

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

**CAM ELYAF KATKILI BETON NUMUNELERİN
MEKANİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ VE
YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Yakup BÖLÜKBAŞ**

Anabilim Dalı: Yapı Eğitimi

Danışman: Doç. Dr. Servet YILDIZ

ŞUBAT-2011

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**CAM ELYAF KATKILI BETON NUMUNELERİN MEKANİK
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE
MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yakup BÖLÜKBAŞ

Anabilim Dalı: Yapı Eğitimi

Programı: Yapı

Danışman: Doç. Dr. Servet YILDIZ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 17 Ocak 2011

ŞUBAT-2011

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CAM ELYAF KATKILI BETON NUMUNELERİN MEKANİK
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE
MODELLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yakup BÖLÜKBAŞ

07225101

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18 Ocak 2011
Tezin Savunulduğu Tarih : 03 Şubat 2011

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Servet YILDIZ (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Zülfü Çınar ULUCAN (F.Ü)
Yrd. Doç. Dr. Erdiç ARICI (F.Ü)
Yrd. Doç. Dr. Yüksel ESEN (F.Ü)
Yrd. Doç. Dr. Kürşat Esen ALYAMAÇ (F.Ü)

ŞUBAT-2011

ÖNSÖZ

Tez çalışması sırasında maddi ve manevi hiçbir desteğini esirgemeyen başta danışman hocam Doç. Dr. Servet YILDIZ olmak üzere, Araş. Gör. Dr. Oğuzhan KELEŞTEMUR' a, Turan YILDIZ' a, Birsu ALİŞER' e Bihter GÖKÇER' e ve tüm Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü akademisyenlerine, bölüm sekreterliği çalışanlarına, atölye teknisyenlerine, Elazığ' da bulunduğum süre içerisinde benden desteğini esirgemeyen arkadaşlarım Muhittin Burak TANRIÖĞER' e, Burak İLHAN' a ve Oğuzhan BAHTİYAROĞLU' na, Fevzi KÖROĞLU' na teşekkür ederim.

Sadece bu çalışmam boyunca değil, tüm yaşamım boyunca desteği ile yanımda olan, benden sevgi ve şefkatini hiçbir zaman esirgemeyen annem Arife BÖLÜKBAŞ' a, babam Hasan BÖLÜKBAŞ' a, kardeşlerim Eyüp ve Alihan BÖLÜKBAŞ' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması 1871 nolu FÜBAP projesi ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı FÜBAP' a, FÜEM' e ve ŞİŞE CAM firmasına teşekkür ederim.

Yakup BÖLÜKBAŞ
ELAZIĞ–2011

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	X
SEMBOLLER LİSTESİ	XII
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Lif Takviyeli Beton	3
1.1.1 Lif Çeşitleri.....	3
1.1.1.1 Doğal Lifler	3
1.1.1.2 Yapay Lifler.....	5
1.1.2 Lif Takviyeli Betonun Özellikleri	14
1.1.3 Lif Takviyeli Betonların Kullanım Alanları	16
1.2 Yapay Sinir Ağları.....	17
1.2.1 Makine Öğrenmesi ve Öğrenme Türleri.....	20
1.2.2 Öğrenme Paradigmaları.....	21
1.2.3 Öğrenme Stratejileri	21
1.2.4 Yapay Sinir Ağları.....	22
1.2.5 Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri	23
1.2.6 Yapay Sinir Ağlarının Önemli Dezavantajları	23
1.2.7 Yapay Sinir Ağlarının Kısa Tarihçesi	24
1.2.8 Yapay Sinir Ağlarının Yapısı	25
1.2.8.1 Yapay sinir Hücreleri (Proses Elemanı)	26
1.3 Çalışmanın Literatürdeki Yeri	28
2. MATERYAL ve METOT	33
2.1 Numunelerin Hazırlanmasında Kullanılan Malzemeler	33
2.2 Numunelerin Hazırlanması ve Karışım Oranları.....	34
2.3 Numunelerin Üzerinde Yapılan Deneyler	36
2.3.1 Porozite Tayini	36
2.3.2 Kapiler Su Emme Tayini	36

	<u>Sayfa No</u>
2.3.3 Ultra ses Geçiş Hızı Tayini.....	37
2.3.4 Basınç Dayanımı Tayini	38
2.3.5 Yarmada Çekme Dayanımı Tayini	39
2.4 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi.....	40
2.5 Yapay Sinir Ağı Oluşturulması	40
3. BULGULAR ve TARTIŞMA	44
3.1 Numunelerin Porozite Tayini Sonuçları	44
3.2 Numunelerin Kapiler Su Emme Tayini Sonuçları.....	48
3.3 Numunelerin Ultra Ses Geçiş Hızı Tayini Sonuçları.....	50
3.4 Numunelerin Basınç Dayanımı Tayini Sonuçları.....	52
3.5 Numunelerin Yarmada Çekme Dayanımı Tayini Sonuçları.....	55
3.6 Numunelerin Basınç Dayanımlarının Tahmini.....	57
3.7 Numunelerin Yarmada Çekme Dayanımlarının Tahmini	62
4. SONUÇLAR.....	71
5. ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR.....	74
ÖZGEÇMİŞ	78

ÖZET

Bu çalışmada; su/çimento oranları 0.45, 0.50 ve 0.55 olan 300, 350 ve 400 dozlu ve 5, 10, 15, 20 kg/m³ oranlarında cam elyaf içeren beton numunelerin porozite, kapiler su emme katsayısı, ultra ses geçiş hızı tayinleri yapılmıştır. Ayrıca basınç ve yarmada çekme dayanımları test edilmiştir. Numunelerin basınç ve yarmada çekme dayanımlarını tahmin eden yapay sinir ağı (YSA) modellenmiştir. Çalışma sonucunda, cam lif içeriğinin artması ile porozite değerinde ve kapiler su emme katsayısında artış meydana gelmiştir, bunun yanı sıra ultra ses geçiş hızlarında azalma meydana gelmiştir. Ayrıca numunelerin basınç dayanımları düşük lif oranlarında küçük artışlar göstermesine rağmen yüksek lif miktarlarında düşüşler göstermiştir. Benzer şekilde yarmada çekme dayanımları düşük cam lif oranlarında artış göstermiştir ancak 20 kg/m³ cam lif içeren numunelerde yarmada çekme dayanımlarında azalma meydana gelmiştir. Geliştirilen YSA modeli ile deneysel olarak elde edilen veriler karşılaştırılmış ve sonuçların kabul edilebilir değerlerde olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Beton, Cam Elyaf, Basınç Dayanımı, Yarmada Çekme Dayanımı, Yapay Sinir Ağları

SUMMARY

An Investigation of Mechanical Behavior of Glass Fiber Reinforced Concrete Specimens and Modeling with Artificial Neural Network

In this study, porosity, capillary water absorption coefficient, pulse velocity, compressive strength and split tensile strength of the concrete specimens, which have water-cement ratios of 0.45, 0.50 and 0.55, dosages of 300, 350 and 400, and 5, 10, 15, 20 kg/m³ ratio of glass fiber, were tested. Furthermore compressive strength and split tensile strength of the concrete specimens were modeled with artificial neural network. As a result of the study the porosity and capillary water absorption coefficient of the concretes have increased depending on the rise of the glass fiber ratio, As well as the pulse velocity of the concretes have decreased. Although the compressive strength of the concretes small increases in ratios low fiber, showed decreases ratios high-fiber. Similarly, the split tensile strength of the concrete specimens have increased low ratios glass fiber, but the splitting tensile strength of the concrete specimens which is containing 20 kg/m³ glass fiber have decreased. The data which were provided by ANN model were compared with the data obtained from experimental study and a good agreement was determined between the results.

Key Words: Concrete, Glass Fiber, Compressive Strength, Split Tensile Strength, Artificial Neural Network

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Beton içerisinde sık kullanılan çelik lif çeşitleri. (a) Düz yüzeyli lifler, (b) İki ucu kıvrılmış lifler, (c) Dalga yüzeyli lifler, (d) Tüm yüzeyi deforme olmuş lifler	8
Şekil 1.2. Karbon liflerden üretilmiş fitil	9
Şekil 1.3. Cam lif çeşitleri. (a) tek lif halindeki makaralar, (b) kırılmış lifler, (c) fitiller	11
Şekil 1.4. Polipropilen lifler	13
Şekil 1.5. Naylon lifler	13
Şekil 1.6. Aramid lifler	14
Şekil 1.7. Uzman sistemlerin ilkesel çalışma prensibi	18
Şekil 1.8. Genetik algoritmanın temel elemanları ve çalışması	18
Şekil 1.9. Bulanık önermeler çalışma prensibi	19
Şekil 1.10. Zeki etmenin yapısı	20
Şekil 1.11. Bir yapay sinir ağı örneği	22
Şekil 1.12. Bir biyolojik sinir hücresinin yapısı	26
Şekil 1.13. Yapay sinir hücresinin yapısı	26
Şekil 2.1. Numunelerin hazırlanmasında kullanılan agregaya ait granülometri eğrisi	33
Şekil 2.2. Kapiler su emme deney düzeneği	37
Şekil 2.3. Ultrases geçiş hızı deney düzeneği ve ölçüm cihazı	38
Şekil 2.4. Beton basınç dayanımı test cihazı	39
Şekil 2.5. Yarmada çekme dayanımı deney düzeneği	39
Şekil 2.6. JEOL JSM 7001F Taramalı mikroskobu	40
Şekil 2.7. Çalışmalarda basınç dayanımı tahmini için kullanılan yapay sinir ağı modeli	41
Şekil 2.8. Çalışmalarda yarmada çekme dayanımı tahmini için kullanılan yapay sinir ağı modeli	42
Şekil 3.1. Numunelerden elde edilen porozite değerleri değişimi (300 Çimento dozajı için)	45

Şekil 3.2. Numunelerden elde edilen porozite değerleri değişimi (350 Çimento dozajı için)	45
Şekil 3.3. Numunelerden elde edilen porozite değerleri değişimi (400 Çimento dozajı için)	46
Şekil 3.4. 300 çimento dozlu, su/çimento oranı 0.55 olan referans beton numunesine ait SEM görüntüsü (X1000)	46
Şekil 3.5. 300 çimento dozlu, su/çimento oranı 0.55 olan 10 kg/m ³ cam lif içeren beton numunesine ait SEM görüntüsü (X1000)	47
Şekil 3.6. 300 çimento dozlu, su/çimento oranı 0.50 olan referans beton numunesine ait SEM görüntüsü (X1000)	47
Şekil 3.7. 300 çimento dozlu, su/çimento oranı 0.50 olan 10 kg/m ³ cam lif içeren beton numunesine ait SEM görüntüsü (X1000)	48
Şekil 3.8. Numunelerden elde edilen kapilarite katsayıları değişimi (300 Çimento dozajı için)	49
Şekil 3.9. Numunelerden elde edilen kapilarite katsayıları değişimi (350 Çimento dozajı için)	49
Şekil 3.10. Numunelerden elde edilen kapilarite katsayıları değişimi (400 Çimento dozajı için)	49
Şekil 3.11. Numunelerden elde edilen ultra ses hızları değişimi (300 Çimento dozajı için)	51
Şekil 3.12. Numunelerden elde edilen ultra ses hızları değişimi (350 Çimento dozajı için).....	51
Şekil 3.13. Numunelerden elde edilen ultra ses hızları değişimi (400 Çimento dozajı için)	51
Şekil 3.14. Numunelerden elde edilen basınç dayanımı değişimi (300 Çimento dozajı için)	53
Şekil 3.15. Numunelerden elde edilen basınç dayanımı değişimi (350 Çimento dozajı için)	53
Şekil 3.16. Numunelerden elde edilen basınç dayanımı değişimi (400 Çimento dozajı için)	53
Şekil 3.17. 300 çimento dozlu, su/çimento oranı 0.55 olan 10 kg/m ³ cam lif içeren beton numunesine ait SEM görüntüsü (X1000)	54

Şekil 3.18. 300 çimento dozlu, su/çimento oranı 0.55 olan 20 kg/m ³ cam lif içeren beton numunesine ait SEM görüntüsü (X1000)	54
Şekil 3.19. Numunelerden elde edilen yarmada çekme dayanımı değişimi (300 Çimento dozajı için)	55
Şekil 3.20. Numunelerden elde edilen yarmada çekme dayanımı değişimi (350 Çimento dozajı için)	56
Şekil 3.21. Numunelerden elde edilen yarmada çekme dayanımı değişimi (400 Çimento dozajı için)	56
Şekil 3.22. Çalışmalarda basınç dayanımı tahmini için kullanılan yapay sinir ağı modeli	57
Şekil 3.23. Eğitim sırasında yapay sinir ağı modelinin ortalama karesel hata azalma eğrisi	59
Şekil 3.24. Eğitim sonrası tahmin edilen basınç dayanım değerleri ile deneysel basınç dayanım değerleri arasındaki ilişki	59
Şekil 3.25. Eğitim sonrası tahmin edilen basınç dayanım değerleri ile deneysel basınç dayanım değerleri arasındaki korelasyon	60
Şekil 3.26. Test sonrası tahmin edilen basınç dayanım değerleri ile deneysel basınç dayanım değerleri arasındaki ilişki	61
Şekil 3.27. Test sonrası tahmin edilen basınç dayanım değerleri ile deneysel basınç dayanım değerleri arasındaki korelasyon	62
Şekil 3.28. Çalışmalarda yarmada çekme dayanımı tahmini için kullanılan yapay sinir ağı modeli	63
Şekil 3.29. Eğitim sırasında yapay sinir ağı modelinin ortalama karesel hata azalma eğrisi	65
Şekil 3.30. Eğitim sonrası tahmin edilen yarmada çekme dayanım değerleri ile deneysel yarmada çekme dayanım değerleri arasındaki ilişki	65
Şekil 3.31. Eğitim sonrası tahmin edilen yarmada çekme dayanım değerleri ile deneysel yarmada çekme dayanım değerleri arasındaki korelasyon	66
Şekil 3.32. Test sonrası tahmin edilen yarmada çekme dayanım değerleri ile deneysel yarmada çekme dayanım değerleri arasındaki ilişki	67
Şekil 3.33. Test sonrası tahmin edilen yarmada çekme dayanım değerleri ile deneysel yarmada çekme dayanım değerleri arasındaki korelasyon	68

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Yapı betonlarının bazı özelliklerine ait tipik değerler	1
Tablo 1.2. Değişik lif çeşitlerine ait tipik özellikler	4
Tablo 1.3. Değişik lif çeşitlerine ait tipik özellikler	6
Tablo 1.4. Yaygın olarak kullanılan cam lif türlerine ait kimyasal özellikler	10
Tablo 1.5. Yaygın olarak kullanılan cam lif türlerine ait fiziksel özellikler	11
Tablo 1.6. Yaygın olarak kullanılan polimer lif türlerine ait fiziksel özellikler	12
Tablo 1.7. Yaygın olarak kullanılan polimer lif türlerine ait fiziksel özellikler	14
Tablo 1.8. Lif takviyeli betonların tokluk değerlerinin, lifsiz betonla karşılaştırılması	15
Tablo 1.9. Lif takviyeli betonların eğilme dayanımının, lifsiz betonla karşılaştırılması	16
Tablo 1.10. Toplama fonksiyonu örnekleri	27
Tablo 1.11. Aktivasyon fonksiyonu örnekleri	28
Tablo 2.1. Numunelerin hazırlanmasında kullanılan çimentoya ait özellikler	34
Tablo 2.2. Numunelerin hazırlanmasında kullanılan cam life ait özellikler	34
Tablo 2.3. Numunelere ait karışım oranları (1m ³ beton için)	35
Tablo 2.4. Basınç dayanımı tahmini için kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri	42
Tablo 2.5. Yarmada çekme dayanımı tahmini için kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri	42
Tablo 2.6. Basınç dayanımı tahmini için kullanılan parametreler	43
Tablo 2.7. Yarmada çekme dayanımı tahmini için kullanılan parametreler	43
Tablo 3.1. Numunelerin porozite değerleri	44
Tablo 3.2. Numunelerin kapiler su emme katsayıları	48
Tablo 3.3. Numunelere ait ultrases geçiş hızı değerleri	50
Tablo 3.4. Numunelere ait basınç dayanımı değerleri	52
Tablo 3.5. Numunelere ait yarmada çekme dayanımı değerleri	55
Tablo 3.6. Basınç dayanımı tahmini için kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri	57
Tablo 3.7. Basınç dayanımı tahmini için kullanılan parametreler	57
Tablo 3.8. Basınç dayanımı tahmini için ağırlık eğitiminde kullanılan veriler	58
Tablo 3.9. Tahmin edilen basınç dayanım değerleri ile deneysel basınç dayanım değerlerinin karşılaştırılması	60

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.10. Basınç dayanımı tahmini için ağın test aşamasında kullanılan veriler	61
Tablo 3.11. Tahmin edilen basınç dayanım değerleri ile deneysel basınç dayanım değerlerinin karşılaştırılması	62
Tablo 3.12. Yarmada çekme dayanımı tahmini için kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri	63
Tablo 3.13. Yarmada çekme dayanımı tahmini için kullanılan parametreler	63
Tablo 3.14. Yarmada çekme dayanımı tahmini için ağın eğitiminde kullanılan veriler	64
Tablo 3.15. Tahmin edilen yarmada çekme dayanım değerleri ile deneysel basınç dayanım değerlerinin karşılaştırılması	66
Tablo 3.16. Yarmada çekme dayanımı tahmini için ağın test aşamasında kullanılan veriler	67
Tablo 3.17. Tahmin edilen basınç dayanım değerleri ile deneysel basınç dayanım değerlerinin karşılaştırılması	68

SEMBOLLER LİSTESİ

NET	: Sinir hücreesindeki net girdi
G_i	: Sinir hücreesine gelen i. girdi
A_i	: Hücrede bulunan i. ağırlıklar
f_{ct}	: Yarmada çekme dayanımı
F	: Kırılma yükü
L	: Numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğu
D	: Numunenin en kesit boyutu
f	: Normalize edilen değer
f_i	: Ölçüm değeri
f_{min}	: Ölçülen minimum değer
f_{max}	: Ölçülen maksimum değer

KISALTMALAR LİSTESİ

FRC	: Fiber Reinforced Concrete
ASTM	: American Society for Testing And Materials
TS	: Türk Standartları
YSA	: Yapay Sinir Ağları
ANN	: Artificial Neural Network
ADALİNE	: Adaptive Linear Neuron
MADALİNE	: Multiple Adaptive Linear Neuron
SEM	: Scanning Electron Microscope

1. GİRİŞ

Bilindiği üzere beton; agregâ, çimento ve suyun birlikte karılmasıyla elde edilen bir yapı malzemesidir. Taze beton başlangıçta şekil verilebilir ve plastik bir durumdadır, ancak çimento ve suyun arasında hemen başlayan kimyasal reaksiyonların (hidratasyonun) etkisiyle, taze betonun başlangıçtaki plastik durumu zamanla azalmakta ve sert bir hale gelmektedir [1].

Beton, günümüzde yaşam mekânlarından spor tesislerine, ulaşım yapılarından barajlara, su depolarından enerji nakil yapılarına kadar birçok uygulama alanına sahip olan popüler bir malzemedir. Yapıda kullanılan betona ait tipik bazı değerler Tablo 1.1' de verilmiştir.

Tablo 1.1. Yapı betonlarının bazı özelliklerine ait tipik değerler [1].

Özellikler	Tipik değerler
Basınç dayanımı (MPa)	35
Eğilme dayanımı (MPa)	6
Çekme dayanımı (MPa)	3
Elastiklik modülü (MPa)	28000
Poisson oranı	0.20
Kırılmadaki çekme birim deformasyonu (%)	0.001
Büzülme (rötre) birim deformasyonu (%)	0.05-0.1
Isıl genişleme katsayısı ($^{\circ}\text{C}$)	10×10^{-6}

Betonun bu kadar popüler bir yapı malzemesi olmasının sebebi, bu malzemenin sahip olduğu üstün özelliklerdir. Bu önemli özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir [1].

1. Betonun taze haldeki plastik özelliği, onun istenilen şekilde kolayca üretilmesini sağlar.
2. Beton malzeme, yapıdaki yerinde üretilebileceği gibi, fabrika veya atölyelerde üretilerek yapıya sertleşmiş halde getirilebilir.
3. Beton yerleştirme yöntemlerinde çeşitlilik ve kolaylık bulunmaktadır. İstenilen noktaya ve yüksekliğe pompalanarak ya da taşınarak yerleştirilebilir.
4. Sertleşmiş haldeki, beton yüksek basınç dayanımına sahiptir.

5. Hizmet süresi boyunca, çevreden gelen yıpratıcı etkilere karşı diğer yapı malzemelerinden daha dayanıklıdır.
6. Beton, çelik donatılarla çok iyi aderans gösterdiğinden, bazı uygulamalar için çelik donatılarla güçlendirilebilmektedir.
7. Beton diğer yapı malzemelerine göre daha ekonomiktir. Betonlu oluşturan elemanlardan sadece çimento fabrikada önceden üretilmektedir.
8. Beton elemanlara istenilen şekil ve yüzey dokusu verilebilmektedir. Bu nedenle estetik amaçlarla kullanıma uygundur.

Betonun avantajlarının yanı sıra diğer yapı malzemelerine göre bazı eksik yönleri bulunmaktadır. Betonun dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir [1].

1. Sertleşmiş haldeki beton, çekme dayanımı düşük bir malzemedir. Çekme ve eğilme yüklerine karşı takviyelendirilmelidir.
2. Sertleşmiş beton, gevrek bir özellik göstermektedir. Bu özelliği sebebiyle betonun darbe dayanımının ve tokluk değerinin az olmasına sebep olur.
3. Beton, ıslanma-kuruma veya sıcaklık değişiklikleri karşısında bir miktar hacim değişikliği göstermektedir.
4. Beton, birçok yapı malzemesi gibi sabit yükler altında zamanla kalıcı deformasyon gösterebilmektedir.
5. Betonun geçirimsizliği yüksek değildir. İçerisine sızan zararlı sular betonun yapısına zarar verebilir.

Betonun en önemli mekanik özelliği basınç dayanımıdır. Ancak bazı uygulamalarda betonun diğer mekanik özelliklerinin de yeterli düzeyde olması gerekmektedir. Bu gereklilik, beton özelliklerini geliştirmeye yönelik birçok çalışmaya zemin oluşturmuştur. Bu çalışmalar sonucu ortaya çıkan uygulamalardan biride *Lif takviyeli betonlardır*.

Liflerin betona katılması betonun, çekme ve eğilme dayanımını, düktilitesini, enerji tüketme kapasitesini ve oyulma direncini arttırmak amacıyla kullanılan en etkin yöntemlerden biridir [2].

1.1. Lif Takviyeli Beton

U.S Army Corps Engineers' e göre *lif takviyeli beton (FRC)*, içerisinde rastgele dağılmış lifler (elyaf) bulunan ince veya iri agrega kullanılan, çimento hamurundan yapılmış kompozit bir malzemedir [3].

Lifler betonda mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Betonda oluşan çatlakların ani olarak yayılmasını engelleyerek, betonun sünek davranış göstermesini sağlayan lifler, oluşan deformasyonda betonun yük taşıyabilmesini sağlamakta ve enerji yutma kapasitesini artırmaktadır [4].

İlk çağlardan beri insanlar kırılğan malzemenin içine bitkisel veya hayvansal kaynaklı lifler koyarak, malzemenin kırılğanlık özelliğini gidermeye çalışmışlardır. Balaguru ve diğerlerine göre liflerin yapı malzemesi olarak kullanımı ile ilgili ilk kayıtlar antik Mısır'a kadar dayanmaktadır. Antik Mısırda çamur tuğlaları güçlendirmek amacıyla hayvan tüyleri ve saman kullanılmıştır [5]. Balaguru ve Shah'ın raporlarına göre modern olarak geliştirilebilen tek lif türü, çelik lifler 1960'lı yılların başında kullanılmaya başlanmıştır [5]. O günden beri pek çok lif türü çimento kompozitlerinde kullanılmaktadır. Yapı endüstrisi, geleneksel çelik ve cam liflerin; kevlar ve karbon gibi düşük modüllü liflerin; polipropilen ve naylon gibi sentetik liflerin ya da doğal liflerin özelliklerinin iyileştirilmesine liderlik etmiştir [6]. İlk zamanlarda çimento kompozitlerinde yalnızca çelik ve cam lifler ve bu liflerin düz ve pürüzsüz şekilde olanları kullanılmaktaydı. Son 40 yıl içerisinde ise birçok lif türü geliştirilmiş ve çimento kompozitlerine adapte edilmiştir [5].

1.1.1. Lif Çeşitleri

Türker ve Balanlı' ya göre lifler (elyaf) çeşitli şekillerde ve boyutlarda malzemelerden üretilen bükülebilirliği, esnekliği ve dayanıklılığı olan malzemelerdir. Düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek elastisite modülüne ve sertliğe sahip olan lifler korozyon ve çeşitli kimyasallara da dayanıklıdır [3]. ASTM' ye göre bir malzemenin lif olarak adlandırılabilmesi için [7]:

- Uzunluğunun enine oranı en az 10/1,
- En büyük kesit $\leq 0.05 \text{ mm}^2$,
- En büyük genişlik $\leq 0.25 \text{ mm}$ olmalıdır.

Liflerin ince çaplı üretilmeleri ile büyük kütsel yapılar oranla daha az yapısal hata içerirler. Bu nedenle aynı malzemenin lif formu mekanik olarak daha üstün özellikler göstermektedir [8].

Lifler genel olarak doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılırlar. Bazı lif çeşitlerine ait tipik özellikler Tablo 1.2' de verilmiştir.

Tablo 1.2. Değişik lif çeşitlerine ait tipik özellikler [9].

Lif türü	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Elastisite modülü (GPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Maksimum uzama oranı (%)
Asbest	3.2	83-138	552-966	0,6
Pamuk	1.5	4.8	414-690	3-10
Naylon	1.1	4.1	759-828	16-20
Polyester	1.4	8.3	724-863	11-13
Polietilen	0.95	0.14-0.4	690	10
Polipropilen	0.90	3.5	552-759	25
Karbon	1.9	230-380	380-5520	0.5-1.6
Kevlar	1.44	60-130	3600	0.2-4
Cam	2.5	69	1035-3795	1.5-3.5
Çelik	7.8	200	276-2760	0.5-35

1.1.1.1. Doğal Lifler

Doğadan elde edilen ve çok az işlem gören bu lifler ekonomik ve kolay elde edilebilir olmalarından dolayı tercih edilmektedirler. Doğal lifler bitkisel ve hayvansal lifler olarak iki gruba ayrılır [7].

1. Bitkisel Lifler
 - a. Akwara
 - b. Bambu
 - c. Hindistan cevizi kabuğu
 - d. Keten, kenevir
 - e. Jüt
 - f. Sisal
 - g. Şeker kamışı posası
 - h. Ahşap (selüloz)
2. Hayvansal Lifler
 - a. Yün
 - b. İpek
 - c. Tüy

Doğal liflerin genel özellikleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir [7].

- Sıcaklık ve su buharını çabuk emerler,
- Sıcaklık karşısında yumuşamazlar,
- Yüksek sıcaklıkta boyları değişmez,
- Donma noktasının altında kırılma ve kopma görülmez,
- Güneş ışığına karşı hassastırlar.

1.1.1.2. Yapay Lifler

Yapay lifler, doğal hammaddelerin değişik işlemler ile lif haline getirilmesiyle üretilir. Üretim metotları lif türüne göre değişiklik göstermektedir. Yapay lifler kendi aralarında üç gruba ayrılmaktadır[7]. Bunlar:

1. Madensel lifler
 - a. Metal lifler
 - b. Karbon lifler
2. Cam lifler
3. Polimer lifler
 - a. Akrilik
 - b. Aramid
 - c. Naylon
 - d. Polyester
 - e. Polietilen
 - f. Polipropilen
 - g. Poliüretan

1. Madensel lifler

Madensel lifler, yeraltı kaynaklarından elde edilen hammaddenin lif formuna getirilmesi ile elde edilirler. Madensel lif çeşitlerinden biri olan metal lifler günlük yaşamımızda çok uzun zamandır kullanılan malzemelerdendir. Örneğin: tunç lifler lambalarda, bakır ve alüminyum lifler elektrik uygulamalarında, çelik lifler ön gerilmeli yapılarda ve asma köprülerde kullanılmaktadır. Bazı önemli metal liflerin tipik özellikleri Tablo 1.3’ de verilmiştir.

Tablo 1.3. Değişik lif çeşitlerine ait tipik özellikler [9].

Metal lif	Özgül ağırlık (gr/cm³)	Ergime sıcaklığı (°C)	Elastisite modülü (GPa)	Çekme dayanımı (MPa)
Alüminyum (Al)	2.7	660	70	300
Berilyum (Be)	1.8	1350	310	1100
Bakır (Cu)	8.9	1083	125	450
Molibden (Mo)	10.2	2625	330	2200
Tungsten (W)	19.3	3410	350	2890-3850
% 0.9 Karbon çeliği (0.1 mm çapında)	7.9	1300	210	4000
Paslanmaz çelik (0.05 mm çapında)	7.8	1535	198	2400

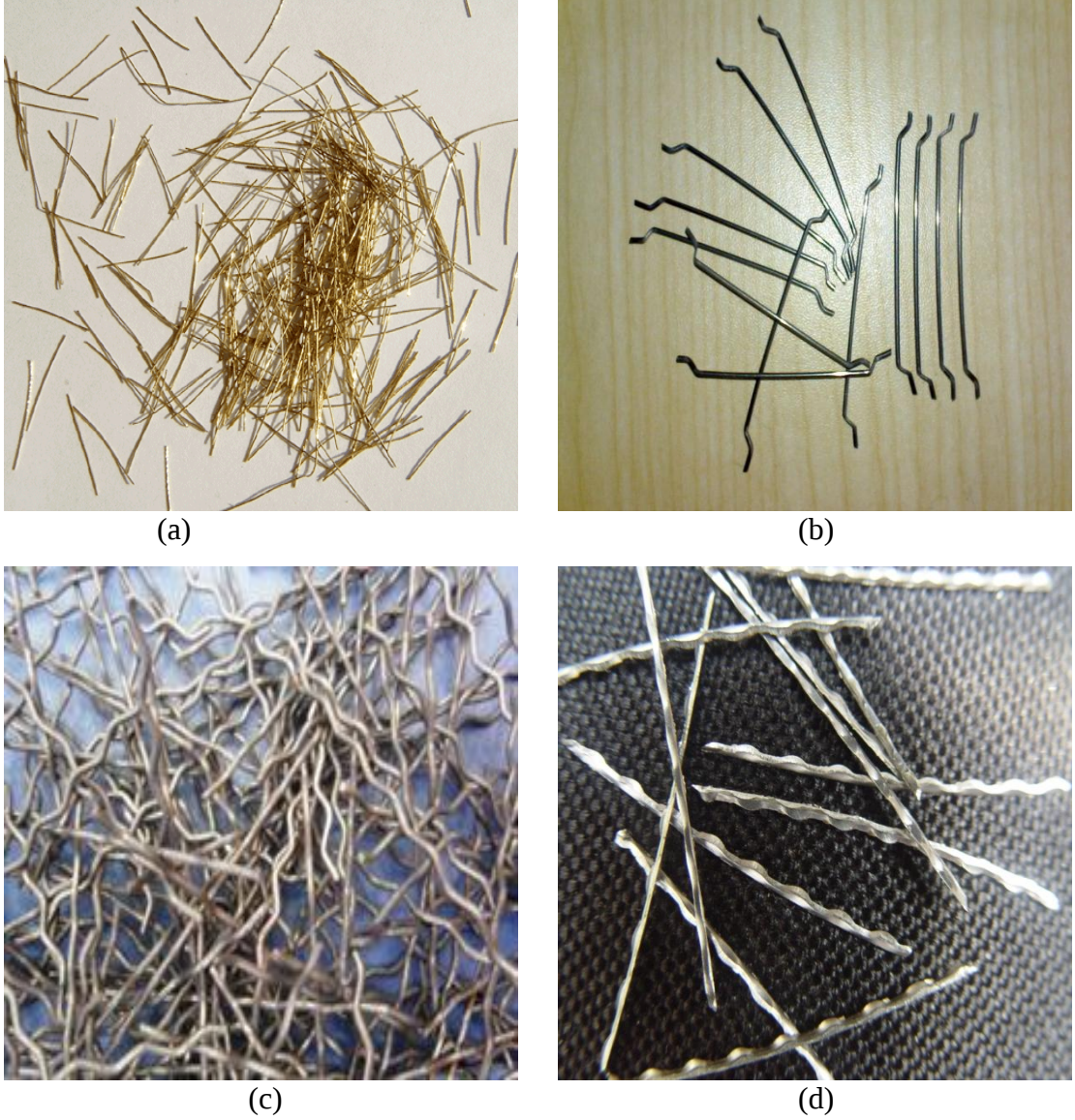
Betonda takviye amaçlı kullanılan metal liflerden en yaygın olanı çelik liflerdir. Çelik lifler genel olarak düşük karbonlu çelik olan C1008' den üretilmektedirler [3]. Beton takviyesinde kullanılan çelik lifler ASTM standartlarına göre 4 değişik şekilde sınıflandırılmışlardır [10]. Bunlar:

- Tip 1: Soğul çekilmiş lifler,
- Tip 2: Plakadan kesilmiş lifler,
- Tip 3: Haddelenip çekilmiş lifler,
- Tip 4: Diğer lifler.

Türk standartlarına göre çelik liflerle ilgili iki önemli parametre bulunmaktadır. Çelik liflerin çekme/kopma gerilme ortalaması en az 345 N/mm² olmalıdır ve her bir lif için çekme/kopma gerilmesi 310 N/mm²' den az olmamalıdır [11]. Türk standardında ise çelik lifler şekillerine göre şu şekilde sınıflandırılmaktadır:

- A. Düz, pürüzsüz yüzeyli lifler
- B. Bütün uzunluğunca deforme olmuş lifler
 1. Üzerinde girintiler (çentikler) açılmış lifler,
 2. Uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) lifler,
 3. Ay biçimi dalgalı lifler.
- C. Sonu kancalı lifler
 1. İki ucu kıvrılmış lifler,
 2. Bir ucu kıvrılmış lifler.

Beton içerisinde takviye elemanı olarak kullanılan çelik liflere ait örnekler Şekil 1.1’ de verilmiştir.



Şekil 1.1. Beton içerisinde sık kullanılan çelik lif çeşitleri. (a) Düz yüzeyle lifler, (b) İki ucu kıvrılmış lifler, (c) Dalga yüzeyle lifler, (d) Tüm yüzeyi deforme olmuş lifler

Çelik liflerin yüksek çekme mukavemetleri sebebiyle kırılıp kopmaları çok zordur. Fakat bu liflerin yükün belli bir gerilme değerinden sonra matrsten sıyrılması lifli betonun performansını olumsuz yönde etkileyen bir durumdur [3].

Beton içerisinde takviye malzemesi olarak kullanılan madensel liflerden bir diğeri de karbon liflerdir. Karbon yoğunluğu 2.268 gr/cm^3 olan kristal yapılı bir malzemedir. Karbon lifler diğ er metal liflere göre oldukça düşük yoğunluktadır. Buna rağmen çelik liflere göre

mukavemeti yüksek olup aşırı sert bir lif türüdür. Karbon lifler ile üretilen fitil örneği Şekil 1.2' de verilmiştir.



Şekil 1.2. Karbon liflerden üretilmiş fitil

Karbon elyaflarda mukavemet/ağırlık ve elastisite modülü/ağırlık oranları çok yüksektir. Isıya karşı boyutsal stabiliteleri, yüksek yorulma mukavemetleri ve yüksek erime noktaları karbon liflerin önemli özelliklerindendir [12].

2. Cam Lifler

Cam lifin esasını silis kumu (SiO_2) meydana getirmekle beraber belirli oranlarda sodyum, kalsiyum, alüminyum, bor ve demir gibi elementlerin oksitlerinden oluşur. Cam lifler, camların elektrik fırınında yaklaşık 1200-1500 °C de ergitilmesi ve ergiyen camların platin alaşımlı bir potanın tabanındaki binlerce delikten hızlı bir şekilde çekilerek ve soğutma bölgesinden geçirilerek üretilir. Daha sonra lifler üzerine kaplama uygulaması yapılarak ve demetler halinde makaralara sarılarak depolanırlar [13].

Cam elyafların bazı özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [8].

- Çekme mukavemetleri yüksektir,
- Isıl dirençleri düşüktür. Yanmazlar ancak yüksek sıcaklıkta yumuşama eğilimindedirler,
- Kimyasal etkilere karşı dirençlidirler,
- Nem emme özellikleri yoktur,
- Elektriği iletmezler.

Cam lifler imal edildikleri silis kumuna çeşitli katkıların eklenmesi ile farklı özellikler kazanabilirler. Genel olarak kullanılan dört farklı cam lif türü mevcuttur. Bunlar aşağıdaki şekilde sıralanabilirler [8].

1. A Camı: Yüksek oranda alkali içeren bir camdır. Bu nedenle elektriksel yalıtkanlık özelliği kötüdür. Kimyasal direnci yüksek, yaygın olarak kullanılan bir cam türüdür.
2. C Camı: Kimyasal çözeltilere karşı direnci çok yüksek olan bir cam çeşididir. Özellikle depolama tanklarında kullanılırlar.
3. E Camı: Düşük alkali oranı ile elektrik yalıtkanlık özelliği iyidir. Mukavemetleri oldukça yüksek ve suya karşı dirençleri iyidir. Nemli ortamlar için geliştirilen kompozitlerde bu cam türü kullanılır.
4. S Camı: Yüksek mukavemetli bir camdır. Çekme mukavemeti E camına oranla %33 daha yüksektir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda oldukça iyi yorulma direncine sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle havacılık ve uzay endüstrisinde kullanılırlar.

Yaygın olarak kullanılan cam lif türlerine ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 1.4 ve 1.5' de verilmiştir.

Tablo 1.4. Yaygın olarak kullanılan cam lif türlerine ait kimyasal özellikler [8].

Madde cinsi	E camı	S camı	C camı
Silis kumu (SiO_2)	52.4	64.4	64.6
Alüminyum ve demir oksit ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$)	14.4	25	4.1
Kalsiyum oksit (CaO)	17.2	-	14.3
Magnezyum oksit (MgO)	4.6	10.3	3.3
Sodyum ve potasyum oksit ($\text{Na}_2\text{O-K}_2\text{O}$)	0.8	0.3	9.6
Baryum oksit (BaO)	10.6	-	4.7

Tablo 1.5. Yaygın olarak kullanılan cam lif türlerine ait fiziksel özellikler [14].

Cam lif tipi	Özgül ağırlık (gr/cm^3)	Çekme dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (GPa)
E camı	2.54	1700-3500	69-72
S camı	2.48	2000-4500	85
C camı	2.48	1700-2800	70

Cam lifler uygulamada, belirli boylarda lif kırpıntıları veya sürekli lifler halinde kullanılmaktadırlar. Kırpılmış cam lif demetleri, boyları 3 ila 5 mm arasında değişen cam

lifi demetleridir. Cam lif keçeler, genellikle 50 mm' lik cam liflerinin gelişi güzel dağılımla eklenmesi ile üretilmektedir. Cam örnekleri Şekil 1.3' de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 1.3. Cam lif çeşitleri. (a) Tek lif halindeki makaralar, (b) Kırılmış lifler, (c) Fitiller

3. Polimer Lifler

Petrokimya ve tekstil endüstrilerinde yapılan araştırmalar ve gelişimler sentetik polimer liflerin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Sentetik lifler olarak ta adlandırılan bu lifler çok yüksek çekme dayanımına sahiptirler. Bu lifler düşük ve yüksek elastisite modülüne sahip lifler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Polipropilen, polyester, polietilen ve naylon gibi birçok lif düşük elastisite modülüne sahiptir. Çapları mikron düzeyindedir. Bu lifler tekil ya da lif hamuru halinde bulunurlar [15]. Alkali ortamdan etkilenmemeleri, yüksek çekme dayanımı ve yüksek erime sıcaklığı (165°C üzerinde) polimer liflerin iyi yönlerindendir. Düşük yangın dayanımı, oksijen ve güneş ışığından

etkilenme özellikleri polimer liflerin dezavantajlarındandır. Polimer liflerin başlıcaları: polipropilen, naylon, polietilen, polyester, aramid, akrilik ve perlondur [5]. Farklı polimer liflere ait fiziksel özellikler Tablo 1.6’ da verilmiştir.

Tablo 1.6. Yaygın olarak kullanılan polimer lif türlerine ait fiziksel özellikler [16].

Lif tipi	Özgül ağırlık (gr/cm ³)	Çekme dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (GPa)	Nihai uzama (%)
Akrilik	1.17	207-1000	14.6-196	7.5-50
Aramid I	1.44	3620	62	4.4
Aramid II	1.44	3620	117	2.5
Naylon	1.16	965	5.17	20
Polyester	1.34-1.39	896-1100	17.5	-
Polietilen	0.96	200-300	5	3
Polipropilen	0.90-0.91	310-760	3.5-4.9	15

Polipropilen lifler (Şekil 1.4), hem tekil lif hem de lif hamuru şeklinde bulunmaktadır. Genellikle 50 mikron ile 100 mikron arasında değişen lif tabakaları halinde kullanılmaktadır. 100 °C ye kadar malzeme özelliklerini korur. Birçok kimyasal malzemeye karşı dayanıklılık göstermektedir. Özellikle alkaliye olan dayanımları nedeniyle betonda kullanımları uygundur. Bu lifler genellikle beton içerisinde %0.3 ile %1.5 hacim oranları arasında kullanılmaktadır [16].



Şekil 1.4. Polipropilen lifler

Naylon lifler (Şekil 1.5), doğrusal poliamid tipi plastik malzemeden üretilirler. Yüksek mekanik dayanımları, aşınmaya karşı dirençleri ve düşük sürtünme katsayısı gibi

olumlu özelliklere sahiptirler. Su emebilen yapıda olmaları sebebiyle malzemede şişmeler meydana gelmektedir. Ayrıca maliyeti yüksek bir malzemedir [16].



Şekil 1.5. Naylon lifler

Aramid lifler (Şekil 1.6), ticari adı kevlar olan bu malzemeler camdan daha hafif ve daha rijittirler. Fiyat olarak cam dışındaki diğer liflerden daha ucuzdurlar. Yüksek sıcaklıklarda sünme dayanımları oldukça iyidir. Eğilme dayanımları düşüktür ve çekme dayanımları 100 °C' ye kadar sabit olması daha fazla sıcaklıklarda düşmesi önemli dezavantajlarındandır [16].



Şekil 1.6. Aramid lifler

1.1.2. Lif Takviyeli Betonun Özellikleri

Lif takviyeli betonun özellikleri, takviye elemanı olan lifin boyuna, şekline, beton içerisindeki oranına, lif narinlik oranına ayrıca çimento cinsi ve miktarına, numune hazırlanma metoduna, su/bağlayıcı oranına, kullanılan agrega cinsi ve tane dağılımına bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Lif takviyeli betonların, normal beton özelliklerine göre farklılıkları Tablo 1.7’ de verilmiştir.

Tablo 1.7. Yaygın olarak kullanılan polimer lif türlerine ait fiziksel özellikler

Beton özelliği	Değişiklik (%)
Tokluk	100-1200
Darbe dayanımı	100-1200
İlk çatlak dayanımı	25-100
Çekme dayanımı	25-100
Basınç dayanımı	±25
Yorulma dayanımı	50-100
Şekil değiştirme oranı	50-300
Eğilmede çekme dayanımı	25-200
Kavitasyon-Erezyon direnci	200-300
Elastisite modülü	±25

Lif takviyeli betonlarda kullanılan liflerin beton özelliklerine önemli etkileri bulunmaktadır. Bu etkileri aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür.

1. Liflerin beton işlenebilirliği üzerine etkileri: Beton içerisinde kullanılan lifler, beton işlenebilirliğini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu azalmaya sebep olan iki önemli parametre bulunmaktadır. Birincisi, karışımda bulunan lif hacmi yani kullanılan lif miktarının beton içerisindeki hacmidir. Diğer parametre ise lif görünüm (narinlik) oranıdır. Lif görünüm (narinlik) oranı, lif uzunluğunun lif çapına olan oranıdır. Literatürdeki çalışmalarda lif hacmini ve lif görünüm (narinlik) oranının artması ile beton işlenebilirliğinde ve karışımın homojenliğinde azalmalar olduğu belirtilmiştir. Lif hacmini ve lif görünüm (narinlik) oranının artması ile beton içerisindeki liflerin karışım sırasında birbirlerine kenetlenmeleri ve topaklaşma oluşturmaları kaçınılmazdır. Bu durumun önüne geçebilmek amacıyla, beton içerisinde ince malzeme oranını arttırmak ya da akışkanlaştırıcı katkıları kullanmak mümkündür [17].

2. **Liflerin betonun tokluğuna etkileri:** Lifler beton tokluğunu, eğilme dayanımını veya her ikisini birden arttırabilirler. Tablo 1.8’ de bazı lif takviyeli çimento esaslı malzemelerin tokluk değerlerinin, lifsiz beton ile kıyaslanması verilmiştir [5].

Tablo 1.8. Lif takviyeli betonların tokluk değerlerinin, lifsiz betonla karşılaştırılması

Takviye lif türü	Hacimsel lif yüzdesi	Görelî tokluk
Çelik	0.5	2.5-4.0
Çelik	1.0	4.0-5.5
Çelik	1.5	10.25
Cam	1.0	1.7-2.0
Polipropilen	0.5	1.5-2.0
Polipropilen	1.0	2.0-3.5
Polipropilen	1.5	3.5-15.0

3. **Liflerin betonun basınç dayanımına etkileri:** Yapılan çalışmalarda, liflerle güçlendirilmiş betonların basınç dayanımlarında %25 gibi bir artış gözleendiği gibi bazen de bu düzeyde bir azalma olduğu gözlenmiştir. Bu durumun sebebi beton içerisinde gelişi güzel dağılan liflerin yönelimi ile doğrudan ilgilidir. Beton içerisinde bulunan ve yükleme düzlemine dik olarak yönelen lifler beton basınç dayanımında herhangi bir katkısı olmaz. Ancak yükleme düzlemine paralel yönelen lifler basınç dayanımının artmasında görev alırlar [17].

4. **Liflerin betonun eğilme dayanımına etkileri:** Lif takviyeli betonların eğilme dayanımları normal betonlara kıyasla daha fazladır. Çimento hamurunun çatlamasından sonra liflerin yükleri taşıması ve dağıtması sebebiyle maksimum eğilme dayanımı artar [17]. Tablo 1.9’ da bazı lif takviyeli çimento esaslı malzemelerin eğilme dayanımının, lifsiz beton ile kıyaslanması verilmiştir [17].

Tablo 1.9. Lif takviyeli betonların eğilme dayanımının, lifsiz betonla karşılaştırılması

Takviye lif türü	Hacimsel lif yüzdesi	Görelî tokluk
Çelik	1-2	2.0
Cam	1-2	2.5-3.5
Polipropilen	1-2	1.0
Mika	2-4	2-2.5
Asbest	3-10	2.0-4.0

5. **Liflerin betonun çekme davranışına etkileri:** Liflerin betonların yarmada çekme dayanımlarını genel olarak iyileştirdiği bilinmektedir. Lif takviyeli betonun çekme dayanımını etkileyen en önemli etkenler lif miktarı, narinlik oranı ve lif-matris arasındaki aderanstır [17].

1.1.3. Lif Takviyeli Betonların Kullanım Alanları

Lif takviyeli betonlar, geniş uygulama alanına sahip malzemelerdir. Kullanım alanları betonun içerisinde kullanılan lif türüne göre değişiklik göstermektedir. Lif takviyeli betonların kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır [16].

1. **Çelik lif takviyeli betonların kullanım alanları:** Büyük hangarlarda ağır yük etkisinde kalan döşemelerde, su yapılarında, benzin istasyonlarında, fabrika zeminlerinde, soğuk hava depolarında, liman ve hava alanlarında, temel döşemelerinde, tünel iç kaplamalarında, yol ve otoyol kaplama betonlarında, prefabrik beton elemanlarda, beton borularda kullanılmaktadır.

2. **Cam lif takviyeli betonların kullanım alanları:** Ön cephe kaplamalarında, ateşe dayanıklı yapılarda, estetik mimari istenen yapılarda, ani darbelere maruz kalan sistemlerde, saha betonlarında, beton borularda, dekoratif panellerde, prefabrik beton malzemelerde kullanılmaktadır.

3. **Polimer lif takviyeli betonların kullanım alanları:** Hafif beton uygulamalarında, şap betonlarında, saha betonlarında, tavan panellerinde, bina cephelerinde, su kanalı elemanlarında, beton borularda, bariyerlerde kullanılmaktadır.

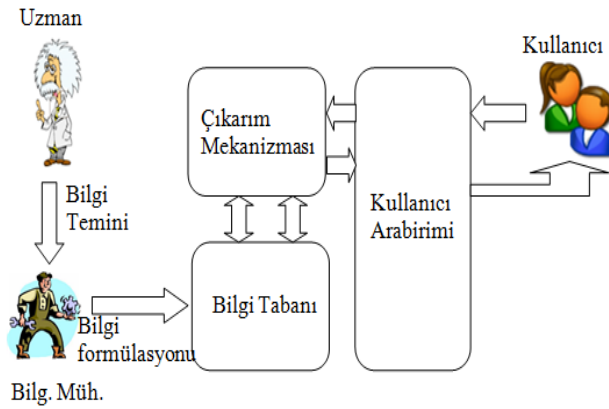
1.2. Yapay Sinir Ağları (YSA)

Teknolojinin gelişmesi izlendiğinde önceleri sadece elektronik veri transferi yapmak ve karmaşık hesaplamaları gerçekleştirmek üzere geliştirilen bilgisayarların zaman içerisinde büyük miktardaki verileri filtreleyerek özetleyebilen ve mevcut bilgileri kullanarak olaylar hakkında yorumlar yapabilen nitelikler kazandığı görülebilmektedir. Günümüzde ise bilgisayarlar hem olaylar hakkında karar verebilmekte hem de olaylar arasındaki ilişkileri öğrenebilmektedir. Zeki sistemlerin en temel özellikleri olaylara ve problemlere çözümler üretirken veya çalışırken bilgiye dayalı olarak karar verebilme

özelliklerinin olması ve eldeki bilgiler ile olayları öğrenerek, sonraki olaylar hakkında kararlar verebilmeleridir.

Günümüzde 60'dan fazla yapay zekâ teknolojisinden bahsedilmektedir. Bu teknolojilerin çoğu henüz laboratuvar çalışması düzeyindedir. Bu teknolojilerden bazıları aşağıda verilmiştir.

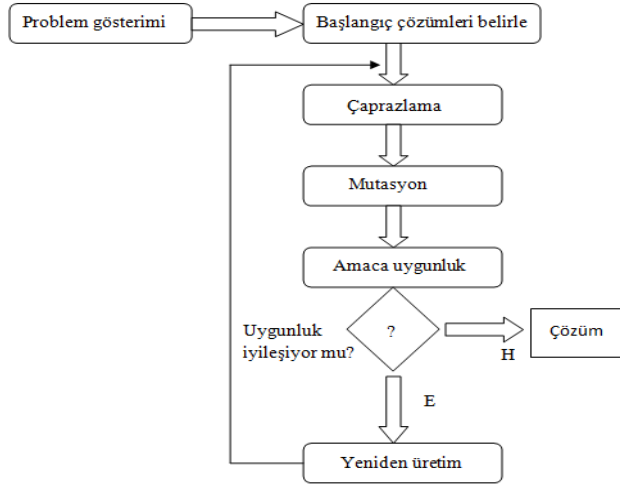
1. Uzman Sistemler: Bir problemi o problemin uzmanlarının çözdüğü gibi çözebilen bilgisayar programları geliştiren teknolojidir. Uzmanlar bir problemi çözerken bilgilerini ve deneyimlerini kullanırlar. Bu bilgiler ve deneyimlerin bilgisayar tarafından anlaşılabilir olması ve bilgisayarda saklanması gerekmektedir. Bilgi tabanında saklanan bu bilgileri kullanarak insan karar verme sürecine benzer bir süreç ile problemlere çözüm üretilirler. Uzman sistemlerin ilkesel çalışma prensibi Şekil 1.7' de verilmiştir [18].



Şekil 1.7. Uzman sistemlerin ilkesel çalışma prensibi

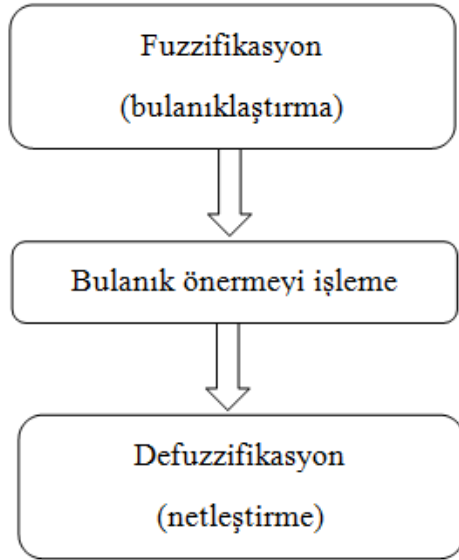
2. Makine Öğrenmesi ve Yapay Sinir Ağları: Bilgisayarın olayları öğrenmesini sağlayan teknolojidir. Genellikle örnekler kullanılarak olayların girdi ve çıktıları arasındaki ilişkiler öğrenilir. Öğrenilen bilgiler ile benzer olaylar yorumlanarak karar verilir veya problemler çözülür. Bu teknoloji tezin konusu olduğundan daha sonraki bölümlerde ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

3. Genetik Algoritmalar: Karmaşık optimizasyon problemlerinin çözülmesinde kullanılan bir teknolojidir. Bu teknolojiye, bir problemi çözebilmek için öncelikle rastgele başlangıç çözümleri belirlemektedir. Daha sonra bu çözümler birbirleri ile eşleştirilerek performansı yüksek çözümler üretilebilmektedir. En iyi çözüm bulunana dek yenileme devam eder. Genetik algoritmalarının temel elemanları Şekil 1.8' de verilmiştir.



Şekil 1.8. Genetik algoritmanın temel elemanları ve çalışması

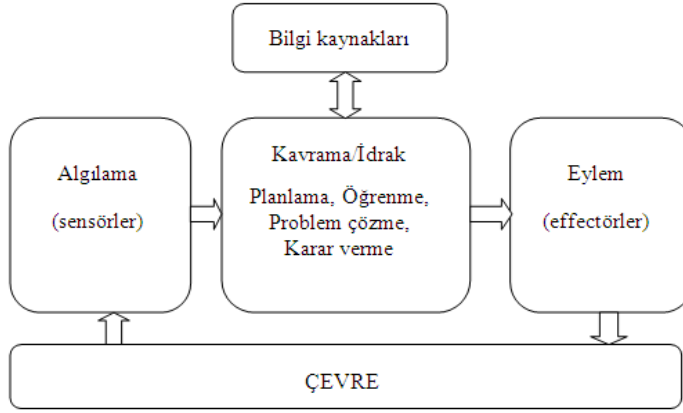
4. Bulanık Önermeler Mantığı: Günümüzdeki birçok olay belirsiz koşullarda gerçekleşmektedir. Beklenmedik olaylar ortaya çıkarak karar vermeyi etkilemektedir. Kesin olarak bilinmeyen olaylar hakkında karar vermek için uzmanlar *normal*, *yüksek*, *düşük*, *yaklaşık* gibi kavramlar kullanmaktadır. Bulanık mantık teknolojisi bilgisayarlarında bu gibi durumlarda karar verebilmesi için geliştirilmiş bir teknolojidir. Şekil 1.9’ da bulanık önermeler çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 1.9. Bulanık önermeler çalışma prensibi

5. Zeki Etmenler: Bu sistemler bağımsız kararlar verebilen bilgisayar sistemleridir. Hem donanım hem de yazılım olarak geliştirilmektedirler. Birden fazla yapay

zekâ tekniğini kullanabilirler. Öğrenme ve gerçek zamanlı çalışabilme özellikleri vardır. Genel olarak bir zeka etmeninin yapısı Şekil 1.10’ da verilmiştir.



Şekil 1.10. Zeki etmenin yapısı

1.2.1 Makine Öğrenmesi ve Öğrenme Türleri

Öğrenme değişik şekillerle tanımlanmakla birlikte genel olarak *Simon* tarafından önerilen tanım etrafında değişiklikler yapılmaktadır. *Simon* öğrenmeyi, “*zaman içinde yeni bilgilerin keşfedilmesi yoluyla davranışların iyileştirilmesi süreci*” olarak tanımlamaktadır. Makine öğrenmesi ise bu öğrenme işinin bilgisayarlar tarafından gerçekleştirilmesinin sağlanmasıdır. Diğer bir deyişle makine öğrenmesi “*bilgisayarların bir olay ile ilgili bilgileri ve tecrübeleri öğrenerek gelecekte oluşacak benzeri olaylar hakkında kararlar verebilmesi ve problemlere çözümler üretebilmesidir*” denilebilir. Değişik öğrenme şekilleri vardır [18]. Geliştirilen herhangi bir makine öğrenme sistemi aşağıda verilen öğrenme türlerinden birini veya birkaçını birlikte kullanılabilir. Bunlar,

- Alışkanlık yolu ile öğrenme,
- Görerek öğrenme,
- Talimatlardan öğrenme,
- Örneklerden öğrenme,
- Analoji yolu ile öğrenme,
- Açıklamalardan öğrenme,
- Deney yolu ile öğrenme,
- Keşfetme yolu ile öğrenme.

1.2.2 Öğrenme Paradigmaları

Öğrenme üzerine yapılan çalışmaları, makine öğrenmesi haline dönüştürebilmek için çeşitli paradigmlar ve yaklaşımlar geliştirilmiştir [18]. Bunlar aşağıdaki gibi açıklanabilir,

- **Sembol işleme yöntemi:** Bu sistemler geleneksel yapay zeka teknolojisine dayanan öğrenme sistemleridir. Belirli formatlarda bilgisayara sunulan bilgilere dayanarak muhakeme yolu ile öğrenme gerçekleştirilir.
- **Yapay sinir ağları:** Bu sistemler örneklerden genellemeler yaparak öğrenirler.
- **İstatistiksel örüntü tanıma:** Bu tür öğrenmede bir veri setinin istatistiksel özellikleri ve dağılımı incelenerek veri hakkında genellemeler yapmak söz konusudur.
- **Genetik algoritmalar ve evrimsel programlama:** Bu paradigma bir problemin çözümü için rasgele başlangıç çözümleri atayarak ve bu çözümlerden daha iyi ve yeni çözümler üreterek sonuca ulaşmayı amaçlamaktadır.
- **Vaka tabanlı öğrenme:** Bu teknoloji örneklerden de öte vakalara bakarak öğrenme esasına dayanmaktadır. Her vaka başlı başına bir olayı göstermekte ve birden fazla örnekten oluşmaktadır.

1.2.3. Öğrenme Stratejileri

Yapay sinir ağı gibi örneklerden öğrenen sistemlerde değişik öğrenme stratejileri kullanmaktadır. Genel olarak kullanılan üç öğrenme stratejisi aşağıda verilmiştir [18].

1. Öğretmenli (Supervised) öğrenme: Öğretmen sisteme öğretilmesi istenen olay ile ilgili örnekleri girdi/çıkı seti olarak verir. Yani her örnek için hem girdiler hem de o girdiler karşısında oluşturulması istenen çıktılar sisteme gösterilirler. Bu sayede olayın girdi ve çıktıları arasındaki ilişki sisteme öğretilir.

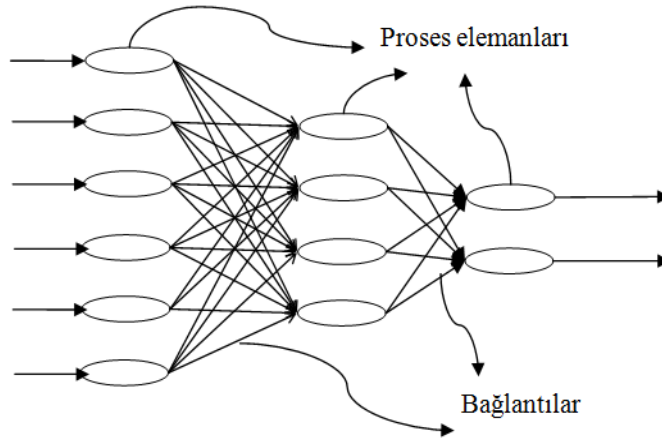
2. Destekleyici (Reinforcement) öğrenme: Öğretmen öğrenen sisteme yardımcı olur fakat öğretmen her girdi seti için olması gereken çıktı setini göstermek yerine sistemin kendine gösterilen girdilere karşılık çıktısını üretmesini bekler ve üretilen çıktının doğru veya yanlış olduğunu gösteren bir sinyal üretir. Sistem öğretmenden gelen bu sinyali dikkate alarak öğrenim sürecini devam ettirir.

3. **Öğretmensiz (*Unsupervised*) öğrenme:** Öğrenmeye yardımcı bir öğretmen yoktur. Sisteme sadece girdi değerleri gösterilir. Sistemin kendisinin çıktı değerleri üretmesi yani eğitimini tamamlanması beklenir.

4. **Karma stratejiler:** Yukarıdaki öğrenme stratejilerini beraber kullanan sistemlerdir. Kısmen öğretmenli kısmen ise öğretmensiz şekilde öğrenme işlemini gerçekleştirirler.

1.2.4. Yapay Sinir Ağlarına Giriş

Yapay sinir ağları insanlar tarafından gerçekleştirilmiş örnekleri kullanarak olayları öğrenebilen, çevreden gelen olaylara karşı nasıl tepkiler üretilebileceğini belirleyen bilgisayar sistemleridir. Örneklerden elde ettikleri bilgiler ile kendi deneyimlerini oluşturur daha sonra benzer konularda benzer kararlar verirler.



Şekil 1.11. Bir yapay sinir ağı örneği

Teorik olarak bir yapay sinir ağının en temel görevi kendisine gösterilen bir girdi setine karşılık gelebilecek bir çıktı seti belirlemektir (Şekil 1.11). Bunu yapabilmesi için ağ, ilgili olayın örnekleri ile eğitilerek (öğrenme) genelleme yapabilecek yeteneğe kavuşturulur. Bu genelleme yeteneği ile benzer olaylara karşılık gelen çıktı seti belirlenir [18].

1.2.5. Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri

- Yapay sinir ağları makine öğrenmesi gerçekleştirirler.
- Programların çalışma stili bilinen programlama yöntemlerine benzememektedir.
- Yapay sinir ağlarında bilgi, ağın bağlantılarında saklıdır.
- Yapay sinir ağları örnekleri kullanarak öğrenirler.
- Yapay sinir ağlarının güvenle çalışabilmesi için önce eğitilmeleri ve performanslarının test edilmesi gerekmektedir.
- Yapay sinir ağları görülmemiş örnekler hakkında bilgi üretebilirler.
- Algılamaya yönelik olaylarda kullanılabilirler.
- Şekil (örüntü) ilişkilendirme ve sınıflandırma yapabilirler.
- Kendi kendini organize etme ve öğrenme yetenekleri vardır.
- Eksik bilgi ile çalışabilmektedirler.
- Hata toleransına sahiptirler.
- Belirsiz, tam olmayan bilgileri işleyebilmektedirler.
- Dağınık bir belleğe sahiptirler.
- Sadece nümerik bilgiler ile çalışabilmektedirler.

1.2.6. Yapay Sinir Ağlarının Önemli Dezavantajları

- Yapay sinir ağları donanımla bağımlı çalışmaktadır.
- Probleme uygun ağ yapısının belirlenmesi genellikle deneme yanılma yolu ile yapılmaktadır.
- Bazı ağlarda, ağın parametre değerinin belirlenmesinde herhangi bir kural yoktur.
- Ağın öğrendiği problemin ağa gösteriminde sadece nümerik girdiler kullanılabilir.
- Ağın eğitiminin ne zaman bittiğine karar vermek için kullanılacak belirli bir yöntem yoktur.
- Yapay sinir ağlarında problem çözümlerinin nasıl yapıldığı anlaşılamaz.

1.2.7. Yapay Sinir Ağlarının Kısa Tarihçesi

Yapay sinir ağları ile ilgili çalışmaları 1970 öncesi ve sonrası olarak ikiye ayırmak gerekmektedir.

İnsan beyninin nasıl çalıştığı ve fonksiyonları uzun yıllar araştırılmıştır. 1890 yılında beyin fonksiyonları hakkında bilgi veren ilk eser yayınlanmıştır. 1940'dan önceki yıllarda bazı bilim adamları (*Helmutz, Pavlov, Poincare vb.*) yapay sinir ağı kavramı üzerinde çalıştıkları bilinmektedir. Ancak bu çalışmaların mühendislik değerlerinin olduğu söylenemez. 1940'lı yıllardan sonra *Hebb, McCulloch* ve *Pitts* gibi bilim adamları yapılan araştırmaları mühendislik alanlarına kaydırmaya ve günümüzdeki yapay sinir ağlarının temellerini oluşturmaya başladılar. 1949 yılında *Donald Hebb*, yapay hücrelerden oluşan bir yapay sinir ağının değerlerini değiştiren öğrenme kuralını geliştirdi. *Hebbian Öğrenme* kuralı olarak bilinen bu kural günümüzde de birçok öğrenme kuralının temelini oluşturmaktadır. 1951 yılında ilk nuro-bilgisayar üretildi. Silikon teknolojisinin geliştirilmesi ile çalışmalar 1960' yıllarda oldukça önemli gelişmelere sebep oldu. 1954 yılında *Farley* ve *Clark* tarafından rassal ağlar (*random network*) ile adaptif tepki üretme kavramı ortaya atıldı. Bu kavram 1958 yılında *Rosenblatt* ve 1961 yılında *Caianiello* tarafından geliştirildi. Özellikle *Rosenblatt* tarafından geliştirilen algılayıcı model (perceptron), şuan kullanılan çok katmanlı algılayıcıların temelini oluşturduğundan yapay sinir ağları tarihinde önemli bir gelişmeye öncülük etmiştir. Benzer şekilde *Widrow* ve *Hoff* ADALİNE (Adaptive Linear Neuron) modelini ortaya attılar. Bu adım yapay sinir ağlarının mühendislik uygulamalarına başlanması için ilk adımlardan biri olarak kabul edilir. Daha sonra adaptif öğrenmenin de temellerinden olan ve 1970'li yılların sonlarına doğru ortaya çıkan MADALİNE modelleri bu çalışmaların sonucunda ortaya çıkmıştır. Daha sonraki yıllarda yapay sinir ağları ile ilgili çalışmalar duraklama dönemine girdi. Yapay zeka biliminin o devirde önde gelen isimlerinden *Misnky* ve *Pappert* tarafından yazılan kitapta, yapay sinir ağlarına dayalı algılayıcıların bilimsel değerlerinin olmadığını ve doğrusal olmayan problemlere çözüm getiremediği ileri sürüldü. Yapay sinir ağları ile ilgili çalışmalar verilen desteklerin çekilmesi ile bu konuda yapılan çalışmalar giderek azaldı.

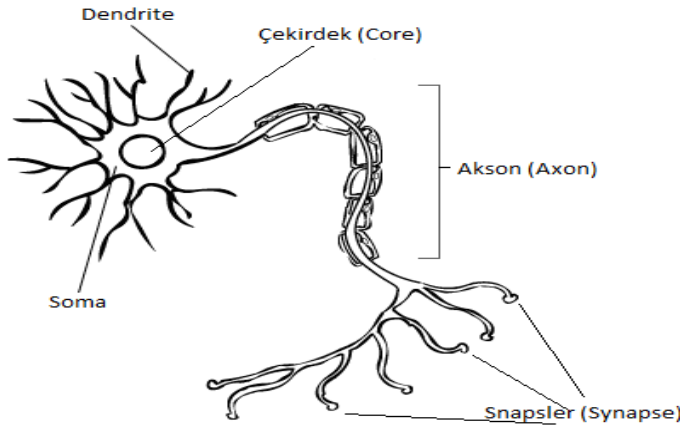
Yapay sinir ağları ile ilgili çalışmaların 1969 yılında azalması ve finansal desteğin kesilmesine rağmen özellikle *Anderson, Cooper, Fukushima, Grossberg, Kohonen* ve *Hopfield* gibi araştırmacılar bu konu üzerinde çalışmaya devam ettiler. 1980'li yıllara

gelindiğinde çalışmalar sonuç verdi. 1982 yılında *Kohonen* kendi kendine öğrenme nitelik haritaları konusundaki çalışmasını yayınladı. *Grosberg ve Carpenter* Adaptif Rezonans teorisini (ART) geliştirdi. Bu çalışma öğretmensiz öğrenme konusunda zamanın en karmaşık yapay sinir ağı oldu. Aynı yıllarda *Fukushima* görsel şekil ve örüntü tanıma amaçlı geliştirdiği NEOCOGNİTRON modelini tanıttı. 1982 ve 1984 yıllarında *Hopfield* tarafından yayınlanan çalışmalar ile yapay sinir ağlarının genelleştirilebileceği ve özellikle geleneksel bilgisayar programlama ile çözülmesi zor olan problemlere çözüm üretebileceğini gösterdi. *Rummelhart* ve arkadaşları paralel programlama konusundaki çalışmalarını sonuçlandırarak çok katmanlı algılayıcıların temelini atıyorlar ve bu modeli geliştiriyorlardı. Çok katmanlı algılayıcıların bulunması yapay sinir ağları tarihinde bir dönüm noktasıdır. Çünkü tek katmanlı algılayıcının çözemediği problemleri çok katmanlı algılayıcı model çözebiliyordu. Yayımlanan birçok çalışma ile tekrardan yapay sinir ağları gündeme geliyor. Günümüzde ise yapay sinir ağları laboratuvar çalışmaları olmaktan çıkmış ve günlük hayatta kullanılabilir hale gelmiştir.

1.2.8. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı

Yapay sinir ağları biyolojik sinir sisteminden esinlenerek oluşturulmuştur. O yüzden yapay sinir ağları yapısına bakmadan önce biyolojik sinir sistemlerinin yapısına değinmekte yarar vardır.

Biyolojik sinir ağları beynimizde bulunan çok sayıdaki sinir hücreler topluluğudur. Bir sinir ağı milyonlarca sinir hücresinin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Ağ içerisindeki sinir hücreleri birbirlerine bağlanarak fonksiyonlarını yerine getirir.

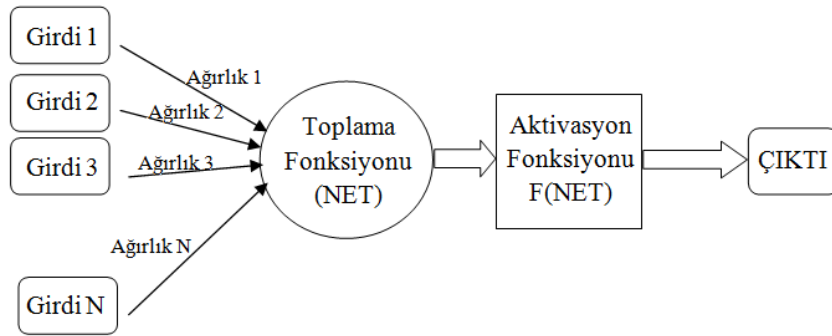


Şekil 1.12. Bir biyolojik sinir hücresinin yapısı

Şekil 1.12’de görüldüğü üzere temel bir biyolojik sinir hücresi *sinapsler*, *soma*, *axon* ve *dendrite* gibi elemanlardan oluşmaktadır. *Sinapsler* sinir hücreleri arasındaki bağlantılar olarak görülebilir. Bunlar fiziksel bağlantılar olmayıp, bir hücreden diğerine elektrik sinyallerinin geçmesini sağlayan boşluklardır. Bu sinyaller *soma*’ya giderler. *Soma*’da sinyaller işlenerek *axon* aracılığı ile *dendrite*’lere gönderilirler. *Dendrite*’ler ise bu sinyalleri diğer hücrelere gönderir.

1.2.8.1. Yapay Sinir Hücreleri (Proses Elemanı)

Biyolojik sinir ağlarının sinir hücreleri olduğu gibi yapay sinir ağlarının da sinir hücreleri vardır. Proses elemanları olarak ta adlandırılan sinir hücreleri 5 temel elemandan oluşmaktadır (Şekil 1.13).



Şekil 1.13. Yapay sinir hücresinin yapısı

1. **Girdiler:** Bir yapay sinir hücresine çevreden gelen bilgilerdir. Bunlar ağın öğrenmesi istenen örnekler tarafından belirlenir. Bu bilgiler dış dünyadan gelebileceği gibi başka bir hücreden de gelebilir.

2. **Ağırlıklar:** Ağırlıklar bir yapay sinir hücresine gelen bilgilerin hücre üzerindeki etkilerini göstermektedir.

3. **Toplama fonksiyonu:** Bu fonksiyon, hücreye gelen net girdiyi hesaplar. Bu işlem için değişik fonksiyonlar kullanılmaktadır (Tablo 1.10). En yaygın olarak kullanılan fonksiyon ağırlıklı toplamı bulandır. Bu fonksiyonda, hücreye gelen her girdi değerini kendi ağırlığı ile çarparak toplanması ile net girdi bulunur. Aşağıdaki formül şeklinde gösterilebilir. Burada G girdileri, A ağırlıkları, n ise hücreye gelen toplam girdi sayısını göstermektedir.

$$NET = \sum_i^n G_i A_i$$

Tablo 1.10. Toplama fonksiyonu örnekleri

Net giriş	Açıklama
<i>Çarpım</i> $Net\ Girdi = \prod_i^N G_i A_i$	Ağırlık değerleri girdiler ile çarpılır ve daha sonra bulunan değerler birbirleri ile çarpılarak net girdi hesaplanır.
<i>Maksimum</i>	N adet girdi içinden ağırlıklar ile çarpıldıktan sonraki en büyük değer net girdi olarak kabul edilir.
<i>Minimum</i>	N adet girdi içinden ağırlıklar ile çarpıldıktan sonraki en küçük değer net girdi olarak kabul edilir.
<i>Çoğunluk</i> $Net\ Girdi = \sum_i^N \text{sgn}(G_i A_i)$	N adet girdi içinden ağırlıklar ile çarpıldıktan sonra pozitif ve negatif değerlerin sayısı bulunur. Büyük olan değer net girdi olarak kabul edilir.
<i>Kumilatif Toplam</i>	Hücreye gelen bilgiler ağırlıklı olarak toplanır ve daha önce gelen bilgilere eklenerek hücrenin net girdisi bulunur.

4. Aktivasyon fonksiyonu: Bu fonksiyonu, hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirler. Aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılan değişik tipte fonksiyonlar bulunmaktadır (Tablo 1.12). Günümüzde yaygın olarak kullanılan *Çok Katmanlı Algılayıcı* modelinde aktivasyon fonksiyonu genel olarak sigmoid fonksiyonudur. Aşağıdaki formül şeklinde gösterilir.

Tablo 1.11. Aktivasyon fonksiyonu örnekleri

Aktivasyon Fonksiyonu	Açıklama
<i>Linear (doğrusal) fonksiyon</i>	Gelen NET girdi değeri olduğu gibi hücrenin çıktısı olarak kabul edilir.
<i>Eşik fonksiyonu</i> $F(NET) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } NET > \text{eşik değeri} \\ \text{as} \\ 0, & \text{eğer } NET < \text{eşik değeri} \end{cases}$	Gelen NET girdi değerinin belirlenen bir eşik değerinin altında veya üstünde olmasına göre hücrenin çıktısı 1 veya 0 değerini alır.
<i>Sinüs fonksiyonu</i>	Öğrenilmesi düşünülen olayların sinüs fonksiyonuna uygun dağılım gösterdiği durumlarda kullanılır.
<i>Doyumlu-doğrusal fonksiyon</i> $F(NET) = \begin{cases} 0, & \text{eğer } NET \leq 0 \\ NET, & \text{eğer } 0 < NET < 1 \\ 1, & \text{eğer } NET \geq 1 \end{cases}$	Gelen bilginin 0 veya 1'den büyük veya küçük olmasına göre 0 veya 1 değerini alır. 0 ile 1 arasında kendi değerini alır.
<i>Hiperbolik tanjant fonksiyonu</i>	Gelen NET girdi değerinin tanjant fonksiyonundan geçirilmesi ile hesaplanır.

5. **Hücrenin çıktısı:** Aktivasyon Fonksiyonu tarafından belirlenen çıktı değeridir. Üretilen çıktı çevreye veya başka bir hücreye gönderilir.

1.3. Çalışmanın Literatürdeki Yeri

Aral M., tarafından yapılan beton içerisinde kullanılan çelik ve polipropiler karma lif karışımının betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelediği çalışmada, betona hacmen % 2 oranında çelik lif eklenmesiyle kırılma enerjisi, karakteristik boy ve net eğilme dayanımı basta olmak üzere basınç dayanımı, elastisite modülü, yarmada çekme dayanımlarında artışlar olduğunu, ayrıca çelik lif içermeyen normal beton ve sadece polipropilen lif içeren beton, gevrek bir şekilde kırılırken diğer numuneler yüksek miktarda enerji yutarak, kontrollü bir şekilde ve uzun sürede kırıldığını. böylece yüksek performanslı betonlarda önemli bir sorun olan gevrek davranış ortadan kalkmış ve malzeme sünek bir davranış sergilediğini belirtmiştir [19].

Kurt G., tarafından yapılan fibrobetonun mekanik davranışlarına su/çimento oranının etkisini incelediği çalışmada, cam lifi takviyeli betonlarda, cam lifi içeriği arttıkça yarmada çekme dayanımı da %52-73 oranında arttığını ayrıca lif içeriğine bağlı olarak kırılma

enerjisi yalın betona kıyasla 109 katına kadar, net eğilme dayanımı 5 katına kadar ve karakteristik boy 33 katına kadar arttığını belirtmiştir [9].

Bahadır B., tarafından yapılan beton içerisinde kullanılan liflerin kırılma tokluğu üzerindeki etkilerini incelediği çalışmada, çelik lifli beton numunelerin, polipropilen ve cam lifli numunelere göre daha fazla enerji yutma kapasitesine sahip olduğu belirtmiştir. Ayrıca polipropilen lifli numunelerin cam lifli numunelere göre daha fazla tokluk değerine sahip olduğu yapılan çalışmanın diğer bir sonucudur. [16].

Yaprak H. ve diğerlerinin yaptığı çelik ve cam liflerin bazı beton özelliklerine etkilerini inceledikleri çalışmada, cam lifin, çelik lifle kullanılması durumunda beton basınç ve yarmada çekme dayanımına olumlu katkı sağladığını belirtmişlerdir [2].

Yıldız S. ve Ulucan Z.Ç., birlikte yaptıkları cam lif katkısının beton boruların tepe yük dayanımına etkisini araştırdıkları çalışmada, ağırlıkça %0.2, 0.4 ve 0.6 oranlarında cam lifi katılarak üretilen beton boruların 28 günlük tepe yükü dayanımları arttığını belirtmişlerdir [4].

Wong C.M., tarafından yapılan betonun mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde kısa liflerin kullanılabilirliğini araştırdığı çalışmada, özellikle hacimce %0.5 lif içeren numunelerin basınç ve çekme dayanımında artışlar olduğunu belirtmiştir [5].

Asi D., tarafından yapılan cam lif katkılı kompozit malzemelerin aşınma davranışları incelendiği çalışmada, Dokuma cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelerin aşınma performansı örme cam elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemenin aşınma performansından daha iyi olduğunu belirtmiştir [8].

Baştürk Ö., tarafından yapılan beton yüzeylerine sarılan lifli kompozitlerin basınç dayanımına etkisini incelediği çalışmada, karbon lifli dokuma kumaşın ve cam elyafın 150x300 mm boyutlu silindir örneklerle tek sargı ve çift katlı sargı şeklinde uygulandığında basınç dayanımlarında büyük artışlar elde edildiğini belirtmiştir [36].

Demircioğlu G., tarafından yapılan kısa cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemelerde elyaf boyutunun etkisini inceleyen çalışmada, numune gruplarının eğilme dayanımı ve eğilme modülü değerleri artan cam elyaf boyu ve oranıyla artış gösterdiğini, ayrıca eğilme uzaması değerleri ise artan elyaf oranı ile azalırken, artan elyaf boyu ile artmış olduğunu belirtmiştir [37].

Durmaz B., tarafından yapılan bölgesel basınca maruz lifli betonlarda yatak mukavemetini incelediği çalışmada, liflerin bölgesel yüklü betonlarda yatak mukavemetine etkisi yok denecek kadar az olduğu, ancak betonun üst yüzeyindeki çatlakların, liffsiz

betonunkinden daha az olduğu tespit etmiştir. Aynı zamanda lifsiz betona göre çatlak ilerleme hızı da yavaşladığını belirtmiştir [3].

Acır Ş., tarafından yapılan beton basınç dayanımlarının yapay sinir ağları ile belirlendiği çalışmada, yapay sinir ağlarının, beton basınç dayanımlarının belirlenmesinde güvenilir bir yöntem olduğunu belirtmiştir [23].

Gülhan İ. E., tarafından yapılan öngerilmeli betondan sandık kesitli köprülerin yapay sinir ağları ile analizini yaptığı çalışmada, elde edilen öğrenme eğrisi grafiğinin iterasyon sayısına bağlı olarak değişmemesi ve bulunan mutlak yüzde hata değerlerinin kesme kuvveti değerleri için maksimum %1, eğilme değerleri için maksimum %2'ler seviyesinde olduğunu yapay sinir ağlarının problemi çok iyi öğrendiğini belirtmiştir [38].

Subaşı S., ve diğerleri tarafından yapılan beton mekanik özelliklerinin taze beton özelliklerinden yararlanılarak yapay sinir ağları ile tahmini adlı çalışmada, geliştirilen model ile deney sonuçları eğitim aşamasında basınç dayanımı için %96 yarmada çekme dayanımı için % 97 başarı ile test aşamasında ise hem basınç dayanımı hem de yarmada çekme dayanımı için % 76 başarı ile bulunduğunu belirtmişlerdir [39].

Topçu İ. B., ve diğerleri tarafından yapılan puzolanların beton basınç dayanımına etkisinin yapay sinir ağları ile inceledikleri çalışmada, yapay sinir ağları yaklaşım modeli ile elde edilen basınç dayanımı değişiminin, beton karışımındaki farklı uçucu kül ikamesi oranlarına bağlı olarak elde edilen deneysel basınç dayanımı değerleri ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir [40].

Beycioğlu A., ve diğerleri tarafından yapılan yapay sinir ağları ile ağır betonların basınç dayanımının tahmini adlı çalışmada, geliştirilen modelin yüksek bir tahmin potansiyeline sahip olduğu ve beton teknolojisinde yapay zeka yöntemlerinin kullanılabilirliği üzerine yapılacak çalışmaların faydalı olacağı belirtmişlerdir [41].

İnce R., tarafından yapılan betonun kırılmasında efektif çatlak yaklaşımının yapay sinir ağları ile modellenmesi adlı çalışmada yapay sinir ağları ile geliştirilen modelin kabul edilebilir sonuçlar verdiğini belirtmiştir [20].

Ji T. ve diğerleri yaptıkları yapay sinir ağı ile beton karışım hesap algoritması meydana getirdikleri çalışmada, yapay sinir ağları ile geliştirilen algoritmanın beton karışım hesabını kabul edilebilir düzeyde gerçekleştirdiğini belirtmiştir [21].

Parichatprecha R. ve Nimityongskul P., birlikte yaptıkları yüksek dayanımlı betonların durabilite analizini yapay sinir ağlarını kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmada,

yapay sinir ağı modelinin durabilite analini %97 başarı oranıyla gerçekleştirdiğini belirtmişlerdir [22].

Literatürde cam elyaf üzerine yapılmış olan çalışmalarda, cam liflerin beton içerisinde katkı malzemesi olarak kullanılması durumu incelendiği gibi cam lif örgülerinin beton yüzeylerine sarılması ile oluşturulan kompozit malzeme şeklinde kullanılması durumu da incelenmiştir.

Yapay sinir ağları üzerine yapılan literatür çalışmalarında farklı beton malzemelerin özelliklerini tahmin eden modellerin oluşturulduğu görülmüştür.

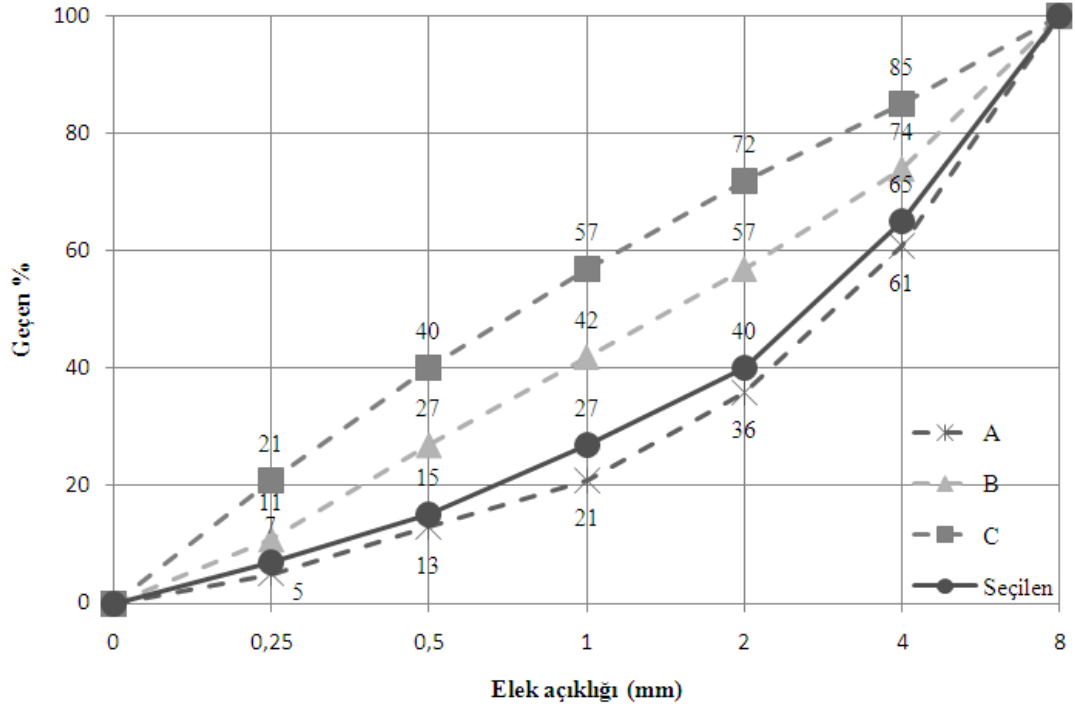
Yapılan bu tez çalışmasında cam elyaf katkılı beton numunelerin porozite, kapiler su emme ultrases geçiş hızı tayinleri yapılarak basınç ve yarmada çekme dayanımları tespit edilmiştir. Ayrıca yapay sinir ağları kullanılarak beton numunelerin basınç ve yarmada çekme dayanımlarını tahmin eden model oluşturulmuştur. Cam elyaf katkılı numunelerin mekanik özelliklerinin yapay sinir ağı ile tahmini üzerine çalışmaların az bulunması çalışmanın literatürdeki önemini göstermektedir.

2. MATERYAL ve METOT

Bu bölümde, deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler, karışım oranları ve deney metotları hakkında bilgiler verilmektedir.

2.1. Numunelerin Hazırlanmasında Kullanılan Malzemeler

Deneysel çalışmalar için hazırlanan numunelerde kullanılacak agrega, Elazığ Palu yöresine ait yıkanmış dere agregasıdır. Deneylerde kullanılacak agreganın maksimum tane boyutu 8 mm seçilmiştir ve agregaya ait granülometri eğrisi Şekil 2.1’ de verilmiştir.



Şekil 2.1. Numunelerin hazırlanmasında kullanılan agregaya ait granülometri eğrisi

Numunelerin hazırlanmasında çimento olarak Çimentoş Elazığ çimento fabrikasında üretilen CEM I tipi PÇ 42,5 portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentoya ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 2.1’ de verilmiştir.

Tablo 2.1. Numunelerin hazırlanmasında kullanılan çimentoya ait özellikler [24].

Kimyasal kompozisyon (%)	
SO ₃	2.69
MgO	2.1
CI	0.005
Serbest kireç	0.5
Çözünmeyen kalıntı	0.26
Kızdırma kaybı	1.58
Eşdeğer Alkali (Na ₂ O+0,658K ₂ O)	-
Fiziksel özellikler	
Özgül ağırlık (mg/m ³)	3.12
Özgül yüzey (cm ² /gr)	3749
Priz başlangıcı (dakika)	161
Priz sonu (saat)	04:20
Su ihtiyacı (vicat suyu) (%)	29.6
Hacim sabitliği (mm)	0.4
2 günlük basınç dayanımı (MPa)	22.4
7 günlük basınç dayanımı (MPa)	39.4
28 günlük basınç dayanımı (MPa)	51

Beton numunelerin mekanik özellikleri üzerine lif katkısının etkisini belirleyebilmek amacıyla yapılan bu çalışmada lif katkısı olarak, Cam Elyaf Sanayii A.Ş. tarafından üretilen EMAT(1) cam lif keçeleri kullanılmıştır. Kullanılan cam life ait özellikler Tablo 2.2’ de verilmiştir.

Tablo 2.2. Numunelerin hazırlanmasında kullanılan cam life ait özellikler [16].

Lif boyu (mm)	Lif çapı (µm)	Özgül ağırlık (mg/m³)	Elastisite modülü (MPa)	Çekme mukavemeti (MPa)
12	14	2.68	72000	1700

Beton numunelerin üretimi esnasında, lif takviyesi ile birlikte artan su ihtiyacını karşılayabilmek amacıyla, Sika yapı kimyasalları A.Ş. tarafından üretilen, Sikament 98R ürün kodlu süper akışkanlaştırıcı ve priz geciktirici katkı maddesi kullanılmıştır. Süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi deneylerde, üretici firma talimatlarına uygun olarak çimento ağırlığının %1 ‘i oranında kullanılmıştır.

2.2. Numunelerin Hazırlanması ve Karışım Oranları

Deneylerde kullanılan 100 mm' lik küp beton numuneler, TS 802' de belirtilen beton karışım esaslarına göre hazırlanmıştır [25]. Çalışmada çimento dozajı, su/çimento oranı ve cam lif içeriği değiştirilerek 45 farklı beton numunesi üretildi. Numuneler cam lif içeriği 0, 5, 10, 15 20 kg/m³, su/çimento oranları 0.45, 0.50, 0.55 ve çimento dozajı da 300, 350, 400 şeklinde hazırlanmıştır. Numune kodlarının belirlenmesinde yine bu değişkenler esas alınmıştır. Örnek olarak 300 çimento dozlu, su/çimento oranı 0.45 olan ve lif içermeyen referans numune R-D30-SÇ45-L0 olarak isimlendirilmiştir. Hazırlanan numunelere ait karışım oranları Tablo 2.3' de verilmiştir.

Tablo 2.3. Numunelere ait karışım oranları (1m³ beton için)

Numune No	Çimento (kg)	Su (kg)	(0-4) Agrega (kg)	(4-8) Agrega (kg)	Lif Miktarı (kg)	Kimyasal Katkı (kg)
R-D30-SÇ55-L0	300,00	165,00	1311,99	706,46	0,00	3,00
L-D30-SÇ55-L5	300,00	165,00	1311,99	706,46	5,00	3,00
L-D30-SÇ55-L10	300,00	165,00	1311,99	706,46	10,00	3,00
L-D30-SÇ55-L15	300,00	165,00	1311,99	706,46	15,00	3,00
L-D30-SÇ55-L20	300,00	165,00	1311,99	706,46	20,00	3,00
R-D30-SÇ50-L0	300,00	150,00	1339,78	721,42	0,00	3,00
L-D30-SÇ50-L5	300,00	150,00	1339,78	721,42	5,00	3,00
L-D30-SÇ50-L10	300,00	150,00	1339,78	721,42	10,00	3,00
L-D30-SÇ50-L15	300,00	150,00	1339,78	721,42	15,00	3,00
L-D30-SÇ50-L20	300,00	150,00	1339,78	721,42	20,00	3,00
R-D30-SÇ45-L0	300,00	135,00	1367,56	736,38	0,00	3,00
L-D30-SÇ45-L5	300,00	135,00	1367,56	736,38	5,00	3,00
L-D30-SÇ45-L10	300,00	135,00	1367,56	736,38	10,00	3,00
L-D30-SÇ45-L15	300,00	135,00	1367,56	736,38	15,00	3,00
L-D30-SÇ45-L20	300,00	135,00	1367,56	736,38	20,00	3,00
R-D35-SÇ55-L0	350,00	192,50	1231,17	662,94	0,00	3,50
L-D35-SÇ55-L5	350,00	192,50	1231,17	662,94	5,00	3,50
L-D35-SÇ55-L10	350,00	192,50	1231,17	662,94	10,00	3,50
L-D35-SÇ55-L15	350,00	192,50	1231,17	662,94	15,00	3,50
L-D35-SÇ55-L20	350,00	192,50	1231,17	662,94	20,00	3,50
R-D35-SÇ50-L0	350,00	175,00	1263,58	680,39	0,00	3,50
L-D35-SÇ50-L5	350,00	175,00	1263,58	680,39	5,00	3,50
L-D35-SÇ50-L10	350,00	175,00	1263,58	680,39	10,00	3,50
L-D35-SÇ50-L15	350,00	175,00	1263,58	680,39	15,00	3,50
L-D35-SÇ50-L20	350,00	175,00	1263,58	680,39	20,00	3,50
R-D35-SÇ45-L0	350,00	157,50	1296,00	697,85	0,00	3,50
L-D35-SÇ45-L5	350,00	157,50	1296,00	697,85	5,00	3,50
L-D35-SÇ45-L10	350,00	157,50	1296,00	697,85	10,00	3,50
L-D35-SÇ45-L15	350,00	157,50	1296,00	697,85	15,00	3,50
L-D35-SÇ45-L20	350,00	157,50	1296,00	697,85	20,00	3,50
R-D40-SÇ55-L0	400,00	220,00	1150,34	619,42	0,00	4,00
L-D40-SÇ55-L5	400,00	220,00	1150,34	619,42	5,00	4,00
L-D40-SÇ55-L10	400,00	220,00	1150,34	619,42	10,00	4,00
L-D40-SÇ55-L15	400,00	220,00	1150,34	619,42	15,00	4,00
L-D40-SÇ55-L20	400,00	220,00	1150,34	619,42	20,00	4,00
R-D40-SÇ50-L0	400,00	200,00	1187,39	639,37	0,00	4,00
L-D40-SÇ50-L5	400,00	200,00	1187,39	639,37	5,00	4,00
L-D40-SÇ50-L10	400,00	200,00	1187,39	639,37	10,00	4,00
L-D40-SÇ50-L15	400,00	200,00	1187,39	639,37	15,00	4,00
L-D40-SÇ50-L20	400,00	200,00	1187,39	639,37	20,00	4,00
R-D40-SÇ45-L0	400,00	180,00	1224,44	659,32	0,00	4,00
L-D40-SÇ45-L5	400,00	180,00	1224,44	659,32	5,00	4,00
L-D40-SÇ45-L10	400,00	180,00	1224,44	659,32	10,00	4,00
L-D40-SÇ45-L15	400,00	180,00	1224,44	659,32	15,00	4,00
L-D40-SÇ45-L20	400,00	180,00	1224,44	659,32	20,00	4,00

Numunelerin hazırlanmasında kullanılan karışım suyu olarak Elazığ iline ait şebeke suyu kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler 24 saat kalıplarda bekletildikten sonra

kalıplardan çıkarılarak 28 gün boyunca 20±2 °C sıcaklıktaki kirece doymun suda kür edilmiştir.

2.3. Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler

Farklı oranlardaki cam lif katkısının betonun mekanik davranışları üzerindeki etkilerini belirleyebilmek amacıyla porozite tayini, kapiler su emme tayini, ultrases geçiş hızı tayini, basınç dayanımı tayini, yarmada çekme dayanımı tayini ve SEM analizi tayini yapılmıştır.

2.3.1 Porozite Tayini

28 gün kirece doymun su içerisinde kür işlemine tabi tutulan numuneler, kür havuzundan çıkarılarak TS EN 772-4' e uygun olarak porozite tayini [26] deneyi yapılmıştır. Numuneler hassas terazide doymun yüzey kuru ağırlığı (W_{dyk}), sualtındaki ağırlığı (W_{su}) ve etüvde kurutulan numunenin kuru ağırlığı (W_{kuru}) tartılmıştır. Elde edilen bu ağırlıklar ile 2.1'de verilen formül kullanılarak porozite değeri elde edilmiştir.

$$P = \frac{(W_{dyk} - W_{kuru})}{(W_{dyk} - W_{su})} 100$$

(2.1)

Burada;

P = Porozite (%),

W_{dyk} = Numunelerin doymun yüzey kuru ağırlığı (kg),

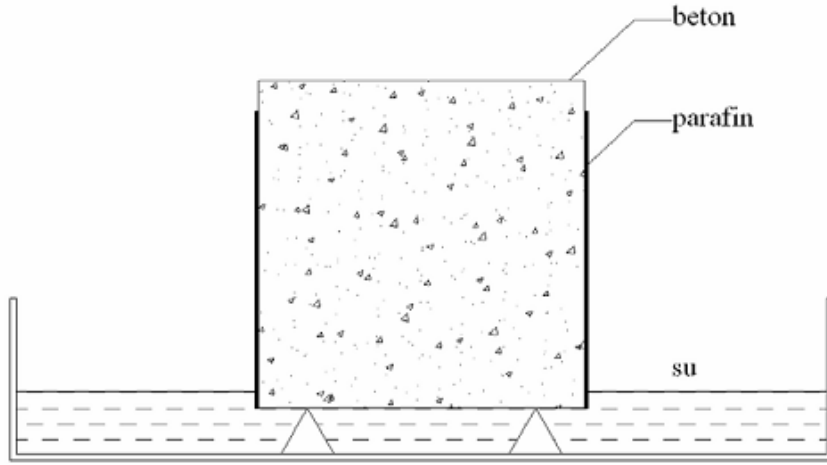
W_{kuru} = Numunelerin etüv kurusu ağırlığı (kg),

W_{su} = Numunelerin su altındaki ağırlığı (kg).

2.3.2 Kapiler Su Emme Tayini

TS 4045' e uygun olarak numuneler üzerinde kapiler su emme tayini [26] deneyi yapılmıştır. İlk olarak etüvde kurutulan numunelerin yan yüzeyleri parafin ile kaplanarak sadece alt yüzeyinden su emmesi sağlanmıştır. Deney düzeneği Şekil 2.2' de görülmektedir. Su seviyesi deney süresince 5mm olarak sabit tutulmuştur. Numuneler

belirli zamanlarda (0, 5, 10, 20, 30, 60, 180, 360, 1440 dk.) tartılarak kapiler su emme katsayıları 2.2 nolu bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.2. Kapiler su emme deney düzeneği

$$\frac{Q}{A} = k \sqrt{t} \quad (2.2)$$

Burada;

Q= Numunenin absorbe ettiği su miktarı (cm³),

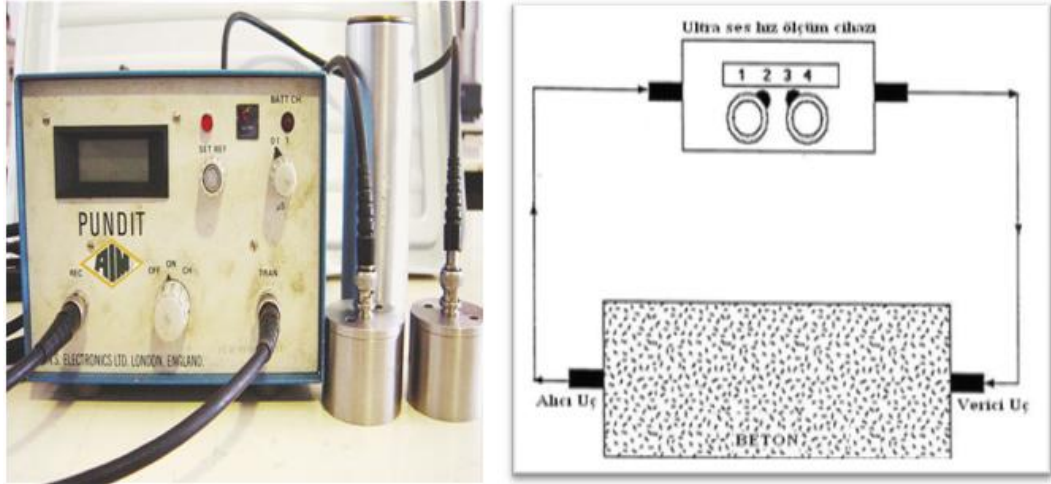
A= suya temas eden yüzeyin alanı (cm²),

k= kapiler su emme katsayısı (cm/s^{1/2}),

t= zaman (sn).

2.3.3 Ultrases Geçiş Hızı Tayini

ASTM C597-02' ye uygun olarak, numuneler üzerinde ultrases geçiş hızı tayini [27] yapılmıştır. Yapılan deneye ait deney düzeneği ve ölçüm cihazı Şekil 2.3' de gösterilmiştir. Ultrases geçiş hızı 2.3 nolu formül kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.3. Ultrases geçiş hızı deney düzeneği ve ölçüm cihazı

$$V = \frac{S}{t} \times 10^3 \quad (2.3)$$

Burada;

V= Ses üstü dalga hızı (km/sn),

A= ses üstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzey arasındaki mesafe(m),

t= ses üstü dalganın numune üzerinden geçme süresi (µs).

2.3.4 Basınç Dayanımı Tayini

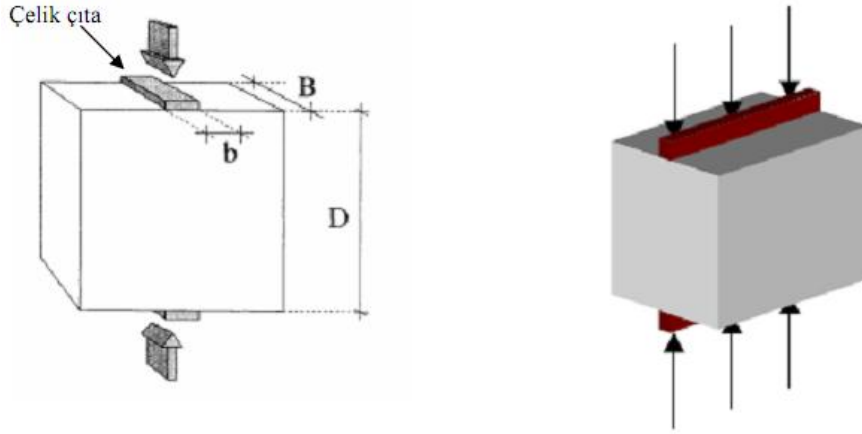
Hazırlanan küp numuneler üzerinde, TS EN 12390-3' e uygun olarak basınç dayanımı tayini deneyi [28] yapılmıştır. ELE Autotest 3000 test cihazında (Şekil 2.4) yapılan deney esnasında uygulanan yükleme hızı 3 kN/sn olacak şekilde sabit tutulmuştur.



Şekil 2.4. Beton basınç dayanımı test cihazı

2.3.5 Yarmada-Çekme Dayanımı Tayini

Hazırlanan küp numuneler üzerinde, TS EN 12390-6' ya uygun olarak yarmada çekme dayanımı tayini deneyi [29] yapılmıştır. Hazırlanan küp numunelerde yarmada çekme dayanımı tayini deneyi Şekil 2.5' de gösterilen deney düzeneğine uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Yarmada çekme dayanımı eşitlik 2.1 kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.5. Yarmada çekme dayanımı deney düzeneği (Emiroğlu, 2006).

$$f_{ct} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot L \cdot d} \quad (2.4)$$

Burada;

f_{ct} = Yarmada çekme dayanımı (MPa),

F = Kırılma yükü (N),

L = Numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğu(mm),

d = Numunenin en kesit boyutu (mm) ifade etmektedir.

2.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

Bu çalışma kapsamında elde edilen beton numunelerin içyapılarının incelenmesi amacıyla SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) incelemeleri yapılmıştır. SEM analizi sırasında, elektron mikroskobunda bulunan bir malzemeye 10-20 kV hızlandırılmış elektron bombardımanı uygulanarak numune yüzeyi hakkında detaylı bir topografik çalışma yapıldı.

Sem analiz çalışması, Fırat Üniversitesi FÜEM laboratuvarı bünyesinde JEOL JSM 7001F Taramalı mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan sem cihazı Şekil 2.6' da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. JEOL JSM 7001F Taramalı mikroskobu

2.5. Yapay Sinir Ağı Oluşturulması

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen basınç ve yarmada çekme dayanımı sonuçlarının tahmini için kullanılan yapay sinir ağı modeli Matlab 7.0.1 programının neural network toolbox uygulaması kullanılarak oluşturulmuştur. Yapay sinir ağı modellenmesinde verilerin %80' i eğitim, %20' si test seti olarak ayrılmıştır. Modelde kullanılan veriler kendi aralarında normalize edilmiştir. Normalize işleminde aşağıdaki eşitlik (2.5) kullanılmıştır.

$$f = (f_i - f_{\min}) / (f_{\max} - f_{\min}) \quad (2.5)$$

Burada;

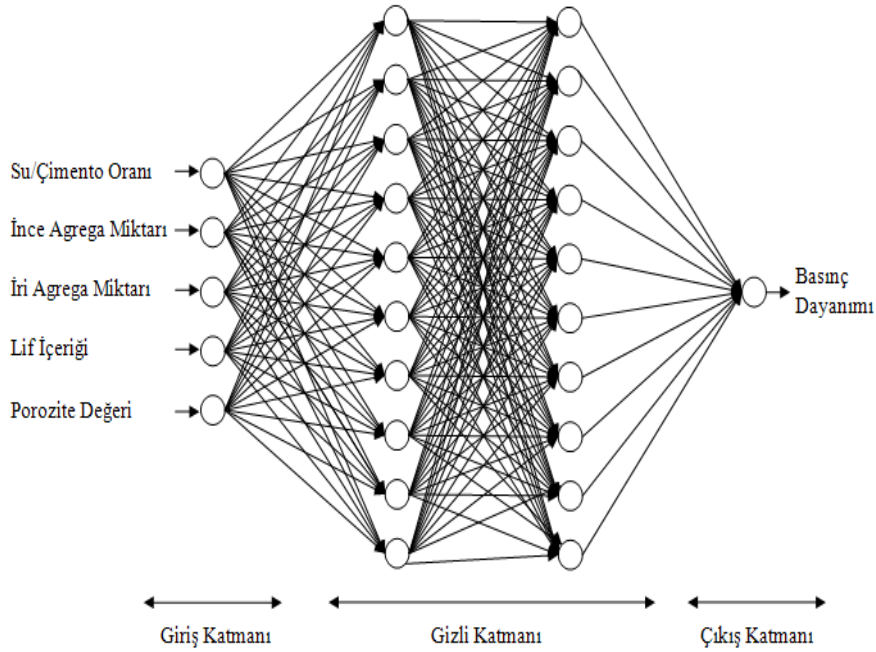
f = Normalize edilen değer,

f_i = Ölçüm değeri,

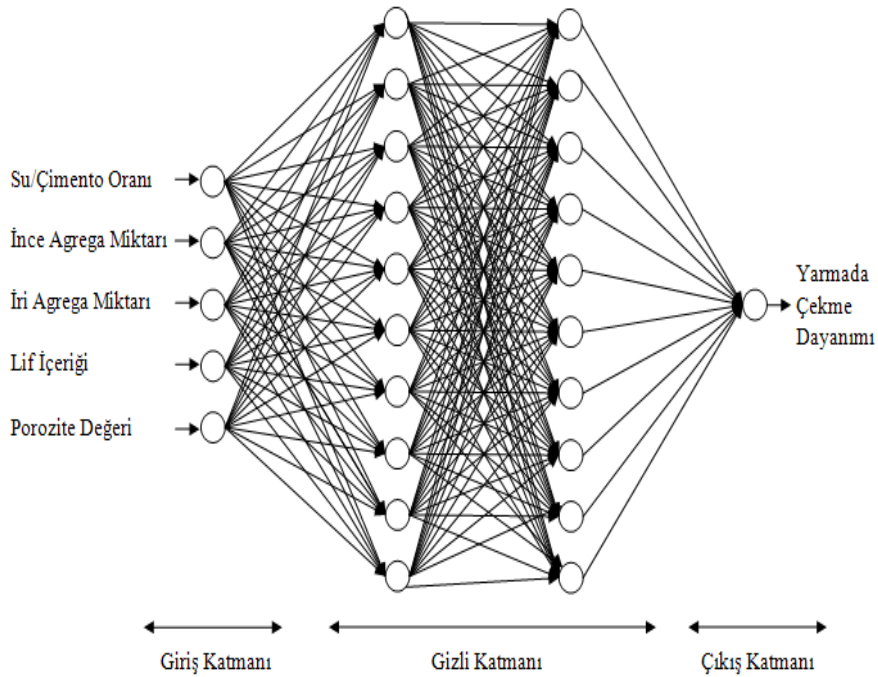
$f_{\min}$ = Ölçülen minimum değer,

$f_{\max}$ = Ölçülen maksimum değer.

Çalışmada, beton numunelerin basınç ve yarmada çekme dayanımlarının tahmini için ileri beslemeli (feed-forward) yapay sinir ağı modellenmiştir. Yapay sinir ağının eğitiminde hatanın geriye yayılım algoritması kullanılmıştır. Oluşturulan yapay sinir ağı modelleri Şekil 2.7 ve Şekil 2.8’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Çalışmalarda basınç dayanımı tahmini için kullanılan yapay sinir ağı modeli



Şekil 2.8. Çalışmalarda yarmada çekme dayanımı tahmini için kullanılan yapay sinir ağı modeli

Yapay sinir ağı modelinde kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri Tablo 2.4 ve Tablo 2.5’ de verilmiştir.

Tablo 2.4. Basınç dayanımı tahmini için kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri

Girdi ve çıktı değişkenleri	Eğitim ve test için kullanılan veriler	
	Minimum	Maksimum
Su/Çimento oranı	0,45	0,55
İnce agrega miktarı (kg)	1150,34	1367,56
İri agrega miktarı (kg)	619,41	736,38
Lif içeriği (kg)	0	20
Porozite değeri (%)	7,472	12,613
Basınç dayanımı (MPa)	23,850	46940

Tablo 2.5. Yarmada çekme dayanımı tahmini için kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri

Girdi ve çıktı değişkenleri	Eğitim ve test için kullanılan veriler	
	Minimum	Maksimum
Su/Çimento oranı	0,45	0,55
İnce agrega miktarı (kg)	1150,34	1367,56
İri agrega miktarı (kg)	619,41	736,38
Lif içeriği (kg)	0	20
Porozite değeri (%)	7,472	12,613
Yarmada çekme dayanımı (MPa)	2,256	3,939

Yapay sinir ağı modelinde kullanılan parametreler Tablo 2.6 ve Tablo 2.7’ de verilmiştir.

Tablo 2.6. Basınç dayanımı tahmini için kullanılan parametreler

Giriş katmanındaki nöron sayısı	5
Gizli katman sayısı	2
Gizli katmandaki nöron sayısı	20
Çıktı katmanındaki nöron sayısı	1
Momentum katsayısı	0,90
Eğitim katsayısı	0,08
İterasyon sayısı	2000
Transfer fonksiyonu	Tanjant sigmoid

Tablo 2.7. Yarmada çekme dayanımı tahmini için kullanılan parametreler

Giriş katmanındaki nöron sayısı	5
Gizli katman sayısı	2
Gizli katmandaki nöron sayısı	20
Çıktı katmanındaki nöron sayısı	1
Momentum katsayısı	0,90
Eğitim katsayısı	0,05
İterasyon sayısı	2000
Transfer fonksiyonu	Tanjant sigmoid

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmalar sırasında hazırlanan beton numuneler üzerinde yapılan porozite tayini, kapiler su emme katsayısı tayini, ultrases geçiş hızı tayini, basınç dayanımı tayini ve yarmada çekme dayanımı tayini deneylerinde elde edilen sonuçlar bu bölümde verilmiştir.

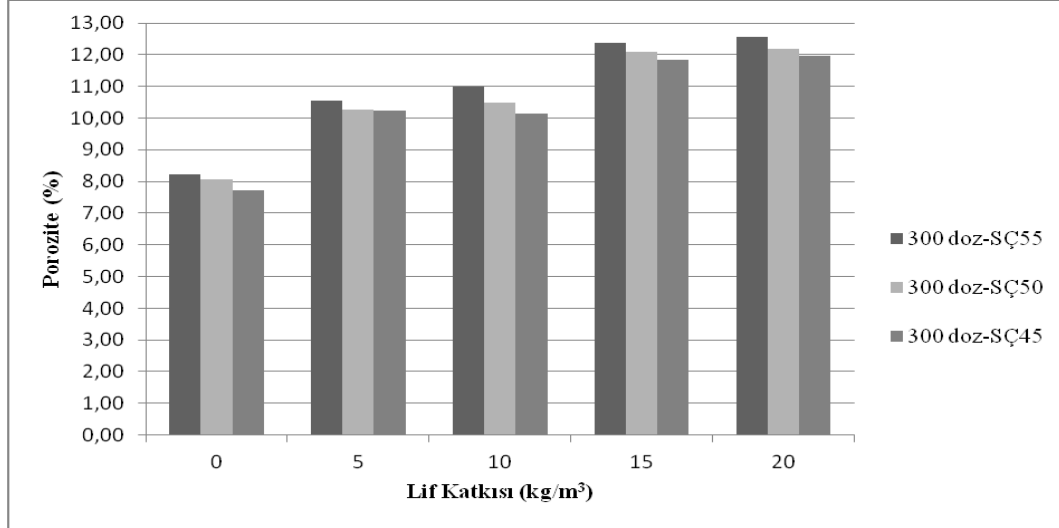
3.1. Porozite Tayini Deney Sonuçları

Deneysel çalışmalarda elde edilen beton numunelere ait porozite değerleri Tablo 3.1’ de verilmiştir.

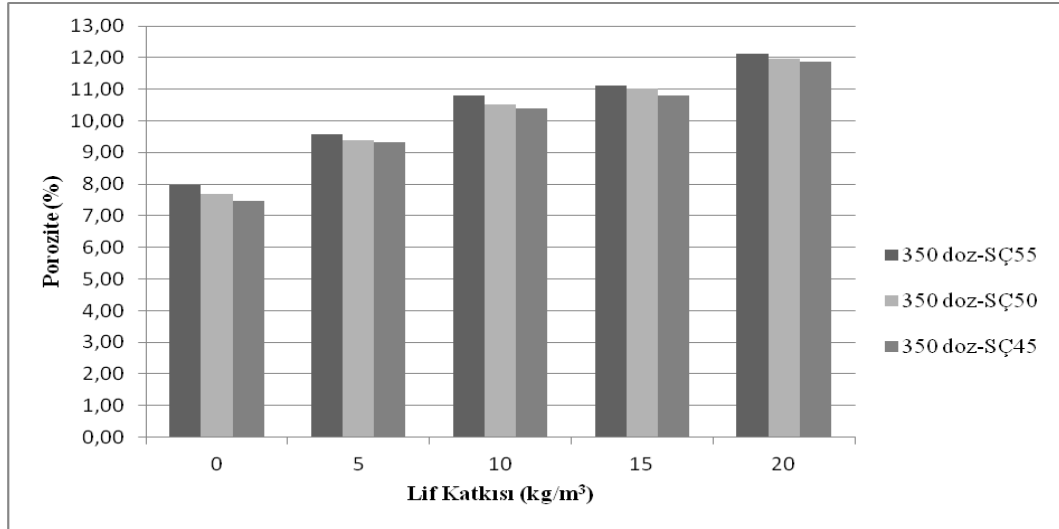
Tablo 3.1. Numunelerin porozite değerleri (%)

Numune	Porozite (%)	Numune	Porozite (%)
R-D30-SÇ55-L0	8,235	R-D35-SÇ45-L0	7,472
L-D30-SÇ55-L5	10,558	L-D35-SÇ45-L5	9,314
L-D30-SÇ55-L10	10,980	L-D35-SÇ45-L10	10,384
L-D30-SÇ55-L15	12,367	L-D35-SÇ45-L15	10,790
L-D30-SÇ55-L20	12,568	L-D35-SÇ45-L20	11,880
R-D30-SÇ50-L0	8,060	R-D40-SÇ55-L0	8,218
L-D30-SÇ50-L5	10,274	L-D40-SÇ55-L5	10,750
L-D30-SÇ50-L10	10,493	L-D40-SÇ55-L10	11,703
L-D30-SÇ50-L15	12,099	L-D40-SÇ55-L15	12,119
L-D30-SÇ50-L20	12,193	L-D40-SÇ55-L20	12,613
R-D30-SÇ45-L0	7,705	R-D40-SÇ50-L0	7,689
L-D30-SÇ45-L5	10,130	L-D40-SÇ50-L5	10,795
L-D30-SÇ45-L10	10,232	L-D40-SÇ50-L10	11,544
L-D30-SÇ45-L15	11,856	L-D40-SÇ50-L15	11,649
L-D30-SÇ45-L20	11,959	L-D40-SÇ50-L20	11,911
R-D35-SÇ55-L0	7,975	R-D40-SÇ45-L0	7,618
L-D35-SÇ55-L5	9,568	L-D40-SÇ45-L5	10,492
L-D35-SÇ55-L10	10,798	L-D40-SÇ45-L10	11,445
L-D35-SÇ55-L15	11,117	L-D40-SÇ45-L15	11,815
L-D35-SÇ55-L20	12,113	L-D40-SÇ45-L20	11,618
R-D35-SÇ50-L0	7,686		
L-D35-SÇ50-L5	9,386		
L-D35-SÇ50-L10	10,505		
L-D35-SÇ50-L15	11,030		
L-D35-SÇ50-L20	11,961		

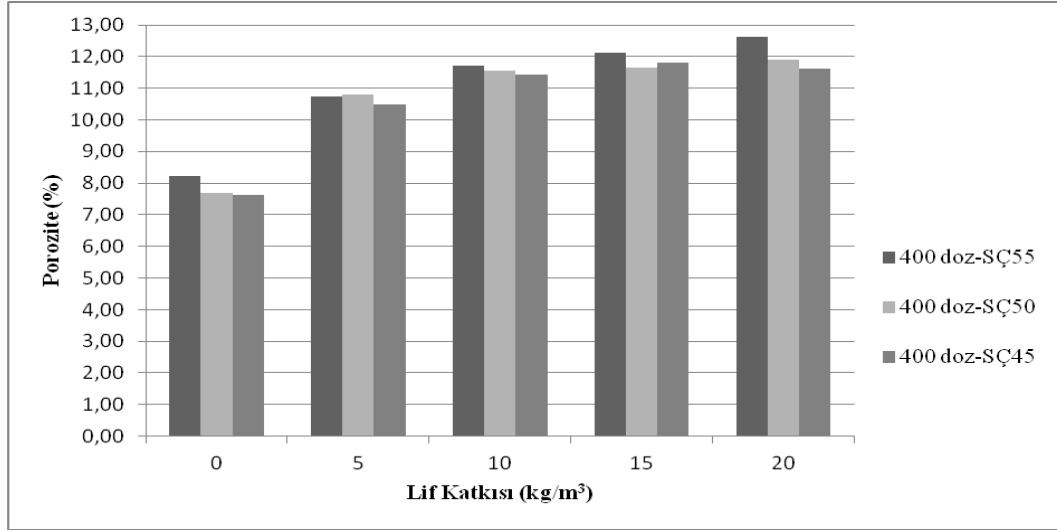
Numunelerden elde edilen porozite değerlerinin, lif oranlarına, çimento dozajına ve su/çimento oranına göre değişim grafikleri Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’ de verilmiştir.



Şekil 3.1. Numunelerden elde edilen porozite değerleri değişimi (300 Çimento dozajı için)

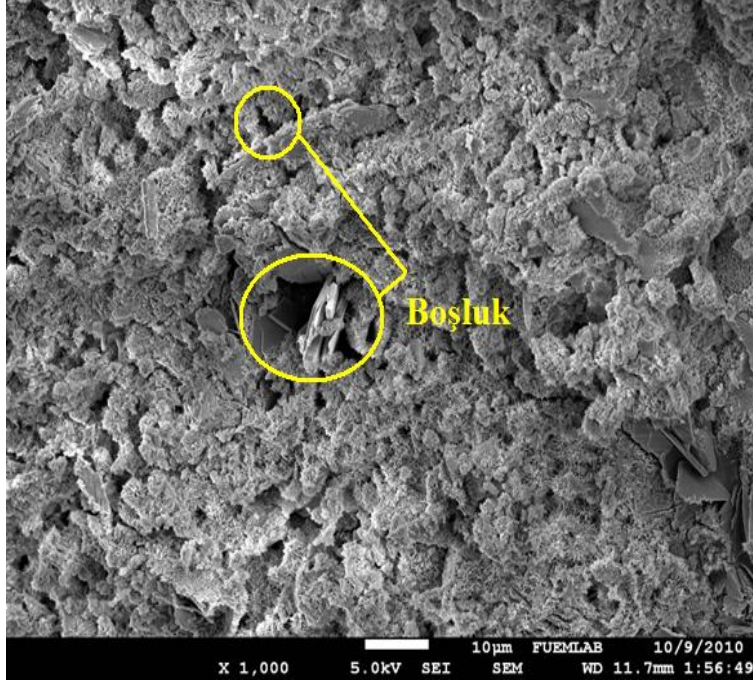


Şekil 3.2. Numunelerden elde edilen porozite değerleri değişimi (350 Çimento dozajı için)

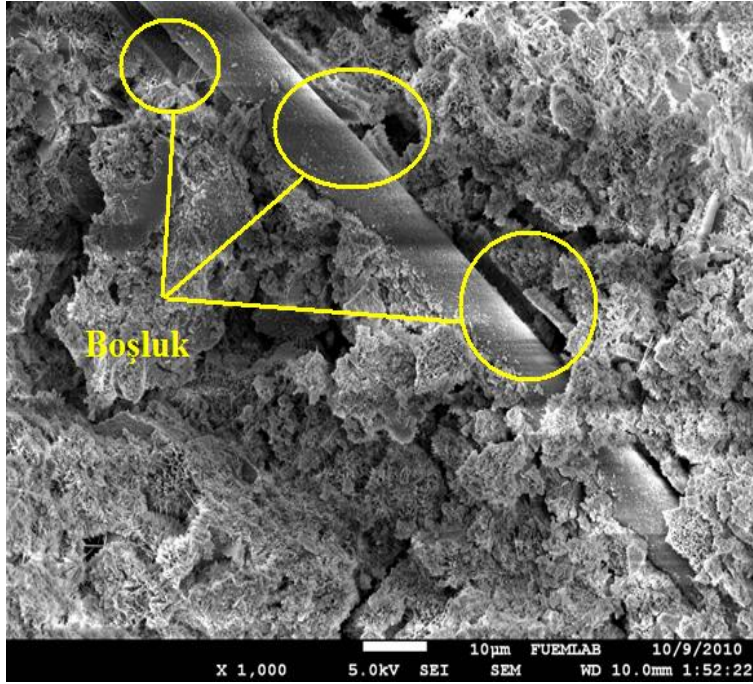


Şekil 3.3. Numunelerden elde edilen porozite değerleri değişimi (400 Çimento dozajı için)

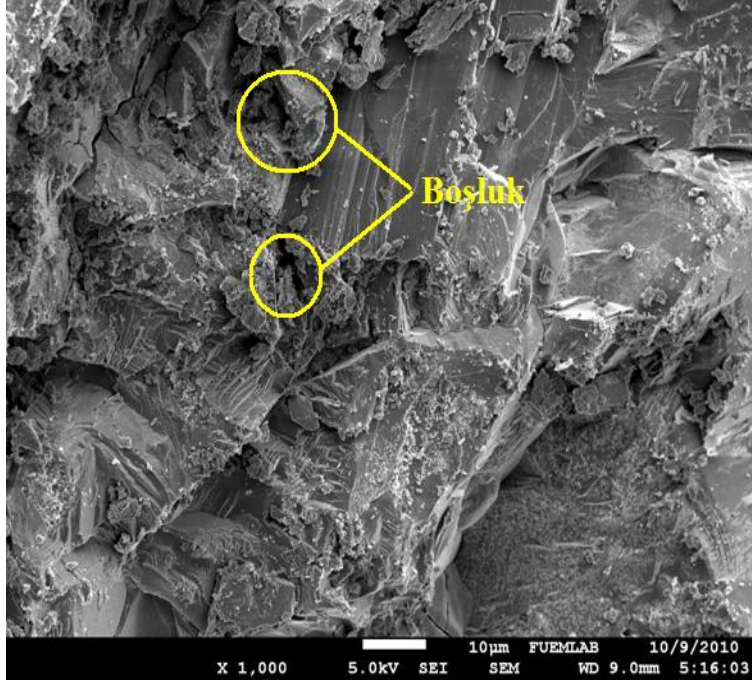
Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen porozite değeri numunelerin dozaj değişimleri ile belirgin bir değişim göstermemesine rağmen numunelerin su/çimento oranlarının azalması ile porozite değerinde azalma meydana gelmiştir ancak cam lif içeriğinin artması ile porozite değerinde artış meydana gelmiştir. Demirel, B. ve Gönen, T.' ye göre [31], lif miktarının artması ile betonda bünyesinde bulunan boşluk miktarı artmakta ve numunelerin porozite değeri yükselmektedir. Demirel, B. ve Keleştemur, O. ' ya göre [32], beton içerisinde öğütülmüş pomza miktarı arttıkça, porozite değerinde artışlar meydana gelmiştir. Elde edilen sonuçlar daha önceki çalışmalarla paralellik göstermektedir. Lif miktarının artması ile betonda bünyesinde bulunan boşluk miktarındaki artış SEM analiz resimlerinde görülmektedir (Şekil 3.4, 3.5, 3.6 ve 3.7).



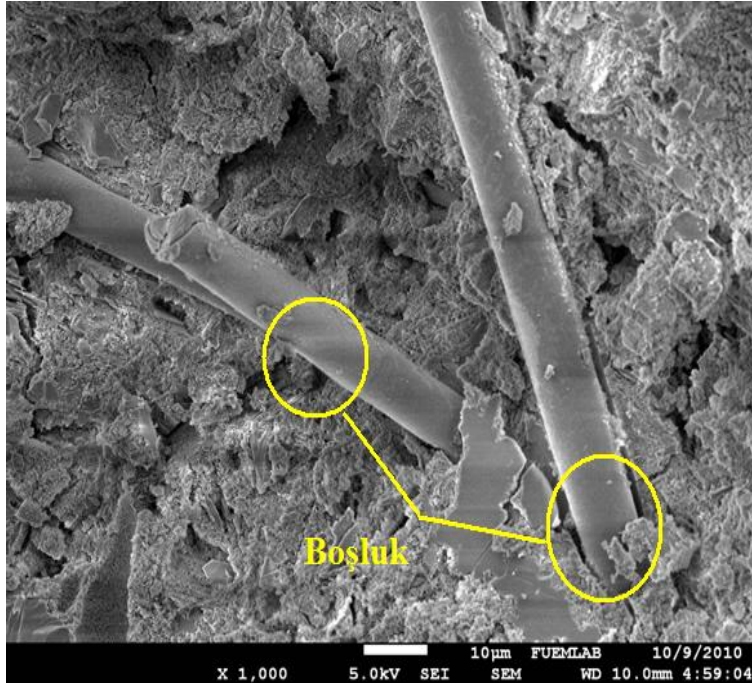
Şekil 3.4. 300 çimento dozlu, su/çimento oranı 0.55 olan referans beton numunesine ait SEM görüntüsü (X1000)



Şekil 3.5. 300 çimento dozlu, su/çimento oranı 0.55 olan 10 kg/m³ cam lif içeren beton numunesine ait SEM görüntüsü (X1000)



Şekil 3.6. 300 çimento dozlu, su/çimento oranı 0.50 olan referans beton numunesine ait SEM görüntüsü (X1000)



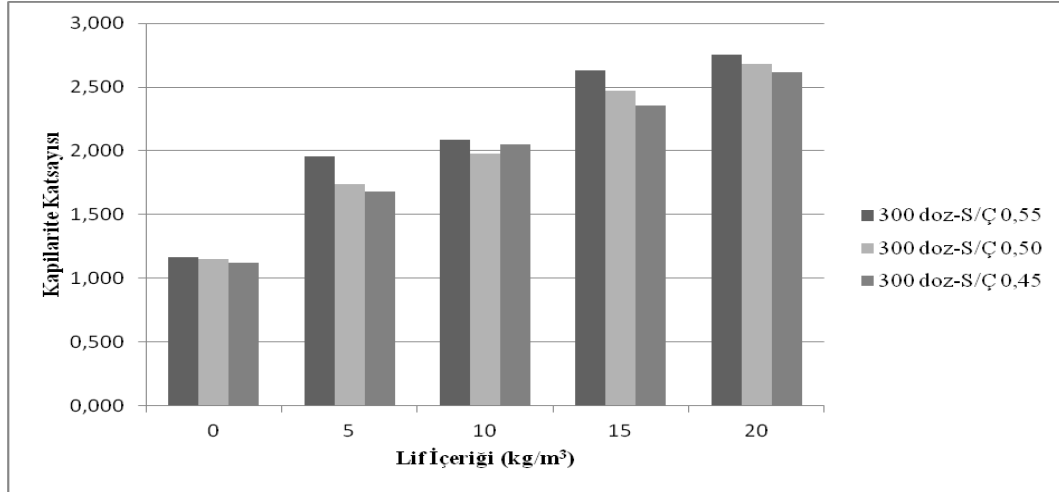
Şekil 3.7. 300 çimento dozlu, su/çimento oranı 0.50 olan 10 kg/m³ cam lif içeren beton numunesine ait SEM görüntüsü (X1000)

3.2. Numunelerin Kapiler Su Emme Tayini Sonuçları

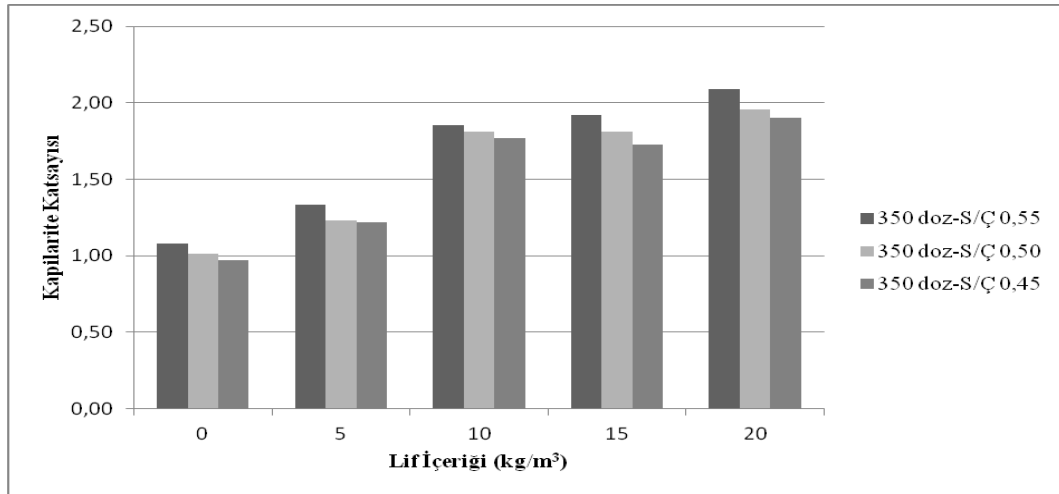
Deneysel çalışmalarda elde edilen beton numunelere ait kapiler su emme katsayıları Tablo 3.2’ de verilmiştir. Numunelerden elde edilen kapilarite katsayılarının, lif oranlarına, çimento dozajına ve su/çimento oranına göre değişim grafikleri Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’ da verilmiştir.

Tablo 3.2. Numunelerin kapiler su emme katsayıları

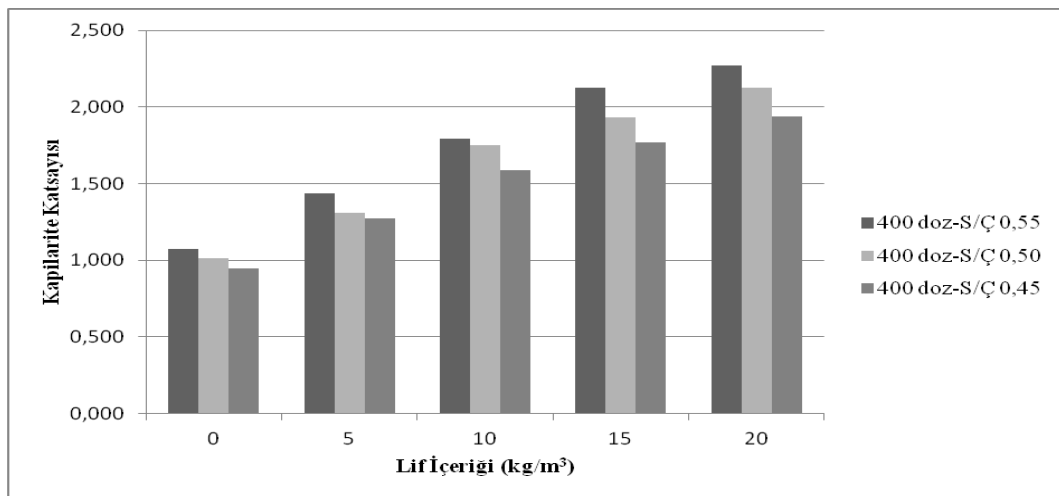
Numune	Kapilarite Katsayısı $10^{-3} \text{ (cm/sn}^{1/2}\text{)}$	Numune	Kapilarite Katsayısı	Numune	Kapilarite Katsayısı $10^{-3} \text{ (cm/sn}^{1/2}\text{)}$
R-D30-SÇ55-L0	1,165	R-D35-SÇ55-L0	1,080	R-D40-SÇ55-L0	1,072
L-D30-SÇ55-L5	2,186	L-D35-SÇ55-L5	1,335	L-D40-SÇ55-L5	1,437
L-D30-SÇ55-L10	2,084	L-D35-SÇ55-L10	1,854	L-D40-SÇ55-L10	1,795
L-D30-SÇ55-L15	2,628	L-D35-SÇ55-L15	1,922	L-D40-SÇ55-L15	2,126
L-D30-SÇ55-L20	2,756	L-D35-SÇ55-L20	2,092	L-D40-SÇ55-L20	2,271
R-D30-SÇ50-L0	1,190	R-D35-SÇ50-L0	1,012	R-D40-SÇ50-L0	1,012
L-D30-SÇ50-L5	1,740	L-D35-SÇ50-L5	1,233	L-D40-SÇ50-L5	1,310
L-D30-SÇ50-L10	1,980	L-D35-SÇ50-L10	1,812	L-D40-SÇ50-L10	1,752
L-D30-SÇ50-L15	2,470	L-D35-SÇ50-L15	1,812	L-D40-SÇ50-L15	1,931
L-D30-SÇ50-L20	2,680	L-D35-SÇ50-L20	1,956	L-D40-SÇ50-L20	2,126
R-D30-SÇ45-L0	1,120	R-D35-SÇ45-L0	0,970	R-D40-SÇ45-L0	0,944
L-D30-SÇ45-L5	1,684	L-D35-SÇ45-L5	1,216	L-D40-SÇ45-L5	1,276
L-D30-SÇ45-L10	2,050	L-D35-SÇ45-L10	1,769	L-D40-SÇ45-L10	1,590
L-D30-SÇ45-L15	2,356	L-D35-SÇ45-L15	1,727	L-D40-SÇ45-L15	1,769
L-D30-SÇ45-L20	2,620	L-D35-SÇ45-L20	1,905	L-D40-SÇ45-L20	1,939



Şekil 3.8. Numunelerden elde edilen kapilarite katsayıları değişimi (300 Çimento dozajı için)



Şekil 3.9. Numunelerden elde edilen kapilarite katsayıları değişimi (350 Çimento dozajı için)



Şekil 3.10. Numunelerden elde edilen kapilarite katsayıları değişimi (400 Çimento dozajı için)

Çalışmalar sonucunda kapilerite katsayısı, numunelerin çimento dozaj değerlerinin artmasıyla azalmıştır. Numunelerin su/çimento oranlarının azalmasıyla benzer şekilde kapilerite katsayıları azalmaktadır fakat lif içeriğinin artması ile kapilerite katsayılarında artış meydana gelmiştir. Demirel, B. ve Gönen, T. [33], kapiler su emme özelliğinin numunelerin boşluk yapıları ile alakalı olduğunu belirtmiştir. Demirel, B. ve Keleştemur, O. ‘ ya göre [32], beton içerisinde öğütülmüş pomza miktarı arttıkça, kapiler su emme katsayısı değerinde artışlar meydana gelmiştir. Çalışmada elde edilen kapiler su emme katsayılarındaki değişim literatürde yapılan çalışmalara uyumluluk göstermiştir.

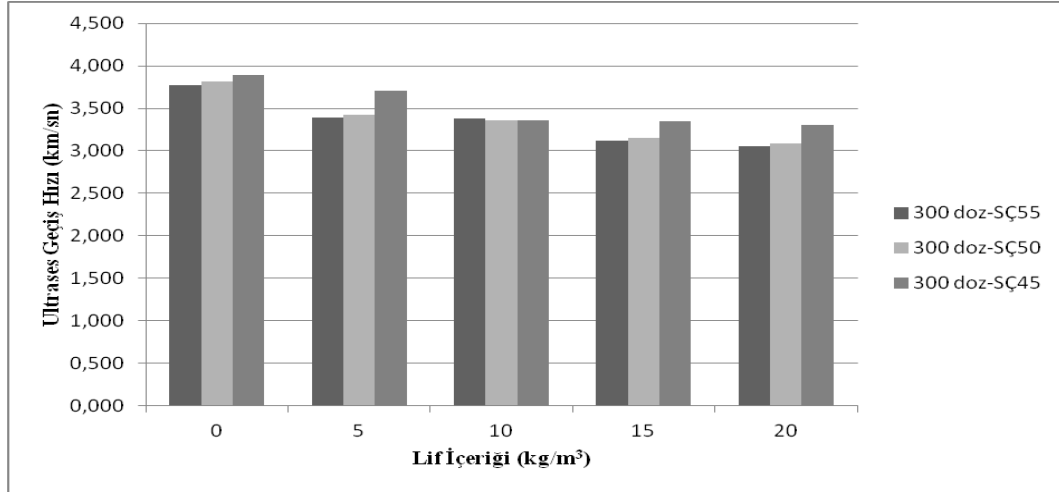
3.3. Numunelerin Ultrases Geçiş Hızı Tayini Sonuçları

Deneysel çalışmalarda elde edilen beton numunelere ait ultrases geçiş hızı değerleri Tablo 3.3’ de verilmiştir.

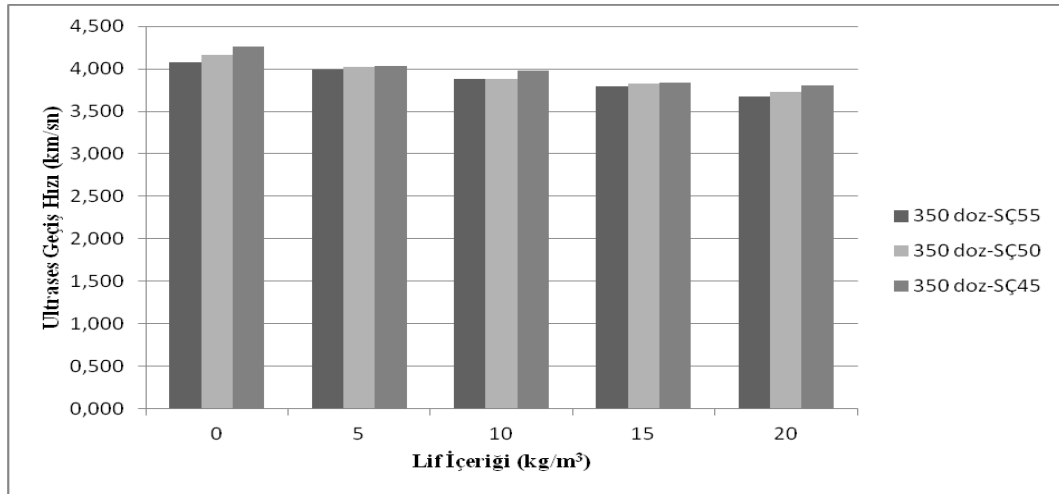
Tablo 3.3. Numunelere ait ultrases geçiş hızı değerleri

Numune No	Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)	Numune No	Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)	Numune No	Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)
R-D30-SÇ55-L0	3,777	R-D35-SÇ55-L0	4,077	R-D40-SÇ55-L0	4,124
L-D30-SÇ55-L5	3,396	L-D35-SÇ55-L5	3,988	L-D40-SÇ55-L5	4,016
L-D30-SÇ55-L10	3,344	L-D35-SÇ55-L10	3,880	L-D40-SÇ55-L10	3,906
L-D30-SÇ55-L15	3,118	L-D35-SÇ55-L15	3,799	L-D40-SÇ55-L15	3,839
L-D30-SÇ55-L20	3,053	L-D35-SÇ55-L20	3,671	L-D40-SÇ55-L20	3,693
R-D30-SÇ50-L0	3,820	R-D35-SÇ50-L0	4,162	R-D40-SÇ50-L0	4,197
L-D30-SÇ50-L5	3,422	L-D35-SÇ50-L5	4,024	L-D40-SÇ50-L5	4,061
L-D30-SÇ50-L10	3,359	L-D35-SÇ50-L10	3,883	L-D40-SÇ50-L10	3,906
L-D30-SÇ50-L15	3,155	L-D35-SÇ50-L15	3,831	L-D40-SÇ50-L15	3,872
L-D30-SÇ50-L20	3,086	L-D35-SÇ50-L20	3,724	L-D40-SÇ50-L20	3,690
R-D30-SÇ45-L0	3,887	R-D35-SÇ45-L0	4,264	R-D40-SÇ45-L0	4,167
L-D30-SÇ45-L5	3,702	L-D35-SÇ45-L5	4,032	L-D40-SÇ45-L5	4,098
L-D30-SÇ45-L10	3,361	L-D35-SÇ45-L10	3,976	L-D40-SÇ45-L10	3,941
L-D30-SÇ45-L15	3,353	L-D35-SÇ45-L15	3,839	L-D40-SÇ45-L15	3,883
L-D30-SÇ45-L20	3,309	L-D35-SÇ45-L20	3,806	L-D40-SÇ45-L20	3,704

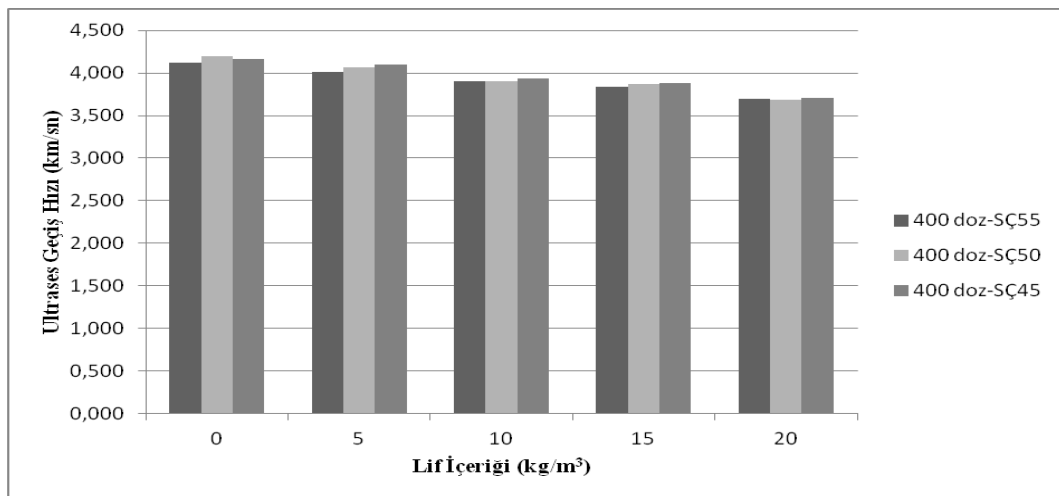
Beton numunelerin ultrases geçiş hızlarının, lif oranlarına, çimento dozajına ve su/çimento oranına göre değişim grafikleri Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’ da verilmiştir.



Şekil 3.11. Numunelerden elde edilen ultrases hızarı değişimi (300 Çimento dozajı için)



Şekil 3.12. Numunelerden elde edilen ultrases hızarı değişimi (350 Çimento dozajı için)



Şekil 3.13. Numunelerden elde edilen ultrases hızarı değişimi (400 Çimento dozajı için)

Numunelerin ultrases geçiş hızları, imento dozaj değerinin artmasıyla artış göstermiştir. Ayrıca su/imento oranlarının azalmasıyla numunelerin ultrases geçiş hızları artmıştır. Ancak numunelerdeki cam lif içeriğinin artması ile ultrases geçiş hızlarında azalma meydana gelmiştir. Subaşı S. [34], betonun görünür boşluk miktarı, ultrases geçiş hızını etkilediğini ve boşluk miktarının artması ile ultrases geçiş hızının azalmakta olduğunu belirtmiştir. Yıldız, S. ve diğerlerine göre [35], Artan ortam sıcaklığına bağlı olarak beton numunelerin ultrases geçiş hızları daha düşük değerler almıştır. Negatif sıcaklıklarda beton numunelerin boşluklarında bulunan suyun donmasına bağlı olarak boşluk miktarı azalmıştır. Dolayısıyla, düşük sıcaklıklarda bekletilen numunelerin ultrases geçiş süreleri azalmış, geçiş hızları ise artmıştır. Çalışmada elde edilen ultrases geçiş hızı değişimleri literatürle uyumluluk göstermektedir.

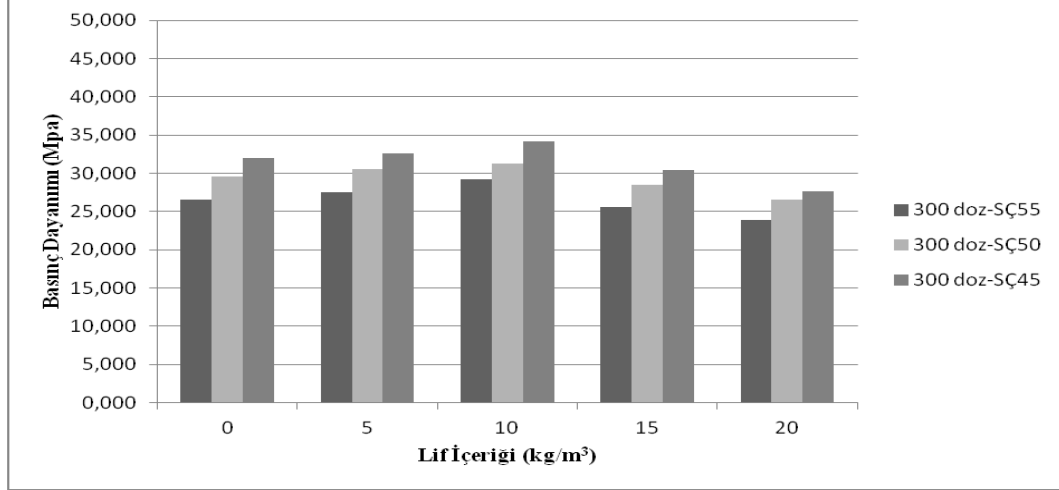
3.4. Numunelerin Basınç Dayanımı Tayini Sonuçları

Deneysel çalışmalarda elde edilen beton numunelere ait basınç dayanımı değerleri Tablo 3.4’ de verilmiştir.

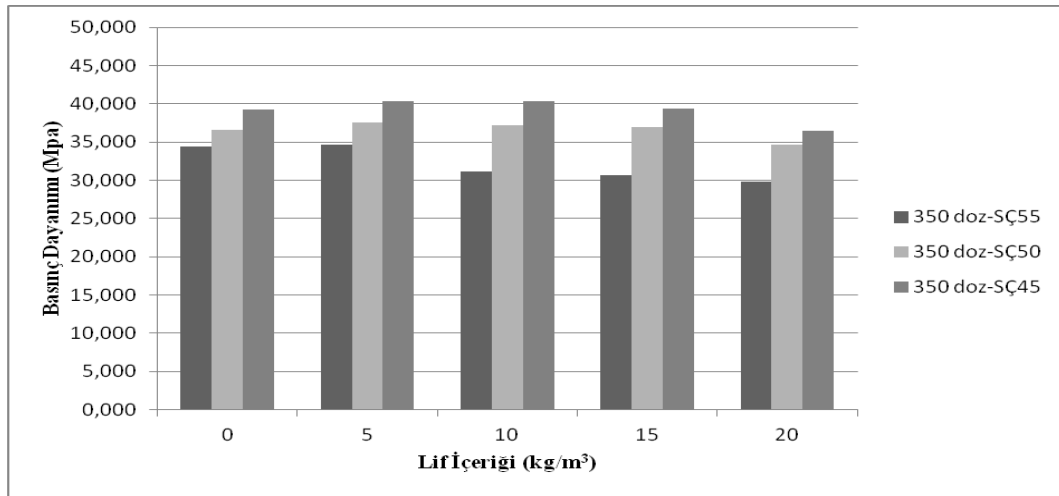
Tablo 3.4. Numunelere ait basınç dayanımı değerleri

Numune	Basınç dayanımı (Mpa)	Numune	Basınç dayanımı (Mpa)	Numune	Basınç dayanımı (Mpa)
R-D30-S55-L0	26,500	R-D35-S55-L0	34,433	R-D40-S55-L0	43,300
L-D30-S55-L5	27,533	L-D35-S55-L5	34,653	L-D40-S55-L5	43,693
L-D30-S55-L10	29,250	L-D35-S55-L10	31,197	L-D40-S55-L10	43,623
L-D30-S55-L15	25,617	L-D35-S55-L15	30,707	L-D40-S55-L15	42,743
L-D30-S55-L20	23,850	L-D35-S55-L20	29,810	L-D40-S55-L20	40,550
R-D30-S50-L0	29,583	R-D35-S50-L0	36,563	R-D40-S50-L0	45,150
L-D30-S50-L5	30,567	L-D35-S50-L5	37,553	L-D40-S50-L5	45,710
L-D30-S50-L10	31,247	L-D35-S50-L10	37,250	L-D40-S50-L10	45,990
L-D30-S50-L15	28,440	L-D35-S50-L15	36,933	L-D40-S50-L15	43,300
L-D30-S50-L20	26,520	L-D35-S50-L20	34,617	L-D40-S50-L20	42,123
R-D30-S45-L0	32,007	R-D35-S45-L0	39,270	R-D40-S45-L0	46,333
L-D30-S45-L5	32,640	L-D35-S45-L5	40,327	L-D40-S45-L5	46,940
L-D30-S45-L10	34,130	L-D35-S45-L10	40,353	L-D40-S45-L10	46,707
L-D30-S45-L15	30,457	L-D35-S45-L15	39,377	L-D40-S45-L15	45,150
L-D30-S45-L20	27,677	L-D35-S45-L20	36,527	L-D40-S45-L20	42,150

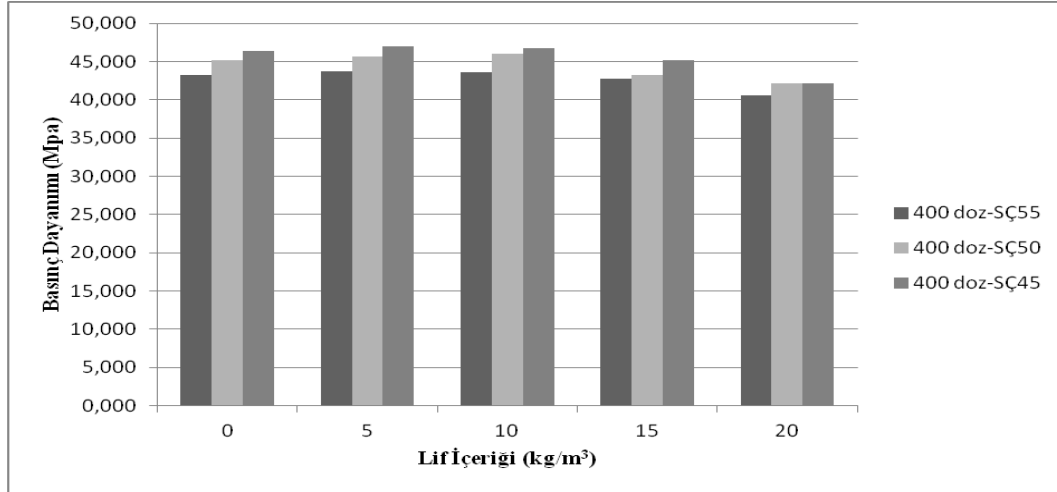
Beton numunelerin basınç dayanımı değerlerinin, lif oranlarına, çimento dozajına ve su/çimento oranına göre değişim grafikleri Şekil 3.10, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’ de verilmiştir.



Şekil 3.14. Numunelerden elde edilen basınç dayanımı değişimi (300 Çimento dozajı için)

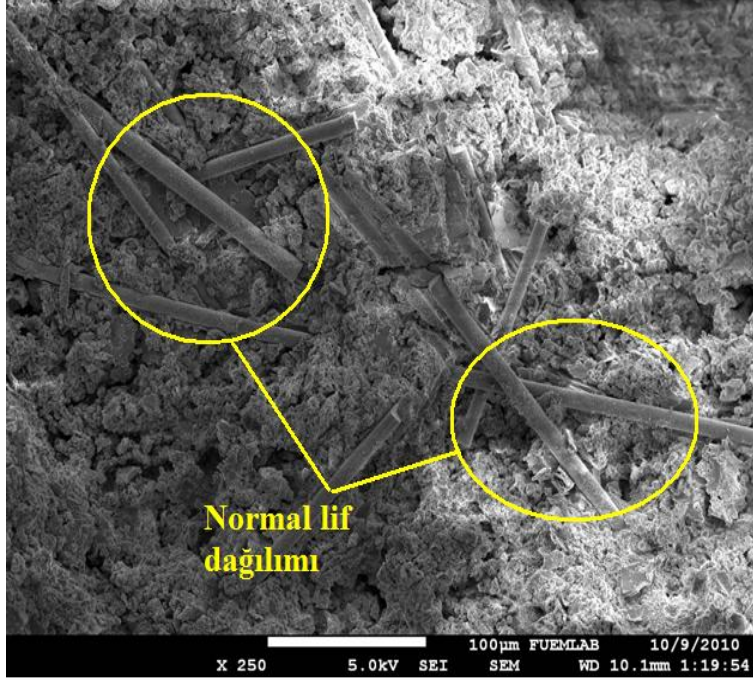


Şekil 3.15. Numunelerden elde edilen basınç dayanımı değişimi (350 Çimento dozajı için)

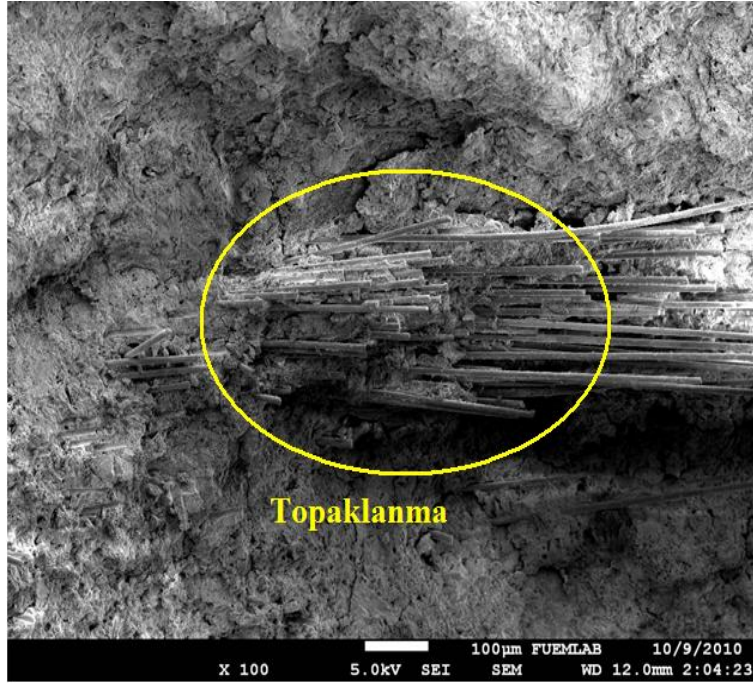


Şekil 3.16. Numunelerden elde edilen basınç dayanımı değişimi (400 Çimento dozajı için)

Numunelerin basınç dayanımları çimento dozaj değerinin artmasıyla artış göstermiştir. Benzer şekilde su/çimento oranlarının azalmasıyla numunelerin basınç dayanımları artmıştır. Cam lif içeriğinin numunelerin basınç dayanımları üzerindeki etkileri değişiklik göstermektedir. Genel olarak basınç dayanımı üzerinde lif içeriğinin belirgin bir değişim göstermemiştir. Çalışmalar sonucunda özellikle 5 ve 10 kg/m³ lif içeren numunelerde basınç artışı meydana gelmiştir. Ancak lif oranının artmasıyla basınç dayanımlarında azalmalar meydana gelmiştir. Özellikle yüksek cam lif içeriğine sahip numunelerde meydana gelen basınç dayanım düşüşü, cam liflerin topaklanmaya sebep olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum SEM analizlerinde açıkça görülmektedir (Şekil 3.13 ve 3.14).



Şekil 3.17. 300 çimento dozlu, su/çimento oranı 0.55 olan 10 kg/m³ cam lif içeren beton numunesine ait SEM görüntüsü (X1000)



Şekil 3.18. 300 çimento dozlu, su/çimento oranı 0.55 olan 20 kg/m³ cam lif içeren beton numunesine ait SEM görüntüsü (X1000)

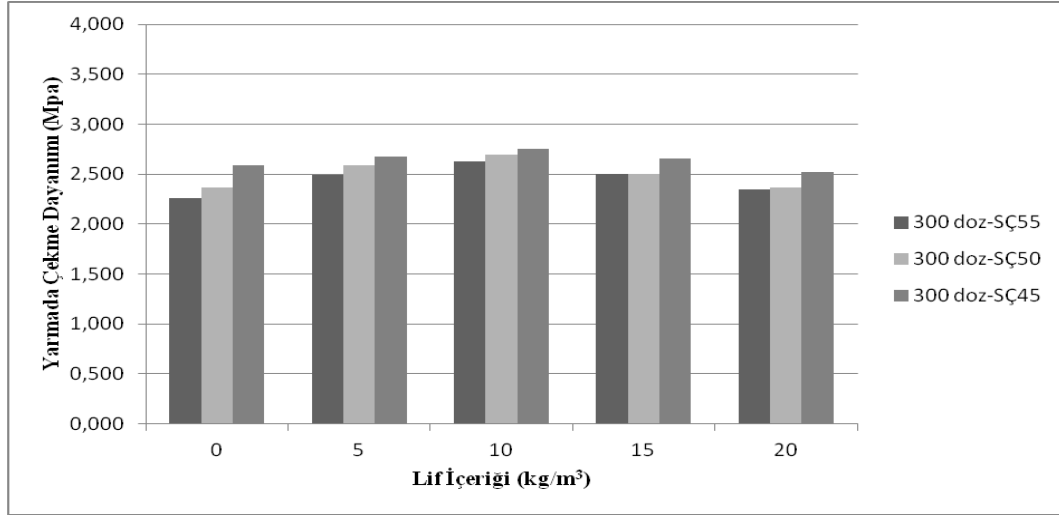
3.5. Numunelerin Yarmada Çekme Dayanımı Tayini Sonuçları

Deneysel çalışmalarda elde edilen beton numunelere ait yarmada çekme dayanımı değerleri Tablo 3.5’ de verilmiştir.

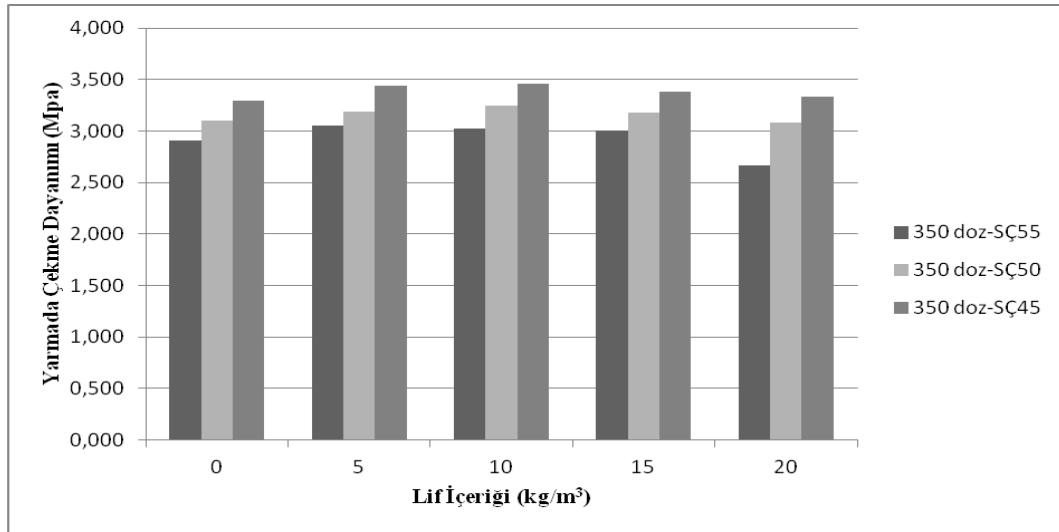
Tablo 3.5. Numunelere ait yarmada çekme dayanımı değerleri

Numune	Yarmada çekme dayanımı (Mpa)	Numune	Yarmada çekme dayanımı (Mpa)	Numune	Yarmada çekme dayanımı (Mpa)
R-D30-SÇ55-L0	2,256	R-D35-SÇ55-L0	2,908	R-D40-SÇ55-L0	3,464
L-D30-SÇ55-L5	2,496	L-D35-SÇ55-L5	3,051	L-D40-SÇ55-L5	3,519
L-D30-SÇ55-L10	2,624	L-D35-SÇ55-L10	3,026	L-D40-SÇ55-L10	3,640
L-D30-SÇ55-L15	2,497	L-D35-SÇ55-L15	3,003	L-D40-SÇ55-L15	3,565
L-D30-SÇ55-L20	2,351	L-D35-SÇ55-L20	2,662	L-D40-SÇ55-L20	3,376
R-D30-SÇ50-L0	2,365	R-D35-SÇ50-L0	3,104	R-D40-SÇ50-L0	3,629
L-D30-SÇ50-L5	2,589	L-D35-SÇ50-L5	3,193	L-D40-SÇ50-L5	3,710
L-D30-SÇ50-L10	2,697	L-D35-SÇ50-L10	3,242	L-D40-SÇ50-L10	3,733
L-D30-SÇ50-L15	2,503	L-D35-SÇ50-L15	3,181	L-D40-SÇ50-L15	3,596
L-D30-SÇ50-L20	2,363	L-D35-SÇ50-L20	3,085	L-D40-SÇ50-L20	3,464
R-D30-SÇ45-L0	2,589	R-D35-SÇ45-L0	3,290	R-D40-SÇ45-L0	3,785
L-D30-SÇ45-L5	2,679	L-D35-SÇ45-L5	3,443	L-D40-SÇ45-L5	3,939
L-D30-SÇ45-L10	2,755	L-D35-SÇ45-L10	3,459	L-D40-SÇ45-L10	3,884
L-D30-SÇ45-L15	2,659	L-D35-SÇ45-L15	3,378	L-D40-SÇ45-L15	3,773
L-D30-SÇ45-L20	2,518	L-D35-SÇ45-L20	3,335	L-D40-SÇ45-L20	3,684

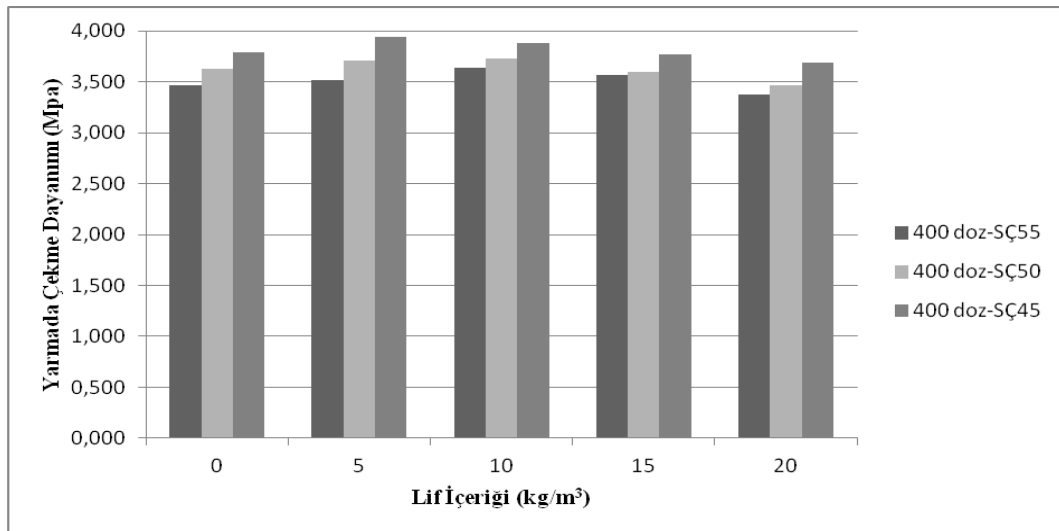
Beton numunelerin yarmada çekme dayanımı değerlerinin, lif oranlarına, çimento dozajına ve su/çimento oranına göre değişim grafikleri Şekil 3.13, Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’ de verilmiştir.



Şekil 3.19. Numunelerden elde edilen yarmada çekme dayanımı değişimi (300 Çimento dozajı için)



Şekil 3.20. Numunelerden elde edilen yarmada çekme dayanımı değişimi (350 Çimento dozajı için)

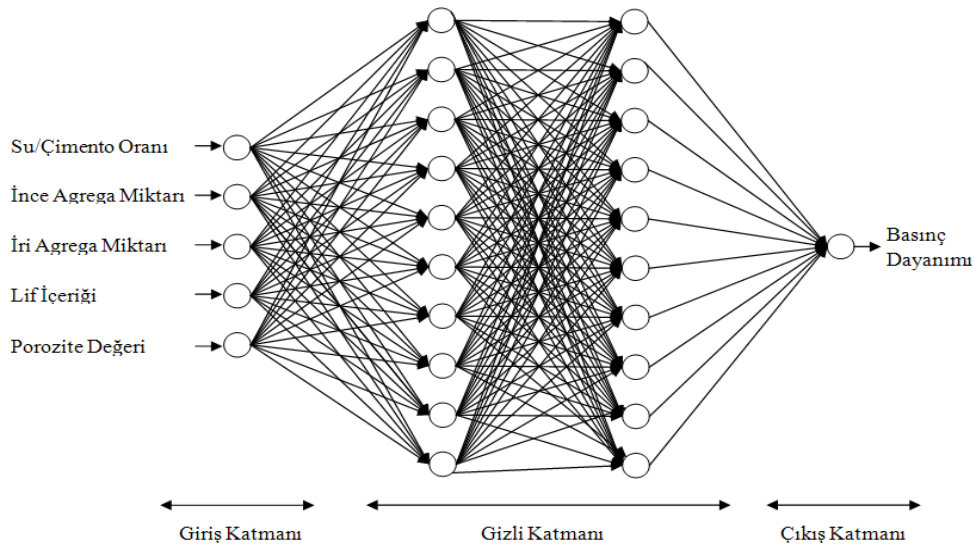


Şekil 3.21. Numunelerden elde edilen yarmada çekme dayanımı değişimi (400 Çimento dozajı için)

Numunelerin yarmada çekme dayanımları, çimento dozaj değerlerinin artması ile artmıştır aynı şekilde su/çimento oranının azalması ile yarmada çekme dayanımında artış meydana gelmiştir. Numunelerde bulunan cam lif içeriği genel olarak yarmada çekme dayanımlarını olumlu etkilemiş, özellikle 5 ve 10 kg/m³ cam lif içeren numunelerde yarmada çekme dayanımlarında en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Yaprak, H. ve diğerleri [2]' ne göre, cam lifler beton içerisinde dağılarak erken dönem çatlaklarının oluşumunu engelleyerek tokluğunu arttırmakta ve daha sünek bir özellik kazandırmaktadır. Çalışmada elde edilen sonuçlar literatürle uyum sergilemektedir.

3.6. Numunelerin Basınç Dayanımlarının Tahmini

Beton numunelerin basınç dayanımlarını tahmin eden yapay sinir ağı modelinde ileri beslemeli (feed-forward) ağ yapısı kullanılmıştır. Kullanılan ağ modeli Şekil 3.16' de gösterilmektedir.



Şekil 3.22. Çalışmalarda basınç dayanımı tahmini için kullanılan yapay sinir ağı modeli

Hazırlanan yapay sinir ağı modelinde kullanılan girdi ve çıktı değerleri Tablo 3.6' da, yapay sinir ağı için seçilen parametreler ise Tablo 3.7' de verilmiştir.

Tablo 3.6. Basınç dayanımı tahmini için kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri

Girdi ve çıktı değişkenleri	Eğitim ve test için kullanılan veriler	
	Minimum	Maksimum
Su/Çimento oranı	0,45	0,55
İnce agrega miktarı (kg)	1150,34	1367,56
İri agrega miktarı (kg)	619,41	736,38
Lif içeriği (kg)	0	20
Porozite değeri (%)	7,472	12,613
Basınç dayanımı (MPa)	23,850	46940

Tablo 3.7. Basınç dayanımı tahmini için kullanılan parametreler

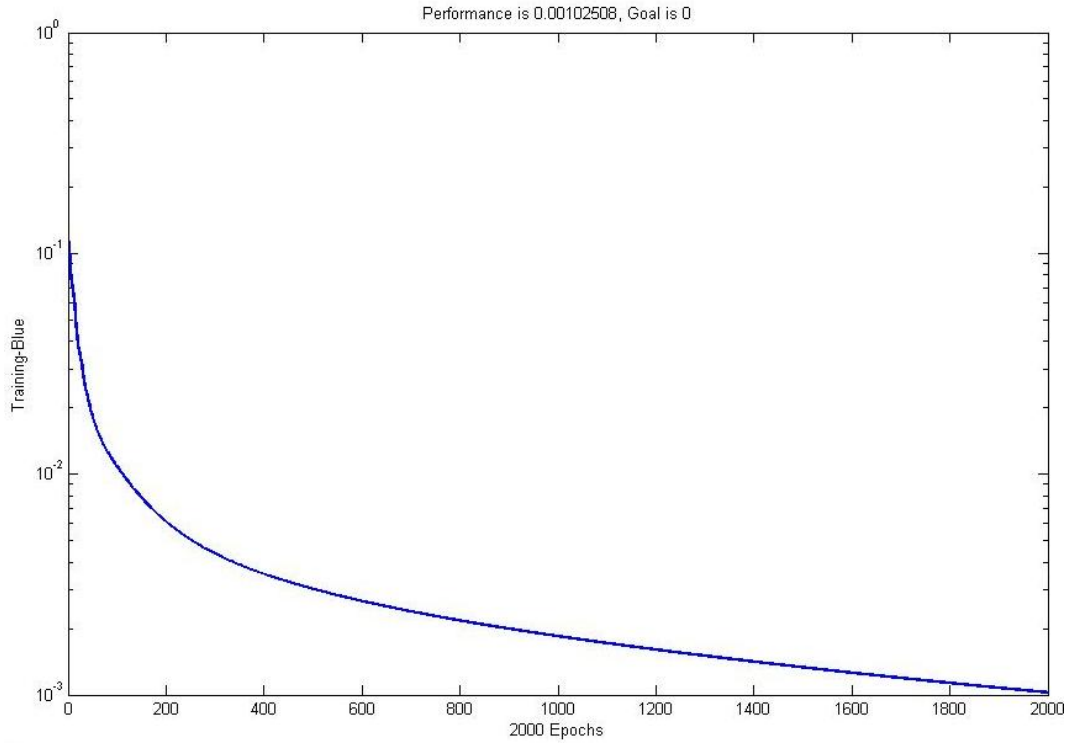
Giriş katmanındaki nöron sayısı	5
Gizli katman sayısı	2
Gizli katmandaki nöron sayısı	20
Çıktı katmanındaki nöron sayısı	1
Momentum katsayısı	0,90
Eğitim katsayısı	0,08
İterasyon sayısı	2000
Transfer fonksiyonu	Tanjant sigmoid

Yapay sinir ağının eğitiminde kullanmak amacıyla 45 seriden 36' sı seçilmiştir. Seçilen bu serilerde bulunan veriler Tablo 3.8' de verilmiştir.

Tablo 3.8. Basınç dayanımı tahmini için ağırlık eğitiminde kullanılan veriler

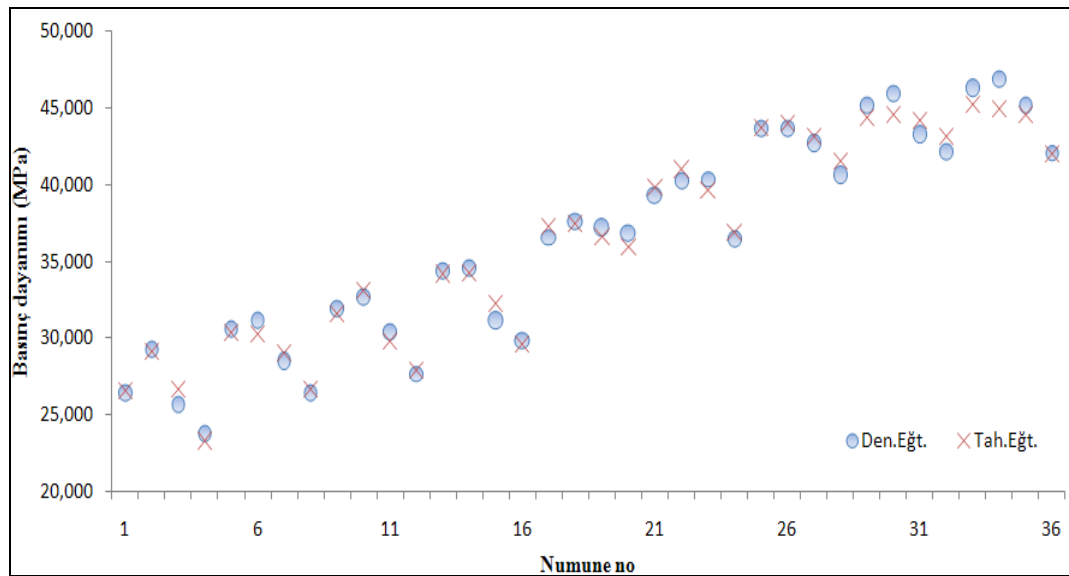
No	Su/Çimento	İnce agrega miktarı (kg)	İri agrega miktarı (kg)	Lif miktarı (kg/m ³)	Porozite değeri	Basınç dayanımı (Mpa)
1	0,550	1311,988	706,455	0,000	8,235	26,500
2	0,550	1311,988	706,455	10,000	10,980	29,250
3	0,550	1311,988	706,455	15,000	12,367	25,617
4	0,550	1311,988	706,455	20,000	12,570	23,850
5	0,500	1339,776	721,418	5,000	10,274	30,567
6	0,500	1339,776	721,418	10,000	10,490	31,247
7	0,500	1339,776	721,418	15,000	12,099	28,440
8	0,500	1339,776	721,418	20,000	12,190	26,520
9	0,450	1367,563	736,380	0,000	7,710	32,007
10	0,450	1367,563	736,380	5,000	10,230	32,640
11	0,450	1367,563	736,380	15,000	11,856	30,457
12	0,450	1367,563	736,380	20,000	11,960	27,677
13	0,550	1231,166	662,935	0,000	7,975	34,433
14	0,550	1231,166	662,935	5,000	9,568	34,653
15	0,550	1231,166	662,935	10,000	10,798	31,197
16	0,550	1231,166	662,935	20,000	12,113	29,810
17	0,500	1263,584	680,392	0,000	7,690	36,563
18	0,500	1263,584	680,392	5,000	9,390	37,553
19	0,500	1263,584	680,392	10,000	10,510	37,250
20	0,500	1263,584	680,392	15,000	11,030	36,933
21	0,450	1296,003	697,848	0,000	7,472	39,270
22	0,450	1296,003	697,848	5,000	9,310	40,327
23	0,450	1296,003	697,848	10,000	10,380	40,353
24	0,450	1296,003	697,848	20,000	11,880	36,527
25	0,550	1150,343	619,415	5,000	10,750	43,693
26	0,550	1150,343	619,415	10,000	11,703	43,623
27	0,550	1150,343	619,415	15,000	12,119	42,743
28	0,550	1150,343	619,415	20,000	12,613	40,550
29	0,500	1187,393	639,365	0,000	7,689	45,150
30	0,500	1187,393	639,365	10,000	11,544	45,990
31	0,500	1187,393	639,365	15,000	11,650	43,300
32	0,500	1187,393	639,365	20,000	11,910	42,123
33	0,450	1224,443	659,315	0,000	7,620	46,333
34	0,450	1224,443	659,315	5,000	10,492	46,940
35	0,450	1224,443	659,315	15,000	11,820	45,150
36	0,450	1224,443	659,315	20,000	11,620	42,150

Eğitim verileri ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen en iyi sonuç olan modelin ortalama karesel hatasındaki azalma Şekil 3.17’ de verilmiştir. Görüldüğü gibi eğitim sonrası oluşan ortalama karesel hata $1,02.10^{-4}$ olarak bulunmuştur.

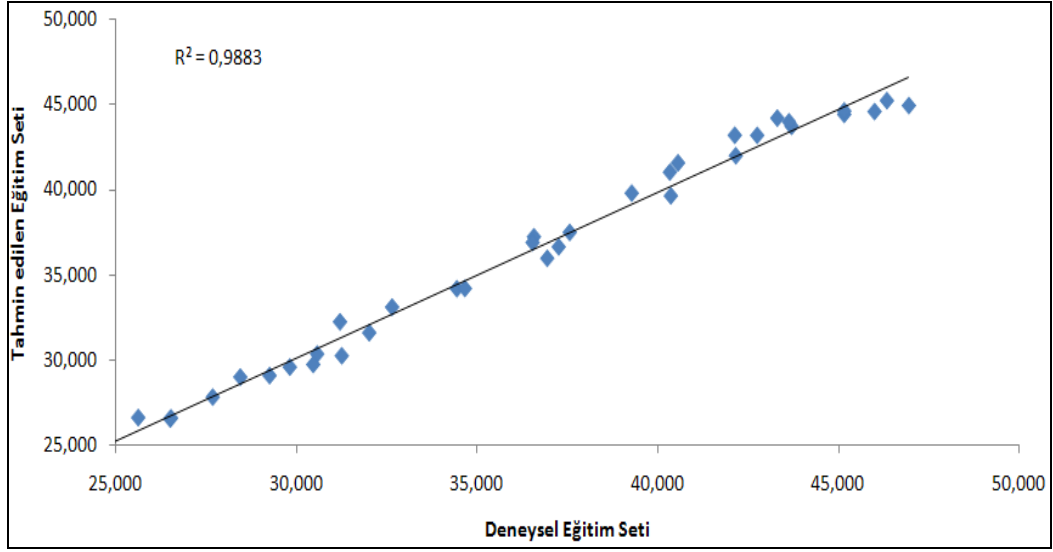


Şekil 3.23. Eğitim sırasında yapay sinir ağı modelinin ortalama karesel hata azalma eğrisi

Eğitim sonrası tahmin edilen basınç dayanım değerleri ile deneysel basınç dayanım değerleri arasındaki benzeşim Şekil 3.18’ de verilmiştir. Eğitim sonrası tahmin edilen veriler ile deneysel veriler arasında oluşan korelasyon Şekil 3.19’ de verilmiştir.



Şekil 3.24. Eğitim sonrası tahmin edilen basınç dayanım değerleri ile deneysel basınç dayanım değerleri arasındaki ilişki



Şekil 3.25. Eğitim sonrası tahmin edilen basınç dayanım değerleri ile deneysel basınç dayanım değerleri arasındaki korelasyon

Eğitim sonrası tahmin edilen basınç dayanım değerleri ile deneysel basınç dayanım değerlerinin karşılaştırılması Tablo 3.9’ da verilmiştir.

Tablo 3.9. Tahmin edilen basınç dayanım değerleri ile deneysel basınç dayanım değerlerinin karşılaştırılması

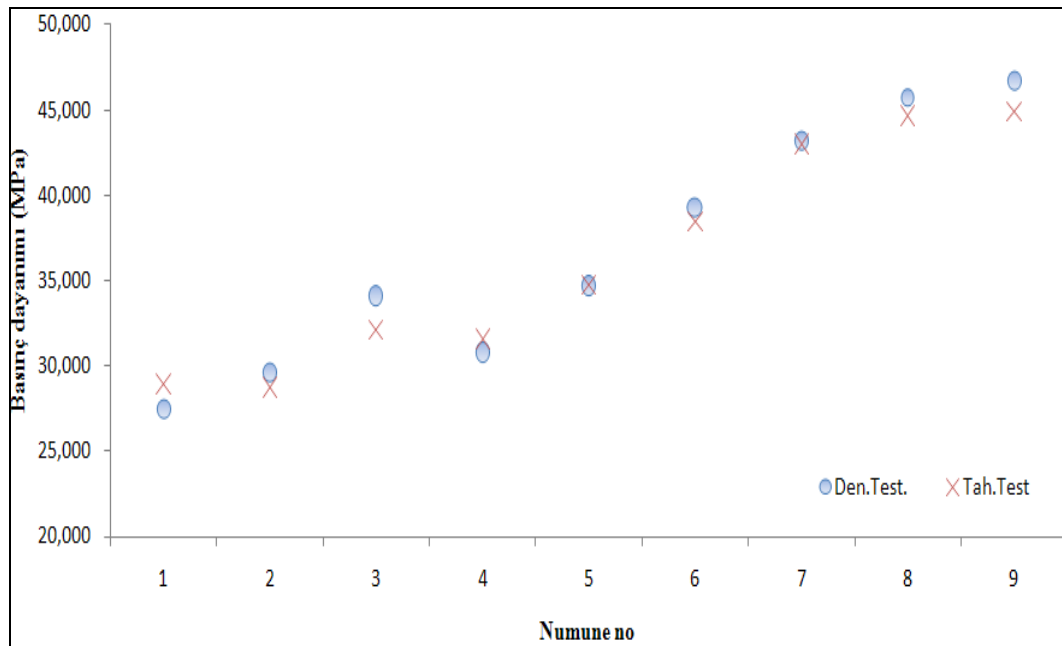
No	Deneysel basınç dayanımı (Mpa)	Tahmin edilen basınç dayanımı (Mpa)	No	Deneysel basınç dayanımı (Mpa)	Tahmin edilen basınç dayanımı (Mpa)
1	26,500	26,600	19	37,250	36,660
2	29,250	29,136	20	36,933	35,990
3	25,617	26,680	21	39,270	39,802
4	23,850	23,336	22	40,327	41,028
5	30,567	30,396	23	40,353	39,645
6	31,247	30,294	24	36,527	36,916
7	28,440	29,048	25	43,693	43,708
8	26,520	26,663	26	43,623	43,977
9	32,007	31,643	27	42,743	43,179
10	32,640	33,138	28	40,550	41,570
11	30,457	29,785	29	45,150	44,404
12	27,677	27,879	30	45,990	44,571
13	34,433	34,216	31	43,300	44,187
14	34,653	34,231	32	42,123	43,187
15	31,197	32,276	33	46,333	45,208
16	29,810	29,632	34	46,940	44,921
17	36,563	37,252	35	45,150	44,605
18	37,553	37,506	36	42,150	41,986

Yapay sinir ağının eğitiminden sonra seriler arasından seçilen 9 adet veri ağın test aşamasında kullanılmıştır. Seçilen bu serilerde bulunan veriler Tablo 3.10’ da verilmiştir.

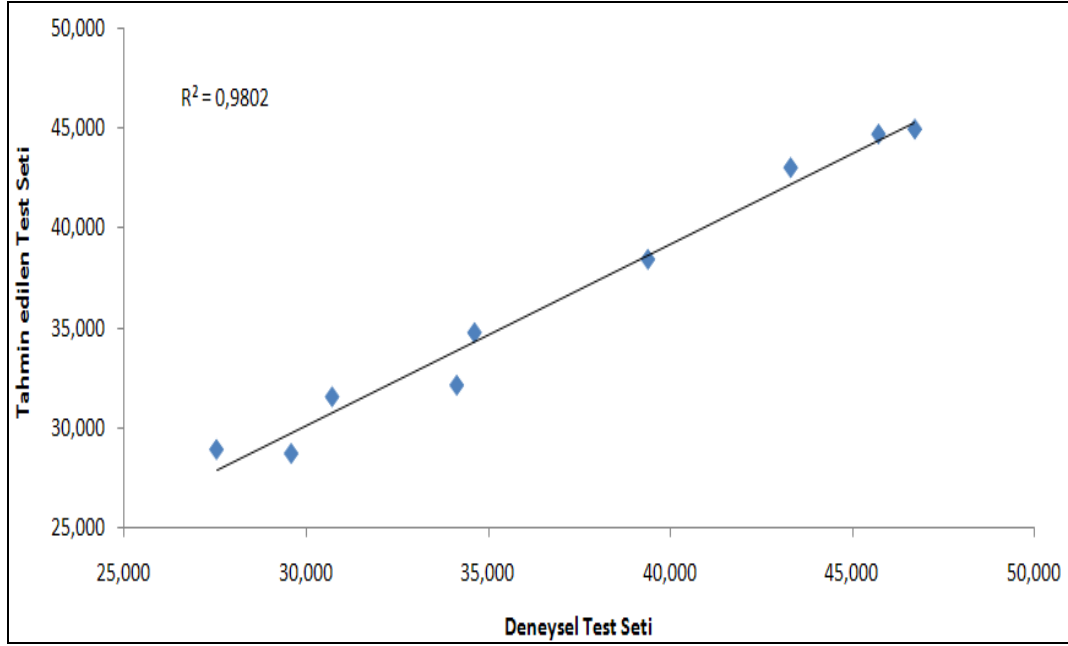
Tablo 3.10. Basınç dayanımı tahmini için ağın test aşamasında kullanılan veriler

No	Su/Çimento oranı	İnce agrega miktarı (kg)	İri agrega miktarı (kg)	Lif miktarı (kg/m ³)	Porozite değeri (%)	Basınç dayanımı (Mpa)
1	0,550	1311,988	706,455	5,000	10,560	27,533
2	0,500	1339,776	721,418	0,000	8,060	29,583
3	0,450	1367,563	736,380	10,000	10,150	34,130
4	0,550	1231,166	662,935	15,000	11,117	30,707
5	0,500	1263,584	680,392	20,000	11,960	34,617
6	0,450	1296,003	697,848	15,000	10,790	39,377
7	0,550	1150,343	619,415	0,000	9,218	43,300
8	0,500	1187,393	639,365	5,000	10,795	45,710
9	0,450	1224,443	659,315	10,000	11,445	46,707

Test sonrası tahmin edilen basınç dayanım değerleri ile deneysel basınç dayanım değerleri arasındaki benzeşim Şekil 3.20’ de verilmiştir. Eğitim sonrası tahmin edilen veriler ile deneysel veriler arasında oluşan korelasyon Şekil 3.21’ de verilmiştir.



Şekil 3.26. Test sonrası tahmin edilen basınç dayanım değerleri ile deneysel basınç dayanım değerleri arasındaki ilişki



Şekil 3.27. Test sonrası tahmin edilen basınç dayanım değerleri ile deneysel basınç dayanım değerleri arasındaki korelasyon

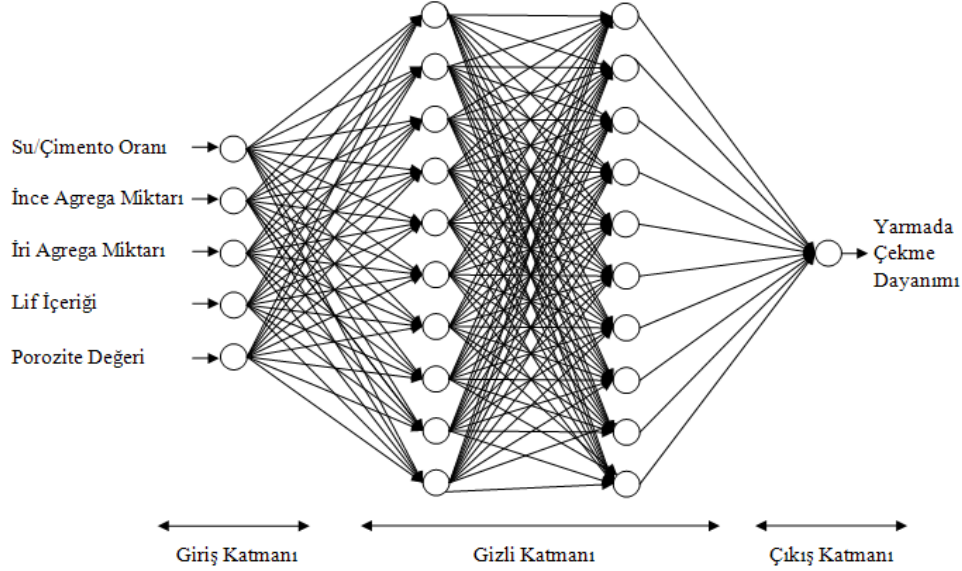
Test sonrası tahmin edilen basınç dayanım değerleri ile deneysel basınç dayanım değerlerinin karşılaştırılması Tablo 3.11’ da verilmiştir.

Tablo 3.11. Tahmin edilen basınç dayanım değerleri ile deneysel basınç dayanım değerlerinin karşılaştırılması

No	Deneysel basınç dayanımı (Mpa)	Tahmin edilen basınç dayanımı (Mpa)
1	27,533	28,953
2	29,583	28,753
3	34,130	32,157
4	30,707	31,587
5	34,617	34,781
6	39,377	38,435
7	43,300	43,008
8	45,710	44,679
9	46,707	44,926

3.7. Numunelerin Yarmada Çekme Dayanımlarının Tahmini

Beton numunelerin yarmada çekme dayanımlarını tahmin eden yapay sinir ağı modelinde ileri beslemeli (feed-forward) ağ yapısı kullanılmıştır. Kullanılan ağ modeli Şekil 3.22’ de gösterilmektedir.



Şekil 3.28. Çalışmalarda yarmada çekme dayanımı tahmini için kullanılan yapay sinir ağı modeli

Hazırlanan yapay sinir ağı modelinde kullanılan girdi ve çıktı değerleri Tablo 3.12’ de, yapay sinir ağı için seçilen parametreler ise Tablo 3.13’ de verilmiştir.

Tablo 3.12. Yarmada çekme dayanımı tahmini için kullanılan girdi ve çıktı değişkenleri

Girdi ve çıktı değişkenleri	Eğitim ve test için kullanılan veriler	
	Minimum	Maksimum
Su/Çimento oranı	0,45	0,55
İnce agreg a miktarı (kg)	1150,34	1367,56
İri agreg a miktarı (kg)	619,41	736,38
Lif içeriği (kg)	0	20
Porozite değeri (%)	7,472	12,613
Basınç dayanımı (MPa)	2,256	3,939

Tablo 3.13. Yarmada çekme dayanımı tahmini için kullanılan parametreler

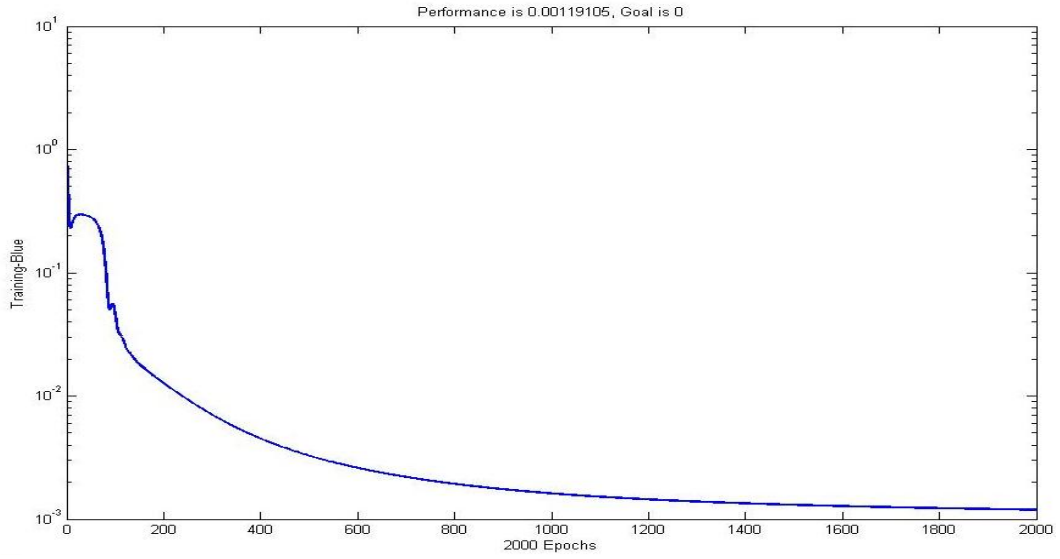
Giriş katmanındaki nöron sayısı	5
Gizli katman sayısı	2
Gizli katmandaki nöron sayısı	20
Çıktı katmanındaki nöron sayısı	1
Momentum katsayısı	0,90
Eğitim katsayısı	0,05
İterasyon sayısı	2000
Transfer fonksiyonu	Tanjant sigmoid

Yapay sinir ağının eğitiminde kullanmak amacıyla 45 seriden 36' sı seçilmiştir. Seçilen bu serilerde bulunan veriler Tablo 3.14' de verilmiştir.

Tablo 3.14. Yarmada çekme dayanımı tahmini için ağırlık eğitiminde kullanılan veriler

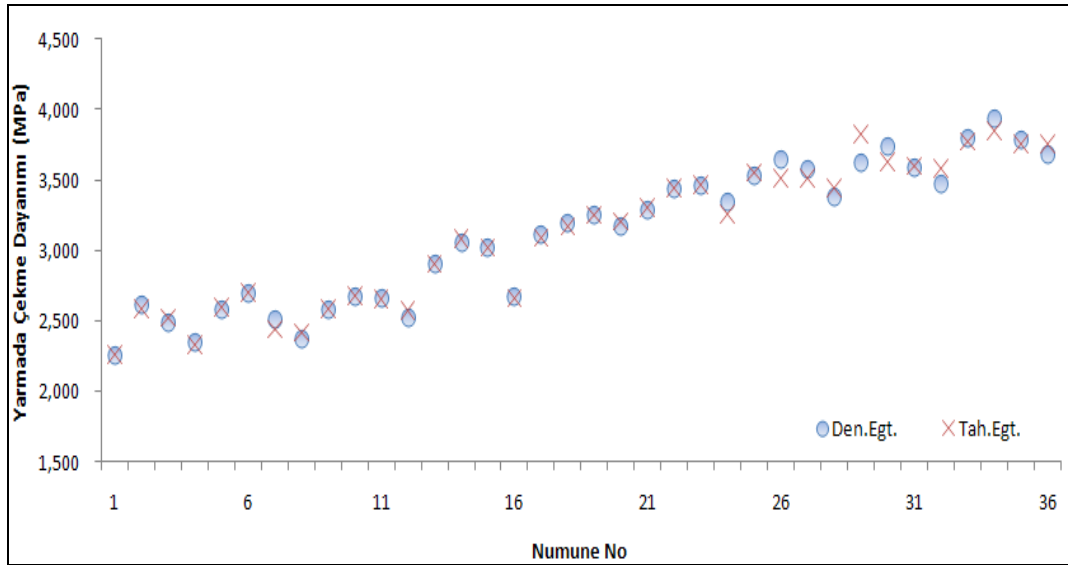
No	Su/Çimento	İnce agrega miktarı (kg)	İri agrega miktarı (kg)	Lif miktarı (kg/m ³)	Porozite değeri (%)	Basınç dayanımı (Mpa)
1	0,550	1311,988	706,455	0,000	8,235	26,500
2	0,550	1311,988	706,455	10,000	10,980	29,250
3	0,550	1311,988	706,455	15,000	12,367	25,617
4	0,550	1311,988	706,455	20,000	12,570	23,850
5	0,500	1339,776	721,418	5,000	10,274	30,567
6	0,500	1339,776	721,418	10,000	10,490	31,247
7	0,500	1339,776	721,418	15,000	12,099	28,440
8	0,500	1339,776	721,418	20,000	12,190	26,520
9	0,450	1367,563	736,380	0,000	7,710	32,007
10	0,450	1367,563	736,380	5,000	10,230	32,640
11	0,450	1367,563	736,380	15,000	11,856	30,457
12	0,450	1367,563	736,380	20,000	11,960	27,677
13	0,550	1231,166	662,935	0,000	7,975	34,433
14	0,550	1231,166	662,935	5,000	9,568	34,653
15	0,550	1231,166	662,935	10,000	10,798	31,197
16	0,550	1231,166	662,935	20,000	12,113	29,810
17	0,500	1263,584	680,392	0,000	7,690	36,563
18	0,500	1263,584	680,392	5,000	9,390	37,553
19	0,500	1263,584	680,392	10,000	10,510	37,250
20	0,500	1263,584	680,392	15,000	11,030	36,933
21	0,450	1296,003	697,848	0,000	7,472	39,270
22	0,450	1296,003	697,848	5,000	9,310	40,327
23	0,450	1296,003	697,848	10,000	10,380	40,353
24	0,450	1296,003	697,848	20,000	11,880	36,527
25	0,550	1150,343	619,415	5,000	10,750	43,693
26	0,550	1150,343	619,415	10,000	11,703	43,623
27	0,550	1150,343	619,415	15,000	12,119	42,743
28	0,550	1150,343	619,415	20,000	12,613	40,550
29	0,500	1187,393	639,365	0,000	7,689	45,150
30	0,500	1187,393	639,365	10,000	11,544	45,990
31	0,500	1187,393	639,365	15,000	11,650	43,300
32	0,500	1187,393	639,365	20,000	11,910	42,123
33	0,450	1224,443	659,315	0,000	7,620	46,333
34	0,450	1224,443	659,315	5,000	10,492	46,940
35	0,450	1224,443	659,315	15,000	11,820	45,150
36	0,450	1224,443	659,315	20,000	11,620	42,150

Eğitim verileri ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen en iyi sonuç olan modelin ortalama karesel hatasındaki azalma Şekil 3.23’ de verilmiştir. Görüldüğü gibi eğitim sonrası oluşan ortalama karesel hata $1,19 \cdot 10^{-4}$ olarak bulunmuştur.

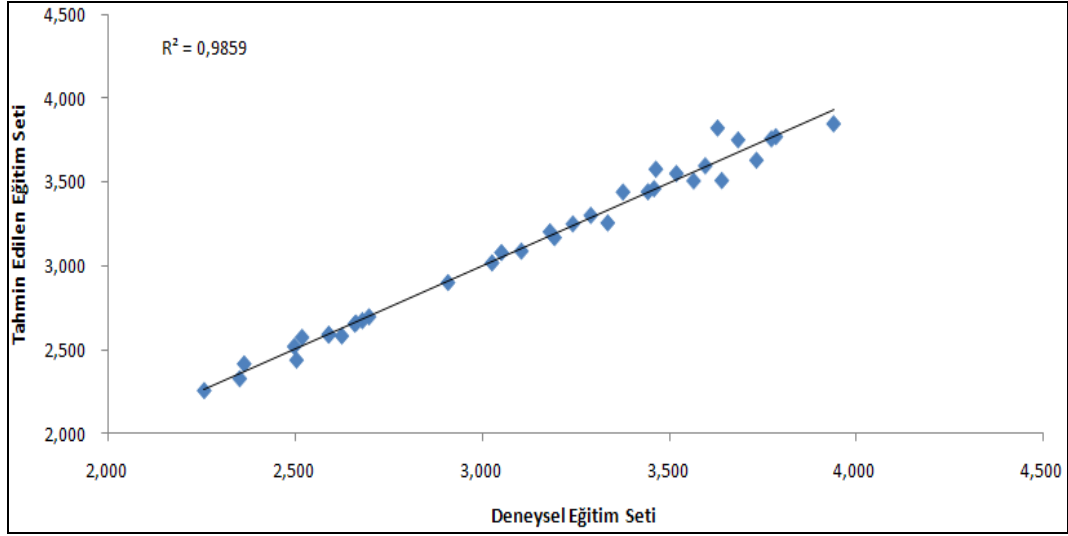


Şekil 3.29. Eğitim sırasında yapay sinir ağı modelinin ortalama karesel hata azalma eğrisi

Eğitim sonrası tahmin edilen yarmada çekme dayanım değerleri ile deneysel yarmada çekme dayanım değerleri arasındaki benzeşim Şekil 3.24’ de verilmiştir. Eğitim sonrası tahmin edilen veriler ile deneysel veriler arasında oluşan korelasyon ise Şekil 3.25’ de verilmiştir.



Şekil 3.30. Eğitim sonrası tahmin edilen yarmada çekme dayanım değerleri ile deneysel yarmada çekme dayanım değerleri arasındaki ilişki



Şekil 3.31. Eğitim sonrası tahmin edilen yarmada çekme dayanım değerleri ile deneysel yarmada çekme dayanım değerleri arasındaki korelasyon

Eğitim sonrası tahmin edilen yarmada çekme dayanım değerleri ile deneysel yarmada çekme dayanım değerlerinin karşılaştırılması Tablo 3.15’ de verilmiştir.

Tablo 3.15. Tahmin edilen yarmada çekme dayanım değerleri ile deneysel yarmada çekme dayanım değerlerinin karşılaştırılması

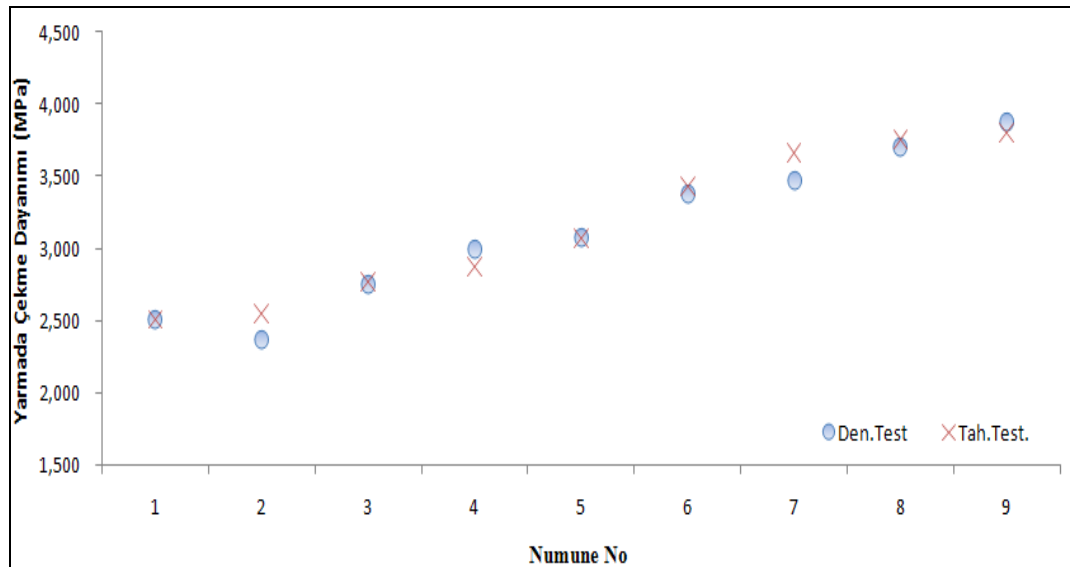
No	Deneysel yarmada çekme dayanımı (Mpa)	Tahmin edilen yarmada çekme dayanımı (Mpa)	No	Deneysel yarmada çekme dayanımı (Mpa)	Tahmin edilen yarmada dayanımı (Mpa)
1	2,256	2,260	19	3,242	3,253
2	2,624	2,585	20	3,181	3,205
3	2,497	2,522	21	3,290	3,304
4	2,351	2,330	22	3,443	3,444
5	2,589	2,595	23	3,459	3,463
6	2,697	2,699	24	3,335	3,259
7	2,503	2,440	25	3,519	3,553
8	2,363	2,418	26	3,640	3,512
9	2,589	2,590	27	3,565	3,509
10	2,679	2,676	28	3,376	3,443
11	2,659	2,656	29	3,629	3,825
12	2,518	2,576	30	3,733	3,632
13	2,908	2,903	31	3,596	3,599
14	3,051	3,082	32	3,464	3,579
15	3,026	3,021	33	3,785	3,773
16	2,662	2,662	34	3,939	3,849
17	3,104	3,091	35	3,773	3,760
18	3,193	3,171	36	3,684	3,754

Yapay sinir ağının eğitiminden sonra seriler arasından seçilen 9 adet veri ağın test aşamasında kullanılmıştır. Seçilen bu serilerde bulunan veriler Tablo 3.16’ da verilmiştir.

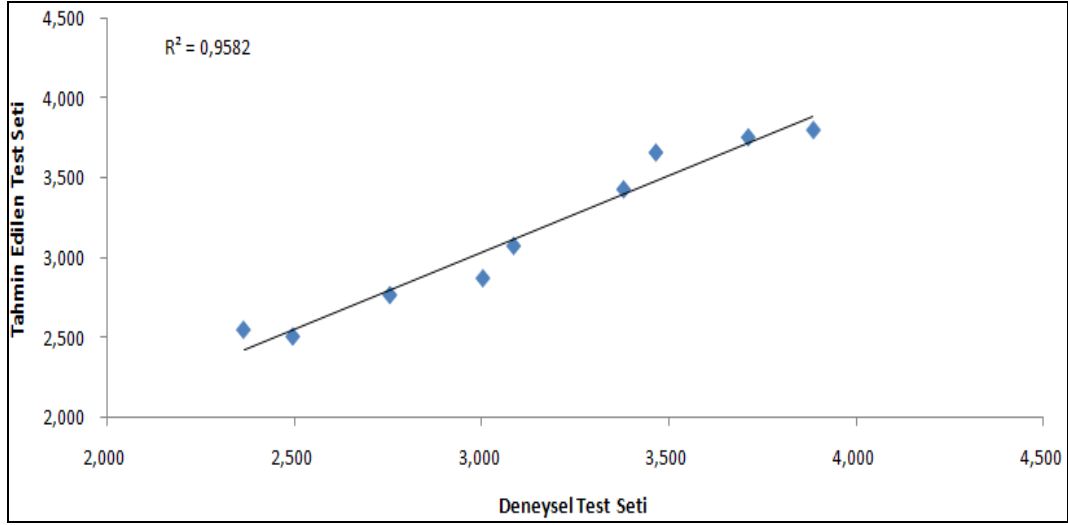
Tablo 3.16. Yarmada çekme dayanımı tahmini için ağın test aşamasında kullanılan veriler

No	Su/Çimento oranı	İnce agrega miktarı (kg)	İri agrega miktarı (kg)	Lif miktarı (kg/m ³)	Porozite değeri (%)	Basınç dayanımı (Mpa)
1	0,550	1311,988	706,455	5,000	10,560	27,533
2	0,500	1339,776	721,418	0,000	8,060	29,583
3	0,450	1367,563	736,380	10,000	10,150	34,130
4	0,550	1231,166	662,935	15,000	11,117	30,707
5	0,500	1263,584	680,392	20,000	11,960	34,617
6	0,450	1296,003	697,848	15,000	10,790	39,377
7	0,550	1150,343	619,415	0,000	9,218	43,300
8	0,500	1187,393	639,365	5,000	10,795	45,710
9	0,450	1224,443	659,315	10,000	11,445	46,707

Test sonrası tahmin edilen yarmada çekme dayanım değerleri ile deneysel yarmada çekme dayanım değerleri arasındaki benzeşim Şekil 3.26’ de verilmiştir. Eğitim sonrası tahmin edilen veriler ile deneysel veriler arasında oluşan korelasyon Şekil 3.27’ de verilmiştir.



Şekil 3.32. Test sonrası tahmin edilen yarmada çekme dayanım değerleri ile deneysel yarmada çekme dayanım değerleri arasındaki ilişki



Şekil 3.33. Test sonrası tahmin edilen yarmada çekme dayanım değerleri ile deneysel yarmada çekme dayanım değerleri arasındaki korelasyon

Test sonrası tahmin edilen yarmada çekme dayanım değerleri ile deneysel yarmada çekme dayanım değerlerinin karşılaştırılması Tablo 3.17’ de verilmiştir.

Tablo 3.17. Tahmin edilen yarmada çekme dayanım değerleri ile deneysel yarmada çekme dayanım değerlerinin karşılaştırılması

No	Deneysel yarmada çekme dayanımı (Mpa)	Tahmin edilen yarmada dayanımı (Mpa)
1	2,496	2,506
2	2,365	2,548
3	2,755	2,765
4	3,003	2,871
5	3,085	3,074
6	3,378	3,429
7	3,464	3,660
8	3,710	3,755
9	3,884	3,801

Çalışmalarda, numunelerin basınç dayanımları tahmini için hazırlanan yapay sinir ağı modelinin eğitiminde oluşan ortalama karesel hata $1,02.10^{-4}$ seviyesinde elde edilmiştir. Numunelerin basınç dayanımları tahmini için hazırlanan yapay sinir ağı modelinin eğitim aşamasında elde edilen korelasyon değeri 0,9883 seviyesindedir. Bu değer eğitim sırasında yapılan tahminin %98,83'lik bir yaklaşım elde edilmiştir. Çalışmalarda, numunelerin basınç dayanımları tahmini için hazırlanan yapay sinir ağı modelinin test aşamasında elde edilen korelasyon değeri 0,9802 seviyesindedir. Test sırasında yapılan tahmininde %98'lik bir yaklaşım elde edilmiştir. Tahmin sonucunda elde edilen basınç dayanım değerleri kabul edilebilir seviyededirler.

Çalışmalarda, numunelerin yarmada çekme dayanımları tahmini için hazırlanan yapay sinir ağı modelinin eğitiminde oluşan ortalama karesel hata $1,19.10^{-4}$ seviyesinde elde edilmiştir. Numunelerin yarmada çekme dayanımları tahmini için hazırlanan yapay sinir ağı modelinin eğitim aşamasında elde edilen korelasyon değeri 0,985 seviyesindedir. Bu değer eğitim sırasında yapılan tahminin %98,5'lik bir yaklaşım elde edilmiştir. Çalışmalarda, numunelerin yarmada çekme dayanımları tahmini için hazırlanan yapay sinir ağı modelinin test aşamasında elde edilen korelasyon değeri 0,958 seviyesindedir. Test sırasında yapılan tahmininde %95,8'lik bir yaklaşım elde edilmiştir. Tahmin sonucunda elde edilen basınç dayanım değerleri kabul edilebilir seviyededirler.

4. SONUÇLAR

Yapılan bütün çalışmaların sonuçları aşağıda değerlendirilmiştir.

- Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen porozite değeri numunelerin dozaj değişimleri ile belirgin bir değişim göstermemesine rağmen numunelerin su/çimento oranlarının azalması ile porozite değerinde azalma meydana gelmiştir ancak cam lif içeriğinin artması ile porozite değerinde artış meydana gelmiştir. En düşük porozite değeri 350 çimento dozlu, su/çimento oranı 0,45 olan referans numuneye aittir. En büyük porozite değeri ise 400 çimento dozlu, su/çimento oranı 0,55 olan ve 20 kg/m³ cam lif içeren numuneye aittir.
- Çalışmalar sonucunda kapilerite katsayısı, numunelerin çimento dozaj değerlerinin artmasıyla azalmıştır. Numunelerin su/çimento oranlarının azalmasıyla benzer şekilde kapilarite katsayıları azalmaktadır fakat lif içeriğinin artması ile kapilarite katsayılarında artış meydana gelmiştir. En düşük kapilarite katsayısı 400 çimento dozlu, su/çimento oranı 0,45 olan referans numuneye aittir. En yüksek kapilarite katsayısı ise 300 çimento dozlu, su/çimento oranı 0,55 olan ve 20 kg/m³ cam lif içeren numuneye aittir.
- Yapılan çalışmalar sonucunda, numunelerin ultra ses geçiş hızları, çimento dozaj değerinin artmasıyla artmıştır benzer şekilde su/çimento oranlarının azalmasıyla numunelerin ultra ses geçiş hızları artmıştır. Ancak numunelerdeki cam lif içeriğinin artması ile ultra ses geçiş hızlarında azalma meydana gelmiştir. En düşük ultra ses geçiş hızı 300 çimento dozlu, su/çimento oranı 0,55 olan 20 kg/m³ cam lif içeren numuneye aittir. En yüksek ultra ses geçiş hızı ise 400 çimento dozlu, su/çimento oranı 0,45 olan referans numuneye aittir.
- Numunelerin basınç dayanımları çimento dozaj değerinin artmasıyla artmıştır benzer şekilde su/çimento oranlarının azalmasıyla numunelerin basınç dayanımları artmıştır. Cam lif içeriğinin numunelerin basınç dayanımları üzerindeki etkileri değişiklik göstermektedir. Genel olarak basınç dayanımı üzerinde lif içeriğinin belirgin bir değişim göstermemiştir. Çalışmalar sonucunda özellikle 5 ve 10 kg/m³ lif içeren numunelerde basınç artışı

meydana gelmiştir. Ancak lif oranının artmasıyla basınç dayanımlarında azalmalar meydana gelmiştir. En düşük basınç dayanımı 300 çimento dozlu, su/çimento oranı 0,55 olan 20 kg/m³ cam lif içeren numuneye aittir. En yüksek basınç dayanımı ise 400 çimento dozlu, su/çimento oranı 0,45 olan 15 kg/m³ cam lif içeren numuneye aittir. Özellikle yüksek cam lif içeriğine sahip numunelerde meydana gelen basınç dayanım düşüşü, cam liflerin topaklanmaya sebep olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum SEM analizlerinde açıkça görülmektedir.

- Numunelerin yarmada çekme dayanımları, çimento dozaj değerlerinin artması ile artmıştır aynı şekilde su/çimento oranının azalması ile yarmada çekme dayanımında artış meydana gelmiştir. Numunelerde bulunan cam lif içeriği genel olarak yarmada çekme dayanımlarını olumlu etkilemiş, özellikle 5 ve 10 kg/m³ cam lif içeren numunelerde yarmada çekme dayanımlarında en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Cam lifler beton içerisinde dağılarak erken dönem çatlaklarının oluşumunu engelleyerek tokluğunu arttırmaktadır. En düşük yarmada çekme dayanımı 300 çimento dozlu, su/çimento oranı 0,55 olan referans numuneye aittir. En yüksek basınç dayanımı ise 400 çimento dozlu, su/çimento oranı 0,45 olan 5 kg/m³ cam lif içeren numuneye aittir.
- Çalışmalarda, numunelerin basınç dayanımları tahmini için hazırlanan yapay sinir ağı modelinin eğitiminde oluşan ortalama karesel hata $1,02 \cdot 10^{-4}$ seviyesinde elde edilmiştir. Numunelerin basınç dayanımları tahmini için hazırlanan yapay sinir ağı modelinin eğitim aşamasında elde edilen korelasyon değeri 0,98 seviyesindedir. Bu değer eğitim sırasında yapılan tahminin %98'lik bir yaklaşım elde edilmiştir. Çalışmalarda, numunelerin basınç dayanımları tahmini için hazırlanan yapay sinir ağı modelinin test aşamasında elde edilen korelasyon değeri 0,98 seviyesindedir. Test sırasında yapılan tahmininde %98'lik bir yaklaşım elde edilmiştir. Tahmin sonucunda elde edilen basınç dayanım değerleri kabul edilebilir seviyededirler.
- Çalışmalarda, numunelerin yarmada çekme dayanımları tahmini için hazırlanan yapay sinir ağı modelinin eğitiminde oluşan ortalama karesel hata $1,19 \cdot 10^{-4}$ seviyesinde elde edilmiştir. Numunelerin yarmada çekme dayanımları tahmini için hazırlanan yapay sinir ağı modelinin eğitim aşamasında elde edilen korelasyon değeri 0,985 seviyesindedir. Bu değer eğitim sırasında yapılan

tahminin %98,5'lik bir yaklaşımla elde edilmiştir. Çalışmalarda, numunelerin yarmada çekme dayanımları tahmini için hazırlanan yapay sinir ağı modelinin test aşamasında elde edilen korelasyon değeri 0,958 seviyesindedir. Test sırasında yapılan tahmininde %95,8'lik bir yaklaşımla elde edilmiştir. Tahmin sonucunda elde edilen basınç dayanım değerleri kabul edilebilir seviyededirler.

5. ÖNERİLER

- Beton içerisinde takviye elemanı olarak kullanılan cam elyaf, betonun porozite değerini yükseltmektedir. Özellikle yüksek cam lif ilavesi kullanımında bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.
- Cam elyaf katkısının, beton numunelerin basınç dayanımı üzerinde dikkat çekici olumlu bir etki göstermemesi nedeniyle, bu alanda yapılacak çalışmalarda bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.
- Yapılan çalışmada cam elyaf katkısının belli ilave oranlarında beton numunelerinin yarmada çekme dayanımları üzerinde olumlu etkileri görülmüştür. Beton numunelerin yarmada çekme dayanımlarına yönelik güçlendirme çalışmalarında optimum ilave oranları göz önüne alınmalıdır.
- Deneysel çalışmalar sırasında, özellikle yüksek cam elyaf ilaveli numunelerin hazırlanmasında topaklanma sorunları meydana gelmiştir. Cam elyaf katkılı beton üzerine yapılacak çalışmalarda topaklanma olayının yaşanmaması için önlemler alınmalıdır.
- Beton numunelerin tahmininde, yapay sinir ağları kullanılarak oluşturulan modellerin verimli şekilde çalışmaları için, modelde kullanılan veri sayısının ve verilerin problemi tam olarak temsil etmesinin önemli olduğu görülmüştür. Ayrıca modelin parametre değerleri belirlenirken oldukça fazla sayıda deneme yapılması da, verimli sonuçların elde edilmesinde önemlidir. Bu nedenle yapay sinir ağlarının beton üzerinde hazırlanacak modellemelerinde bu durumlar göz önüne alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1]. **Erdoğan, T.Y.**, 2003. Beton, O.D.T.Ü Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., Ankara.
- [2]. **Yaprak, H., Şimşek, O. and Öneş, A.**, 2004. Cam ve Çelik Liflerin Bazı Beton Özelliklerine Etkisi, *Politeknik Dergisi*, **7**, 353-358.
- [3]. **Durmaz, B.**, 2007. Bölgesel Basınca Maruz Lifli Betonlarda Yatak Mukavemeti, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [4]. **Yıldız, S. and Ulucan, Z.Ç.**, 2008. Beton Borularda Cam Lif Katkısının Tepe Yük Dayanımına Etkisinin Araştırılması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **23**, 267-271.
- [5]. **Wong, C.M.**, 2004. Use of Short Fibres in Structural Concrete to Enhance Mechanical Properties, *Araştırma Projesi*, University of Southern Queensland Faculty of Engineering and Surveying, Australia.
- [6]. **Bentur, A. and Mindess, S.**, 1990. Fibre Reinforced Cementitious Composites, Elsevier Science Publishers L.T.D., London.
- [7]. **Aran, A.**, 1990. Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler, İ.T.Ü. Yayını, İstanbul.
- [8]. **Asi, D.**, 2008. Cam Elyaf Katkılı Kompozit Malzemelerin Aşınma Performansının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- [9]. **Kurt, G.**, 2006. Lif İçeriği ve Su/Çimento Oranının Fibrobetonun Mekanik Davranışına Etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10]. **ASTM-A820M**, 1996. Standard Specification for Steel Fibers for Fiber-Reinforced Concrete, *American Society for Testing And Materials*, Philadelphia.
- [11]. **TS 10513**, 1992. Beton Takviyesinde Kullanılan Çelik Teller, *Türk Standartları*, Ankara.
- [12]. **Mallick, P.K.**, 1993. Fibre Reinforced Composites Materials, Manufacturing, and Design, CRC Press, Boca Raton.

- [13]. **Şahin, Y.**, 2000. Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Kitabevi Tic. L.T.D. Ş.T.İ., Ankara.
- [14]. **Mallick, P.K.**, 1998. Fibrous Materials, Cambridge University Press, Cambridge.
- [15]. **Shah, S.P. and Balaguru, P.N.**, 1992. Fiber Reinforced Cement Composites, McGraw-Hill Press, New York.
- [16]. **Bahadır, B.**, 2007. Liflerin Beton Kırılma Tokluğuna Etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [17]. **Gül, R. and Düzgün, O.A.**, 2005. Betonlarda Çelik Lif Kullanılmasının Etkisi, *D.S.İ. Teknik Bülten*, **100**, 9-18.
- [18]. **Öztemel, E.**, 2006. Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- [19]. **Aral, M.**, 2006. Karma Lif İçeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı Bir Optimum Tasarım, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [20]. **İnce, R.**, 2008. Betonun Kırılmasında Efektif Çatlak Yaklaşımının Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi, *Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu*, 993-1000, Eskişehir.
- [21]. **Ji, T., Lin, T. and Lin, X.**, 2006. A Concrete Mix Proportion Desing Algorithm Based on Artificial Neural Networks, *Cement and Concrete Research*, **36**, 1399-1408.
- [22]. **Parichatprecha R. and Nimityongskul P.**, 2009. Analysis of durability of high performance concrete using artificial neural networks, *Construction and Building Materials*, **23**, 910-917.
- [23]. **Acır, Ş.**, 2007. Beton Basınç Dayanımlarının Yapay Sinir Ağları İle Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- [24]. Elazığ Çimentoş, TİP I 42,5 N çimento özellikleri. http://www.cimentas.com.tr/elazig/index.php/tr/products/detail/PR_EZ_42_5_N
- [25]. **TS 802**, 1985. Beton Karışımı Hesap Esasları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

- [26]. **TS EN 772-4**, 2000. Tabii Taş Kagir Birimlerin Toplam ve Görünen Porozitesi ile Boşluksuz ve Boşluklu Birim Hacim Kütlesinin Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [27]. **TS 4045**, 1985. Yapı Malzemelerinde Kapiler Su Emme Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [28]. **ASTM C597-02**, 2009. Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, *American Society for Testing And Materials*, Philadelphia.
- [29]. **TS EN 12390-3**, 2010. Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney Numunelerinde Basınç Dayanımı Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [30]. **TS EN 12390-6**, 2010. Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney Numunelerinde Yarmada Çekme Dayanımı Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [31]. **Demirel, B. and Gönen, T.**, 2008. Yüksek Sıcaklığın Karbon Lif Takviyeli Hafif Betonda Basınç Dayanımı ve Poroziteye Etkisi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **14**, 223-228.
- [32]. **Demirel, B. and Keseltemur, O.**, 2010. Doğal Pomza Katılarak Üretilen Betonun Yüksek Sıcaklık Altındaki Davranışı, *International Sustainable Buildings Symposium*, 118-121, Ankara.
- [33]. **Demirel, B. and Gönen, T.**, 2007. Karbon Fiber Takviyeli Betonda Farklı Fiber Boyunun Kapilariteye Etkisi, *Fırat Üniversitesi D.A.U.M Dergisi*, **6**, 12-15.
- [34]. **Subaşı S.**, 2009. Genleştirilmiş Kil Agregası ile Taşıyıcı Hafif Beton Üretimi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **24**, 559-567.
- [35]. **Yıldız, S., Kırtel, G. and Kelestemur, O.**, 2009. Ortam Sıcaklığındaki Değişimin Beton Mekanik Özelliklerine Etkisi, *e-Journal of New World Sciences Academy*, **4**, 364-367.
- [36]. **Baştürk, Ö.**, 2008. Beton Yüzeylerine Sarılan Lifli Kompozitlerin Basınç Dayanımına Etkilerinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [37]. **Demircioğlu, G.**, 2006. Kısa Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Kompozit Malzemelerde Elyaf Boyunun Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- [38]. **Gülhan, İ. E.**, 2005. Öngerilmeli Betondan Sandık Kesitli Köprülerin Yapay Sinir Ağları ile Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [39]. **Subaşı, S., Beycioğlu, A. and Emiroğlu, M.**, 2009. Beton Mekanik Özelliklerinin Taze Beton Özelliklerinden Yararlanılarak Yapay Sinir Ağları ile Tahmini, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **3**, 147-155.
- [40]. **Topçu, İ. B., Uygunoğlu, T. and Sivri, M.**, 2006. Puzolanların Beton Basınç Dayanımına Etkisinin Yapay Sinir Ağları ile İncelenmesi, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **2**, 1-10.
- [41]. **Beycioğlu, A., Kılınçarslan, Ş., Başyigit, C., Emiroğlu, M., and Akkurt, İ.**, 2008. Yapay Sinir Ağları ile Ağır Betonların Basınç Dayanımının Tahmini, *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, **20**, 609–616.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Merkez/Aksaray ilinde doğan Yakup BÖLÜKBAŞ, ilk, orta ve lise öğrenimini Aksaray da tamamladıktan sonra, Süleyman Demirel Üniversitesi Yapı Eğitimi Öğretmenliği bölümünü tamamladı. Halen Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.