinliği ilişkisi



Şekil 4.14: Denge oyulması süresi ile denge oyulması derinliği ilişkisi

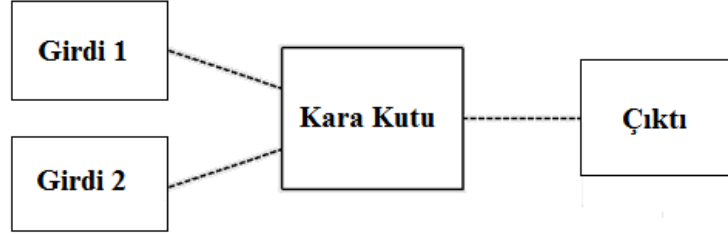
Girdi verileri ile çıktı verileri arasındaki ilişkilere bir girdi bir çıktı esas alınarak saçılma diyagramında her iki grafik grubunda bakıldığında benzer ilişkiler ortaya çıkmıştır. Bu ilişkiler, R^2 değeri en büyük olandan en küçük olana doğru sıralandığında aşağıdaki sıralama elde edilmiştir:

- 1) Köprü ayak çapı (D),
- 2) Akım hızının kritik hıza oranı (V/V_c),
- 3) Ortalama akım yaklaşım derinliği (y),
- 4) Ortalama akım yaklaşım hızı (V),
- 5) Taneciklerin ortalama büyüklüğü (d_{50}),
- 6) Denge oyulması süresi (t_e).

Bu sıralama, aynı zamanda kurulacak olan modellerin de kurulma sırasını göstermektedir. Denge oyulması süresi ile denge oyulması derinliği arasındaki korelasyonun çok düşük olması sebebi ile, kurulan modellerde t_e , bir girdi olarak modele katılmamıştır. Kurulacak en iyi model karmaşıklığın giderildiği en basit modeldir. Dolayısıyla veri kümesinde bulunan 6 girdiden 5'i, yukarıda çıkarılan ilişki sıralamasına göre modelleneyecektir. İlk modelde en baştaki 2 girdi alınarak modellemeye başlanmıştır. Kurulan ilk modelin görseli Şekil 4.15'deki gibidir.

Bütün modeller hem BMÇS modelinde hem de YSA modelinde kullanılmış olup, model çıktıları karşılaştırılmıştır. Girdi sayısı birer birer artırılarak yeni modeller

kurulmuş ve oyulma sürecine etkiyen temel etkenler araştırılmış, netice olarak ise korelasyon değerleri ile birlikte tahminleri en iyileme yoluna gidilmiştir. Tahminlerin en iyi yapıldığı modeller, ileride yapılacak deneylerde de hangi verilerin ölçülmesi konusunda araştırmacılara ışık tutabilecektir.



Şekil 4.15: İki girdi bir çıktıdan oluşan model

4.3 YSA Modelleri

Daha önce de belirtildiği üzere son 50 yıldır üzerinde birçok çalışma yapılmış olan oyulma problemi son derece karmaşık bir mekanizmadır. Hareketli taban oyulması ve yatak seviyesi alçalmasının, köprü ayakları etrafında meydana gelen yerel çevrıntilere eklenmesi sonucu, ortaya çözülmesi zor bir fiziksel olay çıkmaktadır (Melville & Coleman, 2000; Shen ve diğ., 1969). Köprü ayak oyulmaları ile alakalı genel bir ampirik model kurulup, kurulan bu model üzerinden sağlıklı tahminler yapmak, oyulma mekanizmasının karmaşık yapısından ötürü pek mümkün olmamaktadır. Bu mekanizmanın karmaşıklığının yanısıra, sağlıklı tahmin yapamamanın ayrıca iki sebebi daha bulunmaktadır. İlk olarak saha şartları laboratuvar şartlarına göre genelde daha karmaşıktır. İkinci sebep ise gözlemlenen olayda, ampirik formül elde edilirken göz önünde bulundurulmuş parametrelerin seçimi ve bu parametrelerin birbirleriyle olan ilgisi net olarak ifade edilememektedir (Deng & Cai, 2009).

YSA uygulaması için rastgele seçilen veriler; eğitime, doğrulama ve sınama verisi olmak üzere üç kümeye ayrılır. Veri kümesinin eğitime kısmında yer alan veriler, YSA modeli tarafından sistemin (girdiler ve çıktılar arasındaki karmaşık ilişkinin) öğrenilmesi için kullanılır. Doğrulama verilerini model, öğrendiği bu sistemi doğrulama adına kullanır. Son olarak sınama verilerinde ise model, sistemi öğrenmiş mi? yoksa ezberlemiş mi? durumu sınanır. Tabi burada sınama verileri ile modelin sınanmasındaki önemli nokta, modelin sınama verilerini önceden görmemiş

olmasıdır. Dolayısıyla YSA modelinde en önemli kısım sına ve doğrulama verilerinden elde edilen karesel hata değeri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Veriler; 1 giriş, 1 saklı tabaka ve 1 çıkış tabakası olmak üzere 3 tabakalı YSA mimarisi içerisinde ele alınacaktır. Verilerin doğru bir şekilde analizi ve yorumlanabilmesi için farklı sayılarda sinir hücreleri kullanılmalı, aynı zamanda eğitme, doğrulama ve sına verilerinin yüzdeleri de farklı oranlarda denenmelidir.

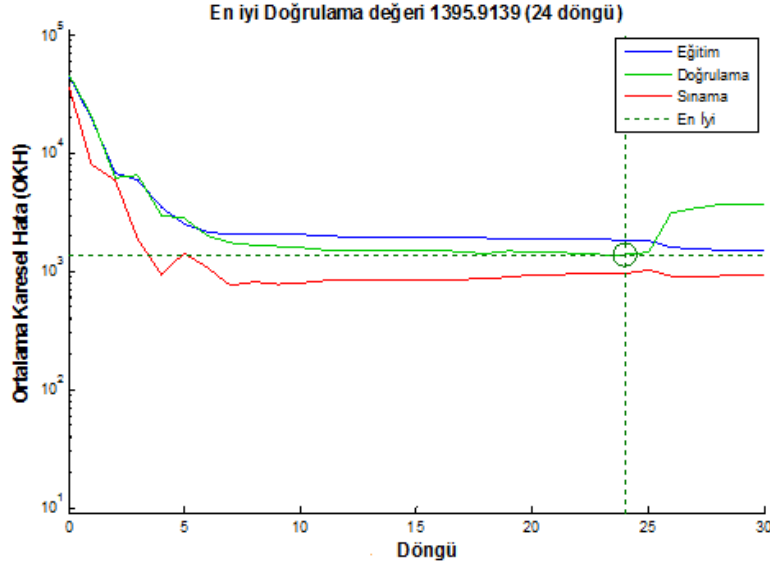
Eğrisel ilişkilerde 3 tabakanın orta kısmında bulunan saklı tabakada en azından 3 sinir hücresi seçilir fakat 2 adet sinir hücresi ile nasıl bir sonuç oluştuğuna bakmakta da fayda vardır (Şen, 2004).

4.3.1 İki girdi bir çıktılı YSA modeli

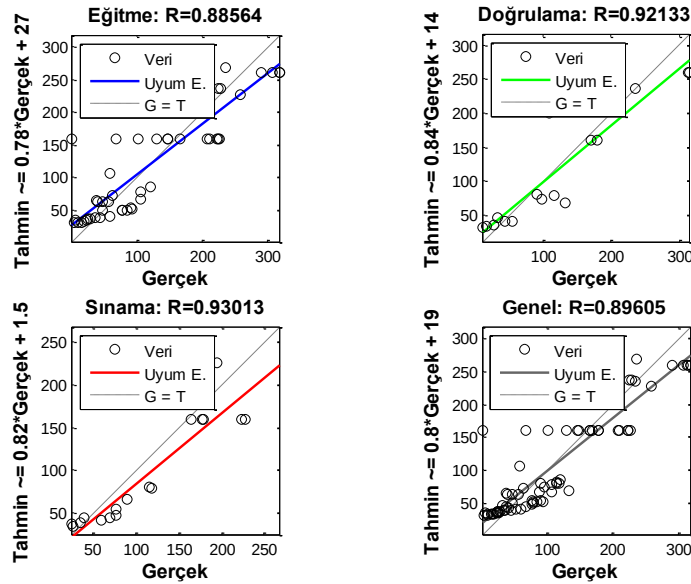
Çalışmanın ilk kısmında (ilk model) eğitme, doğrulama ve sına verilerinin yüzde dağılımları sırasıyla %60, %20 ve %20 olarak seçilmiştir. Modeller ilk olarak, herbir girdi ile çıktı arasındaki ikili ilişkiye göre kurgulanmalıdır. Bu sebeple kurulan ilk modelde “ d_{se} ” denge oyulması çıktısı ile en çok ilişkili olarak gözlenen “D” köprü ayak çapı ve “ V/V_c ” akım hızının kritik hıza oranı ele alınmıştır. Bu model ile yapılacak oyulma tahminlerine bakmak için öncelikle veriler 3 gruba ayrılmıştır. Bu 3 grup daha önceden de belirtildiği üzere sırasıyla eğitme, doğrulama ve sına verileridir. Model kurulduktan sonra 2 adet sinir hücresi ile eğitim yapılmış ve sonuçlarına bakılmıştır. Bu sonuçlara göre Ortalama Karesel Hata değeri Şekil 4.16’da görülmektedir. Şekil 4.17’de ise tahmin edilen değeri ile ölçülen verilerin karşılaştırmasına bakılmıştır. Ortalama Karesel Hata grafiklerinde “döngü” olarak tanımlanan terim, modeli en iyilemek ve karesel hatayı en küçükmek için yapılan eğitimlerde yapılan iterasyon sayısını ifade etmektedir. Eğitme, doğrulama, sına ve genel başlıklarıyla ifade edilen korelasyon değeri sunulduğu grafiklerde ise, “tahmin” YSA ile yapılan denge oyulması tahminlerini, “gerçek” ise ölçülen denge oyulması değeri ifade etmektedir.

Görüldüğü üzere 2 adet sinir hücresi kullanılarak incelenen eğrisel ilişki için elde edilen sonuçlar oldukça tatmin edicidir. Özellikle sına korelasyon değeri % 93 gibi yüksek bir değeri çıkması sistemin modeli ezberlemeyip öğrendiği anlamına gelir. Bu sonuç görüldükten sonra 2 girdi bir çıktıdan oluşan model için 3 sinir hücresi kullanılarak yine bir eğitim yapılmıştır. Değerlendirmenin aynı tabanda yapılabilmesi için eğitme, doğrulama ve sına verilerinin yüzdeleri çalışma

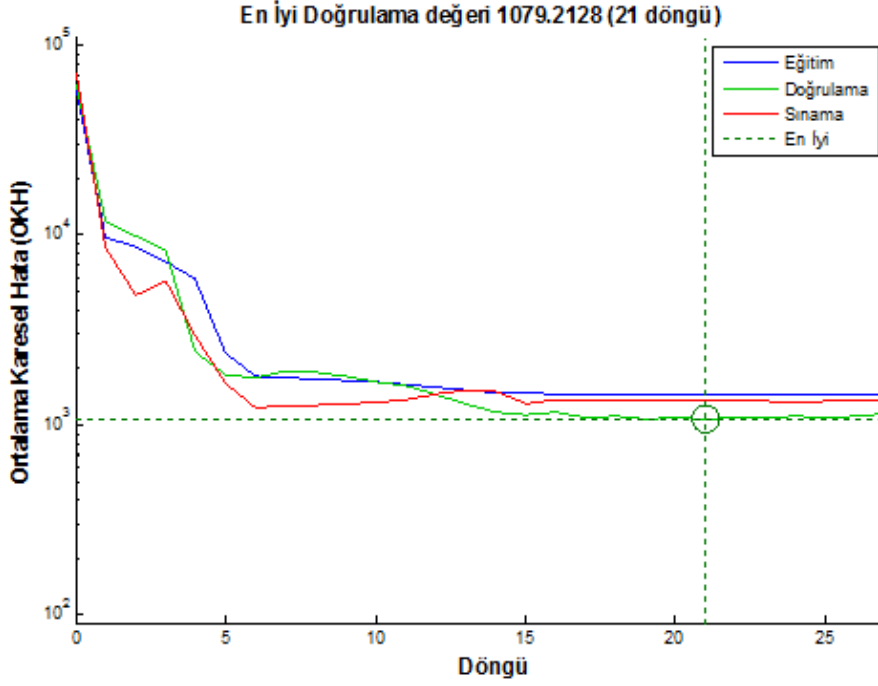
boyunca sırasıyla %60, %20 ve %20 olarak seçilmiştir. 3 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonucu Şekil 4.18’de görülmektedir. 1. eğitim sonrası OKH doğrulama değeri yaklaşık 1079 çıkmıştır. Bu değere karşılık gelen eğitme ve sinama OKH değerleri ise sırasıyla 1455 ve 1330’dur. Şekil 4.19’da ise tahmin edilen denge oyulması değerleri ile ölçülen denge oyulması değerlerinin saçılmasına bakılmıştır.



Şekil 4.16: 2 sinir hücresi ile yapılan eğitim sonrası OKH değerleri



Şekil 4.17: 2 sinir hücresi ile yapılan eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması



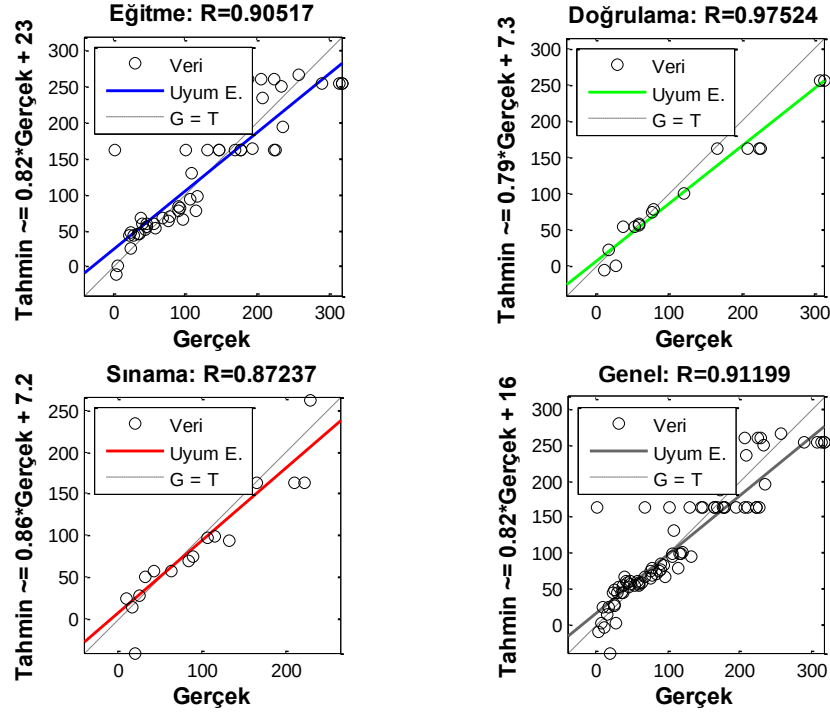
Şekil 4.18: 3 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası OKH değerleri

YSA eğitiminin püf noktası olarak şu söylenebilir ki; tahminlerde yapılan hataların en küçüklenmesi arzu edilir. Bu gerçekleşene kadar eğitime devam edilir. Eğitimin ne kadar kaliteli olduğu anlaşılmak isteniyorsa bu, yapılan 1. eğitim için Şekil 4.18'deki gibi bir grafikte kontrol edilebilir. Şekil 4.18'den de görüldüğü üzere OKH değerleri bu eğitim için 21 döngü sonucunda en küçüklenmiştir.

Bundan sonra izlenecek yolda modelin doğru olup olmadığı sorgulanırken şu noktalar gözden geçirilmiştir:

1) İlk eğitim sonrasında elde edilen en küçük OKH değeri yerel bir durum mudur yoksa mutlak hataya ulaşılmış mıdır? Elde edilen bu hataya etki eden ve bizim de değiştirebileceğimiz durum bağlantı katsayılarının başlangıç değerleridir. Bu nedenle ilk eğitim devresini başlatan bağlantı katsayılarından tamamen farklı bağlantı katsayıları seçilerek ve diğer şartlar değiştirilmeden YSA yeniden eğitilir. Yeniden elde edilen en küçük hata değeri, bir öncekinden pek farklı değilse, bağlantı katsayıları için yapılan bu eğitimde mutlak en küçük OKH'ye ulaşıldığı sonucu çıkarılır. Böyle bir yorumun yapılabilmesi için eğitilmiş bağlantı değerleri ile bir önceki bağlantı değerleri arasında önemli farklar olmaması gerekir. Bununla birlikte yeni en küçük OKH değerine farklı bir eğitim devresi sayısında ulaşılması bu fikri etkilemez. Ancak, yeni en küçük OKH değeri ile önceki en küçük OKH değeri

arasında büyük farklar varsa bunlardan her ikisinin de mutlak en küçük duruma ulaşmadığı anlaşılır. Bu yüzden üçüncü bir eğitim daha yapılır. Eğitimler bu felsefeyle sürdürülerek en küçük hataya ulaşılmaya çalışılır (Şen, 2004).

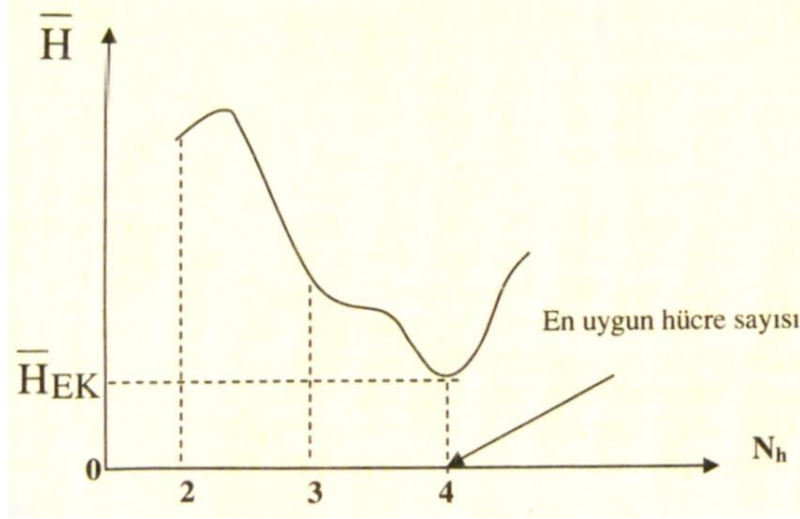


Şekil 4.19: 3 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması

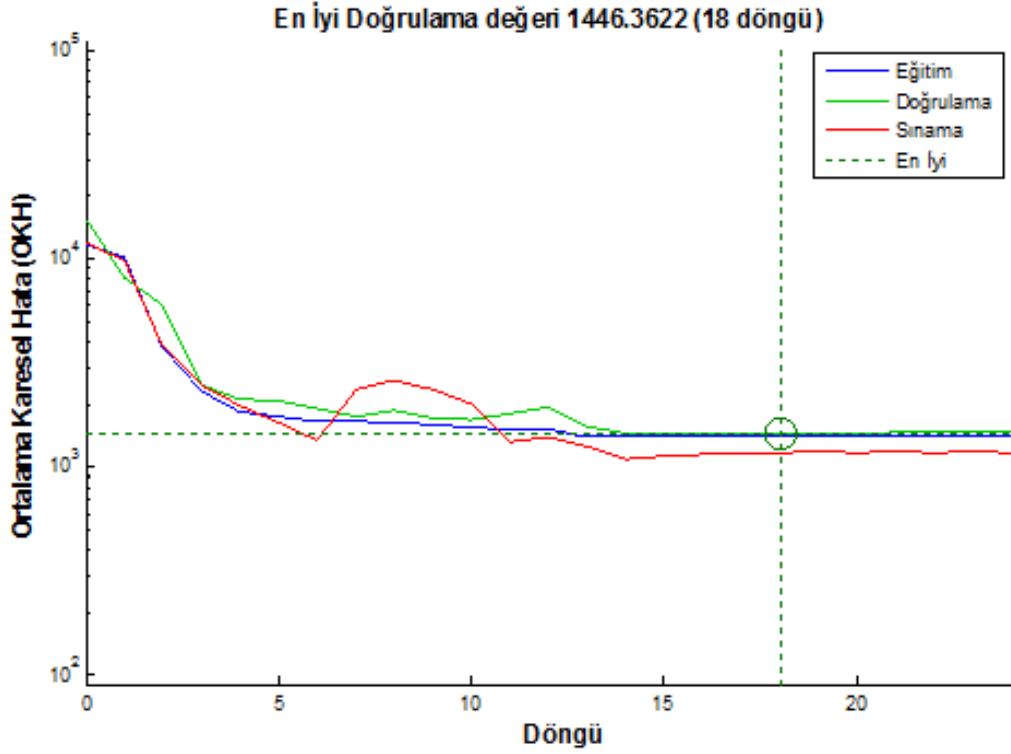
2) Hatalara etki eden bir başka faktör de saklı tabakada bulunan sinir hücresi (nöron) sayısıdır. Burada akla gelen 2. soru ise bu sinir hücrelerinin sayısı azaltılırsa veya çoğaltılırsa OKH en küçüklenebilir mi? Bu durumda da yapılacak olan işlem, hücre sayısının değişimiyle OKH'nın nasıl değiştiğidir. Doğru hücre sayısına ulaşıp ulaşılmadığı konusunda Şekil 4.20'de de görüldüğü üzere hata-hücre sayısı değişimine bakılmalıdır.

Öncelikle 2 hücre ile başlanarak bir OKH elde edilir ve hücre sayısı birer birer artırılarak eğitim tekrar yapılır. Bu işlem sırasında birbiri ardınca gelen hücre sayıları arasındaki bağıl hata %5'ten az olduğunda eldeki verilere göre en uygun hücre sayısı seçilmiş olur.

Bu bilgiler doğrultusunda 3 sinir hücresinden oluşan model için 2. bir eğitime bakmakta fayda vardır (Şekil 4.21). Şekil 4.22'de ise aynı modelde tahmin edilen denge oyulması derinliği değerleri ile ölçülen denge oyulması değerlerinin saçılmasına bakılmıştır.

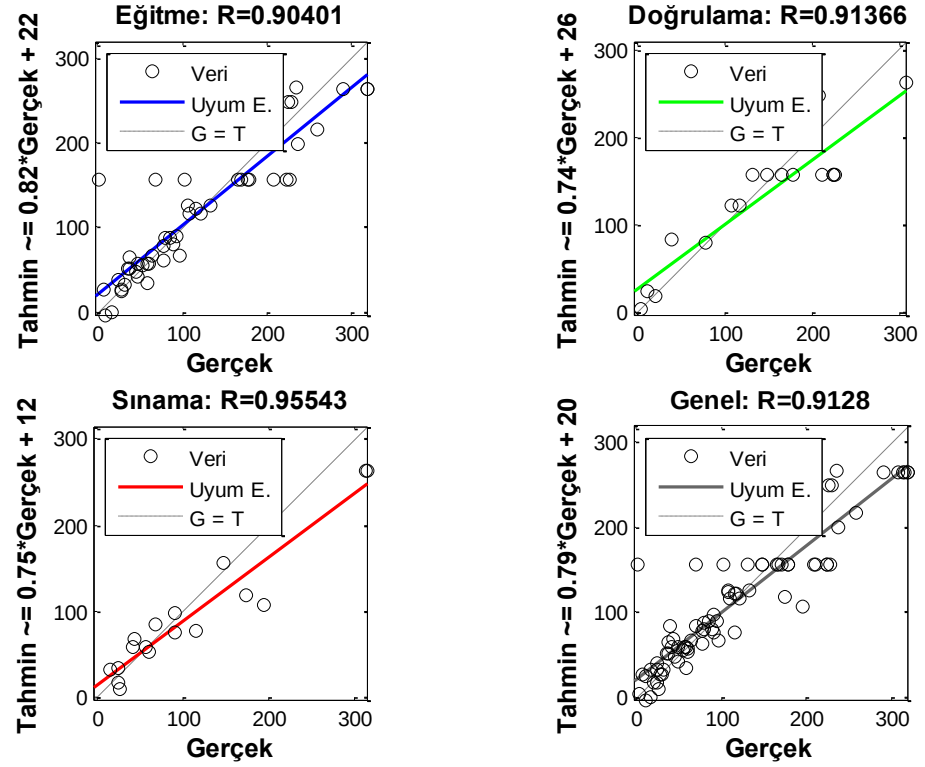


Şekil 4.20: Hata-hücre sayısı değişimi (Şen, 2004)



Şekil 4.21: 3 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası OKH değerleri

3 sinir hücresi 1. eğitim sonucunda en iyi OKH değeri 1079 çıkarken, 3 sinir hücresi 2. eğitim sonucu en iyi OKH değeri 1446 çıkmıştır. Burada eğitime devam edilmesi için iki değer arasındaki fark %5'ten az olmalıdır. Her iki eğitim için de tahmin edilen denge oyulması derinliği ve ölçülen denge oyulması derinliği değerlerinin saılmasına Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te bakılmıştır.

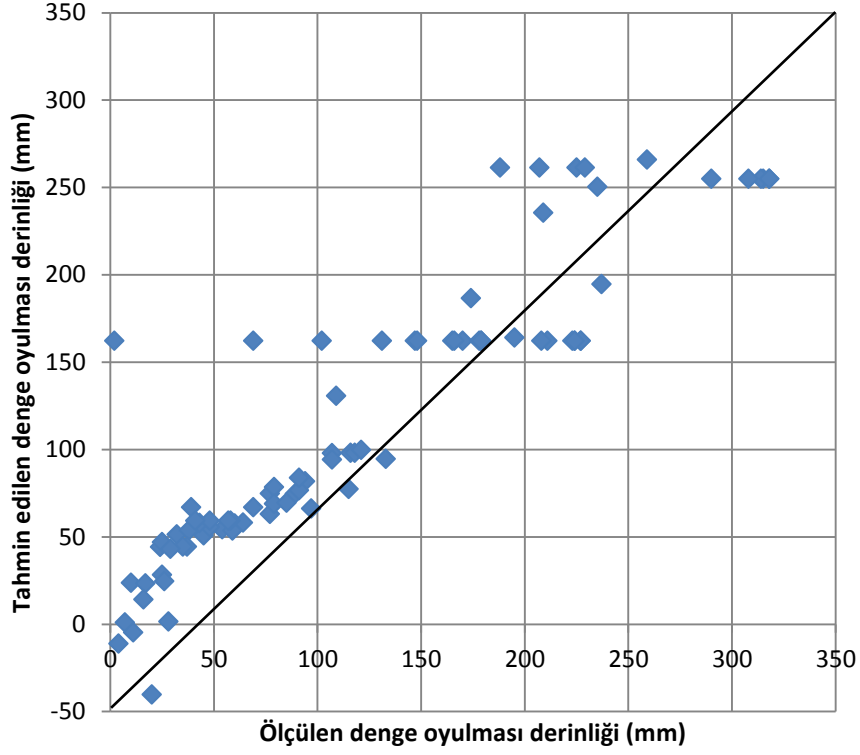


Şekil 4.22: 3 Sinir Hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması

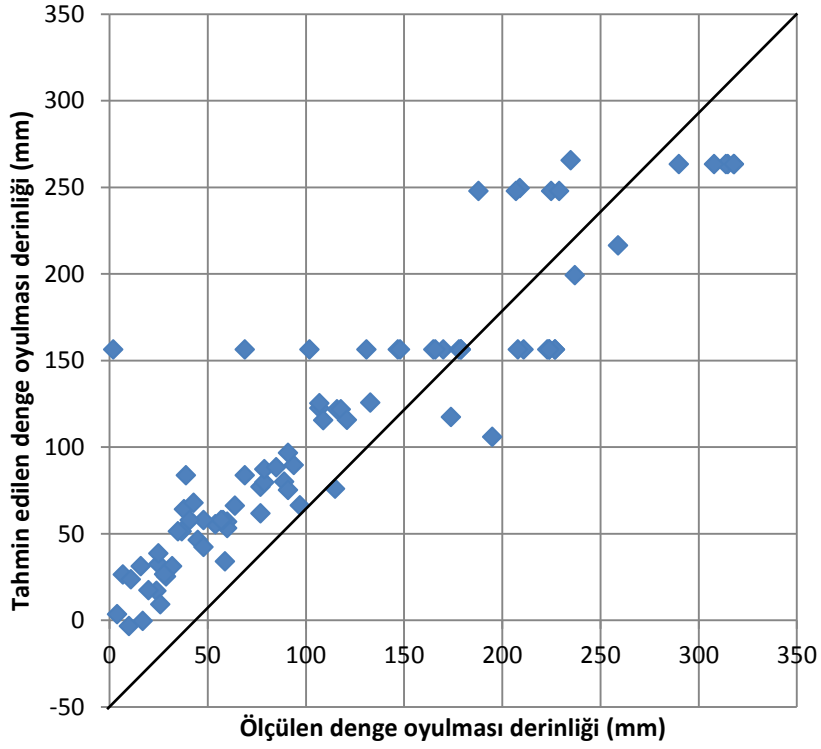
3 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası Şekil 4.23'te de görüldüğü üzere 100 mm'den küçük oyulma derinliği değerlerinde iyi tahminler yapmıştır. 25 mm'den daha küçük oyulma derinliği değerlerinde ise tahmin edilen değerler, ölçülen değerlerden daha küçük çıkmıştır. 100 mm'den büyük oyulma derinliği değerlerinde genel itibariyle isabetli tahminler yapılamamıştır. Bazı durumlarda tahminler ölçümlerin çok üstünde çıkarken bazı durumlarda da çok altında çıkmıştır. Dolayısıyla bu model, sadece 100 mm'den küçük oyulma derinliği değerleri için iyi denebilecek sonuçlar vermiştir.

En iyi YSA modelini kurabilmek için verilerin eğitilmesine devam edilmiştir. Bu kez 4 sinir hücresi ile yeni eğitimler yapılmıştır. 4 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonucu Şekil 4.25'te görülmektedir. Şekil 4.26'de ise tahmin edilen denge oyulması derinliği değerleri ile ölçülen denge oyulması değerlerinin saçılmasına bakılmıştır.

3 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası çıktıları Şekil 4.24'te görülmektedir. Şekil 4.24 ile kıyaslandığında benzer bir eğilim görülmektedir. Fakat Şekil 4.24'te 100 mm'den küçük değerler için daha az isabetli tahmin yapıldığı söylenebilir.

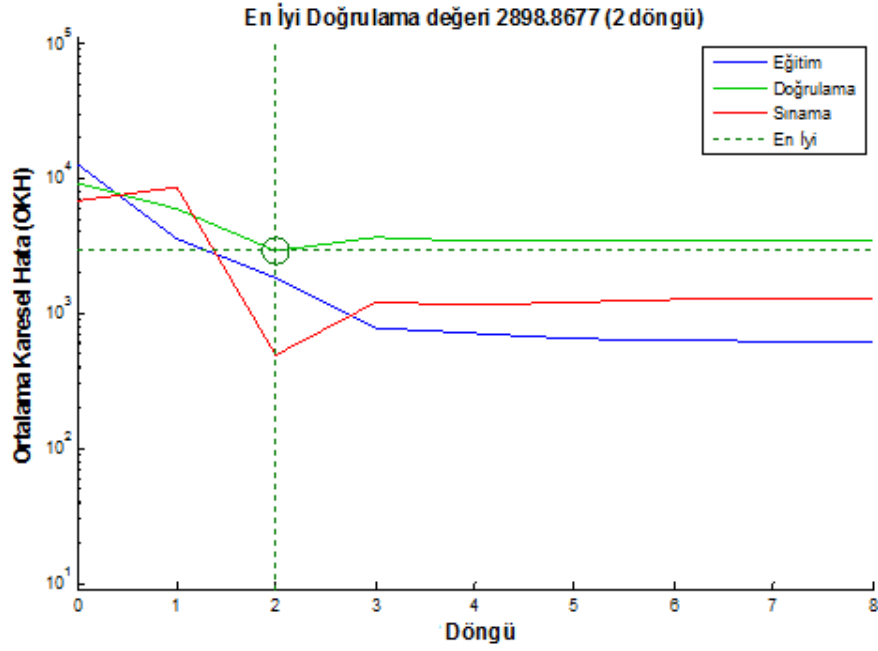


Şekil 4.23: 3 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası ölçülen ve tahmin edilen denge oyulması derinlikleri



Şekil 4.24: 3 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası ölçülen ve tahmin edilen denge oyulması derinlikleri

4 sinir hücresi ile kurulan modelde yapılan ilk eğitim sonrası OKH değeri yaklaşık 2899 çıkmıştır (Şekil 4.25). Bu değer 3 sinir hücresi ile kurulan modelde yapılan eğitimlerde çıkan OKH değerinden oldukça fazladır. Bunun yanısıra eğitme, doğrulama ve sinama veri kümelerine ait saçılma korelasyon değerleri sırasıyla 0.94, 0.78 ve 0.93'tür (Şekil 4.26). Fakat bu durum yerel bir durum olabilir. Bu yüzden 4 sinir hücresi ile kurulan modelde 2. eğitim de yapılmalıdır. Yapılan 2. eğitim sonucu OKH değerleri Şekil 4.27'de görülmektedir.

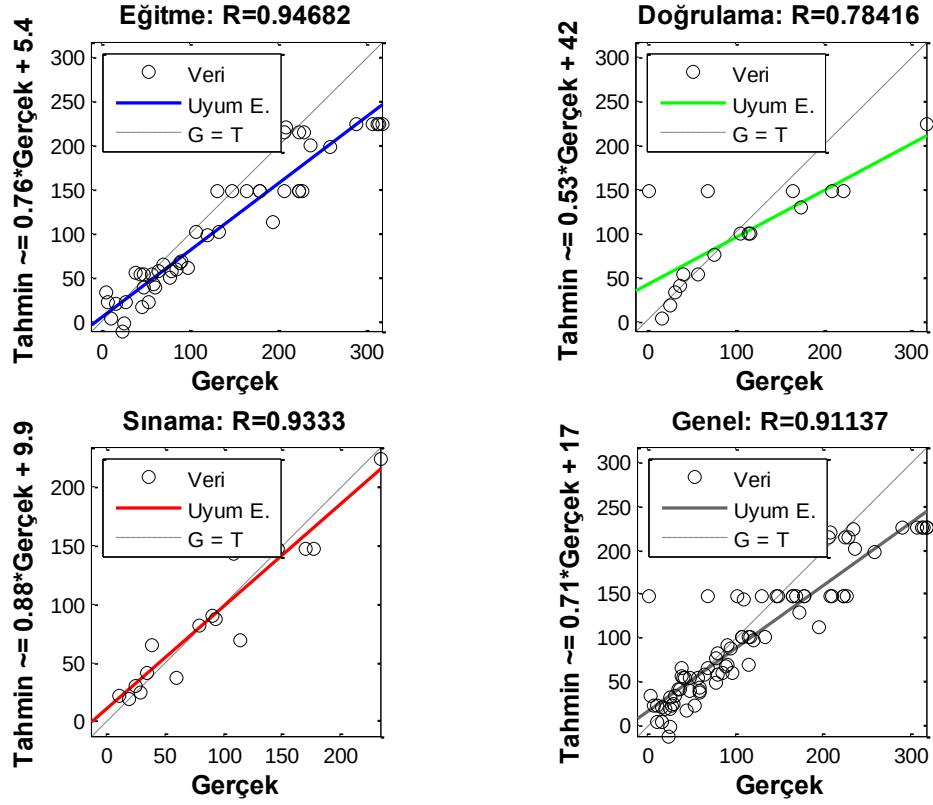


Şekil 4.25: 4 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası OKH değerleri

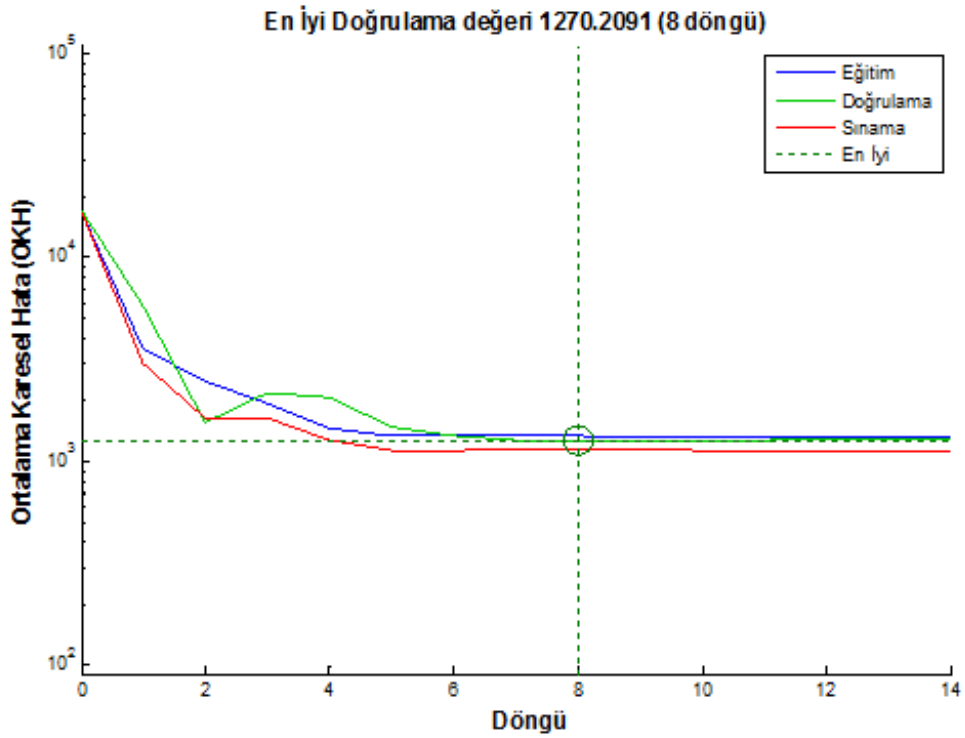
4 sinir hücresi 2. eğitim sonucu eğitim, doğrulama ve sinama veri kümeleri için elde edilen OKH değerleri sırasıyla 1321, 1270 ve 1138'dir. Görüldüğü üzere OKH değerleri bir hayli küçülmüştür. Bu nedenle ilk eğitim sonrası elde edilen büyük OKH değeri yerel bir durum olabilir. Yapılacak yeni eğitimlerde en iyi OKH değerlerine ulaşmak amaçlanmaktadır.

Şekil 4.28'de ise 4 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonucu tahmin edilen denge oyulması derinliği değerleri ile ölçülen denge oyulması değerlerinin saçılmasına bakılmıştır. 4 sinir hücresi 3. eğitim sonucu elde edilen OKH değerleri Şekil 4.29'da görülmektedir.

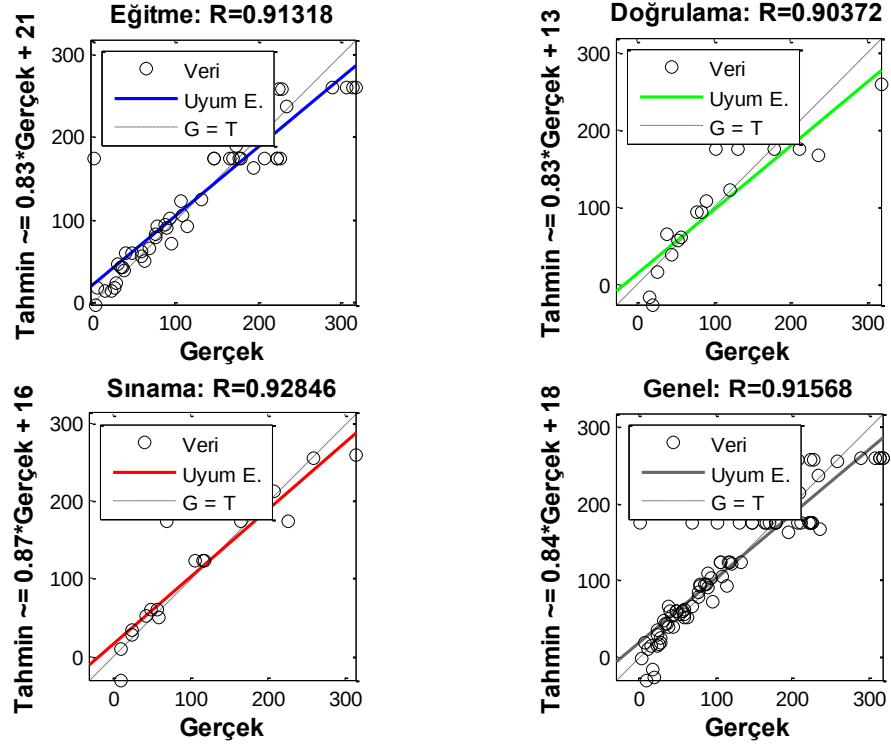
Şekil 4.30'da ise 4 sinir hücresi 3. eğitim sonucu tahmin edilen denge oyulması değerleri ile ölçülen denge oyulması derinliği değerlerinin saçılmasına bakılmıştır.



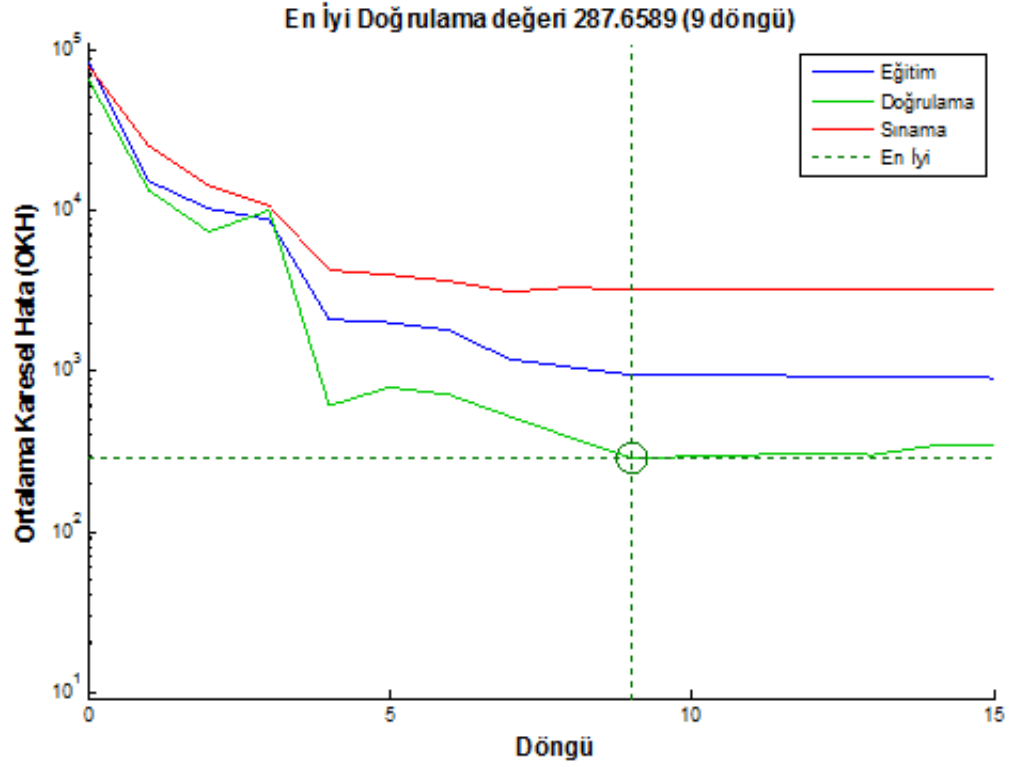
Şekil 4.26: 4 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması



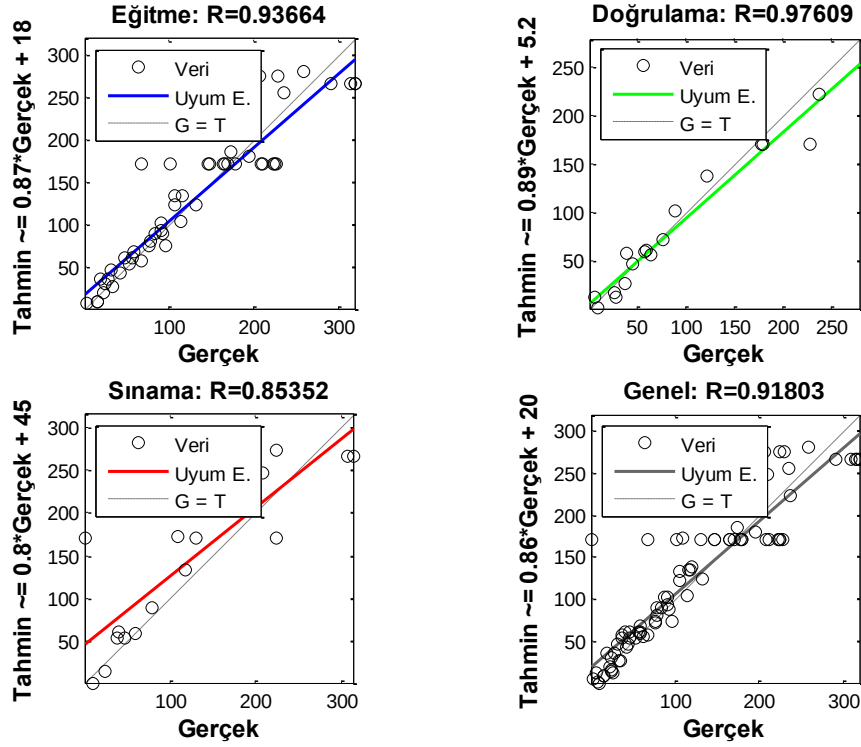
Şekil 4.27: 4 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası OKH değerleri



Şekil 4.28: 4 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması



Şekil 4.29: 4 sinir hücresi ile yapılan 3. eğitim sonrası OKH değerleri

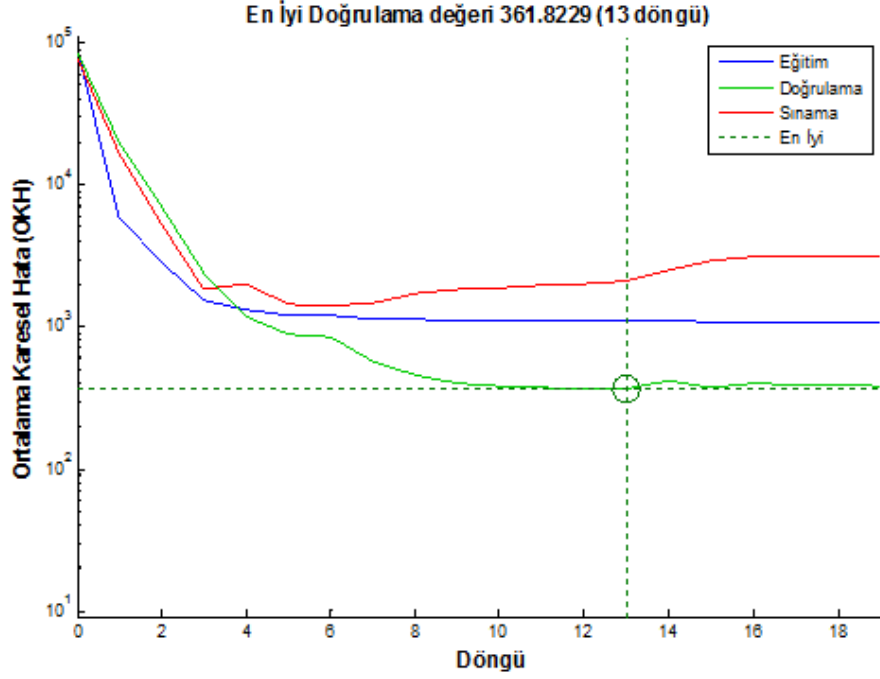


Şekil 4.30: 4 sinir hücresi ile yapılan 3. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması

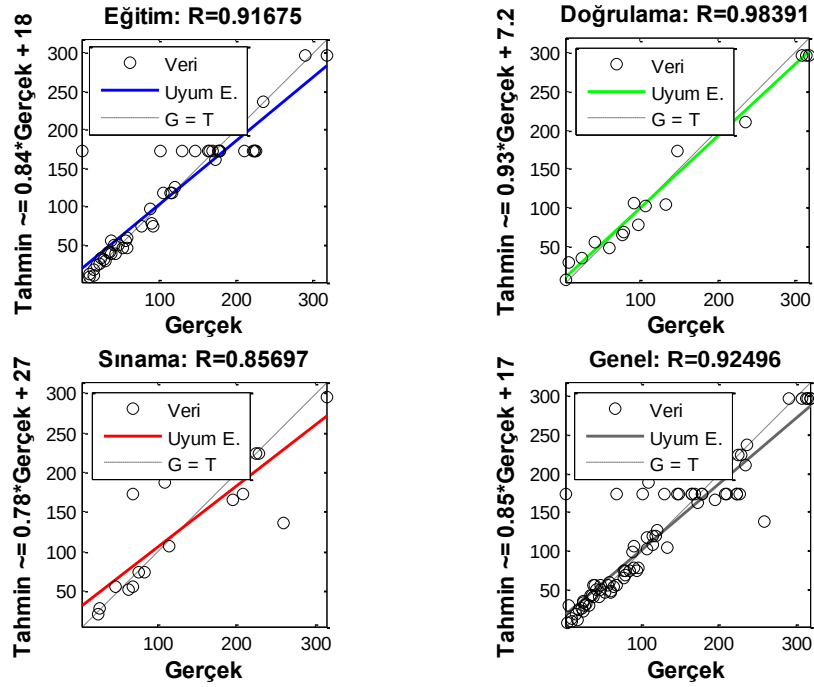
4 sinir hücresi ile yapılan 3. eğitim sonucu OKH değeri veri kümesinin doğrulama kısmında yaklaşık 287 değerini alırken, sınama kısmında yaklaşık 3142 değerini almıştır. Bunun anlamı kurulan model ve atanan başlangıç katsayıları, verilerin görünen kısımlarında iyi bir eğitim sürecinden geçerken, sınama kısmında başarısız olmuştur. Model, sistemi öğrenememiş aksine ezberlemiştir. OKH değerinin çok fazla artması 4 sinir hücresi için eğitimin burada sonlandırılması gerektiğini göstermektedir. Dolayısıyla 4 sinir hücresi ile kurulan modelde en iyi OKH değeri eğitime, doğrulama ve sınama verileri için sırasıyla yaklaşık 1280, 1270 ve 1200'dür.

En iyi modeli bulmak maksadıyla 5 sinir hücresi ile de eğitim yapılmıştır. 5 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası elde edilen OKH değerleri Şekil 4.31'deki gibidir. Şekil 4.32'de ise tahmin edilen denge oyulması derinliği değerleri ile ölçülen denge oyulması derinliği değerlerinin saçılmasına bakılmıştır.

5 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitimde doğrulama OKH değeri 361 gibi hayli düşük bir değer çıkmasına rağmen sınama OKH değeri yaklaşık 2070 gibi büyük bir değer çıkmıştır. Bir önceki sınama OKH değeri olan 1200 ile büyük bir fark olmasından dolayı eğitim burada bitirilmelidir.

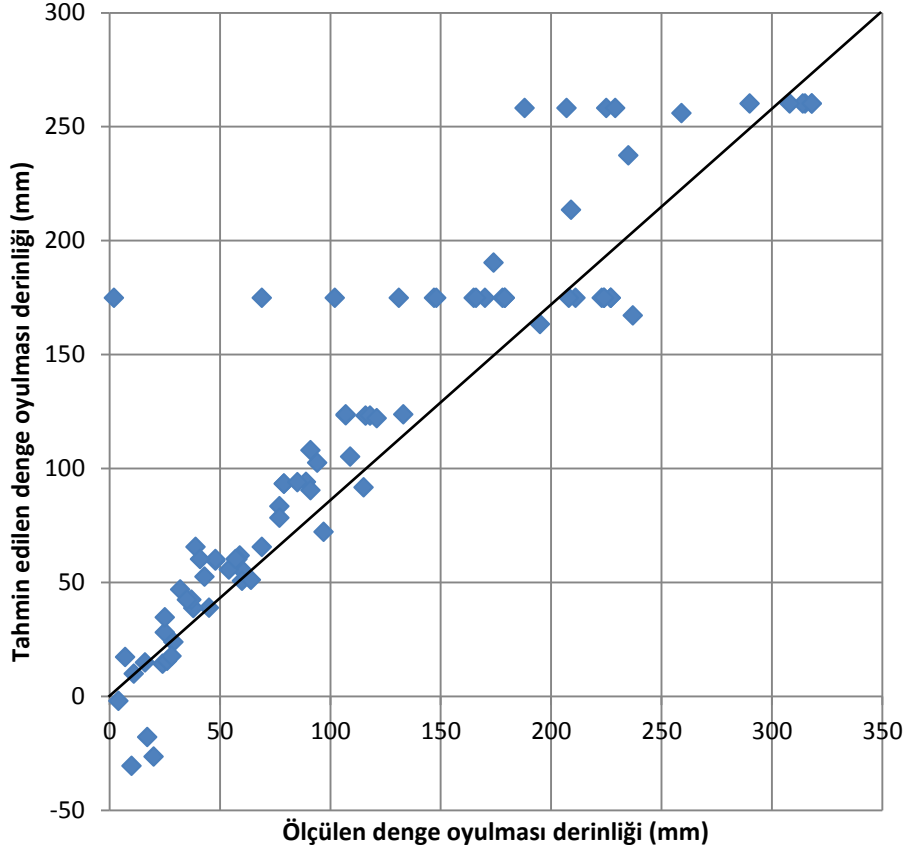


Şekil 4.31: 5 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası OKH değerleri



Şekil 4.32: 5 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması

İki girdi bir çıktı olarak düşünülen mekanizma için kullanılması gereken en iyi tahmin modeli 4 sinir hücresi ve 2. eğitimden elde edilen modeldir. Bu modelin gerçek ve tahmin verileriyle oluşturulmuş saçılma diyagramı Şekil 4.33'deki gibidir.



Şekil 4.33: 4 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası en iyi model

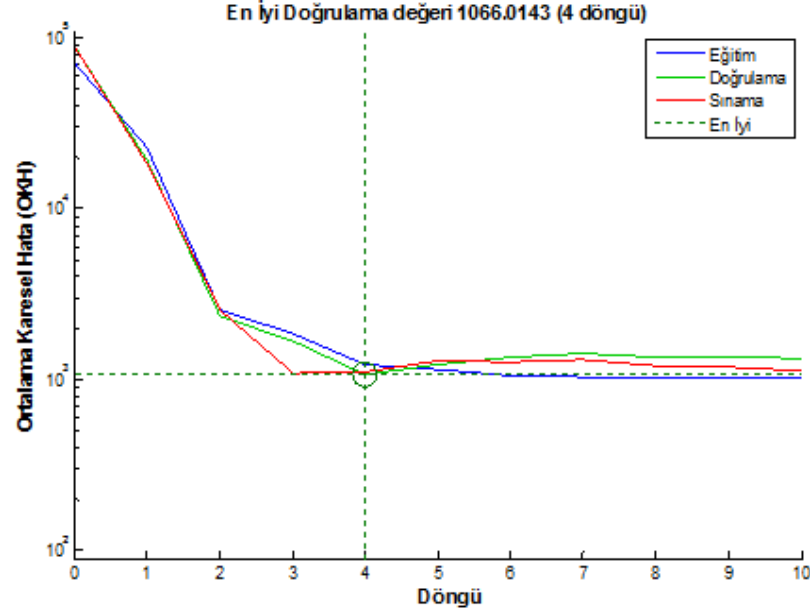
4.3.2 Üç girdi bir çıktılı YSA modeli

Çalışmanın YSA ile ilgili ikinci kısmında eğitime, doğrulama ve sınama verilerinin yüzde dağılımları yine sırasıyla %60, %20 ve %20 olarak seçilmiştir. İkinci kısımda kurulan modelde “ d_{se} ” denge oyulması çıktısı ile en çok ilişkili olarak gözlenen “D” köprü ayak çapı, “ V/V_c ” akım hızının kritik hıza oranı ve “y” ortalama akım yaklaşım derinliği ele alınmıştır. Veri analizinin YSA kısmında yapılacak işlemler Bölüm 4.3.1’deki işlemlerle aynıdır.

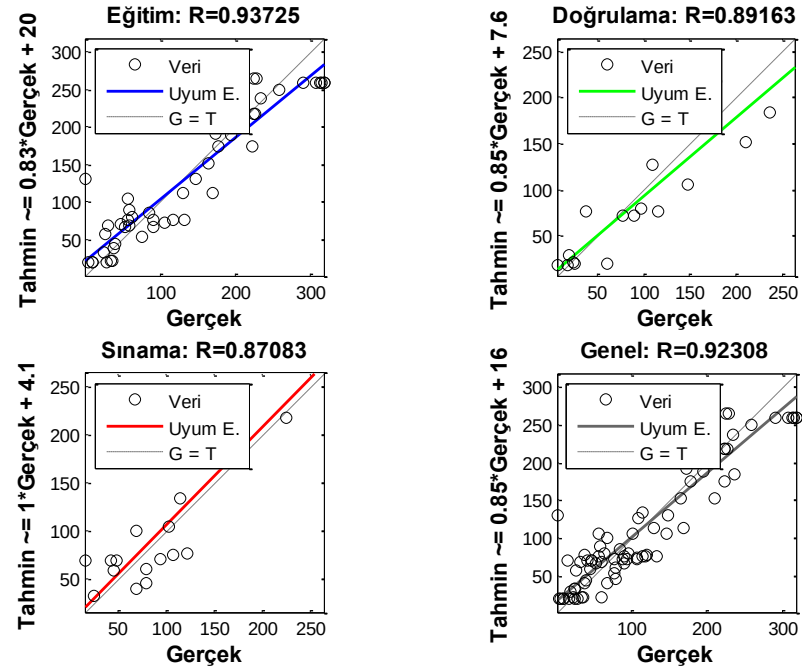
İlk başta yine gizli tabakada iki sinir hücresi bulunan modelde eğitim yapılır ve sonuçlarına bakılır. Bu sonuçlara göre OKH değerleri Şekil 4.34’te görülmektedir. Şekil 4.35’te ise tahmin edilen denge oyulması değerleri ile ölçülen denge oyulması derinliği değerlerinin saçılmasına bakılmıştır.

Görüldüğü üzere 2 adet sinir hücresi kullanılarak incelenen ilişki için elde edilen sonuçlar yine oldukça tatmin edicidir. Özellikle sınama değerlerinin burda da % 87 gibi yüksek bir değer çıkması sistemin modeli ezberlemeyip öğrendiği anlamına gelir. Fakat bundan emin olmak için OKH değerlerine de bakmakta fayda vardır.

OKH değerleri de eğitme, doğrulama ve sınama verileri için sırasıyla 1228, 1066 ve 1105 çıkmıştır. 3 girdi 1 çıktıdan oluşan modeli en iyilemek için sinir hücreleri sayısının artırılmış ve sonuçlarına bakılmıştır.

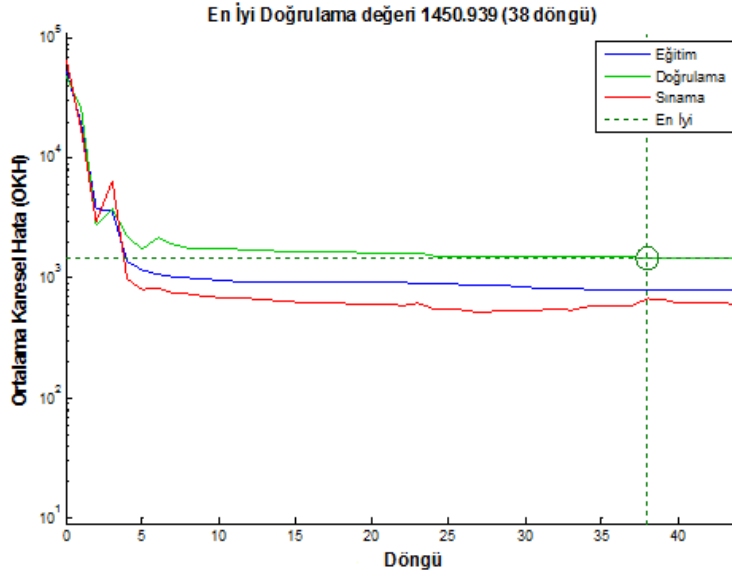


Şekil 4.34: 2 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası OKH değerleri



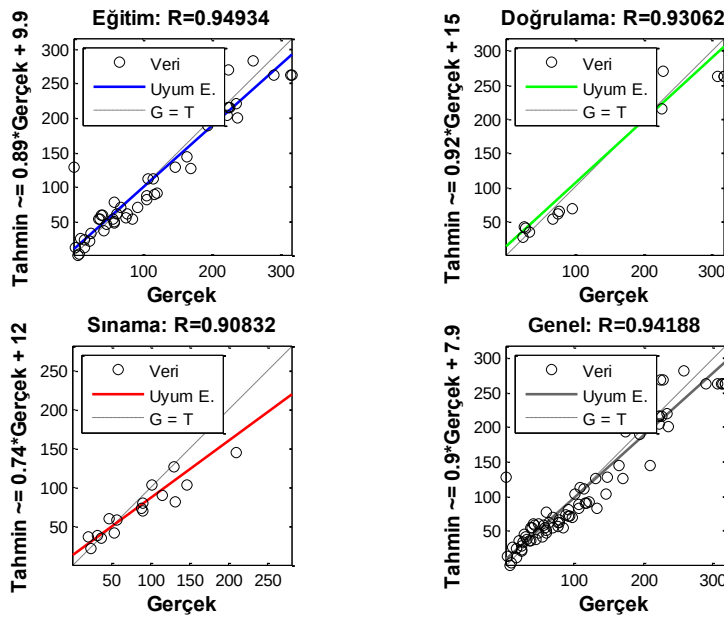
Şekil 4.35: 2 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması

3 girdi 1 çıktıdan oluşan bu model için 3 sinir hücresi yerleştirilerek kurulan yeni modelde OKH değerleri Şekil 4.36’da görülmektedir.



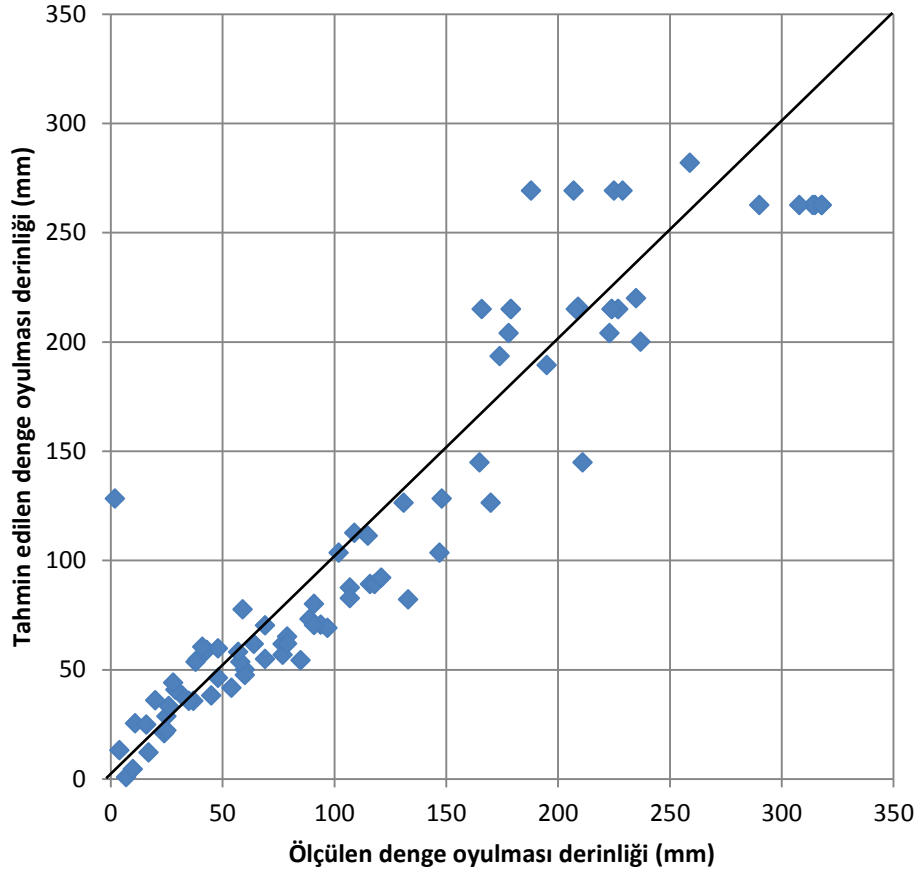
Şekil 4.36: 3 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası OKH değerleri

OKH değerleri eğitme, doğrulama ve sınama verileri için sırasıyla 801, 1450 ve 669’dur. Dikkat edilirse sınama verileri için OKH değeri biraz daha küçülmüştür. Şekil 4.37’de ise tahmin edilen denge oyulması derinliği değerleri ile ölçülen denge oyulması derinliği değerlerinin saçılmasına bakılmıştır.



Şekil 4.37: 3 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması

Bununla birlikte tüm gerçek verilerle tahmin verilerinin saçılması Şekil 4.38’de verilmiştir. 3 sinir hücresi ile kurulan modelde yapılan 1. eğitim sonrası Şekil 4.38’e bakıldığında 100 mm’den küçük oyulma derinliği değerlerinde yapılan tahmin değerleriyle ölçülen değerler birbirine yakındır. Model, 100 mm’den büyük olan oyulma değerlerinde ise tahmin edilen oyulma derinliği değerleri, ölçülen oyulma derinliği değerlerinin altında kalmıştır.

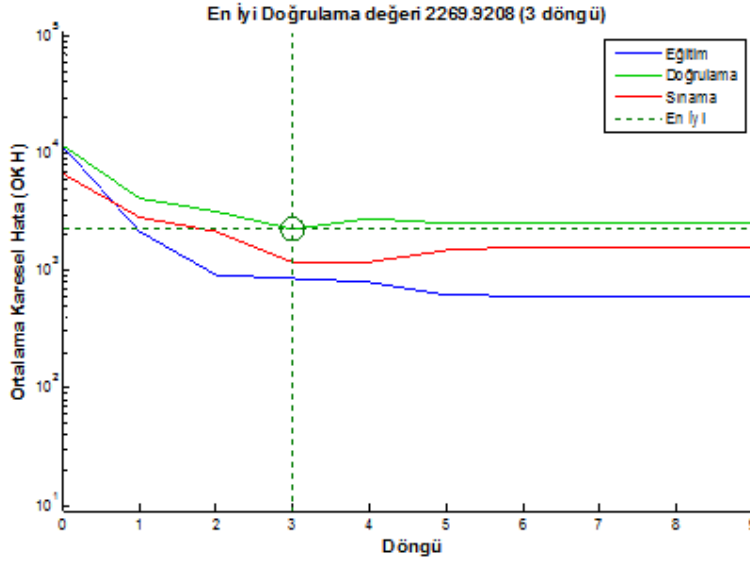


Şekil 4.38: 3 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası en iyi model

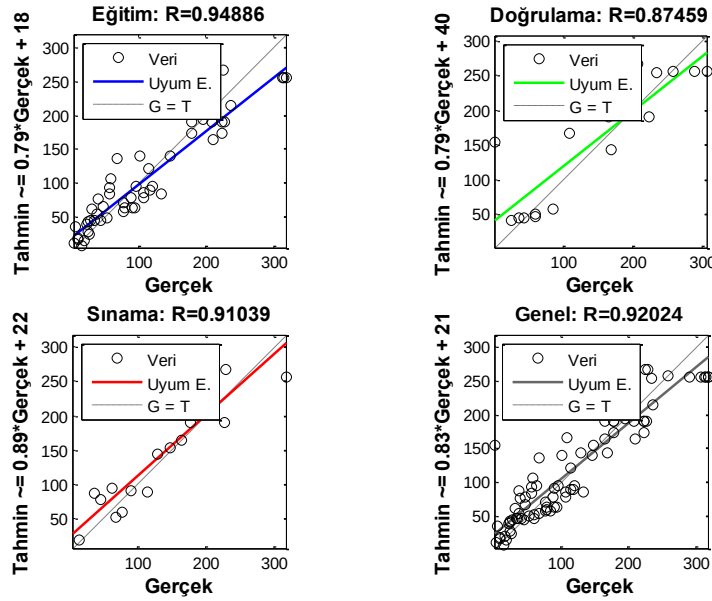
3 sinir hücresi ile yapılan ikinci eğitim sonucu OKH değerleri Şekil 4.39’da görülmektedir. Şekil 4.40’ta ise tahmin edilen oyulma derinliği değerleri ile ölçülen oyulma derinliği değerlerinin saçılmasına bakılmıştır.

OKH değerlerine eğitime, doğrulama ve sınama verileri için sırasıyla 864, 2269 ve 1171’dir. Burada eğitime devam edilmeli mi? eğitim sonlandırılmalı mı? sorularına cevap olarak, yeni en küçük hatanın bir öncekinden fazlaca farklı (%5’ten fazla) olması sebebiyle ikisinin de mutlak en küçük durum olmadığı anlaşılır. Bu yüzden yeni bağlantı katsayıları ve başlangıç değerleri atanarak yeni eğitim yapılmalıdır. Bu şekilde birkaç farklı eğitim yapıldıktan sonra, en iyi hata değerine ulaşılp

ulaşılmadığına karar verilir (Şen, 2004). Bu sebeple yapılan 3. eğitim sonucunda ulaşılan OKH değerleri Şekil 4.41’de görülmektedir.



Şekil 4.39: 3 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası OKH değerleri

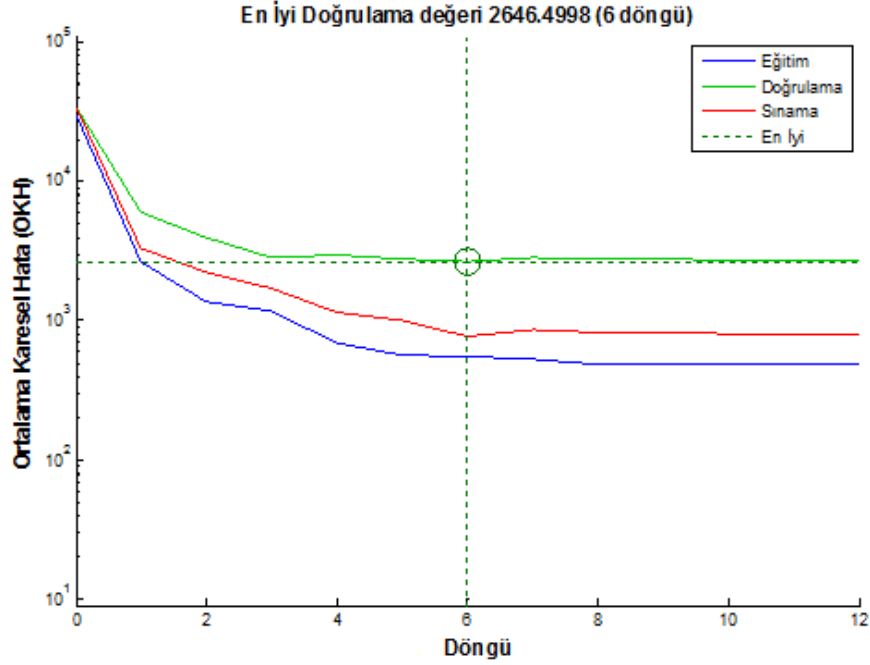


Şekil 4.40: 3 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması

Bu değerler eğitime, doğrulama ve sınama verileri için sırasıyla 557, 2646 ve 766’dır. Bir önceki eğitim sonucu ortaya çıkan değerlerle arada büyük fark olması yeni eğitimlere bakılmasına ihtiyaç bırakmaktadır.

4. eğitim sonrası bulunan OKH değerleri yine sırasıyla 919, 1512 ve 1359’dur. 5. eğitime bakılırsa bulunan OKH değerleri sırasıyla 924, 612 ve 1261’dir. Bu

değerlerin bir önceki değerlere yakın olması eğitimin burada sonlandırılması ve 3 sinir hücresi ile oluşturulan bu model için bu başlangıç katsayılarını kullanılması şeklinde yorumlanabilir.

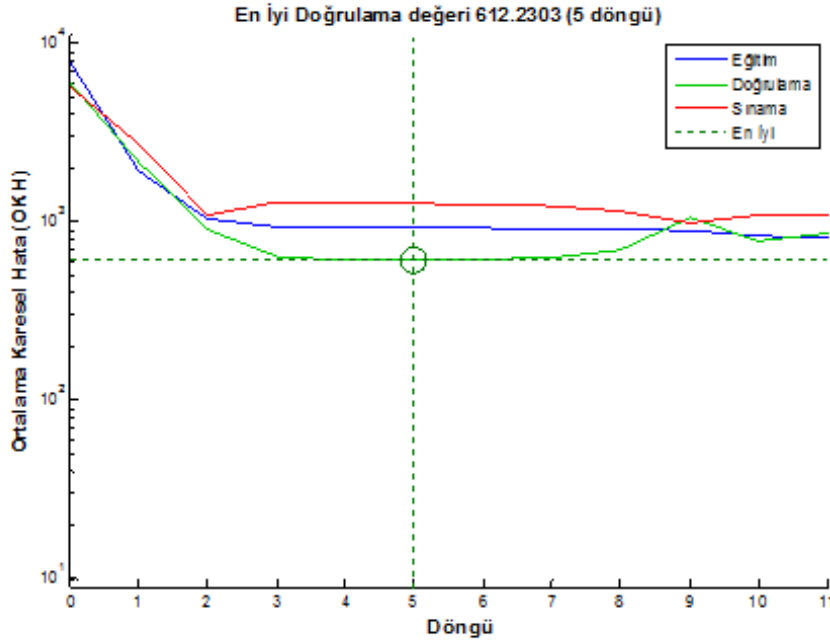


Şekil 4.41: 3 sinir hücresi ile yapılan 3. eğitim sonrası OKH değerleri

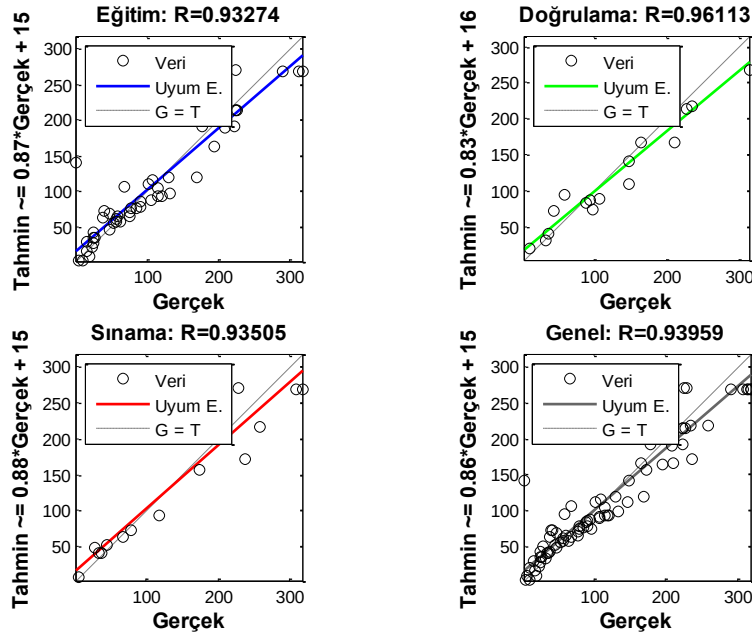
3 girdi 1 çıktılı model için 5. eğitim sonrası elde edilen OKH değerleri Şekil 4.42’de görülmektedir. Şekil 4.43’te ise tahmin edilen oyulma derinliği değerleri ile ölçülen oyulma derinliği değerlerinin saçılmasına bakılmıştır.

Eğitimlerin 3 sinir hücresi ile kurulan modelde sonlandırılmasının ardından, bu model için elde edilen en iyi tahmine bakılmıştır. Bununla birlikte sinir hücresi sayısı artırılıp tahminlerin en iyilenmesine devam edilmiştir. Bu yüzden 4 sinir hücresi ile 3 girdi 1 çıktıdan oluşan model incelenmiştir. Bu modele ait OKH değerleri Şekil 4.44’te görülmektedir.

Bu modelin 1. eğitim sonrasında elde edilen OKH değerleri eğitime, doğrulama ve sınama verileri için sırasıyla 749, 177 ve 1286’dır. Doğrulama verileri için OKH değerleri bir hayli düşük iken sınama verileri için bu değer yüksektir. YSA modellerinde OKH değerlerine bakılırken sınama değerlerine bakılmalıdır. Bu sebeple 4 sinir hücresi için de yine birkaç eğitim yapıp en iyi sonuç alınmalıdır. Şekil 4.45’te ise tahmin edilen oyulma derinliği değerleri ile ölçülen oyulma derinliği değerlerinin saçılmasına bakılmıştır.

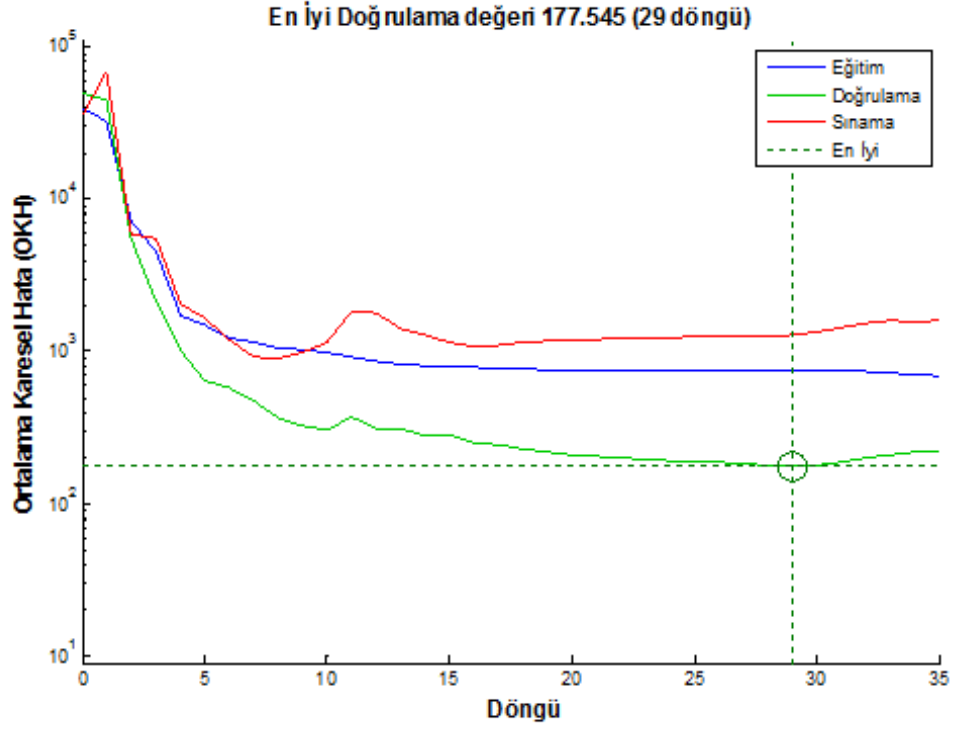


Şekil 4.42: 3 sinir hücresi ile yapılan 5. eğitim sonrası OKH değerleri

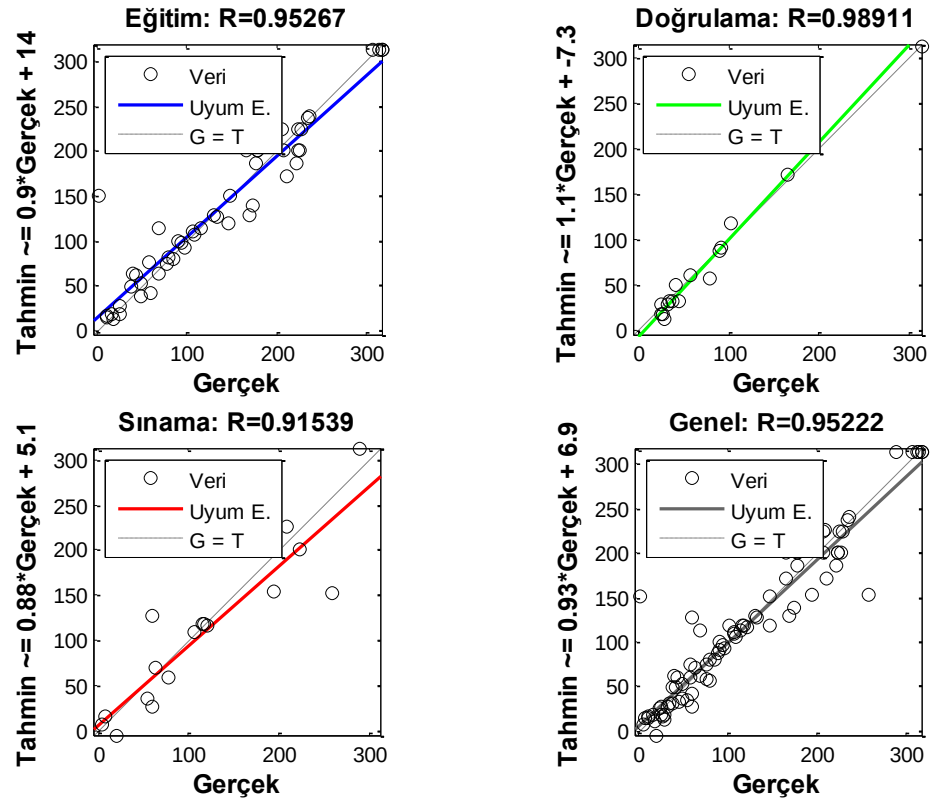


Şekil 4.43: 3 sinir hücresi ile yapılan 5. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılımı

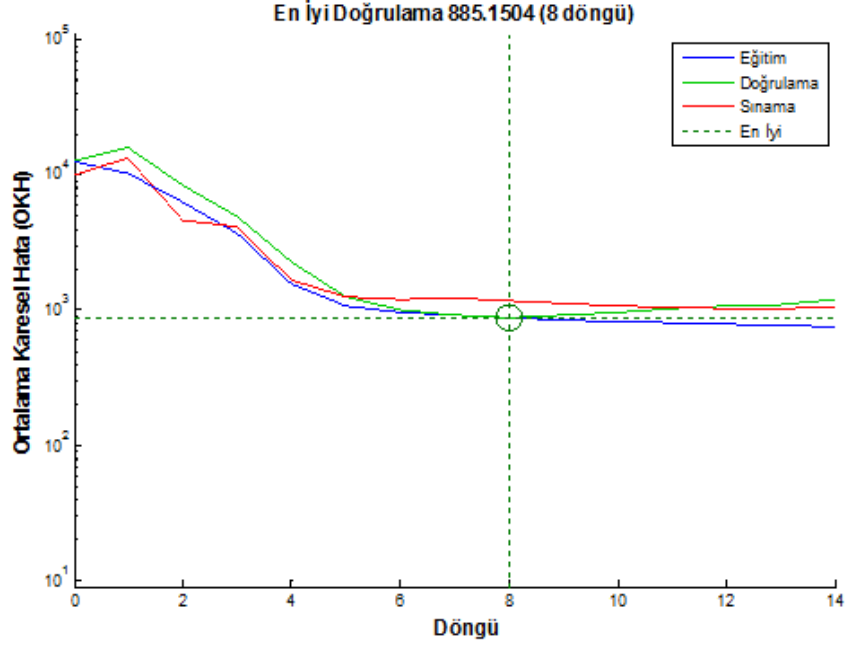
Şekil 4.46'da ise 4 sinir hücresi 2 eğitim sonucu elde edilen OKH değerleri yer almaktadır. Değerler sırasıyla 874, 885 ve 1184'tür. Sınama OKH değerinde fazlaca değişiklik olmaması eğitimin 4 sinir hücresi için burada durdurulması gerektiğini göstermektedir.



Şekil 4.44: 4 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası OKH değerleri

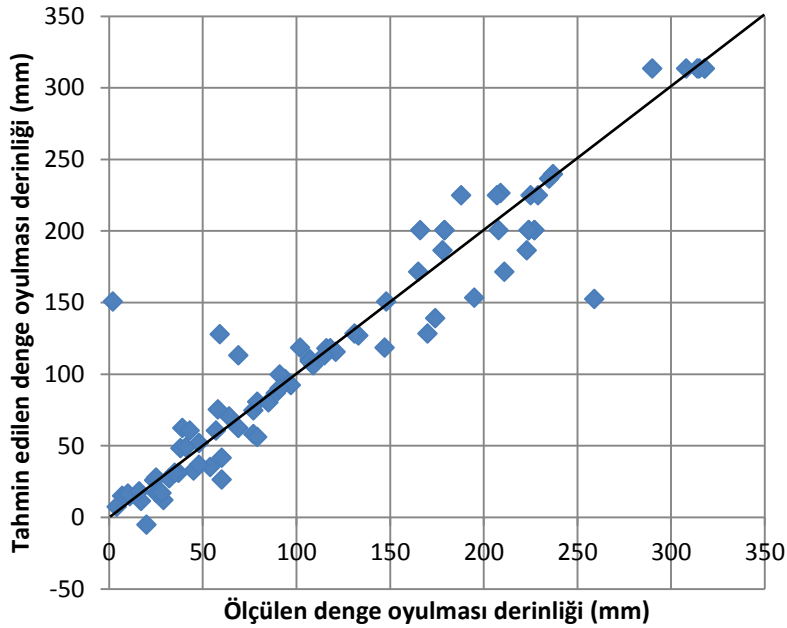


Şekil 4.45: 4 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması



Şekil 4.46: 4 sinir shresi ile yapılan 2. eğitim sonrası OKH değerleri

3 girdi 1 çıktıdan oluşan model için 4 sinir hücresi OKH sınama değeri (1184) ile 3 sinir hücresi OKH sınama değeri (1261) arasında çok küçük bir fark olması nedeniyle 3 girdi 1 çıktı modelinde en iyi hücre sayısı 4 olarak seçilmiştir. 3 girdi 1 çıktı modeli için en iyi sinir hücresi sayısı ile yapılan tahminler sonucu, tahmin edilen denge oyulması derinliği ve ölçülen denge oyulması değerlerinin saçılma diyagramı Şekil 4.47'deki gibidir.

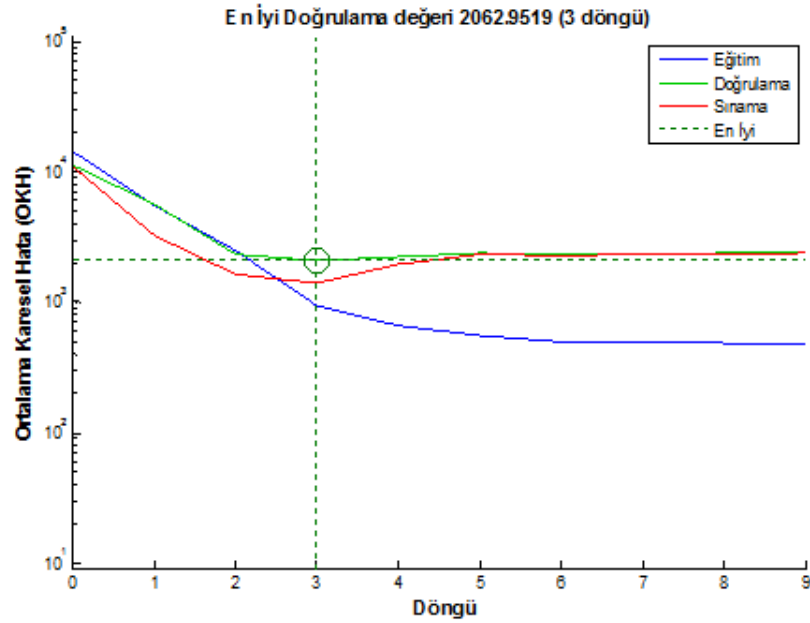


Şekil 4.47: 4 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası en iyi model

4.3.3 Dört girdi bir çıktılı YSA modeli

İkinci kısımda kurulan modelde “ d_{se} ” denge oyulması çıktısı ile en çok ilişkili olarak gözlenen “D” köprü ayak çapı, “ V/V_c ” akım hızının kritik hıza oranı, “y” ortalama akım yaklaşım derinliği ve “V” ortalama akım yaklaşım hızı ele alınmıştır. Veri analizinin YSA kısmında yapılacak işlemler Bölüm 4.3.1’deki işlemlerle aynıdır. Karşılaştırma yapılabilmesi için eğitime, doğrulama ve sınama veri yüzdeleri yine sırasıyla %60, %20, %20 seçilmiştir.

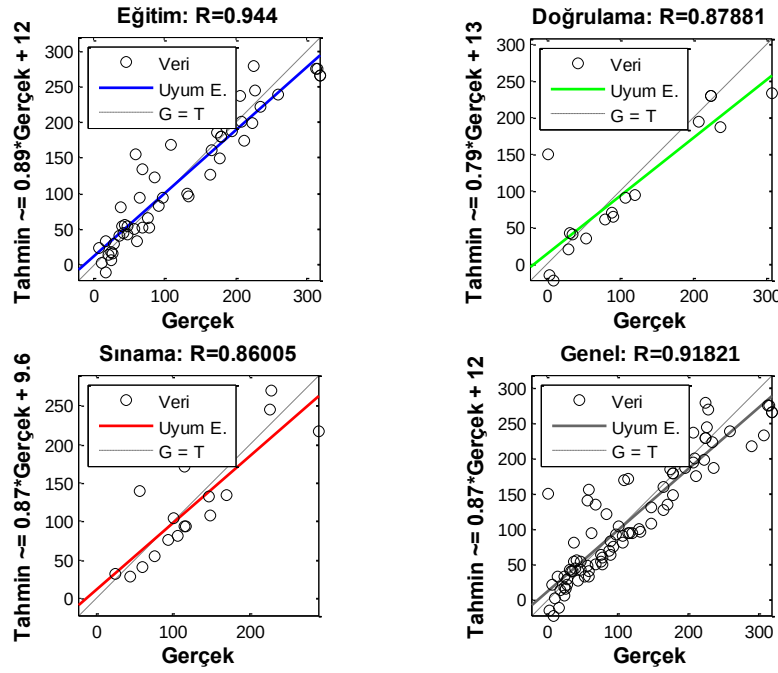
Öncelikle yine gizli tabakada iki sinir hücresi bulunan modelde eğitim yapılmış ve sonuçlarına bakılmıştır. Bu sonuçlara göre OKH değerleri Şekil 4.48’de görülmektedir. Şekil 4.49’da ise tahmin edilen denge oyulması değerleri ile ölçülen denge oyulması değerlerinin saçılmasına bakılmıştır.



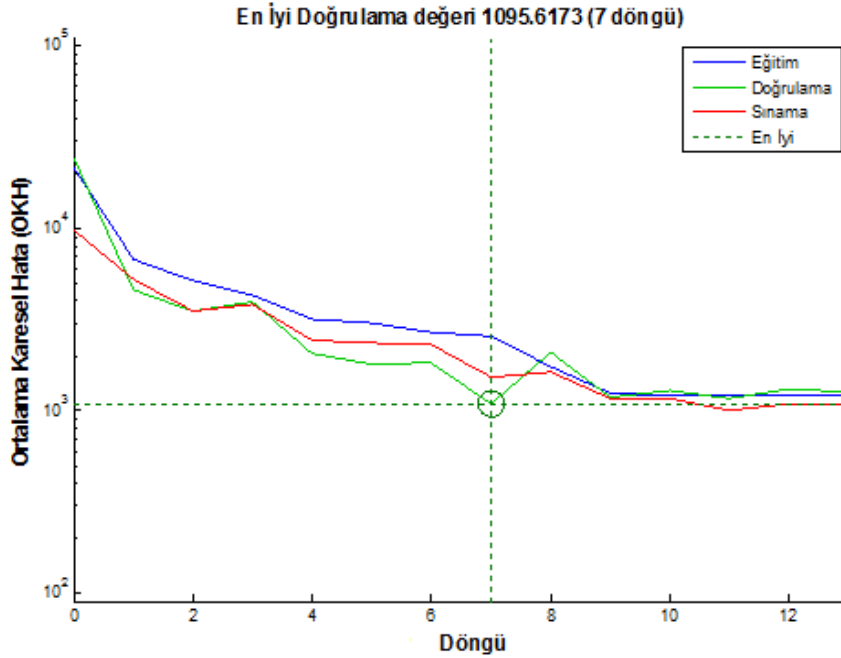
Şekil 4.48: 2 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası OKH değerleri

Yine görüldüğü üzere 2 adet sinir hücresi kullanılarak incelenen ilişki için elde edilen sonuçlar oldukça tatmin edicidir. Sınama değerleri % 86 gibi yüksek bir değer çıkması sistemin modeli ezberlemeyip öğrendiği anlamına gelir. Fakat bundan emin olmak için OKH değerlerine de bakmak gerekmektedir. OKH değerleri de eğitime, doğrulama ve sınama verileri için sırasıyla 942, 2062 ve 1394 bulunmuştur. 4 girdi 1 çıktıdan oluşan modeli en iyilemek için sinir hücreleri sayısı artırılmış ve sonuçlara bakılmıştır.

4 girdi 1 çıktıdan oluşan bu model için 3 sinir hücresi yerleştirilerek kurulan yeni modelde OKH değerleri Şekil 4.50’de görülmektedir.



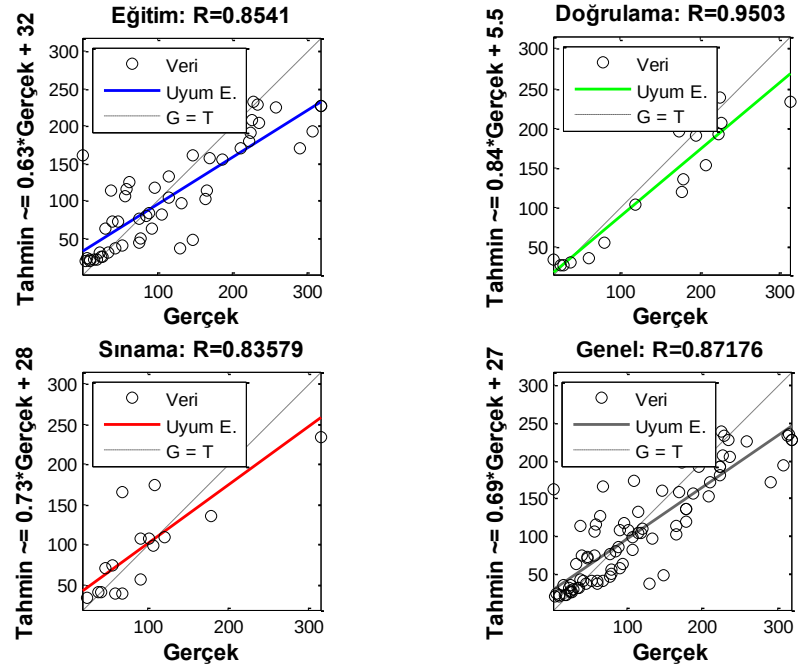
Şekil 4.49: 2 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması



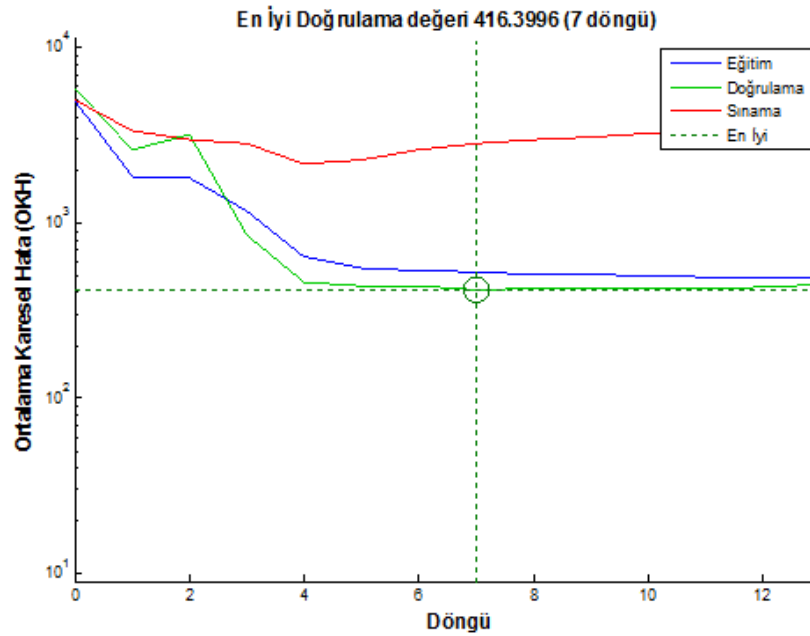
Şekil 4.50: 3 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası OKH değerleri

Şekil 4.51’da ise tahmin edilen denge oyulması derinliği değerleri ile ölçülen denge oyulması değerlerinin saçılmasına bakılmıştır. Bu eğitim sonrası OKH değerleri

eğitme, doğrulama ve sınama verileri için sırasıyla 2561, 1095 ve 1527'dir. Bu değerler ışığında yeni bir eğitim yapıp hata değerleri ve korelasyon değerlerine bakılmalıdır. 3 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonucu OKH değerleri Şekil 4.52'de görülmektedir.

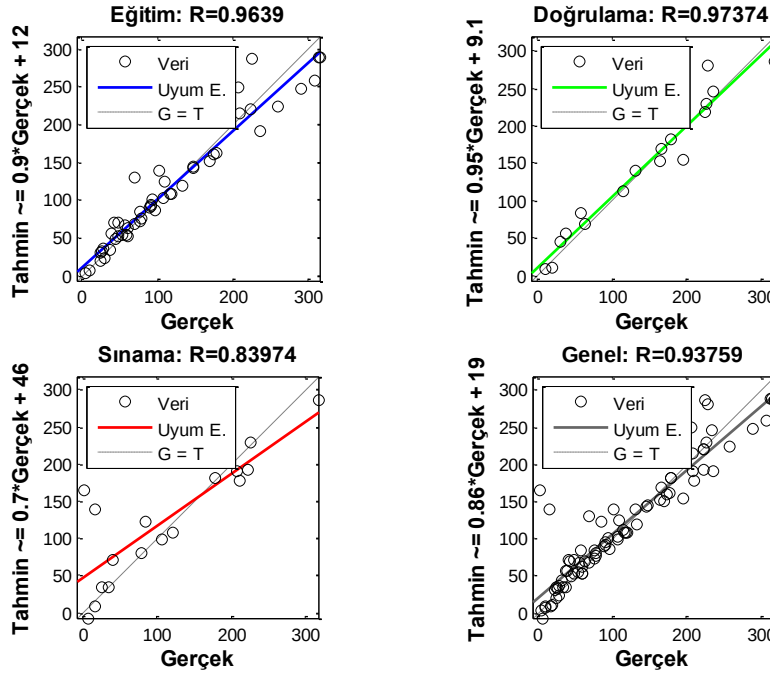


Şekil 4.51: 3 sinir hücresi ile yapılan 1. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması



Şekil 4.52: 3 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası OKH değerleri

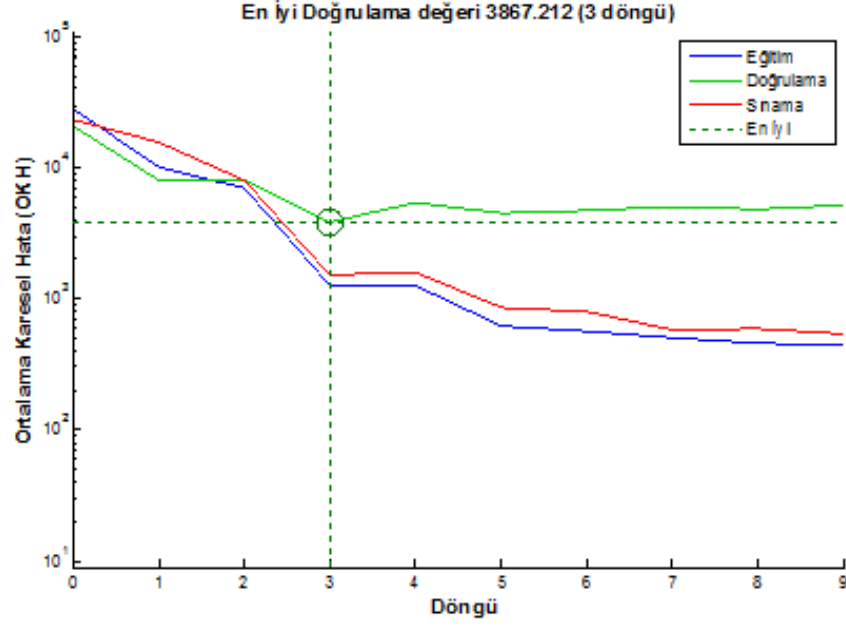
OKH değerleri eğitim, doğrulama ve sınama verileri için sırasıyla 522, 416 ve 2810'dur. OKH değerlerinin, model verilerindeki eğitime ve doğrulama kısımlarında birbirine yakın ve küçük bir değer alması, buna karşın sınama kısmında ise nisbeten büyük değer alması, sistemin modeli öğrenmeyip ezberlediği anlamına gelebilir. Dolayısıyla birkaç eğitim yaparak, 3 sinir hücreli bu model için en iyi tahmin elde edilmeye çalışılmıştır. Şekil 4.53'te ise tahmin edilen denge oyulması derinliği değerleri ile ölçülen denge oyulması değerlerinin saçılmasına bakılmıştır.



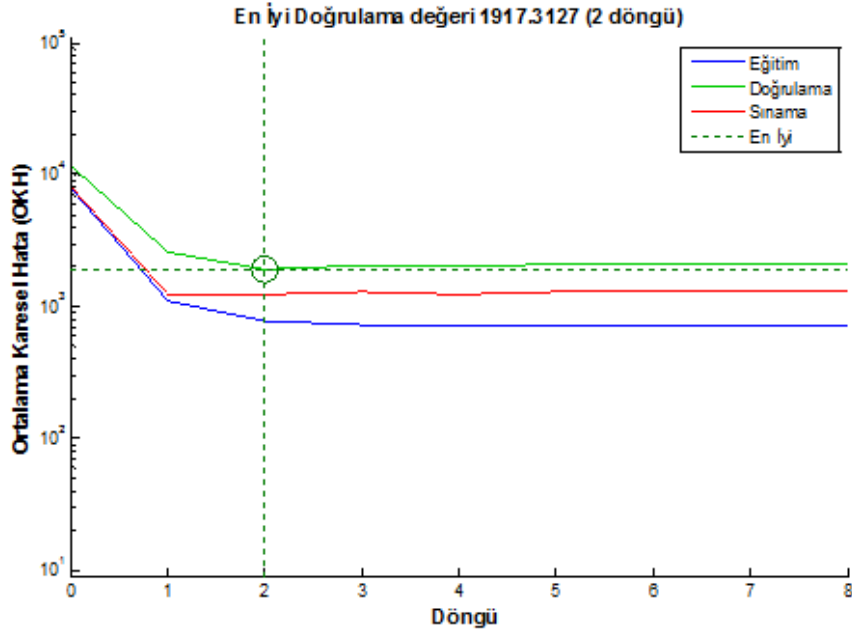
Şekil 4.53: 3 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması

3 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonucu OKH değerleri Şekil 4.54'te görülmektedir. Bu eğitim sonucu OKH değerleri eğitime, doğrulama ve sınama veri parçaları için sırasıyla 1281, 3867 ve 1532'dir. OKH değerlerinde büyük değişimlerin olması doğru katsayıların seçilemediğini göstermektedir. Dolayısıyla yeni bir eğitim daha yapılmış ve sonuçlarına bakılmıştır (Şekil 4.55).

Bu modelde yapılan 4. eğitim sonucu OKH değerleri sırasıyla 773, 1917 ve 1235'tir. Yapılan 4. eğitim sonunda tahmin edilen denge oyulması derinliği değerleri ile ölçülen denge oyulması değerlerinin saçılmasına Şekil 4.56'da bakılmıştır. Bu saçılma diyagramında görüldüğü üzere 150 mm'den küçük denge oyulması derinliklerinde model genel itibariyle iyi tahminler yapmıştır. Özellikle 200 ile 250 mm'lik denge oyulması derinliği değerlerinde model çok iyi tahminler yapamamıştır.

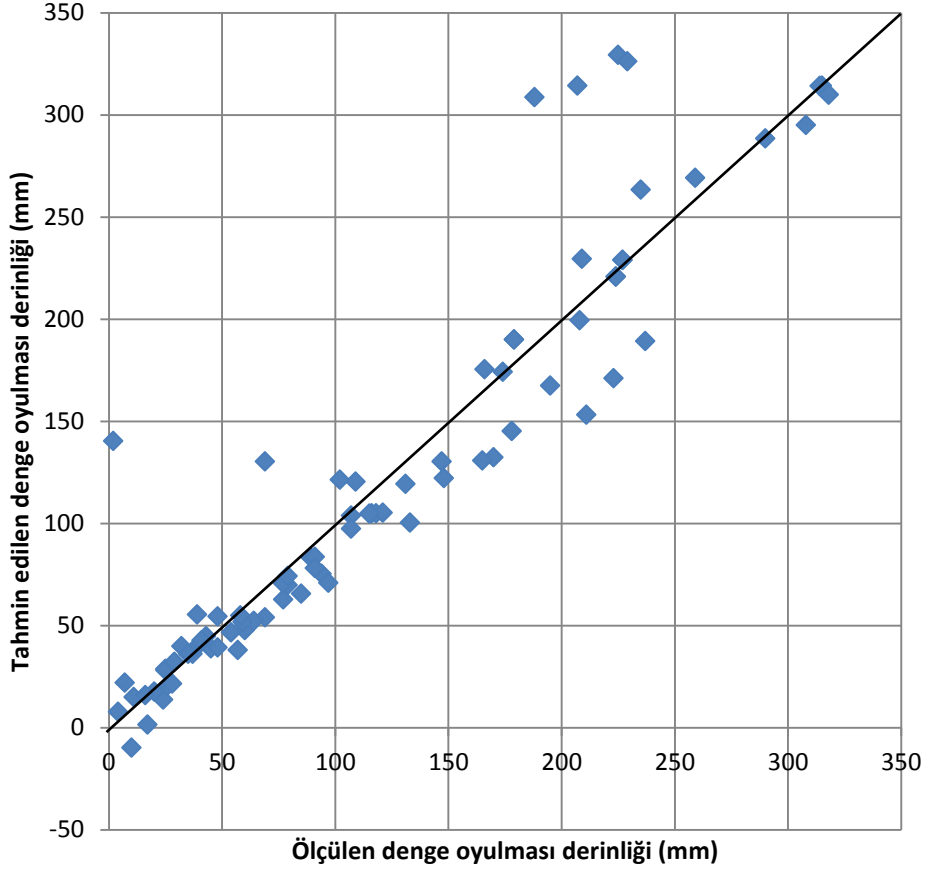


Şekil 4.54: 3 Sinir Hücresi ile yapılan 3. Eğitim sonrası OKH değerleri

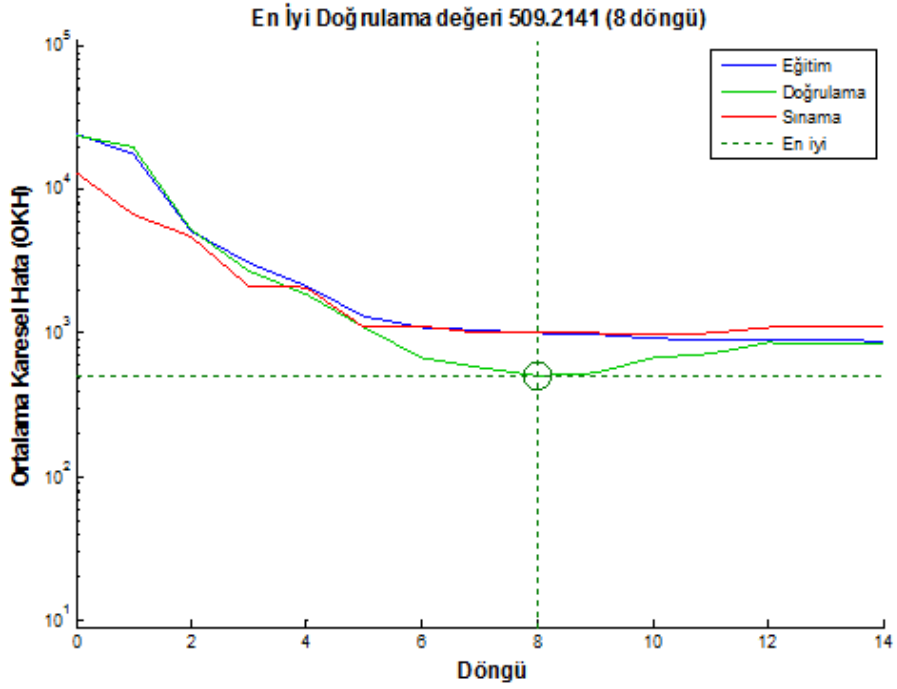


Şekil 4.55: 3 sinir hücresi ile yapılan 4. eğitim sonrası OKH değerleri

Bu aralıkta, ölçülen değerler ile tahmin edilen değerler arasında ortalama 100 mm'lik farklar bulunmaktadır. 250 mm'den daha büyük oyulma değerlerinde ise model çok daha iyi tahminler yapmıştır. Özetle bu model 100 mm'nin altında ve 250 mm'nin üzerinde kalan oyulma derinliği değerlerinde daha iyi tahminler yapmıştır. Fakat sistemin modeli daha iyi öğrenme ihtimali bulunmaktadır. Bu yüzden 5. eğitime bakılmasında fayda vardır. 5. eğitim sonucu OKH değerleri Şekil 4.57'deki gibidir.



Şekil 4.56: 3 sinir hücresi ile yapılan 4. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması

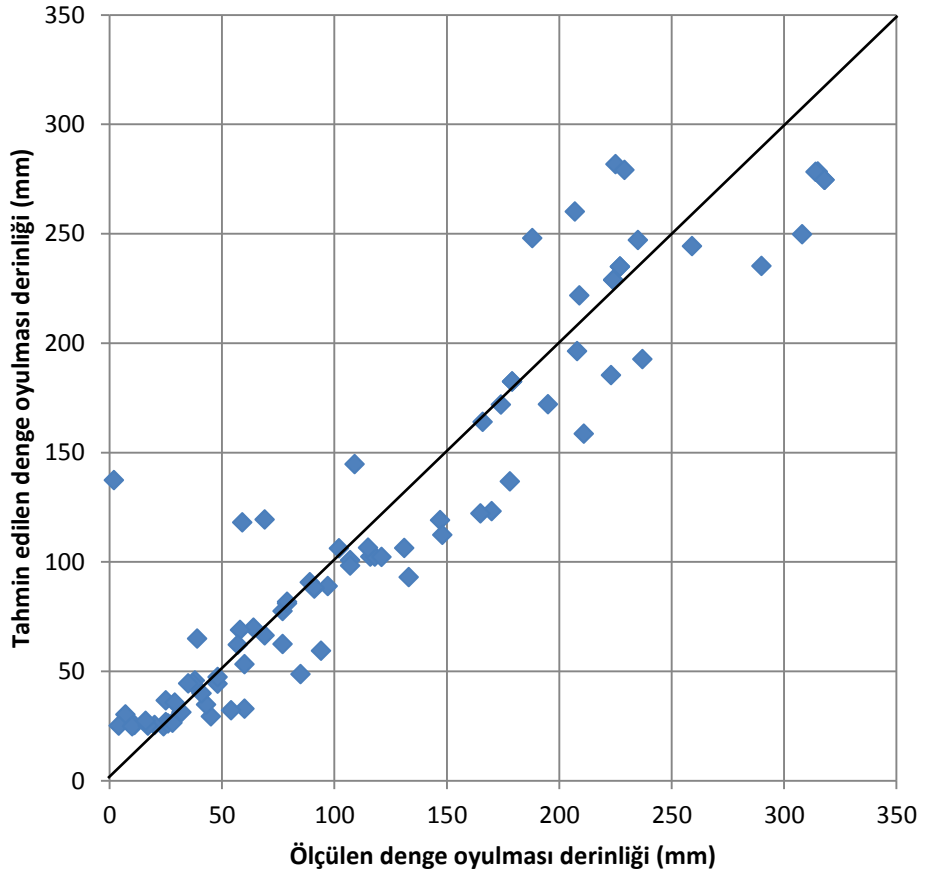


Şekil 4.57: 3 sinir hücresi ile yapılan 5. eğitim sonrası OKH değerleri

OKH değerleri sırasıyla 1014, 509 ve 998'dir. 6. eğitimden sonra yapılan birçok eğitimde OKH değerlerinin giderek büyüdüğü görülmüştür. Bu sebeple eğitimler burada sonlandırılmıştır. Yapılan 5 eğitim sonunda, OKH sınamaya değerlerinden en küçük olan 998 değeri alınmıştır. 5. eğitim sonucu elde edilen gerçek veriler ve tahmin verilerinin saçılımı Şekil 4.58'de görülmektedir.

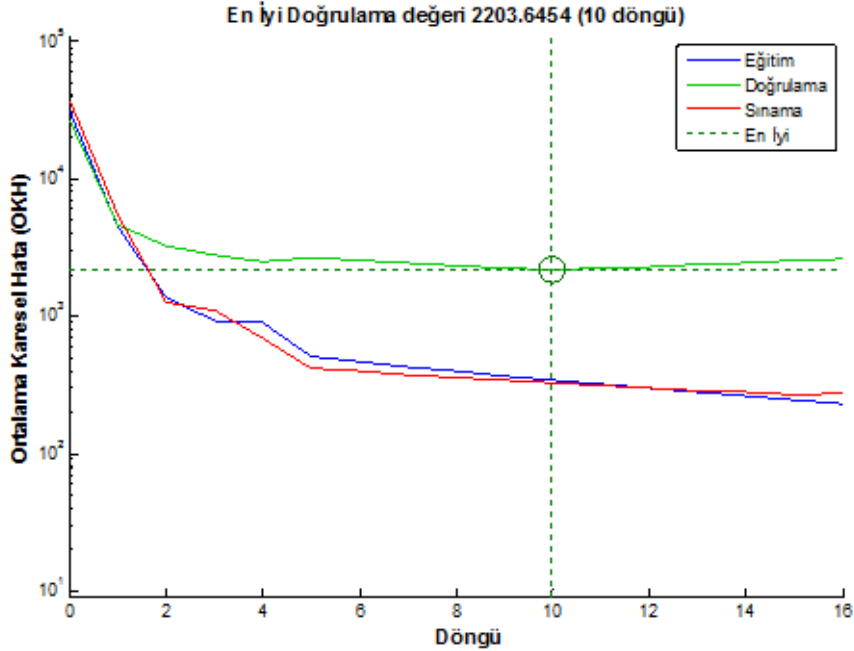
Şekil 4.58'de görülen modelde 100 mm'den küçük oyulma derinliği değerlerinde tahminler ve ölçülen değerler birbirlerine yakındır. Fakat 100 mm'den daha büyük oyulma derinliği değerlerinde tahminler, ölçülen değerlerin altında kalmıştır.

Devam edilen eğitimlerde, 4 sinir hücresi ile yapılan ilk eğitim sonucu OKH değerleri eğitime, doğrulama ve sınamaya verileri için 743, 748 ve 1546'dır. OKH değerlerindeki değişim %5'ten daha fazla olduğu için diğer eğitimlere de bakılmalıdır. 4 sinir hücresi ile yapılan ikinci eğitim sonucu OKH değerleri sırasıyla 732, 940 ve 1359'dur. Bu şekilde yapılan ardışık eğitimler sonucu, sınamaya verilerinde en küçük OKH değerlerine ulaşılmaya çalışılmıştır (Şekil 4.59).

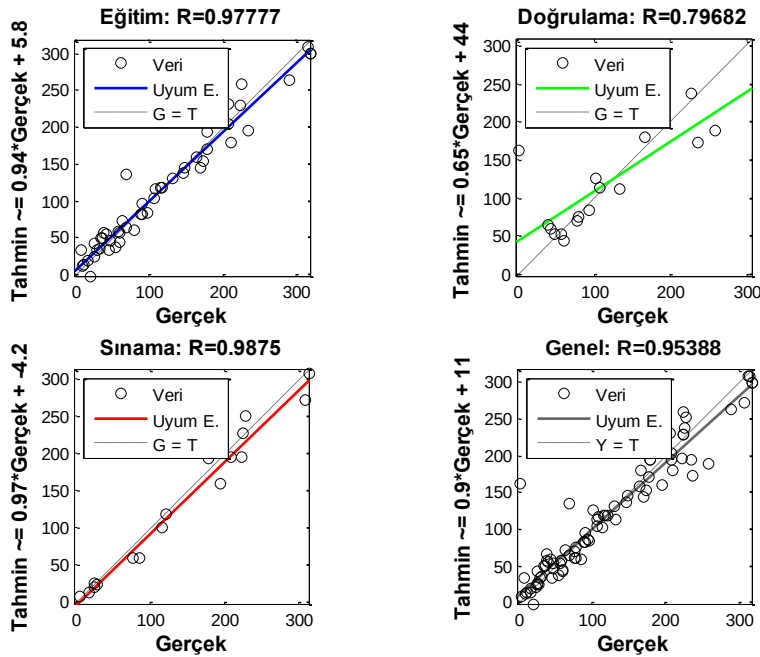


Şekil 4.58: 3 sinir hücresi ile yapılan 5. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılımı

Burada doğrulama veri kümesi için OKH değeri büyük çıksa da sınamaya ve eğitime verileri için bu değerler oldukça küçüklenmiştir. Eğitim verileri için OKH değeri 339, sınamaya için ise 326 bulunmuştur. Şekil 4.60'ta bu eğitime ait korelasyon değerleri bulunmaktadır.



Şekil 4.59: 4 sinir hücresi ile yapılan 4. eğitim sonrası OKH değerleri

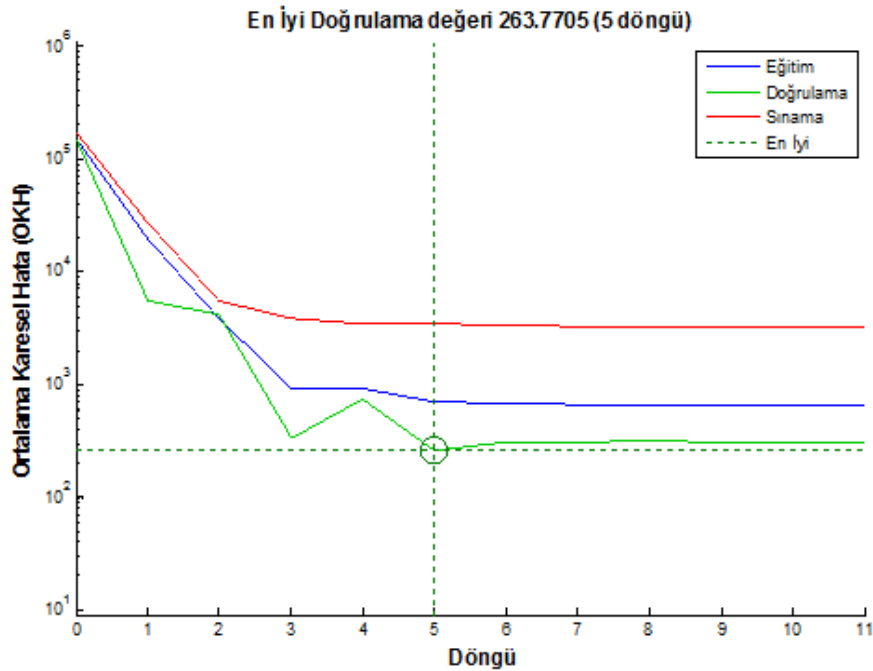


Şekil 4.60: 4 sinir hücresi ile yapılan 4. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması

4. eğitimden sonra yapılan birçok eğitimde OKH değerlerinin daha fazla küçüklemediği görülmüştür. Bu işlemlerin ardından 5 ve daha fazla sinir hücresi ile denenen eğitimlerde OKH değerlerinin genel itibariyle istenmeyen büyüklükte çıktığı ve modelin iyi çalışmadığı görülmüştür. Bu sebeple sınama verileri için 4 sinir hücresi ile yapılan 4. eğitimde en iyi değere ulaşıldığı görülmüştür.

4.3.4 Beş girdi bir çıktılı YSA Modeli

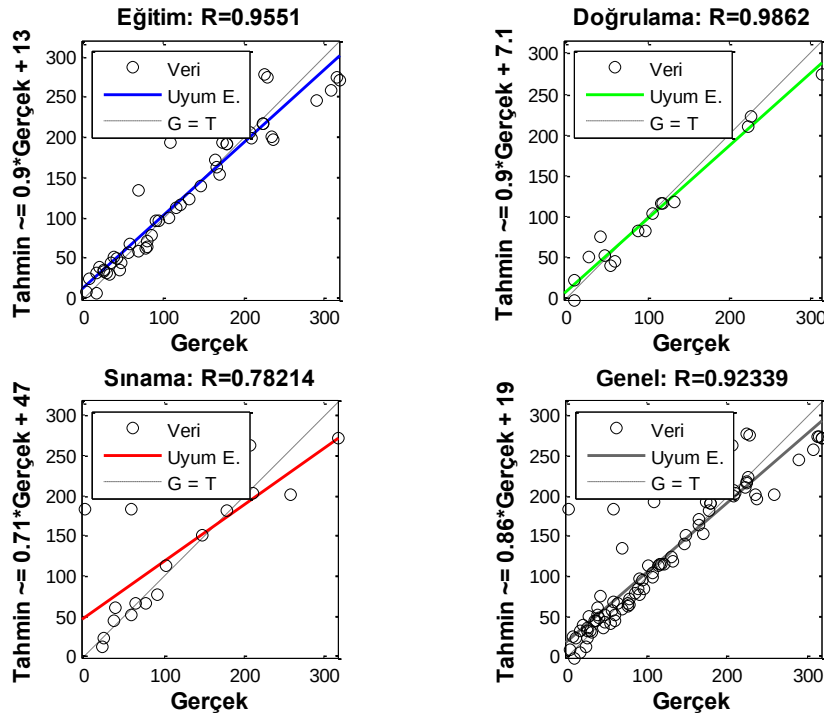
Beş girdi bir çıktılı YSA modelinde “ d_{se} ” denge oyulması çıktısı ile en çok ilişkili olduğu düşünülen “D” köprü ayak çapı, “ V/V_c ” akım hızının kritik hıza oranı, “y” ortalama akım yaklaşım derinliği, “V” ortalama akım yaklaşım hızı ve “ d_{50} ” taneciklerin ortalama büyüklüğü ele alınmıştır. Veri analizinin YSA kısmında yapılacak işlemler Bölüm 4.3.1’deki işlemlerle aynıdır. Karşılaştırma yapılabilmesi için eğitime, doğrulama ve sınama veri yüzdeleri yine sırasıyla %60, %20, %20 seçilmiştir. 2 sinir hücresi ile yapılan ilk eğitime göre OKH değerleri Şekil 4.61’de görülmektedir. Şekil 4.62’de ise tahmin edilen oyulma değerleri ile ölçülen oyulma değerlerinin saçılmasına bakılmıştır.



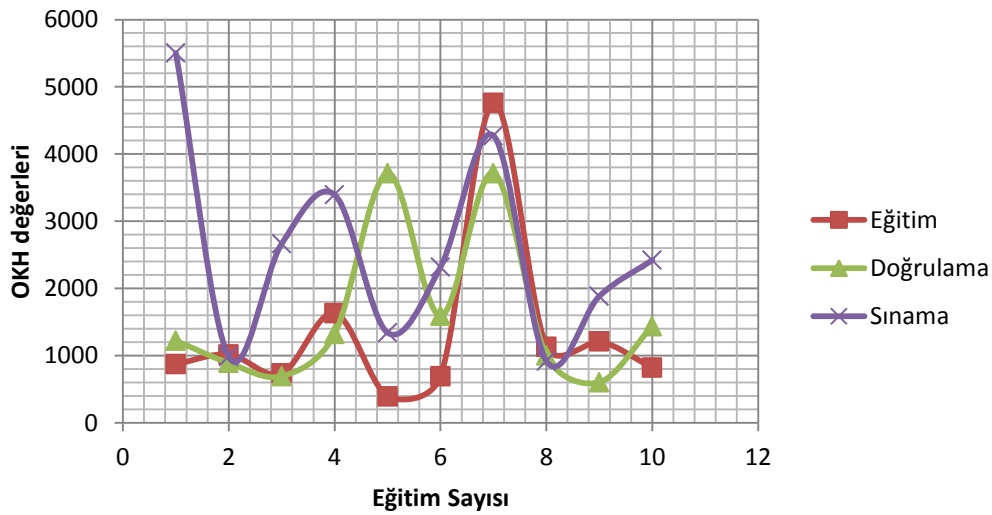
Şekil 4.61: 2 sinir hücresi ile yapılan eğitim sonrası OKH değerleri

2 adet sinir hücresi kullanılarak incelenen ilişki için elde edilen sonuçlar pek tatmin edici değildir. Özellikle veri kümelerinin eğitim ve doğrulama kısmında yüksek korelasyon değerleri bulunurken, sınama korelasyon değerlerinin % 78 gibi,

ortalamanın altında bir değer çıkması sistemin modeli öğrenemeyip ezberlediği anlamına gelmektedir.



Şekil 4.62: 2 sinir hücresi ile yapılan eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması

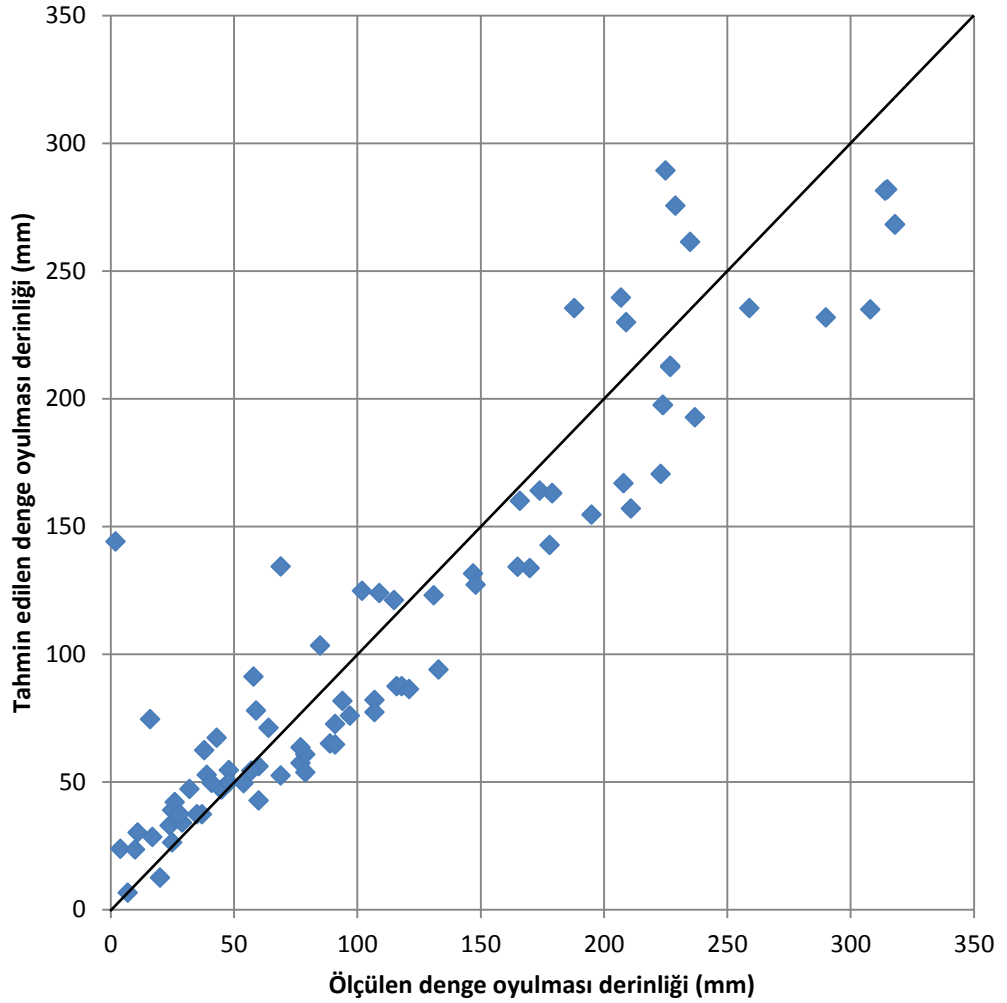


Şekil 4.63: 3 sinir hücresi ile yapılan eğitimler sonucu OKH değerleri

Bu sonuç görüldükten sonra 2 girdi bir çıktıdan oluşan model için 3 sinir hücresi kullanılarak yine bir eğitim yapılmıştır. Değerlendirmenin aynı tabanda yapılabilmesi için eğitime, doğrulama ve sınama verilerinin yüzdeleri ilk çalışma boyunca sırasıyla

%60, %20 ve %20 olarak seçilmiştir. 3 sinir hücresi ile yapılan mükerrer eğitimlerin eğitime, doğrulama ve sınama verileri için OKH değerleri değişimi Şekil 4.63'te sunulmuştur.

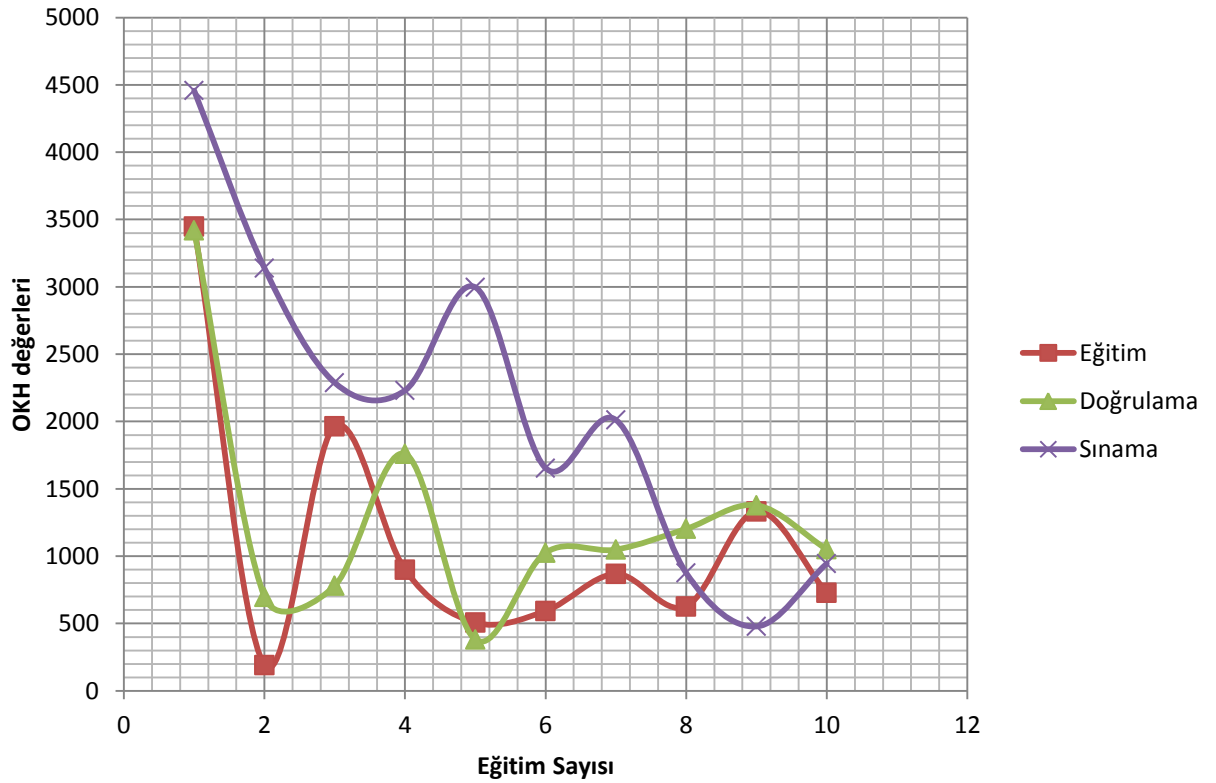
Yapılan birçok eğitim sonrası 3 sinir hücresi ile bulunan OKH değerlerinde genel bir eğilim görülmektedir. Yani eğitime, doğrulama ve sınama tahminleri için OKH değerlerinde benzer şekilde eğilimler bulunmuştur. Bu nedenle asıl göz önünde bulundurulması gereken sınama veri kümesi için en küçük OKH değeri olan 917 değerinin bulunduğu 8. eğitim, 3 sinir hücresi ile yapılan en tahmin olarak alınabilir. Bu modelde gerçek ve tahmin verilerinin saçılımı Şekil 4.64'te görülmektedir. 4 sinir hücresi ile kurulan yeni model üzerinde de en iyi tahminlerin yapılabilmesi için birçok eğitim yapılmıştır. Bu yapılan eğitimlerde veri kümelerine ait OKH değerleri Şekil 4.65'te görülmektedir.



Şekil 4.64: 3 sinir hücresi ile yapılan 8. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılımı

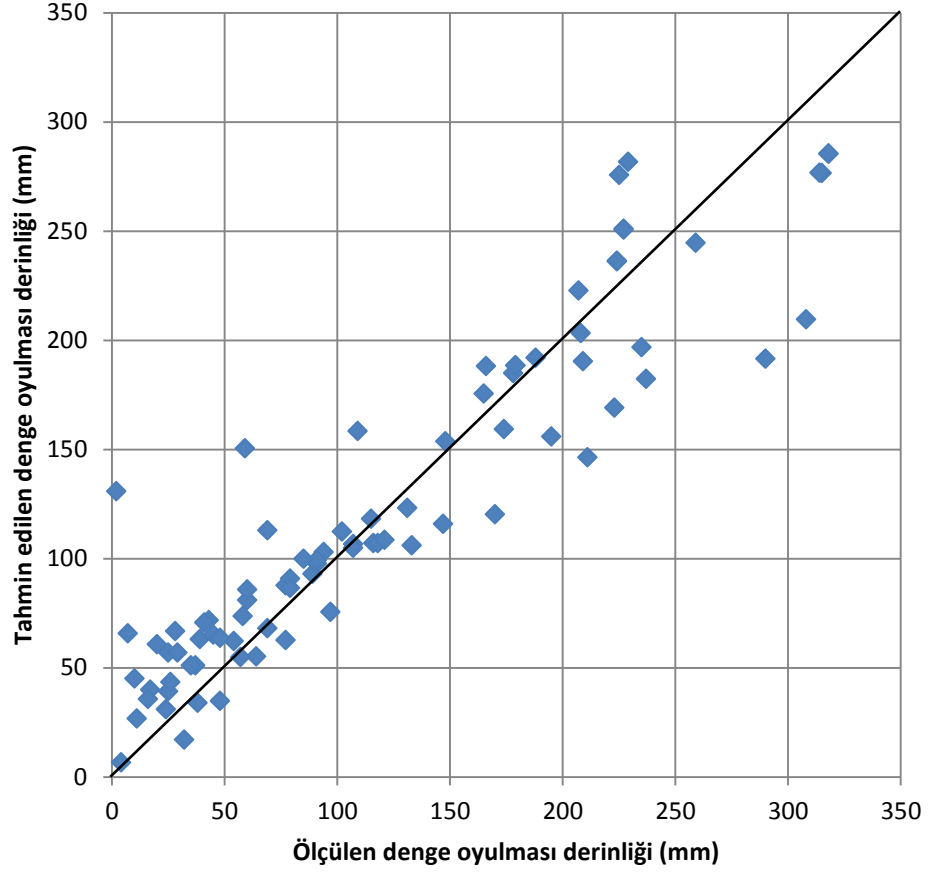
Şekil 4.64'te 3 sinir hücresi ile yapılan 8. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılma diyagramına bakıldığında, modelin 100 mm'nin altında kalan oyulma derinliği değerlerinde kabul edilebilir tahminler yaptığı fakat 100 mm'den büyük oyulma derinliği değerlerinde ise genel itibariyle iyi tahminler yapılamadığı görülmüştür. Bu büyüklükteki tahminler ise ölçülen değerlerin altında kalmıştır.

Yapılan birçok eğitim sonrası 4 sinir hücresi ile bulunan OKH değerlerinde bazı kısımlar hariç benzer bir eğilim görülmektedir. Yani eğitme, doğrulama ve sınaı tahminleri için OKH değerlerinde benzer şekilde eğilimler bulunmuştur. Bu nedenle asıl göz önünde bulundurulması gereken sınaı veri kümesi için en küçük OKH değeri olan 478'in bulunduğu 9. eğitim, 4 sinir hücresi ile yapılan en iyi tahmin modeli olarak alınabilir. Bu yapılan eğitimler sonucu gerçek ve tahmin verilerinin saçılması Şekil 4.66'da görülmektedir.

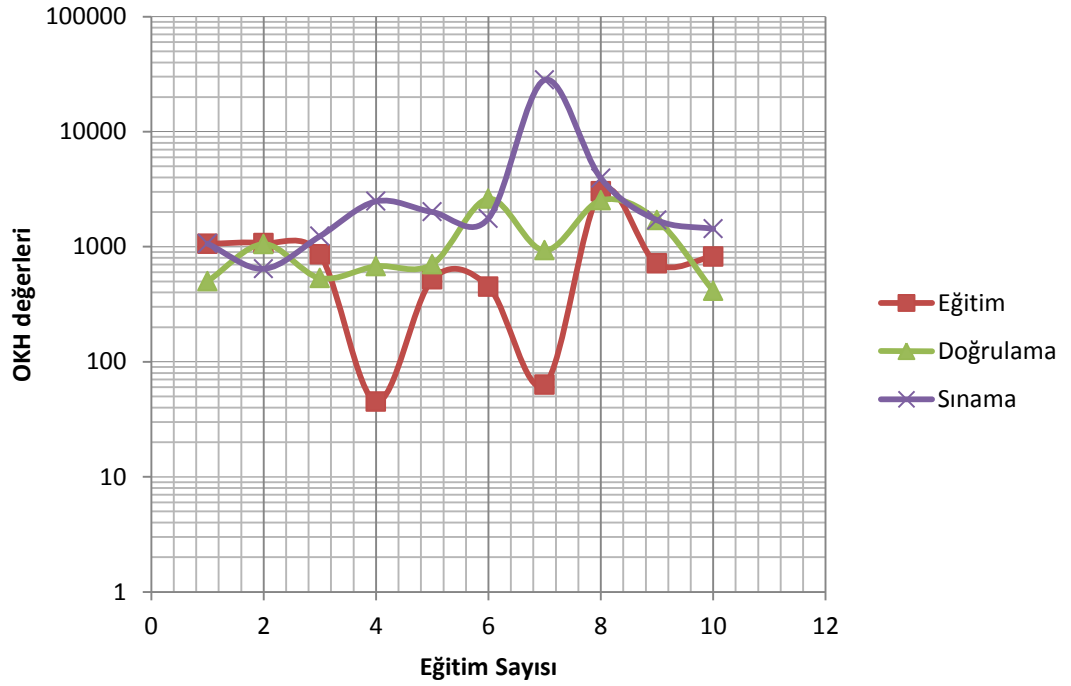


Şekil 4.65: 4 sinir hücresi ile yapılan eğitimler sonucu OKH değerleri

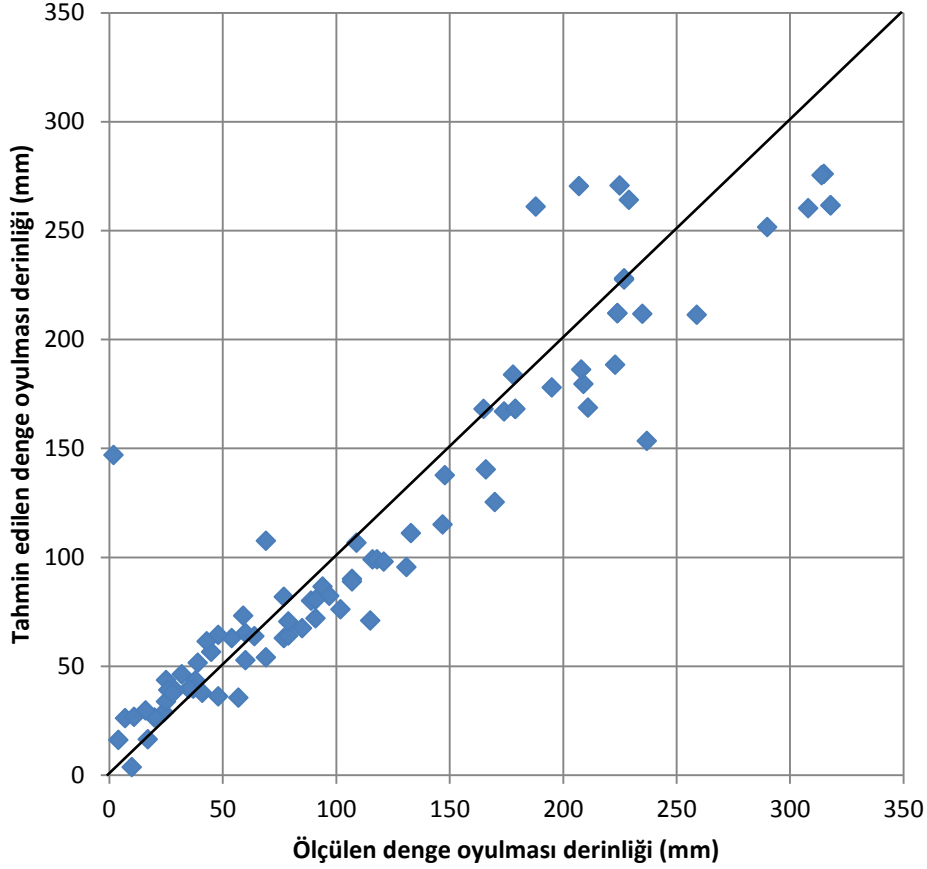
5 sinir hücresi ile kurulan yeni model üzerinde de en iyi tahminlerin yapılabilmesi için birçok eğitim yapılmıştır. Bu yapılan eğitimlerde veri kümelerine ait OKH değerleri Şekil 4.67'de görülmektedir.



Şekil 4.66: 4 sinir hücresi ile yapılan 9. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması



Şekil 4.67: 5 sinir hücresi ile yapılan eğitimler sonucu OKH değerleri



Şekil 4.68: 5 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması

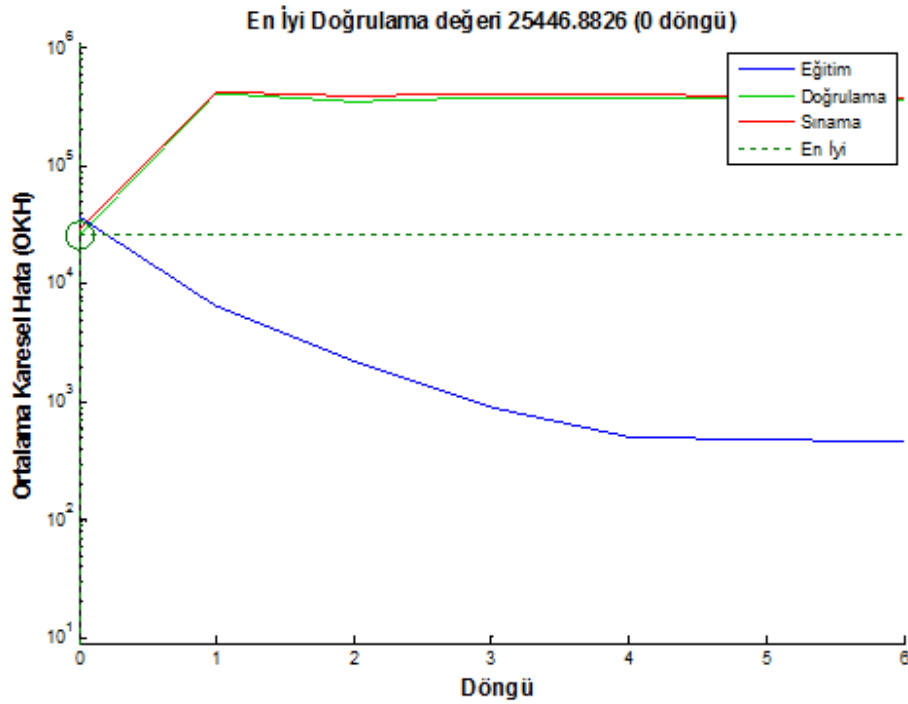
OKH değerlerinin olduğu düşey eksen, eğilimlerin rahat görünebilmesi için logaritmik hale getirilmiştir. Yapılan birçok eğitim sonrası 5 sinir hücresi ile ulaşılan OKH değerlerinde benzer eğilimler bulunmamaktadır. Sınama veri kümesinde en küçük OKH değeri olan 643 değeri 2. eğitim sonucunda elde edilmiştir. Bu yapılan eğitimler sonucu ölçülen ve tahmin edilen oyulma değerlerinin saçılması Şekil 4.68’de görülmektedir. 6 ve daha fazla sinir hücresi ile yapılan eğitimlerin genelinde OKH değerlerinin, daha önce yapılan eğitimlere göre çok yüksek çıktığı görülmüştür. Bu nedenle beş girdi bir çıktılı YSA model eğitimleri 5 sinir hücresinde sonlandırılmıştır.

Şekil 4.68’e bakıldığında, 100 mm’lik oyulma derinliği değerlerinin altında kalan kısımda modelin daha iyi tahminler yaptığı görülmüştür. 100 mm’den daha büyük oyulma derinliği değerlerinde ise tahminlerin ölçülen değerlerin altında kaldığı, ancak çok büyük farklar oluşmadığı görülmektedir.

4.3.5 Altı girdi bir çıktılı YSA modeli

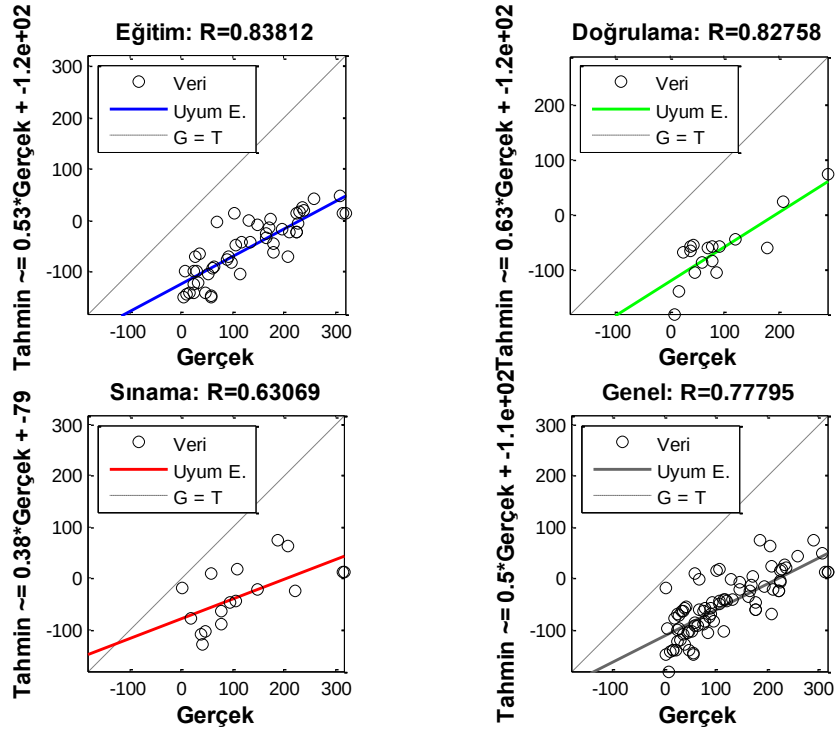
Altı girdi bir çıktıdan oluşan modelde “ d_{se} ” denge oyulması çıktısı ile en çok ilişkili olduğu düşünülen “ D ” köprü ayak çapı, “ V/V_c ” akım hızının kritik hıza oranı, “ y ” ortalama akım yaklaşım derinliği, “ V ” ortalama akım yaklaşım hızı, “ d_{50} ” taneciklerin ortalama büyüklüğü ve “ t_e ” denge oyulması süresi ele alınmıştır. Veri analizinin YSA kısmında yapılacak işlemler Bölüm 4.3.1’deki işlemlerle aynıdır. Karşılaştırma yapılabilmesi için eğitime, doğrulama ve sınama veri yüzdeleri yine sırasıyla %60, %20, %20 seçilmiştir.

3 sinir hücresi ile yapılan ilk eğitim sonucu OKH değerleri Şekil 4.69’da görülmektedir. Bu eğitime ait korelasyon değerleri ise Şekil 4.70’te görülmektedir.

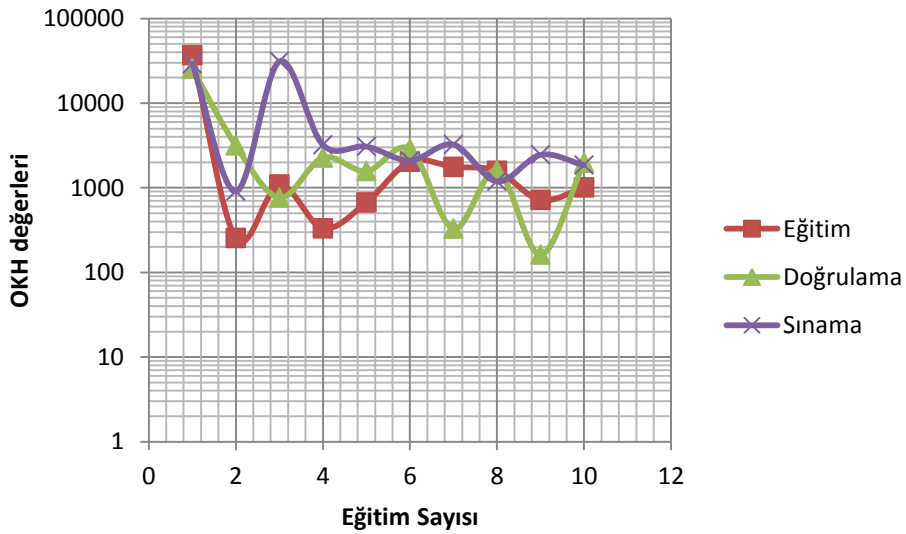


Şekil 4.69: 3 sinir hücresi ile yapılan eğitim sonrası OKH değerleri

Yapılan eğitim sonucu elde edilen çok yüksek OKH ve çok düşük korelasyon değerleri kurulan modelin iyi bir model olmadığını göstermektedir. Çünkü OKH değerleri eğitime veriler için giderek azalırken (eğitilirken), buradan öğrenilen sistem, doğrulama ve sınama kısmında çalışmamıştır. Birkaç eğitim daha yapılarak modelin davranışına bakılmıştır. Bu eğitimler sonucunda eğitim, doğrulama ve sınama değerleri için değişimleri yarı logaritmik eksen takımında Şekil 4.71’de görülmektedir.



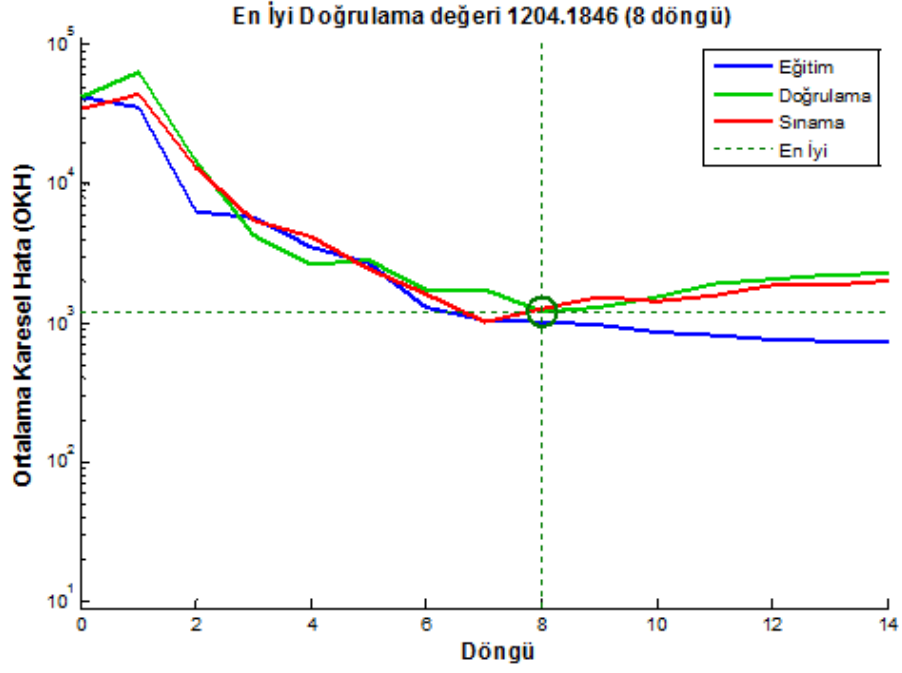
Şekil 4.70: 3 sinir hücresi ile yapılan eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması



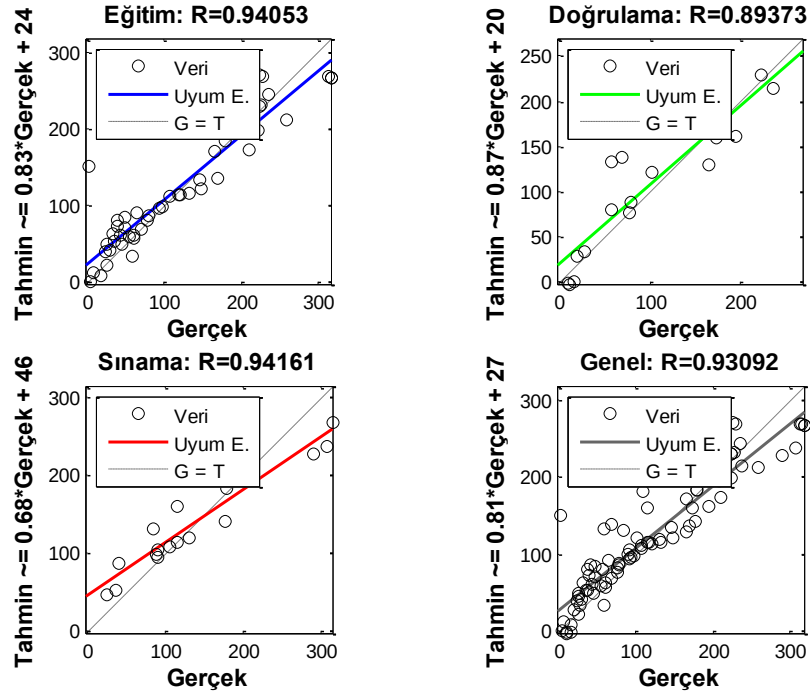
Şekil 4.71: 3 sinir hücresi ile yapılan eğitimler sonucu OKH değerleri

Bu şekilde görüldüğü üzere eğitime, doğrulama ve sınama veri kümelerinin OKH değerlerinde aynı yönde bir eğilime rastlanmamıştır. Bunun yanısıra OKH değerleri, başta sınama veri kümesi olmak üzere genel olarak yüksek çıkmıştır. 4 sinir hücresi ile yapılan ikinci eğitim sonucu OKH değerleri Şekil 4.72’de görülmektedir. Şekilde görüldüğü üzere eğitime, doğrulama ve sınama veri kümelerinin OKH değerlerinde

aynı türden bir eğilim bulunmaktadır. Bu, sistemin modeli ezberlemeyip öğrendiği anlamına gelebilir. Bu modele ait korelasyon değerleri Şekil 4.73'te görülmektedir.



Şekil 4.72: 4 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası OKH değerleri



Şekil 4.73: 4 sinir hücresi ile yapılan 2. eğitim sonrası tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması

Şekilde görülen tahmin değerlerinin yerel bir durum olmadığını sorgulamak için yapılan birçok eğitim sonrası OKH ve korelasyon değerleri yine istenilenden çok büyük çıkmıştır. YSA modelinin birbiriyle %5'lik yakınlıkta olmayan bu şekilde farklı tahminler yapması modelin iyi bir model olmadığını göstermektedir. Bu modelde, 4 sinir hücresinden sonra, sinir hücreleri sayıları artırılarak yapılan farklı eğitimler sonucu ya OKH değerleri istenilen düzeyin üstünde kalmıştır ve aynı eğilimleri göstermemişlerdir.

4.4 Bulanık Mantık Modeli

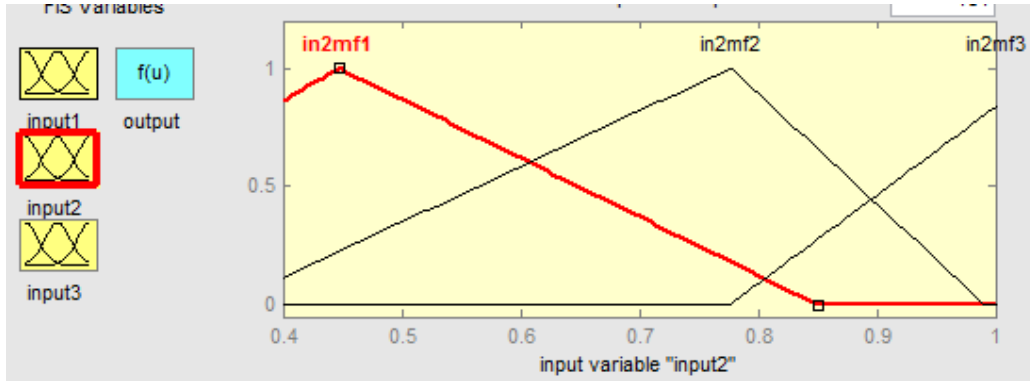
YSA kısmında yapılan eğitimler BMÇS kısmında da yapılmıştır. Çıkan sonuçlar arasında yapılan mukayeselerle sonuç kısmında birtakım çıkarımlar yapılmıştır. BMÇS kısmında ANFIS toolbox kullanılarak eğitimler yapılmıştır. ANFIS'in yaptığı eğitimlerde bir kısım hatalar bulunmaktadır. Bu hatalar Bölüm 4.4.1 ANFIS tuzakları'nda açıklanmıştır. Eğitimlere bu hatalar giderilerek devam edilmiştir.

4.4.1 ANFIS tuzakları

BM Modeli kurulurken, kullanılan hazır yazılımların arasında ANFIS yöntemi de bulunmaktadır. Bilimsel makale ve çalışmaların da çoğunda kullanılabilen ANFIS yöntemi belirli bir hata aralığında değerler vermesi halinde tam doğru bir yöntem olarak kabul edilmektedir.

Araştırmacıların ANFIS yöntemini kullanırken sözel anlamlarına bakmadan, sadece girdi ve çıktılara bakarak değerlendirme yapmaları sonucunda da tahmin edilmeye çalışılan değerler doğru çıkabilir. Yapılan sayısal çözümlemelerin belirli hata ölçütlerini sağlıyor olması yapılan işlemleri doğru kılmamaktadır. Bu ölçütlerin yanısıra incelenmesi gereken kısımlardan biri de bulanık alt kümelerin, yapılan tahminler sonucunda geçerli olup olmadıklarıdır. Şekil 4.74'te görüldüğü üzere ANFIS yöntemi ile yapılan eğitimde girdi değişkenlerine atanan üyelik fonksiyonları hem sözel hem de sayısal açıdan mantıkî değildir.

Burada eksik olan kısım, şeklin en sol ve sağ kısımlarının üyelik fonksiyonlarının 1'e eşit olması gereğidir. Bu şekilde yapılan eğitimlerde, ANFIS yönteminin atadığı üyelik fonksiyonları, her eğitim sonrası geçerli hale getirilirse oluşan hatalar giderilmiş olur.

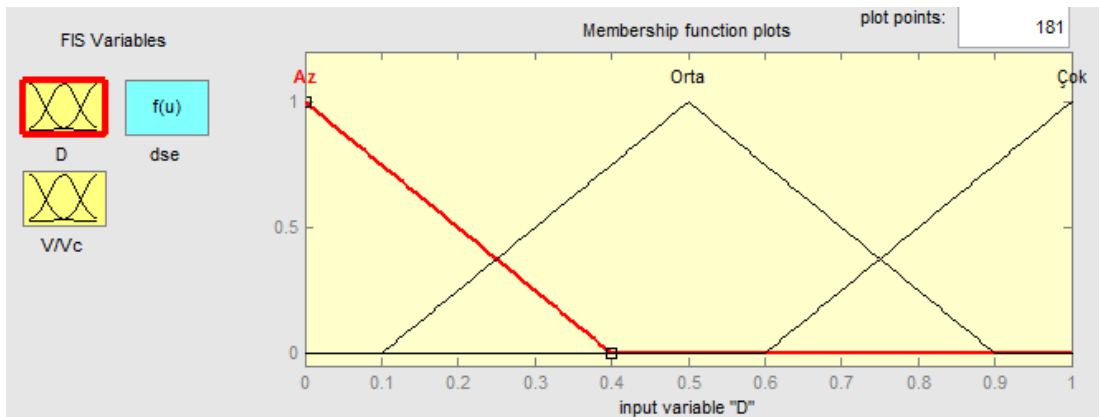


Şekil 4.74: Eğitim sonucu ANFIS yöntemi ile girdi değişkenlerine yanlış atanan üyelik fonksiyonları

4.4.2 BM modelleri

Uyumaz ve diğ. (2006), yaptıkları çalışmada BM Takagi-Sugeno Modelini, düşey baraj kapaklarının mansap kısmında meydana gelebilecek oyulma tahmini elde etmek için kullanmışlardır. Söz konusu çalışmada, elde edilen tahminler gerçek değerlere çok yakındır.

Bu çalışma içerisinde ilk kurulan modelin 2 girdi ve 1 çıktısı bulunmaktadır. Burada alınacak ilk iki girdi; söz konusu veriler ışığında çıktı ile ilişkisi en fazla olan köprü ayak çapı (D) ve akım hızının kritik hıza oranı (V/V_c) girdileridir. Bu verilerle kurulan model sonucu bir kısım analizler yapılmıştır. BM tahminlerine geçmeden önce yapılması gereken, her bir girdi ve çıktıyı bulanıklaştırmaktır (bulanık kümelere ayırmaktır). Şekil 4.75'te görüldüğü üzere ilk girdi olan D , bulanıklaştırılmıştır. Aynı işlem ikinci girdi V/V_c için ve çıktı d_{se} için de yapılmıştır.



Şekil 4.75: D girdisi için üyelik fonksiyonları

Başlangıç fonksiyonu olarak üçgen dağılım fonksiyonu seçilmiştir. Her bir girdi ve çıktı 3 alt kümeye ayrılmıştır. Bu aşamadan sonra iki girdi ve bir çıktı arasındaki

ilişki ile ilgili kural tabanı yazılır. Girdiler ve çıktıdan her biri için 3'e 3'lük üyelik fonksiyonları düşünüldüğünde bu modelde yazılabilecek kural sayısı 9'dur. Sırasıyla herbir bileşen, uzmanlığa gerek kalmadan mantıksal olarak var olabilecek bütün kurallar yazılır (Şekil 4.76).

1. If (D is Az) and (V/Vc is Az) then (dse is Az) (1)
 2. If (D is Az) and (V/Vc is Orta) then (dse is Az) (1)
 3. If (D is Az) and (V/Vc is Çok) then (dse is Orta) (1)
 4. If (D is Orta) and (V/Vc is Az) then (dse is Orta) (1)
 5. If (D is Orta) and (V/Vc is Orta) then (dse is Orta) (1)
 6. If (D is Orta) and (V/Vc is Çok) then (dse is Çok) (1)
 7. If (D is Çok) and (V/Vc is Az) then (dse is Az) (1)
 8. If (D is Çok) and (V/Vc is Orta) then (dse is Orta) (1)
 9. If (D is Çok) and (V/Vc is Çok) then (dse is Çok) (1)

If D is and V/Vc is Then dse is

Az Orta Çok none Az Orta Çok none Az Orta Çok none

☐ not ☐ not ☐ not

Connection: ☐ or ☒ and Weight: 1

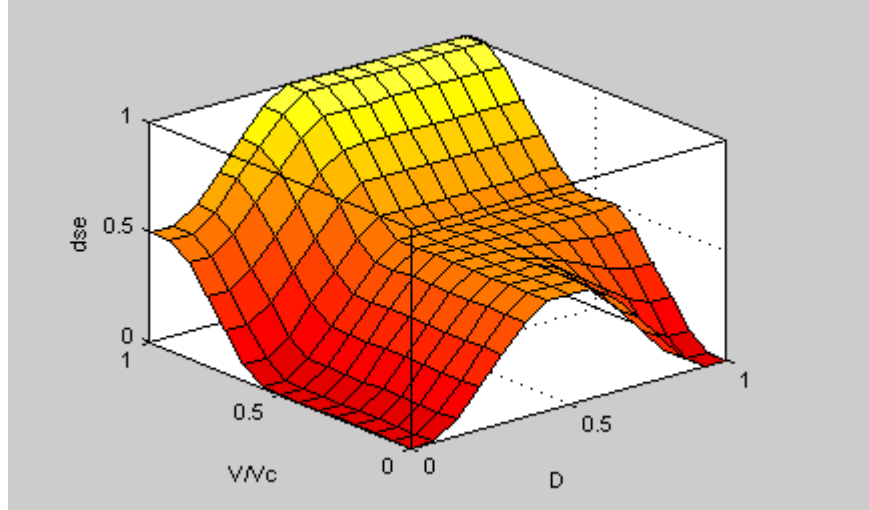
Delete rule Add rule Change rule << >>

The rule is added Help Close

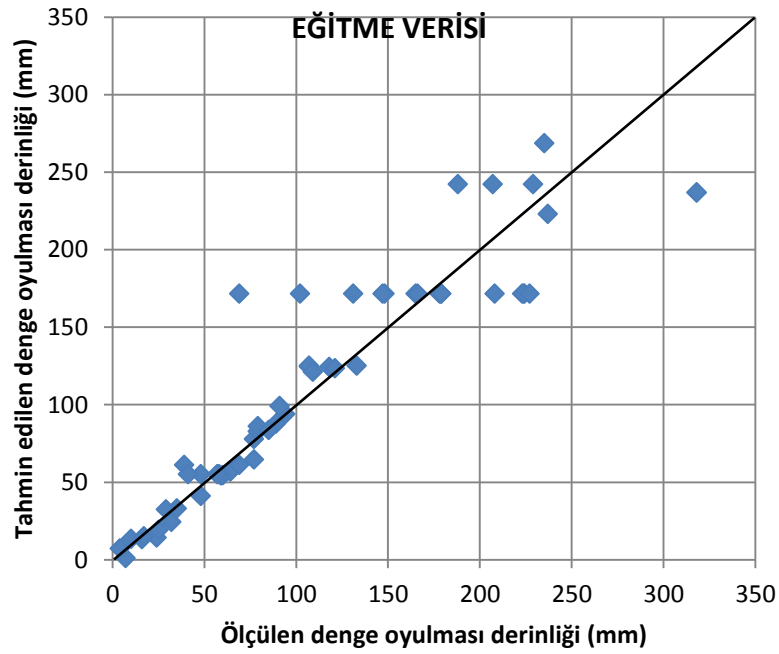
Şekil 4.76: 2 girdi 1 çıktı BM modeli için kural tabanı

Örnek olarak kural tabanı şu şekilde yazılabilir. 1. girdi değişkeni olan D, bulanık küme değerleri içerisinde “Az” değerini alsın. Buna karşılık modeldeki 2. girdi değişkeni olan V/V_c sırasıyla “Az”, “Orta” ve “Çok” değerlerini alırsın. Bu bağlamda çıktı değeri de “Az”, “Orta” ve “Çok” değerlerini alırsın. Mantıksal olarak yazılan her bir kurala göre de bir çıktı fonksiyonu atanacaktır. Bu bilgiler ışığında MATLAB programında 2 girdi 1 çıktıdan oluşan modele ait kural tabanı yazılır.

Şekilde 4.76’da 9 adet kural görülmektedir. Kuralların bulunduğu bu bölüm “kural tabanı” olarak da adlandırılabilir. Kuralların yapısı “EĞER” ve “İSE” kelimelerinden meydana gelmektedir. Dolayısıyla burada iki öncül birbirlerine “VE” bağlacı ile bağlanmıştır. Yani her iki öncülün de olması durumunda, sistemde bulunan “d_{se}” ardılı oluşacaktır. Kural tabanında bulunan kurallar ise birbirlerine “VEYA” bağlacı ile bağlanır. Bu işlemlerden sonra kural tabanı artık oluşturulmuştur. Kural tabanı 3 boyutlu eksen takımında yüzey olarak ifade edilen görsel Şekil 4.77’de görülmektedir.



Şekil 4.77: Kural tabanını ifade eden 3 boyutlu görsel



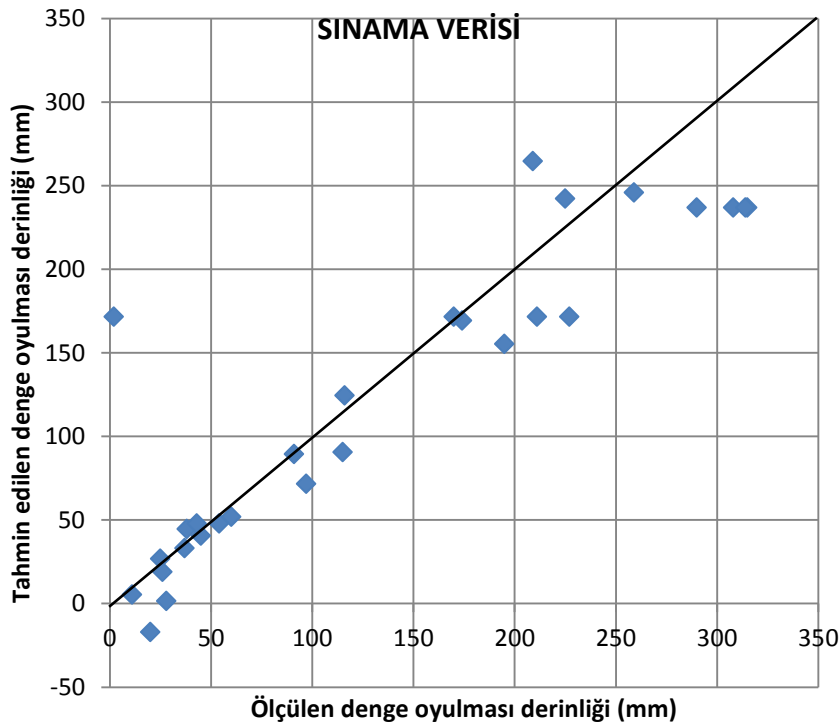
Şekil 4.78: 2 girdi 1 çıktı BM modeli eğitim verisi tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması

Bu kural tabanını fuzzy tool box içerisinde “ANFIS” (Adaptive neuro fuzzy inference system) bölümünde oluşturulabilir. Çıktı verisi olan “ d_{se} ” denge oyulması derinliği ile ilişki mertebesi en yüksek ilk 2 girdi kullanılarak oluşturulan 2 girdi 1 çıktılı modelde eğitim yapılmıştır. Her eğitim sonrası “ANFIS Tuzakları” başlıklı kısımda belirtildiği üzere yanlış atanan üyelik fonksiyonları elle düzeltilerek eğitime devam edilmiştir. Eğitimler, ANFIS artık üyelik fonksiyonlarını düzgün atayana dek devam etmiştir ve üyelik fonksiyonları doğru hale geldiğinde sonlandırılmıştır. Bu

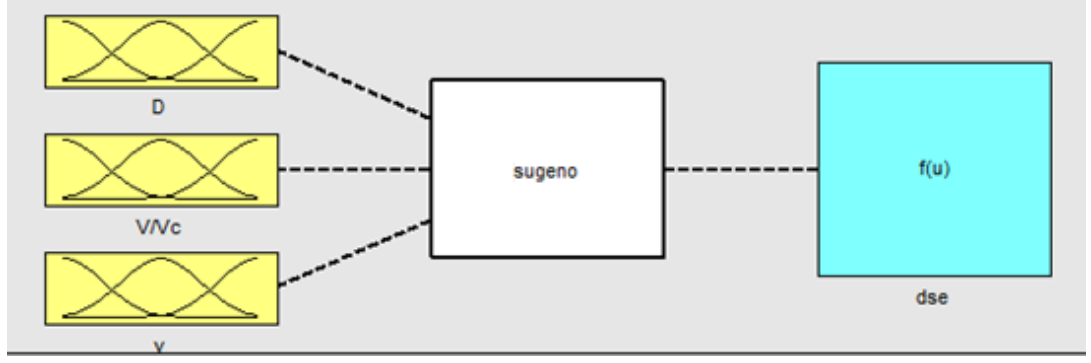
sonlandırma neticesinde elde edilen eğitim ve sınav verileri tahminleri ile gerçek değerlerin saçılması Şekil 4.78 ve Şekil 4.79’da sunulmuştur.

Şekil 4.78 incelendiğinde eğitime verileri saçılmasında 100 mm’nin altında ölçülen ve tahmin edilen oyulma değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Model, 100 mm’den büyük olan oyulma derinliklerinde ise pek iyi tahminler yapamamıştır. Aynı zamanda model 100 ila 250 mm. aralığındaki ölçülen oyulma derinliklerine karşılık olarak hep yaklaşık 170 mm. tahmini yapmıştır.

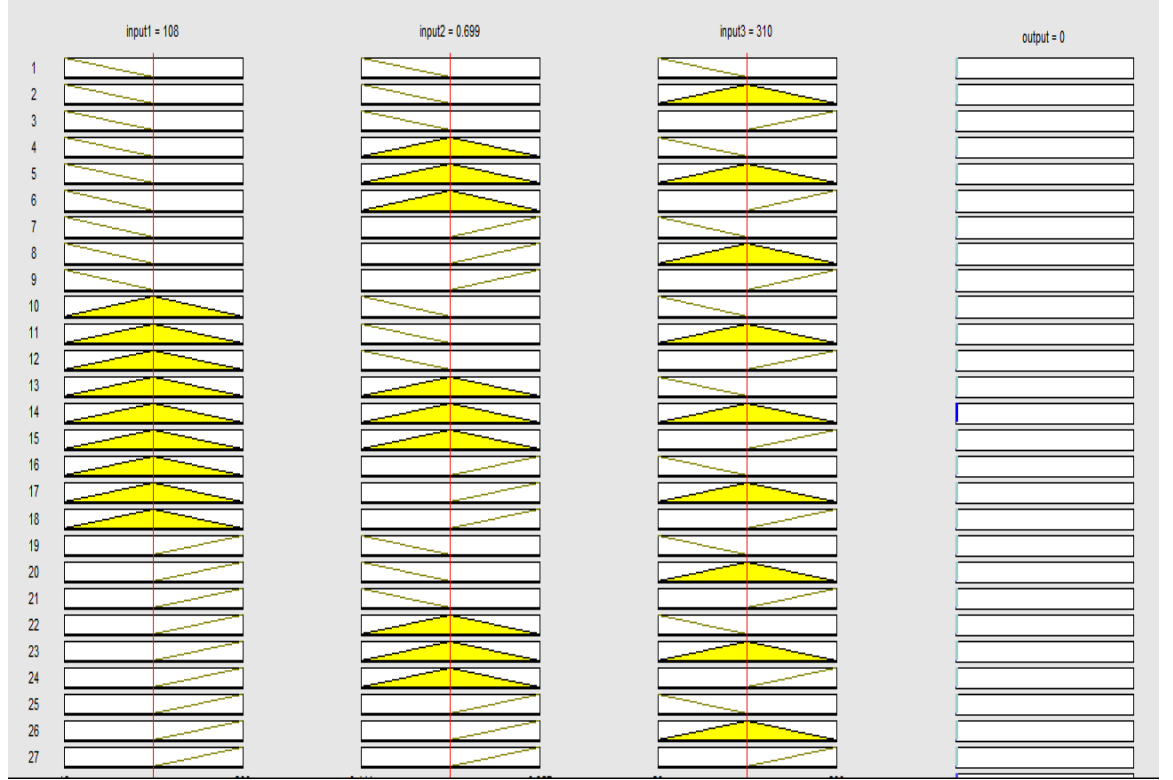
3 girdi 1 çıktıdan oluşan modelin kural tabanı şeması Şekil 4.81’de görülmektedir. 3 eğitim sonrası ANFIS, modeli öğrenmiş ve geçerli bulanık kümeler atamaya başlamıştır. Bu model sonrası eğitim ve sınav verilerinin, oyulma derinliği değerlerinde yapılan tahmin ve ölçülen gerçek değerlerinin aynı koordinat ekseninde ifade edildiği grafikler sırasıyla Şekil 4.82 ve Şekil 4.83’te görülmektedir. Bu şekillerde dikey eksen oyulma derinliği (mm) ifade ederken yatay eksen ise veri sayısını ifade etmektedir. Şekil 4.82’de daire, Şekil 4.83’te ise nokta sembolüyle ifade edilen değerler, laboratuvar deneylerinde araştırmacılar tarafından ölçülen değerlerdir. Yıldız sembolüyle ifade edilen değerler ise modelin tahmin ettiği oyulma derinliği değerleridir.



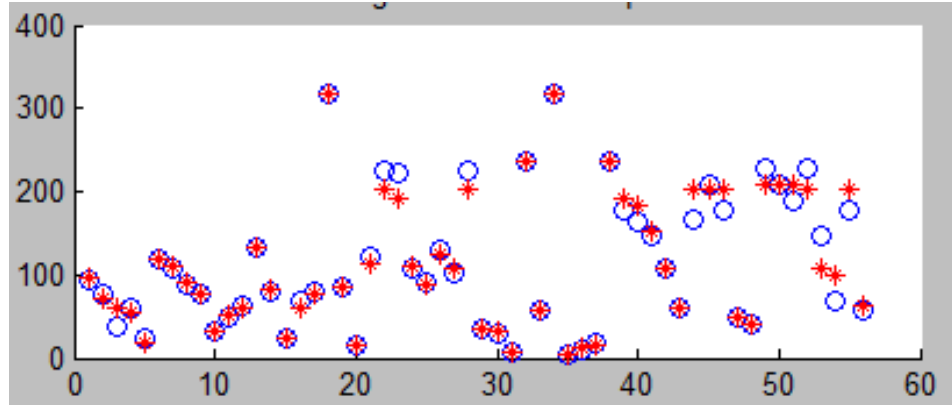
Şekil 4.79: 2 girdi 1 çıktı BM modeli sınav verisi tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması



Şekil 4.80: 3 girdi 1 çıktıdan oluşan BM modeli

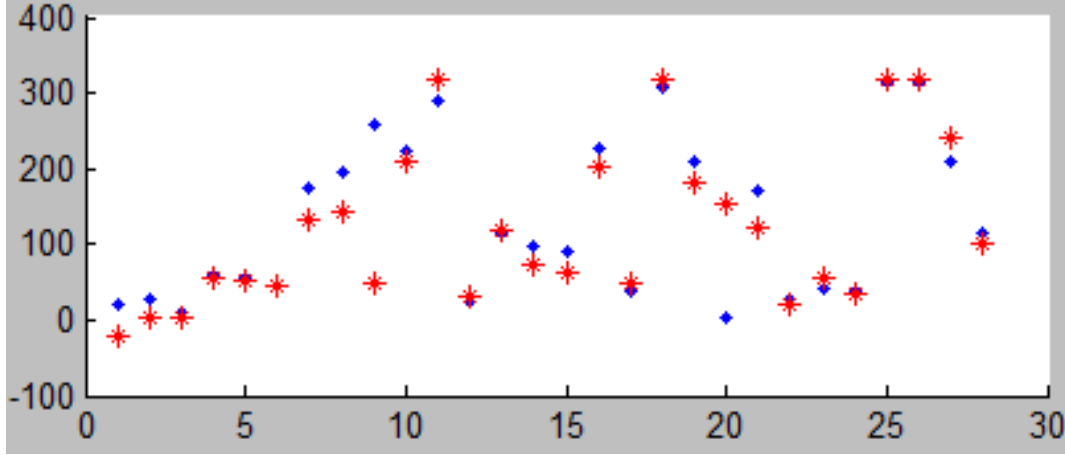


Şekil 4.81: 3 girdi 1 çıktıdan oluşan BM modelinin kural tabanı

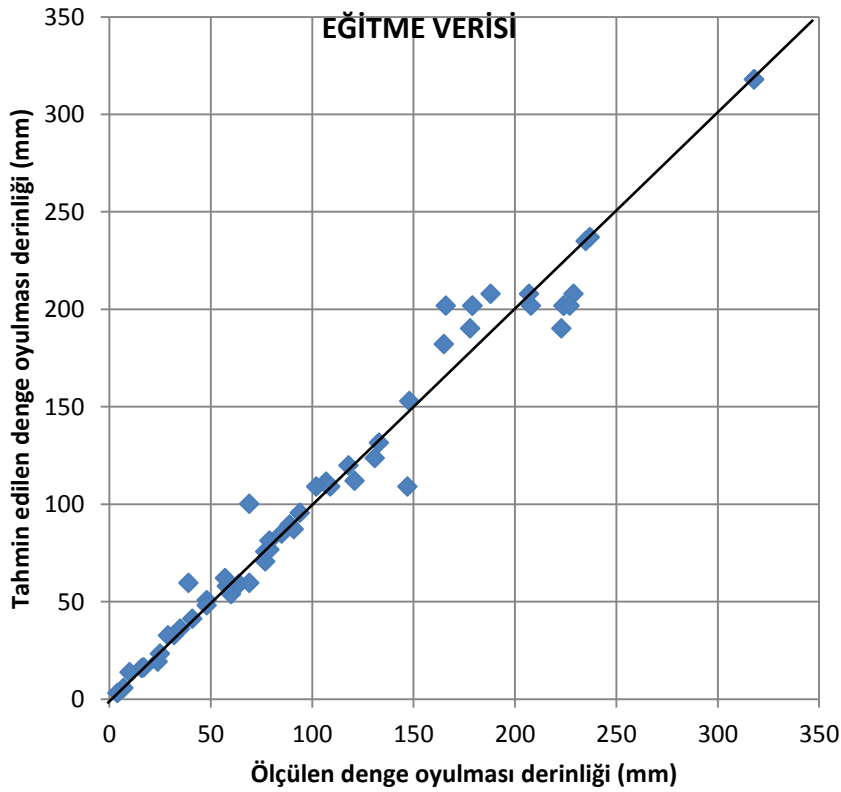


Şekil 4.82: 3 girdi 1 çıktı BM modelinde eğitim verileri tahmin edilen değerler ile ölçülen değerlerin gösterimi

3 girdi 1 çıktıdan oluşan modelde yapılan tahminler sonucu eğitime ve sınama verilerine ait, tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği değerlerine ait saçılma diyagramları Şekil 4.84 ve Şekil 4.85'tir. Şekil 4.84'te 150 mm'nin altında kalan değerlerde model iyi öğrenilmiştir. Şekil 4.85'te sınama verilerinde ise yapılan tahminler, eğitim verilerinde yapılan tahminlere göre çok daha başarısızdır.



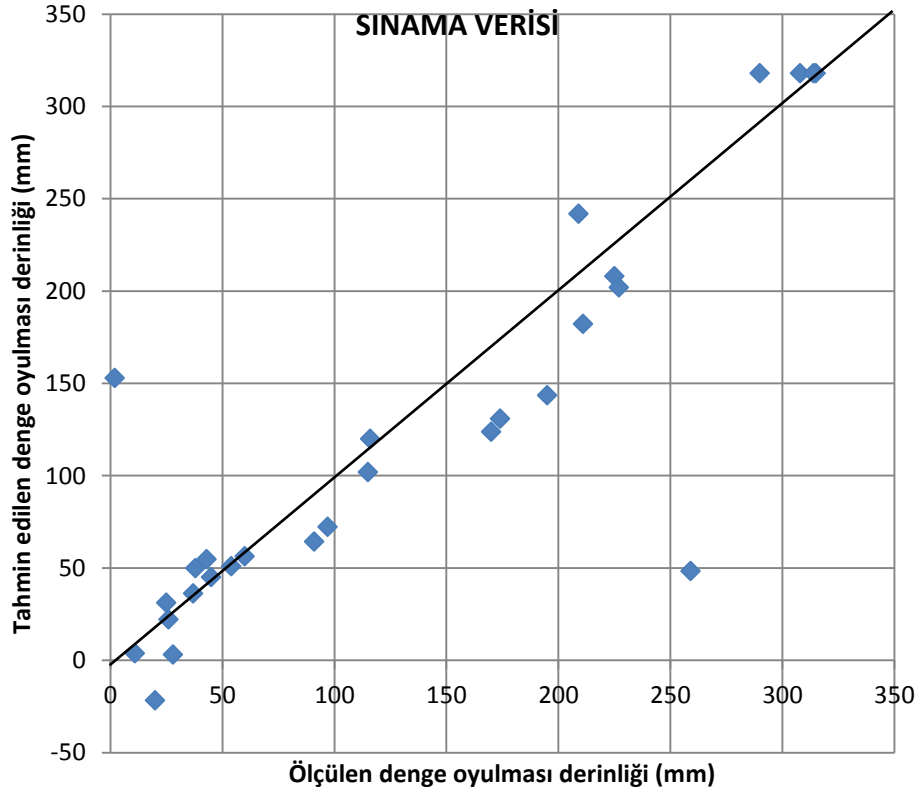
Şekil 4.83: 3 girdi 1 çıktı BM modelinde sınama verileri tahmin edilen değerler ile ölçülen değerlerin gösterimi



Şekil 4.84: 3 girdi 1 çıktı BM modelinde eğitime verisi tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması

Model, değiştirilmeye ve karmaşılaştırılmaya devam edilmiştir ve model değişikçe elde edilecek olan tahminlerle birlikte modelin performansına bakılmaya devam edilmiştir.

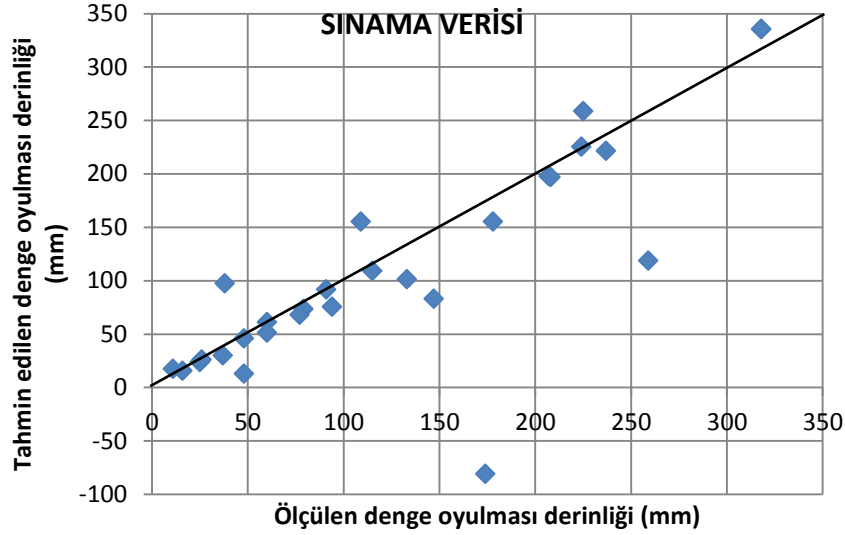
4 girdi 1 çıktılı sistemde ise modele yeni eklenen değişken “V” akım hızıdır. Model yine aynı şekilde eğitim ve sınama verileri olarak 2’ye 1 oranında bölünerek eğitim ve sınama tahminleri yapılmıştır. 84 adet veri kullanılarak yapılan eğitimler sonucu oyulma derinliği değerleri için elde edilen tahminler ve ölçülen gerçek verilerin saçılmasına bakılmıştır. Şekil 4.86’da 3’e 3’lük üyelik fonksiyonu atamasında tahmin edilen sınama değerleri ile ölçülen gerçek verilerin aynı diyagramda saçılması görülmektedir. 150 mm. değerinin altındaki oyulma derinliği değerlerinde daha iyi tahminler yapıldığı görülmüştür.



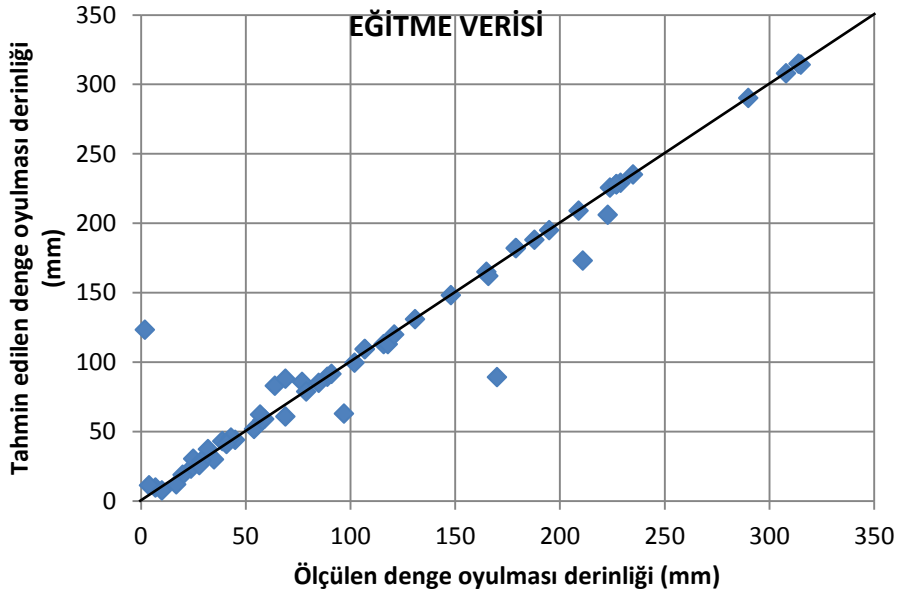
Şekil 4.85: 3 girdi 1 çıktı BM modelinde sınama verisi tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması

Bu modele ait eğitime verilerine ait modelde yapılan tahminler ve ölçülen otulma derinliği değerlerinin saçılma diyagramı Şekil 4.87’de sunulmuştur. Modelin, %90’ın üzerinde iyi tahminler yaptığı görülmektedir.

Burada eğitim ve sınav verileri arasında belirli bir yüzde farkı olmasının nedenlerinden biri verilerin normal dağılıma uygun olmayışından dolayıdır. İkinci olarak ise rastgele seçim yapılırken bir kısım verilerde bir trend oluşabilir ve hep aynı türden veriler bir tarafa yığılabilir.



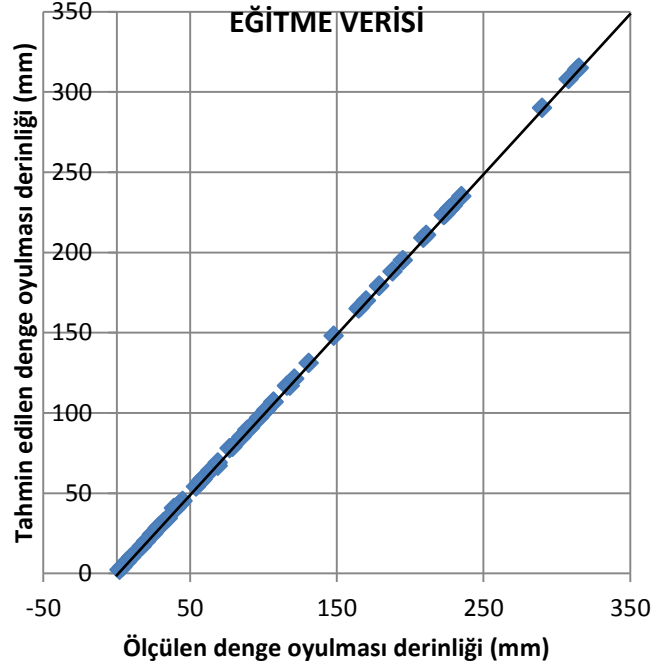
Şekil 4.86: 4 girdi 1 çıktı BM modelinde sınav verisi tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması



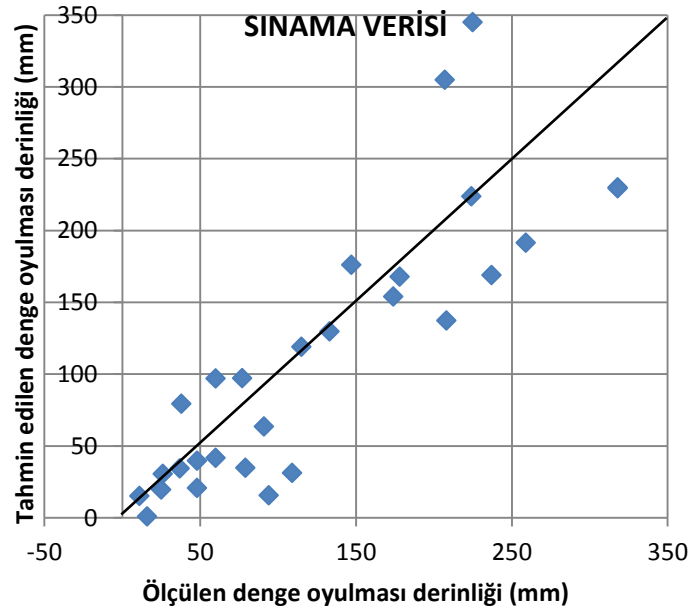
Şekil 4.87: 4 girdi 1 çıktı BM modelinde eğitim verisi tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması

Taneciklerin ortalama büyüklüğünün (d_{50}) de modele eklenerek 5 girdi 1 çıktıdan oluşan modelir. Bu model verileri ile, ilk başta her bir girdi yine 3'er alt kümeye

bölünmek suretiyle eğitimler yapılmıştır. Şekil 4.88 ve Şekil 4.89’da görüldüğü üzere model eğitime kısmında iyi tahminler yapabilirken, sınama kısmında 50 mm’den büyük değerlerde pek iyi tahminler yapamamıştır. Daha önceki modellere göre kötü bir model ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.88: 5 girdi 1 çıktı BM modelinde eğitime verisi tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması



Şekil 4.89: 5 girdi 1 çıktı BM modelinde sınama verisi tahmin edilen ve ölçülen oyulma derinliği saçılması

YSA modelinde yapılan eğitimlerde, 6 girdi 1 çıktıdan oluşan modelin iyi sonuçlar vermemesi üzerine BMÇS modelinde 6 girdi 1 çıktı modeline yer verilmemiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Köprü ayaklarında meydana gelen oyulmalar için güvenilir öngörüler ve tahminler, doğru tasarımların yapılabilmesi adına çok büyük önem arz etmektedir. Daha önce de belirtildiği üzere, bu öngörüler iki şekilde yapılabilmektedir. İlk olarak deneysel çalışmaların sonrasında elde edilen veriler ışığında, bu verilere uygun eğri uydurma yöntemi ile bazı denklemler veya eşitsizlikler oluşturulmaktadır. İkinci olarak ise yine veriler ışığında birtakım veri analiz yöntemleri kullanılarak, girdiler ve çıktılar arasındaki ilişki, belirsizlik ve bulanıklık içeren yöntemlerle incelenmektedir. Bu inceleme sonucu çeşitli tahminler yapılarak modelin doğru kurulup kurulmadığına ve sistemin çözülüp çözülemediğine bakılır. Bu çalışmada, temiz su oyulması koşullarında denge oyulmasının zaman etkeni de hesaba katılarak oluşumu incelenmiş, bu inceleme yapılırken korelasyon tabanlı tahmin modelleri kurulmaya çalışılmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan yaklaşımlar Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (BMÇS) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemleridir.

Modeller kurulmadan önce, her bir girdi ile çıktı arasındaki ilişkiye saçılma diyagramında bakılmıştır. Buna göre herbir girdi ile çıktı arasındaki ilişki saçılma diyagramlarından yola çıkılarak YSA ve BMÇS modelleri kurulmuştur.

YSA modellerinde kurulan modeller içerisinde en iyi tahminler 4 girdi 1 çıktıdan oluşan modelde elde edilmiştir. R^2 değerlerinin bütün verilerde 0.90, sınama verilerinde ise 0.97 değerlerini alarak, gerçek verilere çok yakın tahminlerde bulunulmuştur. 6 girdi 1 çıktıdan oluşan modelin iyi değerler vermemesinden ötürü bu model ihmal edilmiştir. Özellikle zaman etkeninin modellere dahil edilmesi ile birlikte kurulan modellerin iyi tahminler yapamaması, zaman etkeninin bir girdi olarak alınmaması sonucunu ortaya çıkarmıştır.

Kurulan BMÇS modellerinde ise ANFIS yöntemi kullanılmıştır. Bu yaklaşımda esasen Takagi-Sugeno çıkarım yöntemi kullanılır. Bunun sonunda kuvvetli olandan zayıf olana doğru sırasıyla 2 girdi ve 1 çıktıdan ortaya çıkan modeller kurulmuş ve bu modeller doğrultusunda sistem tahminlerine bakılmıştır. Bu tahminler sonucunda

3 girdi 1 çıktıdan oluşan modelde tahmin edilen oyulma derinliği değerleri ile ölçülen oyulma derinliği değerlerinin nisbeten daha yakın oldukları görülmüştür.

Literatür taraması sonucu en çok kullanılan formüller arasında yer alan Laursen & Toch (1956) ve Shen ve diğ. (1969) çalışmaya dahil edilmiştir. Laursen ve Toch (1956) formülünde göz önünde bulundurulan değişkenler yalnızca ayak çapı ve akım derinliğidir. Araştırmacılar bu iki değişkeni sabit bir katsayıyla çarparak oyulma derinliği hesaplamaya çalışmışlardır. Shen ve diğ. (1969) tarafından ortaya atılan formülde ise hız ve ayak çapının yanında kinematik viskozite de hesaba katılmıştır. YSA ve BMÇS modellerinde kullanılan veriler, bu üç formülde de sınanmıştır. Bu sınamaların neticesinde, Shen ve diğ (1969) formülü ile elde edilen sonuçlarda 100 mm.'den daha az olan değerlerde daha iyi oyulma tahminleri yapılmıştır. 100 mm.'den daha büyük olan değerlerde ise bu formülle hesaplanan değerler gerçek değerlerden yaklaşık 1,5-2 kat fazla çıkmıştır. Laursen & Toch (1956) formülünün Shen ve diğ. (1969) formülüne göre isabetli oyulma derinliği tahmin performansı daha düşüktür. Hesaplanan oyulma değerleri ölçülen değerlere 100 mm'nin altında yaklaşmış da genel itibariyle hesaplanan oyulma değerleri ölçülen değerlerden fazla çıkmıştır. Gerçeğe en yakın hesaplamalar Shen ve diğ. (1969) formülüyle elde edilmiştir.

Çalışmada kullanılan veri kümesinde girdilerle çıktı arasında çizilen grafiklerde, bazı girdilerle çıktının sürekli veya düzenli bir ilişkisi olmadığı görülmüştür. Örneğin denge oyulmasına ulaşılan süre t_e değeri, çıktı ile çok düşük bir korelasyona sahiptir. Bu sebeple çalışmada denge oyulması süresi bir girdi olarak değerlendirilmemiştir.

Verilere dayanılarak yapılan çeşitli analizler sonucu sırasıyla köprü ayak çapı, akım hızının kritik hıza oranı, akım derinliği ve taneciklerin dağılımının oyulmayı etkileyen önemli etkenler olduğu düşünülmektedir. Bunların yanısıra köprü ayak şekli de akım hareketine doğrudan etkisi sebebiyle oyulmayı etkileyen bir başka etkindir.

İleriki çalışmalarda bu etkenler baz alınarak yapılacak ayrıntılı ölçümler, oyulma mekanizmasının karmaşıklığını basitleştirmeyi ve daha sağlıklı neticeler alınmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Abed, L., & Gasser, M. M.** (1993). Model Study of Local Scour Downstream Bridge Piers. In *National Conf. on Hydraulic Engineering* (pp. 1738–1743). ASCE.
- Chabert, J., Engeldinger, P.,** Laboratoire National d’Hydraulique (Chatou, F., & France. Bureau central d’études pour les équipements d’outre-mer. (1956). *Etude des affouillements autour des piles de ponts*. Chatou, France: Laboratoire National d’Hydraulique.
- Chiew, Y.** (1995). Mechanics of Riprap Failure at Bridge Piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 121(9), 635–643. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(1995)121:9(635)
- Chiew, Y.-M.** (1992). Scour protection at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 118(9), 1260–1269.
- Deng, L., & Cai, C. S.** (2009). Bridge scour: Prediction, modeling, monitoring, and countermeasures—Review. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 15(2), 125–134.
- Doc, T., & Factor, U.-S. C.** (1993). Evaluating scour at bridges. Retrieved from <http://www.fhwa.dot.gov/bridge/hec18ed2.pdf>
- Froehlich, D. C.** (1989). Local scour at bridge abutments. In *National Conf. on Hydraulic Engineering* (pp. 13–18.). New York.
- Johnson, P.** (1995). Comparison of Pier-Scour Equations Using Field Data. *Journal of Hydraulic Engineering*, 121(8), 626–629. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(1995)121:8(626)
- Johnson, P. A., & Ayyub, B. M.** (1996). Modeling uncertainty in prediction of pier scour. *Journal of Hydraulic Engineering*, 122(2), 66–72.
- Kattell, J., & Eriksson, M.** (1998). Bridge Scour Evaluation: Screening, Analysis, & Countermeasures. Retrieved from <http://trid.trb.org/view.aspx?id=660887>
- Lagasse, P. F.** (1997). *Instrumentation for Measuring Scour at Bridge Piers and Abutments*. Transportation Research Board.
- Lagasse, P. F., Clopper, P. E., Zevenbergen, L. W., & Girard, L. G.** (2007). Countermeasures to Protect Bridge Piers from Scour. *NCHRP Report*, (593). Retrieved from <http://trid.trb.org/view.aspx?id=842012>
- Landers, M., & Mueller, D.** (1996). Evaluation of Selected Pier-Scour Equations Using Field Data. *Transportation Research Record*, 1523(1), 186–195. doi:10.3141/1523-23

- Lauchlan, C. S.** (1999). *Pier Scour Countermeasures* (Doktora Tezi). Auckland Üniversitesi, Auckland, Yeni Zelanda.
- Laursen, E. M., Toch, A., & Iowa Institute of Hydraulic Research.** (1956). *Scour around bridge piers and abutments*. [S.l.]: Iowa Inst. of Hydraulic Research.
- Lim, S.** (1997). Equilibrium Clear-Water Scour around an Abutment. *Journal of Hydraulic Engineering*, 123(3), 237–243. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(1997)123:3(237)
- Lin, Y.-B., Chen, J.-C., Chang, K.-C., Chern, J.-C., & Lai, J.-S.** (2005). Real-time monitoring of local scour by using fiber Bragg grating sensors. *Smart Materials and Structures*, 14(4), 664. doi:10.1088/0964-1726/14/4/025
- Lippmann, R. P.** (1988). An introduction to computing with neural nets. *SIGARCH Comput. Archit. News*, 16(1), 7–25. doi:10.1145/44571.44572
- Lu, J., Hong, J., Su, C., Wang, C., & Lai, J.** (2008). Field Measurements and Simulation of Bridge Scour Depth Variations during Floods. *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(6), 810–821. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(2008)134:6(810)
- Melville, B. W., & Chiew, Y. M.** (1999). Time scale for local scour at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(1), 59–65.
- Melville, B. W., & Chiew, Y.-M.** (1999). Time scale for local scour at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(1), 59–65.
- Melville, B. W., & Coleman, S. E.** (2000). *Bridge Scour*. Water Resources Publication.
- Melville, B. W., & Raudkivi, A. J.** (1977). Flow Characteristics in Local Scour at Bridge Piers. *Journal of Hydraulic Research*, 15(4), 373–380. doi:10.1080/00221687709499641
- Melville, B. W., & Sutherland, A. J.** (1988). Design method for local scour at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 114(10), 1210–1226.
- Millard, S. G., Bungey, J. H., Thomas, C., Soutsos, M. N., Shaw, M. R., & Patterson, A.** (1998). Assessing bridge pier scour by radar. *NDT & E International*, 31(4), 251–258. doi:10.1016/S0963-8695(98)00006-1
- Raudkivi, A. J.** (1986). Functional trends of scour at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 112(1), 1–13.
- Raudkivi, A. J., & Ettema, R.** (1977). Effect of Sediment Gradation on Clear Water Scour. *Proceedings, ASCE*, Vol. 103, No. HY10, 1209–1213.
- Richardson, E. V., & Davis, S. R.** (2001). Evaluating Scour at Bridges. Third Edition. *Federal Highway Administration Hydraulic Engineering Circular No. 18: FHWA-IP-90-017*, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., 203.
- Richardson, J., & Panchang, V.** (1998). Three-Dimensional Simulation of Scour-Inducing Flow at Bridge Piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 124(5), 530–540. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(1998)124:5(530)

- Rojas, R.** (1996). *Neural networks: a systematic introduction*. Springer.
- Rooney, D. M., & Machemehl, J. L.** (1977). Using Suction to Minimize Sand-Bed Scour. *Journal of the Hydraulics Division*, 103(4), 443–449.
- Şen, Z.** (2004). *Yapay Sinir Ağları İlkeleri*. İstanbul: Su Vakfı.
- Şen, Z.** (2009). *Bulanık Mantık İlkeleri ve Modelleme (Mühendislik ve Sosyal Bilimler)*. İstanbul: Su Vakfı.
- Shen, H. W., Schneider, V. R., & Karaki, S.** (1969). Local Scour around Bridge Piers. *Proceedings, ASCE*, Vol. 95, No. HY6, 1919–1940.
- Shen, H. W., Schneider, V. R., & Karaki, S. S.** (1966). *Mechanics of Local Scour: Data Supplement*. Civil Engineering Department, Engineering Research Center, Colorado State University.
- Sheppard, D., & Miller, W.** (2006). Live-Bed Local Pier Scour Experiments. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(7), 635–642. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(2006)132:7(635)
- Sheppard, D., Odeh, M., & Glasser, T.** (2004). Large Scale Clear-Water Local Pier Scour Experiments. *Journal of Hydraulic Engineering*, 130(10), 957–963. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(2004)130:10(957)
- Shirole, A. M., & Holt, R. C.** (1991). Planning For A Comprehensive Bridge Safety Assurance Program. *Transportation Research Record*, (1290). Retrieved from <http://trid.trb.org/view.aspx?id=358683>
- Uyumaz, A.** (1988). Scour Downstream of Vertical Gate. *Journal of Hydraulic Engineering*, 114.
- Uyumaz, A., Altunkaynak, A., & Özger, M.** (2006). Fuzzy Logic Model for Equilibrium Scour Downstream of a Dam's Vertical Gate. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(10), 1069–1075. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(2006)132:10(1069)
- Yanmaz, A. M.** (2002). *Köprü Hidroliği*. ANKARA: ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.
- Yanmaz, A. M., & Doğan Altınbilek, H.** (1991). Study of Time-Dependent Local Scour around Bridge Piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 117(10), 1247–1268.
- Zadeh, L. A.** (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, (8), 338–353.
- Zadeh, L. A.** (1968). Fuzzy algorithms. *Information and Control*, (12), 94–102.
- Zarrati, A. R., Chamani, M. R., Shafaie, A., & Latifi, M.** (2010). Scour countermeasures for cylindrical piers using riprap and combination of collar and riprap. *International Journal of Sediment Research*, 25(3), 313–322. doi:10.1016/S1001-6279(10)60048-0

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Mehmet Öner YELEĞEN

Doğum Yeri ve Tarihi: KANGAL – 09.09.1986

Adres: Sötlöce Mah. Karaağaç Cad. No: 12 C Blok

Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Beyoğlu / İSTANBUL

E-Posta: yelegen@itu.edu.tr; moyelegen@fsm.edu.tr

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

- T.C. M.S.B. İstanbul İnşaat Emlak Bölge Başkanlığı Etüd Proje ve Keşif Amirliği / İnceleme ve Kontrol Subayı (Temmuz 2010 - Temmuz 2011)
- T.C. Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi (Eylül 2012 - Hâlen)

Yayın ve Patent Listesi:

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- **YELEĞEN, M.Ö., UYUMAZ, A.,** “Köprü Ayaklarında Oluşan Oyulmalar İçin Bulanık Mantık Modeli”, 3. Uluslararası Bursa Su Kongresi ve Sergisi, Bursa, 22-24 Mart 2013