

T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Betonun Basınç Dayanımının Tahribatsız Yöntem Verilerini Kullanarak Yapay Sinir  
Ağı ve Regresyon Yöntemi ile Tahmin Edilmesi

Suat YÖRÜBULUT

Aralık 2019

## TEZ ONAYI

**İnşaat Anabilim Dalında** Suat YÖRÜBULUT tarafından hazırlanan BETONUN BASINÇ DAYANIMININ TAHRİBATSIZ YÖNTEM VERİLERİNİ KULLANARAK YAPAY SİNİR AĞI VE REGRESYON YÖNTEMLERİ İLE TAHMİN EDİLMESİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Orhan DOĞAN

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Doç. Dr. Orhan DOĞAN

Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. İlhami DEMİR

Üye (Danışman) : Doç. Dr. Orhan DOĞAN

Üye : Doç. Dr. Baki ÖZTÜRK

...../...../.....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Sevgili kızım **Hanne Liya**'ya

## ÖZET

### BETONUN BASINÇ DAYANIMININ TAHRİBATSIZ YÖNTEM VERİLERİNİ KULLANARAK YAPAY SİNİR AĞI VE REGRESYON YÖNTEMLERİ İLE TAHMİN EDİLMESİ

YÖRÜBULUT, Suat

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yapı Anabilim Dalı, Yüksek Lisans tezi

Danışman: Doç. Dr. Orhan DOĞAN

Aralık 2019, 91 sayfa

Yapay zeka yöntemlerinden, yapay sinir ağı ve istatistiksel tahmin yöntemi olan regresyon analizinin bilimsel verilerin değerlendirilmesinde son yıllarda yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir.

Bu çalışma ile bu yöntemler kullanılarak, betonun basınç dayanımının tahmin edilmesinde kullanılan ve yapı elemanlarına zarar vermeyen tahribatsız yöntemlerden beton test çekici ve ultrasonik test cihazı ile kısa sürede ve düşük maliyetler ile beton basınç dayanımı tahmini amaçlanmıştır. Bu amaçla, Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi 2008/001 numaralı projesi kapsamında, 117 adet karot numunesi için tahribatsız yöntemlerle elde edilen veriler kullanılarak yapay sinir ağı ve regresyon modelleri oluşturulmuş ve bu iki modelden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tahribatsız deney verileri kullanılarak yapay sinir ağı ve regresyon yöntemleriyle tahmin edilen beton basınç dayanımları ile tahribatlı yöntem olan karot numunelerinin basınç dayanımlarının birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmüş ve yeni model ortaya konulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Yapay Sinir Ağı, Regresyon Analizi, Beton Basınç Dayanımı, Tahribatsız Yöntemler, Beton Test Çekici, Ultrasonik Test Cihazı, SONREB

## ABSTRACT

### ESTIMATION OF CONCRETE'S COMPRESSIVE STRENGTH USING NON-DESTRUCTIVE METHOD DATA WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORK AND REGRESSION METHOD

YÖRÜBULUT, Suat

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering, Master Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Orhan DOĞAN

December 2019, 91 pages

It is seen that, as parts of artificial intelligence, artificial neural network and regression analysis which is a statistical estimation method, have been widely used in the evaluation of scientific data in recent years.

In this study it is aimed to estimate the concrete compressive strength by using non-destructive concrete test hammer and ultrasonic test which are applied without destroying structural members and are time and cost saving methods at the same time. For this purpose, artificial neural network and regression models were created for the data obtained by using non-destructive methods for 117 core samples and the results of these two models were compared within the scope of Kırıkkale University Scientific Research Projects Coordination Unit Project No. 2008/001.

Using the non-destructive test data, the compressive strengths of concrete compressive strengths estimated by artificial neural network and regression methods and the core strength samples of the destructive method have been found to be very close to each other and a new model has been obtained.

**Key Words:** Artificial Neural Network, Regression Analysis, Concrete Compressive Strength, Non-Destructive Methods, Concrete Test Hammer, Ultrasonic Tester, SONREB

## TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir zaman yardımını esirgemeyen, ilgi ve önerileri ile beni yönlendiren, büyük destek olan, tez yöneticisi hocam, Sayın Doç. Dr. Orhan DOĞAN' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım süresince; bilimsel konularda daima yardımlarını gördüğüm, desteğini ve bilgilerini esirgemeyen Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü hocalarıma, Dr. Öğr. Üyesi Funda ERDUGAN'a ve tez jürime katılarak değerli fikirlerini sunan Sayın Prof. Dr. İlhami DEMİR ve Doç. Dr. Baki ÖZTÜRK'e, saha çalışmalarım da yardımcı olan Mesut ÖZEL'e, ayrıca yardımlarını esirgemeyen enstitümüzün değerli personellerine ve Bahar SERT'e, gönülden teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte, bana her türlü desteğini veren, her zaman yanımda olan değerli aileme, annem Münevver YÖRÜBULUT'a, babam İbrahim YÖRÜBULUT'a ve sevgili eşim Dr. Öğr. Üyesi Serap YÖRÜBULUT'a, aramıza daha yeni katılan, ailemize hayat veren, Güneşim, Canım kızım, Hanne Liya YÖRÜBULUT'a tüm kalbimle teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	iii
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	iv
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	viii
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	xi
<b>SİMGELER DİZİNİ</b> .....	xii
<b>KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	xiii
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1. Önceki Çalışmalar .....	3
<b>2. BETON</b> .....	6
2.1. Beton Basınç Dayanımı .....	8
2.1.1. Taze Beton Deneyleri.....	9
2.1.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri .....	9
2.1.2.1. Tahribatlı Yöntemler.....	10
2.1.2.2. Tahribatsız Yöntemler .....	11
<b>3. YAPAY ZEKA</b> .....	13
3.1. Yapay Zekanın Gelişim Süreci.....	13
3.2. Yapay Zekanın Amaçları .....	13
<b>4. YAPAY SİNİR AĞLARI</b> .....	14

4.1. YSA'nın Gelişim Süreci ve Özellikleri.....	15
4.2. YSA'da Eğitim, Öğrenme ve Test Etme .....	17
4.3. Toplama Fonksiyonu.....	17
4.4. Aktivasyon Fonksiyonu .....	18
4.4.1. Eşik Aktivasyon Fonksiyonu.....	18
4.4.2. Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu .....	19
4.4.3. Kısmi Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu .....	19
4.4.4. Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu .....	20
4.5. YSA'nın Sınıflandırılması.....	21
4.5.1. Öğrenme Algoritmalarına Göre Ağ Sınıflandırılması .....	21
4.5.1.1. Danışmanlı Öğrenme (Öğretmenli Eğitim).....	22
4.5.1.2. Danışmansız Öğrenme (Öğretmensiz Eğitim) .....	22
4.5.1.3. Destekleyici Öğrenme (Yarı Öğretmenli Eğitim) .....	22
4.5.2. Öğrenme Zamanına Göre Ağ Sınıflandırılması.....	22
4.5.2.1. Statik Öğrenme.....	22
4.5.2.2. Dinamik Öğrenme .....	23
4.5.3. Yapılarına Göre Ağ Sınıflandırılması.....	23
4.5.3.1. İleri Beslemeli Ağlar.....	23
4.5.3.2. Geri Beslemeli Ağlar .....	24
4.5.3.3. İleri Beslemeli Geri Yayılmalı Ağlar.....	24
<b>5. REGRESYON ANALİZİ .....</b>	<b>26</b>
5.1. Regresyon Türleri .....	28



5.1.1. Basit Doğrusal Regresyon Modeli.....	29
5.1.2. Çoklu Doğrusal Regresyon Modeli .....	30
5.2. Serpilme Diyagramı.....	31
5.3. Korelasyon Katsayısı .....	31
5.4. Standart Sapma .....	34
5.5. Standart Hata .....	34
5.6. Belirtme Katsayısı.....	34
5.7. Bağımsız Değişkenlerin Belirlenmesi.....	35
5.8. Regresyon Modellerinin Anlamlılığı .....	35
<b>6. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>36</b>
6.1. SONREB Metodu .....	37
6.2. Beton Test Çekici Metodu.....	38
6.3. Ultrasonik Hız Deneyi Metodu.....	39
6.4. Saha Uygulamaları.....	40
6.4.1. Röntgen Cihazı ile Donatı Tespiti Yapılması.....	40
6.4.2. Karot Cihazı ile Numune Alınması .....	42
6.4.3. Ultrasonik Test Cihazı ile Dalga Hızının Ölçülmesi .....	43
6.4.4. Tek Eksenli Basınç Deneyi (fck ölçülmesi).....	45
<b>7. BULGULAR .....</b>	<b>48</b>
7.1. Uygulama 1 .....	48
7.1.1. Regresyon Yöntemi ile Beton Basınç Dayanımının Tahmini .....	49
7.1.2. YSA ile Beton Basınç Dayanımının Tahmini .....	56

7.2. Uygulama 2 .....	63
7.2.1. Regresyon Yöntemi ile Beton Basınç Dayanımının Tahmini .....	69
7.2.2. YSA ile Beton Basınç Dayanımının Tahmini .....	77
<b>8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>85</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>87</b>



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.1 Biyolojik bir sinir hücresi yapısı.	15
Şekil 4.2. Basit bir sinir hücresi modeli.	16
Şekil 4.3 Eşik Aktivasyon Fonksiyonu	19
Şekil 4.4 Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu	19
Şekil 4.5 Kısmi Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu	20
Şekil 4.6 Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu	21
Şekil 4.7 Çok tabakalı ileri beslemeli YSA mimarisi	23
Şekil 4.8 Çok tabakalı geri beslemeli YSA mimarisi	24
Şekil 4.9 Çok tabakalı ileri beslemeli geri yayımlı YSA mimarisi	25
Şekil 5.1 İlişki grafikleri	29
Şekil 5.2 Serpilme diyagramı	31
Şekil 5.3.a $X$ ve $Y$ arasındaki ilişki grafiği (ilişki yok)	33
Şekil 5.3.b. $X$ ve $Y$ arasındaki ilişki grafiği (pozitif yönde tam ilişki var)	33
Şekil 5.3.c. $X$ ve $Y$ arasındaki ilişki grafiği (negatif yönde tam ilişki var)	33
Şekil 6.1. Beton test çekici	38
Şekil 6.2. Ultrasonik test cihazı	39
Şekil 6.3 Ultrasonik test cihazı başlıklarının beton yüzeyine yerleştirilmesi	39
Şekil 6.4 Donatı tespit cihazı referans rasterinin yapı elemanına yerleştirilmesi	41
Şekil 6.5 Donatı detektörü ile donatı tespit işlemi	41

Şekil 6.6 Donatıların röntgen cihazı ekranından izlenmesi	41
Şekil 6.7 Karot cihazının yerleştirilmesi	42
Şekil 6.8 Karot cihazı ile numune alınması	42
Şekil 6.9 Karot numune ölçülerinin tespit edilmesi	43
Şekil 6.10 Numune kodlama örneği	44
Şekil 6.11 Numune kodlamalarının yapılması	44
Şekil 6.12 Ultrasonik test cihazı kalibrasyonunun yapılması	45
Şekil 6.13 Ultrasonik Test Cihazına numunenin yerleştirilmesi	45
Şekil 6.14 Ultrasonik dalga hızının ölçülmesi	45
Şekil 6.15 Başlıklaması yapılmış karot numuneleri	46
Şekil 6.16 Numunenin Yerleştirilmesi ve UCS Deneyinin gerçekleştirilmesi	47
Şekil 6.17 Basınç Deneyinin gerçekleştirilmesi	48
Şekil 7.1. $S$ ile $f_{ck}$ arasındaki bağıntı	51
Şekil 7.2. $V$ ile $f_{ck}$ arasındaki bağıntı	51
Şekil 7.3 Proseq modelinde tahmin edilen $f_{ck}$ ile gerçek $f_{ck}$ 'nin grafiği	54
Şekil 7.4 Regresyon modelinde tahmin edilen $f_{ck}$ ile gerçek $f_{ck}$ 'nin grafiği	54
Şekil 7.5 Regresyon ve Proseq modellerinde $f_{ck}$ ile gerçek $f_{ck}$ 'nin grafiği	55
Şekil 7.7 İki katmanlı ileri beslemeli YSA	57
Şekil 7.8 YSA modelinde girdi ve çıktı verilerinin tanımlanması	57
Şekil 7.9 YSA modelinde, eğitim, test etme ve performans değerleri	58
Şekil 7.10 YSA modelinde, eğitim için seçilen algoritma ve ağırlıkların eğitilmesi	58
Şekil 7.11 YSA modelinde katmanlar ve nöron sayıları	59

Şekil 7.12 YSA modelinde eğitim sonucunda elde edilen değerler	59
Şekil 7.13 YSA'da seçilen eğitim araçlarının performans değerleri	60
Şekil 7.14 YSA $f_{ck}$ değerleri ile gerçek $f_{ck}$ değerleri arasındaki ilişki grafikleri	61
Şekil 7.15 YSA modeli ile tahmin edilen $f_{ck}$ ile gerçek $f_{ck}$ grafiği	62
Şekil 7.16 YSA ve regresyon modelleri $f_{ck}$ 'ları ile gerçek $f_{ck}$ değerleri ilişkisi	62
Şekil 7.17 Proseq, regresyon ve YSA modelleri $f_{ck}$ 'ları ile gerçek $f_{ck}$ grafiği	63
Şekil 7.18 $f_{ck}$ ve V arasındaki bağıntı	70
Şekil 7.19 $f_{ck}$ ve S arasındaki bağıntı	71
Şekil 7.20 $\ln S$ ile $f_{ck}$ arasındaki bağıntı	73
Şekil 7.21 $\ln V$ ile $f_{ck}$ arasındaki bağıntı	74
Şekil 7.22 Regresyon modeli ile gerçek $f_{ck}$ grafiği	76
Şekil 7.23 İki katmanlı ileri beslemeli geri yayımlı sinir ağı	77
Şekil 7.24 YSA modelinde girdi ve çıktı verilerinin tanımlanması	78
Şekil 7.25. YSA modelinde, eğitim, test etme ve için seçilen değerler	78
Şekil 7.26. YSA modelinde, eğitim için seçilen algoritma	79
Şekil 7.27. YSA modelinde atanan 1. gizli katman ve nöron sayıları	79
Şekil 7.28. YSA modeli Eğitim sonucunda elde edilen değerler	80
Şekil 7.29 YSA'da seçilen eğitim araçlarının performans değerleri	81
Şekil 7.30 YSA $f_{ck}$ değerleri ile gerçek $f_{ck}$ değerleri arasındaki ilişki grafikleri	82
Şekil 7.31 YSA modeli ile gerçek $f_{ck}$ grafiği	83
Şekil 7.32 YSA ve Regresyon modeli ile gerçek $f_{ck}$ grafiği	84
Şekil 7.33 YSA, Regresyon ve Proseq $f_{ck}$ 'ları ile gerçek $f_{ck}$ grafiği	84

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Tahribatlı ve tahribatsız yöntemlerin karşılaştırılması.....	12
Çizelge 5.1. Korelasyon aralıkları.....	32
Çizelge 7.1. Proceq veri tablosu.....	49
Çizelge 7.2. Tanımlayıcı istatistikler.....	50
Çizelge 7.3. Verilerin normal dağılım uygunluğu testi .....	50
Çizelge 7.4. Modelin belirtme katsayısı .....	52
Çizelge 7.5. ANOVA tablosu.....	52
Çizelge 7.6. Regresyon katsayıları tablosu.....	53
Çizelge 7.7. Tanımlayıcı istatistikler.....	55
Çizelge 7.8. Proceq ve regresyon modelleri fck'ları arasındaki korelasyon.....	56
Çizelge.7.9.a. 2018/001 nolu BAP projesi, 1 nolu bina verileri .....	64
Çizelge.7.9.b. 2018/001 nolu BAP projesi, 2 nolu bina verileri .....	65
Çizelge.7.9.c. 2018/001 nolu BAP projesi, 3 nolu bina verileri .....	66
Çizelge.7.9.d. 2018/001 nolu BAP projesi, 4 nolu bina verileri .....	67
Çizelge.7.9.e. 2018/001 nolu BAP projesi, 5 nolu bina verileri .....	68
Çizelge 7.10. Tanımlayıcı İstatistikler.....	69
Çizelge: 7.11. Verilerin normal dağılım uygunluğu testi .....	69
Çizelge 7.12. Modelin belirtme katsayısı .....	71
Çizelge 7.13. ANOVA tablosu.....	72
Çizelge 7.14. Regresyon katsayı tablosu .....	72
Çizelge 7.15. Modelin belirtme katsayısı .....	74
Çizelge 7.16 ANOVA tablosu.....	75
Çizelge 7.17. Regresyon katsayı tablosu .....	75

## SİMGELER DİZİNİ

$f_{ck}$	Beton Basınç dayanımı (Mpa)
$V$	Ultrasonik dalga hızı (m/s)
$R - S$	Beton test çekici değeri
$R$	Korelasyon
$R^2$	Belirtme katsayısı
$\sigma^2$	Varyans
$\varepsilon$	Hata terimi
$\beta_i$	Regresyon katsayısı
$\hat{\beta}_i$	Regresyon katsayısı tahmini
$n$	Örnekleme sayısı
$F$	F testi
$t$	T testi
$p$	Anlamlılık düzeyi
$X$	Bağımsız değişken
$Y$	Bağımlı değişken
$\hat{Y}$	Regresyon tahmini
$R$	Örnekleme korelasyonu
$L$	Ultrason problemleri arasındaki (numune boyu) mesafe (m)
$T$	Ultrasonik cihazda ölçülen zaman (mikro saniye)

## KISALTMALAR DİZİNİ

YZ	Yapay Zeka
YSA	Yapay Sinir Ağı
UGH	Ultrases geçiş hızı
vd.	Ve diğerleri
ANOVA	Varyans analizi
s.d.	Serbestlik derecesi
std.	Standart
M.Ö	Milattan önce
TS EN	Türk standartları enstitüsü



## 1. GİRİŞ

Yapı malzemesi olarak, kolay ve ucuza temin edilebilirliğinin yanında uygulanabilirliği de yüksek olan beton, son yüz yılda dünyada ve ülkemizde en çok tercih edilen bir malzeme olmuştur. Betonun, diğer birçok özelliğine göre beklenen en önemli mekanik özelliği basınç dayanımı olduğu için basınç dayanımının tahmin edilmesi ve belirlenmesi büyük önem arz etmektedir.

Mevcut bir betonarme yapının veya yapı elemanının kalitesinin belirlenmesinde genellikle betonun basınç dayanımı ön plana çıkmaktadır. Mevcut bir yapıda beton basınç dayanımının belirlenmesinde kullanılan en güvenilir ve yaygın yöntem, yapıdan alınan karot numunelerinin basınç testi ile kırılması yöntemidir. Ancak, karot alınması, yapı elemanının kesitinin zayıflamasına ve dolayısıyla da taşıma kapasitesini düşürürken zaman, malzeme ve iş gücü kaybına da neden olmaktadır (Topçu vd., 2010).

Ülkemizdeki yapıların hemen hemen tamamının deprem kuşağında yer alması ve bu yapıların deprem performanslarına ilişkin beton basınç dayanımlarının hızlı değerlendirilmesi gerektiği için, mevcut yapılardan klasik yöntem olarak adlandırılan karot alımı yoluyla beton basınç dayanımının tahmin edilmesinde yöntem olarak cazip olmaktan çıkarmaktadır. Bunun yerine, yaklaşık sonuç verse de beton basınç dayanımını tahribatsız olarak belirleyebilecek yöntemlere gerek duyulmaktadır (Küçük, 2006).

Tahribatsız olarak beton basınç dayanımının tahmin edilmesi yöntemlerinden, beton test (Schmidt) çekici okumaları ve ultrases geçiş (Ultrasonik dalga) hızının ölçülmesi çok yaygın kullanılan iki yöntemdir. Beton test çekici yönteminin uygulanması pratik ve ucuz olsa da yüzey sertliğine dayalı bir ölçüm olması nedeniyle hata payı fazladır. Ultrases geçiş hızı yöntemi de yine ekonomik ve pratik bir yöntem olsa da betonarme elemanlarda donatının ultrases dalgalarını daha hızlı iletmesi nedeniyle beton basınç dayanımı tahmininde tutarsız sonuçlar verebilmektedir (Erdoğan, 2003).

Ultrases geçiş hızı yöntemi, beton elemanlarında ayrışma ve süreksizlikleri bulma işlemlerinde çok başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Son zamanlarda, beton basınç dayanımının yaklaşık olarak bulunmasında kullanılan en etkin ve güvenilir yöntem,

beton test çekici ile ultrases geçiş hızının birlikte kullanıldığı ve değerlendirildiği SONREB bileşik yöntemdir (Topçu, 1993; Yüksel, 2003).

Nisan 2010'da yürürlüğe giren TS EN 13791 standardı, mevcut yapıların ve yapı bileşenlerinin beton basınç dayanımının yerinde tahmin edilmesi ve değerlendirilmesinde, kalibre edilmek şartıyla beton test çekici ve ultrases geçiş hızı gibi hasarsız deneylerin kullanılmasını tavsiye etmektedir. Dolayısıyla hasarsız yöntemler artık ülkemizde de standartlaşmıştır.

Ultrases geçiş hızı ve beton test çekicinin birlikte değerlendirilmesi üzerine bazı araştırmacılar birbirinden farklı bağıntılar önermişlerdir. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

$$(Meynink ve Samarin 1979) \quad f_{ck} = -24.6 + 1.42R + 0.029V^4 \quad (1.1)$$

$$(Tanigawa vd. 1984) \quad f_{ck} = -39.5 + 1.53R + 5.06V \quad (1.2)$$

$$(Erdoğan, 2003) \quad \log f_{ck} = 0.001149R + 0.0003794V \quad (1.3)$$

Buradaki eşitliklerde;

$f_{ck}$  : Beton basınç dayanımını ( $\text{kgf/cm}^2$ ),

R : Beton test çekici okumalarını

V : Ultrases geçiş hızlarını (m/s) ifade etmektedir.

Günümüzde, özellikle yapıya hasar verici deneylerden kaçınmak ve aynı zamanda ekonomik kayıpları önlemek amacıyla bir takım yapay zeka teknikleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntem, bazı durumlarda deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında diğer ampirik modellere göre çok daha iyi sonuçlar vermiştir (Hong-Guang ve Ji-Zong, 2000; Hola ve Schabowicz, 2005)

Bu amaç doğrultusunda, bu tez çalışmasında, beton basınç dayanımının belirlenmesi için ultrases dalga hızı verileri ve beton test çekici okumalarının birlikte kullanıldığı, SONREB yöntemiyle, yapay sinir ağı ve regresyon modelleri sırasıyla MATLAB ve SPSS paket programları yardımıyla geliştirilmeye çalışılmıştır.

Çalışmada ilk olarak beton basınç dayanımının tahmin edilmesi için Proceq firması tarafından tahribatsız yöntemler kullanılarak elde edilen 16 adet numuneye ait, beton

test çekici ve ultrases dalga hızı ve gerçek  $f_{ck}$  verileri kullanılarak bulunan açıklayıcılık oranı %77 olan, Eşitlik (1.4)'de gösterilen Proceq modeline alternatif, YSA ve Regresyon yöntemleri kullanılarak yeni modeller elde edilmiştir. Yeni kurulan bu modeller ile Proceq modeli karşılaştırılmıştır. Tüm modellerin gerçek  $f_{ck}$  verilerini tahmin edilebilirliği ortaya konulmuştur.

$$f_{ck} = 8.314 \times 10^{-11} V^{2.8096} S^{0.8602}, \quad R^2=0.77 \text{ olan} \quad (1.4)$$

Çalışmada ikinci olarak, Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında 2018/001 numaralı proje ile 117 adet karot numunesine ait  $f_{ck}$  değerlerini tahmin etmek için bu numunelere ait tahribatsız yöntemler olan beton test çekici ve ultrasonik test cihazı ile ölçümler yapılmıştır. Tahribatsız yöntem verileri ile beton basınç dayanımının tahmin edilmesi için YSA ve Regresyon yöntemleri kullanılarak yeni modeller ortaya konulmuştur ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak, mevcut yapıdan elde edilen ultrasonik test cihazı ve beton test çekici verileri kullanılarak yapıya zarar vermeden, çok kısa sürede, YSA ve aegresyon analizi ile beton basınç dayanımı tahmin edilmeye çalışılmış, böylelikle zaman, malzeme, iş gücü kaybı ve maliyetin en aza indirilmesi amaçlanmıştır.

### 1.1. Önceki Çalışmalar

Mukherjee ve Biswas (1997), çalışmasında yüksek sıcaklıktaki betonun karakteristik özelliklerini yapay sinir ağı ile tahmin etmişlerdir.

Yeh (1998), yayımlanan makalesinde yüksek dayanımlı betonlarda yapay sinir ağı algoritmaları yardımıyla beton basınç dayanımı tahmininde bulunmuştur.

Dias ve Pooliyadda (2000), yayınlamış olduğu makalede geri yayımlı yapay sinir ağı algoritmalarını kullanarak hazır beton ve yüksek dayanımlı betonların çökme (slamp) ve beton basınç dayanımı değerlerinin tahmini ile ilgili çalışmalar yapmıştır.

Licun ve Zhao (2002), beton basınç dayanımının YSA ile tahmini üzerinde çalışarak ve farklı algoritmalar kullanarak optimum algoritmayı belirlemeye çalışmışlardır.

İnce (2003), yaptığı çalışmada materyal modelleme davranışının genellikle deneysel veri ve gözlem ile türetilen bir matematiksel modelin gelişmesini içerdiğini görmüştür. Tartışılan alternatif yollardan birinin Yapay Zeka temelli olan YSA tabanlı modelleme olduğu kanısına varmıştır.

Mansour vd. (2004), yaptıkları çalışmada güçlendirilmiş beton kirişlerinin kesme dayanımını tahmin etmek için YSA uygulamasını incelemiştir. Ayrıca çalışmalarında, bir YSA modelleyerek teknik literatürde bulunan 176-RC kirişlerinin uygun test verilerini kullanarak bu modeli eğitip test etmişlerdir.

Özcan (2005), doktora tezi çalışmasında laboratuvar ortamında Antalya Etibank Elektrometalürji İşletmesinden alınan silis dumanının harç ve beton özelliklerine olan etkilerini araştırmıştır.

Pala vd. (2005), tarafından yapılan çalışmada, uzun süreli kür sonucunda çimento ile uçucu kül ve silis dumanının yer değiştirme oranlarının beton basınç dayanımına olan etkilerinin YSA yardımıyla belirlenmesine çalışılmıştır.

Sarıdemir (2008), doktora tezi çalışmasında, farklı agregalarla üretilmiş betonların fiziksel ve mekanik özelliklerini YSA ve BM yöntemleri kullanılarak tahmin etmeye çalışmıştır.

Subaşı ve Beycioğlu (2008), çalışmasında kırma taş kalker agregalı betonların basınç dayanımlarının belirlenmesi amacıyla çoklu doğrusal Regresyon Tekniği ve YSA yöntemiyle iki farklı tahmin modeli geliştirmiştir.

Baltacıoğlu vd. (2010), Depremde hasar görmüş herhangi bir yapının mevcut durumunu hızlı ve etkin bir şekilde belirlemek ülkemiz koşulları açısından çok önemlidir. Bu çalışmada da yapay zeka tekniği yöntemlerinden uzman sistemler kullanılarak, pek çok temel problemler modellenerek, analiz edilmiş ve başarı ile kullanılmıştır.

Başığit vd. (2012), çalışmasında normal betonlar için belirlenen onuncu tabaka kalınlıkları kullanılarak farklı radyasyon değerlerinde betonların radyasyon soğurması için gerekli olan kalınlıklar YSA ve çoklu regresyon metotları ile tahmin etmişlerdir.

Yaprak vd. (2013), çalışmasında betonun basınç dayanımını tahmin etmek için YSA geliştirmiş. YSA'nın farklı çimento, yaş ve kür koşullarının girdi parametreleri olarak

kullanıldığı mevcut basınç dayanımı tahmin yöntemlerine iyi bir alternatif sağladığı sonucuna varmışlardır.

Gupta (2013), çalışmasında Nano silika içeren betonun basınç dayanımını yapay sinir ağı ile tahmin etmiştir.

Murtazaoğlu vd. (2015), çalışmasında CFRP (karbon lifli polimer malzeme) ile güçlendirilmiş betonarme kolonların basınç dayanımının tahmini için mevcut olan matematiksel modellere alternatif olarak çoklu regresyon modelleri oluşturmuşlardır.

Nasuf ve Özbakır (2016), çalışmasında agregaların fiziksel özelliklerinden yola çıkarak beton dayanımlarının YSA ile tahmin etmiştir. Yapay sinir ağı ile yapılan tahminlerin regresyondan daha iyi olduğunu göstermiştir.

Chopra vd. (2016) çalışmasında betonun basınç dayanımını YSA ve genetik programlama ile tahmin etmişlerdir. Bu iki modeli kıyaslayarak yapay sinir ağı kullanılarak yapılan tahminin basınç dayanımını daha iyi tahmin ettiği sonucuna varmışlardır.

Namlı vd. (2016) çalışmasında farklı karışım oranları kullanılarak Beton basınç dayanımının tahmininde YSA yöntemi ile Dalgacık Dönüşümü YSA (DDYSA) yöntemlerinin tahmin performansları karşılaştırılmış ve veri setini ayrıştırarak tahmin için daha kararlı duruma getiren Dalgacık Dönüşümünün (DD) tahmin performanslarının iyileşmeye/kötüleşmesine etkisi araştırılmış ve sonuç olarak DD'nin araştırmacılar ve beton üreticileri tarafından beton basınç dayanım tahmininde etkin bir yöntem olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Doğan ve Odacıoğlu (2019) binaların performans analizlerine esas olmak üzere kullanılan çimento bileşikli malzemelerin basınç, çekme, kesme vb özelliklerinin yanı sıra güçlendirmelerde de bağlantı elemanlarının kesme ve çekme performanslarının daha sağlıklı tasarlanabilmesi için tahribatsız yöntemlerinin kullanıldığı değerlendirme yöntemlerine ihtiyaç duyulmakta olduğunu ifade etmiştir.

## 2. BETON

Beton; su, çimento, agrega, gerektiğinde kimyasal ve mineral katkıların uygun oranlarda ve homojen olarak karıştırılmasıyla oluşturulan, başlangıçta plastik kıvamda olup şekil verilebilen, zamanla katılaşp sertleşerek mukavemet kazanan bir yapı malzemesidir. Betonun karışımında kullanılan su ve diğer malzemelerin kalitesi, karışım oranları, betonun yapımından, yerleştirilmesine hatta kür ve bakımına kadar uygulanan yöntemler betonun kalitesine etki etmektedir.

Beton, dünyada yapı imalatlarında çok kullanılan, insan yaşamında can güvenliği ve ekonomik açılardan önemli yeri bulunan bir malzemedir.

Beton bileşenlerinin doğada kolay ve bol miktarda bulunabilmesi, dayanım ve dayanıklılığının yüksek olması, işlenebilir ve kolay şekil verilebilir olması, yangın direncinin yüksek ve maliyetinin düşük olması, üretiminin az enerjiye ihtiyaç duyması, çevre dostu olması ve daha birçok özelliği ile en çok tercih edilen yapı malzemesidir.

Beton, ilkel şekliyle M.Ö 3000 yıllarında Mısır piramitlerinin inşasında, Çin seddinin yapımında, çağlar öncesinden pek çok sayıda yapılarda kullanıldığı bilinmektedir.

Günümüzde tarif edilen beton ise, 1824 yılında ilk çimentonun üretilmesi ve 1848 yılında ilk çimento fabrikasının (İngiltere) kurulmasıyla kullanılmaya başlanılmıştır. 1903 yılında Almanya’da hazır beton kullanılmaya, 1916 yılında da betonun taşınması için trans mikserler kullanılmaya başlanmıştır.

Beton teknolojisinde meydana gelen gelişmeler ile fiziksel ve kimyasal katkıların betonda kullanılması ile günümüzde yüksek dayanımlı ve yüksek performanslı betonlar üretilmektedir.

Teknik ve ekonomik üstünlükleri sayesinde, betonun geçmişte olduğu gibi gelecek yıllarda da inşaat sektöründe en çok tercih edilen malzeme olma özelliğini sürdürmesi beklenmektedir.

Maruz kaldığı yüklere ve çevre etkilerine karşı ekonomik ömrü boyunca, fiziksel ve kimyasal bütünlüğünü koruyabilen, geçirimsiz, dayanımı ve dayanıklılığı yüksek betonlar, iyi veya kaliteli beton olarak tanımlanmaktadır.

Beton kalitesinin belirlenmesinde en önemli parametre basınç dayanımıdır. Basınç dayanımını etkileyen faktörler genellikle betonda diğer mekanik özellikleri de aynı yönde etkiler. Beton basınç dayanımını etkileyen faktörlerden bazıları aşağıda verilmiştir.

- Kullanılan malzeme (Su, çimento, agrega, fiziksel ve kimyasal katkıları)
- Uygun tasarım
- Su/çimento oranı
- Üretim teknolojisi
- Yerleştirme, Sıkıştırma
- Bakım (Kür)

#### **Piyasada En Çok Kullanılan Betonlar:**

**Hafif Beton:** Etüv kurusu durumdaki yoğunluğu (birim hacim kütlesi),  $800 \text{ kg/m}^3$  veya daha büyük olup,  $2000 \text{ kg/m}^3$ 'ü geçmeyen beton.

**Normal Beton:** Etüv kurusu durumdaki yoğunluğu (birim hacim kütlesi),  $2000 \text{ kg/m}^3$ 'ten büyük olup,  $2600 \text{ kg/m}^3$ 'ü geçmeyen beton.

**Ağır Beton:** Etüv kurusu durumdaki yoğunluğu (birim hacim kütlesi),  $2600 \text{ kg/m}^3$ 'ten daha büyük olan beton.

**Yüksek Dayanımlı Beton:** Basınç dayanım sınıfı C 50/60 'dan daha yüksek olan normal beton veya ağır betonlardır.

Betonun avantaj ve dezavantajlarından bazıları özetle aşağıya çıkarılmıştır.

#### **Betonun Avantajları:**

- Kolay şekil verilebilir olması,
- Donatı kullanılarak çekme dayanımının artırılabilmesi,
- Basınç dayanımının yüksek olması,

- Dış etkilere (fiziksel ve kimyasal) karşı dayanıklı olması,
- İstenilen estetik forma (doku, renk, yüzey vb. gibi) girebilme özelliğinin yüksek olması,

#### **Betonun Dezavantajları:**

- Gerilme dayanımının düşük olması,
- Birim ağırlığının yüksek olması,
- Kimyasal reaksiyon hasarlarının oluşabilmesi,
- Ek yapılmasının oldukça zor olması,
- Yıkımının zor olması,
- Tekrar kullanılamaması,
- Isıyı, sesi ve rutubeti kolay geçirmesi,

#### **2.1. Beton Basınç Dayanımı**

Betonun en önemli mekanik özelliği basınç dayanımı ve buna bağlı olarak beton sınıfıdır. Beton basınç dayanımı, eksenel basınç yükü altında betonun kırılmamak için gösterebildiği direnme kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır. Beton basınç dayanımı beton kalitesinin bir ölçüsüdür ve betonun sınıflandırılmasında kullanılır.

Mevcut betonarme yapıların incelenmesi ve yeni yapılacak olan yapıların projelendirilmesinde beton basınç dayanımının ve beton sınıfının belirlenmesi, yapılması gereken en öncelikli çalışmadır.

Beton basınç dayanımı, betonun taze ve sertleşmiş hallerinden olmak üzere iki ayrı durumundan alınan numuneler üzerinde yapılan deney yöntemleri ile tahmin edilmektedir.



### **2.1.1. Taze Beton Deneyleri**

Beton basınç dayanımının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntem (standart yöntem), taze betondan alınan silindir veya küp numunelerin, laboratuvar ortamında ve belirli zamanlarda kırılarak basınç dayanımının tespit edilmesi yöntemidir.

Ülkemizde standart basınç dayanımı; TS EN 12350-1, TS EN 12390-2 ve TS EN 12390-3 standartlarına göre, yapıya dökülen taze betondan alınan standart silindir veya küp deney numunelerinin, küre tabii tutularak, basınç dayanımı testi sonucunda tespit edilen basınç dayanımının belirlenmesi şeklinde yapılmaktadır.

Standart yöntemin, silindir veya küp numuneleri ile yapıdaki betonun kür koşulları, döküm sırasındaki sıkıştırma işlemi ve test koşulları her zaman aynı olmadığından, yerindeki betonu tam olarak temsil edememesi, basınç dayanımının bu şekilde belirlenmesini sakıncalı hale getirmektedir.

Diğer taraftan, bu yöntem, sadece yeni inşa edilmekte olan yapıların beton basınç dayanımlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Mevcut yapılarda kullanılma durumu bulunmamaktadır.

### **2.1.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri**

Mevcut betonarme yapılarda kullanılan sertleşmiş betonun basınç dayanımının tahmin edilmesinde kullanılan yöntemlerdir.

Ülkemizde Sertleşmiş beton deneyi, betonarme yapı elemanından, TS EN 12504-1'e göre alınan karot numunelerinin, TS EN 12390-3'e göre basınç dayanım testine tabii tutulması ve TS EN 13791'e göre değerlendirilmesi yöntemleri takip edilerek yapılmaktadır.

Mevcut yapılarda beton dayanımının belirlenmesinin nedenlerini aşağıda belirtilen durumlarla özetleyebiliriz;

- Beton dökümü sırasında kalite denetiminin yapılmamış olması veya sonuç elde edilememesi,
- Beton üreticisi ve yapı denetimi (kontrol) arasında ihtilaf oluşması,

- Döküm anında, taze betondan alınan numunelerin dayanımlarının düşük çıkması
- Yapı güvenliğini tehlikeye atacak hasarların meydana gelmesi,
- Döküm anında uygun yerleştirme ve kürün yapılmamış olması, betonda çatlak, segregasyon ve büyük boşlukların meydana gelmesiyle beton basınç dayanım düzeyinin belirlenmesi gerekliliği
- Yapının kullanım amacının değiştirilmesi ve/veya yapı boyutunun büyütülmesi,
- Tadilat, güçlendirme veya yıkım gibi kararların alınması,
- Farklı amaçlı araştırma ve çalışmalar yapılması,
- Yapı betonunun yangına maruz kalması,
- Yapının depreme maruz kalması,

Deprem öncesi veya sonrası mevcut betonarme yapıların güvenliğinin belirlenmesinde en önemli aşama beton dayanımının saptanmasıdır.

Mevcut betonarme yapılarda beton dayanımı belirlenerek yapı güvenliğinin hesaplanması sonucunda;

- Mevcut yapının olduğu gibi kullanılmasına,
- Yapının onarılması ve/veya güçlendirilmesine,
- Yapının yıkılarak kaldırılması ve yeniden yapılmasına karar verilebilir.

Mevcut betonarme yapı ve sertleşmiş betonda, tahribatlı ve tahribatsız olmak üzere iki deney yöntemi kullanılarak beton basınç dayanımı tahmin edilmektedir. Bu yöntemler kısaca aşağıda açıklanmıştır.

#### **2.1.2.1. Tahribatlı Yöntemler**

Mevcut yapının beton basınç dayanımının belirlenmesinde, kullanılan en yaygın yöntem, mevcut yapı elemanından alınan karot örneklerinin kırılması yöntemidir. Ancak, betonarme elemanlardan karot alınması, yapı elemanı kesitinin azalmasına ve

taşıma kapasitesinin düşmesine neden olabilmektedir. Bundan dolayı bu yöntem tahribatlı yöntem olarak adlandırılmaktadır.

Ülkemizde “sertleşmiş beton deney numunelerinden basınç dayanımının tahmini” için TS EN 12390-3 standardı kullanılır. Bu standardın uygulamasında ve kapsamında; TS EN 12350-1, TS EN 12390-1, TS EN 12390-2 veya TS EN 12504-1’e uygun olarak küp, silindir veya karot biçiminde numuneler alınır, alınan deney numuneleri, TS EN 12390-4’e uygun basınç deney makinasında kırılıncaya kadar yüklenir. Numunenin taşıyabildiği en büyük yük belirlenerek beton basınç dayanımı hesaplanır.

En yaygın kullanılan tahribatlı yöntem, mevcut yapıların, betonarme elemanlarından alınan karot numunelerinin laboratuvar ortamında kırılarak beton basınç dayanımının tahmin edilmesi yöntemidir.

### **2.1.2.2. Tahribatsız Yöntemler**

Beton basınç dayanımının tahmin edilmesinde, yapıya zarar vermeyen yöntemler tahribatsız yöntemler olarak tanımlanmaktadır.

Mevcut yapılarda beton basınç dayanımının belirlenmesinde, uygulaması hızlı ve kolay olan tahribatsız yöntemler, tahribatlı yöntemlere göre; süre, iş gücü ve maliyet açısından çok avantajlıdır.

Mevcut yapıların performans analizlerinin yapılması, güçlendirme yapıp yapılmayacağı kararlarının alınması vb. gibi durumlarda, mevcut yapıya zarar vermeden daha hızlı ve sağlıklı sonuca ulaşmak için tahribatsız yöntemlerle elde edilen verilerin kullanıldığı tahmin etme modellerine ihtiyaç duyulmaktadır (Akgül, M., Doğan, O., 2019; Çelik, F., Doğan, O., 2019; Doğan vd., 2019; Akgül, M., Doğan, O., 2020).

Tahribatsız yöntemlerin en yaygın olarak kullanılanları; Beton test çekici ile beton yüzey sertliğinin belirlenmesi ve ultrasonik test cihazı ile beton ses dalga hızının ölçülmesi yöntemleridir.

Tahribatsız yöntemlerden beton test çekici ve ultrasonik test cihazı verilerinin birlikte kullanılarak beton basınç dayanımının tahmin edilmesi yöntemi SONREB metodu olarak tanımlanmaktadır.

Aşağıdaki bölümlerde ise beton basınç dayanımını tahmin etmek için yapay zeka yöntemlerinden olan yapay sinir ağları ve istatistiksel yöntemlerden olan regresyon analizi açıklanacaktır. Bu yöntemlerde de SONREB metodu kullanılacaktır.

Tahribatlı ve tahribatsız yöntemlerin kısaca karşılaştırılması aşağıda Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

**Çizelge 2.1.**Tahribatlı ve Tahribatsız Yöntemlerin Karşılaştırılması

<b>TAHRİBATLI YÖNTEMLER</b>	<b>TAHRİBATSIZ YÖNTEMLER</b>
Yapıya zarar verebilir.	Yapıya zarar vermez
Tekrar edilmez.	Tekrar edilir
Tek başına sonuç verir.	Tek başlarına anlamları olmayabilir
Maliyeti yüksektir.	Maliyeti düşüktür
Standart sapması düşüktür.	Standart sapması yüksektir.
Hata oranı düşüktür.	Hata oranı yüksektir.

### **3. YAPAY ZEKA**

Yapay Zeka (YZ), insan zekasını temel alan, insan zekası ile yapılan davranışların, makinalar tarafından da yapılmasını sağlamaya çalışan yöntemler bütünü olarak tanımlanmaktadır. YZ, insan aklının çalışma yapısını, düşünme yeteneğini, beynin çalışmasını veya doğanın biyolojik evrimini modellemeye çalışan yöntemlerden oluşur.

YZ, gelişen bilgisayar teknolojisine bağlı olarak, özellikle sezgisel olarak çözülen ya da matematik teknikler kullanılarak çözülmesi mümkün olmayan problemleri çözmeye çalışmaktadır.

#### **3.1. Yapay Zekanın Gelişim Süreci**

1956 yılında düzenlenen Dartmouth Konferansı'nda John McCarthy tarafından ilk olarak "Yapay Zeka" ifadesi kullanılmıştır. YZ, Uzman sistemler, Yapay Sinir Ağları (YSA), Bulanık Mantık ve Genetik Algoritmalar şeklinde alt dallara ayrılmaktadır.

YZ, bilgisayar sistemlerinden, inşaat sektörüne, psikoloji ve felsefe alanlarından askeri ve istihbarat alanlarına, finans sektöründen tıp alanına kadar birçok disiplinler ile ilişkili olan, etkileşimli bir bilim dalıdır.

#### **3.2. Yapay Zekanın Amaçları**

YZ'nin amacı, insan zekasının ne olduğunu anlamak ve bilgisayar aracılığı ile insan zekasını taklit ederek, makinaları akıllı ve daha faydalı hale getirmektir.

YZ'da her sorunu çözecek genel amaçlı program yerine belirli bir uzmanlık alanında ve bilgiyle desteklenen programların kullanılması amaçlanır,

YZ, bilimin çoğu alanlarına çözüm önerileri ile katkıda bulunmaktadır.

Son yıllarda mühendislik problemlerinin tasarımı ve analizinde etkin olarak kullanılan YZ tekniklerinden olan YSA kısaca Bölüm 4'te ele alınmıştır.

#### 4. YAPAY SİNİR AĞLARI

İnsan beynini ve sinir sistemini modelleyerek taklit etme çalışması olan YSA yöntemi, YZ uygulamalarından bir tanesidir.

Günümüzde bilgisayar insanlara, birçok alanda hız, zaman, ekonomi, önceden tahmin etme, hızlı bilgi üretme gibi birçok alanda kolaylık sağlamaktadır. Bu kolaylığın temelinde bilgisayarlar için hazırlanmış olan komut sistemlerinin birçok branşlarda uygulanabilmesi ve hızlı bir şekilde çözülebilmesi yatmaktadır.

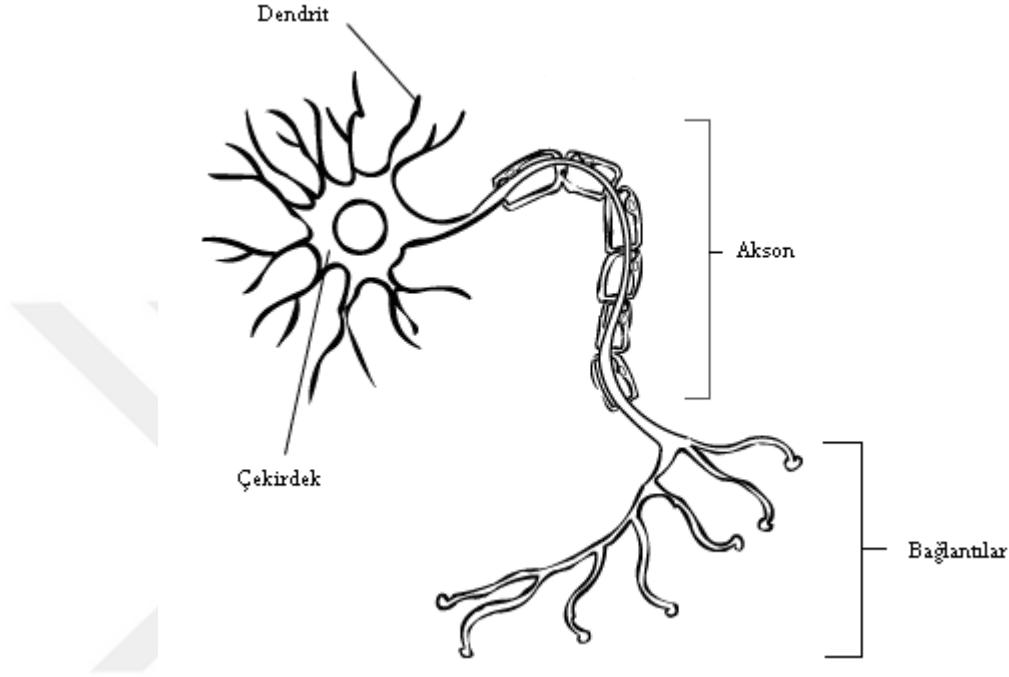
YSA birbirine bağlı yapay sinir hücrelerinden oluşan, bilinen hesaplama yöntemlerinden farklı bir hesaplama yöntemi kullanan, buldukları ortama uyum sağlayan, adaptif, eksik bilgi ile çalışabilen, belirsizlik altında karar verebilen, hatalara karşı toleranslı olan, önceden tahmin etme, sınıflandırma, teşhis, kontrol, gibi birçok alanda yoğun olarak kullanılmaktadır (Şen, 2004a; Sarıdemir, 2008).

YSA'nın, problemi matematiksel formülasyonlar kullanarak çözmek yerine, problemi ve problemin çözümünü örnekler üzerinden öğrenmesi, değişen şartlara uyumlu olması gibi avantajları nedeniyle, çeşitli bilim dallarında ve özellikle mühendislik dalında çok geniş bir uygulama alanı vardır.

Bir Yapay Sinir Ağı tabakalar halinde dizilmiş nöronlardan oluşur. Ağ tipine göre her tabakadaki nöron, diğer tabakalardaki nöronlarla ve aynı tabakadaki başka nöronlarla bağlantılıdır. Bu nöronlar arasında karmaşık iletişimler, her olaya göre belirlenen ağırlık katsayıları ile gerçekleştirilmektedir.

Biyolojik sinir ağını oluşturan bir sinir hücresi dört temel elemandan oluşur ve aralarındaki ilişki Şekil 4.1'de görülmektedir. Sinir hücresi bu şekilden de anlaşılacağı gibi; hücre gövdesi (soma), girişler (dendrit), çıkışlar (akson) ve bağlantılardan (snaps), oluşmaktadır. Hücre gövdesi olarak bilinen soma, hücreyi denetler ve hücre etkinliklerinin tümünü yönetir. Giriş olarak bilinen dendritler, hücre girişi olarak görev yaparlar, diğer hücrelerden bağlantılar aracılığıyla aldığı bilgiyi hücre gövdesine iletirler. Aksonlar, hücre gövdesinde işlenen bilgiyi diğer sinir hücrelerinin dendritlerine bağlantılar aracılığıyla iletirler. Snaps olarak bilinen yapı aksonun son bölümünde bulunmaktadır ve dallı bir yapıya sahiptir. Bu dalların sonunda, küçük ve yuvarlaksı sinaptik terminaller denilen uçlar vardır. Bir sinir hücresi, başka bir sinir

hücre ile doğrudan temas etmez. Sinaptik terminal ve diğer hücre dendritleri arasında küçük sinaptik aralıklar vardır. Sinir verisi sinaptik terminallere ulaştığında, nörotransmitter denilen kimyasal madde salgılanmakta bu salgı vasıtasıyla veri diğer sinir hücreleri dendritlerine iletilmektedir (Nabiyev, 2003; Albayrak vd., 2013; Sarıdemir 2008).



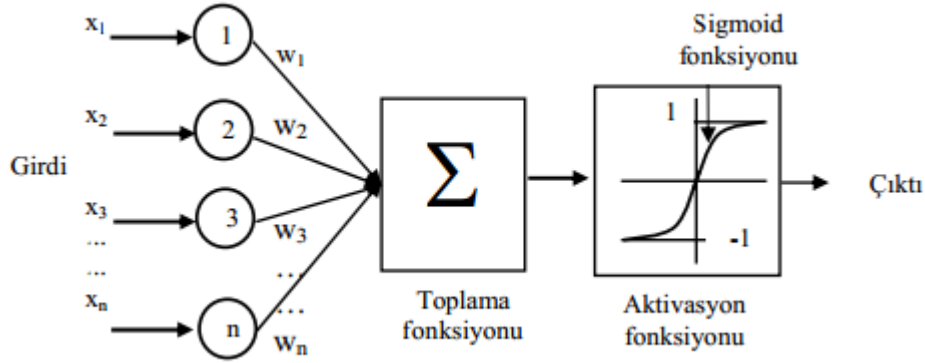
Şekil 4.1. Biyolojik bir sinir hücresi yapısı.

#### 4.1. YSA'nın Gelişim Süreci ve Özellikleri

1940'lı yıllarda, biyolojik sinir hücrelerinden esinlenilerek ortaya çıkan YSA hücre modeli; “ve”, “veya” ve “değil” gibi mantık işlemlerinin sayısal olarak modellenebileceğini göstermiştir. Basit bir biyolojik sinir sisteminin incelenmesi ile buna benzer şekilde çalışan YSA modellerinin geliştirilmesi ile mühendislik, matematik, fen ve sağlık gibi alanlarda YSA'nın kullanım alanı daha da genişlemiştir (Şen, 2004a; Sarıdemir, 2008).

YSA'da girdi verilerinin işlenerek çıktı verilerinin üretilmesi olan bilgi işleme süreci kara kutu olarak nitelendirilmektedir. Bu süreçte yapılan işlemler tam olarak bilinmemektedir.

YSA'nın, 1943 yılında yapay sinir tanımını yaparak Şekil 4.2'deki gibi bir hücre modeli geliştiren McCullogh ve Pitts tarafından başlatıldığı kabul edilir (McCullogh ve Pitts, 1943).



Şekil 4.2. Basit bir sinir hücresi modeli.

YSA yöntemi, geleneksel bilgi işleme yöntemlerinden birçok noktada farklılık göstermektedir. Sahip olduğu farklı özellikler bakımından YSA çoğu yönteme göre daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Bu özelliklerden bazıları; paralellik, hata toleransı, öğrenilebilirlik ve gerçekleştirme kolaylığı vb. gibidir (Şen, 2004a; Sarıdemir, 2008).

YSA'da bilgilerin işlenmesi ve problemin çözümü, hücrelerin paralel olarak bağlanmasıyla gerçekleştirildiğinden aktarılan bilgiler birbirinden bağımsızdır. Bağlantılarda zaman bağımlılığı olmadığından tüm ağ eşzamanlı olarak çalışabilmektedir. Bu sebeple bilgi akışı ve işleme hızı yüksektir (Blum, 1992; Sarıdemir, 2008).

YSA'nın paralel olmasından dolayı bir birim de oluşan hata tüm sistemde belirgin bir hataya sebep olmamaktadır. Sadece sinir hücresinin ağırlıkları oranında bir etkilenme gerçekleşmektedir, bundan dolayı genel sistem, bölgesel hatalardan çok az etkilenmektedir. YSA'nın paralel işlem yapmasından dolayı, ağda bulunan elemanların bağlantı etkinlikleri ağırlıklarla temsil edilerek girdi ve çıktı verilerine göre sinir ağlarının eğitilmesiyle çıktıların katkı oranları ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Sinir ağları daha sonra gerçekleştirilen testlerde bu çıktıları ve yeni girilecek bilgileri dikkate almaktadır.



## 4.2. YSA'da Eğitim, Öğrenme ve Test Etme

YSA önceden verilen örnek girdiler yardımı ile sonuçları tahmin eden bir çözüm yöntemidir. YSA'da bağlantı ağırlık değerlerinin optimize edilmesi işlemine *ağın eğitilmesi* denir. Burada amaç ağırlıkları değiştirerek çözüm için en uygun ağırlık değerlerini belirlemektir. Uygun ağırlık değerlerine ulaşıldıktan sonra, YSA genelleme yapabilme yeteneğini kazanmış demektir. YSA'nın hiç görmediği bir örnek için daha önceden görmüş olduğu örnekler yardımı ile genelleme yaparak çözüm üretebilme yeteneğini kazanmasına *adaptif öğrenme* denir. Ağın eğitimi bittikten sonra ağın öğrenip öğrenmediğini kontrol etmek için yapılan denemelere ise *ağın test edilmesi* denir. Test aşamasında ağa hiç görmediği örnekler gösterilir ve ağın bu örneklere karşı ürettiği çıktı ile olması gereken çıktı karşılaştırılarak ağın performansı ölçülür.

Genel anlamda üç ana öğrenme türü vardır; danışmanlı öğrenme, danışmansız öğrenme ve destekleyici öğrenme. Danışmanlı öğrenmede ağa girdilerle birlikte bu girdilere karşılık gelen çıktılar da girilir. YSA'dan elde edilen çıktılarla, gerçek çıkış değeri arasındaki fark istenilen düzeye indirilene kadar ağdaki ağırlıklar değiştirilerek optimum seviye yakalanıncaya kadar işlem tekrarlanır ve bu şekilde ağın öğrenmesi sağlanır. Danışmansız öğrenmede girdi değerlerine karşılık gelen gerçek çıkış değerlerinin bilinmesine ve ağa girilmesine gerek yoktur. Öğrenme süresince sadece giriş bilgileri ağa girilir. Bu giriş verileri ile ağda elde edilen yeni giriş verileri arasındaki matematiksel ilişkilere göre bağlantı ağırlıkları ayarlanır. Takviyeli öğrenmede ise giriş değerlerine karşılık çıkış değerlerinin bilinmesine gerek yoktur. Ancak her iterasyon sonunda ağın elde ettiği çıktının iyi veya kötü olduğu hakkında ağa bilgi verilir.

## 4.3. Toplama Fonksiyonu

Girdiler ve ağırlıkların işlem elemanına etkisini hesaplayan bir fonksiyondur. Toplama fonksiyonu bir hücreye gelen net girdiyi hesaplar (Anderson, 1983; Akkurt, vd., 2003). Girdi bileşenlerindeki ağırlıkların tümü Eşitlik (4.1) kullanılarak toplanır (Demir, ve Korkmaz, 2007; Topçu ve Sarıdemir, 2007, 2008a, 2008b; Sarıdemir, 2008).

$$(\text{net})_j = \sum_{i=1}^n w_{ij}x_i + b \quad (4.1)$$

Burada;  $(\text{net})_j$ ,  $n$  adet sinir hücresinde, önceki tabakalardan alınan girdinin  $j$ . sinir hücresindeki toplam ağırlığını,  $w_{ij}$  önceki tabakadaki  $i$ . sinir hücresi ve  $j$ . sinir hücresi arasındaki ağırlığı,  $x_i$  önceki tabakadaki  $i$ . sinir hücresinin çıktısını ve  $b$  katkı olarak sabit bir değeri ifade eden  $\Sigma$  toplama fonksiyonudur (Sarıdemir, 2008).

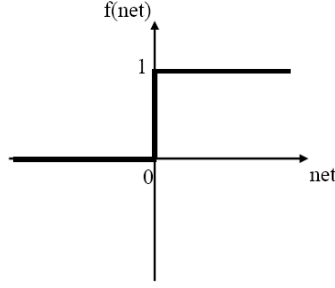
#### 4.4. Aktivasyon Fonksiyonu

Toplama fonksiyonundan elde edilen net girdiyi bir işlemde geçirerek hücre çıktısını belirleyen bir fonksiyondur. YSA hücre modellerinde kullanılmak üzere, hücrede gerçekleştirilecek işleme göre değişik aktivasyon fonksiyonu bulunmaktadır. Aktivasyon fonksiyonları sabit parametrelili veya uyarlanabilir parametrelili olarak seçilebilir. En iyi tahminlerin yapılabilmesi için aktivasyon fonksiyonunun doğru seçilmesi önemlidir. YSA hücre modellerinde yaygın olarak kullanılan aktivasyon fonksiyonları hakkında bilgiler aşağıda verilmiştir (Şen, 2004a; Sarıdemir, 2008).

##### 4.4.1. Eşik Aktivasyon Fonksiyonu

Eşik aktivasyon fonksiyonunun en önemli özeliği tüm girdi değerlerine karşılık sadece iki çeşit çıktı üretmesidir (Sen, 2004a). Eşik aktivasyon fonksiyonunun matematiksel ifadesi Eşitlik (4.2)'de verilmiştir. Eşik aktivasyon fonksiyonu kullanılarak yapılmış bir sinir hücresi literatürde McCulloch-Pitts modeli olarak adlandırılmaktadır. Fonksiyonun grafiği Şekil 4.3'de gösterilmiştir (McCulloch, ve Pitts 1943).

$$f(\text{net}) = \alpha(\text{net}) = \begin{cases} 1 & \text{eğer } (\text{net}) \geq 0 \\ 0 & \text{eğer } (\text{net}) < 0 \end{cases} \quad \text{ise } y = \alpha\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i\right) \quad (4.2)$$

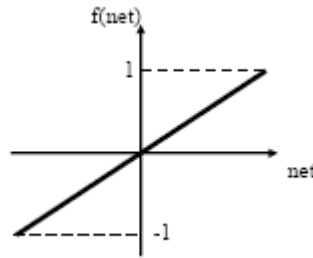


Şekil 4.3. Eşik Aktivasyon Fonksiyonu

#### 4.4.2. Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu

Doğrusal bir problemi çözmek amacıyla genellikle çok tabakalı YSA'nda kullanılan, hücrenin net girdisini doğrudan hücrenin çıkışı olarak hesaplayabilen fonksiyondur. Doğrusal aktivasyon fonksiyonunun matematiksel ifadesi (4.3)'de verilmiştir. Burada  $\alpha$  sabit bir sayıdır. Doğrusal aktivasyon fonksiyonunun grafiği Şekil 4.4'de gösterilmiştir.

$$f(\text{net}) = \alpha(\text{net}) \text{ ise } y = \alpha \left( \sum_{i=1}^n w_i x_i \right) \quad (4.3)$$

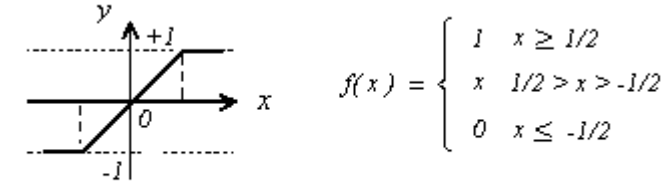


Şekil 4.4. Doğrusal Aktivasyon Fonksiyon

#### 4.4.3. Kısmi Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu

Eşik aktivasyon fonksiyonu ve doğrusal aktivasyon fonksiyonlarının birlikte kullanıldığı fonksiyon olarak tanımlanabilmektedir. Eğer doğrusal bölgedeki katsayı

yeterince büyük alınırsa fonksiyon eşik fonksiyonuna dönüşür. Kısmi doğrusal aktivasyon fonksiyonunun denklemleri ve grafiği Şekil 4.5’de verilmiştir.



$y = f(x)$  Kısmi Doğrusal Fonksiyon

**Şekil 4.5.** Kısmi Doğrusal Aktivasyon Fonksiyon

#### 4.4.4. Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu

YSA oluşturulurken en çok kullanılan aktivasyon fonksiyonudur. Genel olarak çok tabakalı YSA modellerinde aktivasyon fonksiyonu olarak Sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılır. Doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlar arasında dengeyi sağlayan ve sürekli artan bir fonksiyon olarak tanımlanır.

Sigmoid aktivasyon fonksiyonunun matematiksel ifadesi (4.4)’de verilmiştir (Anderson, 1983; Öztaş, vd., 2006; Pala, vd., 2005; Topçu ve Sarıdemir, 2008c, Sarıdemir, 2008).

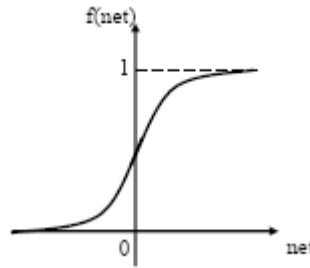
$$f(\text{net}) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha(\text{net})}} \text{ ise } y = \frac{1}{1 + e^{-\alpha\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i\right)}} \quad (4.4)$$

$$f(\text{net}) = \frac{1 - e^{-\alpha(\text{net})}}{1 + e^{-\alpha(\text{net})}} \text{ ise } y = \frac{1 - e^{-\alpha\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i\right)}}{1 + e^{-\alpha\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i\right)}}$$

Burada;  $\alpha$  sabiti yarı doğrusal bölgenin eğimini kontrol etmek için kullanılır. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu her tabakayı girdi tabakasından ayırmaktadır. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu “0” ve “1” arasında çıkışlar verir. İstenildiği takdirde fonksiyonun çıkışları “-1” ve “1” arasında olacak şekilde ayarlanabilir. Sigmoid

işlemcisi sürekli bir fonksiyonu gösterdiğinden dolayı özellikle doğrusal olmayan tanımlarda kullanılır. Sigmoid Fonksiyonun çıktıları ile hedeflenen çıktılar arasındaki farklar hata olarak belirlenir ve bu hatanın istenen sınırlardan daha küçük olmaması durumunda, hatalar geriye doğru her bağlantıya geri yayılma ile dağıtılır. Belirlenen hatalar istenen seviyeye gelene kadar YSA modelinin eğitimine devam edilir (Hopfield, 1982; Elman,1990; Topçu ve Sarıdemir, 2008d).

Sigmoid aktivasyon fonksiyonu “ $\alpha$ ” değişkenine bağlı olarak Şekil 4.6’da görüldüğü gibi eğriler halinde ortaya çıkmaktadır.



**Şekil 4.6.** Sigmoid Aktivasyon Fonksiyon

#### **4.5. YSA'nın Sınıflandırılması**

YSA, öğrenme algoritmalarına, öğrenme zamanlarına ve yapılarına göre olmak üzere çokça çeşitleri bulunmaktadır. Bu farklılıkların temel nedeni kullanılan mimari, gizli tabaka sayısı, öğrenme yöntemi, bağlantı yapısı gibi özellikler olabilmektedir.

##### **4.5.1. Öğrenme Algoritmalarına Göre Ağ Sınıflandırılması**

YSA, öğrenme kabiliyeti sayesinde girdilere göre çıktı üretmektedir. YSA'da ağın öğrenmesinin de farklı yolları vardır. Genel anlamda üç ana öğrenme türü vardır ve öğrenme yöntemlerine göre; danışmanlı, danışmansız ve destekleyici öğrenme olarak üçe ayrılır.

Danışmanlı öğrenmede ağa girdilerle birlikte bu girdilere karşılık gelen çıktılar da girilir. YSA'dan elde edilen çıktılarla, gerçek çıkış değeri arasındaki fark istenilen düzeye indirilene kadar ağdaki ağırlıklar değiştirilerek optimum seviye yakalanıncaya kadar işlem tekrarlanır ve bu şekilde ağın öğrenmesi sağlanır.

#### **4.5.1.1. Danışmanlı Öğrenme (Öğretmenli Eğitim)**

Danışmanlı öğrenmede ağı girdilerle birlikte bu girdilere karşılık gelen çıktılar da girilir. YSA'dan elde edilen çıktılarla, gerçek çıkış değeri arasındaki fark istenilen düzeye indirilene kadar ağıdaki ağırlıklar değiştirilerek optimum seviye yakalanıncaya kadar işlem tekrarlanır ve bu şekilde ağı öğrenmesi sağlanır.

#### **4.5.1.2. Danışmansız Öğrenme (Öğretmensiz Eğitim)**

Danışmansız öğrenmede ağı sadece girdi değerleri verilmektedir. Girdi değerlerine karşılık gelen herhangi bir çıktı değeri verilmez. Girişte verilen değerlere göre ağı her örneği kendi arasında sınıflandırarak kendi kurallarını oluşturur. Ağı bağlantı ağırlıklarını matematiksel ilişkilere göre ayarlar ve bu şekilde öğrenme işlemini tamamlar.

#### **4.5.1.3. Destekleyici Öğrenme (Yarı Öğretmenli Eğitim)**

Destekleyici öğrenmede giriş değerlerine karşılık çıkış değerlerinin bilinmesine gerek yoktur. Ancak her iterasyon sonunda ağı elde ettiği çıktının iyi veya kötü olduğu hakkında ağı bilgi verilir. Ağı bu bilgilere göre kendini yeniden düzenler. Bu sayede ağı girdi bilgileriyle hem öğrenerek hem de sonuç çıkararak öğrenme işlemini tamamlar.

### **4.5.2. Öğrenme Zamanına Göre Ağı Sınıflandırılması**

YSA, öğrenme zamanına göre statik ve dinamik öğrenme olmak üzere ikiye ayrılır.

#### **4.5.2.1. Statik Öğrenme**

Statik öğrenmede, YSA kullanılmadan önce eğitilir. Eğitim işlemi tamamlandıktan sonra ağı kullanılır. Ancak kullanım sırasında ağı ağırlıklarında herhangi bir değişiklik olmaz.

#### 4.5.2.2. Dinamik Öğrenme

Dinamik öğrenmede, YSA çalıştığı süre boyunca öğrenme işlemini gerçekleştirir. Eğitim aşaması bitmiş olsa da daha sonraki çıkışların onaylanmasına göre ağırlıklar değiştirilerek çalışmaya devam eder.

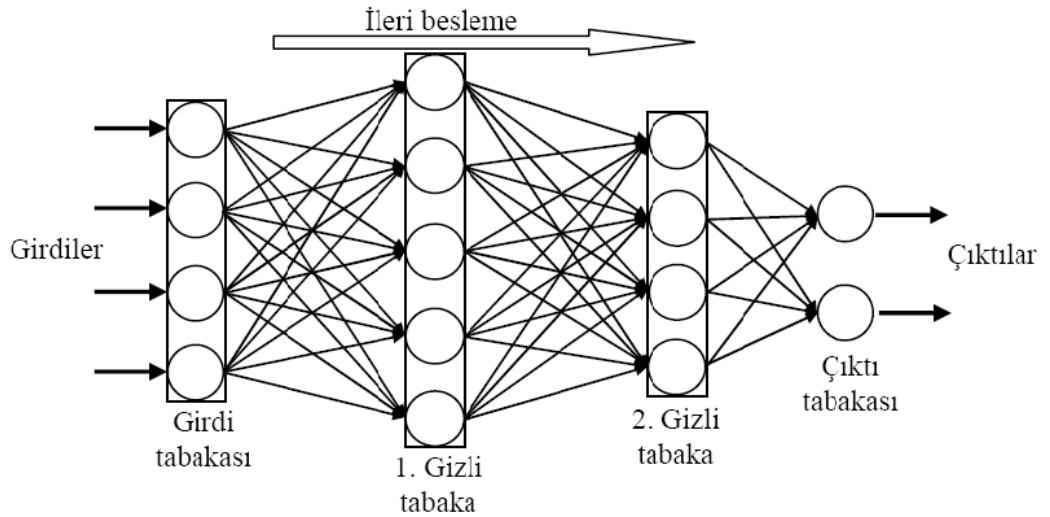
#### 4.5.3. Yapılarına Göre Ağ Sınıflandırılması

YSA yapılarına göre; İleri Beslemeli Ağlar, Geri Beslemeli Ağlar ve İleri Beslemeli Geri Yayılmalı Ağlar olmak üzere üçe ayrılır (Sarıdemir, 2008).

##### 4.5.3.1. İleri Beslemeli Ağlar

İleri beslemeli ağlarda, nöronlar tabakalar halinde gruplandırılır. Giriş tabakasından çıkış tabakasına doğru sinyaller direk olmayan bağlantılarla gider, nöronlar bir sonraki tabakayla bağlantılı olup aynı tabakadaki nöronlar birbirleriyle bağlı değildir.

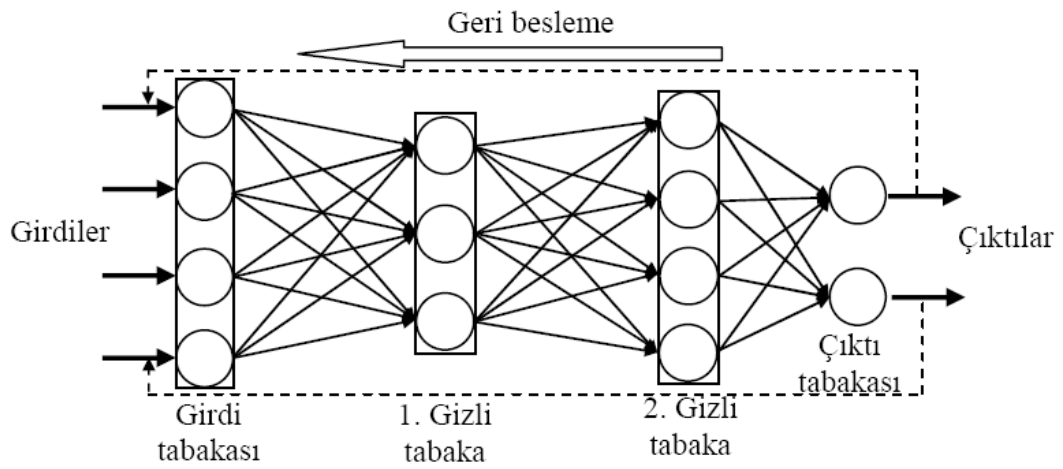
İleri beslemeli YSA'nda ağa giriş ve çıkış değerlerini vermek gerekir. Bu ağlara örnek olarak Rumalhart ve Mc Clelland, Kohonen, Hecht-Nielsen ağları verilebilir. Çok tabakalı ileri beslemeli sinir ağının tipik mimarisi Şekil 4.7'de görülmektedir (Şen, 2004a; Sarıdemir, 2008).



Şekil 4.7. Çok tabakalı ileri beslemeli YSA mimarisi.

### 4.5.3.2. Geri Beslemeli Ağlar

Geri Beslemeli Ağlarda, nöronlar çıktılarını ya kendilerine ya da bir önceki nöronlara geri gönderir. Böylece çıktılar hem ileri hem de geri akabilir. Bu ağlara örnek olarak Hopfield, Elman ve Jordan ağları verilebilir. Bu ağlar ileri beslemeli ağlardan farklı olarak dinamik bir hafızaya sahiptir. Bir andaki çıkış hem o andaki girişleri hem de önceki girişleri yansıtır. Bu nedenle, özellikle tahmin yapmak için uygundur. Çok tabakalı geri beslemeli sinir ağının tipik mimarisi Şekil 4.8’de görülmektedir (Hopfield, 1982; Elman,1990; Sarıdemir, 2008).

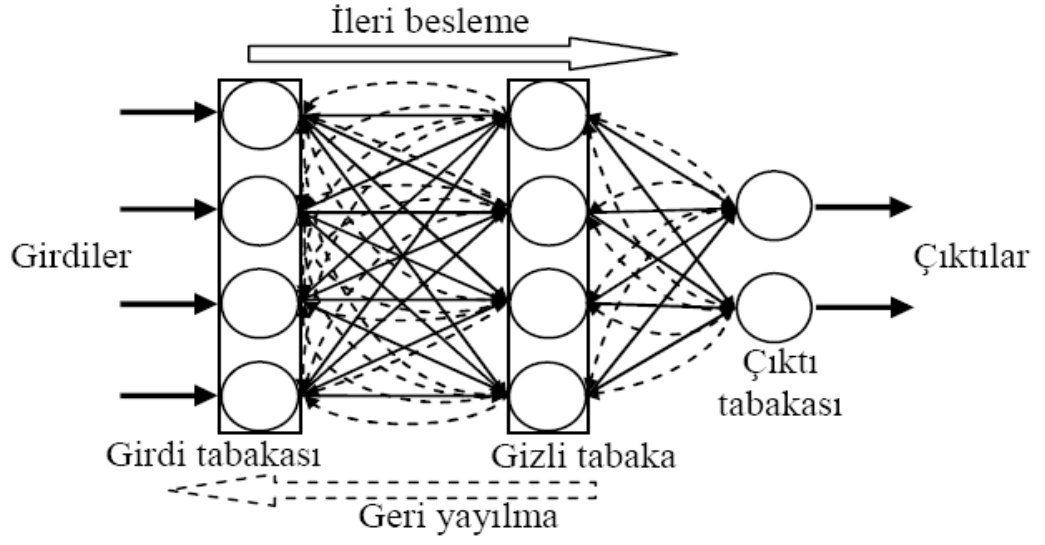


Şekil 4.8. Çok tabakalı geri beslemeli YSA mimarisi.

### 4.5.3.3. İleri Beslemeli Geri Yayılmalı Ağlar

İleri beslemeli geri yayılmalı ağlar 1970’li yıllarda geliştirilmiştir. En çok kullanılan ağ türü olarak bilinmektedir. Bu ağın en büyük özelliği doğrusal olmayan problemlerde etkili olarak kullanılabilmesidir. Çok tabakalı ileri beslemeli geri yayılmalı sinir ağının tipik mimarisi Şekil 4.9’te görülmektedir (Sarıdemir, 2008).





Şekil 4.9 Çok tabakalı ileri beslemeli geri yayımlı sinir ağı tipik mimarisi

## 5. REGRESYON ANALİZİ

Regresyon kavramı Fransızca “regression” kelimesinden türeyerek dilimize girmiş olup, bir şeyi başka bir şeye bağlama işi olarak tanımlanabilir. İstatistikte ise aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi incelemek ve modellemek için kullanılan istatistiksel bir yöntem olarak kullanılır. Regresyon analizi ile hedeflenen; değişkenler arasındaki ilişkiyi belirleyecek doğru modele karar verip evren için en iyi tahminin yapılmasıdır.

Mühendislik uygulamalarında iki veya daha fazla rasgele değişkenin birbirinden istatistiksel olarak bağımsız olmadığı ve bu değişkenlerin birbirleri arasında bir ilişki bulunduğu durumu ile sıklıkla karşılaşılır. İki değişken arasında bir ilişkinin bulunması, bir değişkenin diğerinden etkilenmesi veya her iki değişkenin başka değişkenlerden birlikte etkilenmelerinden kaynaklanmaktadır. Örneğin bir akarsu havzasındaki akıyla yağış arasındaki ilişki, akışın yağışın etkisiyle ortaya çıkmasından doğar. Komşu iki havzadaki akışlar arasındaki ilişki ise her ikisinin de o bölgedeki yağıştan etkilenmelerine bağlıdır (Bayazit ve Oğuz, 2005).

Ancak değişkenler arasında olduğu düşünülen bu ilişkiler deterministik (kesin) nitelikte olmadığı yani değişkenlerden biri, belli bir değer aldığı anda, diğerinin her zaman aynı değeri alacağı beklenemez. Bunun nedeni ise söz konusu ilişkide dikkate almadığımız veya inceleyemediğimiz diğer değişkenlerin etkisinin bu değişkenler üzerinde etkisinin olmasıdır. Örneğin yan yana iki havzanın birinde akım belli bir değeri aldığı anda diğerindeki akım her zaman aynı değerde olmaz. Yine de değişkenler arasındaki rasgele ilişkinin, bağıntının varlığının ortaya çıkarılması ve bu ilişkinin biçiminin belirlenmesi uygulamada oldukça önemlidir. Değişkenler arasındaki bu bağıntı kullanılarak; bir ya da birden fazla değişkenin bilinen değerlerine bağlı olarak diğer bir değişkenin alacağı değeri tahmin etmek mümkün olur. Elde edilen bu tahmin söz konusu değişkenin alacağı gerçek değeri kesin olarak belirlememekle birlikte bu gerçek değere yakın en iyi tahmin olması beklenir. Değişkenler arasındaki bağıntıdan yararlanarak elde edilen bu tahmin değerinin gerçek değerden olan farkının (hatanın) da belli bir olasılıkla hangi sınırlar içinde kalacağı belirlenebilir.

Yukarıda sözü edilen değişkenler arasındaki bağıntıyı gösteren matematik ifade “*regresyon denklemi*” olarak adlandırılır. Değişkenler arasındaki ilişkiyi incelemek ve modellemek için kullanılan istatistiksel yöntem *regresyon analizi* denir.

Regresyon analizi ile amaçlanan, ele alınan değişkenler arasında anlamlı bir ilişkinin olup olmadığını belirleyerek ilişkinin olması durumunda bu ilişkiyi ifade eden regresyon denklemini elde etmek ve bu denklemi kullanarak yapılacak olan tahminlerin güven aralıklarını belirlemektir.

Regresyon analizi; mühendislik, fizik, kimya, biyoloji, tıp, iktisat, sosyal bilimler gibi hemen hemen tüm alanlarda çalışan araştırmacılar, verinin toplanması, özetlenmesi ve parametre kestirimleri ile belirsizlikleri ölçmek ve gelecekle ilgili tahminler yapabilmek için bilimsel bir tahmin yöntemi olan olarak Regresyon Analizini kullanmaktadır.

Regresyon analizinin inşaat mühendisliğinde kullanımına bir örnek olarak betonun 28 gün sonra elde edeceği basınç direncinin daha kısa bir süre içinde elde edeceği dirence dayanarak tahmin edilmesi gösterilebilir. Bu iki direnç arasındaki istatistik ilişkiyi ifade eden regresyon denklemi elde edilebilirse ölçülen kısa süreli bir dirence dayanarak 28 günlük direnç için bir tahmin yapılabilir.

Regresyon denklemi ile tahmin edilen değerler gerçek değerlere eşit olmamakla birlikte yapılabilecek en iyi tahminler olurlar. Gerçek değer tahmin edilen değerden farkının yani hatanın belli bir olasılıkla hangi aralıkta olacağı da regresyon analizi ile hesaplanabilir.

Regresyon analizinde kullanılan değişkenler literatürde; etkilenen, içsel ve amaç değişkeni olarak “bağımlı  $Y$ ” değişkeni açıklanan; etkileyici, dışsal ve araç değişkeni olarak “bağımsız  $X$ ” değişkeni veya değişkenleri ise açıklayıcı, değişken olarak ifade edilmektedir.  $Y$  bağımlı değişkeni ile doğrusal ilişkiye sahip tek bir  $X$  bağımsız değişkeninin bulunduğu model, basit doğrusal regresyon modeli olarak ele alınmaktadır. Bağımsız değişken  $X$ 'de meydana gelebilecek değişimler, bağımlı değişken  $Y$ 'nin nasıl etkileneceğini ortaya koyan fonksiyon  $y=f(x)$  olarak ifade edilmektedir. Burada,  $Y$ ,  $X$ 'in bir fonksiyonu olup,  $X$ 'te meydana gelen değişimler,  $Y$ 'deki değişimleri etkilemektedir. Ancak bu kapalı bir fonksiyonel ilişkidir. Bunu açık bir fonksiyonel ilişki olarak,

$$\hat{Y} = b_0 + b_1x$$

Kesin (Deterministik) Model

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

Rasgele (Olasılıksal) Model

Biçiminde ifade etmek mümkündür. Deterministik modelde;  $b_0$  katsayısı  $x=0$  olduğunda  $Y$ 'nin sahip olacağı değeri veya kesim noktasını ve katsayı ise,  $X$ 'te meydana gelecek bir birimlik değişme karşısında  $Y$ 'de kaç birimlik bir değişme olacağını gösteren eğim katsayısıdır.

Olasılıksal (probabilistic, stochastic) veya rasgele modelde  $\beta_0$  ve  $\beta_1$  parametreleri "regresyon katsayıları" olarak adlandırılır.  $\beta_1$ , katsayısı  $x$ 'teki bir birim değişiklikle elde edilen  $y$ 'nin dağılımının ortalamasındaki değişikliği ifade eder.  $\beta_0$  ise kesim noktası olup  $x=0$  olduğunda  $y$  değişkeni dağılımının ortalamasını vermektedir.  $\varepsilon$ 'da rasgele hata bileşenidir. Bu basit regresyon modelinde hataların ortalamasının sıfır ve bilinmeyen varyansa sahip oldukları ve hataların ilişkisiz oldukları varsayımı kabul edilir.

Bağımsız değişken olan  $X$  değerleri ile kurulan regresyon denkleminde elde edilen tahmini  $Y$  değerleri ile gerçek  $Y$  değerleri arasındaki farkları ifade eden,  $\varepsilon$  hata terimi olarak adlandırılır.

### 5.1. Regresyon Türleri

Regresyon analizine başlarken değişkenler arasındaki ilişkileri ortaya koyabilmek için değişkenler arasındaki fonksiyonun tipi, bağımsız değişkenlerin sayısı ve elde edilen verilerin kaynakları dikkate alınarak değişik türde modeller biçimine karar vermek gerekir. Bu durumda regresyon analizi aşağıdaki gibi sınıflandırabilir.

“Basit doğrusal regresyon analizi”, en çok kullanılan ve iki değişken arasında doğrusal ilişkiyi açıklayan modeldir.

“Çoklu doğrusal regresyon analizi”, ikiden fazla sayıda değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi açıklayan modeldir.

“Doğrusal olmayan (nonlinear) regresyon analizi”, iki ya da daha fazla sayıda değişken arasında doğrusal olmayan ve biçimi önceden seçilen bir denklem ile ifade edilen modeldir.

Regresyon analizinde hedeflenen temel amaç evren (kitle) verilerinin tamamı yerine evreni en iyi şekilde temsil edebilecek ve bu evrenden seçilecek alt grup olan örneklem verilerini kullanarak elde edilen model ile evrene yönelik tahminler yapmaktır.

### 5.1.1. Basit Doğrusal Regresyon Modeli

$Y$  bağımlı değişkenin bir tek  $X$  bağımsız değişkeni ile açıklanan doğrusal fonksiyona basit doğrusal regresyon modeli denir ve evren için model aşağıdaki gibidir.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon$$

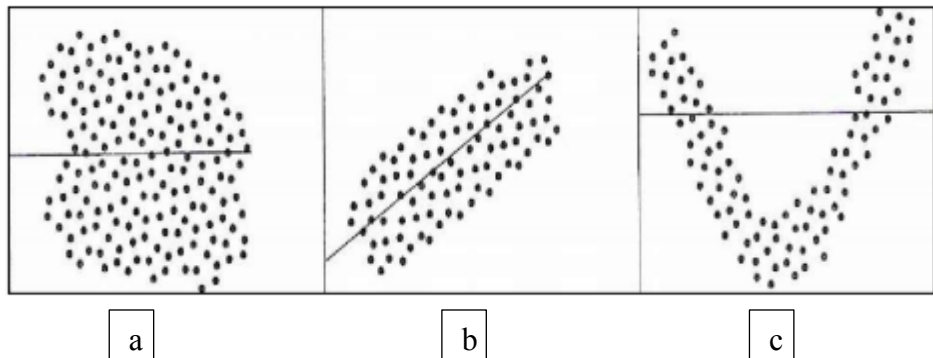
Burada  $\varepsilon$  hata terimi,  $\beta_0$  sabit terimi veya katsayısı ve  $\beta_1$  ise eğim katsayısıdır.

Regresyon modelinde  $\beta_0$  ve  $\beta_1$  katsayılarının tahmin etmek için parametre tahmin yöntemlerinden en küçük kareler (EKK) tahmin yöntemi tercih edilebilir.  $Y$  gerçek gözlem değerlerini,  $\hat{Y}$  ise tahmin edilen regresyon modelinden elde edilen tahmini değerler olmak üzere; bu modeldeki hata terimi aşağıdaki gibidir.

$$\varepsilon = Y - \hat{Y}$$

Basit regresyon modelinde katsayı tahminleri en küçük kareler yöntemi kullanılarak,  $\varepsilon$  hata terimlerinin karelerinin toplamının minimum yapılmasını esasına dayanarak yapılır.

Basit Regresyon modellerinde, değişkenler arasındaki ilişkinin varlığını belirleyebilmek ve ilişkinin ne tür bir fonksiyonla gösterilmesi gerektiğini ifade etmek için öncelikle, bağımlı  $Y$  ve bağımsız  $X$  değişkenlerinin aldıkları değerler kullanılarak ilişki grafikleri çizilir. Örnek olarak aşağıda Şekil 5.1'de verilen ilişki grafiklerinden birincisinde (a) iki değişken arasında bir ilişkinin olmadığı, ikincisinde (b) pozitif yönde doğrusal bir ilişki olduğu, üçüncüsünde (c) ise doğrusal olmayan bir ilişkinin olduğu görülmektedir.



**Şekil 5.1.** İlişki grafikleri (a: ilişki yok, b: pozitif ilişki var, c: doğrusal olmaya ilişki var)

Basit doğrusal Regresyon modeli oluşturabilmek için hata terimine ilişkin olarak ortalamasının sıfır ve  $\sigma^2$  sabit varyanslı olma varsayımlarını sağlanması gerekmektedir. Aynı zamanda hata terimi ortalaması sıfır ve varyansı  $\sigma^2$  olan Normal dağılıma sahip olması, hata terimleri ile bağımsız değişken değerleri arasında ilişki olmaması ve hata teriminin değerlerinin birbirleri ile ilişkili olmaması varsayımlarının sağlanması gerekmektedir.

### 5.1.2 Çoklu Doğrusal Regresyon Modeli

Bağımlı değişken  $Y$  'nin birden çok bağımsız değişken tarafından açıklanan doğrusal model çoklu doğrusal regresyon modeli olarak adlandırılır ve evren için  $p$  tane bağımsız değişkenli çoklu doğrusal regresyon modeli;

$n$  : gözlem (örneklem) sayısını,

$p$  : bağımsız değişken sayısını,

$X_{1i}, \dots, X_{pi}$  : bağımsız değişkenler,

$Y_i$  : bağımlı değişkene ait  $i$ . gözlem

$\beta_j$   $j = 1, \dots, p$  j. açıklayıcı değişkene ilişkin bilinmeyen regresyon katsayısı

$\varepsilon_i$  : hata terimi olmak üzere

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_p X_{pi} + \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, n$$

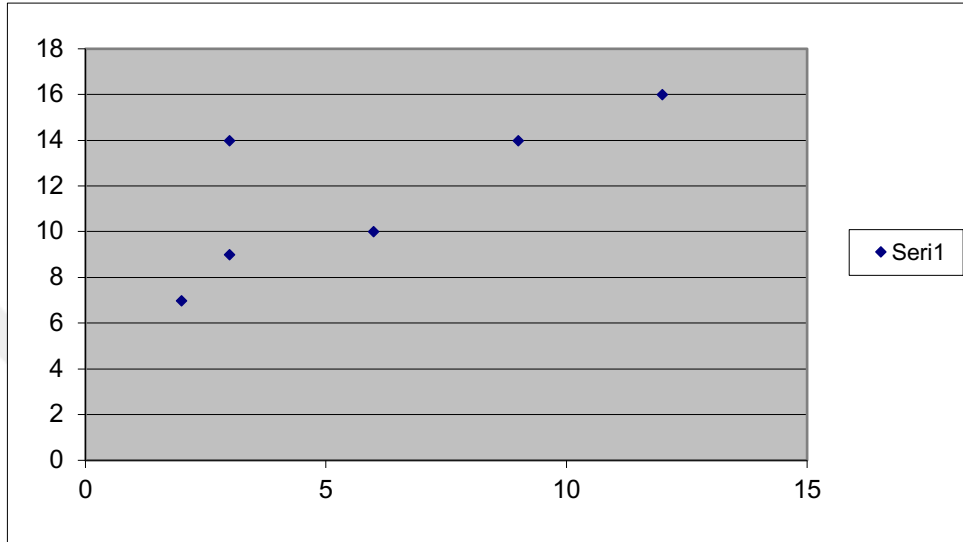
şeklinde tanımlanır.

Burada hata terimine ilişkin varsayımlar; birbirinden bağımsız, ortalamasının sıfır ( $E(e) = 0$ ) ve varyansının ( $Var(e) = \sigma^2 I$ ) sabit olan rastgele değişkenler vektörüdür.

Elde edilen regresyon modelinin anlamlı olup olmadığını, hangi bağımsız değişken veya değişkenlerin modelde yer alacağını, modelde yer alan bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni ne oranda açıklayabildiği ile ilgili anlamlı sonuçlara ulaşabilmek için aşağıdaki kavramlar kısaca ele alınmıştır.

## 5.2. Serpilme Diyagramı

İki farklı değişkenin arasındaki ilişkiyi grafiksel olarak belirlemek için kullanılan Serpilme diyagramı  $X$  ve  $Y$  değişkenlerinin gözlem değerlerinin bir düzlem üzerinde birer nokta halinde gösterilmesine olarak ifade edilir ve değişkenlerden birinin değerleri yatay, diğer değişkenin değerleri de düşey ekseninde gösterilen diyagram Şekil 5.2 verildiği gibidir.



Şekil 5.2. Serpilme diyagramı

Değişkenler arasındaki ilişkinin yönü ve derecesi hakkında bilgi edinebilmek için serpilme diyagramı çizilir.

## 5.3. Korelasyon Katsayısı

Korelasyon analizi bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki miktarını veya derecesini ölçen analizdir. Korelasyon analizinde tek bir bağımsız değişken varsa, bu tür analize basit korelasyon analizi, birden çok bağımsız değişken var ise buna da, çoklu korelasyon analizi denir. Bilimsel çalışmalarda sıklıkla kullanılan basit korelasyon analizidir.

Korelasyon katsayısı bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin yönü ve derecesi hakkında bilgi verir. Korelasyon analizi ile değişkenlerin birbiri arasında etkileşimin olup olmadığı, varsa etkileşimin düzeyi ve değişkenlerin gözlem

değerlerinden biri artarken diğeri azalıyor mu yoksa aynı yönde mi değişiyor olduğu ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Korelasyon katsayısı -1 ile +1 arasında değişen değerler alır. Korelasyon katsayısı, ilişkinin olmadığı durumda 0, tam pozitif yönde bir ilişki var ise 1, negatif yönde ve tam bir ilişki var ise -1 değerini alır. Korelasyon katsayısı örneklem verileri için genellikle  $r$  harfiyle gösterilir. Buna göre; korelasyon katsayısını  $-1 \leq r \leq +1$  eşitsizliğiyle ifade edilebilir.

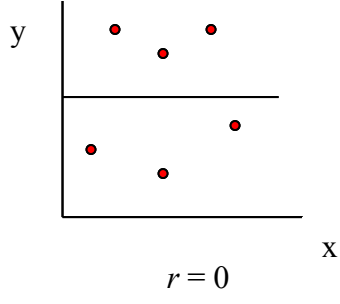
Korelasyon katsayısının yorumlanabilmesi tam güçlü ilişki olması durumu dışındaki diğer ara değerler için güç olabilmektedir. Tam güçlü ilişkinin olmadığı ara değerler için katsayı yorumlamasında örneklem gözlem sayısı ( $n$ ) oldukça önemlidir. Korelasyon katsayısı ( $r$ ) nin alacağı değerlere göre korelasyonun derecesi hakkında sınıflamalar aşağıdaki Çizelge 5.1'den yararlanarak yorumlar yapılabilir.

**Çizelge 5.1.** Korelasyon aralıkları

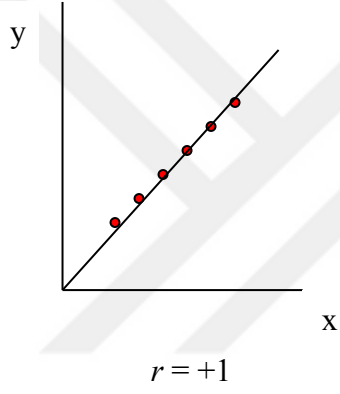
Kuvvetli (-)	Orta (-)	Zayıf (-)	Zayıf (+)	Orta (+)	Kuvvetli (+)
$-1 < r < -0.9$	$-0.9 < r < -0.5$	$-0.5 < r < 0$	$0 < r < 0.5$	$0.5 < r < 0.9$	$0.9 < r < 1$

İki değişkenler arasında doğrusal bir ilişki yok ise  $r = 0$ , pozitif güçlü doğrusal ilişki var ise  $r = +1$  ve negatif güçlü doğrusal ilişki var ise  $r = -1$ 'dir. Aşağıdaki şekillerde bu durumlar gösterilmektedir.

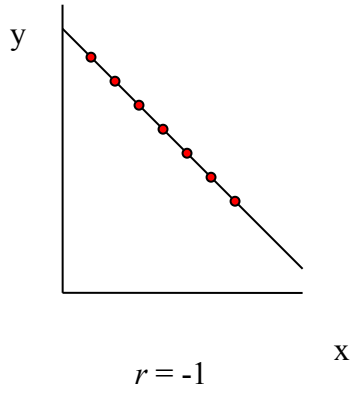




**Şekil 5.3.a.**  $X$  ve  $Y$  arasındaki ilişki grafiği (ilişki yok)



**Şekil 5.3.b.**  $X$  ve  $Y$  arasındaki ilişki grafiği (pozitif yönde tam ilişki var)



**Şekil 5.3.c.**  $X$  ve  $Y$  arasındaki ilişki grafiği (negatif yönde tam ilişki var)

#### 5.4. Standart Sapma

Standart sapma veri setindeki her bir değerin, ortalamaya göre hangi ölçüde uzakta olduğunun ölçüsüdür gerçek  $Y$  değerlerinin regresyon doğrusu etrafında ne kadar uzağa dağıldıkları standart sapma ile ölçülebilir. Standart sapmanın karesine varyans adı verilmektedir. Standart sapma büyüdükçe dağılım yaygınlaşır. Yapılan çalışmalarda standart sapmanın başka bir ifade ile varyansın küçük olması istenir.

#### 5.5. Standart Hata

Standart sapma değerinin denek sayısının kareköküne bölünmesi ile elde edilir. Standart hatanın küçük olması kitleden elde edilen parametrelerin tahmini açısından önemlidir. Standart hatanın 0 veya sifira çok yakın olduğu durumlar alınan örneklemlerin birbirlerini ve kitleyi kusursuz olarak temsil edebilme yeteneğine sahip olduğu söylenebilir.

#### 5.6. Belirtme Katsayısı

Belirtme katsayısı  $R^2$ , doğrusal modelin uyum iyiliğinin en iyi ölçüsüdür. Söz konusu katsayı, bağımlı değişkende meydana gelen değişmelerin ne kadarının bağımsız değişken(ler) tarafından açıklandığını ifade eder. Belirtme katsayısı regresyon modelinin açıklayıcılık gücünün iyi bir göstergesidir.  $R^2$ 'nin değeri 0 ile 1 arasında değişir.  $R^2$  değeri arttıkça, bağımlı değişkendeki değişimin, modelin bağımsız değişkenleri tarafından açıklanan yüzdesi de artar ve regresyon doğrusunun, gözlemlere uyumunun iyiliği artar.  $R^2$  küçüldükçe bu uyum da bozulmaktadır.  $R^2$  değeri modelin gözlemlere uygunluğunun bir ölçüsü olmakla beraber, bu her zaman güvenilen tam bir ölçü olmayıp, sadece kısmi bir ölçü olmaktadır.

$R^2$  değerinin yüksek olması istenen bir durum olmasına rağmen bu yksekliliğin ölçüsü üzerinde tam bir fikir birliği oluşmamıştır. Genel olarak %50'nin altında olan bir  $R^2$  değeri zayıf, %50-%70 arasında olması orta ve %70-80'in arasında olması iyi, %80'nin üzerinde olması ise bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni çok iyi oranda açıkladığı kabul edilmektedir.

Belirtme katsayısının karekökü, basit doğrusal regresyon modelinde bağımlı ve bağımsız değişken arasındaki ilişkinin miktarını ortaya koyan korelasyon katsayısı olarak değerlendirilmektedir (Tarı,1999).

### **5.7. Bağımsız Değişkenlerin Belirlenmesi**

Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında oluşturulacak olan regresyon modellerinde özellikle de çoklu regresyon modelinde kullanılacak olan bağımsız değişkenler içerisinde modele katkısı en fazla olan değişkenleri belirlemek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları ise; adımsal regresyon yöntemi (stepwise), geriye doğru seçim yöntemi (backward elimination), ileriye doğru seçim yöntemi (forward selection) olarak kullanılmaktadır. İfade edilen bu regresyon yöntemlerinden açıklayıcılık oranı yani bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklama oranı en yüksek olan tercih edilmelidir.

### **5.8. Regresyon Modellerinin Anlamlılığı**

İstatistiksel olarak elde edilen regresyon modelinin anlamlılığı yani bağımsız değişkenin veya değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklaması F-testi ile test edilir. Modelde yer alan her bir bağımsız değişkene ve sabit terime ilişkin parametrelerin istatistiksel olarak anlamlılığı ise t-testi ile test edilir. Modelin anlamlılığı için elde edilen hesaplanmış F değeri kritik değer yani F tablo değerinden büyükse “kurulan regresyon modeli anlamlıdır” denir. Aynı zamanda bağımsız değişkene ve sabit terime ilişkin her bir parametre için hesaplanan t değeri belirlenen kritik değerden büyükse o parametreye ilişkin bağımsız değişkenin veya değişkenlerin modelde yer alabileceği sonucuna varılır. Alternatif olarak, günümüzde kurulan regresyon modelinin anlamlılığı paket programlar yardımıyla kolaylıkla yapılmaktadır. SPSS ve MİNİTAB gibi paket programlar yardımıyla elde edilen regresyon modelinin anlamlılığı varyans analizi (ANOVA) F testi ile, regresyon modelindeki parametrelerin anlamlılığı ise t-testi ile yapılmaktadır ve kritik değer yani tablo değeri yerine  $p$  değerine ( $p$  value) bakılmaktadır. Genel olarak istatistiksel çalışmalarda  $p$  değerinin 0,05 ten küçük çıkması modelin ve parametrelerin anlamlı olduğunu ifade etmektedir.

Aşağıdaki bölümde beton basınç dayanımını tahmin etmek için kullanılan materyal ve yöntemler açıklanacaktır.

## 6. MATERYAL VE YÖNTEM

Mevcut betonarme yapıların incelenmesi ve yeni yapılacak olan yapıların projelendirilmesinde beton basınç dayanımının ve beton sınıfının belirlenmesi, yapılması gereken öncelikli çalışmalar arasındadır. Ayrıca betonarme yapılarda, beton basınç dayanımının kontrol edilmesi, beton sınıfının belirlenmesi ve denetim altında tutulması, ülkemizde kanuni bir zorunluluktur.

Saha uygulamalarında betonun taze veya sertleşmiş olmak üzere iki durumu ile karşılaşmaktadır. Bu iki durum için de beton basınç dayanımını tahmin etme yöntemleri bulunmakta ve pratikte uygulanmaktadır.

Taze betondan alınan örneklere, laboratuvar ortamında basınç dayanımı testleri uygulanarak betonun basınç dayanımı ölçülmekte ve buna bağlı olarak beton sınıfı belirlenmektedir. Ancak, taze betondan alınan örneklerin betonun yerinde sertleşmiş durumundaki dayanımını tam olarak temsil edemeyeceği de unutulmamalıdır.

Sertleşmiş betonda ise basınç dayanımı tahribatlı ve tahribatsız yöntemler kullanarak tahmin edilmekte ve buna bağlı olarak beton sınıfı belirlenmektedir.

Tahribatlı yöntemler fazlaca iş gücü, zaman kaybı ve yüksek maliyet gerektirir. Ayrıca mevcut yapıya ait taşıyıcı sisteme zarar verme olasılığı, uygulamanın pratik olmaması bu yöntemin dezavantajlarıdır.

Tahribatsız yöntemlerin, pratik ve düşük maliyetli olması, yapıya her zaman uygulanabilir olması, yapıya herhangi bir zarar vermemesi dikkate değer avantajlarından biridir. Bunun yanında, özellikle tekil veriler kullanıldığında, gerçek dayanımın büyük sapmalarla tahmin edilmesi, tahribatsız yöntemlerin temel dezavantajıdır. Bu sebepten dolayı, yapıya zarar vermeyen, hızlı ve kolay uygulanabilen, güvenilirliği artırılmış olan, Bileşik Tahribatsız Yöntemlerden “SONREB” metodunun kullanılması önem kazanmaktadır.

SONREB metoduyla mevcut betonarme bir yapıda, beton basınç dayanımını tahmin etmek, Beton test çekici okumaları ile Ultrases dalga hızı ölçüm sonuçlarının birlikte kullanılması prensibine dayanmaktadır.

Bu çalışmada, SONREB metodu kullanılarak, YSA modelleri ve regresyon analizi ile beton basınç dayanımını tahmin etmek için modeller geliştirilecek, yapılan analizler sonucunda en uygun model belirlenmeye çalışılacaktır. Çalışmanın neticesinde elde edilen modellerin kullanılması durumunda da beton basınç dayanımının belirlenmesi çalışmalarında, zaman, iş gücü ve maliyet açısından tasarruf edilmesi sağlanmış olacaktır.

Aşağıda, tahribatsız yöntemlerden olan beton test çekici, ultrases test cihazı ve SONREB metodu ile tahribatlı yöntemlerden karot numunesinin alınması ve beton basınç dayanımı deneyi kısaca ele alınacaktır.

### **6.1. SONREB Metodu**

Beton basınç dayanımının tahmin edilmesinde Ultrasonic test cihazı (SOUND) yöntemi ile Beton test çekici (REBOUND) yöntemlerinin birleşik olarak uygulanması metodu SONREB metodu olarak tanımlanmaktadır.

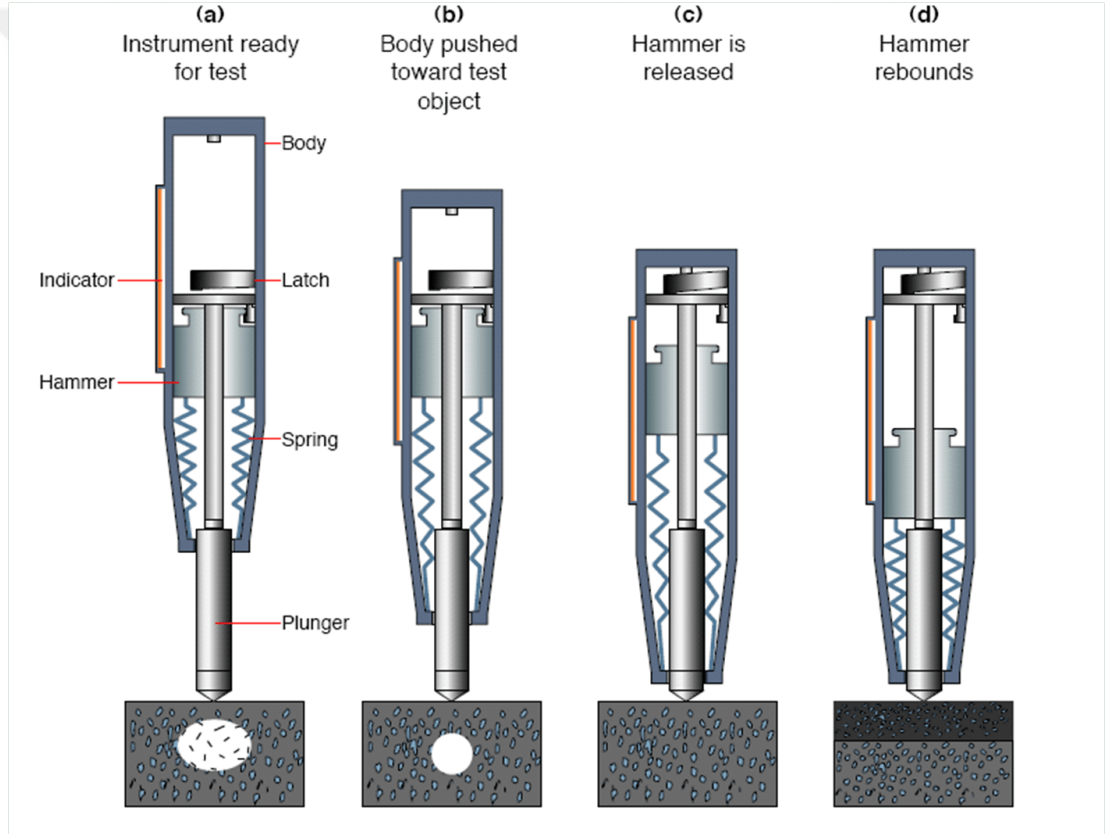
Beton basınç dayanımının tahmin edilmesinde yapıya zarar vermeyen, basit, hızlı ve düşük maliyetli olan tahribatsız yöntemlerin kullanılması günümüzde tercih edilmektedir. Beton test çekici ve Ultrasonik test cihazı bu avantajlara sahip olması nedeniyle en yaygın kullanılan yöntemlerdir.

Ancak bu yöntemlerin sunmuş olduğu avantajların yanında, yüzey pürüzlülüğü, mikro çatlaklar, süreksizlikler, gözeneklilik, nem ve boşluk oranı gibi faktörler her iki yöntemin güvenilirliğini ve hassasiyetini olumsuz etkileyen faktörlerdir.

Beton basınç dayanımının tahmininde beton test çekici veya ultrasonik test cihazı ile elde edilen verilerin tek başına kullanılması hata oranını artırmaktadır. Ultrases dalga hızı (V) değerleri ile Beton test çekici geri sıçrama (S) değerleri birlikte uygulandıkları zaman, daha anlamlı ve daha güvenilir sonuçlar elde edilmektedir. Bu sebeplerden dolayı, SONREB metodu, betonun gerçek dayanımının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

## 6.2. Beton Test Çekici Metodu

Beton test çekici, beton yüzey sertliklerinin ölçülmesi amacıyla kullanılmaktadır. Beton yüzeyinin farklı noktalarına vuruş yapılarak ölçümler yapılır. Laboratuvar ve saha çalışmalarında rahat kullanılan bir yöntemdir. Deneyin yapılacağı yüzey düzgün, pürüzsüz ve çatlaksız olmalıdır. Deneye başlamadan önce Beton test çekicinin kalibrasyonu yapılmış olmalıdır. Çekiç ucu numune yüzeyine Şekil 6.1’de gösterildiği gibi aşağı, yukarı veya yatay yönlerde ve dik konumda bastırılarak veri okuması yapılır. Okumalar numune yüzeyinde en az 12 ayrı noktadan yapılır. En düşük ve en yüksek okumalar atılarak 10 değerın aritmetik ortalaması Beton test çekici değeri olarak kabul edilir.



Şekil 6.1. Beton test çekici

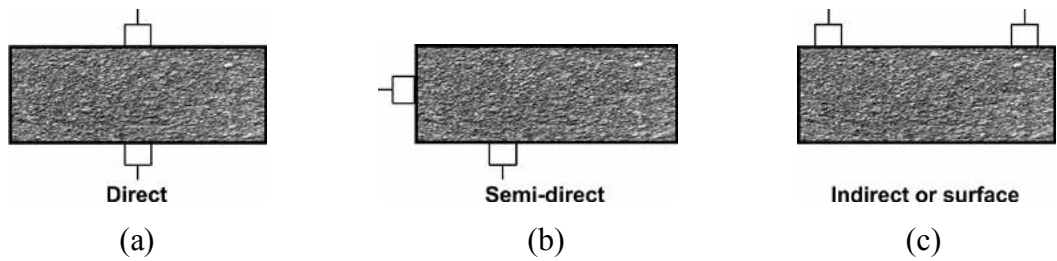
(a): çekiç test için hazır, (b): çekicinin test elemanına itilmesi, (c): çekicinin serbestlik kazandığı hali, (d): çekicinin geri sıçrama hali

### 6.3. Ultrasonik Hız Deneyi Metodu

Ultrasonik test cihazı, betonun ses dalga hızının ölçülmesi amacıyla kullanılmaktadır. Ölçülen dalga hızı da beton basınç dayanımının tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Bu yöntem diğer deney yöntemlere göre daha hızlı, kolay ve ekonomiktir, aynı zamanda betonda deformasyon oluşturmamaktadır. Ultrasonik test cihazı ve yapı elemanına yerleştirilmesi aşağıdaki Şekil 6.2 – 6.3 ile gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Ultrasonik test cihazı



Şekil 6.3. Ultrasonik test cihazı başlıklarının beton yüzeyine yerleştirilmesi  
(a: doğrusal, b: yarı doğrusal, c: doğrusal olmayan veya yüzeyden)

### **Ultrasonik test cihazı ile ses dalga hızının ölçülmesi:**

Ultrasonik test cihazı ile beton bloğun bir yüzeyinden gönderilen ultrasonik dalganın, diğer yüzeyinden alındığı andaki geçen zaman (T) ölçüldükten sonra bu değer aşağıdaki formülle dalga hızına dönüştürülür.

$$V = \frac{L}{T} 10^6 \quad (6.1)$$

V: Ultrasonik dalga hızı (m/s)

L: Ultrason problemleri arasındaki (numune boyu) mesafe (m)

T: Ultrasonik cihazda ölçülen zaman (mikro saniye)

Sonreb modelinde, hesaplanan dalga hızı (V) ve beton test çekici okuması (S) verileri birlikte kullanılarak beton basınç dayanımı ( $f_{ck}$ ) hesaplanır.

### **6.4. Saha Uygulamaları**

Çalışma kapsamında, uygulama 2'ye ait verilerin toplanması için yapılan saha ve laboratuvar çalışmaları aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

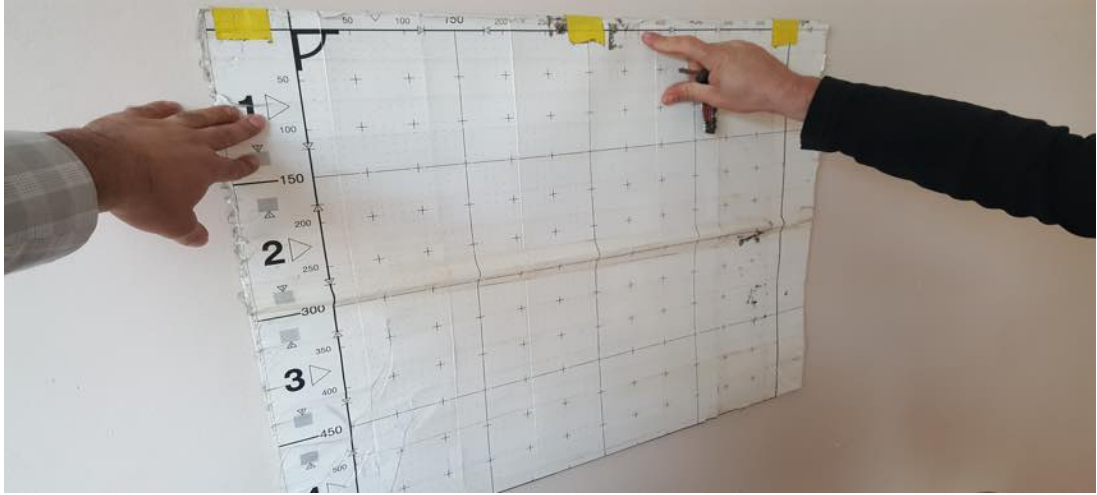
#### **6.4.1. Röntgen Cihazı ile Donatı Tespiti Yapılması**

Donatı Tespit (Röntgen) cihazı, betonarme yapı elemanında bulunan donatıları tespit etmek için kullanılan taşınabilir, kolay ve hızlı kullanımlı bir cihazdır. Donatı tespit cihazı manyetik alan oluşturarak, bu alan içerisindeki manyetik değişimi ölçer. Bu manyetik değişim cihaz ekranından izlenerek donatı tespiti yapılır. Manyetik cihaz donatının derinliğini ve çapını ölçebilecek şekilde kalibre edilebilir.

Betonarme yapıda, karot numunesi alınması ve beton test çekici okumalarının yapılmasından önce donatı tespit işlemi yapılmaktadır.

Aşağıda sırasıyla, referans rasterinin yapı elemanına yerleştirilmesi, donatıların ekrandan izlenmesi, donatı tespiti ve yapı elemanında donatıların kontrol edilmesi işlemler aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

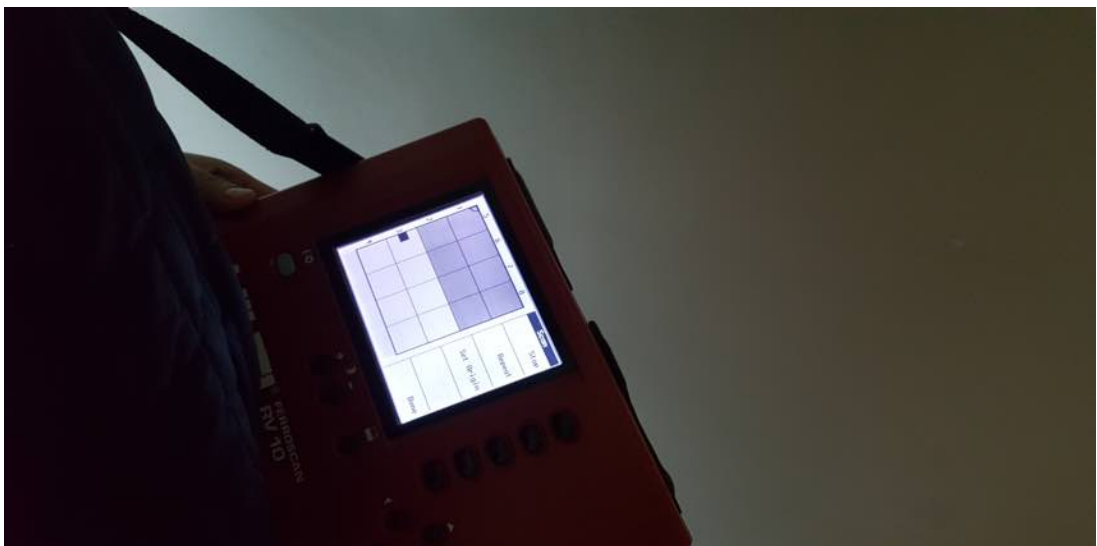




Şekil 6.4. Donatı tespit cihazı referans rasterinin yapı elemanına yerleştirilmesi



Şekil 6.5. Donatı detektörü ile donatı tespit işlemi



Şekil 6.6. Donatıların röntgen cihazı ekranından izlenmesi

### 1.1.1. Karot Cihazı İle Numune Alınması

Karot alınacak yapı elemanlarında donatılar tespit edildikten sonra belirlenen bölgeden TS EN 12504-1’de tarif edilen şekilde karot numunesi alınır.

Karot numunesi alınan yapı elemanından sıva katmanı sıyrılarak 15 adet beton test çekici okuması yapılmıştır. Karot alma işlemi sırasıyla aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 6.7. Karot cihazının yerleştirilmesi



Şekil 6.8. Karot cihazı ile numune alınması

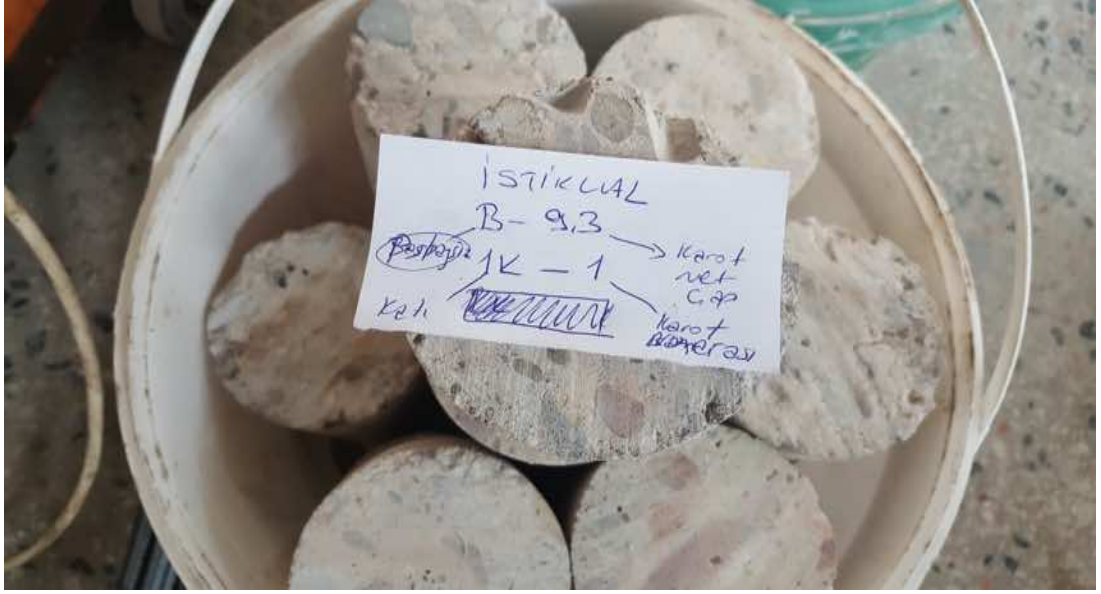
### 1.1.1. Ultrasonik Test Cihazı ile Dalga Hızının Ölçülmesi

Aşağıdaki şekillerde, sahada alınan karotlara ait laboratuvarda yapılan çalışmalar; karot numunelerinin ölçülmesi, numunelerin kodlanması, ultrasonik test cihazı kalibrasyonu, ultrasonik test cihazına numunenin yerleştirilmesi, ultrasonik dalga hızının ölçülmesi adımları sırasıyla gösterilmiştir.



**Şekil 6.9.** Karot numune ölçülerinin tespit edilmesi

Laboratuvar ortamında, numunelerin çap ölçüleri kontrol edildikten sonra numune boyu, çap ölçüsünde tıraşlanarak çap ve boy ölçüsü eşit duruma getirilir. Çalışmada çap ve boy ölçüsü 93 mm olarak alınmış ve numuneler bu ölçüde hazırlanmıştır.



Şekil 6.10. Numune kodlama örneği



Şekil 6.11. Numune kodlamalarının yapılması

Karot numuneleri üzerine, numunenin alındığı bina kodu, çapı, alındığı kat ve numarası yazılarak kodlama işlemi yapılmıştır.





Şekil 6.12. Ultrasonik test cihazı kalibrasyonunun yapılması



Şekil 6.13. Ultrasonik Test Cihazına numunenin yerleştirilmesi



Şekil 6.14. Ultrasonik dalga hızının ölçülmesi

### 1.1.1. Tek Eksenli Basınç Deneyi ( $f_{ck}$ ölçülmesi)

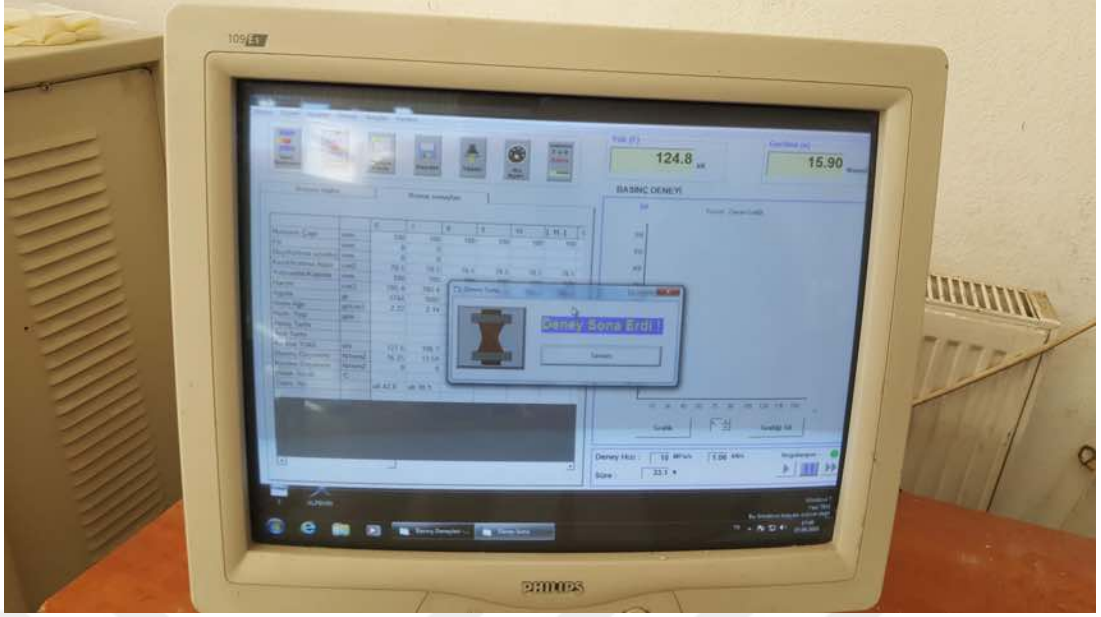
Ultrasonik dalga hızı ölçme işlemi tamamlandıktan sonra, başlıklaması yapılan numuneler, tek eksenli basınç deneyine tabi tutularak, kırılma yükleri ve basınç dayanımları ölçülmüştür. Aşağıdaki şekillerde yapılan çalışmalar gösterilmektedir.



Şekil 6.15. Başlıklaması yapılmış karot numuneleri



Şekil 6.16. Numunenin Yerleştirilmesi ve UCS Deneyinin gerçekleştirilmesi



**Şekil 6.17.** Basınç Deneyinin gerçekleştirilmesi

Ülkemizde, betonarme yapı elemanından, TS EN 12504-1 'e göre alınan karot numunelerinin, TS EN 12390-3'e göre basınç dayanım testine tabi tutulması ve TS EN 13791'e göre değerlendirilmesi ile beton basınç dayanımı ve beton sınıfı belirlenmektedir.

## 1. BULGULAR

Çalışmada ilk olarak beton basınç dayanımının tahmin edilmesi için Proceq firması tarafından tahribatsız yöntemler kullanılarak elde edilen 16 adet numuneye ait, beton test çekici ve Ultrases dalga hızı ve gerçek  $f_{ck}$  verileri kullanılarak Proceq modeline alternatif, Regresyon analizi ve YSA yöntemleri ile yeni modeller elde edilmiştir. Yeni kurulan bu modeller ile Proceq modeli karşılaştırılmıştır. Tüm modellerin gerçek  $f_{ck}$  verilerini tahmin edilebilirliği ortaya konulmuştur.

Bilimsel çalışmalarda veri sayısı oldukça önemlidir. Veri sayısının artması, kurulan modellerin güvenilirliğini artıracığından, çalışmada ikinci olarak, Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel araştırma Projeleri kapsamında 2018/001 numaralı proje kapsamında 117 adet veri ile beton basınç dayanımının tahmin edilmesi için YSA ve Regresyon yöntemleri kullanılarak yeni modeller ortaya konulmuştur ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tahmin yöntemlerinde SPSS ve MATLAB paket programları kullanılmıştır. Bu programlar kullanılarak oluşturulan YSA ve Regresyon analizi modellerine ait sonuçlar aşağıda verilmiştir.

### 1.1. Uygulama 1

Proceq tarafından, tahribatsız deney yöntemlerinden, ultrasonik test cihazı ve beton test çekici ile elde edilen veriler kullanılarak beton basınç dayanımının tahmin edilmesi için ( 7.1)'deki model ortaya konulmuştur.

$$f_{ck} = 8.314 \times 10^{-11} V^{2.8096} S^{0.8602}, R^2 = 0.7744 \quad (7.1)$$

Proceq tarafından SONREB yöntemi kullanılarak elde edilen (7.1) modeli ile beton basınç dayanımının tahmininde açıklayıcılık oranı  $R^2 = \%77$ 'dir.

Bu uygulamada amacımız, Proceq'e ait olan Çizelge 7.1'deki veriler kullanılarak, beton basınç dayanımını tahmin etmek için, denklem. 7.1 de ifade edilen modele alternatif yeni modelleri YSA ve Regresyon yöntemleri ile ortaya koymaktır. Bu yöntemlerde SONREB bileşik metodu kullanılacaktır.



**Çizelge 7.1.** Proceq veri tablosu

Basınç Dayanımı ( $f_{ck}$ )	Ultrasonik Dalga Hızı (V)	Beton Test Çekici değeri (S)
29,5	4237	36
32,6	4608	38
40,3	4484	45
41,2	4630	42
44,2	4587	49
45,3	4673	56
48,5	4644	49
50,6	4695	47
51,5	4717	50
52,0	4760	56
55,8	4744	57
57,0	4722	53
58,1	4728	57
60,9	4673	66
62,3	4732	54
68,6	4854	61

Çizelge 7.1’de YSA ve Regresyon yöntemlerinde kullanılacak olan, Proceq’e ait ultrases dalga hızı ve beton test çekici değerleri verilmiştir.

### **1.1.1. Regresyon Yöntemi ile Beton Basınç Dayanımının Tahmini**

SPSS paket programı yardımıyla SONREB yöntemi için Çizelge 7.1 deki veriler kullanılarak oluşturulacak olan regresyon modeli, aşağıda aşamalar halinde anlatılmıştır.

Bağımsız değişkenler:

V: Ultrasonik test cihazı verisi

S: Beton test çekici verisi

Bağımlı değişken:

$f_{ck}$ : Beton basınç dayanımı

olarak belirlendikten sonra elde edilen tanımlayıcı istatistikler Çizelge 7.2’de verilmiştir.

**Çizelge 7.2.** Tanımlayıcı İstatistikler

	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
V	16	4237	4854	4655.5	139.51
S	16	36	66	51	8.15
$f_{ck}$	16	29.5	68.6	49.9	10.72

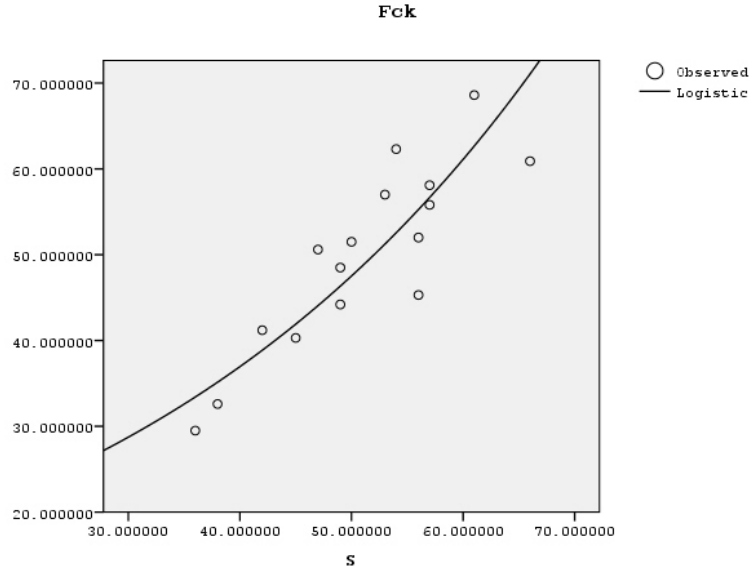
Regresyon analizinin yapılabilmesi için bağımlı değişken  $f_{ck}$  verilerinin sağlaması gereken normal dağılıma uygunluğu varsayımı Kolmogorov-Smirnov Testi ile test edilmiş ve test sonucu Çizelge 7.3’de verilmiştir.

**Çizelge: 7.3.** Verilerin normal dağılım uygunluğu testi

	Kolmogorov-Smirnov		
	Test değeri	s.d.	<i>p-değeri</i>
Standartlaştırılmamış Hatalar	.150	16	.200

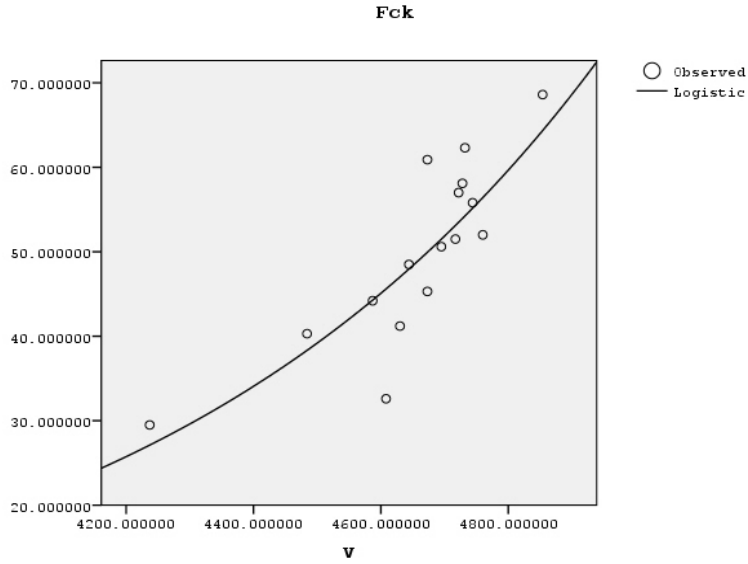
Verilerin normal dağılıma uygunluğu için  $p=0,200>0,05$  şartını sağlamaktadır. Böylece regresyon analizinin yapılması için gerekli olan varsayım sağlanmıştır.

Bağımlı değişken  $f_{ck}$ ’nın normal dağılıma uygunluğu gösterildikten sonra bağımsız değişkenler; ultrasonik test cihazı verisi ve beton test çekici verisi ile aralarındaki ilişkiyi belirlemek için çizilen serpilme diyagramları aşağıdadır.



**Şekil 7.1.** S ile  $f_{ck}$  arasındaki bağıntı

Şekil 7.1 ile Beton test çekici verisi (S) ile Betonun basınç dayanımı arasında logaritmik bir bağıntı olduğu görülmektedir.



**Şekil 7.2.** V ile  $f_{ck}$  arasındaki bağıntı

Şekil 7.2 ile Ultrasonic test cihazı verisi (V) ile Betonun basınç dayanımı arasında logaritmik bir bağıntı olduğu görülmektedir.

Betonun basınç dayanımının tahmini için SPSS paket programı yardımı ile oluşturulan regresyon modeli için sonuçlar aşağıdaki çizelgeler ile verilmiştir.

**Çizelge 7.4.** Modelin belirtme katsayısı

	R	R <sup>2</sup>	Düzeltilmiş R <sup>2</sup>
Model	.938	.880	.862

Tahmin ediciler (Sabit terim), InV, InS,  
Bağımlı değişken: Inf<sub>ck</sub>

Çizelge 7.4'deki modelin belirtme katsayısı ile Ultrasonic test cihazı verisi (V) ve beton test çekici verisi (S) değişkenlerinin betonun basınç dayanımını açıklama oranının %88 olduğu görülmektedir.

**Çizelge 7.5 .ANOVA Tablosu**

Model	Hata Kareler Toplamı	s.d.	Hata Kareler Ortalaması	F	p-değeri
Regresyon	.706	2	.353	47.737	.000
Hata	.096	13	.007		
Toplam	.802	15			

Çizelge 7.5 ile kurulan regresyon modeli istatistiksel olarak anlamlıdır ( $F = 47.737$ ,  $p < 0.05$ ).

**Çizelge 7.6.** Regresyon Katsayıları Tablosu

Model	Standartlaştırılmamış Katsayılar		Standartlaştırılmış Katsayılar	t	p-değeri
	$\hat{\beta}$	Std. Hata	$\hat{\beta}$		
(Sabit)	-23.067	8.607		-2.680	.019
InV	2.786	1.087	.371	2.563	.024
InS	.874	.201	.628	4.340	.001

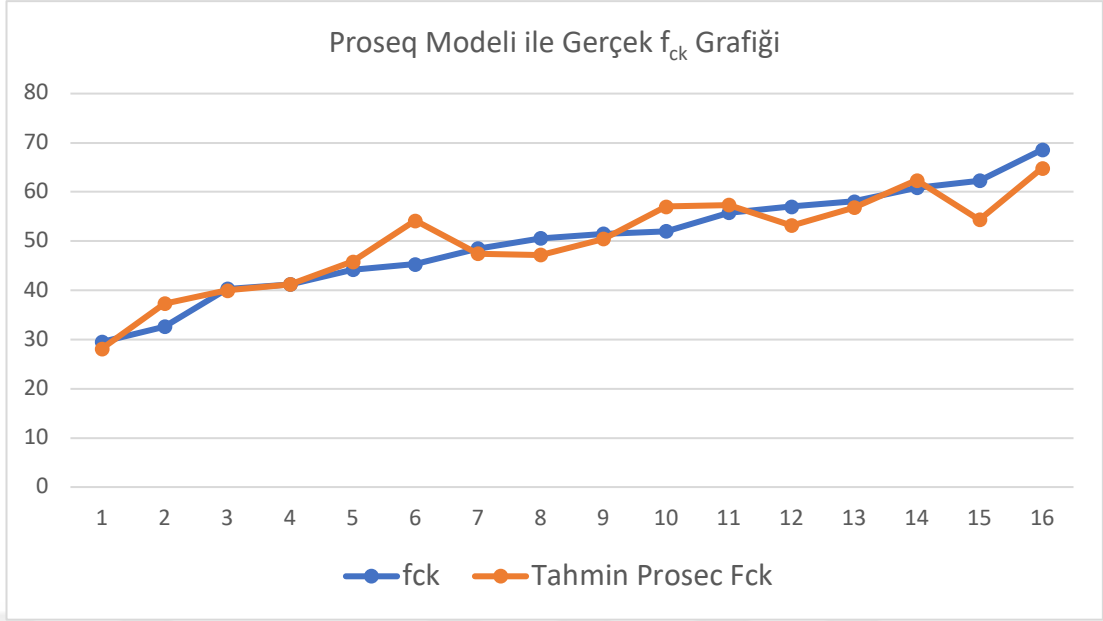
Bağımlı değişken:  $f_{ck}$

Regresyon modelinde kullanılacak olan katsayılar olan, sabit terim, InV ve InS'in anlamlı olduğu Çizelge 7.6 te görülmektedir ( $p=0,019<0,05$ ,  $p=0,024<0,05$ ,  $p=0,001<0,05$ ). Regresyon analizinde, SONREB yöntemi kullanılarak elde edilen, beton basınç dayanımı tahmini modeli (7.2)'in açıklayıcılık oranı  $R^2=0,88$  olup Çizelge 7.4'de görülmektedir.

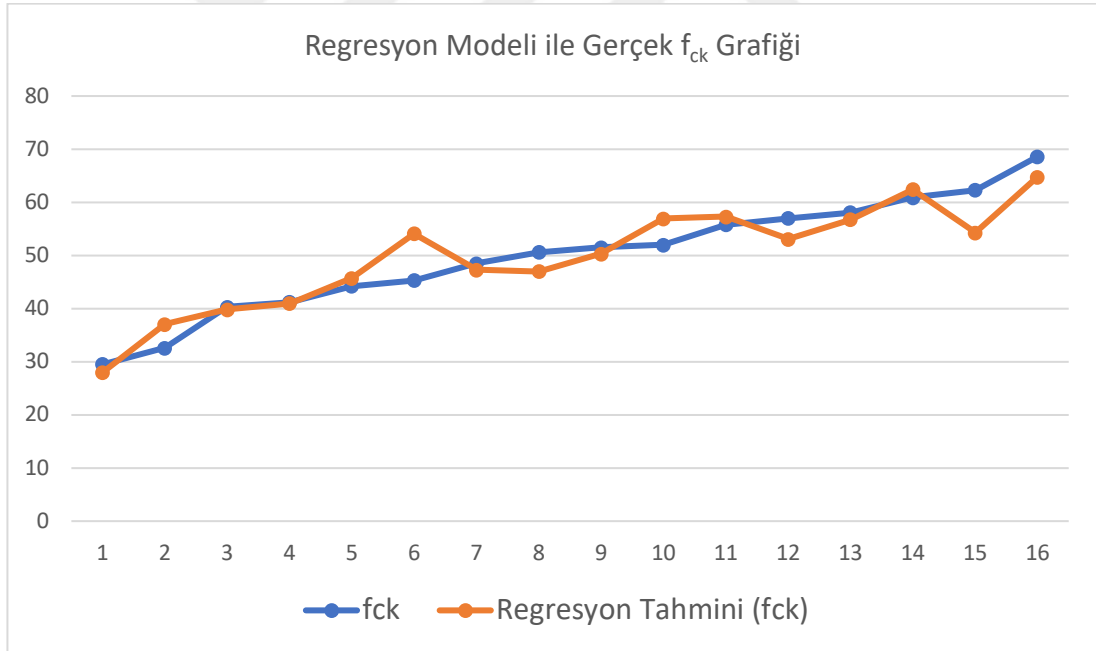
$$f_{ck} = -23.067 + 2.786 \ln V + 0.874 \ln S, \quad R^2 = 0,88 \quad (7.2)$$

(7.2) eşitliğine antilog dönüşümü yapıldığında (7.3) modeli elde edilmiştir.

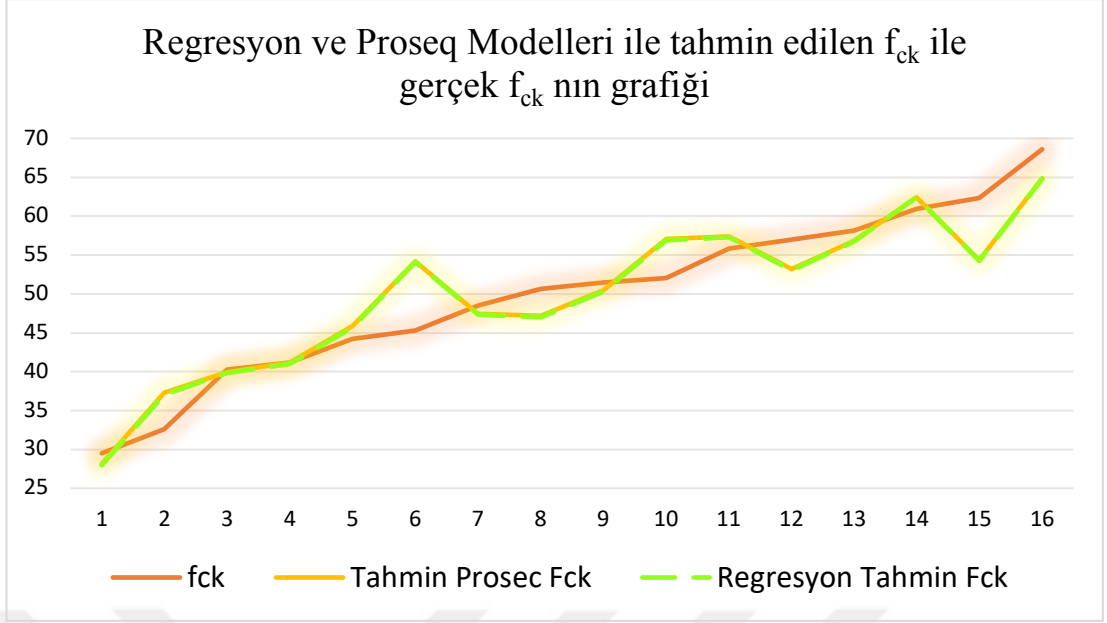
$$f_{ck} = 9.597 \times 10^{-11} V^{2.786} S^{0.874}, \quad R^2 = 0,88 \quad (7.3)$$



Şekil 7.3. Proseq modelinde tahmin edilen  $f_{ck}$  ile gerçek  $f_{ck}$ 'nin grafiği



Şekil 7.4. Regresyon modelinde tahmin edilen  $f_{ck}$  ile gerçek  $f_{ck}$ 'nin grafiği



**Şekil 7.5.** Regresyon ve Proseq modellerinde tahmin edilen  $f_{ck}$  ile gerçek  $f_{ck}$  grafiği

Şekil 7.3-7.5 bakıldığında farklı modelden elde edilen tahmin değerlerinin birbiriyle çakıştığı görülmektedir. Dolayısıyla bu modellerin birbirleri ile alternatif oldukları söylenebilir.

Proseq ve Regresyon analizi ile elde edilen modeller ile tahmin edilen  $f_{ck}$ 'ların tanımlayıcı istatistikleri ve aralarındaki korelasyon sırasıyla çizelge 7.7 ve Çizelge 7.8 ile verilmiştir.

**Çizelge 7.7.** Tanımlayıcı İstatistikler

	Ortalama	Std. Sapma	n
ProseqTahmin	49,8581	9,73313	16
RegresyonTahmin	49,7406	9,77838	16

**Çizelge 7.8.** Proceq ve regresyon modellerinden elde edilen  $f_{ck}$ 'lar arasındaki korelasyon

		ProceqTahmini	RegresyonTahmini
Proceq Tahmini	Pearson Korelasyon	1	0,999**
	<i>p</i> -değeri		,000
	n	16	16
RegresyonTahmini	Pearson Korelasyon	0,999**	1
	<i>p</i> -değeri	,000	
	n	16	16

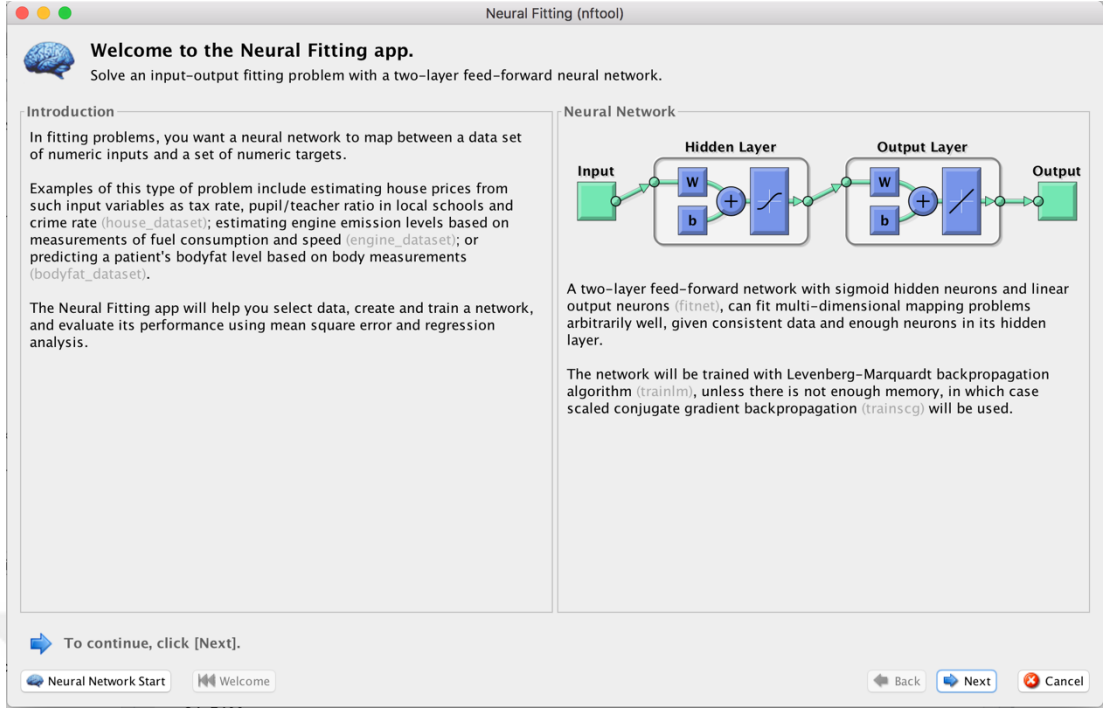
Çizelge 7.8'de görüldüğü gibi, Proceq ve Regresyon modellerinden elde edilen  $f_{ck}$ 'lar arasındaki Korelasyon 0.999 olup anlamlıdır ( $P < 0,05$ ). Bu doğrultuda  $f_{ck}$  tahmininde Proceq ve regresyon modelleri birbirlerine alternatif olarak kullanılabilir.

### 1.1.2. Yapay Sinir Ağı ile Basınç Dayanımının Tahmini

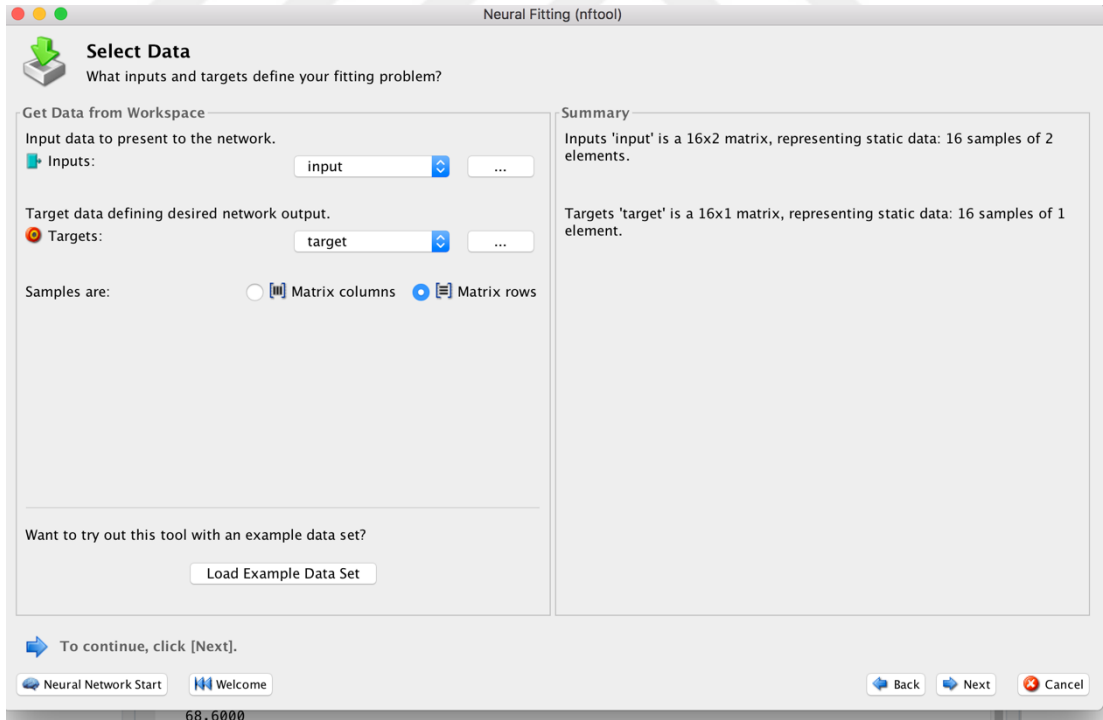
Bu çalışmada beton basınç dayanımının, tahribatsız deney yöntemleri sonuçları kullanılarak, YSA ile tahmini araştırılmıştır. Betonun basınç dayanımını elde etmek için, Sonreb metodu için elde edilen ultrases geçiş hızı (m/sn) ve test çekici sonuçlarından yararlanılmıştır. YSA'da çözüm için MATLAB programı kullanılmıştır. YSA modeli oluşturulurken test seti için uygun çözümler sunan model için deneme-yanılma yapılmış ve en uygun sonuçların elde edildiği 10 nöronlu 1 gizli ve 1 çıktı katmanı olmak üzere 2 katman kullanılmış ve eğitim aşamasında hata oranı  $10^{-10}$  olarak alınmıştır. Aşağıda seçilen YSA modeli gösterilmektedir.

Matlab Paket programı yardımıyla ileri beslemeli yapay sinir ağı yöntemi ile oluşturulan modelin aşamaları sırası ile aşağıda verilmiştir.

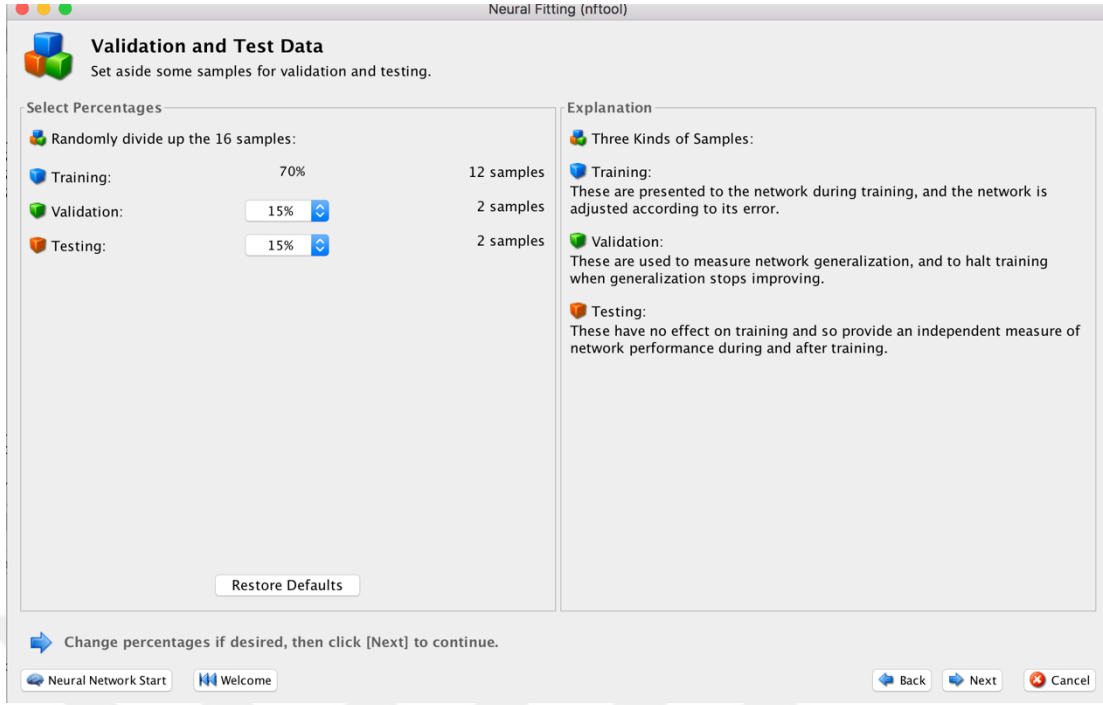




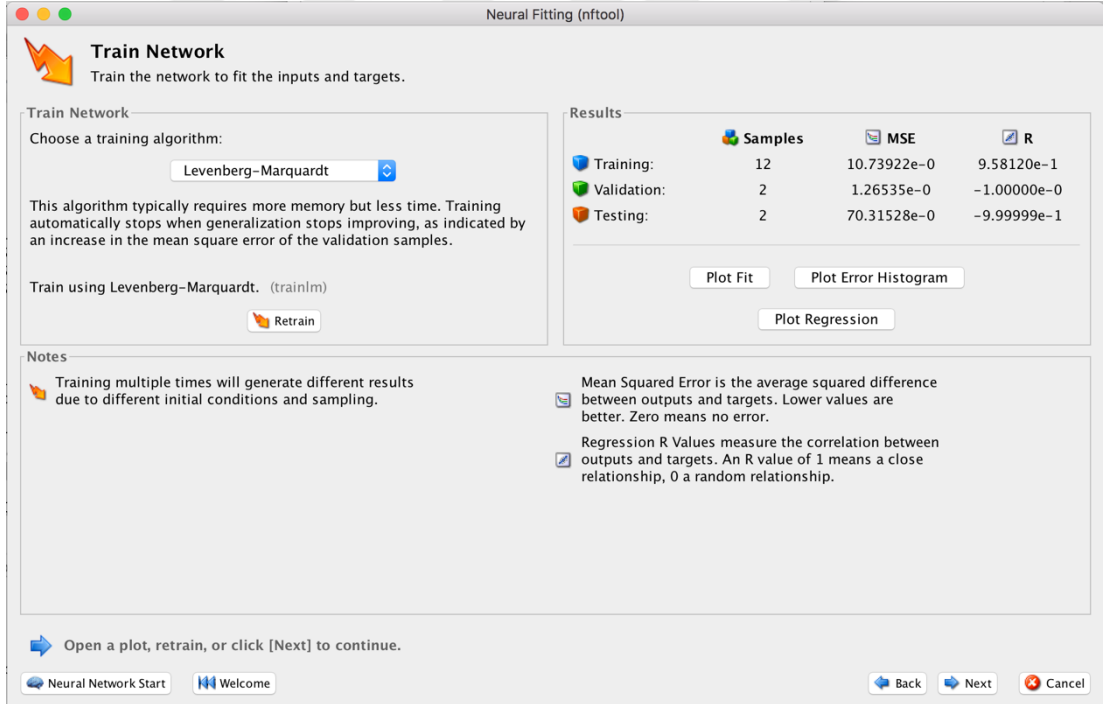
Şekil 7.6. İki katmanlı ileri beslemeli YSA



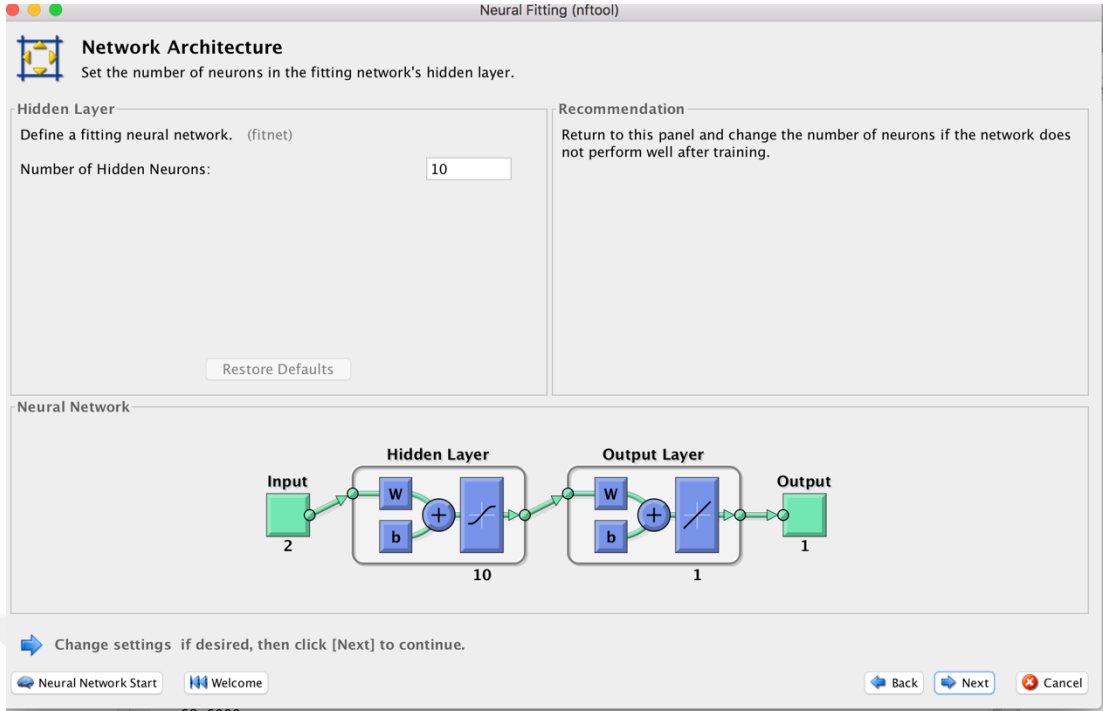
Şekil 7.7. YSA modelinde girdi ve çıktı verilerinin tanımlanması



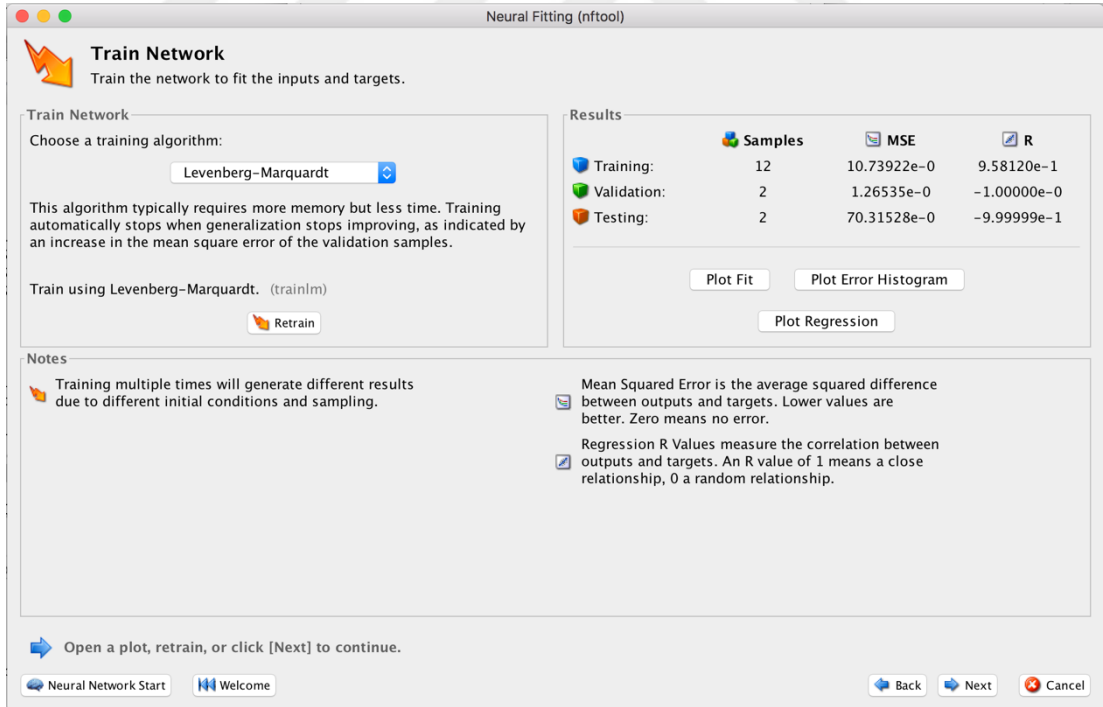
Şekil 7.8. YSA modelinde, eğitim, test etme ve performans için girilen değerler.



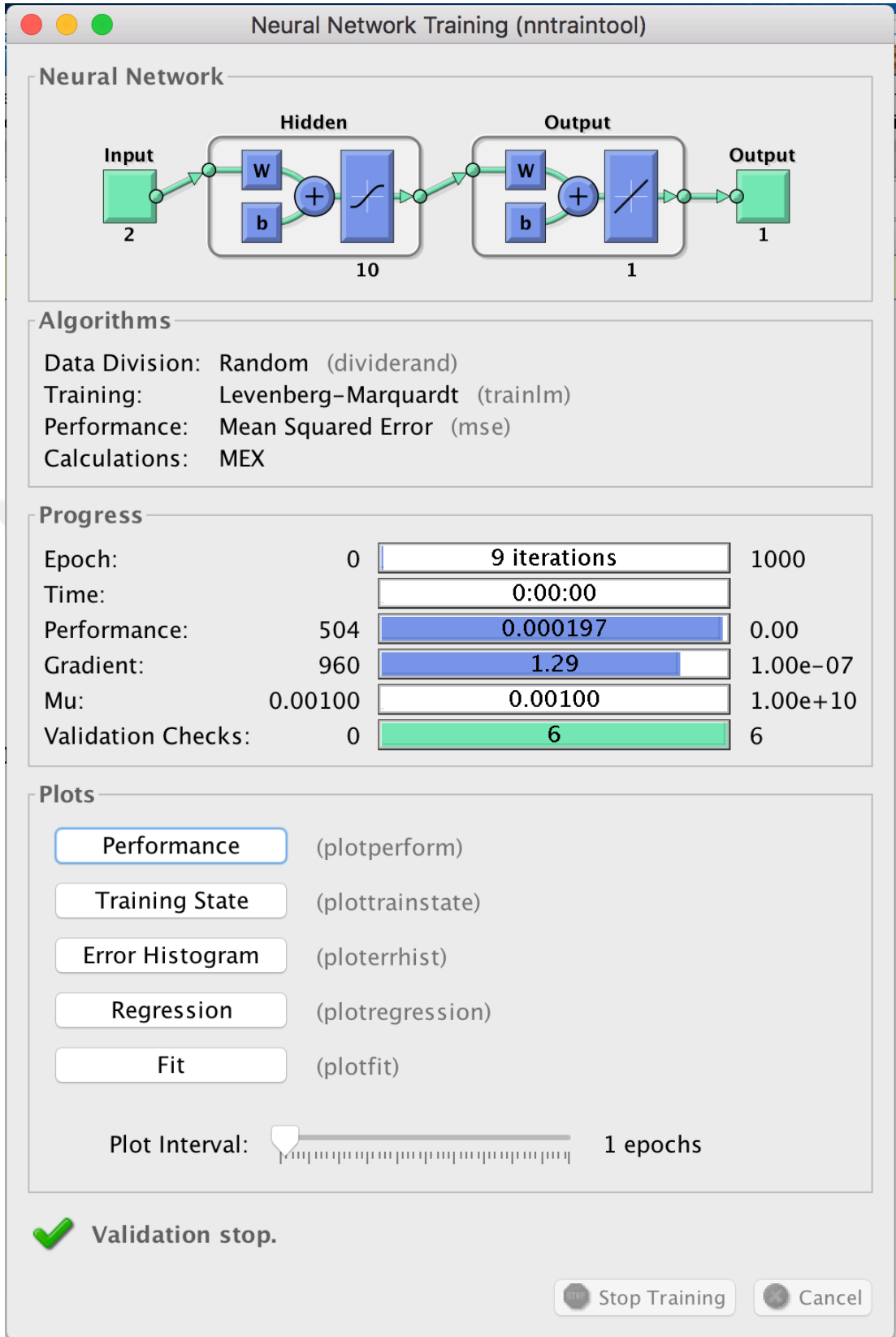
Şekil 7.9. YSA modelinde, eğitim için seçilen algoritma ve ağı eğitilmesi



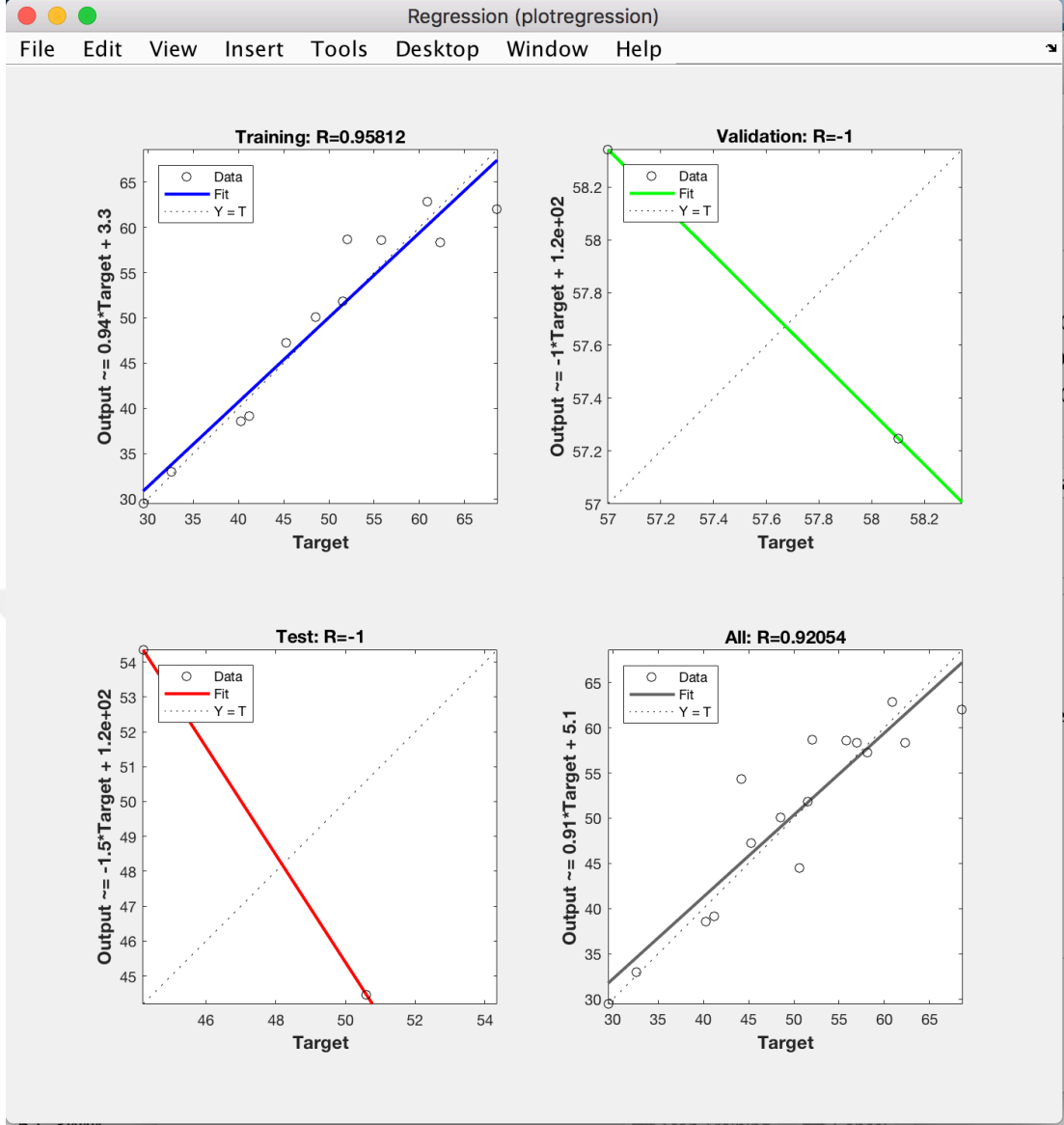
Şekil 7.10. YSA modelinde katmanlar ve nöron sayıları.



Şekil 7.11. YSA modelinde eğitim sonucunda elde edilen değerler.

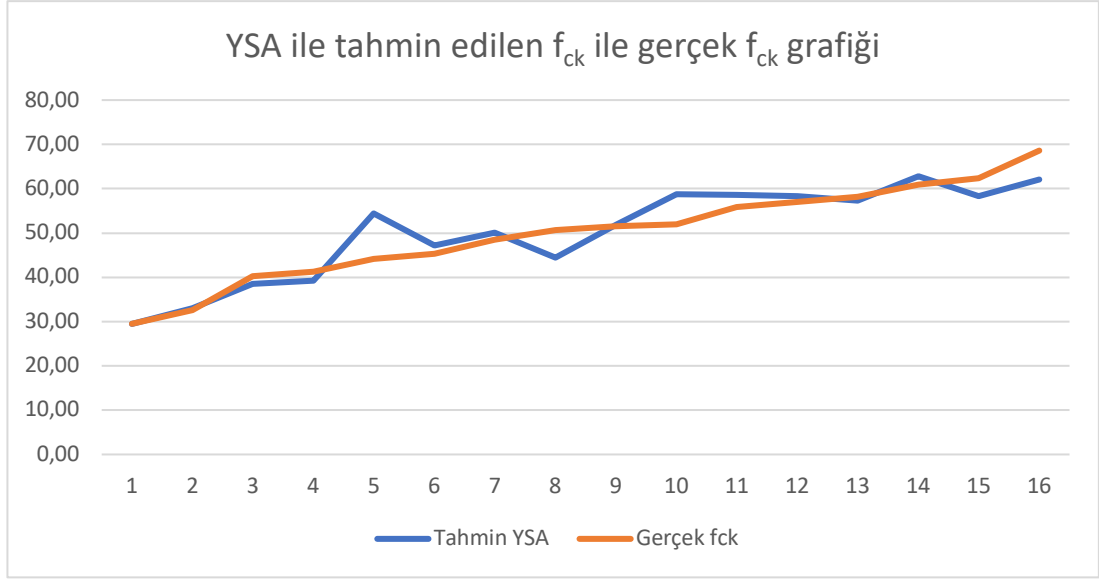


Şekil 7.12. YSA'da seçilen eğitim araçlarının performans değerleri

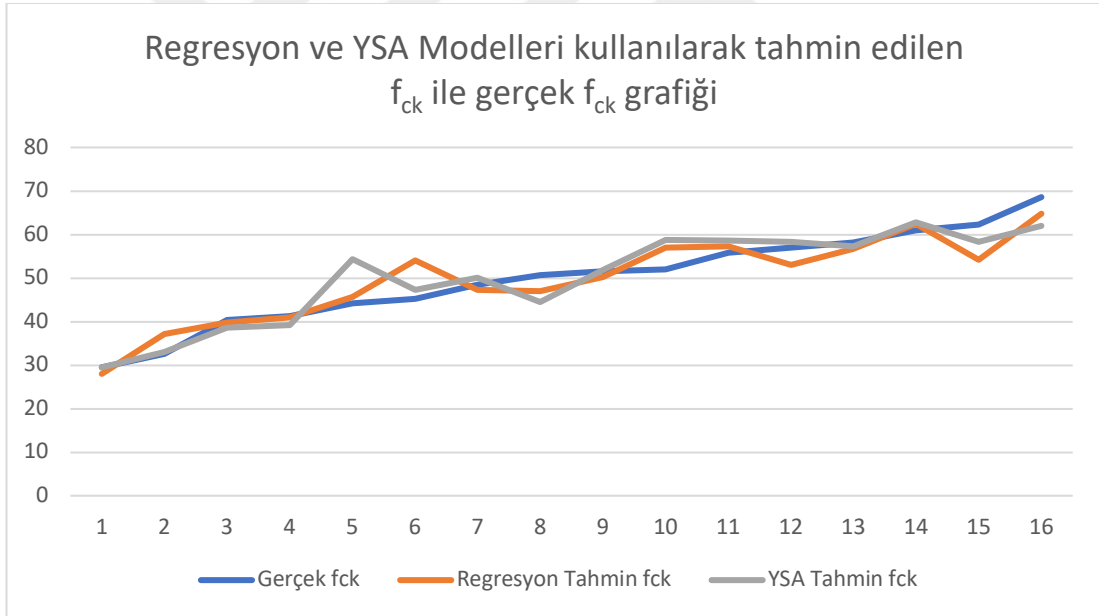


**Şekil 7.13.** YSA modelinde tahmin edilen  $f_{ck}$  değerleri ile gerçek  $f_{ck}$  değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler.

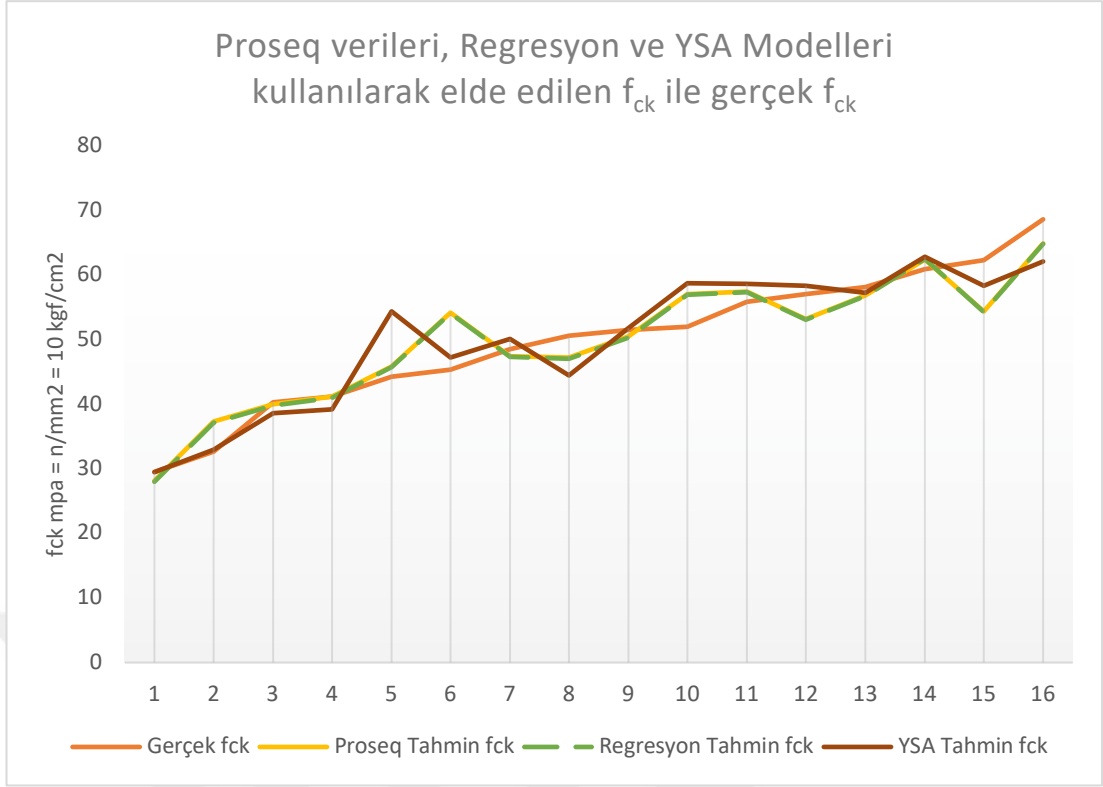
Çalışmanın sonunda test seti için yukarıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Regresyon grafiğinin 0.9'un üzerinde olması, sonuçların istenilen seviyede çıktığını göstermektedir. Çizilen grafikler, yaklaşık sonuç üreten programlar için bulunan değerlerin uygun olduğuna işaret etmektedir.



**Şekil 7.14.** YSA modeli ile tahmin edilen  $f_{ck}$  ile gerçek  $f_{ck}$  grafiği



**Şekil 7.15.** YSA ve regresyon modelleri ile tahmin edilen  $f_{ck}$  ile gerçek  $f_{ck}$  değerleri arasındaki ilişki



**Şekil 7.16.** Proseq, regresyon ve YSA modelleri ile tahmin edilen  $f_{ck}$  ile gerçek  $f_{ck}$  grafiği

Proseq verileri kullanılarak, YSA ile tahmin edilen beton basınç dayanımı  $f_{ck}$  değerleri ile gerçek  $f_{ck}$  değerleri arasındaki ilişki (korelasyon)  $R=0.92054$  olup modelin açıklayıcılık katsayısı  $R^2=0.8474$  ile yüksek derecede bulunmuştur.

## 1.2. Uygulama 2

Uygulama 1 de kullanılan yöntemler  $f_{ck}$  değerini iyi tahmin etmesine rağmen örneklem sayısının küçük ( $n=16$ ) olması çıkan sonuçların güvenilirliği üzerinde düşündürmektedir. Bilimsel çalışmalarda örneklem sayısının büyük olması çalışmanın güvenilirliğini artıracığından daha büyük sayıda örnek hacmi kullanılarak aşağıdaki veriler ile beton basınç dayanımı tahmin edilecektir.

Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen, 2018/001 numaralı proje kapsamında, Kırıkkale’de tespit edilen 5 binadan alınan toplam 117 adet korat numunesi ile birlikte tahribatsız yöntemler olarak bilinen, beton test çekici ve Ultrasonik test cihazları ile elde edilen veriler çizelge 7.9.a-b-c-d ve e’de verilmiştir. Bu veriler kullanılarak daha büyük örneklem sayısı ile beton basınç dayanımının tahmini için; beton test çekici ve ultrasonik test cihazı tahribatsız yöntem verilerinin birlikte kullanıldığı SONREB metodu ile sırasıyla Regresyon analizi ve YSA’da modellemeler yapılmıştır.

**Çizelge.7.9.a.** 2018/001 nolu BAP projesi, 1 nolu bina verileri

Numune Yeri	Numune No	Beton Test Çekici Ortalama Değeri (S)	Ultrasonik Test Cihazı Değeri (T)	Ultrases Dalga Hızı (V)	Beton Basınç Dayanımı ( $f_{ck}$ )
Kırkkale İli 1 Nolu Bina	1	25	26,7	3.483,15	23,10
	2	20	28,8	3.229,17	21,18
	3	22	27,5	3.381,82	21,70
	4	20	29,8	3.120,81	20,94
	5	25	26,3	3.536,12	24,74
	6	26	27,2	3.419,12	23,24
	7	22	29,3	3.174,06	21,07
	8	20	28,4	3.274,65	22,15
	9	20	27,6	3.369,57	22,33
	10	21	29,6	3.141,89	21,38
	11	20	32,6	2.852,76	19,91
	12	25	25,7	3.618,68	24,68
	13	24	27,4	3.394,16	23,83
	14	20	34,2	2.719,30	18,60
	15	13	44,7	2.080,54	10,32
	16	20	30,6	3.039,22	20,40
	17	21	31,4	2.961,78	18,21
	18	20	30,9	3.009,71	18,92
	19	18	31,8	2.924,53	18,26
	20	24	25,9	3.590,73	24,74
	21	20	30,8	3.019,48	19,81
	22	21	28,6	3.251,75	21,07
	23	21	31,8	2.924,53	19,22
	24	18	32,6	2.852,76	19,27



**Çizelge.7.9.b.** 2018/001 nolu BAP projesi, 2 nolu bina verileri

Numune Yeri	Numune No	Beton Test Çekici Ortalama Değeri (S)	Ultrasonik Test Cihazı Değeri (T)	Ultrases Dalga Hızı (V)	Beton Basınç Dayanımı ( $f_{ck}$ )
Kırıkkale İli 2 Nolu Bina	1	21	36,4	2.554,95	17,7
	2	21	25,2	3.690,48	21,2
	3	20	32,6	2.852,76	18,9
	4	21	26,9	3.457,25	20,9
	5	25	23,8	3.907,56	24,9
	6	25	26	3.576,92	23,2
	7	26	25,6	3.632,81	24,8
	8	21	27,8	3.345,32	22,2
	9	24	22,6	4.115,04	25,4
	10	25	23,8	3.907,56	24,6
	11	20	20,9	4.449,76	26,2
	12	24	26,2	3.549,62	24,7
	13	20	33,6	2.767,86	18,0
	14	20	30,7	3.029,32	19,4
	15	23	28,3	3.286,22	20,4
	16	21	26,8	3.470,15	21,2
	17	21	25,9	3.590,73	21,7
	18	20	27,3	3.406,59	20,9
	19	20	24,8	3.750,00	21,6
	20	21	28,4	3.274,65	19,8
	21	22	25,7	3.618,68	21,1
	22	19	26,4	3.522,73	22,2
	23	22	27,4	3.394,16	22,3
	24	20	26,8	3.470,15	21,4

**Çizelge.7.9.c.** 2018/001 nolu BAP projesi, 3 nolu bina verileri

Numune Yeri	Numune No	Beton Test Çekici Ortalama Değeri (S)	Ultrasonik Test Cihazı Değeri (T)	Ultrases Dalga Hızı (V)	Beton Basınç Dayanımı ( $f_{ck}$ )
Kırıkkale İli 3 Nolu Bina	1	21	25,7	3.618,68	20,89
	2	26	24,8	3.750,00	22,45
	3	21	28,0	3.321,43	20,20
	4	18	34,0	2.735,29	15,93
	5	36	20,2	4.603,96	33,56
	6	19	26,8	3.470,15	20,39
	7	23	22,9	4.061,14	24,07
	8	25	23,1	4.025,97	26,16
	9	28	22,0	4.227,27	27,10
	10	19	32,8	2.835,37	17,00
	11	22	25,6	3.632,81	20,85
	12	26	22,5	4.133,33	26,93
	13	18	34,3	2.711,37	17,90
	14	19	29,8	3.120,81	19,51
	15	24	25,0	3.720,00	23,20
	16	20	29,6	3.141,89	18,26
	17	18	30,2	3.079,47	18,47
	18	23	26,3	3.536,12	22,48
	19	22	27,6	3.369,57	21,31
	20	25	26,8	3.470,15	22,61
	21	25	25,9	3.590,73	23,57
	22	20	33,8	2.751,48	16,64
	23	24	24,7	3.765,18	23,16
	24	24	23,4	3.974,36	23,43
	25	22	28,4	3.274,65	20,39
	26	39	25,0	3.720,00	21,90
	27	26	22,7	4.096,92	25,65

**Çizelge.7.9.d.** 2018/001 nolu BAP projesi, 4 nolu bina verileri

Numune Yeri	Numune No	Beton Test Çekici Ortalama Değeri (S)	Ultrasonik Test Cihazı Değeri (T)	Ultrases Dalga Hızı (V)	Beton Basınç Dayanımı ( $f_{ck}$ )
Kırıkkale İli 4 Nolu Bina	1	16	40,1	2.319,20	13,00
	2	19	34,6	2.687,86	15,08
	3	17	36,4	2.554,95	13,10
	4	16	38,6	2.409,33	13,75
	5	16	35,7	2.605,04	14,71
	6	15	44,3	2.099,32	12,53
	7	17	45,7	2.035,01	12,57
	8	18	35,4	2.627,12	14,95
	9	18	39,4	2.360,41	13,62
	10	19	38,3	2.428,20	14,87
	11	17	45,6	2.039,47	12,86
	12	16	44,8	2.075,89	12,85
	13	17	41,4	2.246,38	13,71
	14	16	42,6	2.183,10	13,18
	15	17	39,6	2.348,48	15,67
	16	18	39,8	2.336,68	14,71
	17	17	40,2	2.313,43	14,12
	18	20	37,8	2.460,32	16,00
	19	16	39,4	2.360,41	13,97
	20	17	39,2	2.372,45	14,88
	21	17	34,1	2.727,27	15,86
	22	17	35,2	2.642,05	13,78
	23	18	35	2.657,14	13,79
	24	18	33,6	2.767,86	16,06
	25	19	36,8	2.527,17	14,62

**Çizelge.7.9.e.** 2018/001 nolu BAP projesi, 5 nolu bina verileri

Numune Yeri	Numune No	Beton Test Çekici Ortalama Değeri (S)	Ultrasonik Test Cihazı Değeri (T)	Ultrases Dalga Hızı (V)	Beton Basınç Dayanımı ( $f_{ck}$ )
Kırıkkale İli 5 Nolu Bina	1	36	20,8	4.471,15	32,56
	2	40	20,20	4.603,96	34,48
	3	29	22,10	4.208,14	30,24
	4	27	22,30	4.170,40	29,80
	5	36	21,00	4.428,57	31,56
	6	37	20,70	4.492,75	33,67
	7	27	22,60	4.115,04	28,44
	8	35	20,60	4.514,56	32,86
	9	38	20,60	4.514,56	34,10
	10	32	21,90	4.246,58	30,68
	11	28	22,10	4.208,14	29,76
	12	27	23,20	4.008,62	26,86
	13	27	22,80	4.078,95	27,49
	14	34	21,60	4.305,56	31,28
	15	34	20,70	4.492,75	32,16
	16	35	21,10	4.407,58	31,47
	17	33	22,20	4.189,19	30,65

Çizelge 7.9 a-b-c-d ve e’de Kırıkkale Üniversitesi 2018/001 nolu BAP projesi kapsamında Kırıkkale ilinde tespit edilen 5 Binadan;

1 Nolu Bina: Kaletpe Mah. 1067. Sok. No:9 binasından 24 adet,

2 Nolu Bina: Yuva Mah. 2351. Sok. No:30 binasından 24 adet,

3 Nolu Bina: Kırıkkale Tüpraş Tesisleri binasından 27 adet,

4 Nolu Bina: Kırıkkale Mke Tesisleri A Blok’tan 30 adet,

5 Nolu Bina: Kırıkkale Mke Tesisleri B Bloktan 17 adet olmak üzere toplam 117 adet karot numunesine ait beton basınç dayanımı ( $f_{ck}$ ), karot numunelerinin alındığı yapı elemanlarından alınan 15 adet beton test çekici ortalama değeri (S) ve karot numunelerinden laboratuvar ortamında alınan Ultrasonik test cihazı (T) ve Ultrasonik dalga hızı (V) verileri verilmiştir.

### 1.1.1. Regresyon Yöntemi ile Beton Basınç Dayanımının Tahmini

Regresyon yöntemi ile beton basınç dayanımının tahmin edilmesi, SPSS paket programı yardımı ile yapılmıştır. Yapılan uygulamaların adımları sırasıyla ve oluşturulan regresyon modelinin sonuçlar aşağıda verilmiştir.

**Çizelge 7.10.** Tanımlayıcı istatistikler

	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Std. Sapma
S	117	14,00	40,00	22,1453	5,52777
V	117	2035,01	4603,96	3319,4077	689,91222
$f_{ck}$	117	10,32	34,48	21,3682	5,67460

117 adet veriye ilişkin en büyük, en küçük, ortalama ve standart sapma değerleri S, V ve  $f_{ck}$  için ayrı ayrı verilmiştir.

Beton basınç dayanımının tahmini için SPSS paket programı yardımı ile oluşturulan regresyon modeli için sonuçlar aşağıda verilmiştir.

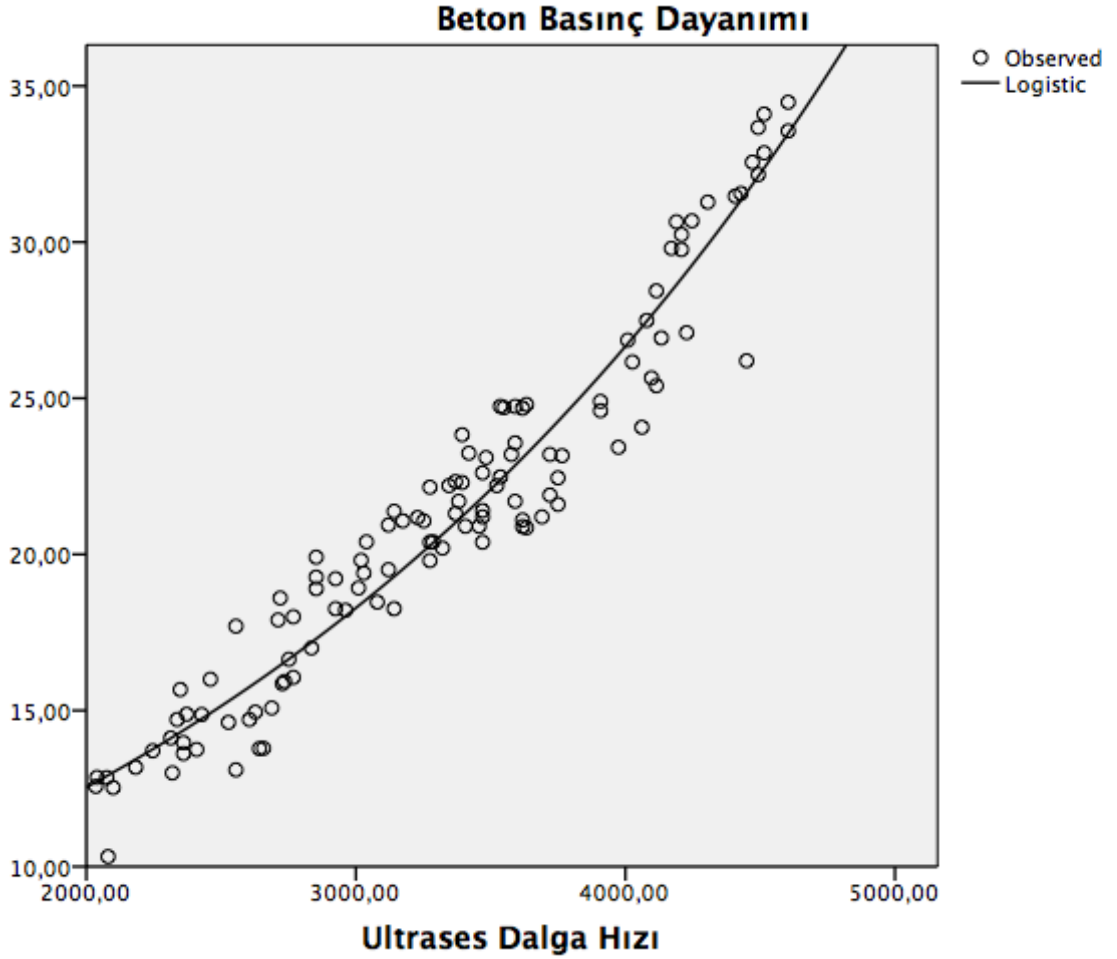
Regresyon analizinin yapılması için, bağımlı değişken  $f_{ck}$  değerlerinin sağlaması gereken ön koşul olan normal dağılıma uygunluğu için Kolmogorov-Smirnov Test sonucu aşağıdaki Çizelge 7.11’de verilmiştir.

**Çizelge: 7.11.** Verilerin normal dağılım uygunluğu testi

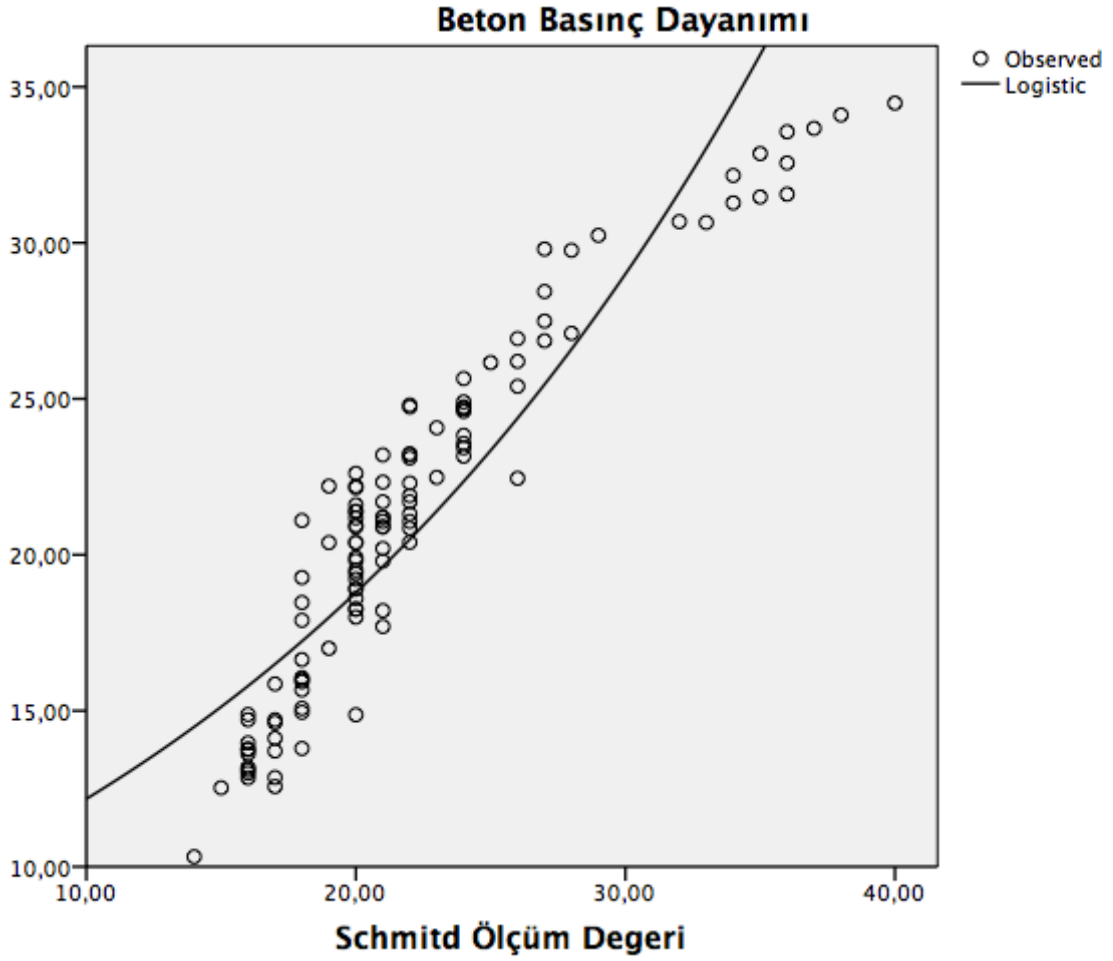
	Kolmogorov-Smirnov		
	Test değeri	s.d.	<i>p-değeri</i>
Standartlaştırılmamış Hatalar	.072	116	.200

Verilerin normal dağılıma uygunluğu için  $p=0,200>0,05$  şartını sağlamaktadır. Böylece regresyon analizinin yapılması için gerekli olan varsayım sağlanmıştır.

Beton basınç dayanımı  $f_{ck}$ 'nin, V ve S ile arasındaki bağıntı SPSS programı yardımıyla çizilen eğri yöntemleri ile aşağıda belirlenmiştir.



Şekil 7.17.  $f_{ck}$  ve V arasındaki bağıntı



**Şekil 7.18.**  $f_{ck}$  ve S arasındaki bağıntı

Şekil 7.17 ve Şekil 7.18 ile  $f_{ck}$ 'nın V ve S arasındaki bağıntısının logaritmik olduğu görülmektedir. Bu nedenle  $f_{ck}$ 'nin tahmininde V ve S değerlerinin e-tabanında logaritmaları alınarak elde edilen verilerle regresyon analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

**Çizelge 7.12.** Modelin belirtme katsayısı

	R	R <sup>2</sup>	Düzeltilmiş R <sup>2</sup>
Model	,983 <sup>a</sup>	,966	,965

Tahmin ediciler: (Sabit terim), lnV, lnS,  
Bağımlı değişken:  $f_{ck}$

Çizelge 7.12’de görüldüğü gibi modelin, Ultrasonic test cihazı verisi (V) ve Beton test çekici verisi (S) ile betonun basınç dayanımını açıklama oranı  $R^2$  si %96 olup oldukça yüksek düzeydedir.

**Çizelge 7.13. ANOVA Tablosu**

Model	Hata Kareler Toplamı	s.d	Hata Kareler Ortalaması	F	p-değeri
Regresyon	3606,476	2	1803,238	1595,399	,000
Hata	128,851	114	1,130		
Toplam	3735,328	116			

Çizelge 7.13 ile kurulan regresyon modeli istatistiksel olarak anlamlıdır ( $F = 1595.399$ ,  $p < 0.05$ ).

**Çizelge 7.14. Regresyon Katsayı Tablosu**

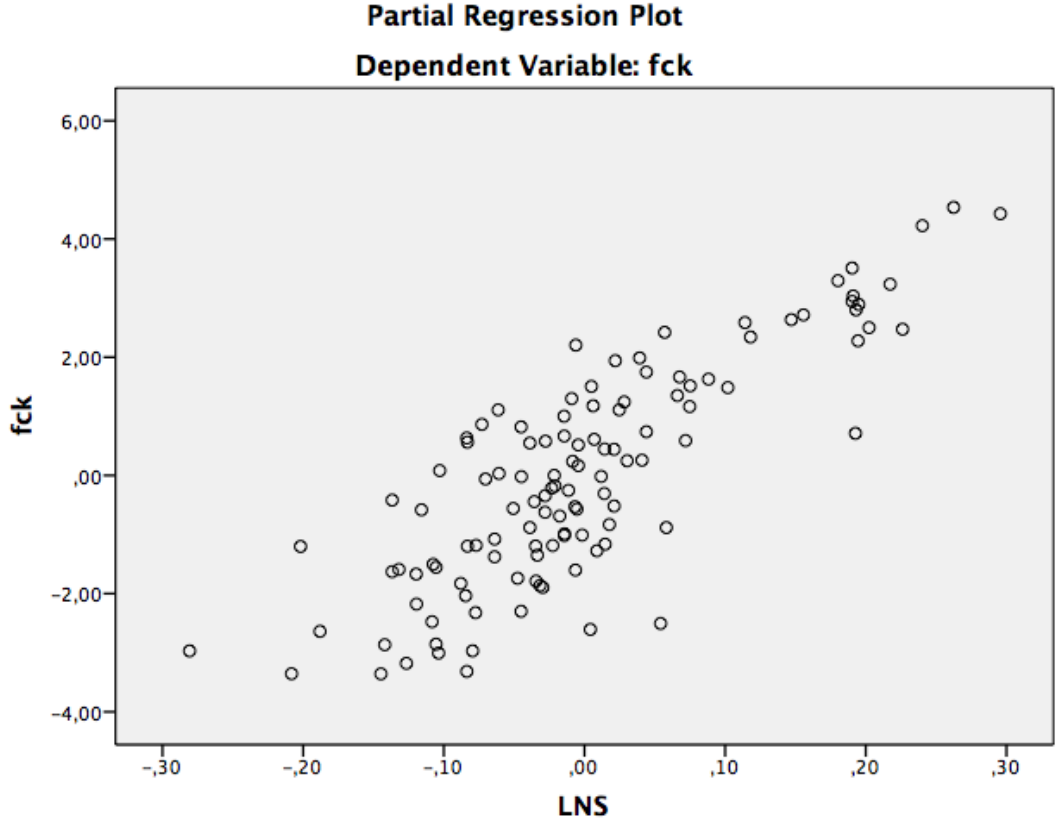
Model	Standartlaştırılmamış Katsayılar		Standartlaştırılmış Katsayılar	t	p-değeri
	$\hat{\beta}$	Std. Hata	$\hat{\beta}$		
(Sabit)	-115,554	5,500		-21,008	,000
InV	14,574	,927	,579	15,722	,000
InS	11,400	,970	,433	11,752	,000

Bağımlı değişken  $f_{ck}$

Regresyon analizinde, SONREB yöntemi kullanılarak elde edilen, beton basınç dayanımı denklemi Çizelge 7.14.’e göre 7.4’de verilmiştir. Denklemin açıklayıcılık oranı ise  $R^2 = 0,96$ ’dır.

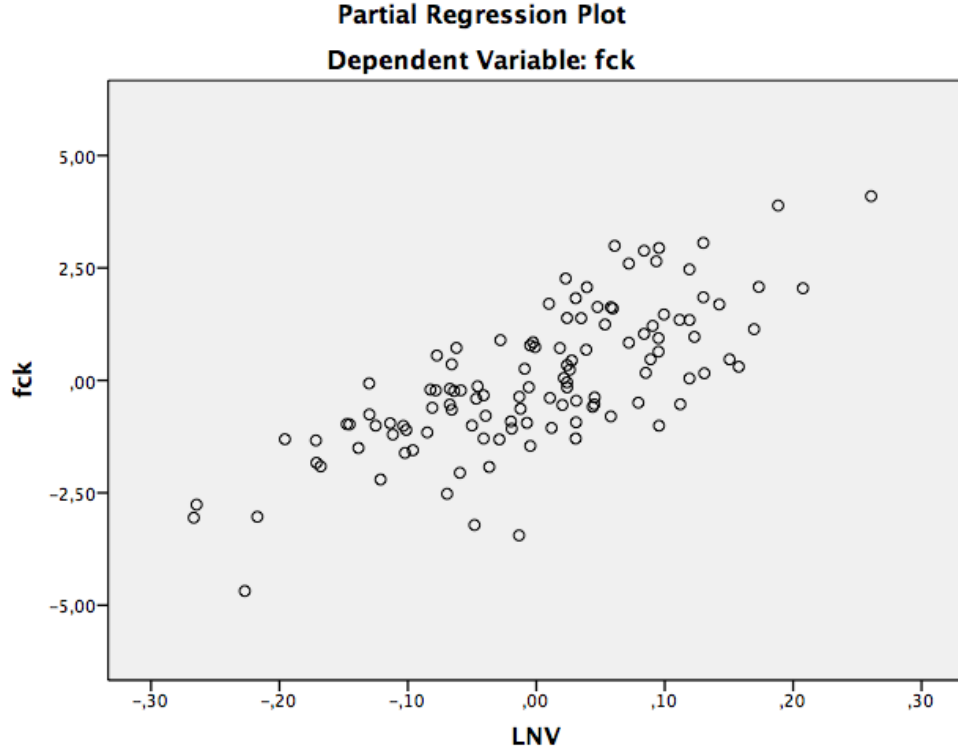
$$f_{ck} = -115,554 + 11,400 \text{InV} + 14,574 \text{InS} \quad (7.4)$$





**Şekil 7.19.** lnS ile f<sub>ck</sub> arasındaki bağıntı

Şekil 7.19 ile Beton test çekici verisi (S)'nin ln'i ile Beton basınç dayanımı arasında Lineer bir bağıntı olduğu görülmektedir.



**Şekil 7.20.** InV ile f<sub>ck</sub> arasındaki bağıntı

Şekil 7.20 ile Ultrasonic test cihazı verisi (V)'nin In'i ile beton basınç dayanımı arasında Lineer bir bağıntı olduğu görülmektedir.

Bağımsız değişken olarak modelde yer alan ultrasonic test cihazı ve beton test çekici verisinin In alınarak tahmin edilen beton basınç dayanımına alternatif olarak kurulacak yeni modelde bağımlı değişken olan beton basınç dayanımı f<sub>ck</sub> ların da In'i alınarak elde edilen yeni modele ait sonuçlar aşağıdadır.

**Çizelge 7.15.** Modelin belirtme katsayısı

Model	R	R <sup>2</sup>	Düzeltilmiş R <sup>2</sup>
	,979 <sup>a</sup>	,958	,957

Tahmin ediciler (Sabit terim), InV, InS,

Bağımlı değişken:Inf<sub>ck</sub>

Çizelge 7.15’de görüldüğü gibi modelin, Ultrasonic test cihazı verisi (V) ve beton test çekici verisi (S) ile betonun basınç dayanımını açıklama oranı  $R^2$  si %95,8 olup oldukça yüksek düzeydedir.

**Çizelge 7.16 ANOVA Tablosu**

Model	Hata Kareler Toplamı	s.d.	Hata Kareler Ortalaması	F	p-değeri.
Regresyon	8,095	2	4,048	1303,456	,000 <sup>b</sup>
Hata	,354	114	,003		
Toplam	8,449	116			

Çizelge 7.16 ile kurulan regresyon modeli istatistiksel olarak anlamlıdır ( $F = 1303.399$ ,  $p < 0.05$ ).

**Çizelge 7.17. Regresyon Katsayı Tablosu**

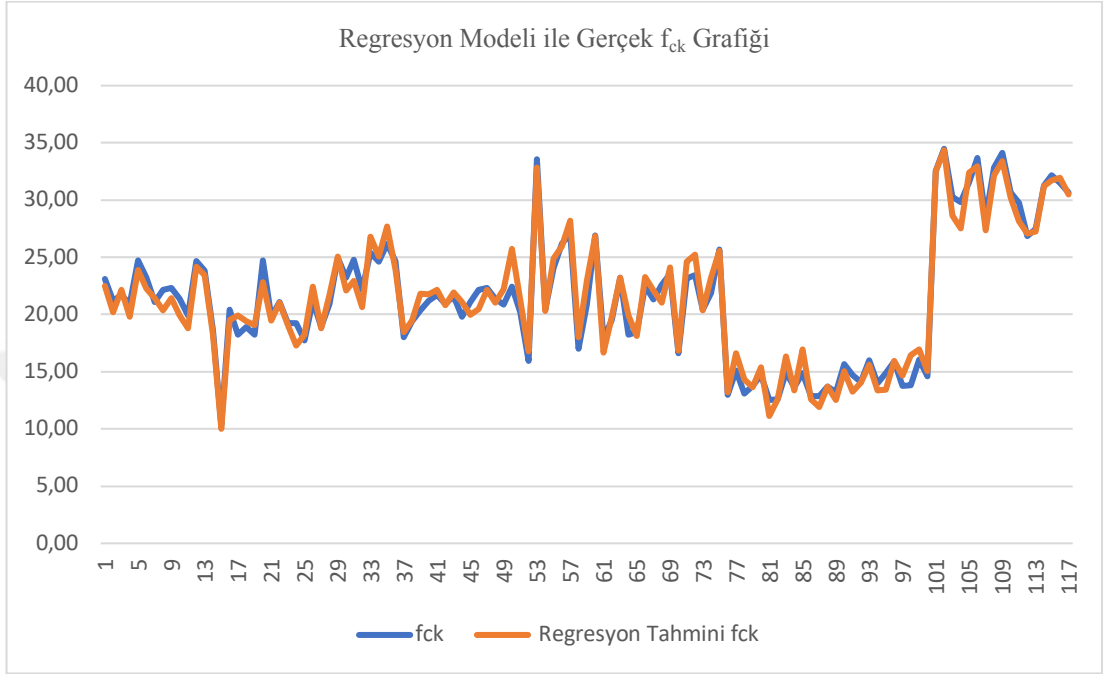
Model	Standartlaştırılmamış Katsayılar		Standartlaştırılmış Katsayılar	t	p-değeri
	$\hat{\beta}$	Std. Hata	$\hat{\beta}$		
(Constant)	-4,834	,288		-16,768	,000
LNS	,432	,049	,361	8,893	,000
LNV	,808	,051	,645	15,895	,000

Bağımlı değişken :Infck

Regresyon analizinde, SONREB yöntemi kullanılarak elde edilen, beton basınç dayanımı denklemi Çizelge 7.17.’ya göre 7.5’de verilmiştir. Denklemin açıklayıcılık oranı ise ( $R^2$ ) %96’ dır.

$$f_{ck} = 79.54 \times 10^{-4} V^{0.808} S^{0.432} \quad (7.5)$$

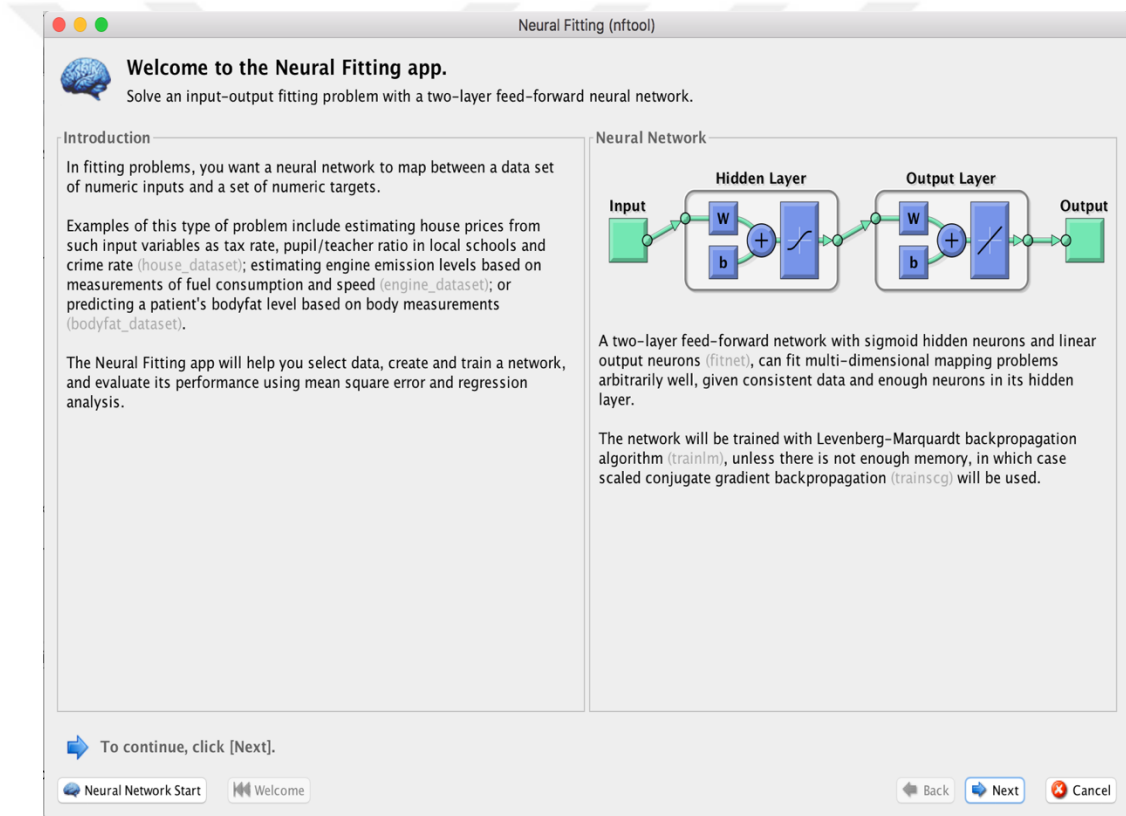
SPSS programı ile elde edilen, regresyon analizi modeli ile tahmin edilen  $f_{ck}$  değeri ve gerçek  $f_{ck}$ 'nin grafiği aşağıdadır. Kurulan modelin anlamlı ve  $R^2$ 'nin yüksek olması sonucunda tahmin edilen  $f_{ck}$  değeri, gerçek  $f_{ck}$ 'ya oldukça yakın çıkmıştır. Bu da aşağıdaki grafik görülmektedir.



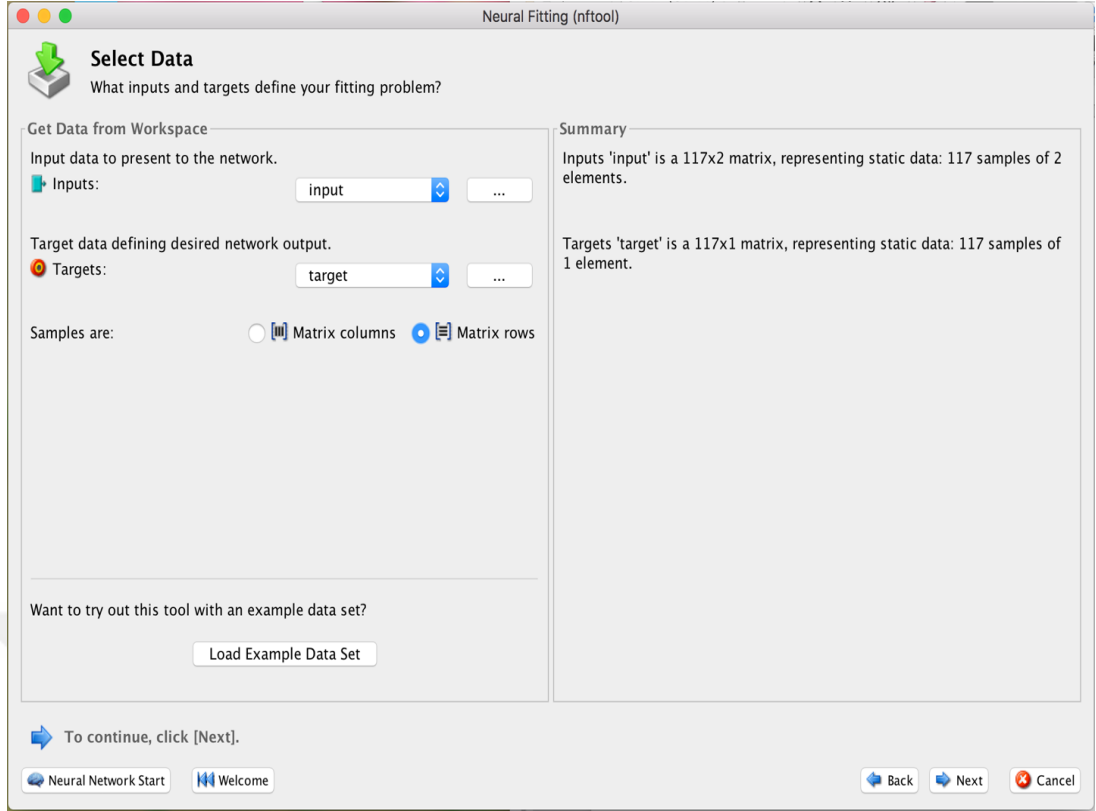
Şekil 7.21 Regresyon modeli ile gerçek  $f_{ck}$  grafiği

### 1.2.1. Yapay Sinir Ağı ile Basınç Dayanımının Tahmini

Bu bölümde beton basınç dayanımının, tahribatsız deney yöntemleri sonuçları kullanılarak, YSA ile tahmini araştırılmıştır. Betonun basınç dayanımını elde etmek için, Sonreb metodu için elde edilen Ultrasonik dalga hızı (V) ve beton test çekici (S) sonuçlarından yararlanılmıştır. YSA'da çözüm için MATLAB programı kullanılmıştır. YSA modeli oluşturulurken test setinde uygun çözümler sunan model için deneme-yanılma yapılmış ve en uygun sonuçların elde edildiği 8 nöronlu 1 gizli katman kullanılmış ve eğitim aşamasında hata oranı 10-10 olarak alınmıştır. Aşağıda, kurulan YSA modelinin aşamaları sırasıyla gösterilmektedir.



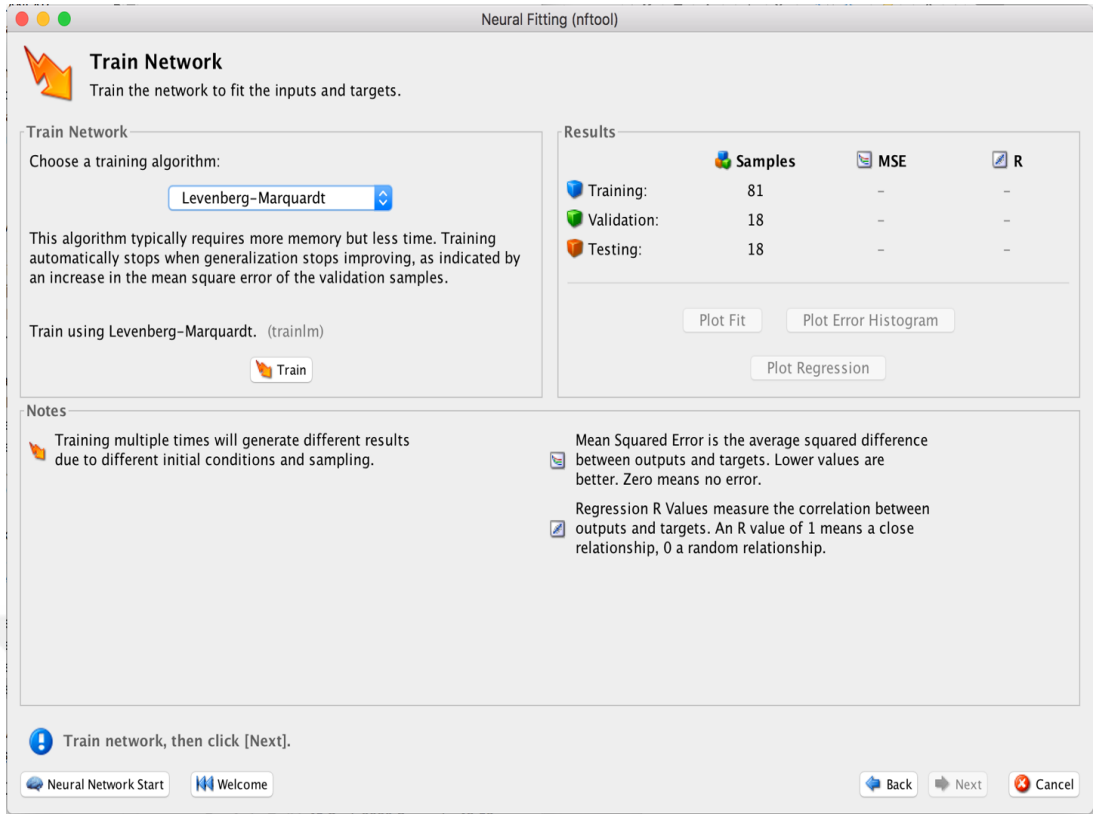
Şekil 7.22. İki katmanlı ileri beslemeli geri yayımlı sinir ağı



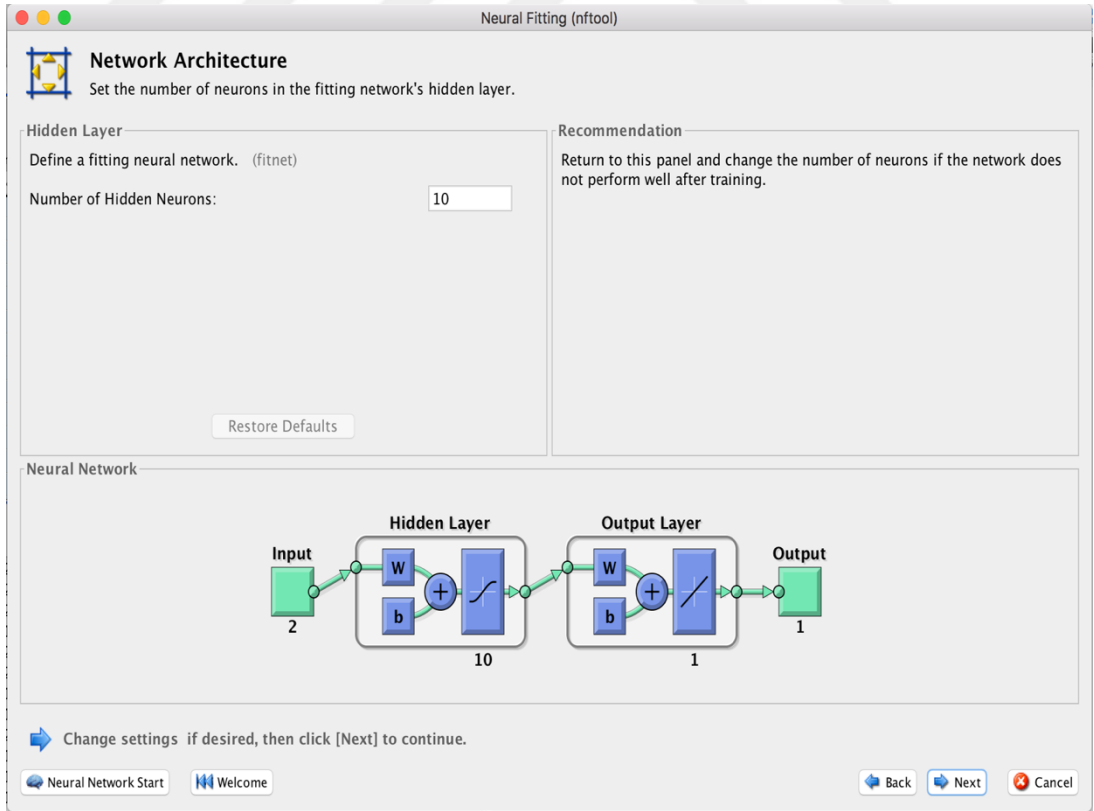
Şekil 7.23. YSA modelinde girdi ve çıktı verilerinin tanımlanması



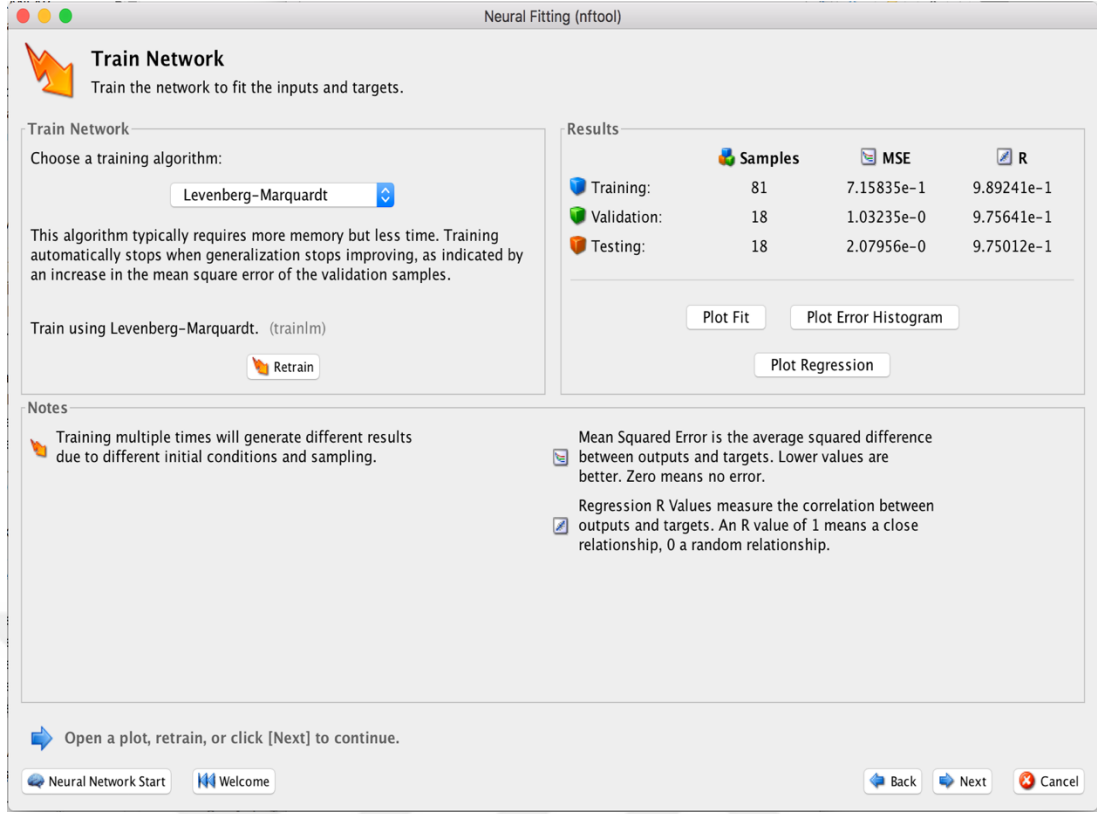
Şekil 7.24. YSA modelinde, eğitim, test etme ve için seçilen değerler.



Şekil 7.25. YSA modelinde, eğitim için seçilen algoritma



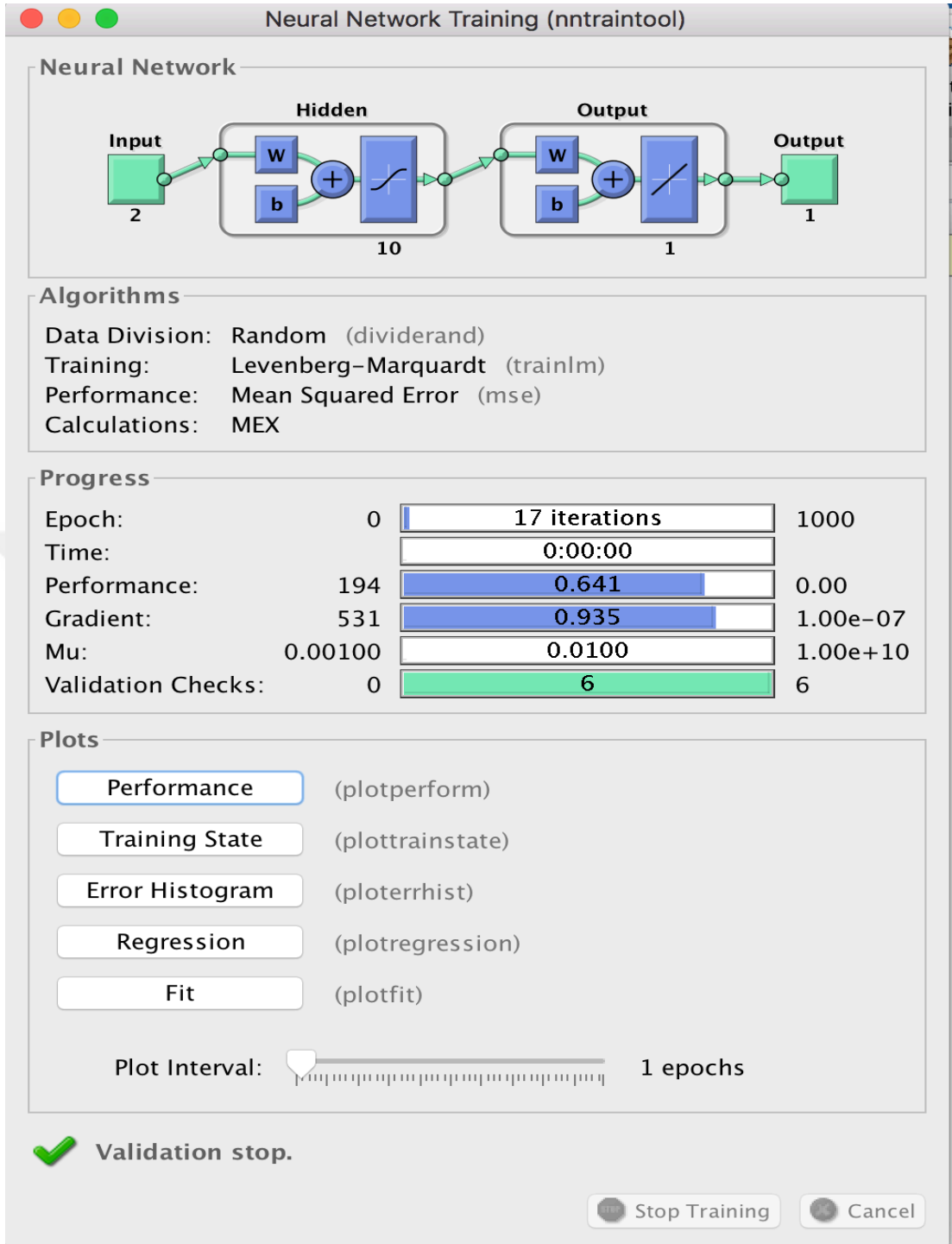
Şekil 7.26. YSA modelinde atanan 1. gizli katman ve nöron sayıları.



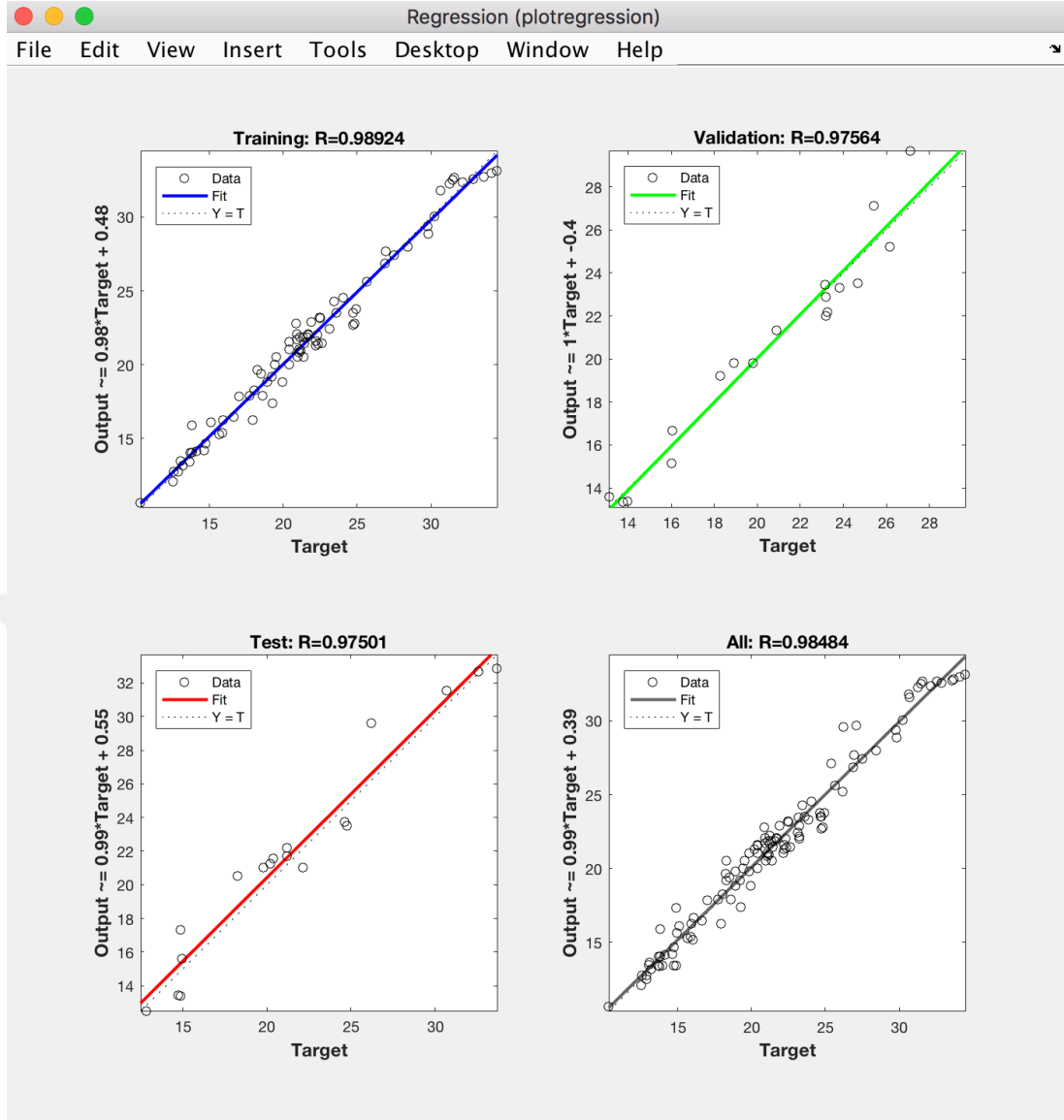
Şekil 7.27. YSA modeli Eğitim sonucunda elde edilen değerler.

Şekil 7.27'e bakıldığında, YSA ile beton basınç dayanımı tahmininde elde edilen hata terimlerinde, gerçek  $f_{ck}$  değerleri ile YSA ile tahmin edilen  $f_{ck}$  değerleri arasındaki hataların kareleri ortalaması MSE ve diğer bir önemli parametre olan, gerçek  $f_{ck}$ 'lar ile tahmin edilen  $f_{ck}$ 'lar arasındaki ilişkiyi gösteren R değerleri; Eğitim için %99, Test için %97 ve Performans sınavında %97 ile oldukça yüksek elde edilmiştir.





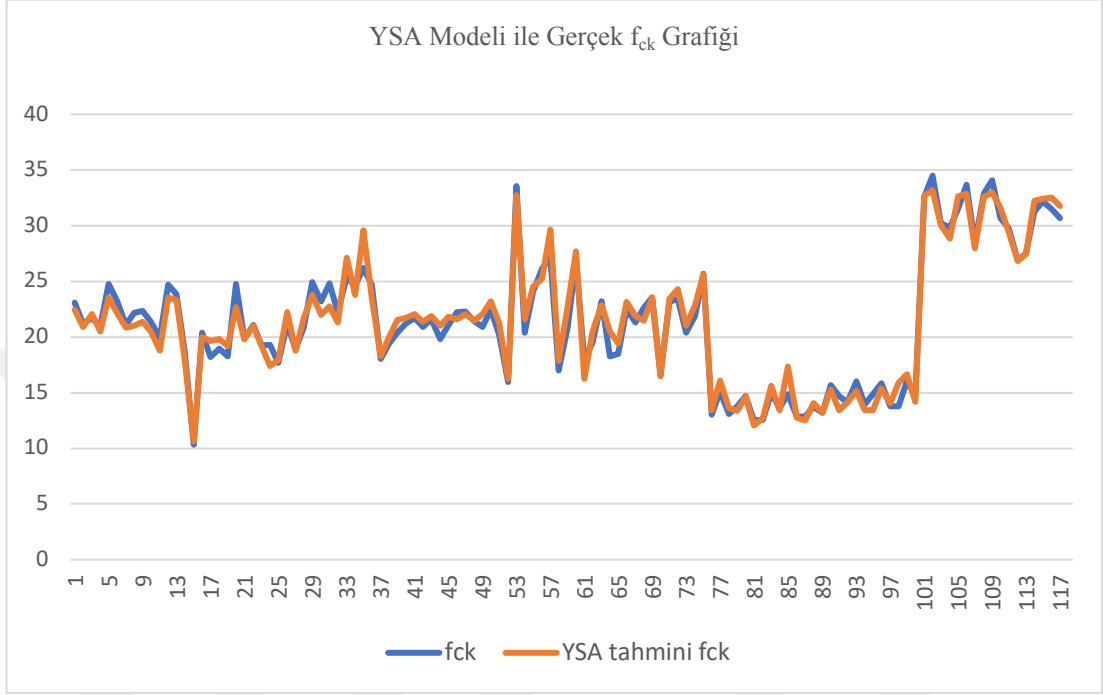
Şekil 7.28. YSA’da seçilen eğitim araçlarının performans değerleri



**Şekil 7.29.** YSA modelinde tahmin edilen  $f_{ck}$  değerleri ile gerçek  $f_{ck}$  değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler.

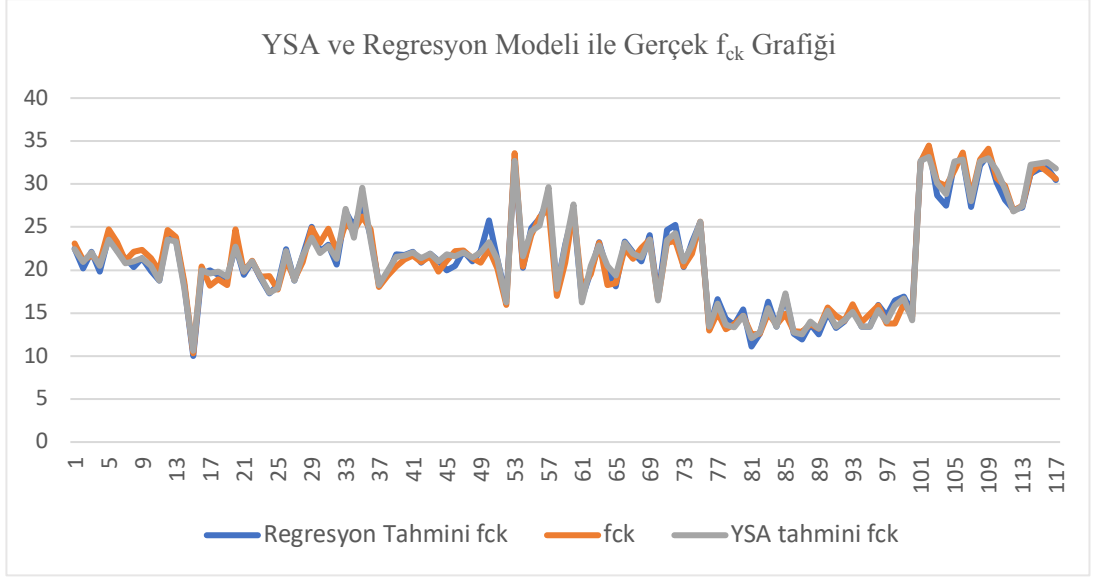
Şekil 7.29'da görüldüğü üzere, Regresyon grafikleri R değerlerinin 0.9'un üzerinde çıkması sonuçların istenilen seviyede olduğunu göstermektedir. Çizilen grafikler, yaklaşık sonuç üreten programlar için bulunan değerlerin uygun olduğuna işaret etmektedir.

MATLAB programı ile elde edilen, YSA modeli ile tahmin edilen  $f_{ck}$  değeri ve gerçek  $f_{ck}$ 'nın grafiği aşağıdadır. Tüm R değerlerinin yüksek olması sonucunda tahmin edilen  $f_{ck}$  değeri, gerçek  $f_{ck}$ 'ya oldukça yakın çıkmıştır. Bu da aşağıdaki Şekil 7.30'de görülmektedir.



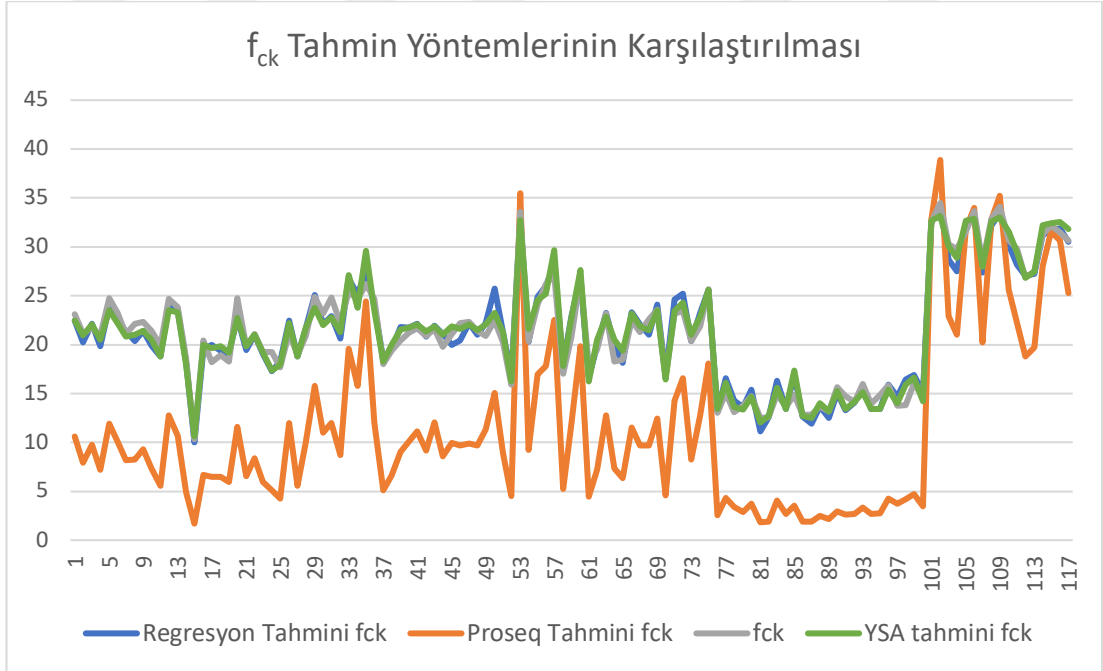
Şekil 7.30. YSA modeli ile gerçek  $f_{ck}$  grafiği

Tahribatsız yöntemler ile tahmin yapabilmek için YSA ve regresyon yöntemlerinden elde edilen  $f_{ck}$  ve gerçek  $f_{ck}$  ların grafiği Şekil 7.32'de verilmiştir. Bu grafiğe bakıldığında regresyon ve YSA'ından elde edilen tahminler birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Dolayısı ile bu tahmin yöntemleri birbirine alternatif ve destekleyici olarak kullanılabilir.



**Şekil 7.31.** YSA ve Regresyon modeli ile gerçek  $f_{ck}$  grafiği

Proseq modeli ile BAP projesi kapsamında elde edilen veriler kullanılarak yapılan tahmin sonuçları YSA ve regresyon yöntemleri ile karşılaştırılmış ve sonuçlar Şekil 7.32 ile verilmiştir. Proseq modelinin 20 Mpa ve üzeri  $f_{ck}$  değerleri için YSA ve regresyon modeline benzer tahminler yapabildiği görülmektedir.



**Şekil 7.32.** YSA, Regresyon ve Proseq modelleri ile tahmin edilen  $f_{ck}$  ile gerçek  $f_{ck}$  grafiği

## 2. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile karot alınarak elde edilen betonun basınç dayanımlarının tahmin edilmesi için YSA ve Regresyon Yöntemi kullanılarak tahmin modelleri geliştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında Proceq tarafından elde edilen 16 ve BAP projesi kapsamında alınan 117 adet veriler kullanılarak iki aşamalı olarak yürütülmüştür.

Birinci aşamada Proceq verileri kullanılarak, geliştirilen yapay sinir ağı ve regresyon modelleri kullanılarak elde edilen basınç dayanımının tahmin edilmesi modelinde açıklayıcılık oranları %88 ile birbirlerine eşit olarak bulunmuştur. Çalışma sonuçlarına göre modellerin güvenilirliği değerlendirildiğinde, tahmin değerleri ile karot değerleri arasındaki korelasyon kabul edilebilir düzeydedir. Bu sebeple beton basınç dayanımlarının tahmin edilmesinde SONREB yöntemiyle, YSA ve Regresyon analizleri ile kurulan modellerin güvenilir olduğu görülmüştür.

Bu çalışma neticesinde, Proceq tarafından geliştirilen ve açıklayıcılık oranı  $R^2=0.774$  olan eşitlik (7.1)'e paralellikte olan ve açıklayıcılık oranı  $R^2=0.88$  ile daha yüksek olan eşitlik (7.3) elde edilmiştir.

İkinci aşamada BAP projesi kapsamında alınan 117 adet beton karot numunenin basınç dayanımlarına ek olarak beton test çekici ve ultrasonik test cihazı okumalarının regresyon analizi ile SONREB yöntemi kullanılarak elde edilen beton basınç dayanımı tahmin modelinin açıklayıcılık oranı  $R^2=0.96$  olup, eşitlik (7.4)'de gösterilmiştir. BAP projesi kapsamında elde edilen veriler için Proceq modeline benzer olarak tüm verilerin In alınarak oluşturulan (7.5) modelinin açıklayıcılık oranı  $R^2=0.95$  dir. Kurulan modellerin anlamlı ve açıklayıcılık oranlarının da yüksek olması ile tahmin edilen  $f_{ck}$  ile karot numuneleri basınç dayanımı sonuçları arasında yüksek oranda uyumluluk olduğu söylenebilir.

Burada YSA ve Regresyon modellerinde veri setleri artırılarak açıklayıcılık oranı daha yüksek hata payı daha düşük modellerin elde edilebilirliği gözlemlenmiştir.

Tahribatsız yöntemlerle basınç dayanımı tahmininde, saha çalışması esnasında, yapı elemanından alınan karot numunelerinin laboratuvara getirildikten sonra bekleme süreleri, laboratuvar ortamı ve mevsim şartlarına göre nem oranlarındaki farklılık,

beton test çekici ve ultrasonik test cihazı okumalarını etkilediği düşünülerek, ilave çalışmalarda numunelerin nem dengesi gözetilerek yeni kurulacak modellerde ultrasonic test ve beton test çekici bağımsız değişkenlerine nem oranları da eklenerek, açıklayıcılık oranı daha yüksek modeller elde edilebileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak, ülkemizdeki deprem durumu da dikkat alındığında, mevcut yapıların deprem performanslarının daha hızlı ve ekonomik belirlenebilmesi için beton basınç dayanımlarının tahmin edilmesi, tahribatlı yöntemler yerine tahribatsız yöntemlerle alınan veriler kullanılarak, kurulan bu YSA yöntemi ve Regresyon analizi modelleri ile tahmin edilebilecektir. Böylece yüksek maliyet, zaman ve iş gücü kaybı ile yapının/yapı elemanın zayıflaması vb. gibi birçok dezavantajlı durumlar bertaraf edilmiş olacaktır.



## KAYNAKLAR

- Akgül, M., Doğan, O., Yığma yapılar da güçlendirme yöntemleri ve tbdy – 2018’de yığma yapılar. Munzur 1. Uluslararası uygulamalı bilimler kongresi, Tunceli, Türkiye, 24-26 Mayıs 2019, sayfa: 73-86.
- Akgül, M., Doğan, O., (2020). Altındağ/Ankara özelinde tipik yığma binaların deprem risklerinin 2018 Türkiye bina deprem yönetmeliğine göre incelenmesi. Engineering sciences (nwsaens), doi: 10.12739/nwsa.2020.15.1.1a0446
- Akkurt, S., Ozdemir, S., Tayfur, G., and Akyol, B., 2003, The use of GA-ANNs in the modelling of compressive strength of cement mortar, Cement and Concrete Research, 33(7), 973-979.
- Albayrak, S., Çavdar, A., & Bingöl, Ş. (2013). Beton Basınç Dayanımının Yapay Sinir Ağları İle Tahmini.
- Anderson, J.A., 1983, Cognitive and psychological computation with neural models, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. SMC-13, No. 5, 799- 814.
- Baltacıoğlu, A. K., Yavaş, A., Civalık, Ö., Öztürk, B., & Akgöz, B. (2010). Yapıların Deprem Hasarlarının Hızlı Tespitinde Bulanık Kural Tabanlı Uzman Sistemlerin Kullanımı. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(1),
- Başığit C., Kaçar Akkaş A., Kurtarıcı M.N., “Betonların Radyasyon Zırh Kalınlıklarının Yapay Sinir Ağları ve Çoklu Regresyon Metotları ile Tahmini”, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 16-1 (2012), 77-8.
- Bayazıt, M., & Oğuz, E. B. Y. (2005). Mühendisler için istatistik. Birsen Yayınevi.
- Blum, A., 1992, Neural Networks in C++, J. Wiley and Sons, Inc., New York, 214 p.
- Chopra P., Kumar Sharma R., Kumar M. “Prediction of Compressive Strength of Concrete Using Artificial Neural Network and Genetic Programming”, Hindawi Publishing Corporation Advances in Materials Science and Engineering, 2016, Article ID 7648467.

- Çelik, F., Doğan, O., “Design of a special steel push-shear test plate to investigate the shear performance of anchored steel rods on brick walls of a building” 5. Uluslararası mühendislik mimarlık ve tasarım kongresi, İstanbul, 2019
- Demir, F. ve Korkmaz K.A., 2007, Prediction of lower and upper bounds of elastic modulus of high strength concrete, Construction and Building Materials, (in press).
- Dias, W.P.S., Pooliyadda, S.P.; Beton Karışım Özelliklerinin Sinir Ağlarıyla Tahmini, Sri Lanka, 2000.
- Doğan, O. and Odacıoğlu, O. (2019). An Experimental Study To Determine Sliding Shear Strength And Internal Friction Coefficient Of Clay Brick Wall In A Masonry Building. International Journal of Engineering Research and Development , 11 (2) , 670-676 . DOI: 10.29137/umagd.545396
- Doğan, O., Koç Ö. ve Akgül M., Effect Of The Concrete Compressive Strength On Fatigue Of The Bond Between Concrete And Reinforcement” 5. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, İstanbul, 2019
- Elman, J.L., 1990, Finding structure in time, Cognitive Science, 14, 179-211.
- Erdogan, T.Y., Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara 2003, ss. 511-512.
- Gupta S., “Using Artificial Neural Network to Predict the Compressive Strength of Concrete containing Nano-silica”, Civil Engineering and Architecture 1(3): 96-102, 2013.
- Hola, J., Schabowicz, K., New technique of nondestructive assessment of concrete strength using artificial intelligence, NDT&E International 38 (2005) 251-259.
- Hong-Guang, N., Ji-Zong, W., Prediction of compressive strength of concrete by neural Networks, Cement and Concrete Research 30 (2000) 1245± 1250.
- Hopfield, J.J., 1982, Neural network model which combines unsupervised and supervised learning, IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 4, 357-360.
- İnce, R., Yapay Sinir Ağları Yardımıyla Betonun Kırma Parametrelerinin Tahmini, Elazığ, 2003.



- Küçük, Ö.F., Ultrasonik Yüzey Dalgaları-Schmidt Yöntemi Yardımıyla Beton Dayanımının Bulunması, Harran Üniv., Fen Bil. Ens., Yük. Lis. Tezi, Sanlıurfa, 2006, ss. 1-22.
- Licun, R. and Zhao, Z., Beton Basınç Dayanımı ve En Uygun Sinir Ağı Modeli, Singapur, 2002.
- Mansour, M.Y. vd., Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Beton Kirişlerinin Kesme Dayanımının Tahmini, Engineering Structures Journal, 26, pp 781-799, 2004.
- McCulloch, W.S. and Pitts, W.A., 1943, A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity, Bull. Math. Biophysics, Vol. 5, 115-133 p.
- Meynink, P., Samarin, A., 1979, Assesment of Compressive Strength of Concrete by Cylinders, Cores and Non-Destructive Tests, Rilem Symp. Proc. on Quality Control of Concr. Struct., Swedish Concr. Res. Inst., Sweden, Vol. 1, pp. 127-134.
- Mukherjee, A., Biswas, S.N., 1997, “Artificial neural Networks in prediction of mechanical behavior of concrete at high temperature”, Nuclear Engineering And Design, 178(1),1 11.
- Murtazaoğlu S., Yetilmezsoy K., Doran B., “CFRP ile güçlendirilmiş betonarme kolonların basınç dayanımının çoklu regresyon modelleriyle tahmini”, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 31(3): 172-178, 2015
- Nabiyev, V.V. (2003) Yapay Zekâ (Problemler,Yöntemler,Algoritmalar),1. Basım, Seçkin Yayıncılık, Ankara, Türkiye.
- Namlı E., Erdal H.İ., Erdal H., “Dalgacık Dönüşümü ile Beton Basınç Dayanım Tahmininin İyileştirilmesi”, Politeknik Dergisi, 2016; 19 (4) : 471-480.
- Nasuf S.E., Özbakır O., “Agregaların Fiziksel Özelliklerinden Yola Çıkılarak Beton Dayanımlarının Yapay Sinir Ağları ile Kestirilmesi”, Selçuk Üniversitesi Journal Of Engineering Science&Tecnology, V:4, No:3 2016.
- Özcan, F., Silis Dumanı İçeren Harç ve Betonların Özellikleri ve Hızlandırılmış Kür İle Dayanım Tahmini, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2005.

- Öztaş, A., Pala, M., Özbay, E., Kanca, E., Çağlar, N. and Asghar Bhatti, M., 2006, Predicting the compressive strength and slump of high strength concrete using neural network, *Construction and Building Materials*, 20(9), 769-775.
- Pala, M. vd., Çimento İle Uçucu Kül ve Silis Dumanının Yer Değiştirme Oranlarının Beton Basınç Dayanımına Olan Etkilerinin Yapay Sinir Ağı Yardımıyla Belirlenmesi, Gaziantep, 2005.
- Proceq, [http://www.proceq.com/fileadmin/documents/proceq/products/Concrete/Pundit\\_Lab/English/Using\\_EXCEL\\_to\\_determine\\_SONREB\\_curve\\_coefficients.pdf](http://www.proceq.com/fileadmin/documents/proceq/products/Concrete/Pundit_Lab/English/Using_EXCEL_to_determine_SONREB_curve_coefficients.pdf) (Erişim tarihi: 20.04.2019)
- Sarıdemir, M. Farklı Agregalarla Üretilmiş Beton Özelliklerinin Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantık ile Tahmin Edilmesi. Doktora Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 2008
- Sen, Z., 2004a, Yapay sinir ağları ilkeleri, Su Vakfı Yayınları, 183 s.
- Sen, Z., 2004b, Mühendislikte bulanık (fuzzy) mantık ile modelleme prensipleri, Su Vakfı Yayınları, 191 s.
- Subaşı S., Beycioğlu A., “Farklı tahmin yöntemleri kullanılarak kırmataş kalker agregalı betonların basınç dayanımının belirlenmesi”, *e-Journal of New World Sciences Academy* 2008, Volume: 3, Number: 4 Article Number: A0099.
- Tanigawa, Y., Baba, K., Mor, H., 1984, Estimation of Concrete Strength by Combined Nondestructive Testing Method, *Concrete*, 1: 57-65.
- Tarı, R., 1999. *Ekonometri Kitabı*, ALFA Basım Yayım dağıtım Ltd.
- Topçu, İ.B. and Sarıdemir, M., 2007, Prediction of properties of waste AAC aggregate concrete using artificial neural networks, *Computational Materials Science*, 41(1),117-125.
- Topçu, İ.B. and Sarıdemir, M., 2008a, Prediction of compressive strength of concrete containing fly ash using artificial neural network and fuzzy logic, *Computational Materials Science*, 41(3) 305-311.
- Topçu, İ.B. and Sarıdemir, M., 2008b, Prediction of rubberized concrete properties using artificial neural network and fuzzy logic, *Construction and Building Materials*, 22(4), 532-540.

- Topçu İ.B. and Sarıdemir M., 2008c, Prediction of mechanical properties of recycled aggregate concretes containing silica fume using artificial neural networks and fuzzy logic, *Computational Materials Science*, 42(1), 74-82.
- Topçu İ.B. and Sarıdemir M., 2008d, Prediction of rubberized mortar properties using artificial neural network and fuzzy logic, *Journal of Materials Processing Technology*, 199(1-3), 108-118.
- Topçu, İ.B., Uygunoğlu, T., & İNCE, H. H. (2010). Hafif Beton Basınç Dayanımının Yapay Sinir Ağlarıyla Tahmini. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(1), 19-29.
- Topçu, İ.B., Volkanik Cürüflu Betonlarda Sonreb Yöntemi Uygulaması, 5. Malzeme Semp., Pamukkale Üniv., Müh. Fak., 7-8-9 Nisan 1993, Denizli, Cilt 2, ss. 770-779.
- Yaprak, H., Karacı, A., & Demir, İ. (2013). Prediction of the effect of varying cure conditions and w/c ratio on the compressive strength of concrete using artificial neural networks. *Neural Computing and Applications*, 22(1), 133-141.
- Yeh, I.C., *Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Yüksek Performanslı Beton Basınç Dayanımının Modellemesi*, Çin, 1998.
- Yüksel, İ., Bilesik Yıkıntısız Yöntemle Yerinde Beton Dayanımının Tahmini, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9(2), 2003, 231-235.
- TS EN 13791, Basınç dayanımının yapılar ve öndökümlü beton bileşenlerde yerinde tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Nisan 2010.