



ISSN:1306-3111
e-Journal of New World Sciences Academy
2008, Volume: 3, Number: 1
Article Number: A0046

**NATURAL AND APPLIED SCIENCES
CIVIL ENGINEERING**

Received: June 2007
Accepted: December 2007
© 2008 www.newwsa.com

**Ömer Keleşoğlu
Cevdet Emin Ekinci**
University of Firat
okelesoglu@firat.edu.tr
Elazığ-Türkiye

**SİLİS DUMANI KATKILI BETONLARIN ÇARPMA DAYANIMININ
YAPAY SİNİR AĞI İLE BELİRLENMESİ**

ÖZET

Bu çalışmada, silis dumanı katkılı betonların çarpma dayanımı yapay sinir ağları ile tespit edilmiştir. Uygulamada geri yayımlı sinir ağı tercih edilmiş ve datalar normalize edilerek ağa verilmiştir. Ağın eğitimi için gereken eğitim ve test seti, deney dataları kullanılarak hazırlanmıştır. Ağdan elde edilen çıkışlar, deney sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve sonuçların yeterli hassasiyette olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yapay Sinir Ağı, Geri Yayılım Algoritması,
Silis Dumanı, Betonun Çarpma Dayanımı

**DETERMINATION OF THE BUMPING RESISTANCE OF THE CONCRETE ADULTERATED
SILICA FUME BY ANN**

ABSTRACT

In this study, the bumping resistance of the concrete adulterated silica fume has been determined by INN. In application, a backpropagation neural network has been preferred and the data have been presented the network by normalizing. Training and the test sets, which are needed for training of network have been prepared by using the experimental data. The results obtained from the output of network have been compared with the experimental results and it was seen that the results were satisfactory enough.

Keywords: Artificial Neural Network, Back Backpropagation
Algorithm, Silica Fume, Bumping Resistance of Concrete



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Beton yollar ve hava meydanları çarpma etkisi altında bulunurlar. Ayrıca, betonarme kazık ve palplanşların başları bu tür zorlama ile karşı karşıya gelmektedir. Bu gibi yerlerde kullanılan betonların çarpmaya dayanıklı olması gerekmektedir. Bir betonun çarpmaya dayanıklı oluşu basınç ve çekme dayanımının yüksek olması ile ilişkilidir. Bir başka deyişle, normal çakıl yerine kırma taş kullanılması durumunda betonların çarpma etkisine karşı daha mukavemetli olmaktadır. Kırma taşlı betonların ayrıca daha fazla deformasyon yapma kabiliyetine sahip olması da, betonun daha fazla enerji alabilmesi nedeniyle, tokluğunu ve çarpmaya karşı dayanıklılığını artırır. Zamanla betonun deformasyon yapma kabiliyetinde azalma belirli bir süreden sonra, betonun yaşı ilerledikçe çarpma dayanıklılığının azalmasına yol açar [1, 2 ve 3].

Bilim dünyası 1940'lı yıllarda yapay sinir ağları ile tanıştı. Bu alanda yapılan ilk çalışmalar beyin hücrelerinin işlevlerinin ve birbirleri ile haberleşme şekillerinin ortaya çıkarılmasını amaçlamaktaydı. O zamandan beri yapay sinir ağları gerek teorik gerekse pratik anlamda dikkate değer miktarda yol kat etti. Bugün birçok hücrenin belli bir düzende bir araya getirilmesi ve uygun öğrenme algoritmalarının kullanılması ile sinir ağları kurulabilmekte ve bu ağlar çok karmaşık görevleri başarıyla yerine getirebilmektedir [4].

İnsan davranışlarını taklit etmek amacıyla geliştirilen yapay zekâ uygulamalarının bir alt dalı olan yapay sinir ağları, ortaya çıkışından günümüze değin birçok aşamalardan geçmiş ve son yıllardaki teknolojik gelişime paralel olarak gelişimini çok hızlı bir şekilde devam ettirmektedir. Biyolojik sınırlardan esinlenerek elde edilen yapay sinir ağları, doğrusal olmayan ve paralel bilgi işleme özellikleriyle; bulunduğu ortamın değişmesiyle cevaptaki davranışı değiştirebilme, giriş uyarılarındaki küçük değişimleri tolere edebilme, değişik bazı uyarılar karşısında daha önceki uyarılar arasında benzer özellikler keşfederek deneyimi olmadığı halde uyarıyı cevaplayabilme gibi üstün özelliklere sahiptir [5 ve 6].

Yapay sinir ağları tekniği bilgisayar, endüstri, tıp, ekonomi ve askeri uygulamalarda başarıyla uygulandığı gibi, yapı mühendisliğinde de uygulanmaya başlanmıştır. Ghaboussi ve arkadaşları tarafından betonun farklı yüklemeler altındaki gerilme-şekil değiştirme bağıntılarının belirlenmesine başarıyla uygulanmıştır [7]. Sanat betonarme kirişlerin kesme dayanımlarının tespitinde, yapay sinir ağlarını alternatif bir metot olarak vermiştir [8]. Oreta ve Kawashima, bu metodu dairesel beton kolonların gerilme beton kolonların gerilme ve dayanım analizlerinde bu tekniği kullanarak başarılı sonuçlar elde etmiştir [9]. Ayrıca bir binadaki tuğla duvar yalıtım malzemesinin kalınlığı, duvardaki ve tesisattaki ısı kaybının tespitinde yapay sinir ağları kullanılmıştır [10 ve 11]. Daha önce yapılan bu çalışmalarda genelde geri ayılma sinir ağları kullanılmıştır.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada silis katkılı kübik beton numuneler, ardışık çarpma sayısı, numunelerin ağırlık kaybı, darbe öncesi ve sonrası plus geçiş hızına bağlı olarak ardışık çarpma dayanımını verecek şekilde çok katmanlı bir ağ geliştirilmiştir. Ağın girdi elemanlarına çeşitli değerleri verilerek eğitim seti oluşturulmuştur. Ağın eğitimi tamamlandıktan sonra daha önceden eğitim sırasında kullanılmayan veri grupları ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar yeter yaklaşıktadır bulunmuştur. Daha önceden deneysel çalışması yapılmış olan silis



katkıları betonların çarpma dayanımının sonuçları veri olarak kullanılmıştır.

3. DENEYSEL YÖNTEM (EXPERIMENTAL METHOD)

Söz konusu çalışmada kullanılan malzemelerin temel özellikleri ve uygulanan deney yöntemi özetle şöyledir. Deneylerde, Çimento olarak Elazığ Altınova Çimento Fabrikası'ndan temin edilen normal portland çimentosu CEM II/B-M 32.5R, agrega olarak Elazığ-Palu yöresi agregası, TS 3452'ye uygun süperakışkanlaştırıcı ve priz hızlandırıcı katkı maddesi ve silis dumanı olarak da Antalya Elektrometalurji İşletmesinden temin edilen Fesi ve SiFeCr kullanılmıştır.

Tablo 1. Agregaların fiziksel özellikleri [12]
(Table 1. The physical properties of aggregate [12])

Agrega Tane Sınıfı	Birim Ağırlık (Sıkışık) (kg/m ³)	Özgül Ağırlık (DKY)	Su Emme (%)	Mevcut Rutubet (%)	Los Angeles Aşınma (%)
0-4 mm	1760	2.63	1.10	0.72	100 Devir-500 Devir
4.0-16.0 mm	1719	2.74	0.80	0.46	6.98 18.63

Tablo 2. Deneylerde kullanılan çimento ve silis dumanlarının özellikleri [12]
(Table 2. The properties of cement and silica fume [12])

Kimyasal Özellikler	CEM II/B-M 32.5R	FeSi	SiFeCr
Kimyasal Bileşim (%)			
SiO ₂	21.42	94.62	81.40
Al ₂ O ₃	5.47	0.20	4.47
Fe ₂ O ₃	3.12	0.20	1.40
CaO	63.10	1.40	0.82
MgO	2.96	---	1.48
SO ₃	2.40	0.21	1.35
Kızdırma Kaybı	1.54	---	7.26
Tayin Edilemeyen	0.73	1.48	1.82
Çözülmez Kalıntı	0.26	2.16	---
Fiziksel Özellikler			
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3.10	2.36	2.32
Özgül Yüzey (cm ² /g)	3493	---	---

Tablo 3. Katkısız beton (K) karışımı için malzeme miktarı [12]
(Table 3. The amount of material for mixture [12])

Malzeme Cinsi	Kg/m ³
Karma Suyu	214
Çimento	400
İnce Agregası (0/4)	810
İri Agregası (4/16)	920
Toplam	2344

Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3 verilerine göre hazırlanan 10 cm'lik kübik beton numuneleri, ağırlığı 13.8 Kg olan bir cismin 25 cm ve 35 cm'den serbest olarak numune üzerine düşürülmesi ile ardışık çarpma etkisine maruz bırakılmıştır. Çarpma öncesi ve sonrası beton numuneleri üzerinden Ultrasonic Puls Cihazı ile puls geçiş hızı değerleri alınmıştır. Bu değerler referans alınarak darbe sonrasında betonda beklenen eşdeğer basınç dayanımı bulunmuştur [12].



4. YAPAY SİNİR AĞLARI (ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS)

Sinir ağları insan beynindeki nöronlara benzer olarak çalışan karmaşık sistemlerdir. Yani bu ağlar insan beyinin biyolojik fonksiyonlarının basit bir modellenmesinden ibarettir. Ağ, kendisine sunulan veriler arasında bağlantılar kurarak problemi öğrenmekte, deneysel sonuçları depolamakta ve bunları kullanıma hazırlamaktadır [13]. Genel anlamda yapay sinir ağları, beyin bir işlevi yerine getirme yöntemini modellemek için tasarlanan bir sistem olarak tanımlanabilir. Yapay sinir ağları, yapay sinir hücrelerinin birbirleri ile çeşitli şekillerde bağlanmasından oluşur ve genellikle katmanlar şeklinde düzenlenir. Donanım olarak elektronik devrelerle ya da bilgisayarlarda yazılım olarak gerçekleştirilebilir. Beynin bilgi işleme yöntemine uygun olarak yapay sinir ağları, bir öğrenme sürecinden sonra bilgiyi toplama, hücreler arasındaki bağlantı ağırlıkları ile bu bilgiyi saklama ve genelleme yeteneğine sahip paralel dağılmış bir işlemcidir. Öğrenme süreci, arzu edilen amaca ulaşmak için yapay sinir ağları ağırlıklarının yenilenmesini sağlayan öğrenme algoritmalarını ihtiva eder. Yapay sinir ağları, olayların örneklerine bakmakta, ilgili olay hakkında genellemeler yapmakta, bilgiler toplamakta ve daha sonra hiç görmediği örnekler ile karşılaştığında öğrendiği bilgileri kullanarak o örnekler hakkında karar verebilmektedir.

Bir yapay sinir ağları nöronunun matematiksel modeli şöyledir:

Çıkış,

$$y = f(WX + b) \quad (1)$$

şeklinde nöron çıkışı hesaplanır. Buradaki W ağırlıklar matrisi, X ise girişler matrisidir. " n " giriş sayısı olmak üzere;

$$W = w_1, w_2, w_3, \dots, w_n \quad (2)$$

$$X = x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \quad (3)$$

şeklinde yazılabilir. Formülize edersek;

$$net = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b \quad \text{ve} \quad y = f(net) \quad (4)$$

$$y = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b\right) \quad \text{şeklinde de yazılabilir.} \quad (5)$$

Yukarıdaki formülde görülen f aktivasyon fonksiyonudur.

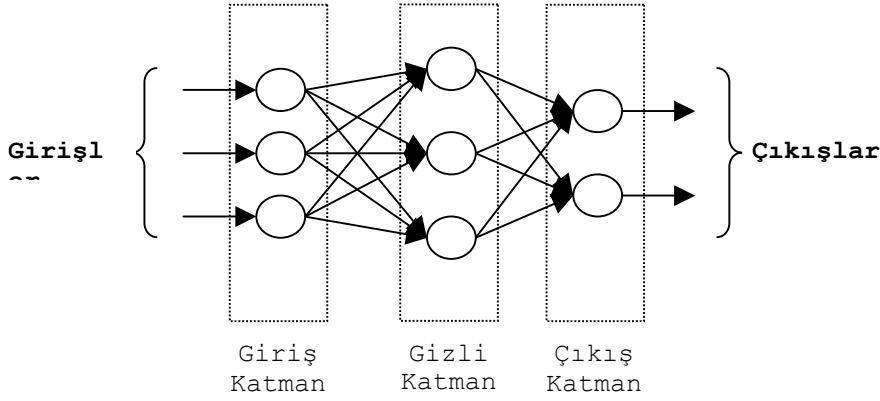
4.1. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme (Learning In Artificial Neural Networks)

Yapay sinir ağlarının öğrenme sürecinde, dış ortamdan gözle veya vücudun diğer organlarıyla uyarıların alınması gibi dış ortamdan girişler alınır, bu girişlerin beyin merkezine iletilerek burada değerlendirilip tepki verilmesi gibi yapay sinir ağında da aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek bir tepki çıkışı üretilir. Bu çıkış yine tecrübeyle verilen çıkışla karşılaştırılarak hata bulunur. Çeşitli öğrenme algoritmalarıyla hata azaltılıp gerçek çıkışa yaklaşılmaya çalışılır. Bu çalışma süresince yenilenen yapay sinir ağının ağırlıklarıdır. Ağırlıklar her bir çevrimde yenilerek amaca ulaşmaya çalışılır. Amaca ulaşmanın veya yaklaşmanın ölçüsü de yine dışarıdan verilen bir değerdir. Eğer yapay sinir ağları verilen giriş-çıkış çiftleriyle amaca ulaşmış ise ağırlık değerleri saklanır. Ağırlıkların sürekli yenilenip istenilen sonuca ulaşana kadar geçen zamana öğrenme adı verilir.

4.2. Geri Yayılım Algoritması (Backpropagation Neural Network)

Geriye yayılma algoritması, günümüzde pek çok disiplinde, özellikle mühendislikte en çok kullanılan öğrenme algoritmasıdır.

Bunun en büyük nedeni öğrenme kapasitesinin yüksek ve algoritmasının basit olmasıdır [14]. Bu algoritma; hataları geriye doğru çıkıştan girişe azaltmaya çalışmasından dolayı geri yayılım ismini almıştır. Geri yayımlı öğrenme kuralı ağ çıkışındaki mevcut hata düzeyine göre her bir tabakadaki ağırlıkları yeniden hesaplamak için kullanılmaktadır. Bir geri yayımlı ağ modelinde giriş, gizli ve çıkış olmak üzere 3 katman bulunmakla birlikte, problemin özelliklerine göre gizli katman sayısını artırabilmek mümkündür (Şekil 1).



Şekil 1. Geri yayımlı çok katmanlı yapay sinir ağı mimarisi
 (Figure 1. The architecture of multi-layer backpropagation neural network)

Q katmanlı ileri beslemeli bir ağ için geri yayılım algoritması;
 $q = 1, 2, 3, \dots, Q$ katman numarası,

H_i^p : q'inci katmandaki i biriminin girdisi,

y_i^q : q'inci katmandaki i biriminin çıktısı,

w_{ij}^q : (q-1)'inci katmandaki i birimini, q'ncü katmandaki j birimine bağlayan ağırlık olmak üzere;

1. Adım: w'ye reel değerli küçük rastlantısal sayıları başlangıç değeri olarak atanır.

2. Adım: Rasgele bir (giriş-hedef) çalışma modeli seçilir ve q katmanındaki her bir j birimi için ileri yönde 'çıktı' değerleri hesaplanır. Böylece çıkış,

$$y_i^q = f\left(\sum_i y_i^{q-1} w_{ij}^q\right) \text{ olur.} \quad (6)$$

3. Adım: Çıkış birimleri için hata terimleri hesaplanır.

$$\delta_i^Q = (y_i^Q - y_i^p) f'(H_i^Q) \quad (7)$$

4. Adım: $q = Q, Q-1, \dots, 2$ katmanlarındaki tüm i birimleri için geriye yayılımla dotaları yani gizli katman birimleri için hata terimleri hesaplanır.

$$\delta_i^{q-1} = f'(H_i^{q-1}) \sum_j \delta_j^q w_{ij}^q \quad (8)$$

5. Adım: Bütün bu ağırlıklar w_{ij} 'leri kullanılarak güncellenir.

$$w_{ij}^{yeni} = w_{ij}^{eski} + \Delta w_{ij}^q \quad (9)$$

$$\Delta w_{ij}^q = \eta \delta_i^q y_i^{q-1} \quad (10)$$

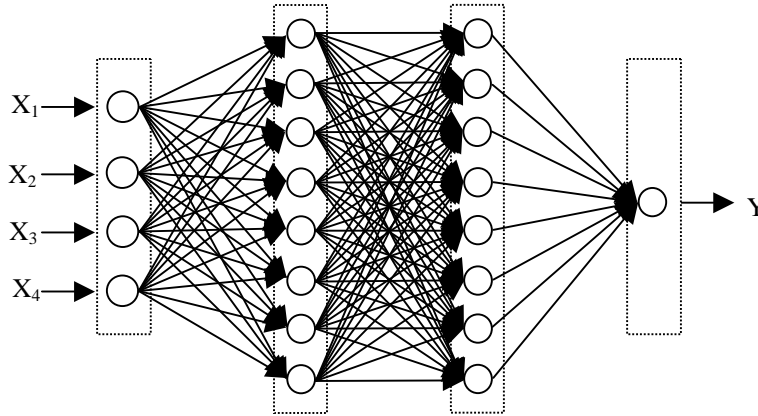
6. Adım: 2. adıma dönüp, toplam hata kabul edilebilir bir düzeye gelene kadar her bir p modeli için işlemler tekrarlanır [11].

5. UYGULAMA (APPLICATION)

Bu uygulamada, yapılan deney verileri kullanılarak silis dumanı katkılı betonların çarpma dayanımı yapay sinir ağları kullanarak tespit edilmiştir. Uygulamada ardışık çarpma sayısı 5, numunenin ağırlık kaybı 79.8 gr, darbe öncesi PGH değeri 5.06, darbe sonrası 2.02 olarak ölçülmüş olan numunenin çarpma dayanımını tespit edilmiştir. Problem için geri yayıllımlı yapay sinir ağı kullanılmıştır. Bu ağda 1 giriş katmanı, 2 ara katman ve 1 çıkış katmanı kullanılmıştır. Girdi katmanı, 4 işlem elemanından meydana gelmektedir. Bunlar:

- Ardışık çarpma sayısı (X_1)
- Numunenin ağırlık kaybı (X_2)
- Darbe öncesi plus geçiş hızı (X_3)
- Darbe sonrası plus geçiş hızı (X_4)

Her iki ara katmanda da 8 adet yapay nöron kullanılmıştır. Ağın çıkışı beton numunenin çarpma dayanımıdır (Şekil 2).



Şekil 2. Çarpma dayanımının tespiti için kullanılan yapay sinir ağı
(Figure 2. Neural network used for determination of the bumping resistance)

Ağın girdi elemanlarına çeşitli değerler verilerek oluşturulan eğitim setinde 16 adet örnek bulunmaktadır (Tablo 4). Bu giriş değerleri normalize edilerek ağa sunulmuştur. Yapılan denemeler sonucunda iki ara katman uygun görülmüş ve öğrenme oranı 0.8 alındığında ağ daha uygun sonuçlar vermiştir. Aktivasyon fonksiyonu olarak çift yönlü sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Ağın eğitilmesi için öğrenme tipi olarak danışmanlı öğrenme uygulanmıştır. Bu öğrenme yöntemi, bütün işleme elemanlarının anlık hatalarını en aza indirmeye çalışır. Bu hata azaltma işlemi, kabul edilebilir doğruluğa ulaşana kadar ağırlıklar devamlı olarak derlenir. Bu parametreler kullanılarak MATLAB'ta hazırlanan programda yapay sinir ağları eğitilir.

Tablo 4. Çarpma dayanımının tespiti için hazırlanan eğitim seti
 (Table 4. The training set prepared for determination of the bumping
 resistance)

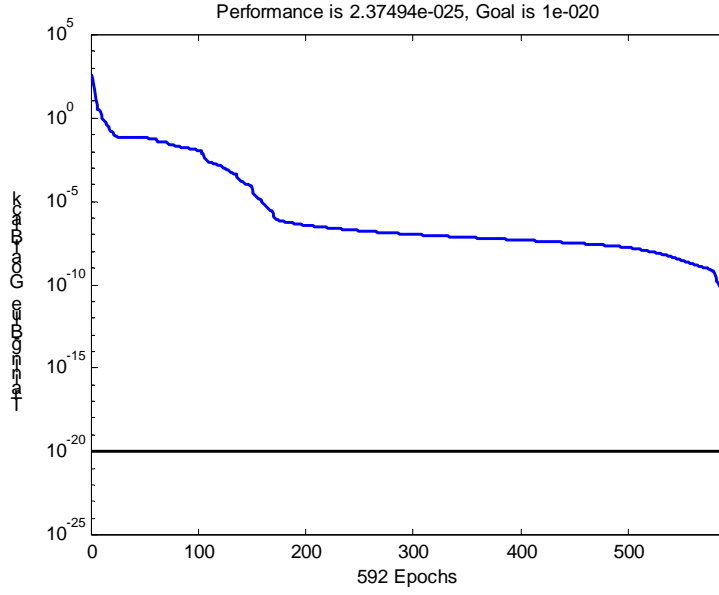
Beton Numunesi	Ardışık Çarpma Sayısı	Ağırlık Kaybı	Darbe Öncesi PGH	Darbe Sonrası PGH	Çarpma Dayanımı
	X ₁	X ₂ (gr)	X ₃ (km/sn)	X ₄ (km/sn)	Y (MPa)
K	5	957.1	3.41	1.24	13.0
K	4	686.3	3.38	1.60	16.0
F10	5	50.8	4.28	1.79	18.0
F10	4	63.1	4.31	1.81	18.0
F20	5	86.4	4.38	1.90	20.0
F20	4	46.2	4.52	1.79	18.0
S10	5	76.6	4.21	1.64	17.5
S10	4	70.8	4.30	1.76	18.0
S20	5	62.6	4.39	1.86	20.0
S20	4	55.6	4.40	1.80	18.0
KA	5	129.6	4.18	1.40	15.0
KA	4	46.1	4.13	1.88	18.5
F10A	5	100.1	4.96	1.91	20.0
F15A	4	60.4	5.17	2.12	20.5
S10A	5	88.1	4.72	2.01	20.5
S15A	4	46.3	4.81	2.10	20.5

Ağın eğitimi tamamlandıktan sonra eğitim setindeki örneklerden tamamen farklı değerler kullanılarak ağın performansı test edilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 5’de karşılaştırılmıştır. Geliştirilen yapay sinir ağı modeli herhangi bir matematiksel bağıntı olmaksızın girdi ile çıktı kümesi arasındaki ilişkiyi, yani silis katkılı betonların çarpma dayanım problemine ait örneklerden çarpma dayanımını öğrenmiş bulunmaktadır.

Tablo 5. Çarpma dayanımının tespiti için hazırlanan test seti
 (Table 5. The test set prepared for determination of the bumping
 resistance)

Test	Giriş				Çıkış	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Çarpma dayanımı (MPa)	
	(Adet)	(gr)	(km/sn)	(km/sn)	Deney Sonucu	YSA
F30	5	98.4	4.72	1.73	18.00	18.21
S20A	5	76.0	5.12	2.06	20.50	20.39
S30	4	70.1	4.70	1.79	18.00	18.13
F15	4	76.1	4.43	1.86	18.50	18.45
S15A	5	69.0	4.86	2.04	20.50	20.29
F10A	4	88.4	5.10	2.04	20.50	20.47
F30	4	64.0	4.72	1.88	18.50	18.23

Test setinden elde edilen yapay sinir ağını eğittikten ve test ettikten sonra; problem için verilen değerler ağa sunulursa; numunenin çarpma dayanımı 20.39 MPa olarak bulunur. Bu değer yapılmış olan deney Ekinci ve Yeğınobalı’nın [12] 1996 yılında yapmış oldukları deneyler sonucunda da 20.5 MPa olarak bulunmuştur. Gerek test sonuçlar ve gerekse problemin gerçek değerlerinden elde edilen sonuç göz önüne alındığında ağın yeterli hassasiyette sonuçlar bulduğu görülür. Bu ağın iterasyona bağlı hata değişim grafiği de Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. Sinir ağının iterasyona bağlı hata değişim grafiği
(Figure 5. The error variation due to iteration of the neural network)

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yapay sinir ağları, bilgisayar ortamında, beynin yaptığı işlemleri yapabilen, karar veren, sonuç çıkaran, yetersiz veri durumunda var olan mevcut bilgiden yola çıkarak sonuca ulaşan, sürekli veri girişini kabul eden, öğrenen, hatırlayan bir algoritmadır. Bu çalışmada, silis dumanının çeşitli oranlarda katıldığı beton numunelerinin çarpma dayanımı dataları geri yayımlı bir sinir ağında eğitilmiş ve çarpma dayanımının tespiti yapay sinir ağları ile yapılmıştır. Daha önceden yapılan deneysel sonuçlar ile ağın eğitilmesi yapay sinir ağlarının klasik hesap yöntemlerinden daha iyi sonuç verdiği düşünülmektedir. Yapılan bu çalışma ile çok uzun sürede çözülebilecek problemler küçük bir yazılım ile çok kısa bir sürede sonuca ulaşılacağı görülmüştür.

Yapay sinir ağları deneysel çalışmalara farklı bir yaklaşım getirmektedir. Ülkemizde mühendislik alanında yapılan deneysel çalışmaların yapay sinir ağlarının kullanımıyla ilgili fazla bir çalışma yapılmamıştır. Fakat yapay sinir ağları kullanılarak mühendislik alanında birçok çalışma yapılabilir. Gerek bu çalışmadan elde edilen sonuçlar gerekse daha önce yapılmış olan çalışmalardan elde edilen sonuçlar ışığında yapay zekânın alt kollarından biri olan yapay sinir ağlarının mühendislik problemlerinde başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Postacioğlu, B., (1987). Beton: agregalar ve beton (Cilt: III). İstanbul, Matbaa Teknisyenleri Basımevi.
2. Nevielle, A.M., (1997). Properties of concrete. London. Pitman Publishing Co.
3. Ekinci, C.E., (2006). The calculation methods of compound of concrete and a novel calculation method. E-Journal of New World Sciences Academy, Volume:1, Number:1, A0001, pp:1-11.
4. Efe, Ö. ve Kaynak, O., (2000). Yapay sinir ağları ve uygulamaları. Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
5. Harvey, R.L., (1994). Neural network principles. Prentice-Hall, Inc., New Jersey.



6. Karna, K.N. and David, M.B., (1989). An artificial neural networks tutorial Part:1-Basics. Neural Networks, Volume:1, Number:1, pp:5-23.
7. Ghaboussi, J., Garrett, Jr., and Wu, X., (1991). Knowledge-based modeling of material behavior with neural Networks. Journal of Structural Engineering, ASCE; 117(1), pp:132-53.
8. Sanad, A. and Saka, M.P., (2001). Shear strength of reinforced-concrete deep beams using neural Networks. Journal of Structural Engineering, 127(7), pp:18-828.
9. Oreta, A.W.C. and Kawashima, K., (2003). Neural network modeling of confined compressive strength and strain of circular concrete columns. Journal of Structural Engineering, 129(4), pp:554-561.
10. Keleşoğlu, Ö., Ekinçi C.E. ve Fırat, A., (2005). Yalıtım hesaplarında yapay sinir ağlarının kullanımı. Sigma Dergisi, 3, ss:58-66.
11. Keleşoğlu, Ö. ve Fırat, A., (2006). Tuğla duvardaki ve tesisattaki ısı kaybının yapay sinir ağları ile belirlenmesi. Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bil. Der., 18 (1), ss:157-164.
12. Ekinçi, C.E. ve Yeğınobalı, M.A., (1996). Silis dumanı katkılı betonların çarpma dayanımı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 4. Ulusal Beton Kongresi.
13. Bildik, A.T., (1998). Normal basınç dayanımlı beton karışımlarının yapay sinir ağları ile hesaplanması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
14. Elmas, Ç., (2003). Yapay sinir ağları (Kuram, mimari, eğitim, uygulama). Seçkin Yayıncılık, Ankara.