

AGREGALARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNDEN YOLA ÇIKILARAK BETON DAYANIMLARININ YAPAY SİNİR AĞLARI İLE KESTİRİLMESİ

¹Okan ÖZBAKIR, ²Sabri Erkin NASUF

^{1,2}İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İSTANBUL

¹okanozbakir@yahoo.com, ²nasuf@itu.edu.tr

(Geliş/Received: 05.03.2015; Kabul/Accepted in Revised Form: 08.03.2016)

ÖZ: Hızla gelişmekte olan dünyamızda en yaygın yapı malzemesi hammaddesi ve nihai ürün konumunda olan agreganın önemi gün geçtikçe artmaktadır. Kullanım alanı çok geniş olan ve betonun %65-75'ini oluşturan bu yapı malzemesinin mekanik ve fiziksel özelliklerinin bilinmesi mühendislik tasarımlarında çok önemlidir. Betonun en büyük bileşeni olan agreganın sahip olduğu fiziksel ve mekanik özelliklerin betonun dayanım özelliklerine etkisinin belirlenmesi ancak yapılan deneylerle mümkün olmaktadır. Bu çalışmalar uzun zaman almakta ve çoğu zamanda ekonomik olmamaktadır. Bundan dolayı dayanım özelliklerinin belirlenmesi için daha önce yapılmış olan deneysel çalışmalardan yararlanılarak oluşturulan değişik yöntemler de kullanılmaktadır. Bu çalışmada İstanbul Anadolu yakasında değişik 14 ayrı ocaktan elde edilmiş agregaların fiziksel özellikleri, yapılan deneylerle belirlenmiştir. Fiziksel özellikleri belirlenen agregalarla beton örnekleri hazırlanmış ve bu beton örneklerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları ölçülmüştür. Betonun oluşturan agrega dışındaki bütün beton bileşenleri sabit tutularak değişen agregalarda betonun basınç dayanımı izlenmiştir. Deneysel olarak belirlenen değerlerin kestirimi için, Yapay Sinir Ağları Yöntemi kullanılarak modeller geliştirilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Agrega, Beton dayanımı, Yapay sinir ağları.*

Prediction of Concrete Strength With Artificial Neural Networks By Using Physical Properties of Aggregates

ABSTRACT: Determination of the effect of the physical and mechanical properties of aggregates that have considerable effect on concrete strength is only possible by conducting a series of experimental studies. These studies take long time and mostly are not economic. Therefore, different methods formed by utilizing the experimental studies done before are used to determine the strength characteristics. In this study, the impact of physical properties of aggregates and using 7-day and 28-day cured concrete has been researched. Then a model has been developed by using artificial neural network (ANN) which the results obtained from the tests. The values determined experimentally have been estimated by developing models in ANN method. It has been observed at the comparisons that the training and test results in the models can be estimated.

Key Words: *Aggregate, Artificial neural network, Concrete strength*

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bilindiği üzere kayaç özelliklerinin bilinmesinin kaliteli agrega üretiminde önemi büyüktür. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda basınç dayanımı düşük agreganın sadece betonun dayanımını sınırlamakla yetinmeyip, istenmeyen özelliklere sahip olmaları ve yapısal performansını negatif yönde etkilediği görülmüştür. Agreganın kimyasal ve minerolojik bileşimi, petrografik yapısı, özgül ağırlığı, sertliği, dayanımı, fiziksel ve kimyasal kararlılığı, boşluk yapısı ve rengi gibi özellikleri, elde edildiği kayacın özelliklerine bağlıdır. Tüm bu özelliklerin beton kalitesi üzerindeki etkisi büyüktür. Değişen su/çimento oranının agrega türüne bağlı olarak 20 MPa kadar değişkenlik gösterebilmektedir (Alexsander ve Milne, 1995). Yapılan bazı çalışmalar agrega yüzeylerinde kırılma veya çatlak olup olmadığına bağlı olarak, farklı mineral yapıya sahip agregalar arasında önemli farklılıklar gösterdiğini de gözlemlenmiştir (Tasong ve Lynsdale, 1998). Köşeli ve yüzeyi pürüzlü agregaların, yuvarlak taneli agregalara göre, çimento hamuru ile daha kuvvetli bağ oluşturduğunu ve agrega yüzeyinin gözenekli olması durumunda bu bağın, çimento taneleri tarafından daha da güçlendiği görülmüştür (Yeğinboğalı, 1999).

Beş farklı agrega kullanarak yapılan çalışmalarda; su emme oranları yüksek olan agregaların çimento hamuru ile aderansı dışı açık boşluklarda hidrasyon ürünlerinin gelişmesine bağlı olarak yüksek olduğu ortaya çıkmıştır (Kawakami, 1992). Aderans mukavemeti, betonun basınç mukavemeti ve elastisite modülü ile ters orantılıdır. 13 farklı (Kaplan, 1959) kökenli agrega kullanarak 3 ayrı beton karışımı üretilen araştırmada, aynı karışım oranları kullanılmasına rağmen basınç dayanımlarının % 30, eğilme dayanımlarının ise % 40 oranında değişkenlik gösterdiği ortaya çıkmıştır. Agreganın yüzey yapısı, şekli ve elastisite modülü gibi özelliklerinin betonun mekanik davranışında oldukça etkili olduğunu ve dayanımın artması durumunda bu mekanik özelliklerin öneminin arttığını belirtmiştir.

Bütün çalışmalar agrega ile üretilen betonun yüksek dayanımlı bağlayıcılar kullanılsa bile betonun basınç dayanımının artmadığı sonucunu ortaya koymuştur. Yüksek dayanımlı bağlayıcıların kullanılması sadece eğilme ve çekme dayanımını artırmaktadır. Agreganın yüzey özelliklerinin mekanik kenetlenmeye müsait olmamasından dolayı betonun basınç dayanımının düşük olmasına sebep olmaktadır. Buna karşın daha küçük boyutlu agregalar içeren beton, karışımındaki agrega boyutu büyük olan betona nazaran yüksek basınç dayanımına sahip olabilir. Ayrıca, betonun dayanımının düşük olması, agreganın temizliğine, karışımın sıkıştırılmış olup olmamasına, karışım oranlarına ve agrega türüne göre değişebilmektedir. Keza, elastisite modülü yüksek agregalardan elde edilen betonun dayanım özellikleri daha yüksek olabilir.

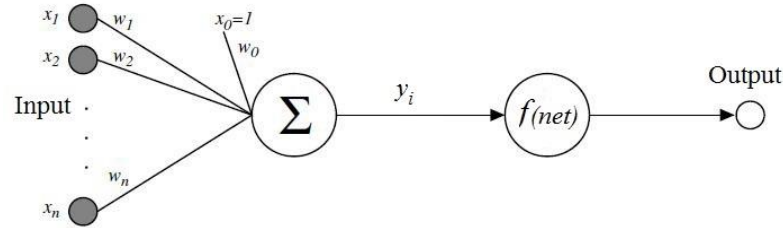
Agrega su emme oranı esas olarak beton karışım hesabında kullanılmaktadır. Agregada su emme oranı, agreganın fiziksel ve mekanik özelliklerine ve dayanıklılığına etki eder. Su emme değeri yüksek agregalar beton karışım suyu miktarını arttıracığından mukavemet düşüklüğüne sebep olur. Su emme kapasitesi yüksek olan agregalar betonun işlenebilirliğini yüksek oranda etkiler; yüksek su emmeye sahip agregalar betonun işlenebilirliğini azalttığı gibi düşük su emmeye sahip agregalar işlenebilirliği artırır. Tortul (Murdock ve diğ., 1991), kayaç olan kireçtaşının, kalsiyum karbonattan oluştuğunu, sert ve yoğun türlerinin betonda en uygun kayaç türü olduğunu belirtilmiştir. En uygun şekilli agrega taneleri küre ve küp şekline mümkün olduğu kadar yaklaşanlardır. Bu şekillerden çok ayrılan elemanlara kusurlu taneler denir. Betonda yer alabilecek yassı tanelerse açık boşluklar oluşturarak, zayıf kesimler oluşturur ve yine çimento ihtiyacını artırır. Çok ince malzemenin fazla olması durumunda betonda olumsuz etkileri olabilmektedir. Bu malzemeler agrega tanelerinin etrafını sararak çimento hamuru ile arasındaki bağı zayıflamasına ve aderansın azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca, beton karma suyu miktarını arttırarak betonun dayanım ve durabilitesine olumsuz etki eder (Neville, 1996). Yapılan deneylere göre aşınmaya karşı mukavemeti yüksek olan agregaların basınç mukavemetleri de yüksektir ve bunlarla üretilen betonun basınç ve eğilme mukavemetleri de büyük değerler almaktadır. Agregaların fiziksel özelliklerinin betonun dayanımına olan etkisinin araştırıldığı bu çalışmada İstanbul'un doğusunda yer alan hali hazırda 14 ayrı taş ocağından alınan numuneler kullanılmıştır. Bu araştırmada fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenen agregalarla standartlara uygun beton numuneleri

hazırlanmış ve hazırlanan bu beton numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları ölçülmüştür. Elde edilen veriler Yapay sinir ağları yöntemi (YSA) kullanılarak oluşturulan modelde kestirim probleminin çözümü için kullanılmıştır. Verilerin 250 tanesi modelin geliştirilmesinde geri kalan 84 adedi ise modelin test edilmesinde kullanılmıştır.

YAPAY SİNİR AĞLARI (ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS)

Yıllardır bir çok araştırmacı oluşturdukları değişik modellerle betonun dayanım özelliklerini tahmin etmeye çalışmış yapılan deneylerde modellerin doğruluğunu kanıtlaya yoluna gitmişlerdir. 1997'de oluşturulan (Lai ve Sera, 1997), modelde giriş tabakasında; çimento tipi, ince kum, kalın kum, ince agrega, iri agrega, çimento ağırlığı, su çimento oranı ve süper akışkanlaştırıcıyı, çıkış tabakasında ise basınç dayanımını kullanmışlardır. Elde ettikleri basınç dayanımı sonuçlarının deney sonuçlarıyla birbirine çok yakın olduğunu belirtmişlerdir. Yine betonun dayanım (Mukherjee ve Biswas, 1997; Hong-Guang ve Ji-Zong, 2000; Öztaş ve diğ., 2006), özelliklerini tahmin etmek amacı ile beton karışımını oluşturan elemanların oranlarını ve/veya fiziko mekanik özelliklerini kullanılarak elde edilen sonuçların yüksek oranda deneylerden elde edilen sonuçlara çok yakın olduğu belirtilen bir çok çalışma mevcuttur.

YSA paralel çalışmanın getirdiği hız avantajı, yazılım ve donanımla kolay gerçekleştirilebilir olması, hücrelerdeki bilgi kaybının veya hücre ölümlerinin sistem cevabını önemli ölçüde etkilememesi özellikleri ile sınıflandırma uygulamalarında kullanılan giriş verilerine bir esneklik kazandırmaktadır. Giriş verilerindeki değerler ve hatalar YSA tarafından elimine edilebilmektedir. Ancak ağın öğrenme algoritmasından kaynaklanan yerel optimumlara takılması ağın performansını düşürmektedir. YSA, insan beyninin nöron sistemlerini temel alarak geliştirilmiş ve dizayn edilmiş bilgi işleme sistemidir. Ağlar, çok sayıda nöronlardan ve bunların arasındaki ilişkilerden müteşekkildir. YSA'nın temel elemanı olan yapay nöron, biyolojik nöron gibi dendrit ve akson bağlantılarına sahiptir. Komşu hücrelerden nörona gelen bilgiler dendritler aracılığıyla nörona ulaşır. Nörona bağlı dendritlerin ağırlık katsayıları ve nöronun aktivasyon fonksiyonu dikkate alınarak hesaplanan nöron çıkışı, akson vasıtasıyla komşu nöronlara aktarılır. Yapay nöron, biyolojik nöronun bilgi işleme sistemini matematiksel (Şekil 1.) olarak taklit eden bir modeldir. Şekilde matematiksel modeli ve aktivasyon fonksiyonu eğrisi verilen nöronun giriş- çıkış eşitliği aşağıdaki gibidir.



Şekil 1. Nöronların matematiksel modeli ve aktivasyon fonksiyonu

Figure 1. Mathematical model of the neurons and the activation function

Geliştirilen YSA modelinde giriş katmanında agreganın fiziksel özellikleri (x_i), çıkış katmanında ise betonun 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri kullanılmıştır (Denklem , 1).

$$y_i = f \left(\sum_{j=1}^m w_{ij} x_j + b_i \right) \quad (1)$$

Modelin öğrenme kapasitesini artırmak maksadı ile her iki katman arasında gizli katmanlar kullanılmıştır. Aktivasyon fonksiyonu sigmoid fonksiyonu alınmıştır (Denklem, 2).

$$f(net) = \frac{1}{1 + e^{-net}} \quad (2)$$

YSA'nın eğitiminde ise Geriye Yayılma Öğrenme algoritması kullanılmıştır (Bryson ve Ho, 1969). Eğitim sürecinin herhangi bir aşamasında yapay sinir ağının mevcut ağ parametreleri (ağırlık katsayıları ve biaslar) ve giriş parametre değerlerini kullanarak hesaplamış olduğu basınç dayanımı değeri ile gerçek değeri karşılaştırılmıştır. Bulunan hatayı azaltmak için önce gizli katmanla çıkış katmanı arasındaki bağlantı katsayıları güncellenmiştir. Güncellenmiş yeni ağırlık katsayıları kullanılarak ağ girişinde bulunan giriş parametreleri için çıkış tekrar hesaplanmıştır. Ağ çıkışı ile deney sonucunda gözlenen orijinal çıkış parametresi arasındaki fark önceden belirlenmiş hata değerinin altına düşünceye kadar bu işleme devam edilmiştir. Ağ parametrelerinin güncellenmesinde takip edilen sıra çıkıştan girişe doğru olduğu içinde bu öğrenme algoritmasına geriye yayılma algoritması denir.

Geriye yayılma algoritmasında ağırlık öğrenme performansını etkileyen en önemli parametrelerden birisi öğrenme katsayısıdır. Öğrenme katsayısının çok büyük olması durumunda algoritmanın yerel optimumlara takılması söz konusu olup öğrenme hızında ciddi bir artış gözlenmesine rağmen öğrenme performansında düşüş olması muhtemeldir. Aksi durumda, öğrenme katsayısının çok küçük olması durumunda ise ağırlık öğrenme performansında bir artış söz konusu olmakla beraber öğrenme işlemi çok zaman almaktadır. Bu nedenle öğrenme katsayısı için optimum bir değer belirlenmesi geriye yayılma algoritmasında çok önemli bir husustur. Bu çalışmada yukarıda anılan her iki husustan kaynaklanan dezavantajları bertaraf edebilmek için öğrenme katsayısının adaptif olarak belirlendiği adaptif öğrenme katsayılı geriye yayılma algoritması kullanılmıştır. Momentum katsayısı ise 0,90 olarak seçilmiştir.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

Marmara bölgesinde bulunan taş ocaklarında üretilen agregalardan uygun numune alma teknikleri kullanılarak elde edilen örneklerle, agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri ölçülmüştür. Yapılan mekanik deneyler sonucunda basınç dayanımları elde edilen farklı yapı ve bileşime sahip kireçtaşı agregalarının özgül ağırlık, kuru birim ağırlık, su emme, gevşek - sıkı birim ağırlık, incelik modülü, yassılık modülü ve Los Angeles aşınma deneyleri yapılmıştır.

Bu çalışmalardan sonra betonu oluşturan agregada dışındaki bütün beton bileşenleri sabit tutularak TS 706 standartlarına uygun Çizelge 1.'de verilen oranlarda beton örnekleri hazırlanmıştır. Bu betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanımları tek eksenli yükleme koşulu altında beton örneklerinin kırılması suretiyle elde edilmiştir.

Agrega özelliklerinin beton mukavemetine etkisinin araştırılması amacıyla yapılan çalışmalarda kullanılan beton karışımı oranları sırasıyla ağırlık cinsinden aşağıdaki çizelgede görüldüğü gibi alınmış ve karışımdaki oranların aynı kalması sağlanmıştır. Deneylerde özgül ağırlığı 3,17 gr/cm³ olan CEM I 42,5R çimento kullanılmıştır. Çökme değerinin 10-15 cm civarında tutularak harcın işlenebilirliğini sağlamak amacıyla karışım içerisine akışkanlaştırıcı ilave edilmiştir. Deneyler için numune hazırlanması sırasında; 100 mm ebadında kübik numuneler ve 100x100x500 mm boyutlarında prizmatik numuneler kalıplara dökülmüştür. Numunelerin sıkıştırılması vibrasyonla sağlanmıştır. Dökülmelerinden 1 gün sonra bütün numuneler kalıplarından çıkarılmış kür'e bırakılmıştır. Kür sıcaklığı 20 ± 2 °C ta tutulmuştur. Kür süresine bağlı olarak yapılan her bir deney için, betonlara ait tek eksenli basınç dayanımı 7 ve 28 günlük numuneler için ölçülmüştür. Numunelerin kırılması için ELE – 3000 kN hidrolik pres kullanılmıştır.

YSA İLE BETON DAYANIMI KESTİRİMİ (PREDICTION OF CONCRETE STRENGTH WITH ANN)

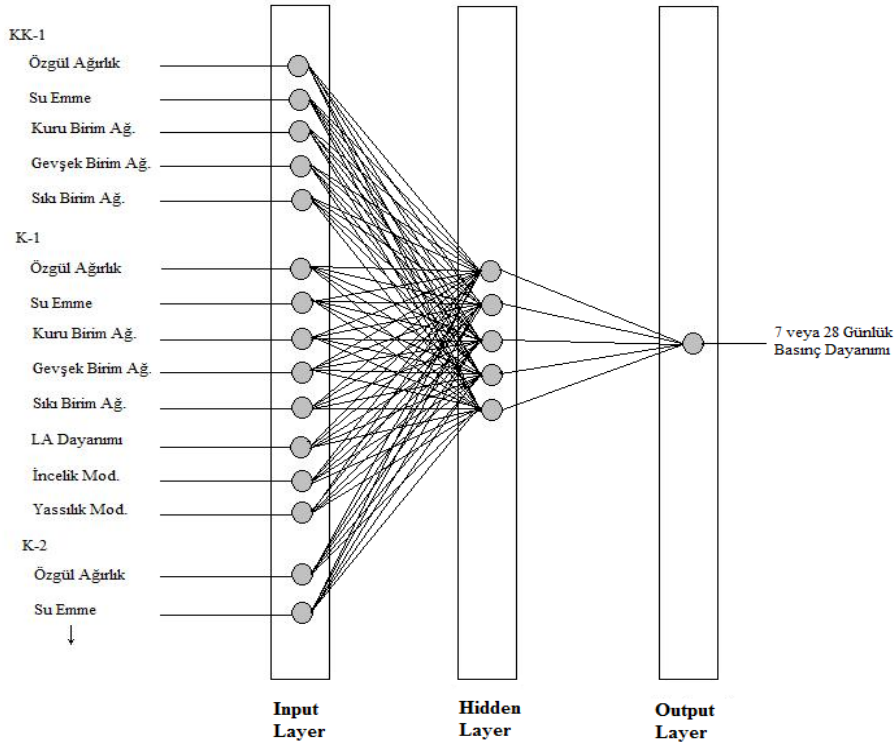
Betonu oluşturan agreganın fiziksel ve mekanik özellikleri 21 farklı parametre ile temsil edilmiştir. Agregada özelliklerini belirleyen bu parametreler her iki yapay sinir ağı modelinde giriş parametreleri olarak kullanılmıştır. Dolayısı ile 7 günlük ve 28 günlük beton dayanımlarını belirleyen her iki YSA giriş katmanı 21 YSA hücrelerinden oluşmaktadır. YSA çıkışında çıkış parametresi olarak yalnızca beton dayanımı bulunduğundan, her iki yapay sinir ağı modelinde çıkış katmanında yalnızca bir hücre bulunmaktadır. Gizli katmandaki hücre sayısının belirlenmesi için kati bir analitik kural

bulunmadığından gizli katmandaki hücre sayısı deneysel olarak farklı sayılarda gizli katman hücre sayısı denendikten sonra beş hücreli gizli katmanlı YSA modelinin en iyi performansı gösterdiği gözlenmiş dolayısı ile gizli katman hücre sayısı her iki YSA modeli için de 5 olarak belirlenmiştir. Gizli katman hücre sayısı 5'den yüksek seçildiğinde YSA'nın eğitim aşamasında performansı yüksek iken test verileri ile çalıştırıldığında performansının ciddi oranda düştüğü gözlenmiştir. Gizli katman hücre sayısı 5 den daha az seçildiğinde ise eğitim aşamasında ağın toplam karesel hatası belli bir değerin altına düşmemiştir. Dolayısı ile ağın gizli katmanı 5 den daha az hücre ile dizayn edildiğinde ağın öğrenme kapasitesinin problemde kullanılan giriş parametreleri ile çıkış parametresi arasındaki ilişkiyi öğrenmeye yetmediği kanaatine varılmıştır.

Çizelge 1. Beton numunelerini oluşturan elemanların ağırlıkça dağılımı

Table 1. Weighted distribution of concrete construction materials

Malzeme	Miktar Kg/m ³	Malzeme	Miktar Kg/m ³
Çimento	260-275	Su	185-195
Kül	67-72	Kırma Kum I.	550-565
Dere Kumu	565-573	Kırma Kum II.	485-490
Kırma Kum	200-210	Katkı	2,7



Şekil 2. Çalışma kapsamında geliştirilen YSA modelinin yapısı

Figure 2. Structure of ANN model developed during this study

Giriş parametrelerinin YSA modeline yapay sinir ağına verildiği 21 hücreli katmana giriş katmanı, beton dayanımı değerini üreten tek hücreli yapıya ise çıkış katmanı adı verilir. Şekil 2.'de gösterildiği

gibi giriş ve çıkış katmanları arasında bulunan katmana ise saklı (gizli) katman adı verilmektedir. Gizli katmandaki hücre sayısının belirlenmesi için, kesin bir analitik ifade olmamakla birlikte, bu katmandaki hücre sayısı deneysel olarak belirlenir. Bu çalışmada her iki uygulama için de gizli katmanda 5 hücre kullanılmıştır.

Toplam 334 numuneye ait veri seti içerisinde 250 adet veri yapay sinir ağının eğitimi sürecinde eğitim verisi olarak kullanılmış, geri kalan 84 veri ise YSA'nın testi için kullanılmıştır. YSA'nın eğitiminde adaptif öğrenme katsayılı geriye yayılma algoritması kullanılmıştır. Geriye yayılma algoritmasında ağın öğrenme performansını etkileyen en önemli parametrelerden birisi öğrenme katsayısıdır. Öğrenme katsayısının çok büyük olması durumunda algoritmanın yerel optimumlara takılması söz konusu olup öğrenme hızında ciddi bir artış gözlenmesine rağmen öğrenme performansında düşüş olması muhtemeldir. Aksi durumda, öğrenme katsayısının çok küçük olması durumunda ise ağın öğrenme performansında bir artış söz konusu olmakla beraber öğrenme işlemi çok zaman almaktadır. Bu nedenle öğrenme katsayısı için optimum bir değer belirlenmesi geriye yayılma algoritmasında çok önemli bir husustur.

Bu çalışmada yukarıda anılan her iki husustan kaynaklanan dezavantajları bertaraf edebilmek için öğrenme katsayısının adaptif olarak belirlendiği adaptif öğrenme katsayılı geriye yayılma algoritması kullanılmıştır. Momentum katsayısı ise 0.9 olarak alınmıştır.

Yapay sinir ağı ile elde edilen beton dayanımı sonuçları orjinal regresyon sonuçları ile karşılaştırıldığında, YSA'nın performansının daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile geliştirilen modelden elde edilen 7 ve 28 günlük basınç dayanımı sonuçları Çizelge 2.' de verilmiştir.

Çizelge 2. Deneysel sonuçları ile modelden elde edilen sonuçlar

Table 2. Experimental Results and the results obtained from ANN model and LR

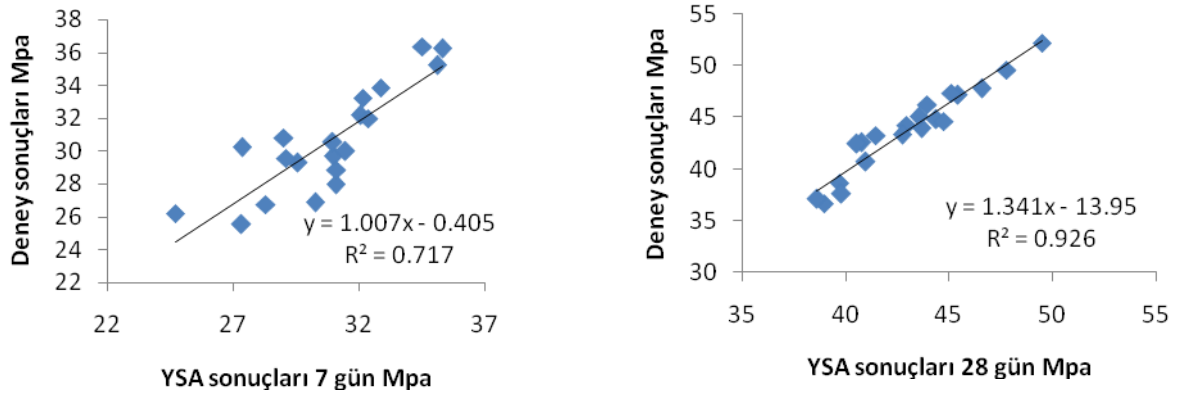
Deneysel Sonuçları		YSA Sonuçları		Lineer Reg. Sonuçları	
7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
33.22	44.26	32.12725789	42.9363137	36	42.0289
26.77	38.68	28.26225714	39.69422591	23	36.4405
36.25	43.36	35.27807213	42.73748118	35.115	37.9167
35.23	52.2	35.08225829	47.48414092	37.0095	50.6997
36.35	43.24	34.49804368	41.44805031	37	37.1263
27.96	42.6	31.05077833	40.73274924	25.5514	36.5178
25.55	36.66	27.30355324	38.94977761	22	35.6329
30.22	47.22	27.34044116	45.41257893	35.7458	48.2434
30.82	47.78	28.98598356	44.57943099	36.2002	43.8375
29.28	46.25	29.54870803	43.92838776	35.3236	43.6781
26.2	37.59	24.67426176	39.79234982	25.142	36.223
29.58	37.08	29.08801988	38.60778493	25.2295	36.1972
32.18	47.37	32.01457842	45.12464464	35.322	48.1497
33.85	49.62	32.83024107	45.76417535	35.5	47.4612
26.86	40.75	30.23407705	40.97856142	24	41.7905
29.68	43.98	30.9514514	43.6546529	31.8385	43.6875
30	44.82	31.42166165	44.37878468	31.8912	43.668
31.98	44.65	32.35050381	44.72469028	31.8903	43.6758
30.54	42.43	30.92335554	40.51479725	25.9366	37.3872
28.87	45.05	31.06691203	42.52775318	30.2528	37.9957

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yapay sinir Ağı (YSA) ile oluşturulan modelden elde edilen sonuçlar ile deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar, grafik olarak Şekil 3'de verilmiştir. Buna göre 7 günlük basınç dayanımı için hazırlanan YSA modelinde elde edilen sonuçlar ile deneylerden elde edilen sonuçlar arasında kurulan ilişkinin korelasyon katsayısının 0.717 ve 28 günlük basınç dayanımı için hazırlanan YSA modelinde ise elde edilen sonuçlar ile deneylerden elde edilen sonuçlar arasındaki ilişki ise 0.926'lık bir korelasyon katsayısı ile elde edilmiştir. YSA kullanılarak elde edilen sonuçların deney sonuçlarına yakın olduğu ortaya çıkmıştır.

YSA ile geliştirilen modelden elde edilen 7 günlük basınç dayanım değerleri sonuçlarının gerçek değerleri ortalama %96.2 değerle temsil ettiği görülmüştür. 28 günlük basınç dayanımı değerleri ise YSA modelinde %2.8 hata değeri ile tahmin edilmiş buda %97.2 doğruluk değeri ile sonuçlar tahmin edilmiş anlamına gelmektedir. Ancak hata değerleri lineer regresyonda 7 günlük içinde %11.6, 28 günlük değerlerde ise %9'un üzerine çıkmıştır.

YSA sonuçları ile, deneysel veriler Şekil 3.'de karşılaştırıldığında; YSA sonuçlarının % 2.8 gibi küçük bir hata oranıyla deneysel sonuçlarla uygunluk gösterdiği görülmüştür. Hata analizi, yüzdelik mutlak hata esas alınarak yapılmıştır.



Şekil 3. Deney sonuçları ve YSA modelinden elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Figure 3. Comparison of the experimental results and the results obtained from ANN model

Aynı şekilde, lineer regresyon analizi ile yapıldığında, lineer regresyon sonuçlarının deney sonuçlarına göre yüzdelik ortalama mutlak hata oranının %11.62 olduğu görülmüştür.

Elde edilen veriler arasındaki korelasyon incelendiğinde lineer regresyon tekniği ile deney sonuçlarının arasındaki R^2 değeri ortalama 0.479 – 0.551 oranları arasında, yapay sinir ağı yöntemi ile 7 günlük için R^2 değeri 0.733, 28 günlük için ise 0.740 değerleri arasında başarı ile tahmin edilebildiği görülmüştür.

Çalışma sonuçları modelin güvenilirliği açısından değerlendirilirse tahmin değerleri ile deneysel değerler arasındaki korelasyon kabul edilebilir düzeydedir. Fakat modellemede daha fazla veri seti kullanılmasının modelin öğrenme ve tahmin etme aşamalarının geliştirilmesi ve daha iyi sonuçların alınabilmesi açısından önemli olduğu düşünülmektedir.

Sonuç olarak deneysel çalışmalar, uzun sürelerde yapılabilen, malzeme harcanan ve ekonomik yükümlülük getiren, aynı zamanda teknik personel gerektiren çalışmalardır. Bu yüzden, yapay sinir ağı gibi yapay zeka modellerinin kullanılabilirliği üzerine yapılacak çalışmalarla deneysel çalışmalardaki bu kayıplar ve gereksinimler daha aza indirgenebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Alexander, M.G., Milne, T.I., 1995, "Influence of Cement Blend and Aggregate Type on Stress- Strain Behavior and Elastic Modulus of Concrete", *ACI Materials Journal*, Vol. 92, May-June. pp. 227–235.
- Bryson, A.E., Ho Y.C. 1969, " *Applied Optimal Control*", Blaisdell, New York.
- Hong-Guang, N., Ji-Zong, W. 2000, "Prediction of Compressive Strength of Concrete by Neural Networks", *Cement and Concrete Research*, Vol. 30(8), pp. 1245-1250.
- Kaplan, M.F., 1959, "Flexural and Compressive Strength of Concrete as Affected by the Properties of Coarse Aggregates", *Journal of American Concrete Institute*, May, Vol. 72, pp. 1193- 1208.
- Kawakami H., 1992. "Effect of Aggregate Type on the Mechanical Properties of Concrete", *Interfaces in Cementitious Composites*, J.C.Masa (Ed) Toulouse, pp. 179–186.
- Lai, S., Sera, M., 1997, "Concrete Strength Prediction by Mean of Neural Networks", *Construction and Building Materials*, Vol. 11(2), pp. 93-98.
- Mukherjee, A., Biswas, S.N., 1997, "Artificial Neural Networks in Prediction of Mechanical Behavior of Concrete at High Temperature", *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 178(1), pp. 1-11.
- Murdock, L.J., Brook, K.M., Dewar, J.D., 1991, "Concrete and Materials and Practice", 6, London.
- Neville, A.M., 1996, "Properties of Concrete", Fourth and Final Edition, John Willey, G. Sons. pp.56-80.
- Öztaş, A., Pala. M., Özbay, E., Kanca, E., Çağlar, N., Asghar, B. M., 2006, "Predicting the Compressive Strength and Slump of High Strength Concrete Using Neural Networks", *Construction and Building Materials*, Vol. 20(9), pp. 769-775.
- Tasong, W.A., Lynsdale, C.J., 1998, "Aggregate Cement Paste Interface II: Influence of Aggregate Physical Properties", *Cement and Concrete Research*, Vol. 28, pp. 1453-1465.
- Yeginbogalı, A., 1999, "Betonun iç yapısı", *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Notları*, No:3 Ankara.