

Yapay Zeka Algoritmalarında Kullanılan Tahmin Metotları ile Çimento ve Betonunun Basınç Dayanımına Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi

Investigation of Factors Affecting Compressive Strength of Cement and Concrete with Prediction Methods Used in Artificial Intelligence Algorithms

Kübra TÜMAY ATEŞ¹ 

¹ Çukurova Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 01250, Adana, Türkiye

Öz

Artan nüfusla birlikte konut veya yapılara duyulan ihtiyaç artmıştır. Bu durum da inşaat sektörünün çekirdeği olan çimento ve beton ihtiyaçlarının artmasına sebep olmuştur. Ancak çimento veya betonu oluşturan bileşenlerin içeriğinin değişmesi ya da üretimde oluşabilecek herhangi bir aksaklık durumunda nihai ürünlerin de eksik veya hatalı üretilmesine sebebiyet verebilmektedir. Aynı zamanda çimento veya beton üretiminde, bileşenlerin karışım oranlarının belirlenmesi betonun basınç dayanımını ölçebilmeyi zorunlu kılmaktadır. Bu kapsamda, nihai ürün olan beton veya çimentonun basınç dayanımının ölçülmesi sektörel olarak kaçınılmaz bir durum haline gelmiştir. Bu durum da fabrikalardaki dayanım testlerinin belirli zaman aralıkları ile ölçülmesi ile mümkündür. Nihai ürünlerin üretilmesi aşamasında zamanı verimli kullanabilmek adına yapılmış olan bu çalışmada; çimento veya betonun basınç dayanımının tahminlenmesi ve bunları oluşturan bileşen miktarlarının da basınç dayanımına olan etkisi uzun yıllardır incelenen ve çalışılan konular arasında yer almaktadır. Buradan yola çıkılarak çalışmanın temel planı yapay zeka metotları ile yapılmış geniş bir literatür taraması neticesinde elde edilen bulguları iki farklı başlık altında inceleyerek sonuçları yorumlamaktır. Yapılan analizin başlıca eğilimi çimentonun ve betonun basınç dayanımını etkileyen faktörlerin ortaya çıkarılmasıdır. Çalışmada, konuyla ilgili 1997- 2021 yılları arasında yayınlanmış 1012 çalışma incelenmiştir. Araştırmaya dahil edilecek olan kriterler göz önünde bulundurularak 52 yayın çalışma için uygun bulunmuştur. Yayınlar konu, limit ve bileşen karşılaştırmaları açısından değerlendirilmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgular neticesinde, çimento ve betonun basınç dayanımına etki eden faktörlerin; kürlenme günü süresi, çimento-su oranı, katkı maddeleri oranı ve bileşen oranı olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çimento Bileşenleri, Basınç Dayanımını Etkileyen Faktörler, Yapay Sinir Ağı Metodu, Yapay Zeka Tahmin Metotları

Abstract

With the increasing population, the need for housing or buildings has increased. This situation has led to an increase in the needs of cement and concrete, which are the core of the construction industry.. However, in case of a change in the content of the components that make up the cement or concrete or any malfunction that may occur in the production, it may cause the final products to be produced incompletely or incorrectly. At the same time, in the production of cement or concrete, the determination of the mixing ratios of the components makes it necessary to measure the compressive strength of the concrete. In this context, measuring the compressive strength of the final product, concrete or cement, has become an inevitable sectoral situation. This is possible by measuring the strength tests in factories at certain time intervals. In this study, which was carried out in order to use time efficiently during the production of final products; The estimation of the compressive strength of cement or concrete and the effect of the amount of components that make them up on the compressive strength are among the subjects that have been studied and studied for many years. From this point of view, the basic plan of the study is to interpret the results by examining the findings obtained as a result of a wide literature review made with artificial intelligence methods under two different headings. The main tendency of the analysis is to reveal the factors affecting the compressive strength of cement and concrete. In the study, 1012 studies published between 1997 and 2021 on the subject were examined. Considering the criteria to be included in the research, 52 publications were found suitable for the study. The publications were evaluated in terms of subject, limit and component comparisons. As a result of the findings obtained from the study, the factors affecting the compressive strength of cement and concrete; curing day time, cement-water ratio, additives ratio and component ratio were determined.

Keywords: Cement Components, Factors Affecting Compressive Strength, Neural Network Method, Artificial Intelligence Prediction Methods

I. GİRİŞ

Çimento üretimi için gerekli olan klinkerin ana hammaddeleri kalker, kil, demir cevheri ve boksittir. İçerisinde en yüksek konsantrasyona sahip olan kalker ve kil, çeşitli kaynaklardan elde edilmektedir. Hammaddeler genellikle

belli bir elek üstünde % bakiye olarak tarif edilen inceliklere öğütülür. Bu incelik, kimyasal analizlerle tayin edilen ve imal edilecek klinkerin tipine özgü testlerle tespit edilir [1]. Çimento üretiminin temel prosesi klinker elde etme aşamasıdır. Farin, döner fırın ünitesinde ~1350- 1400°C'ye ısıtılarak pişirilir. Pişen ana ürüne klinker denir. Pişirme işlemi için ihtiyaç duyulan ısı enerjisi genellikle kömürden sağlanmaktadır. Kömür kullanılmadan önce yakıt hazırlama denen bir süreçten geçer. Bu süreçte kömür ortalama 10 mikron tane büyüklüğü ve %2 rutubet olacak şekilde değirmenlerde öğütülüp, silolara beslenir. Toz haldeki kömür iki ayrı noktadan, fırın kafası olarak tabir edilen fırın girişinden ve kalsinatörden fırına girer. Pişme işlemi sırasında farindeki bir takım oksitler birbirleriyle reaksiyona girerek yeni yapılar oluştururlar. Pişmiş haldeki bu malzemeye klinker adı verilir. Fırından çıkan 1200°C sıcaklıktaki klinker, çıkışta 100°C'nin altına düşecek şekilde ani soğutma işlemine tabi tutulur. Soğutma işlemi, klinkerin pişme işleminde oluşan kristal yapısını koruması açısından büyük önem taşır. Soğutma çıkışı sonrasında, klinker uygun stoklama bölümlerine alınır. Klinkerin saflığı miktarı, fiziksel ve kimyasal özellikleri çimentonun aktivite indeksi üzerinde büyük bir role sahiptir [2,4].

Genel olarak, cürüflü çimentolar çoğu kimyasal katkı maddeleriyle sorunsuz olarak kullanılabilir. Ancak, tüm diğer çimentolarda olduğu gibi, cürüflü çimentolarla üretilen betonlarda kimyasal katkı kullanmak gerektiği taktirde, gerçek koşullara uygun koşullarda denemeler yapılmasında yarar vardır. ASTM C 595 "Standard Specification for Blended Hydraulic Cements" (49) standardında katkılı çimentolarda kullanılabilecek granüle yüksek fırın cürufuna (GYFC) ilişkin koşullar genel olarak belirtilmiştir. Bu standardta, GYFC'nin kullanılabilirliğinin belirleneceği deney yöntemi GYFC içeren çimentoların üretiminde uygulanan öğütme şekline göre değişiklik gösterir. Klinker ve cürufun ayrı öğütüldüğü durumlarda, ıslak eleme ile 45 µm elek bakiyesi %20'den fazla olmayan bir incelikteki cürufun 28 günlük aktivite endeksinin %75'den yüksek olması gerekmektedir. Söz konusu aktivite endeksi, kısaca, portland çimentosuyla bir kısım portland çimentosu yerine GYFC kullanılmış cürüflü çimentonun dayanımlarının oranıdır. Birlikte öğütme koşullarında ise cüruf aktivite endeksi bulunurken kullanılacak cürufun inceliğinin cürüflü çimento içindeki tahmini inceliğiyle aynı olması gerekmektedir. Bunun dışında, ASTM C 1073 "Test Method for Hydraulic Activity of Ground Slag by Reaction With Alkali" (50) standardında cürufun hidrolik aktivitesini 24 saatte belirleyen bir test yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemde göre, öğütülmüş GYFC ve karışım suyu olarak sodyum hidroksit çözeltisi kullanılmış olan küp numunelerde, hızlandırılmış bakım uygulandıktan sonra, basınç dayanımı bulunur. Söz konusu yöntem aynı kaynaktan düzenli olarak alınan cürufların kalite

kontrolünü amaçladığından bulunan bu dayanım değeri ile ilgili bir sınırlama bulunmamaktadır.

Türkiye standartları için ise; TS EN 197-1 standardında CEM III olarak ifade edilen çimentolar "yüksek fırın cürüflü çimento"lardır. Bu çimentolar tiplerine bağlı olarak % 36 ile % 95 oranları arasında yüksek fırın cürufu içerebilirler. Yüksek fırın cürufu, demir-çelik tesislerindeki yüksek fırınlarda demir üretimi esnasında açığa çıkan bir yan üründür. Yüksek fırın cürufu aniden soğutulmuş granül hale getirilir ve daha sonrasında öğütülür. Öğütülen bu malzeme çimentoya katılabildiği gibi betonda ayrı olarak da kullanılabilir. Yüksek fırın cürufu tek başına bağlayıcılık özelliği olmayan, ancak klinker veya Portland çimentosu ile birlikte kullanıldığında bağlayıcılık özelliği kazanan bir malzemedir. Yüksek fırın cürufunun betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine oldukça fazla olumlu katkısı vardır. Yüksek fırın cürufu ve yüksek fırın cürüflü çimento ile yapılan betonun en önemli üstünlüğü çevresel etkilere karşı daha dirençli olmasıdır. Bu nedenle sülfat etkisi, deniz suyu etkisi, donma-çözünme etkisi ve aşınma etkisi gibi çevresel faktörlerin baskın olduğu yerlerde kullanımı faydalıdır. Ayrıca betonun daha işlenebilir ve geçirimsiz olmasını sağlar ve uzun vadede basınç dayanımı cüruf içermeyen betonlara oranla daha yüksektir [2-5].

Çimento ve betonu oluşturan bileşenler ve günler bazındaki basınç tahmini kapsamında yapılmış önde gelen çalışmalar kategorilere ayrılarak detaylı şekilde incelenmiş ve sonuçları yorumlanmıştır. Benzer çalışmaların bulguları ayrı ayrı sunulmuştur. İncelenen çalışmalara bakıldığında, çimento veya betonu oluşturan bileşenlerin basıncı çok yönlü olarak etkileyebileceği yargısına ulaşılabilmektedir.

Çimento ve betonunun basınç dayanımına etki eden faktörlerin yapay zeka metotları kapsamında incelenmesi, konuyu çok ayrıntılı bir şekilde ele alış şekli, analiz edilen detaylı bileşenler kapsamında ilk kez yapılan bir çalışmadır. Bu çalışmada betonu ve çimentoyu oluşturan bileşenler ayrı başlıklar altında çok detaylı şekilde irdelenmiştir. Böylece betonu ve çimentoyu oluşturan bileşenlerin çok ufak miktarlarda da olsa değiştirilmesi sonucunda karışımın basınç dayanımını değiştireceği tespit edilmiştir. Böylelikle bu çalışma, inşaat sektörü ve çimento ile ilgili yapılabilecek herhangi bir çalışma türü için önemli ve detaylı bilgiler içermektedir.

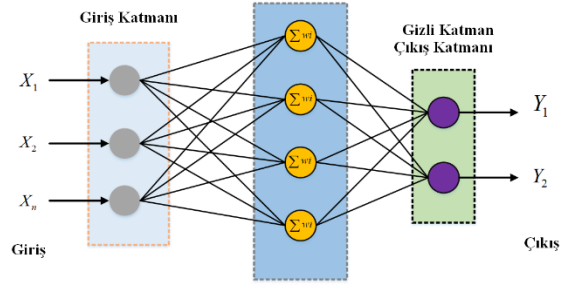
Çalışma kapsamında detaylı bir literatür taraması yapılmış ve konu, limit ve bileşen karşılaştırmaları yapılmıştır. Bu kapsamda 1997-2021 yılları arasında 1012 çalışma taranmış ve 56 yayın analiz edilerek betonun ve çimentonun basınç dayanımına etki eden faktörler ayrıntılı bir şekilde karşılaştırılarak ortaya konmuştur. Çalışma neticesinde bu etkenlerin birçok parametreye bağlı olduğu saptanmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Beton veya çimento sektöründe uygulanan, basınç dayanım tahmin metotları ve bileşenlerin basınç dayanımına olan etkisini ortaya çıkarabilmek amacıyla geniş kapsamlı bir literatür çalışması yapılmıştır. Konuyla ilgili 1997- 2021 yılları arasında yayınlanmış 1012 çalışma incelenmiş ve analiz edilmiştir. Sistematik inceleme için araştırmaya dahil edilecek olan kriterler göz önünde bulundurularak 52 yayın çalışma için uygun bulunmuş ve çalışmada yer verilmiştir. Yayınlar konu, limit ve bileşen karşılaştırmaları açısından değerlendirilmiştir. Çalışmada Science Direct, Pergamon, Elsevier ve ULAKBİM veri tabanları kullanılmıştır. Ayrıca 'Factors Affecting Compressive', 'Cement Components' anahtar kelimeleri kullanılarak taranmıştır. Taranan yayınlarda çimentonun basınç dayanımına etki eden faktör ve bileşenler sınır olarak belirlenmiş ve özellikle çimento sektöründe hali hazırda bilinen özelliklerden daha farklı bileşenlerin dayanıma nasıl etki ettiği araştırılmıştır. Çalışmaların hepsi yazar tarafından bağımsız bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir. Aynı zamanda Türk Standartları Enstitüsü'nün yayımlanmış olduğu standartlar [2-5] de incelenerek gerekli bilgiler toplanmaya çalışılmıştır. Bu bağlamda beton ve çimento sektörleri ayrı ayrı incelenmiş ve yapılan çalışmaları ayrı başlıklar halinde detaylı olarak verilmiştir. Bu çalışmalarda kullanılan bileşenler, yöntemler ve basınç dayanımına olan etkilerin neler olduğu analiz edilip değerlendirilmiştir. Yapılan literatür çalışmalarında, bileşenlerin basınç dayanımına olan etkilerinin bulunabilmesi ve nihai ürünlerin basınç dayanımı tahmininde son zamanlarda kullanılan en yaygın yöntemlerden biri olan yapay zeka teknikleri diğer metotlara oranla daha ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Ek olarak çalışmada kullanılan Yapay Sinir Ağları (YSA)'nın teorik mimari yapısı ve basit formülü tanımlanmıştır. YSA, girdi ve çıktı verileri arasındaki doğrusal ve doğrusal olmayan karmaşık ilişkileri öğrenme algoritması ile inceleyebilen, insan beynindeki nöronların çalışma sistemini örnek alan matematiksel bir olgudur [6-7]. Herhangi bir sistem için basit bir YSA modeli geliştirmek ağın topolojisi, eğitim algoritması ve aktivasyon fonksiyonlarının tanımlanması ile mümkündür. Sinir ağları, her biri bilinen bir "girdi" ve "sonuç" içeren örnekleri işleyerek öğrenir (veya eğitilir), ikisi arasında ağın veri yapısı içinde depolanan olasılık ağırlıklı ilişkiler oluşturur. Belirli bir örnekten bir sinir ağının eğitimi, genellikle ağın işlenmiş çıktısı (genellikle bir tahmin) ile bir hedef çıktı arasındaki farkın belirlenmesiyle gerçekleştirilir. Bu fark hatadır. Ağ daha sonra ağırlıklı ilişkilerini bir öğrenme kuralına göre ve bu hata değerini kullanarak ayarlar. Art arda yapılan ayarlamalar, sinir ağının hedef çıktıya giderek daha fazla benzeyen çıktı üretmesine neden olur. Yeterli sayıda ayarlamadan sonra eğitim, belirli kriterlere göre sonlandırılabilir [6-7].

YSA modellemesinin geri yayılma algoritması, çok katmanlı ileri beslemeli ağların eğitimi için en uygun yöntem olarak kabul edilir (Şekil 1). Yapay nöronlar, ağırlıklı ara bağlantılarla çok girdili doğrusal olmayan süreçler olarak modellenir. Bir geri yayılma ağının eğitimi için algoritma, önerilen yaklaşıma göre geliştirilebilir (Denklem 1). Burada X_j ağdaki girdileri, w_{ij} hatayı azaltmak için kullanılan ağırlık değerini, Q_i ise eşik değerini ifade etmektedir. Ayrıca f_i modele uygulanan fonksiyon iken y_i modelin tahmin sonucudur (Denklem 1) [6-7].



Şekil 1. Basit bir YSA için Örnek Mimari Yapı [6-7]

$$y_i = f_i \left(\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j + Q_i \right) \quad (1)$$

2.1. Çimento ve Betonunun Basınç Dayanımına Etki Eden Faktörlerin Yapay Sinir Ağı (YSA) Metodu İle Analizi

Çalışmanın bu bölümünde kullanılan analiz metodu YSA'dır. YSA insan davranışının temeli olan öğrenme mekanizmasına başvurarak beyin işlevlerini bilgisayarlı bir şekilde yansıtmaya çalışır. Öğrenebilme yetenekleri sayesinde alınan örnekleri kullanarak, algoritmik çözümlerin olmadığı veya bulunamayacak kadar karmaşık algoritmik çözümlerin olduğu problemlere uygulanabilir. Verileri işleyebilme yetenekleri sayesinde YSA, parametrik yaklaşımlardan daha esnek ve güçlü olduğu için tercih edilmiştir. Bu kapsamda taranan literatürün ayrıntıları sırasıyla verilmiştir.

Dantas ve arkadaşları [8] yapmış oldukları çalışmada; beton içeren inşaat ve yıkım atıklarının basınç dayanımını, YSA modelleri geliştirerek tahmin etmeye çalışmışlardır. İnşaat ve yıkım atıklarını içeren betonların 3,7,28 ve 91 günlük verileri kullanılmıştır. Modelleri oluşturmak için kullanılan deneysel sonuçlar literatürden toplanmıştır. Toplamda, YSA modellemesi için 1178 veri kullanılmıştır. Eğitim aşamasında verilerin %77.76 'sı ve test aşamasında %22.24 'ü kullanılmıştır. Modeli oluştururken, bir çıktı parametresini elde edilmesi için 17 girdi parametresi kullanılmıştır. Hem eğitim hem de teste elde edilen sonuçlar YSA'nın 3,7,28 ve 91 günlük basınç dayanımını tahmin etmek için potansiyel kullanımını kuvvetli bir biçimde göstermektedir. Sonuçlar istatistiksel metotlar ile birlikte yorumlandığında, çıktı değerlerinin deneysel değerlere çok yakın olduğunu

gözlemişlerdir. Bu sebeple yapmış oldukları tahminin doğruluğunu ortaya koyarak literatüre katkıda bulunmuşlardır.

Bir başka çalışmada Nasuf ve Özbakır [8]; çalışmalarında Agregat hammaddesinin fiziksel özelliklerinin beton dayanımına etkisini YSA ile araştırmışlardır. Çalışmalarında uygulamayı YSA'nın Geriye Yayılım Öğrenme Algoritması ve deneysel metodu karşılaştırarak yapmışlardır. Betonun, büyük çoğunluğunu oluşturan agregat dışındaki tüm bileşenleri sabit tutarak 7 ve 28 günlük basınç dayanımı testleri yapılmıştır. Geliştirdikleri YSA modelinde giriş katmanları agregatların fiziksel özellikleri, çıkış katmanında ise betonun 7 ve 28 günlük dayanım sonucu değerlerini kullanmışlardır. Modelin öğrenme kapasitesini arttırabilmek için giriş ve çıkış katmanları arasına gizli katmanlar koymuşlardır. Deneysel metotta ise agregatların fiziksel ve mekanik özelliklerini ölçerek, deneylerinde özgül ağırlığı $31,7 \text{ gr/cm}^3$ olan CEMI 42,5 R tipi çimento kullanmışlardır. Betonun oluşturan agregatların fiziksel ve mekanik özellikleri 21 farklı parametre ile ifade edilmiştir. 2 farklı YSA modeli kurularak, modelin girdilerini agregatların özellikleri olarak belirlenmiş, çıkış parametresi ise beton dayanımı olarak belirlenmiştir. Toplam 334 numune alınarak yapılan çalışmada, 250 adet veri YSA eğitim verisi olarak kullanılmıştır. 84 tanesi ise YSA'nın eğitim verisini oluşturmuştur. Yapmış oldukları çalışmalar neticesinde deneysel metotları ve YSA'yı kıyasladıklarında tahmin değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğunu görerek 7 ve 28 günlük değerleri başarı ile tahmin etmişlerdir.

Aynı yöntemle farklı bir test yapan Çağlar ve arkadaşları [9], yapay sinir ağları ile betonarme kirişlerin hasar analizi tahminini yapmaya çalışmışlardır. Basit mesnetli izotropik kirişlerin kesme dayanımlarını tanımlamak için geliştirilen birçok çalışmaya ek olarak YSA geri yayılım algoritması ile alternatif bir çalışma ortaya koymuşlardır. Bu alanda yapılan 24 deneysel çalışma neticesinde 12 adet veriyi YSA modelini eğitmek için kullanmışlardır. Geriye kalan 12 veriyi ise test aşamasında kullanmışlardır. İki farklı YSA modeli geliştirilmiştir ve ilk YSA modelinde, girdi katmanı değerleri için yedi parametre kullanmışlardır. İkinci modelde ise ilk modelden alınan parametre ile tamamlanmıştır. Gizli katman sayısının bir olarak geliştirildiği bu modelde, YSA performans sonuçlarının grafiğe dökülmesi ile literatüre farklı bir bakış açısı kazandırılmıştır

Yüzer ve arkadaşları [10], yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonun basınç dayanımı ve renk değişimi ilişkisini yapay sinir ağları yöntemi ile tahmin etmeye çalışmışlardır. Yapmış oldukları çalışmada, yüksek sıcaklığın ve söndürme türünün betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkileri deneysel metotlarla incelenmiştir. Akabinde Yapay Sinir Ağları yönteminden yararlanarak, renk değişimi ve ultrases

geçiş hızı ile basınç dayanımı arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Çalışmada CEM I 42.5 R çimentosu, ve farklı sayı-çeşitte hammaddeler kullanılarak üretilen betonlar, farklı yüksek sıcaklıklarda çeşitli deneylere tabi tutulmuştur. Problem, geri yayılım algoritmaları ve çok katmanlı bir YSA modeli ile tahmin edilmiştir. Deneysel çalışma bir parametresi de CEMI 42.5 R'i içeren dört farklı aşamada gerçekleştirilmiştir. YSA tahminlemesi ise iki farklı model ile oluşturulmuştur. Modelin girdi katmanında betonun dayanımını etkileyen dört farklı parametre, çıktı katmanında ise betonun basınç dayanımı yer almıştır. YSA modelinde 47 veri kullanılmıştır. Bunlardan 38 tanesi veriyi eğitmek için kullanılırken, 9 tanesi ise veriyi sınama için kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda lineer regresyon yapılarak korelasyon katsayısının yüksek olduğu ortaya konulmuştur. Sonuçları bir başka YSA analizi ile de sınayarak hemen hemen aynı sonuçları elde etmişlerdir (Hegazy ve Ayed'in yöntemi). Çalışmanın genel olarak sonuçları incelendiğinde, tahminlerin ortalama %95,34 oranında doğru olduğunu saptamışlardır.

Bir başka çalışmada Wang ve arkadaşları [11], çelik cürufunun mineral bileşimlerini değiştirerek hidrasyon aktivitesinin artırılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma, çelik cürufunun çimentolu özelliklerini iyileştirmenin yollarını araştırmayı amaçlamaktadır. Çalışmada kullanılan çelik cürufunun spesifik yüzey alanı $458 \text{ m}^2/\text{kg}$ iken, kullanılan çimentonun spesifik yüzey alanı $312 \text{ m}^2 / \text{kg}$ 'dır. Çin Ulusal Standardı GB 175-1999'a uygun olarak 42.5 kuvvet derecesinde Portland çimentosu ile çalışmalarını yürütmüşlerdir. Orijinal çelik cürufundan başka iki tür çelik cürufu, orijinal çelik cürufunun iki parça halinde elenmesi ile elde edilmiştir. Çelik cürufu-A, orijinal çelik cürufunun toplam kütlelerinin % 81'ini oluşturan, 61m'den küçük parçacıkların bölümünü temsil eder. Çelik cürufu-B ise diğer kısmı temsil etmektedir. 3, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları Çin Ulusal Standartları GB/ T17671-1999'a göre test edilerek sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, çelik cürufunun çimentolu fazının silikat ve alüminattan oluştuğunu göstermektedir, ancak bu fazların büyük parçacıkları çelik cürufunun çimentolu özelliklerine çok küçük bir katkı sağlamaktadır. RO (Reverse Osmosis) fazı (CaO-FeO-MnO-MgO katı çözeltisi), Fe_3O_4 , C₂F ve f-CaO, çelik cürufunun çimentolu özelliklerine katkıda bulunmamaktadır. Bazı büyük parçacıkların giderilmesiyle daha çimentolu ve daha az RO fazlı yeni bir çelik cürufu elde edilebilir. Bu yeni çelik cürufu, orijinal çelik cürufundan daha iyi çimentolu özelliklere sahiptir. Büyük parçacıklar beton için, ince agregalar olarak kullanılabilir olarak bulunmuştur.

Benzer bir konuyu ele alan Slonski [12], YSA kullanarak, yüksek performanslı betonun basınç dayanımı tahmini için model seçim yöntemlerinin karşılaştırmıştır. Bu çalışmanın temel amacı, yüksek

performanslı betonun basınç dayanımı tespitinde, otomatik olarak en uygun sinir modellerini oluşturan üç istatistiksel stratejiyi tanıtmak ve karşılaştırmaktır. Girdilerden, su miktarı ve süper akışkanlaştırıcı arasındaki korelasyon katsayısı 0.66'dır. Basınç dayanımı ile çimento miktarı arasındaki lineer korelasyon katsayısı ise 0.50 olarak bulunmuştur. Bu da basınç dayanımı ve çimento arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak; yüksek performanslı beton karışımının basınç dayanımının, bir beton karışımı bileşeninin miktarlarını ve betonun yaşını tanımlayan sekiz girdi bileşeninden ileri beslemeli katmanlı sinir ağı kullanılarak doğru bir şekilde tahmin edilebileceğini göstermiştir.

Özcan ve arkadaşları [13], silika duman betonunun uzun vadeli basınç dayanımı tahmininde yapay sinir ağları ile bulanık mantık modellerini karşılaştırmıştır. Kullanılan çimento, özgül ağırlığı 3,16 olan CEM I 42,5R tipi Portland çimentosudur. Blaine spesifik yüzey alanı ise 3350 cm²/g 'dir. CEM I tipi çimentonun ve silis dumanın kimyasal bileşiminde; SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, SO₃, K₂O, Na₂O maddeleri yer almaktadır. Özgül ağırlık ve birim ağırlık, sırasıyla 2.32 ve 245 kg/m³'tür. Silika dumanının 45 mm'lik elek üzerinde kalan kısmı %4.8 'dir. Çakıl %1.3 emme değerinde maksimum 16 mm nominal boyutta tespit edilmiştir ve doymuş yüzey kuru (SSD) koşulundaki nispi yoğunluğu 2.70'dir. Kullanılan kumun absorpsiyon değeri %1.8 ve SSD koşulundaki nispi yoğunluğu 2.61 'dir. Sonuçlar incelendiğinde, silika dumanının 28 güne kadar kısa sürede basınç dayanımını etkilediğini, ardından 28 günden sonra silika dumanının basınç dayanımı üzerindeki etkisini azalttığını göstermiştir. Neticede yapılan çalışmada, YSA ve FL'nin silis duman betonunun, basınç dayanımını öngörmeye alternatif yaklaşım olabileceğini göstermiştir. Aynı zamanda YSA ve FL arasındaki R² açısından yapılan karşılaştırma, YSA'nın FL sonuçlarından daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Babu ve Kumar [14] yapmış oldukları çalışmada, öğütülmüş tanecikli yüksek fırın cürufunun (ÖYFC) betondaki etkinliğini araştırmışlardır. Çalışmada 175 karışımdan ASTM tip I (283 ± 391 m² / kg aralığında inceliği olan) normal Portland çimentosu kullanılmıştır. Normal şartlar altında sertleştirilen 70 betondan oluşan karışımlar değerlendirilmiştir. Betonda, mineral katkı maddesi olarak kullanılmak üzere ASTM C989 tarafından belirtilen minimum karakteristiklere (350 ila 465 m²/kg, SiO₂ %31.1 ile % 38.59 ve CaO % 32.8 ile %43.9 arasındadır) uyan elementler kullanılmıştır. Bileşenlerin değişim yüzdeleri% 10 ile% 80 arasında değişmektedir. İnce akarsu olarak doğal nehir kumu kullanılmış ve kaba agreganın azami büyüklüğü 10 ila 20 mm arasında belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, fark edilen değişiklik, silindirden küp kuvvetine olan değişiklik olarak görülmüştür ve 55 ± 70 MPa güç aralığında bulunan betonlar için tek bir 0.9

faktörü kullanılarak düzeltilmiştir. Su ile çimento esaslı malzemelerin, farklı değişim yüzdelerinde basınç dayanımı ilişkilerine oranı, bütün betonlar için 28 günlük sonuçları bulunmuştur. Günlük kompresör GGBS'yi içeren% 30'a varan yerine geçen betonların kuvvetleri, normal betonlarınkinden biraz daha fazlayken ve diğer tüm yüzdelerde ilişkiler normal betonlarınkinin altında elde edilmiştir. Farklı cüruf değişim yüzdeleri nedeniyle oluşan değişikliklerin, uçucu kül durumunda karşılık gelen değişikliklerden daha küçük olduğu da gözlenmiştir. Dayanım değerlerini tüm değiştirme seviyelerinde normal betona yakın bir seviyeye getirmek için, su-çimentolu malzeme oranları uygulanarak değişiklik yapılmıştır. Sonuçlar incelendiği zaman; değer artışları 28 günde, "genel güç verimliliği faktörü (k)", %10 ile %80 arasında değişen yüzde değişim seviyeleri için 1,29 ile 0,70 arasındadır. Genel olarak; bu yöntemle, ÖYFC seviyeleri ile %10 ila 80 arasında değişen, 20 ila 100 MPa arasında değişen betonların kestiriminin, normal betonlarda da aynı olan 0.94'lük bir regresyon katsayısı ile sonuçlandırıldığı bulunmuştur.

Kumar ve arkadaşları [15] granüle yüksek fırın cürufunun mekanik aktivasyonu ve bunun portland cüruf çimentosu özelliklerine ve yapısına etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında; Chattisgarh (Hindistan) eyaletindeki entegre çelik tesislerinden birinden granüle yüksek fırın cürufu örneği kullanmışlardır. Cürufun kimyasal bileşimi (ağırlıkça% olarak): SiO₂ - 33.1, Al₂O₃ - 21.6, Fe₂O₃ - 0.87, CaO - 33.0, MgO - 8.85. [(CaO + MgO + Al₂O₃) / SiO₂] ve [(CaO + MgO + 1 / 3Al₂O₃) / SiO₂ + 2 / 3Al₂O₃] olarak tanımlanan cürufun, bazlığı sırasıyla 1.9 ve 1'dir. Cürufun cam içeriği %93 'dür. Alınan %40 cüruf, %55 klinker ve % 5 alçı içeren ticari portland cüruf çimentosudur. Çalışmada, tipik olarak erken yaşlarda (7-20 gün) kuvvet azalması gösterirken, %50-70 mekanik olarak aktif cüruf içeren AMCXS numunelerinde, erken kuvvet (3 ve 7 gün) artmıştır. Mekanik aktivasyon nedeniyle, 1 gün kuvvetinde belirgin bir artış gözlenmiştir. Mekanik modifiye edilmiş çimentoda da %45 yüksek fırın cürufu kullanıldığında benzer bir gözlem rapor edilmiştir. Dayanımdaki artış, değiştirme seviyesindeki artışla daha az belirgin hale gelmiştir. %95 cüruf (örn. AMC95S) içeren numuneler hariç AMCXS %70 cürufu numuneleri için, IC-A'dan 3 ve 7 gün dayanım da daha yüksek bulunmuştur. AMC70S'nin 28 günlük gücü ticari çimentodan (IC-A) 2 kat daha yüksek bulunmuştur. Cüruf muhtevasında% 70'in üzerinde bir artışla 28 günlük dayanım düşmeye başlamıştır. AMC80S ve AMC85S için 28 günlük dayanım IC-A'dan yüksektir. Bununla birlikte, AMC95S, IC-A'dan daha düşük bir güç göstermiştir. Çalışmanın ana sonuçları şunlardır: Cürufun mekanik aktivasyonu, erken dayanım gelişimi üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. Düşük erken dayanım gelişimi, geleneksel portland cüruf çimentosu içindeki cüruf oranının artırılmasında önemli bir engeldir. Aktive edilmiş

klinker ve cüruf, aynı kökenli %40 oranında cüruf içeren bir ticari çimento karşısında mukavemete zarar vermeden cürufun %85'ine kadar cürufu değiştirilmesinin mümkün olduğu bulunmuştur.

Farklı bir çalışmada Ni ve Wang [16] yapmış oldukları çalışmada, betonun basınç dayanımını yapay sinir ağları ile tahmin etmeye çalışmışlardır. Çıktıyı etkileyen faktörler ile 28 günlük basınç dayanımıdır. Kullanılan çimento Çin standartlarındaki 425 ve 525 no'lu Portland çimentosudur. Yapılan deneyde yuvarlatılmış ve kırılmış, maksimum boyutu 31,5 ve 40,0 mm olan iki çeşit kaba agrega kullanılmıştır. İnce agrega modülü 1.9 ila 3.4 mm, su / çimento oranı 0.35 ile 0.70 arasındadır. Çimento dozu ise 257 ile 543 kg/m³ arasında değişmektedir. İki çeşit süper akışkanlaştırıcı, FE ve FDN, katkı maddesi olarak seçilmiştir. İki çeşit beton numunesi dökülmüştür. En fazla 40 mm olan kaba agregalar için ilk cins, 150 150 mm kübik boyutlara sahiptir. Diğeri ise maksimum 31,5 mm büyüklüğündeki kaba agregalar için 100 100 mm'lik kübik boyutta kullanılmıştır. Bunlar, bir kütleme kabinde (% 95'in üzerinde nispi nem, sıcaklık 232 °C) 28 gün boyunca sertleştirilmiştir. 65 karışıma karşılık gelen 28 günlük basınç dayanımı elde edilmiştir. En fazla 31,5 ve 40,0 mm boyutlarında yuvarlatılmış ve ezilmiş olmak üzere iki çeşit kaba agrega kullanılmıştır. İnce agrega modülü 1.9 ila 3.4 mm, su / çimento oranı 0.37 ila 0.70 arasında değişmekte ve çimento dozu 263 ila 570 kg / m³ arasında değişmektedir. Verilerin modele entegre edilmesi sonucunda, bazı etki faktörlerine dayanarak betonun 28 günlük basınç dayanımını tahmin etmenin hızlı bir yolunu sağlayan YSA modelleri oluşturularak doğru tahminler elde edilmiştir.

Topçu ve arkadaşları [17] hafif bir betonun basınç dayanımını yapay sinir ağları (YSA) ile tahmin etmeye çalışmışlardır. Çalışmalarında YSA modeline ek olarak SONREB modeli ile de çalışma yapmışlardır. Deneysel çalışmalarında, Ultrases ve Schmidt okumalarının aynı numunelerde yapılması amacıyla, farklı serilerde bir kenarı 15 cm olan hafif agrega ile küp numuneler üretmişlerdir. Kullanılan çimento miktarı 450 kg/m³, 100 kg/m³ kireç taşı tozu ve 50 kg/m³ uçucu külün toplamı ince malzeme miktarını oluşturmaktadır. Karışımlardaki su oranı %35'tir. Çalışmada kullanılan Ultrases geçiş süresi ve Schmidt çekici okumaları; 3, 7, 28 ve 90. günlerde basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. YSA modelindeki tahminleme süreci sonucunda, test verilerinin güvenilirlik derecesi % 96 çıkarken, deneysel verilerin tahmin edildikten sonraki güvenilirlik derecesi % 90 çıkmıştır. Yapılan çalışmaların ortak noktası olarak çıkan güvenilirlik testleri ve grafiklerinden elde edilen sonuçlara göre, deneysel çalışmanın ve YSA modelinin birbirlerine çok yakın ölçüde uyumlu olduğudur. Sonuç olarak YSA ile oluşturulan modelin tahminleme sonuçları güvenilir ve doğru çıkmıştır. Buna ek olarak hata değerlendirmesi aşamasında YSA modelinin %4.5 ile deneysel

çalışmadan çok daha düşük oranda hata vermesi ile YSA modelinin daha iyi sonuç verdiği sonucuna varılmıştır.

Diğer bir çalışmada Bagel [18] çalışmasında, yüksek fırın cürufu ve silis dumanı içeren üç harçlı çimentoların dayanım ve gözenek yapısını incelemiştir. Sabit çalışma kabiliyetine sahip, yüksek fırın cürufu ve silis dumanı içeren harmanlanmış çimento harçları, performanslarını düz Portland çimento harcı ve cüruf çimentosu harcı ile karşılaştırmak amacıyla, basınç dayanımı ve cıva sızması için test edilmiştir. Çalışmada kullanılan malzemeler; Portland çimentosu, yüksek fırın cürufu ve silika göre silisli sürekli granülometri kumu, harç yapımında kullanılan cüruf tur. Çalışmalar, 28 günlük cüruf aktivite endeksi ile karakterize edilmiştir. Her karışım için, bağlayıcı madde, kum ve suyla karıştırılarak 20 mm küp numune hazırlanmıştır. Silika dumanı ve cüruf tozları çimento ile birlikte karıştırılıp, kalıplarda 24 saat normal sertleşmeden sonra (%98 RH, 20 ± 0.5 °C), numuneler çözülüp 20 ± 0.5 °C'de suda saklanmıştır. Sıkıştırma testleri 1,7,28 ve 90 günlerde yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda; üçlü karışımlarda cürufun bulunması, silika dumanı inceliğinden kaynaklanan su talebinin artmasının, çimento-silika duman harçlarında olduğu gibi ifade edilmediğini ve dolayısıyla basınç dayanımındaki artışın w / b'ye bağlı olarak düşmediğini kanıtlar. Dolayısıyla, silika dumanı, karışıma su azaltıcı katkı eklenmese bile, daha büyük hacimlerde çimento harçlarına ilave edilebilir. Ayrıca, cüruf-silika dumanı karışımı bu harçlardaki çimentonun, çimento-silika duman karışımlarındaki silika dumanından daha fazla miktarda kullanabilmesini sağlar. Çimentonun, harçlarda kısmi olarak değiştirilip, cürufun kullanılması aynı işlenebilirlik ile sadece Portland çimentosu ile benzer harçtan biraz daha yüksek su geçirgenliğine sahip bir malzemeyle sonuçlanır. Neticede bu cüruf harcına silika dumanının eklenmesi, geçirgenliği daha da arttırmıştır

Prasad ve arkadaşları ise [20] yapmış oldukları çalışmada; YSA kullanarak, yüksek hacimli uçucu kül ve kendiliğinden yerleşen beton ile yüksek performanslı betonun basınç dayanımını tahmin etmeye çalışmışlardır. Kullanılan çimentonun içeriği; su/çimento, su/bağlayıcı, su/toz, ince agrega/toz, kaba agrega /toz, yüksek oranda su azaltıcı /toz, uçucu kül/bağlayıcı ve silika/bağlayıcılardan meydana gelmektedir. SCC için bu oranlar giriş değişkeni olarak tanımlanmıştır. Çalışma kapsamında normal portland çimentosu ile yapılan ve normal şartlarda sertleştirilen yaklaşık 300 beton numunesi değerlendirilmiştir. Çalışmada, 28 günlük basınç dayanımı dışında, çökme akışı da öngörülmüştür. YSA modelinde yer alan giriş parametreleri; çimento içeriği ve su/çimento, su/bağlayıcı, su/toz, ince agrega/toz, kaba agrega/toz, yüksek aralık su düşürücü/toz, VMA/toz, uçucu kül/bağlayıcı ve silika/bağlayıcı oranları olarak 10 tane'dir. Normal dereceler için SCC veya HPC'de

yüksek hacimli uçucu kül ile bile, %3-4 mikrosilika ilave edildiğinde, 28 gün sonunda hedef kuvvetine ulaşma olasılığı yeterince yüksek görülmüştür. Son olarak, önceki çalışmalarda YSA'nın aksine bu çalışmada sunulan ağ, betonun yaklaşık 30 ila 60 MPa arasındaki çok çeşitli basınç dayanımları üzerindeki basınç dayanımlarını öngörebilmektedir.

Siddique ve arkadaşları [21] yapay sinir ağları kullanarak, kendiliğinden yerleşen ve dip külü içeren betonun basınç dayanımı tahmini çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada ele alınan temel parametreler; çimento içeriği, kum içeriği, kaba agrega içeriği, uçucu kül içeriği, su / toz oranı ve süper akışkanlaştırıcı dozajıdır. YSA-I için kullanılan altı ana değişken: Çimento içeriği; uçucu kül, ince agrega (kum), iri taneli agrega, su-toz, süper akışkanlaştırıcıdır. YSA-II için kullanılan sekiz ana değişken ise: çimento, uçucu kül, ince agrega (kum) içeriği, alt kül (ince agreganın kısmen değiştirilmesi olarak), iri taneli agrega, su-toz, su, süper akışkanlaştırıcıdır. Doğrusal olmayan değişkenleri içeren iki sorunu modellemek için basit bir geri yayılım sinir ağı modeli oluşturulup sonuçlar incelendiğinde; yapay sinir ağını kullanarak yapılan modelleme, literatürdeki verilerde, 28 gün sonra, YSA-I'de 0.9'un üzerinde bir korelasyon katsayısına sahip olan basınç dayanımı için yapıldığı görülmüştür. Geliştirilen modeller, deneysel olarak elde edilen veriler için her yaşta daha iyi bulunmuştur. YSA-I'deki toz içeriği için maksimum etki gözlenmiş (çimento + uçucu kül) ve 90 günlük kuvvet için YSA-II hariç gözlemlenmiştir. İnce agrega başka herhangi bir agrega tipi ile değiştirilmediğinden, önem faktörü YSA-I 'de ince agregalar için 30 olarak gözlenmiştir. YSA-II için, ince agregalar (kum+dip külü) için 30 ila 40 arasındadır; alt kül iri taneli agregalar, YSA-II'nin tüm modellerinde minimum önem faktörü gösterdiği görülmüştür. Yapılan çalışma sonuçları ile birlikte doğru bir tahmin sergilenerek literatüre kaydedilmiştir

Pal ve arkadaşları [21], Öğütülmüş tanecikli yüksek fırın cürufunun betondaki hidrolik aktivitesini incelemişlerdir. Etkili bir kısmı çimento değiştirme malzemesi olarak kullanılan çelik imalat endüstrisinin, bir yan ürünü olan öğütülmüş granül yüksek fırın cürufunun (ÖYFC), betonun birçok performans özelliğini iyileştirdiği kanıtlanmıştır. ÖYFC'nin reaktivitesinin, cüruf kaynağına, kullanılan hammaddenin tipine, yöntem ve soğutma hızına göre değişen cüruf özelliklerine bağlı olduğu bulunmuştur. Mevcut çalışma, 7 ve 28 günlerde (HI7 ve HI28) Cürufun Hidrolik İndeksi (HI) ile cürufun etki özelliklerini, yani cam içeriğini, inceliği ve kimyasal bileşimi arasında çoklu regresyon analizi kullanarak yeni bir ilişki ortaya koymayı amaçlamaktadır. Çalışma, çeşitli kaynaklardan 37 cüruf örneği üzerinde yapılmıştır. HI7, HI28 ile önemli cüruf özellikleri, yani SiO₂, CaO, MgO, Al₂O₃, cam içeriği ve Blaine inceliği arasında bu tür bir korelasyon elde etmek için çaba

gösterilmiştir. İlk denklem SiO₂ ve cürufun cam içeriği kullanılarak geliştirilmiştir. Ayrıca, literatürde sıkça belirtilen kompozisyon modüllerinden ikisi (C/S) ve ((C + M + A)/S), Denklemleri oluşturmak için cam içeriği ile birlikte dahil edilmiştir. Sonuçta, cürufun önemli fiziksel ve kimyasal özellikleri (SiO₂,CaO,MgO,Al₂O₃,cam içeriği ve Blaine inceliği) HI7 elde etmek için eşzamanlı olarak hesaba katılmıştır. Sonuç olarak; HI'lar, cürufun en önemli fiziksel ve kimyasal özellikleri, yani SiO₂,CaO,MgO,Al₂O₃,cam içeriği ve Blaine'nin 7 ve 28 günlerinde inceliği ile güçlü bir ilişkisi olduğu bulunmuştur. Bu çalışmada geliştirilen denklemleri kullanarak, cürufun reaktivitesinin bulunmadığı durumlarda bile, cürufun fiziksel ve kimyasal özelliklerini bilerek, cürufun reaktivitesi belirlenmiştir. Cüruf karakteristiklerindeki geniş çeşitlilikteki varyasyonlar bu denklemlerde hesaba katılarak; bu durum yalnızca HI'yi değil aynı zamanda cürufun 7 ve 28 gündeki güç performansını da tahmin ettiği öne sürülmüştür

Bilim ve arkadaşları [23] çalışmalarında, öğütülmüş granül yüksek fırın cüruf betonunun basınç dayanımını tahmin etmek için yapay sinir ağları çalışması yapmışlardır. Beton karışım parametreleri üç farklı su - çimento oranı (0,3,0,4 ve 0,5), üç farklı çimento dozu (350, 400 ve 450 kg m³) ve dört kısmi cüruf değişim oranı (%20,% 40,60) % ve %80) ile çalışmalarını tamamlamışlardır. Kullanılan çimento, özgül ağırlığı 3.16 g /cm³ olan ASTM Tip I normal Portland çimentosu (PC 42.5 N/mm²) dur. Blaine spesifik yüzey alanı 3250 cm²/g ve kimyasal bileşimi, SiO₂ Al₂O₃ Fe₂O₃ CaO MgO SO₃ LOI Na₂O K₂O 'dan oluşmaktadır. Nemli kürlenmiş örneklerin (22 Å ± 2 C) basınç dayanımları 3, 7, 28, 90 ve 360. günlerde ölçülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde, ağırlıkla cüruf değişimi, Portland çimentosu betonunun kontrolüne kıyasla kısa vadede betonların gücünü azalttığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, uzun vadede cüruf içeren beton, normal Portland çimentosu betonununkine eşdeğer veya daha büyük bir nihai mukavemet sergilemiştir. Cüruf değişim seviyesinin artmasından kaynaklanan güç kaybı, erken yaşlarda daha belirgin olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte, güç kaybı uzun vadede ortadan kalkmış ve cüruf içeren beton, normal Portland çimentosu betonununkine eşdeğer veya daha yüksek dayanım geliştirdiği görülmüştür. Normal Portland çimentosu betonunun kontrolü ile karşılaştırıldığında, su-çimento esaslı malzeme oranındaki artış, özellikle yüksek oranda cüruf içeren betonun dayanımını daha da azalttığı ispatlanmıştır.

Alshihri ve arkadaşları [24] araştırmalarında, yapay sinir ağları ile 3,7,14 ve 28 günlük kürlenme sonrası hafif beton karışımlarının basınç dayanımını tahmin etmeye çalışmışlardır. Sıkıştırma mukavemeti, sekiz değişkenli bir fonksiyon olarak modellenmiştir ve girdi parametreleri: kum, su / çimento oranı, hafif ağırlıkta ince agrega, hafif ağırlıkta kaba agrega, çözeltilde

kullanılan silis dumanı, çimentoya ek olarak kullanılan silika dumanı, süper yumuşatıcı ve kür süresidir. Çıktı parametresi ise basınç dayanımıdır. Çalışmada yerel olarak üretilen sıradan bir Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimento içeriği sırasıyla yaklaşık 450, 400 ve 350 kg/m³ olarak kullanılmıştır. Veriler test edilip sonuçlar incelendiğinde, iki YSA uygulamasından, bir hafif beton karışımlarının 3,7,14, ve 28. gün basınç dayanımı tahmininde geri yayılım ve kademeli bir ilişki tarif edilmiştir. Sonuçlara göre, kaskad korelasyonlu sinir ağ modelinin, geri yayılma ağı çalışmalarına göre daha iyi performans gösterdiği ve çok hızlı bir şekilde öğrendiği gözlenmiştir.

Ji ve arkadaşları [25], yapay sinir ağlarına dayanan somut karışım oranlı bir tasarım algoritması geliştirmişlerdir. Çalışmada kullanılan malzemeler Çin'de üretilmiş olup, çimento 42.5 Portland çimentosudur. Birinci sınıf bir uçucu kül (Çin Standardı) kullanılmıştır. Süper plastikleştirici TW-7, naftalen tipidir. Kullanılan kaba agregası, maksimum 16 mm partikül büyüklüğüne sahip kesintisiz dereceli kırma çakıl ve ince agregası nehir kumudur. On sekiz grup beton karışımı oranları belirlenmiştir. İlk dokuz grup normal beton olup, on ile on sekiz arasındaki gruplar, uçucu kül ve süper akışkanlaştırıcı ile karıştırılmış uçucu kül betonudur. YSA modeli dört girdi parametresi ve bir çıktı parametresinden oluşmaktadır. Araştırmaları sonucunda, betonun karışım oranı ile belirlenen betonun davranışları (dayanım, çökme ve diğerleri), çimento sınıfı ve agregası ve benzeri yapıların niteliği gibi diğer parametrelerin sabit tutulması durumunda beş parametreye bağlı olduğu iddia edilmiştir. Önerilen algoritma tarafından tasarlanan betonun daha düşük çimento ve su içeriğine, daha yüksek dayanıklılığa, daha iyi ekonomik ve ekolojik etkilere sahip olmasını beklemişlerdir.

Parichatprecha ve Nimityongskul [26] yapay sinir ağları kullanılarak yüksek performanslı betonun dayanıklılığının analizini yapmışlardır. Model, önceki araştırmaların yanı sıra deneylerden elde edilen 86 veri seti kullanılarak geliştirilmiş, eğitilmiş ve test edilmiştir. Modeli doğrulamak için, regresyon denklemleri gerçekleştirilmiş ve eğitilmiş sinir ağı ile karşılaştırılmıştır. Test öngörüsünün ortalama mutlak yüzde hatası (MAPE) sonuçlar % 13,88 ve mutlak varyans oranı (R²) 0.9741 olarak bulunmuştur. Betonun klorit penetrasyon direnci, herhangi bir su bağlayıcı oranıyla, çimentoyu değiştirmek için en az %20 uçucu kül kullanılarak önemli ölçüde iyileştirilebilmektedir. Herhangi bir su bağlayıcı oranı seviyesinde, çimento en az %5 silis dumanı ile değiştirilirken, betonun klorür iyonlarının geçirgenliği ihmal edilebilir düzeyde çok düşük seviyeye kadar sınıflandırılabilir. Silika dumanının artırılması, klorür iyonlarının penetrasyon kabiliyetini, ufalanmış uçucu külden daha yüksek bir dereceye kadar azaltmaktadır. Silis dumanının çok ince bir parçacık olduğu ve çimento ve uçucu kül ile karşılaştırıldığında daha yüksek kimyasal reaktiviteye

sahip olduğu belirtilmiştir. Eğitilmiş sinir ağları kullanılarak yapılan benzetim dayanıklılık modeline dayanarak, HPC'yi dayanıklılık açısından tasarlamak için optimum çimento içeriği 450–500 kg /m³ aralığındadır.

Tayfur ve arkadaşları [26] bulanık mantık ve yapay sinir ağları ile yüksek dayanımlı betonun basıncını tahmini çalışması yapmıştır. Bu çalışmada kullanılan çimento, sıradan portland çimentosudur. ASTM C 494'e (veya süperplastikleştirici) (ASTM 2002a) göre Tip F olarak sınıflandırılan, % 42 katı partikül içeren melamin bazlı, silis dumanlı (SD), yüksek aralıklı, su azaltıcı bir karışım kullanılmıştır. Miktarları 500,550,600,650 ve 700 kg/m³ olan beş farklı bağlayıcı içeriği kullanılmıştır. Türkiye standartlarına uygun bir sınıflandırma elde etmek için dört farklı agregası grubu (kırılmış kireçtaşı) bir araya getirilmiştir. Maksimum toplam boyut 25 mm'dir. Agregaların derecelendirilmesi sabit tutularak ve ince agregaların kaba agregalara oranı, bütün karışımlarda 40 /60'dır. Su içeriği 6 cm'lik bir çökme değeri elde etmek için ayarlandı ve buna göre su / çimentolu malzeme oranı yaklaşık 0.26 'dır. Süper akışkanlaştırıcı içeriği, tüm karışımlar için toplam bağlayıcı miktarının % 3'üdür. 15 cm'lik küp numuneleri hazırlanarak ve test yaşlanıncaya kadar 23 ° C'de su içinde kürlenmiştir. Tüm karışımların basınç dayanımları, 3,7 veya 28 gün sonra belirlenmiştir. Yöntemlerle elde edilen veriler sonucunda, SD içeren betonların (%5 SD ve 650 kg/m³ bağlayıcı içerikli betonlar hariç) ölçülen dayanımları her yaş için SD içermeyenlerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. YSA'lar ve FL modelleri, yüksek dayanımlı betonların gücünü tahmin etmede iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Atici [27] çalışmasında, çok değişkenli regresyon analizi ve yapay sinir ağı kullanarak mineral katkı betonunun dayanımını tahmin etmiştir. Çalışmada, sıradan Portland çimentosu (PC 42.5 MPa) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan çimentonun özgül ağırlığı 3,11 g/cm³ ve Blaine spesifik yüzey alanı 3100 cm²/g 'dır. Modeli tahmin edebilmek için çalışmada yirmi yedi beton karışımı kullanılmıştır. 20 ± 2 ° C sıcaklıkta ve %65 ± 5 oranında nispeten nemli bırakılmıştır. Tüm örnekler 3,7, 28, 90 ve 180 günlük kuruma sürelerinden sonra test edilmiştir. Genel olarak, tüm numunelerin basınç dayanımları 3,7 ve 28 günlerde artma oranı, 90 günden belirgin şekilde daha az bulunmuştur. Regresyon analizinde ise, üretim öncesi karışım betonunun tahmini için basınç dayanımı bağımlı bir değişken olarak kabul edilirken, çimento, yüksek fırın cürufu ve kürlenme süresi bağımsız değişken olarak belirlenmiştir. Modelin ve istatistiksel analizlerin sonuçları incelendiğinde; farklı kürlenme sürelerinde (3,7,28, 90 ve 180 günlerde) beton karışımındaki basınç dayanımı tahminine YSA'nın uygulanması, doğrusal olmayan fonksiyonel ilişkilerin hesaplanması açısından daha uygun bulunmuştur.

Sarıdemir ve arkadaşları [28] herhangi bir deney yapmadan öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu içeren betonların miktarını tahmin etmek için YSA ve bulanık mantık kullanmıştır. Karışımlar; 3,7,14, 28,63,90,119, 180 ve 365 günlükken test edilmiştir. Kürlerin sekiz ayrı kısmı kontrol karışımı olarak hazırlanmış, dördü ise 250,300,350 ve 400 kg/m³ çimento içerikli karışım tasarımları için hazırlanmıştır. Çimento içerikli karışımlardan dördü 175, 210,245 ve 280 kg /m³ olacak şekilde belirlenmiştir. Geriye kalan 12 beton karışımı, aynı birim su içeriğine (168 kg/m³) sahiptir. Çimentolu malzemelerin karşılık gelen birim içeriği (su-çimento oranı) azaldıkça 400'den 622 kg/m³'e yükseltilmiştir. Sonuç olarak, öğütülmüş granül yüksek fırın cüruf betonunun basınç dayanımı değerleri cüruf ve su oranlarının değişimi ile etkilendiği görülmüştür. Ayrıca günden güne basınç dayanım değerlerinin değiştiği saptanmıştır. Böylece yapay sinir ağlarında ve bulanık mantık modellerinde, kısa hata oranları ile çok kısa bir sürede herhangi bir deney yapmadan tahmin edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Bir başka çalışmada Kewalramani ve Gupta [30], yapay sinir ağları üzerinden ultrasonik nabız hızını kullanarak beton basınç dayanımı tahmini yapmışlardır. Bu çalışmada, YSA'nın yanı sıra çoklu regresyon analizi de kullanılmıştır. Analiz, sıkıştırma stres dalgalarının hızını ölçen bir yöntem (UPV) ile desteklenmiştir. Çalışma iki farklı şekil ve boyutta iki farklı beton karışımı üzerinde yapılmıştır. 100 mm x 150 mm (A Silindirleri) ve 80 mm x 150 mm (B Silindirleri) boyutunda silindirik numuneler ve 150 mm'lik (A Küpleri) ve 100 mm'lik (B Küpleri) küp numuneleri ile çalışma yapılmıştır. Beton numuneleri UPV için laboratuvarında, basınç dayanımı 7,28,183 ve 365. günlük sürelerde test edilmiştir. Beton numuneleri yedi farklı kütleme tekniği kullanılarak kürlenmiştir. Geleneksel kütleme yöntemlerinin yanı sıra, göllenme ve serpme, örnekler 3 ve 7 günlük bir süre boyunca beş farklı renkli polietilen membran tabakaları kullanılarak kürlenmiştir. Ağırlıkların arasında büyük farklılıklar nedeniyle, farklı büyüklükteki küpler ve silindirler için ayrı ayrı yapılmıştır. İki yöntem arasında karşılaştırma yapılırsa; yapay sinir ağlarının, betonun basınç dayanımını daha etkin bir şekilde tahmin etmek için kullanılabilirliğini göstermektedir.

Naderpour ve arkadaşları [31] çalışmalarında, çok sayıda deneysel veriyi yapay sinir ağları kullanarak, elyaf takviyeli polimer(frp) ile sınırlı betonun basınç dayanımı elde etmek için yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Altı girdi parametresi, Dairesel beton numunesinin mm cinsinden çapı, dairesel beton numunesinin mm cinsinden yüksekliği, FRP mm cinsinden toplam kalınlığı, FRP'nin kasnak yönünden çekme dayanımı, kısıtlanmamış betonun MPa cinsinden basınç dayanımı, MPa'daki FRP'nin elastik modülüdür. YSA modellemesinde beton ve FRP'nin özellikleri gibi giriş düğümleri olarak kullanılan parametrelere sahip olan çıktı parametresi ise FRP ile

sınırlı betonun basınç dayanımı olarak belirlenmiştir. Levenberg-Marquardt algoritması, giriş vektörlerini ve hedef vektörleri rastgele eğitim, doğrulama ve test dahil üç gruba ayırmıştır. Sinir ağlarının geliştirilmesiyle, FRP-sınırlı betonun basınç dayanımı, beton numunenin çapı ve yüksekliği, toplam FRP kalınlığı, dairesel yönde FRP'nin gerilme dayanımı, FRP'nin elastik modülü ve basınç dayanımı olmak üzere altı girdi parametresi ile ilgili olduğu sonucuna varmışlardır. YSA modelinin deneysel sonuçları öngörmedeki ortalama hatası % 9'dan düşükken, diğer üç model için ortalama hataların %13'ten fazla olduğu tespit edilmiştir. Böylelikle, önerilen model, mevcut deneysel verilerle doğrulanarak ve iyi bir uyum gösterdiği belirtilmiştir.

Tritnik ve arkadaşları [32], ultrasonik nabız hızı ve yapay sinir ağları kullanılarak beton dayanımı tahmini yapmışlardır. Agregat etkisi, ilk beton sıcaklığı, çimento tipi, çevre sıcaklık ve su-çimento oranı kendi deneyleriyle belirlenmiştir. Çalışmada, CEM II/A-S, 42.5R, CEM I, 52.5R, CEM I, 42.5N ve CEM I, 42.5N SR. olmak üzere dört tip çimento kullanılmıştır. Deneysel çalışmanın sonuçlarını, taze betonun ilk sıcaklığının, çevre sıcaklığının, çimento türünün ve su-çimento oranının, sunulan değerler arasındaki ultrasonik dalga hızı-betonun basınç dayanımı ilişkisi üzerinde önemli bir etkisi olmadığını ve statik dayanım, dinamik dayanım ve genç betonun Young modülü değerlerinin güvenilir olabileceğini göstermiştir.

Sobhani ve arkadaşları [33] somut bileşenleri girdi değişkenleri olarak ele alarak, topaksız betonun 28 günlük basınç dayanımını tahmin etmek için çeşitli regresyon, YSA ve bulanık mantığı temel alan Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) modelleri inşa edilerek, eğitilmiş ve test edilmiştir. Bu çalışmada, Tip II Portland çimentosu ve silis dumanı çimento esaslı malzemeler olarak kullanılmıştır. Ayrıca, bu çalışmada % 99.0' dan fazla SiO₂ içeren silisli dolgu maddesi kullanılmıştır. Sonuçlar neticesinde, karma tasarım optimizasyonunda, yapay sinir ağı ve ANFIS modelleri önerilmektedir.

Chandwani ve arkadaşları [34] hazır beton karışımının çökme analizini genetik algoritmalar (GA) kullanılarak modelleyerek, yapay sinir ağlarını eğitmişlerdir. Çalışma için; çimento, uçucu kül, kum (ince agregat olarak), kaba agregat 20 mm, kaba agregat 10 mm, katkı, su-bağlayıcı oranı ve karşılık gelen çökme değerinden oluşan 560 karışım oranından oluşan beton tasarım karışımı bileşenlerinden oluşan veriler kullanılmıştır. Model için; hazır beton karışım oranı bileşenleri, yani çimento, uçucu kül (PFA), kum, kaba agregat (CA) 20 mm, kaba agregat (CA) 10 mm, karışım ve su bağlayıcı oranı, yedi giriş parametresi kullanılmıştır. Buna bağlı olarak, beton çöküşünün değeri, sinir ağı için çıkış parametresini oluşturmuştur. Eğitilmiş hibrit model, belirli bir beton tasarım karışımı için, hızlı bir şekilde beton birikintisinin öngörülmesinde farklı tasarım

karışımı oranlarında çok sayıda deneme yapılmadan kullanılabilirliği öngörülmüştür.

Yaprak ve Karacı [35] polipropilen lifli betonların yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonraki basınç dayanımlarını yapay sinir ağları modeli ile tahmin etmişlerdir. Çalışmada, polipropilen lif oranına ve sıcaklığa bağlı olarak betonun basınç dayanımının değişimini tahmin edebilecek şekilde; geriye yayımlı, iki girişli, tek çıkışlı, on nörona sahip tek gizli katmana sahip bir YSA oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan çimento tipi CEM I 42.5, polipropilen lif, doğal kum, akışkanlaştırıcı ve kırık taş kullanılmıştır. Çökme 12-14 cm aralığında sabit tutulmaya çalışılmıştır ve su-çimento oranı 0.53 olarak belirlenmiştir. Çalışmada 150x300 mm lik kırk sekiz adet silindirik numune üretilmiştir. Deneysel betonlar 20,400,600 ve 800 derece sıcaklığa maruz bırakılarak dayanımları ölçülmüştür. YSA ile üretilen modelde, girdi parametreleri polipropilen lif miktarı ve sıcaklık değişimleri, çıktı parametresi betonun basınç dayanımıdır. YSA modelinde 32 deneysel çalışma yapılmıştır, ağı eğitimi için 20 veri, testi için ise 12 veri seti kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda YSA modelinin düzgün sonuçlar verdiği gözlenmiş ve polipropilen lifin betonun basınç dayanımına olumsuz olarak etki ettiği görülmüştür.

Hasgül ve Anagül [36] yapmış oldukları deneysel çalışmanın yapay sinir ağları ile birlikte geliştirilerek beton dayanımını tahmin etmişlerdir. Çalışmada Portland 42,5 Çimentosu kullanılmıştır. YSA modeli tek karakteristik üzerine kurularak eğitilmiştir ve giriş parametreleri; portland çimentosu 42.5, kompoze portland çimentosu 42,5, uçucu kül, su, kırılmış kum, yıkanmış kum, katkı maddeleri ve kırılmış taş kullanılmıştır. Çıktı parametresi ise basınç dayanımı olarak belirlenmiştir. Kurulan YSA modelinde 80 veri kümesi içinden 22 tanesi modeli test etmek amacıyla kullanılmıştır. Deneysel verilerin analizinde ise regresyon analizi kullanılmıştır. Regresyon analizi için 82 veri kullanılmıştır. Regresyon analizinin bağımsız değişkenleri YSA'nın girdi parametreleri ile aynıdır, bağımlı değişkeni ise basınç dayanımı olarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda deneysel çalışma (regresyon) ve YSA'nın sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre YSA modelinin regresyona göre çok daha küçük hata değerine sahip olduğu görülmüş, aynı zamanda sapmaların da daha az olduğu tespit edilmiştir.

Lai ve Serra [37] çalışmalarında, en önemli karışım tasarım parametreleri atandığında, çimento yapılarının basınç dayanımını değerlendirmeyi amaçlamıştır. Çalışmada kullanılan veriler, sekiz karışım için yapılan geniş kapsamlı deneysel ölçümleri ifade etmektedir. Oluşturulan YSA geri yayılım algoritması ile eğitilmiş ve 240 veri ile çalışılmıştır. YSA modelindeki girdi parametreleri, Avrupa standartlarına uygun olarak üretilen, 28 günlük plastik harçlı çimento, ince kum, kalın kum, ince agrega, kalın agrega, agrega-çimento

oranları, su-çimento oranları ve plastikleştiricilerdir. Çıktı parametresi ise basınç dayanımı olarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda YSA ile başarılı bir şekilde betonun basınç dayanımını tahmin edebilecek bir model geliştirmişlerdir.

Azar ve arkadaşları [38], silis dumanı içeren beton karışımları üzerinde 28 gün boyunca Portland çimentosunun basınç dayanımını ölçerek, yaptıkları deneylerin sonuçlarına göre, belirli oranlarda silis dumanı ve kağıt atık külü içeren betonun basınç dayanımının arttığını göstermiştir.

Gholampour ve arkadaşları [39], döküm kumu/geri dönüştürülmüş ince agrega ve uçucu kül/öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu oranlarının bir kombinasyonu ile üretilen betonun basınç dayanımını incelemiştir. Sonuçta, betonun basınç dayanımı, su-çimento oranı, agrega-çimento oranı, test yaşı ve yüzde çimento/metakaolin oranlarına dayalı olarak YSA yaklaşımıyla tahmin edilmiştir.

2.2. Çimento ve Betonun Basınç Dayanımına Etki Eden Faktörlerin Farklı Tahmin Metotları ile Analizi

Çalışmada kullanılan diğer tahmin metotları ise yapay zeka metotları (Genetik Algoritma (GA)), bulanık mantık metotları (ANFIS), ANOVA ve Regresyon gibi yöntemlerdir. Bu metotların YSA ile olan benzer tarafları göz önüne bulundurulduğunda hepsinin tahmin metodu olduğu söylenebilir. Bu metotların güvenilirliği YSA kadar yüksek olabilmektedir. Farklı yöntemlerin seçilmesi, yöntemler arasındaki sonuçların kıyaslanması açısından önem arz etmektedir. Buna göre detaylı olarak ele alınan literatür taramasından elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

Özel ve Topsakal veri madenciliğini kullanarak betonun basınç dayanımını tahmin etmeye çalışmışlardır. Çalışmalarında CEM I 42,5 R tipi çimento, en büyüğü 16 mm olan kalker agregası, hiper akışkanlaştırıcı katkı ve kırma kum kullanılmıştır. Çalışmaları için, çimento miktarları %1 olarak sabit miktarda tutulmuştur. Veri madenciliği ile betonun basınç dayanımını belirleyebilmek için girdi parametrelerini; karışım, numune alma zamanı, numune boyutu ve çimento dozajı olarak belirlenirken, çıktı parametresi ise basınç değerleri olarak belirlenmiştir. Verilerin %80'i test verisi olarak değerlendirilirken, %20'si analiz verisi olarak değerlendirilmiştir. Çalışmalarının sonucunda, KStar (R= 0.9369) algoritmasına ait korelasyon katsayısının en yüksek olduğunu belirleyerek betonun basınç dayanımını tahmin etmişlerdir. Betonun basınç dayanımını etkileyen en önemli unsurların sırasıyla; çimento miktarı, numune boyutu, numune alma zamanı ve karıştırma metodu olduğunu ortaya koymuşlardır [40].

Başka bir çalışmada Prošek ve arkadaşları [41], yapmış oldukları deneysel çalışmalarda susuz klinkerin atık betonda bulunduğunu ve öğütülerek geri kazanılabileceğini göstermişlerdir. Aynı zamanda Portland çimentosunun macunlarda geri dönüştürülmüş malzeme ile değiştirilmesi, gerilme mukavemetinde önemli bir artışa neden olurken, çimentonun ince tozları daha yüksek miktarlarda artık klinker içerdiğinde ve ince tanelerin miktarı Portland çimentosu ağırlığının %30'unu geçmediğinde basınç dayanımındaki bozulmanın ihmal edilebilir olduğunu göstermişlerdir.

Benzewr şekilde Ma ve Qian [42], laboratuvarında yüksek sıcaklıkta ısıtma ile hazırlanan alkali sülfatların çimento hidrasyonu ve sertleşme özelliklerine etkilerini incelemiştir. Sonuçlara bakıldığında klinker kaynaklı alkali sülfatın betonun basınç dayanımı üzerinde olumsuz etkisinin önemli ölçüde yüksek olduğu bulunmuştur. Dayanımı arttırmak için ise çimentodaki $\text{Na}_2\text{Oeq}/\text{SO}_3$ molar oranının <0.5 olması gerektiği savunulmuştur.

Gholampour ve arkadaşları [43], çimento ikame malzemeleri olarak uçucu kül (FA) ve öğütülmüş yüksek fırın cürufu (GGBS), kum ikame malzemeleri olarak döküm kumu (FS) ve geri dönüştürülmüş ince agrega (RFA) kullanımı, beton ve inşaat ve yıkım (C&D) atıklarının çevre üzerindeki etkisini azaltmak için yeşil bir yapı malzemesi. FS/RFA ve FA/GGBS kombinasyonu ile üretilen betonun dayanımını deneysel metotlarla ölçmüştür. 17 beton karışımı hazırlanmış ve her karışımın işlenebilirlik, yoğunluk, basınç, yarmada çekme ve eğilme mukavemeti, elastik modülü ve su emmesini değerlendirmek için testler yapılmıştır. FS ve RFA içeriğinde %100'e varan bir artışın betonun basınç dayanımında azalmaya neden olduğu gösterilmiştir. Bununla birlikte, %25 kum ikamesinde RFA içeren beton, geleneksel betona kıyasla biraz daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Ele alınan çalışmada Vakhsouri ve arkadaşları [44], kendiliğinden yerleşen betonun (SCC) basınç dayanımını, karışım oranlarını ve çökme akışını öngören bir model tasarlamaya çalışmıştır. Çalışmalarında ANFIS modellerini on sekiz girdi parametresi kombinasyonunda kullanarak, girdi olarak basınç dayanımı, çökme akışı ve karışım oranları esas alarak aralarında bir ilişki kurmak üzere tasarlamışlardır. Uygulanan veriler, daha önce yapılan deneysel çalışmalardan alınmıştır. Daha önce yapılan deneysel çalışmaların 55'i, 28 günlük SCC basınç dayanımı ANFIS modellerinde açıklanmıştır. Karışım tasarım oranlarının ve SCC'nin taze özelliklerinin basınç dayanımı üzerindeki etkisi üzerine kapsamlı bir çalışma yapmak için, bu parametrelerin 18 kombinasyonu analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. ANFIS analizinde, toz hacmini, su / toz oranı ile değiştirmek hata boyutunu 0,08'e

çıkartmıştır. İnce agrega hacminin, harç hacmine oranını % 45'e kadar artırılması ise basıncı düşürmüştür.

Yuan ve arkadaşları [45], hibrit modellerde genetik tabanlı algoritmalar ve ANFIS methodu ile beton basınç dayanımını tahmin etmişlerdir. Beton kalitesini etkileyen yapısal ve yapılandırılmamış faktörleri araştırmışlardır. Çalışmalarında iki hibrit model önerilmiştir. Bunlardan biri genetik tabanlı algoritma, diğeri ise adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemidir (ANFIS). Genetik tabanlı algoritma için, geri yayılım yapay sinir ağının (BP-YSA) ağırlıklarını ve eşiklerini optimize etmek için genetik algoritma (GA) uygulanmıştır. ANFIS modeli için iki farklı bina yapısı incelenmiştir. 28 günlük basınç dayanımı için 180 farklı beton karışımı kullanılmıştır. Tüm testler, standart prosedürler kullanılarak hazırlanan 15 cm'lik silindirik beton numuneleri ile yapılmıştır. Önerilen modellerin sonuçları sırasıyla, GA tabanlı YSA modelinde ve ANFIS modelinde R^2 ; 0.813 ve 0.950 olarak bulunmuştur. GA tabanlı YSA modelinde ve ANFIS modelinde sırasıyla RMSE 2.22 ve 1.46 olarak bulunmuştur. Analizlerin sonuçları, iki hibrit model ANFIS ve GA-YSA'in YSA modelinden daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir. Çalışmada ortogonal tasarım kullanılması; YSA ve bulanık mantık tekniklerinin entegrasyonunu içeren ANFIS'in tahmin doğruluğu, parametre belirleme ve kullanım kolaylığı açısından 28-CCS için güvenilir bir model olduğunu onaylamıştır.

Diğer bir çalışmada Tesfamariam ve Najjaran [46], ANFIS metoduna Mix-Desing yöntemini entegre ederek betonun basınç dayanımı tahmin etmeye çalışmışlardır. Çalışmalarında bulanık bir modelin geliştirilmesi ve somut dayanımın hesaplanması için uyarlanabilen, nöro-bulanık çıkarım sistemi önermişlerdir. Bu çalışmada literatürden alınan, A ve B Şirketi olmak üzere iki şirketin gerçek karışım oranlarından yararlanılmıştır. İki şirket arasındaki temel malzeme özellikleri, kullanılan kum hariç, benzerdir. B Şirketi yalnızca doğal kum kullanırken, A Şirketi hem doğal hem de kırılmış kum karışımlarını kullanmıştır. Model doğrulaması için, Model A ve B'nin her biri için toplam 24 veri kullanılırken, Model A-B için toplam 48 veri kullanılmıştır. Model doğrulama için bulanık çıkarım sistemi modeli öngörülmesi ve gerçek beton kuvveti kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, önerilen model literatürde rapor edilen gerçek verilerle test edilmiş ve doğrulanmıştır. Karşılık gelen mutlak ve göreceli modellerin R^2 'si: Model A için (0.999, 0.984), Model B, için (0.970, 0.995) ve Model AB için (0.999, 0.998) olarak tespit edilmiştir. Önerilen ANFIS modelinin, mutlak girdi parametrelerini bulabilmek için uygun bir yaklaşım olduğu bulunmuştur.

Mirrashid ve arkadaşları [47], ANFIS metodunu kullanarak manyetit agrega içeren betonun basınç

dayanımını tahmin etmişlerdir. Çalışmada; Manetit agregalardan yapılan betonun, farklı büyüklüklerde ve betonun farklı yaşlarına bağlı olarak 7,28 ve 42 günlük basınç dayanımının nasıl değiştiği ANFIS methodu ile tahmin edilmiştir. Kullanılan çimento Portland II çimentosudur. Betonun basınç dayanımını belirlemek için iki nöral bulanık model belirlenmiştir. İlk model 25 mm'lik maksimum kaba agrega ebadından oluşurken, ikinci model, 12,5 mm'lik maksimum kaba agregalardan oluşmaktadır. Çalışmanın sonuçlarına bakıldığında; modelin %98 korelasyon katsayısı ve düşük hata oranıyla test edilmesi ANFIS'in, betonun basıncı tahmin etmede uygun olduğunu göstermiştir.

Khademi ve arkadaşları [48], Yapay Sinir Ağı, Uyarlanabilir Nöro Bulanık Çıkarım Sistemi ve Çoklu Doğrusal Regresyon kullanarak geri dönüştürülmüş agrega betonunun basınç dayanımını tahmin etmişlerdir. Parametreler arasında çimento, doğal ince agrega, geri dönüştürülmüş ince agrega, doğal kaba agregalar (10 mm), doğal kaba agregalar (20 mm), geri dönüştürülmüş kaba agregalar (20 mm), geri dönüştürülmüş kaba agregalar (20 mm), katkı ve su bulunmaktadır. Boyutsuz parametreler arasında su-çimento oranı, kum-agrega oranı su/toplam malzeme oranı, geri dönüştürülmüş agreganın doğal agrega hacme göre ve agrega çimento oranına değiştirme oranıdır. Yapılan analizler sonucunda, 28 günlük geri dönüşümlü agrega betonunun basınç dayanımı tahmininin, YSA ($R^2=0,91$) ve ANFIS ($R^2=0,90$) tarafından MLR'ye ($R^2=0,60$) göre daha iyi yapıldığı sonucuna varılmıştır. Başka bir deyişle, her üç modelin test aşamasını karşılaştırarak, betonun ön karışım tasarımında MLR modelinin kullanılmasının daha iyi olduğu tespit edilmiştir. YSA ve ANFIS modellerinin karışım tasarım optimizasyonunda kullanılması önerilmiştir.

Farklı bir çalışmada Gorninski ve arkadaşları [49], çalışmalarında polimer beton bileşiklerinin esneklik modülünün incelenmiş ve polimer beton ile portland çimento betonunu ANOVA analizi ile karşılaştırmışlardır. Çalışmada; ortoftalik veya izoftalik polyester olmak üzere iki tip bağlayıcı kullanılarak, üretilen polimer beton (PC) bileşiklerinin esneklik modülünü değerlendirmek amaçlanmıştır. Kullanılan kompozisyonlar, uygun maliyetli PC'yi tanımlayan önceki bir çalışmadan seçilmiştir. Kullanılan polimer konsantrasyonları, kuru malzemelerin ağırlığının %12'si ortoftalik polyester ve %13'ü izoftalik polyesterdir. Uçucu kül bir dolgu maddesi olarak kullanılmış ve ağırlıkça %8, %12, %16 ve %20 kül içeren bileşimler ile analizler yapılmıştır. Yapılan ANOVA analizi sonucunda ortaya çıkan istatistiksel sonuçlar, yalıtkanlıktaki reçine tipinin ve uçucu kül konsantrasyonunun, izolasyondaki elastikiyet değerleri modülü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda faktörler arasında da bir etkileşimin olduğu gözlenmiştir. Uçucu külün konsantrasyonu, her reçine tipi için farklı etkiler

göstermiştir. Bu, izoftalik polyester PC'nin uçucu külün %16'sı ile en yüksek modülü gösterdiği, ortoftalik polyester PC'nin bileşiminde %20 uçucu kül ile en yüksek değeri gösterdiği sonucuna varılmıştır. İstatistiksel analizler, incelenen faktörlerin, yani reçine tipi ve uçucu kül konsantrasyonunun ve aralarındaki etkileşimlerin anlamlı olduğunu göstermiştir

Koçkal ve Özturan [50], hafif uçucu kül agregalarının, yüksek dayanımlı hafif uçucu kül betonlarının üretiminde uygulanabilir özelliklerinin optimizasyonu çalışması yapmışlardır. Hafif uçucu kül agregalarının yüksek dayanımlı hafif uçucu kül beton üretiminde uygunluk için özelliklerinin optimizasyonu, tepki yüzeyi metodolojisi kullanılarak incelenmiştir. Sinterleme parametreleri (sıcaklık, bağlayıcı içeriği ve bağlayıcı tipi) ile deneysel olarak elde edilen üç sonuç arasındaki ilişki (özgül ağırlık, su emme ve kırılma dayanımı) belirlenmiştir. Tahmini tepki yüzeyi modellerinin regresyon parametrelerinin varyans analizi (ANOVA) ile belirlenmiştir. ANOVA seçilen modellerin elde edilen verileri yeterince temsil ettiğini göstermektedir. F değerinin 0,05'ten küçük olması, %95 güven düzeyinde model terimlerinin istatistiksel olarak anlamlı bir uyumsuzluk olduğunu göstermiştir. RSM, deneysel değerlerin, öngörülen modellerin geçerliliğini ve yeterliliğini doğrulayan, öngörülen değerlere makul derecede yakın olduğunu göstermiştir. Modelin iyiliği, R2 katsayısı ile kontrol edilmiştir. Regresyon modelleri; Özgül Ağırlıkta spesifik yerçekimi ve su absorpsiyonu için belirleme katsayısı (R^2) için 0.78 ile 0.98 arasında değişmiştir ($p < 0.05$). Sonuçlar, sıcaklığın kuadratik etkisinin ve sıcaklık ile bağlayıcı içeriği arasındaki etkileşimin, özgül ağırlık için önemli olduğunu göstermiştir

Bir diğer çalışmada Chen ve arkadaşları [51], geri dönüşümlü agrega dolgu malzemelerinin basınç dayanımı ve eğilme dayanımı üzerine duyarlılık faktörleri analizi çalışması yapmışlardır. Çalışmada, 32.5 Standart Portland çimentosu, şehir suyu ve kireç tozu kullanılmıştır. Geri dönüştürülmüş ince agrega, kırma ve eleme işleminden sonra maksimum parçacık boyutu 4.75 mm'den az olan inşaat atığı üreten bir okul binasının onarımından elde edilmiştir. Çeşitli faktörlerin etkilerini daha iyi anlamak için, rejenere tuğla granül ve beton bloktan yapılan 96 örnek ile bir araştırma yapılmıştır. Rejenere tuğla granül içeriği (rejenere tuğla granülü ve beton granül oranı), su - çimento oranı, agrega - çimento oranı, kireç içeriği ve agrega değişim oranı olarak belirlenmiştir. Geri dönüşümlü agrega dolgu duvar malzemelerinin her bir faktör ve seviye arasındaki mekanik özellikleri, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve eğilme-sıkıştırma oranı ile değerlendirilmiştir. $R = 0.708$ in sonucu olarak; doğrusal modelin ve regresyon denkleminin anlamlı olduğu bulunmuştur. Ek olarak, $FI = 15.6068 (17.6770 / 39.2829) > F_{0.1} (10, 5) = 2.52$ regresyon denklemindeki varyans değerinden, lineer varsayımla elde edilen regresyon denkleminin büyük bir öneme

sahip olduğu görülmektedir. Basınç dayanımı, teorik ve ölçülen değerleri, eğilme dayanımı ve eğilme dayanımı oranları arasındaki farkların sırasıyla 0.1-1.7, 0.02-0.53 ve 0.01-0.08 olduğu görülmüştür. Sonuçlar, su-çimento oranının 0.7-0.8 olduğunu ve özellikle geri dönüşümlü agreganın basınç dayanımının ve bükülme dayanımının iyileştirilmesinde etkili olduğunu göstermiştir. Dolgu duvar malzemeleri ve agrega-çimento oranı, eğilme-sıkıştırma oranındaki en önemli faktör olarak ortaya çıkmıştır

Yine başka bir çalışmada Aldahdooh ve arkadaşları [52], ultra ince hurma yağı yakıt külü içeren, yeşil ultra yüksek performanslı fiber betonarme betonun geliştirilmesine yönelik bir model tasarlamışlardır. Çalışmada sıradan Portland çimentosu kullanılmıştır. Numuneler için basınç dayanımları 7, 14 ve 28 gün sonra test edilirken, direkt çekme dayanımı, eğilme dayanımı için örnekler 7,28 ve 90 gün sonra test edilmiştir. Diğer mekanik özellikler, 28 günlük basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Çalışmada, Proses faktörleri (portland çimento - çok ince hurma yağı külü oranı) ve (yoğunlaştırılmış silika dumanı - çok ince hurma yağı külü oranı) ile yanıtlar (basınç dayanımı ve akış) arasındaki etkileşim, varyans analizinden (ANOVA) elde edilmiştir. İkinci dereceden kestirim modellerinin kalitesini ölçmek, model terimlerini değerlendirmek ve model terimlerini kontrol etmek için; R^2 belirleme katsayısı, % 95 güven düzeyinde olasılık değeri (P-değeri) ve (t- Test) %5 anlamlılık düzeyi (Prob <0.05) belirlenmiştir. Sinyal / gürültü oranı, 4'ten daha yüksek olan her iki cevap için 66.101 ve 45.87'dir. Bu sonuç, istenen tahmini modeli göstermiş ve öngörülen modellerin doğruluğunu kanıtlamaktadır. Çalışma sonundaki nihai sonuçta belirlenen ölçütler; çimento içeriği 360.25 kg / m³, plastikleştirici içeriği 214.25 kg / m³ ve hurma yağı külü içeriği 290.52 kg / m³ olan 158.28 MPa'lık sıkıştırma kuvvetine sahip yeşil ultra yüksek performanslı fiber takviyeli çimentolu kompozitler üretilmesidir

Phan ve Carino [53], test koşullarının ve karışım oranlarının, yüksek sıcaklığa maruz olan yüksek mukavemetli betonun davranışına etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında amaç; farklı sıcaklıklar ve farklı karışım oranlarına sahip betonların basınç dayanım etkilerini ortaya çıkarmaktır. Çalışmada ASTM (Amerikan Standartları) Tip I Portland çimentosu kullanılarak dört yüksek dayanımlı beton karışımından örnekler alınmıştır. Aynı zamanda, karışımlarda kaba agrega, 5.40 inceliği modülü (FM), 1520 kg /m³'lük kuru çubuk kütleli yoğunluğu olan ve 2.60'lık özgül ağırlığı ile kırılmış kireçtaşı (13 mm nominal maksimum boyut) kullanılmıştır. İnce agrega, 2.85 FM, 1456 kg /m³'lük bir kuru çubuk kütleli yoğunluğu ve özgül ağırlığı 2.63 olan doğal kumdur. Silis dumanı, %54'lük bir katı madde oranı ile bulamaç formunda deneye dahil edilmiştir. Yapılan deneyler; 100, 200, 300 ve 450 C'ye kadar ısıtma için üç teste

tabii tutulmuştur. İstatistiksel olarak anlamlı etkileri tanımlamak için 0,05 ve daha düşük olasılık seviyesi kullanılmıştır. Elastik modülü değerleri, eksik veriler nedeniyle, basınç dayanımı kadar eksiksiz analiz edilememiştir. ANOVA ile yapılan analizde, sıcaklık testi koşulu ve test koşulu-dcm olan iki faktörün etkileşimi olduğu ortaya çıkmıştır. Özetle, ANOVA sonuçları, test koşulunun yüksek sıcaklığa maruz kalma nedeniyle ölçülen güç kaybı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, verilen bir test koşulu ile ölçülen kuvvet kaybı, maruz kalma sıcaklığına ve beton karışımına bağlı olarak ortaya çıkmıştır. En düşük w/cm (0.22) ve düşük maruz kalma sıcaklıkları (100 ve 200 C) için, rezidüel özellik testi ile ölçülen kuvvet kaybı en düşük çıkmıştır. Öte yandan, daha yüksek sıcaklığa maruz kalma (450 C) ve w/cm (0.57) için, rezidüel özellik testinde kuvvet kaybı en yüksek seviyede ölçülmüştür. Bu sonuçların, yüksek sıcaklıkta ölçülen güçle, aynı yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonra oda sıcaklığında ölçülen basınç değeri arasında karmaşık bir ilişki olduğu görülmektedir. Bu etkileşimlere bakıldığında, test koşulunun etkisinin maruz kalma sıcaklığına ve w/cm'ye bağlı olduğu tespit edilmiştir

Başka bir çalışmada Tanyıldızı ve Coşkun [54], silis dumanı katkılı hafif betonun fiziksel özelliklerinin parametrelerini belirlemek için ANOVA analizi yapmışlardır. Sıkıştırma ve ayrılma çekme dayanımının deneysel parametreleri için dört seviye silis dumanı (% 0,% 10,% 20 ve % 30) ve iki seviyeli çimento dozajı (400 ve 500 kg/m³) belirlenmiştir. Ayrıca,%20 silis dumanı ve 500 kg / m³ çimento içeriği yüksek değerleri kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan çimento tipi CEM-I 42,5 N tipi Portland çimentosudur. Çalışmada kullanılan Ponza taşının maksimum tane çapı 16 mm'dir. Alınan örnekler 20 °C suda 28 gün boyunca kürlenmiştir. Düşük hata oranlarıyla (%3.25 ve %1.26) yapılan deneyler sonucunda, % 20 oranında silis dumanı ve 500 kg/m³ çimento kullanıldığında, hafif betonun basınç ve yarmada çekme dayanımının en yüksek değer alacağı bulunmuştur. ANOVA analizi sonucunda ise, basınç ve yarmada çekme dayanımı üzerinde en büyük etkiyi sırası ile kullanılan silis dumanı ve çimento dozaj miktarının etkilediği görülmüştür.

Diğer bir çalışmada Lim ve arkadaşları [55], yüksek performanslı beton karışım oranlarında genetik algoritma kullanarak sonuçları yorumlamışlardır. Bu çalışmada, biyolojik evrimsel süreç (doğal seleksiyon ve doğal genetik) üzerine modellenen küresel bir optimizasyon tekniği olan genetik algoritma kullanılarak ve birçok çözüme sahip olabilecek bir probleme yakın yeni bir optimal çözüm bulmak için kullanılmıştır. Yüksek performanslı beton karışımları için saha testinde istenen özelliklere sahip deneme karışımı sayısını azaltmak için öneriler sunulmuştur. Deneysel araştırmada 189 karışım kümesi

kullanılmıştır. Deneyde normal portland çimentosu kullanılarak, 7 günlük basınç dayanımı gözlenmiştir. Çalışma sonucunda; sıkıştırma mukavemetini etkileyen faktörler, su/bağlayıcı oran, su içeriği (kg/m^3), ince agrega oranı, uçucu külün değişim oranı, silis dumanının değiştirme oranı ve hava sürükleyici ajanlardır. Öte yandan, toplam / çimento oranı azaldığında su içeriği sabit tutulursa, su/bağlayıcı oranı azalır ve sonuç olarak işlenebilirlik bir miktar azalır, ancak ciddi şekilde etkilenmediği görülmüştür. Ancak, silis dumanının yüksek performanslı betonun

işlenebilirliğini azaltmada etkili olduğu gözlenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına bakıldığında, yüksek performans tasarımı için genetik algoritma uygulayarak; beton karışımlarında, istenen özelliklere sahip deneme karışımı sayısının azaltılabileceğini gözlemlemiştirlerdir.

Çimento ve betonunun basınç dayanımına etki eden faktörlerin yapay zeka ile analizi kronolojik sıra halinde Tablo 1'de özet olarak sunulmuştur.

Tablo 1. Çimento ve Betonunun Basınç Dayanımına Etki Eden Faktörlerin Yapay Sinir Ağı Metodu (YSA) ile Analizi Özet Tablosu

| Çalışma | Problem | Kullanılan Yaklaşım | Doğrulama Parametresi | Kullanılan Parametreler |
|--------------------------------|--|---|---------------------------------|--|
| [36]Lai ve Serra, 1997 | Çimento yapılarının basınç dayanım tahmini | Yapay Sinir Ağı Modeli (Geri yayılım algoritması) | Göreceli hata = 0,05 | Çimento, kum, çimento ağırlığı, agrega, akışkanlık |
| [17]Ni ve Wang, 2000 | Betonun basınç dayanım tahmini | Yapay Sinir Ağı Modeli (Çok katmanlı ileri besleme algoritması) | Toplam hata 0,005 | Çimento, su, kaba agrega, ince kum, çökme, katkı maddeleri, sıcaklık |
| [22]Pal ve diğ., 2003 | Öğütülmüş taneçikli yüksek fırın cürufunun betondaki hidrolik aktivitesinin incelemesi | Deney Tasarımı | R= 0,815 | Cüruf (SiO_2 , CaO, MgO, Al_2O_3) cam içeriği ve Blaine |
| [10]Çağlar ve diğ., 2005 | Betonarme kirişlerin hasar analizi tahminini | Yapay Sinir Ağı Modeli (Geri yayılım algoritması) | Eğitim seti performans eğrileri | Beton, kiriş uzunluğu, kiriş kalınlığı, akışkanlık |
| Hasgül ve Anagül, 2005 | Betonun basınç dayanım tahmini | Yapay Sinir Ağı Modeli (İleri beslemeli algoritma) | $R^2= 0,94$ | Çimento su, uçucu kül katkı maddeleri, yıkanmış kum, kırma kum, kırma taş |
| Ji ve diğ., 2006 | Betonlar için somut karışım oranlı bir tasarım algoritması | Yapay Sinir Ağı Modeli (Geri yayılım algoritması) | SSE = 1.1×10^{-14} | Su-çimento oranı, eşdeğer su-çimento oranı, ortalama macun kalınlığı, uçucu kül-bağlayıcı oranı, ince agregaların tane hacim oranı |
| [30]Kewalramani ve Gupta, 2006 | Beton basınç dayanımı tahmini | Yapay Sinir Ağı Modeli (İleri beslemeli geri yayılım algoritması) | Hata < %25 | Çimento, su |
| Yüzer ve diğ., 2007 | Yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonun basınç dayanımı ve renk değişimi ilişkisini | Yapay Sinir Ağı Modeli (İleri beslemeli geri yayılım algoritması) | R= 0,97 | Çimento, (CaO SiO_2 Al_2O_3 Fe_2O_3 MgO SO_3 Kızdırma Kaybı), kalker, silis dumanı, agrega, cüruf, uçucu kül, sıcaklık |
| [13]Özcan ve diğ., 2009 | Silika duman betonunun uzun vadeli basınç dayanımı tahmini | Yapay Sinir Ağı Modeli (İleri beslemeli algoritma) | $R^2=0,994$ | Çimento, Agrega, Silika Dumanı, (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO MgO, SO_3 , K_2O Na ₂ O, LOI) |

| | | | | |
|---|---|---|---------------------------|---|
| [20]Prasad ve diğ., 2009 | Yüksek hacimli uçucu kül ve kendiliğinden yerleşen beton ile yüksek performanslı betonun basınç dayanım tahmini | Yapay Sinir Ağı Modeli (Geri yayılım algoritması) | $R^2=0,91$ | Çimento, su, pudra, uçucu kül, agrega, bağlayıcı madde,mikrosilika |
| [23]Bilim ve diğ., 2009 | Öğütülmüş granül yüksek fırın cürufu betonunun basınç dayanım tahmini | Yapay Sinir Ağı Modeli (İleri beslemeli geri yayılım algoritması) | $R^2= 0,92$ | Çimento, Agregası, Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu, Plastikleştirici |
| [24]Alshihri ve diğ., 2009 | Hafif beton karışımlarının basınç dayanım tahmini | Yapay Sinir Ağı Modeli (İleri beslemeli geri yayılım algoritması) | $R^2=0,982$ | Çimento, İnce Agregası, Kaba Agregası, Su |
| [26]Parichatprecha ve Nimityongskul, 2009 | Yüksek performanslı betonun dayanıklılığının analizini | Yapay Sinir Ağı Modeli (Geri yayılım algoritması) | $R^2=0,974$ | Çimento, uçucu kül, agrega, su, silika dumanı, süperplastikleştirici |
| [30]Saridemir ve diğ., 2009 | Öğütülmüş granül yüksek fırın cürufu (GGBFS) içeren betonların miktar tahmini | Yapay Sinir Ağı Modeli (Geri yayılım algoritması) | $R^2=0,981$ | Çimento, su, agrega |
| [32]Tritnik ve diğ., 2009 | Betonun basınç dayanım tahmini | Yapay Sinir Ağı Modeli (Çok katmanlı ileri beslemeli sinir ağı) | $R^2=0,80$ | Çimento,su,sıcaklık,agrega,kum |
| [35]Yaprak ve Karacı, 2009 | Polipropilen lifli betonların yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonraki basınç dayanım tahmini | Yapay Sinir Ağı Modeli (Geri yayılım algoritması) | $R= 0,99$ | Çimento, doğal kum, kırma tas, polipropilen lif ve akiskanlaştırıcı |
| [12]Slonski, 2010 | Yüksek performanslı betonun basınç dayanımı tahmini | Yapay Sinir Ağı Modeli(İleri beslemeli algoritma) | $R^2= 0,50$ | Çimento, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, su, süperplastikleştirici, agrega |
| [15]Babu ve Kumar, 2010 | Öğütülmüş taneçikli yüksek fırın cürufunun (ÖYFC) betondaki etkinliği | Kimyasal Analiz | Ortalama etki faktörü=0,9 | Yüksek fırın cürufu, çimento,su |
| [18]Topçu ve diğ., 2010 | Hafif bir betonun basınç dayanım tahmini | Yapay Sinir Ağı Modeli (İleri beslemeli geri yayılım algoritması) | $R^2 =0,923$ | Çimento,Su, Katkı, Uçucu Kül, Kireç Taşı Tozu, Doğal Kum, Pomza |
| [31]Naderpour ve diğ., 2010 | Elyaf takviyeli polimer ile sınırlı betonun basınç dayanım tahmini | Yapay Sinir Ağı Modeli (Geri yayılım algoritması) | $R^2=0,968$ | Beton numunenin çapı, yüksekliği, polimer lifin kalınlığı ve çekme dayanımı, rafine olmayan betonun basınç dayanımı |

| | | | | |
|-------------------------------|--|---|---------------------------------|---|
| [33]Sobhani ve diğ., 2010 | Betonun basınç dayanım tahmini | Yapay Sinir Ağı Modeli (İleri beslemeli geri yayılım algoritması) | $R^2= 0.947$ | Kalsiyum oksit (CaO) Silisyum dioksit (SiO ₂) Alüminyum oksit (Al ₂ O ₃) Demir oksit (Fe ₂ O ₃) Magnezyum oksit (MgO) Sodyum oksit (Na ₂ O) Potasyum oksit (K ₂ O) Kükürt trioksit (SO ₃) Tri kalsiyum silikat (C ₃ S) Di kalsiyum silikat (C ₂ S) Tri kalsiyum alüminat (C ₃ A) |
| [12]Wang ve diğ., 2011 | Çelik cürufunun mineral bileşimlerini değiştirerek hidrasyon aktivitesinin artırılması | Termogravimetrik analiz | Termogravimetri = %5,82, %20,08 | Çimento, Çelik cürufu, Al,Mg,Si, Na, P,S,K, CaO, FeO,MnO,MgO ,Fe ₃ O ₄ , C ₂ F |
| [21]Siddique ve diğ., 2011 | Kendiliğinden yerleşen ve dip külü içeren betonun basınç dayanımı tahmini | Yapay Sinir Ağı Modeli (geri yayılım algoritması) | $R^2=0,919$ | Çimento, kum, kaba agrega, uçucu kül, kum, su, dip külü, süperakışkanlaştırıcı |
| [27]Atıcı, 2011 | Mineral katkı betonunun dayanım tahmini | Yapay Sinir Ağı Modeli (Geri yayılım algoritması) | $R =0,89$ | Agrega (SiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ CaO MgO SO ₃ K ₂ O Na ₂ O LoI Kireç Çözünmeyen kalıntı) Çimento Yüksek fırın cürufu Uçucu Kül |
| [8]Dantas ve diğ., 2013 | Beton içeren inşaat ve yıkım atıklarının basınç dayanımı tahmini | Yapay Sinir Ağı Modeli (Çok katmanlı ileri beslemeli algoritma) | $R^2= 0.971$ | Çimento, Su, Agregası, Geri Dönüşümlü Harç, Kırmızı S |
| [26]Tayfur ve diğ., 2013 | Yüksek dayanımlı betonun dayanım tahmini çalışması | Yapay Sinir Ağı Modeli (İleri besleme algoritması) | $R =0,80$ | Çimento, Agregası, Su CaO,SiO ₂ ,Al ₂ O ₃ ,Fe ₂ O ₃ Na ₂ O,SO ₃ ,LoI,Yerçekimi Blaine |
| [36]Chandwani ve diğ., 2015 | Hazır beton karışımının çökme analizi | Yapay Sinir Ağı Modeli (Geri yayılım algoritması) | $R= 0.979$ | Çimento, Uçucu Kül, Kum, Agregası, Çökeltici, Su Bağlayıcı |
| [9]Özbakır ve Nauf, 2016 | Agregar hammaddesinin fiziksel özelliklerinin beton dayanımına etkisi | Yapay Sinir Ağı Modeli (Geriye Yayılma Öğrenme algoritması) | $R^2 =0,93$ | Çimento, Kül, Kırma Kum, Dere Kumu |
| [38]Azar ve arkadaşları, 2019 | Silis dumanı içeren beton karışımları ve portland çimentosu | Verilerin deney sonuçlarına göre YSA modeli ile önerilmesi | Betonun basınç dayanımı | Silis dumanı, kağıt atık külü içeren betonun, Portland Çimentosu |

| | | | | |
|-------------------------------------|---|--|-------------------------|--|
| [39]Gholampour ve arkadaşları, 2020 | Döküm kumu/geri dönüştürülmüş ince agrega ve uçucu kül, ÖYFC'nin basınç dayanımına etkisi | Su-çimento oranı, agrega-çimento oranı, test yaşı ve yüzde çimento/metakaolin oranlarına dayalı olarak YSA yaklaşımıyla tahmin | Betonun basınç dayanımı | Su-çimento oranı, agrega-çimento oranı, test yaşı ve yüzde çimento/metakaolin oranlarına |
|-------------------------------------|---|--|-------------------------|--|

III. TARTIŞMA

Yapılan geniş çaplı literatür taramalarının sistematik bir şekilde derlenmesi sonucunda, çimento ve betonun içerisinde bulunan bileşenler ve hammaddelerin basınç dayanımını nasıl etkilediği özet bir şekilde sunulmuştur. Konuyla ilgili 1997- 2021 yılları arasında yayınlanmış 1012 çalışma incelenmiş ve analiz edilmiştir. Araştırmaya dahil edilecek olan kriterler göz önünde bulundurularak 52 yayın çalışma için uygun bulunmuş ve çalışmada yer verilmiştir. Yayınlar konu, limit ve bileşen karşılaştırmaları açısından değerlendirilmiştir. Çalışmada Science Direct, Pergamon, Elsevier ve ULAKBİM veri tabanları kullanılmıştır. Çalışmada Türkçe ve İngilizce yayınlar tercih edilmiştir. Ayrıca 'Factors Affecting Compressive', 'Cement Components' anahtar kelimeleri kullanılarak taranmıştır.

Bu kapsamda; çimento ve betonu oluşturan bileşenlerin miktarlarının değişmesi basınç dayanımının değişmesine neden olduğu görülmüştür. Genel olarak ele alınan kürlenme sürelerinin basınç dayanımı üzerinde çok önemli bir etki yarattığı tespit edilmiştir.

Diğer makalelerde [56-59] bildirildiği gibi, C_3A ve $CaCO_3$ karboalüminat hidratları arasındaki reaksiyona girer ve basınç dayanımını etkilediği bulunmuştur. Bunun yanı sıra küçük kireçtaşı ilavelerinin hem basınç dayanımı hem de hidrasyon ısısı üzerindeki etkileri nispeten iyi bilinmektedir, ancak bu etkilerin klinker özelliklerine (örneğin C_3S içeriği), çimentonun inceliğine ve diğer faktörlere olan bağımlılığı hakkında daha az şey bilinmektedir.

- Portland çimentosuna kireçtaşı ilavesi, basınç dayanımı, su talebi, işlenebilirlik, dayanıklılık [1 ± 7] gibi çeşitli çimento özelliklerini önemli ölçüde iyileştirebilir ve ayrıca üretim maliyetlerini düşürebilir [56]. Portland çimentosunun dayanımı arttırmak için ise çimentodaki Na_2Oeq/SO_3 molar oranının <0.5 olması gerektiği savunulmuştur.

- Su-çimento oranının 0.7-0.8 olduğu durumlarda ve özellikle geri dönüşümlü agreganın basınç dayanımının ve bükülme dayanımının iyileştirilmesinde etkili olduğunu göstermiştir. Dolgu duvar malzemeleri ve agrega-çimento oranı, eğilme-sıkıştırma oranındaki en önemli faktör olarak ortaya çıkmıştır.

- Silika dumanının 28 güne kadar kısa sürede basınç dayanımını etkilediğini, ardından 28 günden sonra silika dumanının basınç dayanımı üzerindeki etkisini azalttığını göstermiştir. Aynı zamanda %20 oranında silis dumanı ve 500 kg/m^3 çimento kullanıldığında, hafif betonun basınç ve yarmada çekme dayanımının en yüksek değer alacağı bulunmuştur.

- Sıcaklığın kuadratik etkisinin ve sıcaklık ile bağlayıcı içeriği arasındaki etkileşimin, özgül ağırlık için önemli olduğunu göstermiştir.

- Yüksek fırın cürufunun çimentolara eklenmesiyle basınç dayanımının arttığı görülmüştür. Beton basınç dayanımını etkileyen en önemli unsurların sırasıyla; çimento miktarı, numune boyutu, numune alma zamanı ve karıştırma metodu olduğu belirlenmiştir.

- Normal Portland çimentosu betonunda; su-çimento esaslı malzeme oranındaki artış, özellikle yüksek oranda cüruf içeren betonun dayanımını daha da azalttığı ispatlanmıştır.

IV. SONUÇ

Genel olarak çalışma kapsamında betonun ve çimentonun basınç dayanımına etki eden kriterler ve farklı bileşenler ayrıntılı olarak incelenmiştir. Çalışmada 52 yayının ortak bileşenleri, kriterleri ve birbirinden farklı bileşen ve kriterleri ortaya çıkarılarak sonuçlar ayrıntılarıyla sunulmuştur.

Özetle; C_3A ve $CaCO_3$ karboalüminat hidratları arasındaki reaksiyona girer ve basınç dayanımını etkilediği bulunmuştur. Su-çimento oranının 0.7-0.8 olduğu durumlarda ve özellikle geri dönüşümlü agreganın basınç dayanımının ve bükülme dayanımının iyileştirilmesinde etkili olduğu görülmüştür. Sıcaklığın kuadratik etkisinin ve sıcaklık ile bağlayıcı içeriği arasındaki etkileşimin, özgül ağırlık için önemli olduğu görülmüştür. Silika dumanının 28 güne kadar kısa sürede basınç dayanımını etkilediğini, ardından 28 günden sonra silika dumanının basınç dayanımı üzerindeki etkisini azalttığı görülmüştür. Portland çimentosunun dayanımı arttırmak için ise çimentodaki Na_2Oeq/SO_3 molar oranının <0.5 olması gerektiği savunulmuştur.

Böylelikle; ileriki çalışmalara rehber olabilecek bu çalışmada, yapılan beton veya çimento karışımlarında herhangi bir maddenin değişmesi, miktarının artması veya azalması, uygun sıcaklıkların ve parça büyüklüklerinin değişmesi ve kürlenme günleri değiştiğinde basınç dayanımının nasıl değiştiği anlaşılabilir. Ayrıca çalışmadan elde edilen spesifik bilgiler, gelecekte oluşturulabilecek beton ve çimento karışımları hakkında bilgi edinilmesine yardımcı olabilecektir. Gelecekteki araştırmalar ve çalışmalar; sonuç bölümünde belirtilen maddelerin irdelenmesiyle, yeni ve güncel betonun basınç dayanımı ile ilgili çalışmalarla kıyaslanabilecektir. Beton/çimento karışımları için farklı bileşenlerin eklenip çıkarılması ile oluşabilecek basınç dayanımlarını farklı açılardan da analiz edebileceklerdir.

KAYNAKLAR

- [1] Korkmaz, A.V., (2020). Hammadde Ve Klinker Ögütülebilirliklerinin Çimento Üretiminde Enerji Tüketimine Etkisinin Araştırılması. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 59(3).
- [2] TS EN 197-1 (2002). Genel Çimentolar- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standardları Enstitüsü.
- [3] TS EN 197-2 (2002). Çimento- Bölüm 2: Uygunluk Değerlendirmesi, Türk Standardları Enstitüsü.
- [4] TS EN 196-2 (2002). Çimento Deney Metodları- Bölüm 2: Çimentonun Kimyasal Analizi, Türk Standardları Enstitüsü.
- [5] TS EN 196-21,(2002). Çimento Deney Metodları- Bölüm 21: Klörür, Karbon Dioksit ve Alkali Muhtevası Tayini, Türk Standardları Enstitüsü.
- [6] Yao, X., (1999). Evolving artificial neural networks. *Proceedings of the IEEE*,87(9), 1423-1447.
- [7] Sarle, W.S., (1994). Neural networks and statistical models.
- [8] Dantas A.T.A., Leite M.B., & Jesus Nagahama de K., (2013). Prediction of compressive strength of concrete containing construction and demolition waste using artificial neural networks. *Construction and Building Materials*, 38, 717-722
- [9] Nasuf S.E., & Özbakır O., (2016). Agregaların Fiziksel Özelliklerinden Yola Çıkılarak Beton Dayanımlarının Yapay Sinir Ağları İle Kestirilmesi". *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(3) ,165-172.
- [10] Çağlar N., Küyük H.S., & Köksal H.O., (2007).Yapay Sinir Ağları İle Betonare Kirişlerin Hasar Analizi. 2005.
- [11] Yüzer, N., B. Akbaş, & Kızılkant A.B. Predicting the compressive strength of concrete exposed to high temperatures with a neural network model, *in TÇMB, 3rd International Symposium Sustainability in Cement and Concrete*, İstanbul.
- [12] Wang, Q., Yan P., & Feng, J., (2011). A discussion on improving hydration activity of steel slag by altering its mineral compositions. *Journal of hazardous materials*, 186(23), 1070-1075.
- [13] Słoński, M., (2010). A comparison of model selection methods for compressive strength prediction of high-performance concrete using neural networks. *Computers & structures*, 88(21-22) 1248-1253.
- [14] Özcan, F., Atiş, C. D., Karahan, O., Uncuoğlu, E., & Tanyildizi, H., (2009). Comparison of artificial neural network and fuzzy logic models for prediction of long-term compressive strength of silica fume concrete. *Advances in Engineering Software*, 40(9), 856-863.
- [15] Babu, K.G., & Kumar, V.S.R., (2000) Efficiency of GGBS in concrete. *Cement and Concrete Research*, 30(7) 1031-1036.
- [16] Kumar, S., Kumar, R., Bandopadhyay, A., Alex, T. C., Kumar, B. R., Das, S.K., & Mehrotra, S.P., (2008). Mechanical activation of granulated blast furnace slag and its effect on the properties and structure of portland slag cement. *Cement and Concrete Composites*, 30(8), 679-685.
- [17] Ni, H.-G., & Wang J.-Z., (2000). Prediction of compressive strength of concrete by neural networks. *Cement and Concrete Research*, 30(8), 1245-1250.
- [18] Topçu, İ.B., Uygunoğlu, T., & İnce H.H., (2010). Hafif Beton Basınç Dayanımının Yapay Sinir Ağlarıyla Tahmini. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(1), 19-29.
- [19] Bagel, L., (1998).Strength and pore structure of ternary blended cement mortars containing blast furnace slag and silica fume. *Cement and Concrete Research*, 28(7), 1011-1022.
- [20] Prasad, B.R., Eskandari H., & Reddy B.V., (2009). Prediction of compressive strength of SCC and HPC with high volume fly ash using ANN. *Construction and Building Materials*, 23(1), 117-128.
- [21] Siddique, R., Aggarwal, P., & Aggarwal, Y., (2011).Prediction of compressive strength of self-compacting concrete containing bottom ash using artificial neural networks. *Advances in engineering software*, 42(10), 780-786.
- [22] Pal, S., Mukherjee A., & Pathak S., (2003) .Investigation of hydraulic activity of ground granulated blast furnace slag in concrete. *Cement and Concrete Research*, 33(9),1481-1486.
- [23] Bilim, C., Atiş, C.D., Tanyildizi, H., & Karahan, O., (2009). Predicting the compressive strength of ground granulated blast furnace slag concrete using artificial neural network.

- Advances in Engineering Software, 40(5), 334-340.
- [24] Alshihri, M.M., Azmy, A.M., & El-Bisy, M.S., (2006). Neural networks for predicting compressive strength of structural light weight concrete. *Construction and Building Materials*, 23(6), 2214-2219.
- [25] Ji, T., Lin, T., & Lin, X., (2006). A concrete mix proportion design algorithm based on artificial neural networks. *Cement and Concrete Research*, 36(7), 1399-1408.
- [26] Parichatprecha, R., & Nimityongskul P., (2009). Analysis of durability of high performance concrete using artificial neural networks. *Construction and Building Materials*, 23(2), 910-917.
- [27] Tayfur, G., Erdem, T.K., & Kırca, Ö., (2013). Strength prediction of high-strength concrete by fuzzy logic and artificial neural networks. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 26(11), 04014079.
- [28] Atici, U., (2011). Prediction of the strength of mineral admixture concrete using multivariable regression analysis and an artificial neural network. *Expert Systems with applications*. 38 (8), 9609-9618.
- [29] Sarıdemir, M., Topçu, İ.B., Özcan, F., & Severcan, M.H., (2009). Prediction of long-term effects of GGBFS on compressive strength of concrete by artificial neural networks and fuzzy logic. *Construction and Building Materials*, 23(3), 1279-1286.
- [30] Kewalramani, M.A., & Gupta, R., (2006). Concrete compressive strength prediction using ultrasonic pulse velocity through artificial neural networks. *Automation in Construction*, 15(3), 374-379.
- [31] Naderpour, H., Kheyroddin, A., & Amiri, G.G., (2010). Prediction of FRP-confined compressive strength of concrete using artificial neural networks. *Composite Structures*, 92 (12) , 2817-2829.
- [32] Trtnik, G., Kavčič, F., & Turk, G., (2009). Prediction of concrete strength using ultrasonic pulse velocity and artificial neural networks. *Ultrasonics*, 49(1), 53-60.
- [33] Sobhani, J., Najimi, M., Pourkhorshidi, A.R., & Parhizkar, T., (2010). Prediction of the compressive strength of no-slump concrete: A comparative study of regression, neural network and ANFIS models. *Construction and Building Materials*, 24(5), 709-718.
- [34] Chandwani, V., Agrawal, V., & Nagar, R., (2015). Modeling slump of ready mix concrete using genetic algorithms assisted training of Artificial Neural Networks. *Expert Systems with Applications*, 42 (2), 885-893.
- [35] Yaprak, H. & Karaci, A., (2009). Polipropilen lifli betonların yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımlarının yapay sinir ağları ile tahmini. *International Journal of Engineering Research and Development*, 2, 23-28,
- [36] Hasgül, Ö., & Anagün, A.S., (2005). Deneysel Sonuçların Analizinde Yapay Sinir Ağları Kullanımı ve Beton Dayanım Testi İçin Bir Uygulama, *V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, İstanbul Ticaret Üniversitesi 133-139.
- [37] Lai, S. & Serra, M., (1997). Concrete strength prediction by means of neural network. *Construction and Building Materials* ,11(2), 93-98.
- [38] Azar, J. P., Najarchi, M., Sanaati, B., Najafzadeh, M. M., & Mirhosseini, S.M., (2019). The Experimental Assessment of the Effect of Paper Waste Ash and Silica Fume on Improvement of Concrete Behavior. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 23(10), 4503-4515.
- [39] Gholampour, A., Zheng, J., & Ozbakkaloglu, T., (2021). Development of waste-based concretes containing foundry sand, recycled fine aggregate, ground granulated blast furnace slag and fly ash. *Construction and Building Materials*, 121004.
- [40] Özel, C. & Topsakal, A., (2014). Veri Madenciliği Kullanarak Beton Basınç Dayanımının Belirlenmesi. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, 35(1), 1-11.
- [41] Prošek, Z., Trejbal, Nežerka, J., Goliáš, V., Faltus, V.M., & Tesárek, P., (2020). Recovery of residual anhydrous clinker in finely ground recycled concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, 155, 104640.
- [42] Ma, Y., & Qian, J. (2016). Effect of Alkali Sulfate on Workability, Strength and Volume Stability Related to SCC. Washington DC, USA 15-18 May 2016 Edited by Kamal H. Khayat, 841.
- [43] Gholampour, A., Zheng, J., & Ozbakkaloglu, T., (2020). Development of waste-based concretes containing foundry sand, recycled fine aggregate, ground granulated blast furnace slag and fly ash. *Construction and Building Materials*, 121004.
- [44] Vakhshouri, B., & Nejadi, S., (2018). Prediction of compressive strength of self-compacting concrete by ANFIS models. *Neurocomputing*, 280, 13-22.
- [45] Yuan, Z., L.-N., Wang, & Ji, X., (2014). Prediction of concrete compressive strength: Research on hybrid models genetic based algorithms and ANFIS. *Advances in Engineering Software*, 67, 156-163.
- [46] Tesfamariam, S., & Najjaran, H., (2007). Adaptive network-fuzzy inferencing to estimate concrete strength using mix design. *Journal of*

- Materials in Civil Engineering*, 19(7), 550-560.
- [47] Mirrashid, M., Jafari, M., Akhlaghi, A., & Vahidnia, A., (2013). Prediction of compressive strength of concrete containing magnetite aggregates using Adaptive Neural Fuzzy Inference System (ANFIS). *4th International Conf. Concr. Dev.*, Tehran, Iran.
- [48] Khademi, F., Jamal, S.M., Deshpande, N., & Londhe, S., (2016). Predicting strength of recycled aggregate concrete using artificial neural network, adaptive neuro-fuzzy inference system and multiple linear regression. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(2), 355-369.
- [49] Gorninski, J. P., Dal Molin, D. C., & Kazmierczak, C.S., (2004). Study of the modulus of elasticity of polymer concrete compounds and comparative assessment of polymer concrete and portland cement concrete. *Cement and concrete research*, 34(11), 2091-2095.
- [50] Kockal, N.U., & Ozturan T., (2011). Optimization of properties of fly ash aggregates for high-strength lightweight concrete production. *Materials & Design*, 32(6), 3586-3593.
- [51] Chen, Z., Zhang, Y., Chen, J., & Fan, J., (2018). Sensitivity factors analysis on the compressive strength and flexural strength of recycled aggregate infill wall materials. *Applied Sciences*, 8(7), 1090.
- [52] Aldahdooh, M., Bunnori, N.M., & Johari, M.M., (2013). Development of green ultra-high performance fiber reinforced concrete containing ultrafine palm oil fuel ash. *Construction and Building Materials*, 48,379-389.
- [53] Phan, L.T., & Carino, N.J., (2008). Effects of test conditions and mixture proportions on behavior of high-strength concrete exposed to high temperatures. *ACI Materials Journal*, 99 (1,) 54-66.
- [54] Tanyildizi, H. & Coşkun, A., (2013). Varyans analizi (ANOVA) yöntemi ile silis dumanı katkılı hafif betonun mekanik özelliklerine deney parametrelerinin etkilerinin belirlenmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 29(3), 227-233.
- [55] Lim, C.-H., Yoon, Y.S. & Kim, J.-H., (2004). Genetic algorithm in mix proportioning of high-performance concrete. *Cement and Concrete Research*, 34(3), 409-420.
- [56] Livesey, P., (1991). Performance of limestone-filled cements, in: R.N. Swamy(Ed.). *Blended Cements in Construction*, Elsevier, London,1 -15.
- [57] Cochet, G., & Sorrentino, F., (1993). Limestone filled cements: Properties and uses, in: S.L. Sarkar, S.N. Ghosh (Eds.). *Mineral Admixtures in Cement and Concrete*, 4, ABI Books, New Delhi, 266 -295.
- [58] Klemm, W.A., & Adams, L.D., (1990). An investigation of the formation of carboaluminates, in: P. Klieger, R.D. Hooton (Eds.). *Carbonate Additions to Cement*, STP 1064, ASTM, Philadelphia, 60 -72.
- [59] Sawicz, Z., & Heng, S.S., (1996). Durability of concrete with addition of limestone powder. *Magazine of Concrete Research*, 48(175), 131-137.