



ISSN:1306-3111
e-Journal of New World Sciences Academy
2008, Volume: 3, Number: 4
Article Number: A0099

**NATURAL AND APPLIED SCIENCES
TECHNICAL EDUCATION**

❖ **CONSTRUCTION EDUCATION**

Received: January 2008
Accepted: September 2008
© 2008 www.newwsa.com

Serkan Subaşı
Ahmet Beycioğlu
University of Duzce
subasi@duzce.edu.tr
Duzce-Turkiye

**FARKLI TAHMİN YÖNTEMLERİ KULLANILARAK KIRMATAŞ KALKER AGREGALI
BETONLARIN BASINÇ DAYANIMININ BELİRLENMESİ**

ÖZET

Bu çalışmada, kırmataş kalker agregalı betonların basınç dayanımlarının belirlenmesi amacıyla çoklu doğrusal Regresyon Tekniği ve Yapay Sinir Ağları yöntemiyle iki farklı tahmin modeli geliştirilmiştir. Modellerde kırmataş kalker agregalı betonlardan elde edilen deneysel veriler kullanılmıştır. Çoklu lineer regresyon ve YSA metotları ile çimento miktarı (kg/m^3), su miktarı ve taze beton çökme miktarlarına (cm) bağlı olarak beton basınç dayanımına ait tahmin modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen modeller ile tahmin edilen basınç dayanımı değerleri ve gerçek basınç dayanımları karşılaştırılarak modellerin güvenilirliği test edilmiştir. Sonuç olarak, yapay sinir ağlarının 0,79 çoklu belirleyicilik katsayısı (R^2) ile regresyon tekniğine göre daha başarılı tahmin sonuçları verdiği, regresyon tekniğinin beton basınç dayanımlarını yapay sinir ağları modeline göre %15 daha fazla hata ile tahmin edebildiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Sinir Ağları, Regresyon Tekniği, Beton, Basınç Dayanımı

**DETERMINING THE COMPRESSIVE STRENGTH OF CRUSHED LIMESTONE AGGREGATE
CONCRETE USING DIFFERENT PREDICTION METHODS**

ABSTRACT

In this work two different prediction models have been developed to determine crushed limestone aggregate concrete compressive strength using Regression Technique and Artificial Neural Network method. Experimental data which obtained from crushed limestone aggregate concretes used for developing both ANN and RT models. While developing the models to predict of compressive strength of concretes cement(kg), water(lt) and fresh concrete slump values (cm)were used. Predicted concrete compressive strengths using developed models compared with the experimental compressive strengths so the reliability of models tested. As a result, artificial neural networks exhibited high correlation coefficient that was 0,79 than regression technique and regression technique predicted the experimental results more mistaken than artificial neural networks in the rate of %15.

Keywords: Artificial Neural Networks, Regression Technique, Concrete, Compressive Strength

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Birçok betonarme yapıda, betonun üzerine gelen önemli yüklerin basınç yükleri olması nedeniyle, yapıların tasarımında betonun basınç dayanımı değerleri esas alınmaktadır. Bir betondan beklenen dayanım, beton karışım hesabı, yapım, döküm, bakım ve servis ömrü aşamalarında olumlu ya da olumsuz biçimde etkilenmektedir. Karışım hesabına esas olan beton bileşenleri (Su, çimento, agrega, katkı maddeleri vb) ve taze beton özellikleri (slump, hava içeriği, birim ağırlık vb) betonun hedef dayanımına önemli ölçüde etki ederler. Bu nedenle, tasarımda istenilen dayanım kriterlerinin, karışım hesabı esnasında belirlenebilmesi oldukça önemlidir [1]. Yapı tasarımında beton basınç dayanımı en temel faktördür. Birçok yapıda beton eğilme, çekme ve yorulma yüklemelerinden daha çok basınç yüklerine maruz kalır ve yapısal analizler betona gelen önemli yüklerin basınç yükleri olduğu kabul edilerek yapılır. Beton basınç dayanımını belirlemede standart test yöntemlerinin yanı sıra karot numune uygulaması, hızlı kür yöntemi ve tahribatsız yöntemlerde kullanılmaktadır [2].

Gelişen bilgisayar teknolojisi ile beraber mühendislik çalışmalarında yapay zeka ve benzeri tahmin yaklaşımları üzerine yoğun olarak çalışılmaya başlanmıştır. Beton teknolojisinde de çeşitli tahmin yöntemleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ve 12].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada kırmataş kalker agregalı betonlar için, beton karışım bileşenleri olan çimento ve su miktarı ile taze beton özelliklerinden olan çökme değerleri kullanılarak, betonun basınç dayanımını tahmini için regresyon tekniği ile elde edilen regresyon denklemi ve yapay sinir ağları ile tahmin modelleri geliştirilmiş ve geliştirilen modellerin tahmin yeteneği karşılaştırılmıştır.

Beton basınç dayanım özelliği yüksek bir malzeme olduğundan dolayı yapıda genellikle basınca maruz kalan bölgelerde kullanılmaktadır. Beton basınç dayanımını etkileyen faktörler yıllardır araştırılmaktadır. Su/çimento oranı, birim ağırlığı, boşluk oranı en önemli olanlarındadır. Diğer taraftan araştırmacılar tarafından incelenen konulardan biri de beton basınç dayanımının önceden tahminidir. Bununla ilgili birçok ampirik formül önerilmiştir. Gelişen bilgisayar teknolojisi ile beraber yapay zeka vb metotlar kullanılarak mühendislik problemlerine çözümler aranmaktadır. Bu çalışmada kırmataş kalker agregalı betonların basınç dayanımları çimento miktarı (kg/m^3), su miktarı ve taze beton çökme miktarlarına (cm) bağlı olarak Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Regresyon Teknikleriyle (RT) tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen tahmin modelleri ile kırmataş kalker agregalı betonların beton basınç dayanımlarının önceden tahmin edilmesinin mümkün olduğu görülmüştür.

3. ÇOKLU LİNEER REGRESYON (MULTI LINEAR REGRESSION)

Regresyon analizi bir bağımlı değişken ile bir bağımsız (basit regresyon) veya birden fazla bağımsız (çoklu regresyon) değişken arasındaki ilişkilerin bir matematiksel eşitlik ile açıklanması süreci olarak tanımlanmaktadır.

Basit doğrusal regresyon modeli birçok durum için elverişli olabilmektedir. Ancak gerçek hayatta birçok modelin açıklaması için iki veya daha fazla açıklayıcı değişkene gerek duyulmaktadır. Birden çok açıklayıcı değişkenli modeller çoklu regresyon modeli olarak adlandırılmaktadır [13]. Basit ve çoklu doğrusal regresyon denklemlerinin formülize edilmiş biçimi sırasıyla Denklem 1 ve Denklem 2'de verilmiştir. Basit ve çoklu lineer regresyon model denklemleri aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

$$y=b_0+b_1X+\varepsilon \quad (1)$$

$$y= b_0+b_1X_1+\dots\dots\dots+ b_nX_n+\varepsilon \quad (2)$$

Model denklemlerde,

Y= Bağımlı değişkeni

X_i =Bağımsız değişkenleri

b_i = Hesaplanan katsayı parametreleri

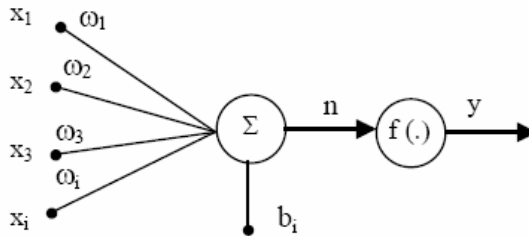
ε = Hata terimini ifade etmektedir.

4. YAPAY SİNİR AĞLARI (ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS)

YSA modelleme tekniği günümüzde bir çok alanda yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Basit bir şekilde insan beyninin çalışma şeklini taklit eden YSA'lar Yapay Zeka çalışmaları içinde önemli bir yere sahiptir. "Evrensel Fonksiyon Yakınsayıcı Yöntem (Universal Function Approximators)" olarak tanımlanan YSA metodolojisi veriden öğrenebilme, genelleme yapabilme, sınırsız sayıda değişkenle çalışabilme vb birçok önemli özelliğe sahiptir. Bu özellikleri sayesinde oldukça önemli avantajlar sağlayan YSA metodolojisi diğer alanlarda olduğu gibi öngörü modellemesi alanında da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [14].

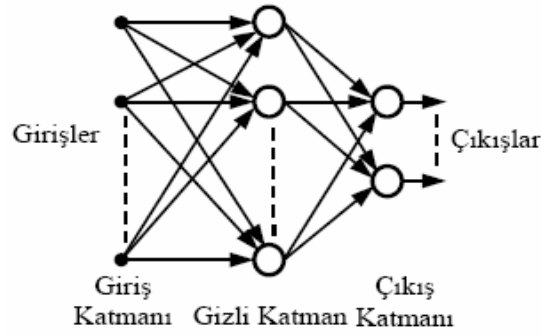
YSA, nöron ismi verilen birbiriyle bağlı işlemci elemanlardan oluşur. YSA, bir girdi katmanı, bir veya daha fazla ara katman ve bir de çıktı katmanından oluşur. Çıktı katmanı dışındaki bütün katmanlardaki nöronlar, bir sonraki katmandaki nöronların hepsine bağlıdır ve bütün bu bağlantıların bir ağırlık değeri vardır. Her bir nöron, kendisine gelen toplam girdiyi aktivasyon fonksiyonuna aktararak çıktısını üretir. Toplam girdi, bir nörona gelen bütün girdilerin, kendi ağırlık değerleriyle çarpımlarının toplamıdır. Yapay sinir ağları, girdiler ile çıktılar arasındaki ilişkiyi öğrenebilmek için örnek veriyle eğitilir. Öğrenme veya eğitime işlemi, bağlantılara ait ağırlık değerlerinin güncellenmesiyle gerçekleştirilir. YSA'nın eğitilmesi dögüsel bir işlemle gerçekleşmektedir. Ağırlık değerleri, oluşan hatayı en aza indirmek için güncellenirler. Burada söz konusu olan hata, beklenen çıktı ile oluşan çıktı arasındaki farktır. Eğitimden sonra, YSA'nın verileri ezberlemek yerine gerçekten öğrendiğini anlamak için ağ test edilir. Test bölümünde, eğitim sırasında kullanılmayan veriler kullanılır [15].

Biyolojik sinir hücresinin girdi, işlem ve çıktı karakteristiğini gerçeklemek üzere oluşturulmuş bir yapay sinir hücresi Şekil 1'de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi yapay sinir hücresi 6 birimden oluşmaktadır. Bunlar girişler (x_i), ağırlıklar (ω_i), eşikler (b_i), toplam fonksiyonları (Σ), aktivasyon fonksiyonu (f) ve çıkış değeri (y)'dir.



Şekil 1. Yapay sinir hücresi
(Figure 1. An artificial neural cell)

Bu hücrelerin paralel bağlanması ile katmanlar, katmanlarında seri bağlanması ile çok katmanlı yapay sinir ağları oluşur (Şekil 2) [16 ve 17].



Şekil 2. Çok katmanlı bir ağ örneği
(Figure 2. Multi layer network model)

5. MALZEME VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Beton örneklerinin hazırlanmasında CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çimentonun özellikleri
(Table 1. Properties of cement)

Fiziksel özellikler		Kimyasal özellikleri	
Priz başlangıcı (sa/dk)	01:58	SiO ₂ (%)	20,32
Priz sonu (sa/dk)	02:57	Al ₂ O ₃ (%)	5,59
Hacim sabitliği(mm Toplam)	2	Fe ₂ O ₃ (%)	3,09
Özgül yüzey (cm ² /g)	3172	CaO (%)	62,50
Mekanik özellikler		MgO (%)	1,74
Basınç dayanımı (MPa)		SO ₃ (%)	3,29
2. Gün	30,8	Na ₂ O (%)	0,34
7. Gün	39,5	K ₂ O (%)	0,91
28.Gün	56,0	Kızdırma kaybı(%)	1,18
		Çözünmeyen kalıntı(%)	0,31
		S.CaO (%)	0,93

Agrega olarak kırmataş kalker agregası kullanılmıştır. Beton karışımlarının hazırlanmasında kullanılan agreganın oranları ve özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Karışım oranları ve agreganın özellikleri
Table 2. Mix design and properties of aggregate

D _{max} = 22 mm		
Agrega Tipi	Karışım Oranları	Özgül Ağırlığı
Kırma kum (0-4)	48%	2.66
No 1 Kırmataş agregası (4-12)	27%	2.67
No 2 Kırmataş agregası (12-22)	25%	2.69

Beton karışımlarının hazırlanmasında 1 m³ beton hacmi içerisindeki agreganın oranları sabit kalacak şekilde farklı çimento ve su miktarlarında alternatif karışımlar hazırlanmıştır. Hazırlanan taze beton karışımlarına TS EN 12350-2'de [18] belirtilen esaslara uygun olarak çökme deneyi uygulanmıştır. 15x15x15 cm'lik küp numuneler alınan betonlar kür edildikten sonra 28. günde TS EN 12390-3'de [19] belirtilen esaslara uygun olarak basınç dayanımı deneyi tabii tutulmuştur.

6. ÇOKLU LİNEER REGRESYON İLE DAYANIM TAHMİNİ (PREDICTION OF STRENGTH USING MULTI LINEAR REGRESSION)

Beton basınç dayanımını tahmin edebilmek amacıyla çimento, su ve çökme miktarlarına bağlı olarak çoklu lineer regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çoklu lineer regresyon analizinde beton basınç dayanımının $y=b_0+b_1X_1+b_2X_2+b_3X_3$ model denklemi ile ifade edilebilen bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Model denkleminde;

Y= Basınç Dayanımı (MPa),

b_i = Regresyon analizi katsayıları,

X_1 = Çimento miktarı (kg),

X_2 = Su miktarı (lt),

X_3 = Çökme miktarı (cm) ifade etmektedir.

Gerçekleştirilen regresyon analizi sonuçları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Gerçekleştirilen çoklu lineer regresyon analizi sonuçları
(Table 3. Results of multi linear regression)

Regresyon İstatistikleri					
Korelasyon Katsayısı (R)		0.901			
Regresyon Katsayısı (R ²)		0.813			
Düzeltilmiş R ²		0.807			
Tahminin Standart Hatası		3,847			
Varyans Analizi					
Varyansın Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Testi	Anlamlılık Düzeyi
Regresyon	3	6157,684	2052,561	138,681	0,000
Rezidüel	96	1420,854	14,801		
Toplam	99	7578,538			
Regresyon Analizi					
Kaynak	Katsayılar	Standart Hata	T İstatistiği	Anlamlılık Düzeyi	
Sabit	37,452	8,180	4,579	0,000	
b1	0,120	0,006	19,770	0,000	
b2	-0,248	0,043	-5,759	0,000	
b3	0,666	0,195	3,420	0,001	

Gerçekleştirilen regresyon analizi sonucunda beton basınç dayanımını çimento miktarı, su miktarı ve çökme miktarına bağlı olarak tahmin eden çoklu lineer model denklemi denklem 3'de verilmiştir.

$$\text{Basınç Dayanımı}=37,452+0,12.\text{çimento}-0,248.\text{su}+0,666.\text{çökme} \quad (3)$$

7. YAPAY SİNİR AĞI İLE DAYANIM TAHMİNİ (PREDICTION OF STRENGTH USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK)

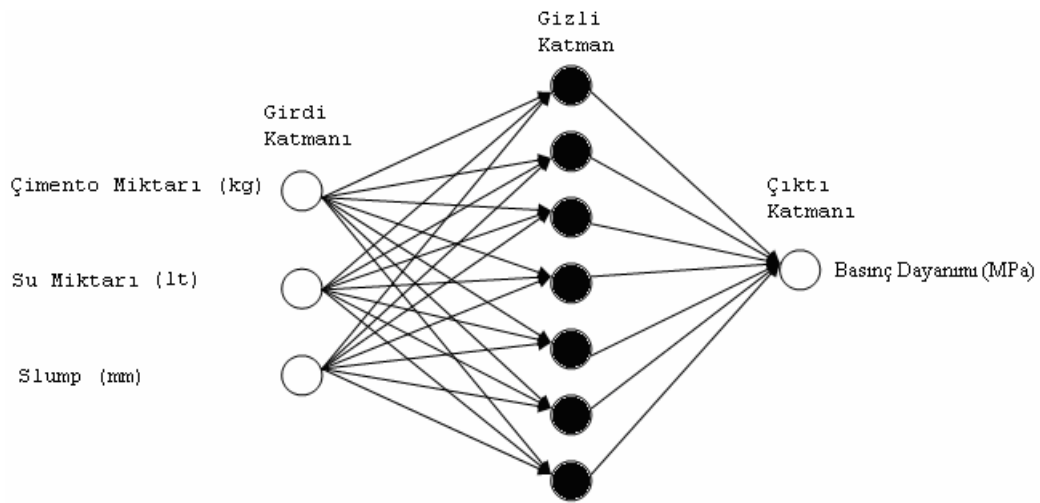
YSA ile betonların basınç dayanımı tahmin edebilmek amacıyla, deneysel olarak elde edilen toplam 128 veriden 100 tanesi eğitim amacıyla ayrılmış, kalan 28 veri ise test için kullanılmıştır. YSA modellemeye kullanılan tanımlayıcı istatistikler Tablo 4'de verilmiştir.

Deney sonuçları ile en uyumlu ağ mimarisinin belirlenebilmesi için farklı sayılarda gizli tabaka nöron sayıları denenmiştir. Problemin nonlineer olması nedeniyle aktivasyon fonksiyonu olarak logaritmik sigmoid aktivasyon fonksiyonu seçilmiştir. İterasyon sayısı ise 3500 ile sınırlandırılmıştır. Betonların basınç dayanımının tahmini için geliştirilen modellerden Şekil 3'de görülen 3 girdi, 7 gizli ve 1 çıktı tabakasına sahip YSA modelinin hem eğitim hem de test

aşamasında deney sonuçları ile en iyi uyumu gösterdiği ve en iyi çoklu belirleyicilik katsayısı (R^2) değerine sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca modelin eğitimi sonucunda ortalama karesel hata 0,00098012 olarak bulunmuştur.

Tablo 4. Girdi parametreleri için tanımlayıcı istatistik değerleri
(Table 4. Descriptive statistics of input parameters)

Girdi Parametreleri	N	Ortalama	Std. Sapma	Minimum	Maksimum
Çimento miktarı (kg)	128	295,95	66,01842	205,00	480,00
Su miktarı (lt)	128	206,82	10,00240	180,00	230,00
Çökme miktarı (cm)	128	17,75	2,27581	8,00	25,00
Beton Basınç Dayanımı (MPa)	128	33,60	8,74934	18,00	54,90



Şekil 3. Geliştirilen YSA modeli
(Figure 3. Developed ANN model)

8. ARAŞTIRMA BULGULARI (RESEARCH FINDINGS)

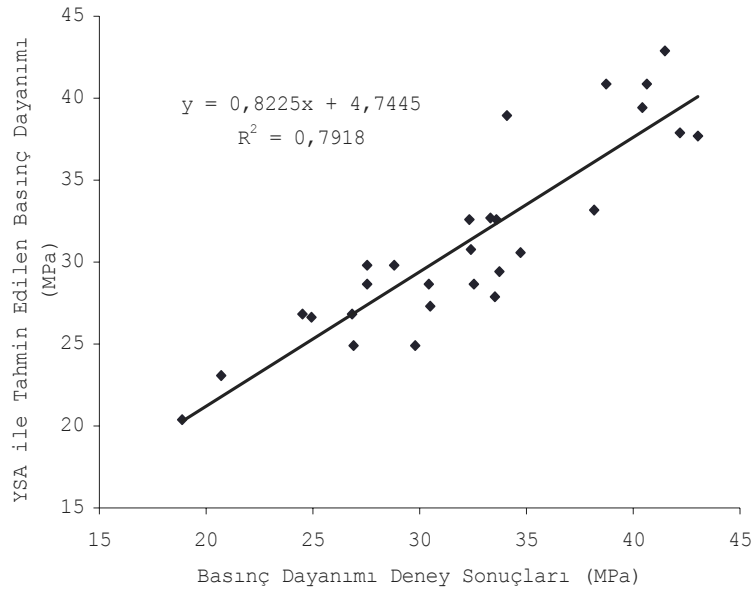
Her iki tahmin yöntemi için deney girdilerine bağlı olarak test setinde elde edilen basınç dayanımı değerleri Tablo 5'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 5. Regresyon modeli, YSA modeli ve deneylere ait test seti sonuçları

(Table 5. Testing results of regression model, artificial neural network model and experiments)

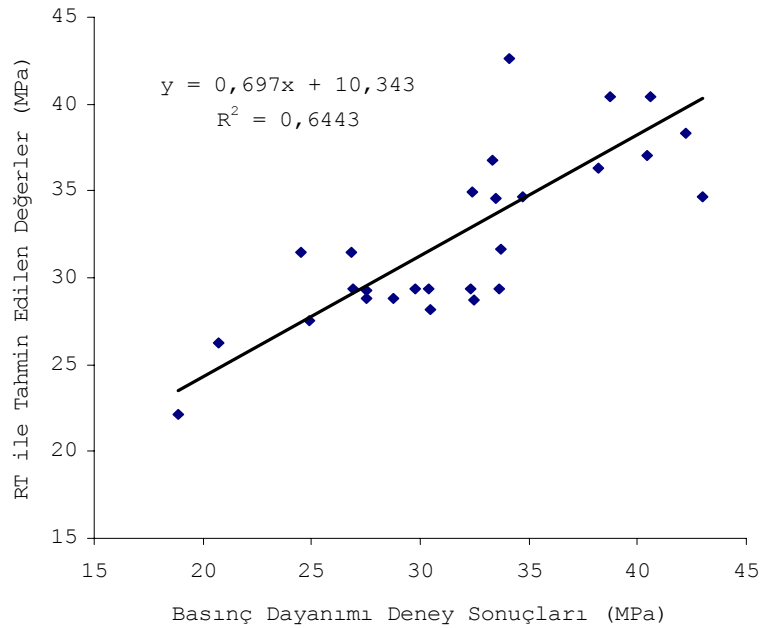
Girdi Parametreleri			Çıktı Parametreleri		
Çimento Miktarı (kg)	Su Miktarı (lt)	Çökme Miktarı (cm)	Basınç Dayanımı (MPa)		
			Deney Sonucu	Tahmin Edilen Sonuçlar	
YSA	RT				
350	200	19	34,1	38,91	42,62
320	200	18	42,2	37,92	38,35
250	215	18	20,7	23,03	26,22
300	218	18	24,5	26,81	31,49
300	220	19	33,7	29,43	31,66
300	218	18	26,8	26,81	31,49
350	221	18	33,3	32,65	36,75
235	205	19	24,9	26,67	27,56
380	200	19	41,5	42,92	46,23
300	204	18	32,4	30,74	34,96
350	206	18	38,7	40,89	40,47
235	200	18	30,5	27,33	28,13
235	195	18	33,6	32,57	29,37
340	225	18	33,5	27,92	34,56
350	206	18	40,6	40,89	40,47
235	200	19	27,5	29,85	28,80
270	212	18	26,9	24,86	29,37
340	218	18	38,2	33,14	36,30
210	212	18	18,9	20,34	22,16
300	208	19	43	37,72	34,63
235	195	18	32,3	32,57	29,37
270	207	16	27,5	28,63	29,27
270	212	18	29,8	24,86	29,37
250	205	19	30,4	28,68	29,36
250	205	18	32,5	28,69	28,70
235	200	19	28,8	29,85	28,80
300	205	18	34,7	30,62	34,71
320	208	19	40,4	39,38	37,04

Geliştirilen YSA modelinden elde edilen sonuçlarla deney sonuçları karşılaştırılmış ve aralarındaki ilişki Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi kırmataş kalker agregalı betonların deney sonuçları geliştirilen YSA modeli ile %79 oranında başarı ile tahmin edilebilmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Deney sonuçları ile YSA modeli sonuçları arasındaki ilişki
(Figure 4. Correlation between experimental results and ANN model)

Geliştirilen regresyon denkleminin tahmin yeteneği de benzer şekilde, regresyon analizinde kullanılmayan veriler ile test edilmiştir.



Şekil 5. Deney sonuçları ile regresyon modeli sonuçları arasındaki ilişki
(Figure 5. Correlation between experimental results and regression model results)

Regresyon denklemi ile elde edilen sonuçlar deney sonuçları ile karşılaştırılmış (Şekil 5) ve aralarındaki çoklu belirleyicilik katsayısının 0,64 olduğu görülmüştür.



Tablo 5'deki değerler incelendiğinde her iki tahmin modelinin sonuçlarının da gerçek dayanım değerlerinden belirli oranlarda sapmalar gösterdiği görülmektedir. Bu sapmalar yapay sinir ağları yönteminde gizli tabaka nöronları değiştirilerek azaltılmaya çalışılmış böylece deney sonuçlarını en iyi temsil eden ağ araştırılabilmektedir. Yedi gizli tabaka nöron sayısı içeren ağın sonuçları en iyi temsil eden ağ olduğu görülmüştür. Yapay sinir ağlarının model oluşturmada sağladığı esneklik regresyon yönteminde kullanılamamakta ve çoklu doğrusal regresyon tekniği sadece mevcut sonuçları temel alarak tek bir model denklemi vermektedir. Bundan dolayı YSA ile veri tahmini daha güçlü bir şekilde yapılabilmektedir.

9. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada kırmataş kalker agregalı betonların basınç dayanımının laboratuvar deneyleri ile belirlenmesine alternatif yaklaşımlar olarak regresyon tekniği ve yapay sinir ağları yöntemi ile tahmin modelleri geliştirilmiştir. Bu amaçla deneysel olarak elde edilen 128 veriden 100 tanesi tahmin modellerini geliştirmede 28 tanesi ise geliştirilen alternatif yaklaşımları test etmede kullanılmıştır.

Kırmataş kalker agregalı betonlarda 28 günlük basınç dayanımı değerlerinin çimento, su ve taze beton çökme miktarlarına bağlı olarak tahmin edilebileceği, Test işlemi sırasında belirlenen korelasyon ilişkileri incelendiğinde regresyon tekniği ile deney sonuçlarının %64 oranında, yapay sinir ağları yöntemi ile %79 oranında başarı ile tahmin edilebildiği, yapay sinir ağları yönteminin regresyon yöntemine göre beton basınç dayanımını %15 oranında daha başarılı olarak tahmin ettiği görülmüştür.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Popovics, S., (1998). Strength and Related Properties of Concrete A Quantitative Approach, John Willey & Sons Inc., Toronto, Canada.
2. Neville, A.M., (2002). Properties of concrete, Jhon Wiley & Sons Inc.
3. Kasperkiewicz, J., Racz, J., and Dubrawski, A., (1995). HPC strength prediction using artificial neural network, Journal of Computing in Civil Engineering, 9(4), pp:279-284.
4. Kasperkiewicz, J., (2000). The applications of ANNs in certain materials-analysis problems, Journal of Materials Processing Technology 106, pp:74-79.
5. Dias, W.P.S. and Pooliyadda, S.P., (2001). Neural networks for predicting properties of concretes with admixtures, Construction and Building Materials 15, pp:371-379.
6. A.Lorenzi, L.C.P. and Silva, F., (2003). Using a backpropagation algorithm to create a neural net for interpreting ultrasonic readings of concrete, Emerging Technologies in Non-Destructive Testing and Technology Transfer and Business Partnership Event, Third International Conference, May 26-28, Thessaloniki, Greece.
7. Bai, J., Wild, S., Ware, J.A., and Sabir, B.B., (2003). Using neural networks to predict workability of concrete incorporating metakaolin and fly ash, Advances in Engineering Software 34, pp:663-669.
8. Jepsen, M.T., (2002). Predicting concrete durability by using artificial neural network, Featured at the proceedings, Durability of Exposed Concrete containing Secondary Cementitious Materials, Hirtshals, November, 1-12.



9. Lee, S.C., (2003). Prediction of concrete strength using artificial neural Networks", Engineering Structures, 25, pp:849-857.
10. Topcu, I.B. and Sarıdemir, M., (2007). Prediction Of Compressive Strength Of Concrete Containing Fly Ash Using Artificial Neural Network And Fuzzy Logic, Computational Materials Science (In Press).
11. Topcu, I.B. and Sarıdemir, M., (2007). Prediction Of Mechanical Properties Of Recycled Aggregate Concretes Containing Silica Fume Using Artificial Neural Networks And Fuzzy Logic. Computational Materials Science.
12. Topcu, İ.B., Uygunoğlu, T. ve Sivri, M., (2006). Puzolanların Beton Basınç Dayanımına Etkisinin Yapay Sinir Ağlarıyla İncelenmesi" Teknolojik Araştırmalar. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi. (2), pp:1-10.
13. Kalaycı, Ş., (2006). SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri, Ankara. Asil Yayınları.
14. Yurtoğlu, H., (2005). Yapay Sinir Ağları Metodolojisi İle Öngörü Modellemesi: Bazı Makroekonomik Değişkenler İçin Türkiye Örneği, Uzmanlık Tezi. Ankara: DPT, EMSAGM Şubat 2005 104 s.tab. (DPT:2683) Uzmanlık tezleri (DPT) ISBN. 975-19-3696-9 (<http://ekutup.dpt.gov.tr/ekonomi/tahmin/yurtoglh/ysa.pdf>).
15. Çolak, C., Çolak, M.C. and Atıcı, M.A., (2005). An artificial neural network for the prediction of atherosclerosis. Journal of Ankara University Faculty of Medicine, 58(4)
16. Kişi, Ö. ve Partal, T., (2003). Yapay sinir ağları ve otoregresif modellerle rüzgar hızı tahmini. III. atmosfer bilimleri sempozyumu, 19-21 Mart 2003. Bildiriler Kitabı.
17. Bolat, S., Kalenderli, Ö. ve Önal, E., (2004). Yapay Sinir Ağı İle Gaz Karışımında Elektrot Açıklığına Ve Karışım Yüzdelerine Bağlı Olarak Delinme Gerilimlerinin Belirlenmesi. ASYU-INISTA 2004 Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu. Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi.
18. TS EN 12350-2, (2002). Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi, TSE, Ankara.
19. TS EN 12390-3, (2003). Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 12s.