

Beton Basınç Dayanımının Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Çok Değişkenli Regresyon Analizi ile Tahmin Edilmesi

Doğuş ÇAKIR^{1*}, Olcay GENÇ² ve Ömer Faruk CANSIZ³

¹ İnşaat Mühendisliği Bölümü / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay, Türkiye

² İnşaat Mühendisliği Bölümü / Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay, Türkiye

³ İnşaat Mühendisliği Bölümü / Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay, Türkiye

*doguscr@gmail.com

Özet – Beton çok sayıda bileşenden oluşan kompozit bir yapı malzemesidir. Betonda aranan en önemli özellik basınç dayanımıdır. Beton basınç dayanımı çok sayıda faktörden etkilenir. Geleneksel yöntemlerde basınç dayanımı tahmininde bazı dezavantajlar bulunmaktadır. Yapay zekâ yöntemlerinin gelişmesiyle alternatif metotlar geliştirilmekte ve birçok çalışma yapılarak bu metotların performansları ölçülmektedir. Bu metotlar standart yöntemlerin dezavantajlı yönlerini bertaraf ederek daha pratik ve hızlı bilgi akışı sağlamaktadır. Bu çalışmada MATLAB programı ile YSA modeli oluşturulmuş, YSA modeli ile beton basınç dayanımı tahmini yapılmaya çalışılmıştır. Modelde tüm veri seti için %92,6 doğruluk değeri elde edilmiştir. YSA modeli ile gerçek laboratuvar verileri grafik üzerinden karşılaştırılmıştır. Veri setinden alınan laboratuvar değerleri YSA modeliyle değerlendirildiğinde ortalama hata oranı %8,394385 olarak bulunmuştur. Çalışmadaki minimum hata oranı ise %0,006872 olarak bulunmuş ve gerçeğe çok yakın bir değer elde edilmiştir. Gerçek deney verileri YSA tahminleriyle uyum göstermiştir. Ardından değişkenler arasındaki ilişkinin analizi için 8 bağımsız değişken doğrultusunda MATLAB programı ile çok değişkenli regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizi için lineer, interaction, quadratic ve pure-quadratic modelleri kullanılmıştır. En iyi değerleri veren model ‘Quadratic Regresyon Analizi’ modeli olarak tespit edilmiştir. YSA modeli değerleri, Quadratic Regresyon Analizi değerleri ve gerçek laboratuvar verileri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda beton basınç dayanımının tahmini için yapay sinir ağları ile kurulan modelin regresyon analizine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Sonuç olarak, çok sayıda faktörün etkilediği beton basınç dayanımının tahmininde Yapay Sinir Ağları (YSA) yönteminin sonuçların gerçek değerlerle büyük oranda uyumlu olduğu ve kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler – Beton Basınç Dayanımı, Yapay Zekâ, Yapay Sinir Ağları, YSA, MATLAB

I. GİRİŞ

Beton; çimento, ince agrega, iri agrega, su ve farklı katkı maddeleri içeren kompozit bir yapı malzemesidir. Betonun davranışları büyük oranda bu bileşenlerin arasındaki etkileşim etrafında şekillenir. Betonda aranan en önemli özellik basınç dayanımıdır. Basınç dayanımı, betonun kırılmadan önce alabileceği en yüksek gerilme değeridir. Dayanım, belli standartları olan numuneler ve deney yöntemleri kullanılarak belirlenir [1]. Aynı zamanda yapay zekâ yöntemlerinin gelişmesiyle beton basınç dayanımını belirlemek için farklı

modeller geliştirilmektedir. Bu modeller standart yöntemlerin dezavantajlı yönlerini bertaraf ederek daha pratik ve hızlı bilgi akışı sağlamaktadır.

Beton karışımı çok sayıda bileşenden oluşmaktadır. Çimento, agrega, su/çimento oranı vb. bileşen faktörleri betonun dayanımını etkilemektedir. Bileşenlerin etkisi dışında; sıkıştırma düzeyi, betonun deney yaşı, kür koşulları, yükleme hızı, numune özellikleri, deney ortamının özellikleri betonun basınç dayanımını etkileyen diğer faktörlerdendir [1].

Çok sayıda faktörün etkisiyle betonun basınç dayanımını geniş bir aralıkta seyretmektedir. Yapılan

bazı çalışmalarda betonun mevcut özellikleri ve basınç dayanımı arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda betonun bazı özelliklerinin basınç dayanımı ile aynı yönde değiştiği bazılarının da farklı yönde değiştiği gözlemlenmiştir. Bu ilişkiden dolayı basınç dayanımı, beton için bir kalite ölçütü olarak görülmektedir [2].

Bu çalışmada beton basınç dayanımının laboratuvar deneyi sonuçlarından oluşan bir veri seti kullanılmıştır. Elde edilen veriler MATLAB programında Yapar Sinir Ağları (YSA) yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Ayrıca YSA modelinin istatistiksel metotlarla karşılaştırılması amacıyla çok değişkenli regresyon analizi yapılmıştır. Elde edilen veriler karşılaştırılarak sonuçlar ortaya konmuştur.

II. LİTERATÜR TARAMASI

Literatür taraması yapıldığında beton basınç dayanımının tahmin edilmesi ve beton karışımı bileşenlerinin beton basınç dayanımına etkileri üzerine çok sayıda çalışma yapıldığı görülmüştür. Beton basınç dayanımının tahmin edilmesi için alternatif modeller geliştirilmiş, farklı öneriler sunulmuştur. Beton karışım bileşenlerinin dayanıma etkisini saptamak için her bir bileşen üzerine incelemeler yapılmış, sonuçlar farklı modeller kurularak analiz edilmiştir.

Topçu ve ark. [3] yaptıkları çalışmada mevcut yapılarda ve ön üretimli yapı elemanlarında beton basınç dayanımını hasarsız bir şekilde nasıl tahmin edebileceklerini sorgulamışlardır. Buradan hareketle hasarsız beton dayanımının yaklaşık olarak bulunmasında Schmidt çekici ve ultrases geçiş hızının birlikte kullanıldığı ve değerlendirildiği SONREB yöntemini kullanmışlardır. Elde edilen verilerle bir YSA modeli geliştirerek, geliştirilen modelin sonuçları ile bazı araştırmacıların formüllerinden elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır. Sonuçları irdelediklerinde YSA ile geliştirilen modelin daha iyi sonuçlar verdiğini görmüşlerdir. Güvenirlik derecesi ve hata değerleri göz önüne alındığında, YSA ile geliştirilen modelin beton basınç dayanımı tahmininde kullanılabilirliğini saptamışlardır.

Çakıroğlu ve ark. [4] yaptıkları çalışmada beton basınç dayanımını tahmini için yapay zekâ yöntemlerinden biri olan bulanık mantık yöntemini kullanmışlardır. Beton basınç dayanımının belirlenebilmesi için öncelikle 9 adet 150 mm x 150

mm boyutlarında standart küp ve 9 adet 150 mm x 300 mm standart silindir numune kullanarak deney çalışması yapmışlardır. Beton davranışının mümkün olduğunca doğru tespit edilebilmesi ve sağlıklı bir karşılaştırma yapılabilmesi için numuneleri hidrolik pres cihazı ile basınç deneyine tabi tutmuşlardır. Elde ettikleri deneysel verileri bulanık mantık yöntemiyle geliştirdikleri tahmin modeliyle karşılaştırmışlardır. Yaptıkları karşılaştırmada geliştirilen model ile deney sonuçlarının büyük oranda tahmin edilebildiğini ve bu modelin beton basınç dayanımının tahmin edilmesinde kullanılabilirliğini görmüşlerdir.

Özel ve ark. [5] yaptıkları çalışmada beton basınç dayanımının belirlenmesi için alternatif bir metot olarak veri madenciliği kullanarak bir model geliştirmişlerdir. Modele girdi sağlaması için bir deney çalışması yapmışlar ve elde edilen verileri, veri madenciliği kullanarak geliştirdikleri modele işleyerek sonuçları analiz etmişlerdir. Çalışma sonucunda veri madenciliğinin beton basınç dayanımının tahmininde başarılı bir şekilde kullanılabilirliği sonucuna varmışlardır.

Ni ve ark. [6] beton basınç dayanımının belirlenmesinde geleneksel yöntemlerin zaman alması ve regresyon denklemi seçiminin teknik bilgi ve deneyim gerektirmesi gibi zorluklarından hareketle alternatif bir yöntem araştırmışlardır. Bu doğrultuda regresyon denklemi yerine çok katmanlı ileri beslemeli sinir ağları kullanarak bir haritalama modeli oluşturmuşlardır. Yazarlar eğitim seti ve test setini oluşturmak için kapsamlı ve ayrıntılı laboratuvar çalışmalardan ilk veri grubunu, bir beton karıştırma tesisinden de ikinci veri grubunu toplamışlardır. Verileri modele işleyerek beton karışımını oluşturan bileşen oranlarının beton basınç dayanımına etkilerini gözlemlenmişlerdir. Sonuç olarak oluşturulan haritalama modelinin günlük beton basınç dayanımını tahmin etmenin hızlı ve iyi bir tahmin doğruluğuna sahip olduğunu görmüşlerdir.

Yörübulut ve ark. [7] mevcut yapılarda beton basınç dayanımının analizinde tahribatlı bir yöntem olan karot yönteminin, yapı elemanının kesitini zayıflatması, taşıma kapasitesini azaltması, malzeme, iş gücü ve zaman kaybına neden olması gibi dezavantajları üzerinde durmuşlardır. Yaptıkları çalışmada tahribatsız bir yöntem olan Schmidt çekici ve ultrases okumalarını birlikte değerlendiren SONREB metoduyla elde ettikleri verileri, YSA yöntemi ve regresyon analizi

modelleri üzerinden okuyarak beton basınç dayanımının tahmin edilebileceğini görmüşlerdir.

Asteris ve ark. [8] mevcut yapılarda beton basınç dayanımının ölçülmesinde ultrasonik darbe hızı ve Schmidt çekici yöntemlerinin tahmin ettikleri değerlerin dağılımın geniş olduğunu ve gerçek değerlerden önemli sapmalar olduğunu söylemişlerdir. Bu nedenle beton basınç dayanımının tahmin edilmesinde bir YSA (Yapay Sinir Ağları) modeli uygulamışlardır. Araştırmalarında beton çekirdekler üzerinde uygulanan tahribatsız testlerden ve basınç dayanımından elde edilen veri setlerinden oluşan geniş bir deneysel veri tabanına dayanarak beton basınç dayanımı tahmini için üç farklı optimum YSA modeli önermişlerdir. Sadece ultrasonik darbe hızı ölçümlerinden oluşan, sadece Schmidh çekici ölçümlerinden oluşan, son olarak da iki yöntemin bir arada kullanıldığı durumlar değerlendirilmiştir.

Verileri MATLAB programına aktarmışlar, elde edilen sonuçları deneysel bulgularla ve literatürde var olan analitik formüllerle karşılaştırmışlar, tahribatsız yöntemlerle beton basınç dayanımının tahmini için geri yayımlı sinir ağlarının güvenilir potansiyelini görmüşlerdir.

III. MATERYAL VE YÖNTEM

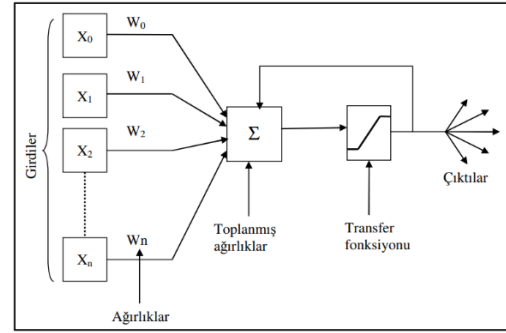
Bu çalışmada beton basınç dayanımı analizi için materyal olarak erişime açık bir platformdan (<https://www.kaggle.com/datasets>) elde edilen bir veri seti kullanılmıştır. Veriler belirli bir yaş(gün) altındaki belirli bir karışım için gerçek beton basınç dayanımı (MPa) değerlerini veren laboratuvar verileridir. Veri setinde 8 nicel girdi değişkeni (çimento, cüruf, ince agrega, iri agrega, uçucu kül, su, akışkanlaştırıcı), 1 nicel çıktı değişkeni (beton basınç dayanımı) ve 1030 deney gözlem verisi bulunmaktadır. Elde edilen veriler YSA ve Çok Değişkenli Regresyon Analizi kullanılarak analiz edilmiştir.

Tablo 1. 1030 deney verisinden 10 tanesine ait bilgiler

ÇİMENTO (m ³)	CÜRUF (m ³)	UÇUCU KÜL (m ³)	SU(m ³)	AKIŞKAN- LAŞTIRICI(m ³)	İRİ AGREGA (m ³)	İNCE AGREGA (m ³)	GÜN (1-365)	BETON BASINÇ DAYANIMI (MPa)
141,3	212	0	203,5	0	971,8	748,5	28	29,89
168,9	42,2	124,3	158,3	10,8	1080,8	796,2	14	23,51
250	0	95,7	187,4	5,5	956,9	861,2	28	29,22
266	114	0	228	0	932	670	28	45,85
154,8	183,4	0	193,3	9,1	1047,4	696,7	28	18,29
255	0	0	192	0	889,8	945	90	21,86
166,8	250,2	0	203,5	0	975,6	692,6	7	15,75
251,4	0	118,3	188,5	6,4	1028,4	757,7	56	36,64
296	0	0	192	0	1085	765	28	21,65
155	184	143	194	9	880	699	28	28,99

A. Yapay Sinir Ağları

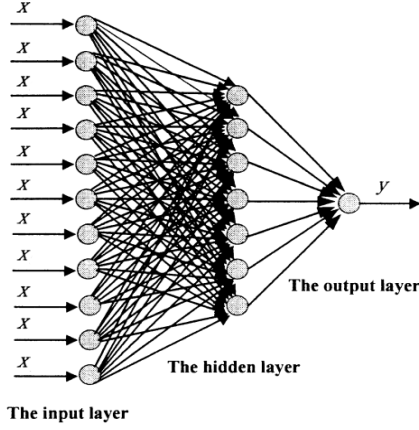
İnsan beynini ve sinir sistemini modelleyerek taklit etme çalışması olan YSA yöntemi, yapay zekâ uygulamalarından bir tanesidir. Örnek girdiler yardımı ile sonuçları tahmin eden bir çözüm yöntemidir. YSA, problemi ve problemin çözümünü örnekler üzerinden öğrenir. Konveksiyonel programlama gibi belirli bir algoritma çerçevesinde programlanmazlar [3]. YSA yönteminde öncelikle bağlantı ağırlık değerleri, ağı eğitilmesiyle optimize edilir. Çözüm için en uygun ağırlık değerleri belirlenir. Bu sayede YSA genelleme yapabilme yeteneği kazanır. Ağı öğrenip öğrenmediğini kontrol etmek için ağı test edilir. Test aşamasında ağı hiç görmediği örnekler gösterilir ve ağı bu örnekler için ürettiği çıktı değerleri ile, olması gereken çıktı değerleri karşılaştırılarak ağı performansı ölçülür [9].



Şekil 1. YSA hücre modeli [10]

Üç tip YSA yapısı vardır. Bunlar: İleri Beslemeli Ağlar, Geri Beslemeli Ağlar ve İleri Beslemeli Geri Yayımlı Ağlardır.

Bu çalışmada MATLAB programı yardımıyla çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur. Çok katmanlı sinir ağları girdi ve çıktı katmanına ilaveten bir veya daha fazla saklı katmandan oluşur [3].



Şekil 2. Çok katmanlı ileri beslemeli YSA modeli [6]

YSA modelleri genellikle YSA(i,j,k) ağ mimarisi ile gösterilir.

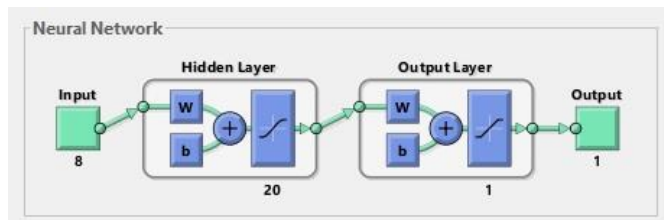
- i: girdi tabakasındaki hücre sayısı
- j: gizli tabakadaki hücre sayısı
- k: çıktı tabakasındaki hücre sayısı

B. Çok Değişkenli Regresyon Analizi

Regresyon analizi, iki ya da daha çok değişken arasındaki ilişkiyi modellemede kullanılır. Bağımlı değişkenin tahmini için kurulan modelde girdi olarak tek bir bağımsız değişken kullanılıyorsa 'tekli regresyon analizi', birden fazla değişken kullanılıyorsa 'çoklu regresyon analizi' olarak adlandırılır [11].

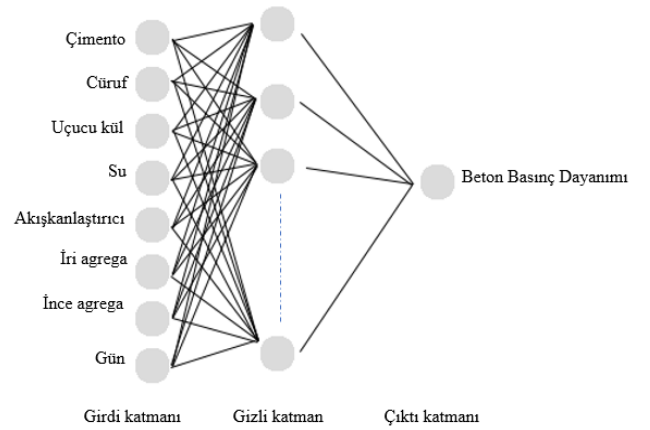
IV. BULGULAR

A. YSA Modelinin Oluşturulması



Şekil 3. Geliştirilen YSA modeli

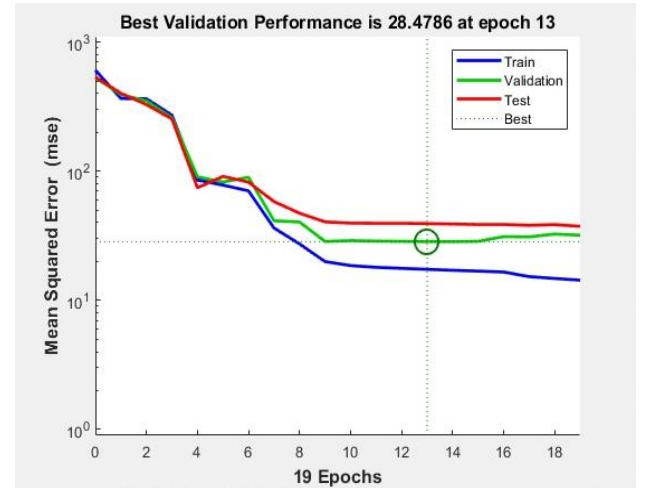
Çalışmada YSA ağ mimarisi YSA (8,20,1) şeklindedir. Girdi katmanı hücre sayısı $i=8$, gizli katman hücre sayısı $= 20$ ve çıktı katmanı hücre sayısı $j= 1$ 'dir.



Şekil 4. Çalışma için oluşturulan ileri beslemeli YSA modeli yapısı

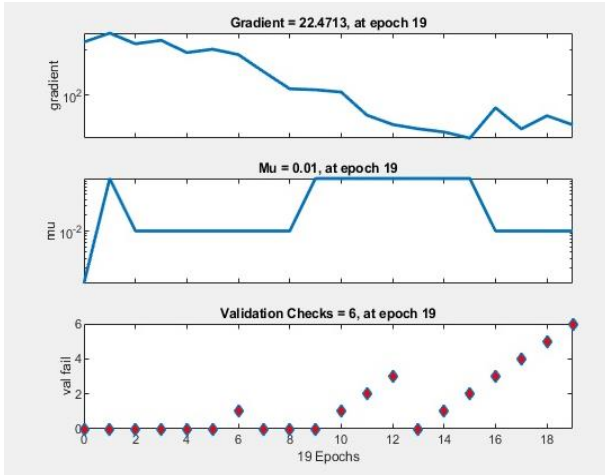
Çalışmadaki girdi katmanları: Çimento, cüruf, uçucu kül, su, akışkanlaştırıcı, iri agrega, ince agrega ve gün sayısından oluşan beton bileşen parametreleridir. Çıktı katmanı ise beton basıncı dayanımıdır.

B. YSA'da Eğitim, Öğrenme ve Test Etme

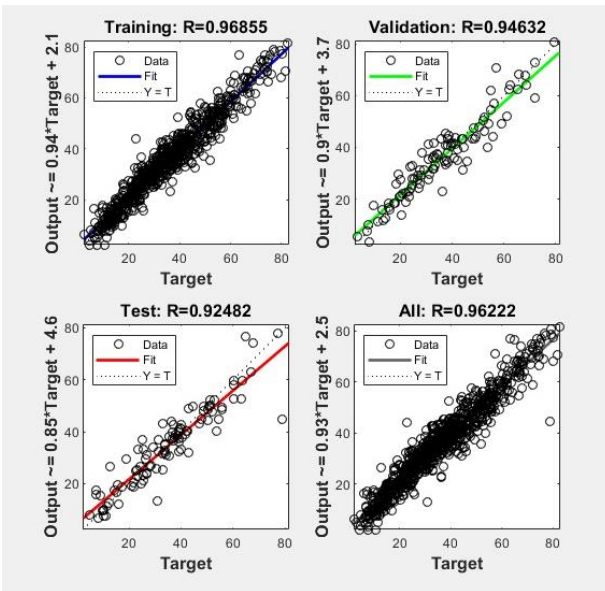


Şekil 5. Kullanılan verilere göre YSA grafiği

Ortalama kare hatası/sapması gerçek değerler ile beklenen değerler arasındaki fark bulunarak oluşturulur. Girdi verilerine dayalı olarak sınır ağından tahmin edilen sensör değerleri seti, beklenen sensör değerleri ile karşılaştırılır ve farkları alınarak ortalama karesel hata değeri bulunur. Çalışmada en iyi doğrulama performansı değeri 13 iterasyonda 28.4786 olarak bulunmuştur.



Şekil 6. YSA doğrulama kontrolleri, Mu ve Gradient değerleri

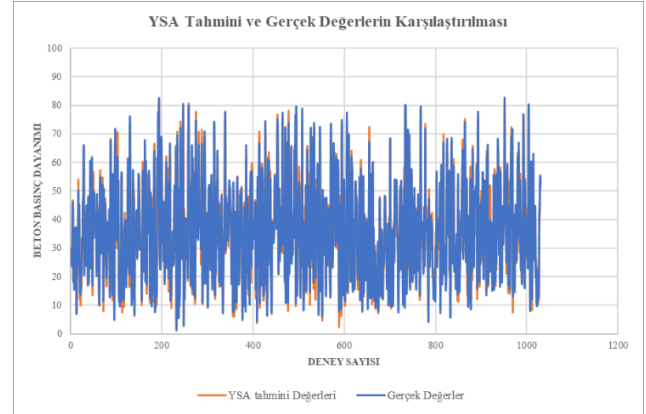


Şekil 7. YSA modelinde eğitim, doğrulama, test verileri ve tüm veri seti için tahmin edilen beton basınç dayanımı değerleri

Yapay sinir ağları (YSA) ile beton basınç dayanımının tahmin edilmesinde, YSA değerleri ile laboratuvar değerleri karşılaştırılmıştır. Eğitim verisi için %93,8, doğrulama verisi için %89,6, test verisi için %85,5 ve tüm veri seti için genel %92,6 doğruluk değeri elde edilmiştir.

Tablo 2. YSA ile beton basınç dayanımı tahminleri ve elde edilen doğruluk değerleri

	Model	R	R ²
Eğitim verisi	$y = 0.94 * x + 2.1$	0.96855	%93,8
Doğrulama verisi	$y = 0.9 * x + 3.7$	0.94632	%89,6
Test verisi	$y = 0.85 * x + 4.6$	0.92482	%85,5
Tüm veri seti	$y = 0.93 * x + 2.5$	0.96222	%92,6



Şekil 8. Beton basınç dayanımı tahmini için YSA ve gerçek değerlerin karşılaştırılması

C. Çok Değişkenli Regresyon Analizi

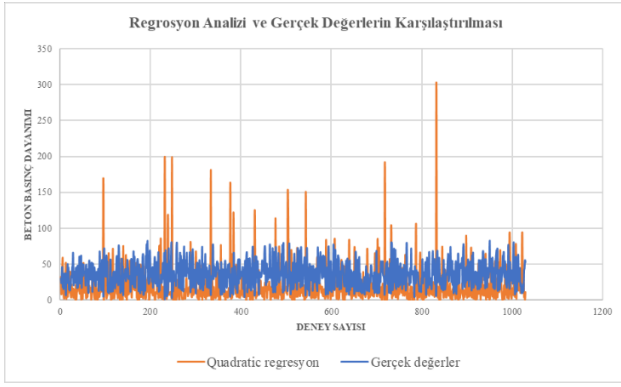
Beton basınç dayanımı değerlerinin tespiti için 8 bağımsız değişken doğrultusunda MATLAB programı ile çok değişkenli regresyon analizi yapılmıştır. Analizde kullanılan bağımsız değişken sayısı 8'dir. Bu değişkenler; çimento, cüruf, uçucu kül, su, akışkanlaştırıcı, iri agrega, inde agrega ve gün sayısıdır. Bağımlı değişken; beton basınç dayanımı olmak üzere 1 tanedir.

Regresyon analizi için linear, interaction, quadratic ve pure-quadratic modelleri kullanılmıştır.

Tablo 3. Çoklu Regresyon Analizi Model Değerleri

MODEL	Korelasyon Katsayısı Değerleri (R)	Ortalama Karese Hata Değerleri (OKH)	Ortalama Yüzde Hata Değerleri (OYH)
Lineer Regresyon Analiz Sonuçları	0,61552	108,1422	31,30633
Interaction Regresyon Analiz Sonuçları	0,756739	70,3511	25,02882
Quadratic Regresyon Analiz Sonuçları	0,81059	55,22222	19,74395
Pure-Quadratic Regresyon Analiz Sonuçları	0,774229	64,00387	21,69397

Tablo 3. verilerine göre iyi en iyi değerleri veren model 'Quadratic Regresyon Analizi' modelidir.



Şekil 9. Beton basınç dayanımı tahmini için quadratic regresyon ve gerçek değerlerin karşılaştırılması

V. SONUÇ

Beton basınç dayanımı tahmini için ileri beslemeli bir YSA modeli oluşturulmuştur. Çalışmada 1030 deney gözlem verisinden oluşan bir veri seti kullanılmıştır. Veriler MATLAB programına aktarılarak YSA modeli kurulmuştur. YSA tahmini ve gerçek laboratuvar değerleri karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırma sonucunda:

- Veri setinden alınan laboratuvar değerleri YSA modeliyle değerlendirildiğinde ortalama hata oranı %8,394385 olarak bulunmuştur. Çalışmadaki minimum hata oranı ise %0,006872 olarak bulunmuş ve gerçeğe çok yakın bir değer elde edilmiştir. Gerçek deney verileri YSA tahminleriyle uyum göstermektedir.
- YSA modelinde performans değerleri en düşük test verisi için %85,5, en yüksek de eğitim verisi için %93,8 olarak ölçülmüştür.

YSA modelinin istatistiksel metotlarla karşılaştırılması amacıyla çok değişkenli regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizi için lineer, interaction, quadratic, pure-quadratic modelleri kullanılmıştır.

Lineer regresyon analizi sonucunda:

- Korelasyon katsayısı = 0,61552
- Ort. Yüzde hata değeri = 31,30633
- Ort. Karesel hata değeri = 108,1422

Interaction regresyon analizi sonucunda:

- Korelasyon katsayısı = 0,756739
- Ort. Yüzde hata değeri = 25,02882
- Ort. Karesel hata değeri = 70,3511

Quadratic regresyon analizi sonucunda:

- Korelasyon katsayısı = 0,81059

- Ort. Yüzde hata değeri = 19,74395
- Ort. Karesel hata değeri = 55,22222

Pure-Quadratic regresyon analizi sonucunda:

- Korelasyon katsayısı = 0,774229
- Ort. Yüzde hata değeri = 21,69397
- Ort. Karesel hata değeri = 64,00387

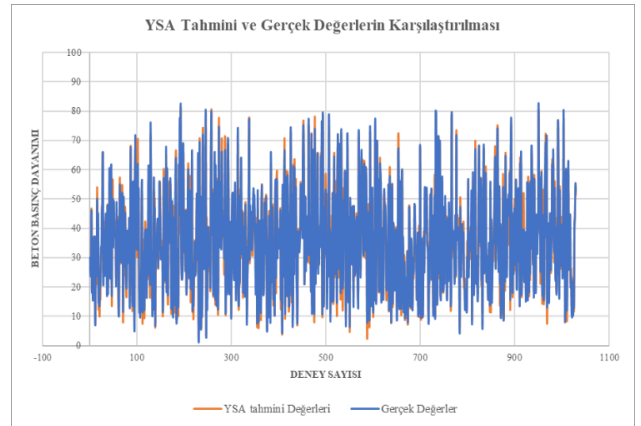
En iyi sonucu Quadratic regresyon analizi sonuçlarının verdiği görülmüştür.

‘Quadratic regresyon analizi’ değerleri ile, YSA modeli ile elden edilen değerler karşılaştırılmıştır.

Tablo 4. Quadratic regresyon analizi ile YSA analizi sonuçlarının karşılaştırılması

MODEL	Korelasyon Katsayısı	Ortalama Karesel Hata Değerleri (OKH)	Ortalama Yüzde Hata Değerleri (OYH)
Yapay Sinir Ağları Analiz Sonuçları	0,96855	28,4786	8,394385
Quadratic Regresyon Analiz Sonuçları	0,81059	55,22222	19,74395

Tablo 4. verilerine göre Ortalama Karesel Hata Değerleri (OKH) için regresyon analizinin daha iyi sonuç verdiği görülürken, R ve OYH değerleri için YSA modelinin performansı daha iyidir.



Şekil 10. Quadratic Regresyon Analizi ve YSA Tahmini Değerlerinin Karşılaştırılması

Bu sonuçlara göre beton basınç dayanımının tahmini için yapay sinir ağları ile kurulan modelin regresyon analizine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Sonuç olarak, çok sayıda faktörün etkilediği beton basınç dayanımının tahmininde Yapay Sinir Ağları (YSA) yönteminin sonuçların gerçek değerlerle büyük oranda uyumlu olduğu ve kullanılabileceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Türkel, Aziz. Betonun basınç dayanımına numune boyutunun etkisi. Diss. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [2] Akyüz, Emre. Kür, sıkıştırma, sıcaklık ve yağış koşullarının beton basınç dayanımına etkisi. MS thesis. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- [3] Topçu, İlker Bekir, Tayfun Uygunoğlu, and Hüseyin Hakan İNCE. "Hafif beton basınç dayanımının yapay sinir ağlarıyla tahmini." *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi* 6.1 (2010): 19-29.
- [4] ÇAKIROĞLU, Melda ALKAN, et al. "Beton basınç dayanımının bulanık mantık yöntemiyle tahmin edilmesi." *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi* 6.2 (2010): 1-8.
- [5] Cengiz, Ö. Z. E. L., and Alper Topsakal. "Veri madenciliği kullanarak beton basınç dayanımının belirlenmesi." *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi* 35.1 (2014): 1-11.
- [6] Ni, Hong-Guang, and Ji-Zong Wang. "Prediction of compressive strength of concrete by neural networks." *Cement and Concrete Research* 30.8 (2000): 1245-1250.
- [7] YÖRÜBULUT, Serap, et al. "Tahribatsız Yöntem Verileri Kullanılarak Yapay Sinir Ağı ve Regresyon Yöntemi ile Beton Basınç Dayanımının Tahmin Edilmesi." *International Journal of Engineering Research and Development* 12.2 (2019): 769-776.
- [8] Asteris, Panagiotis G., and Vaseilios G. Mokos. "Concrete compressive strength using artificial neural networks." *Neural Computing and Applications* 32.15 (2020): 11807-11826.
- [9] Yörübulut, Suat. Betonun basınç dayanımının tahribatsız yöntem verilerini kullanarak yapay sinir ağı ve regresyon yöntemi ile tahmin edilmesi. MS thesis. Kırıkkale Üniversitesi, 2019.
- [10] YAZICI, Ayşe Canan, et al. "Yapay Sinir Ağlarına Genel Bakış." *Türkiye Klinikleri J Med Sci* 27 (2007): 65-71.
- [11] GABRALI, Durhan, and Zafer Aslan. "Güneş enerjisi potansiyelinin çoklu lineer regresyon ve yapay sinir ağları ile modellenmesi." *AURUM Journal of Engineering Systems and Architecture* 4.1 (2020): 23-36.