

## İnşaat Mühendisliğinde Yapay Zekâ Çalışmaları

Beyza GÜLTEKİN<sup>1</sup> , Gamze DOĞAN\*<sup>2</sup> 

<sup>1,2</sup>Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, 42250, Türkiye

Derleme Makalesi, Geliş Tarihi: 08.11.2021, Kabul Tarihi: 31.12.2021

### Özet

Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle ortaya çıkan yapay zekâ terimi hemen hemen her alanda kendinden söz ettirmeyi ve gündem olmayı başarmıştır. Yararları ve zararları ile çok sayıda tartışmaya neden olan söz konusu terimin olumlu yönleri çok daha ağır basmaktadır. Tüm bunlardan yola çıkarak inşaat mühendisliği gibi ülkemizin en önemli sektörlerinden birinde bu teknolojinin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada, inşaat mühendisliği alanında son 10 yılda yapılmış olan yapay zekâ ile ilgili çalışmalar değerlendirilip elde edilen başarı ya da başarısızlık oranlarına göre bu dalda teknolojinin geldiği son nokta ortaya konmuştur. Çalışmalar göstermiştir ki yapay zekâ kavramı, inşaat mühendisliğinde yeni bir kavram olarak nitelendirilebilmesine rağmen elde edilen sonuçlar oldukça iyi ve umut vâdedicidir.

**Anahtar Kelimeler:** İnşaat mühendisliği, Yapay zekâ, Derin öğrenme, Makine öğrenmesi, Görüntü işleme.

## Artificial Intelligence Studies In Civil Engineering

### Abstract

The term artificial intelligence, which has emerged with the development of technology in recent years, has managed to make itself known and become an agenda in almost every field. The positive aspects of the term, which has caused a lot of discussion with its benefits and harms, are much more outweighed. Based on all these, the use of this technology is becoming widespread in one of the most important sectors of our country, such as civil engineering. In this study, the studies on artificial intelligence made in the last 10 years in the field of civil engineering were evaluated and the latest point of technology in this branch was revealed according to the success or failure rates achieved. Studies have shown that although the concept of artificial intelligence can be described as a new concept in civil engineering, the results obtained are quite good and promising.

**Keywords:** Civil engineering, Artificial intelligence, Deep learning, Machine learning, Image processing.

\*Sorumlu yazar gdogan@ktun.edu.tr, <sup>1</sup>beyzagltn42@gmail.com

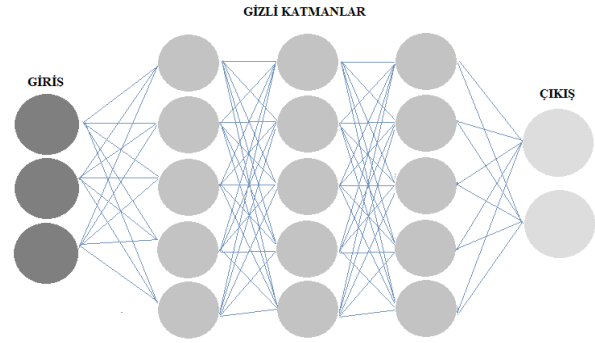
## 1. GİRİŞ

İnsanları yaratılmış diğer tüm canlılardan ayrılan en önemli özelliği beyni ve karar verebilme mekanizmasıdır. İnsanoğlu bu mekanizmayı cansız varlıklar üzerinde uygulamak istemiş, bu istek ve merak doğrultusunda ‘yapay zekâ’ terimi ortaya çıkmıştır.

Yapay zekâ makineler tarafından insana özgü özelliklerin taklit edilmesi ve taklit edilen bu davranışların uygulamaya geçirilmesi işlemidir. Kelime anlamı olarak bir bilgisayarın veya bilgisayar kontrolü altında bulunan bir robotun zeki canlılar gibi bazı faaliyetleri yerine getirme yeteneğidir (URL 1). Ancak inşaat mühendisliğinde en çok kullanılan yapay zekâ teknikleri makine öğrenmesi, yapay sinir ağları, görüntü işleme, derin öğrenme ve bulanık mantıktır. Çalışma kapsamında bu teknikler açıklanacak ve özellikle son 10 yılda inşaat mühendisliği alanında bu teknikler kullanılarak yapılmış çalışmalara yer verilecektir.

### 1.1. Derin öğrenme (Deep learning)

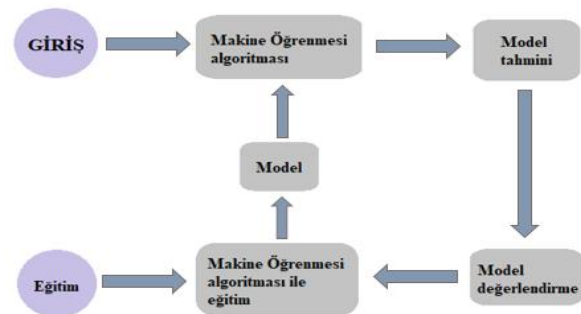
Derin öğrenme (DÖ), yapay zekânın son yıllarda oldukça dikkat çeken alanlarından biri olan makine öğrenmesinin alt dalı olarak; artan veri sayısı ile bu verilen analizin yapılması, öğrenme ile konuşmayı tanıma, çeşitli görüntülerden nesne tanıma, tahmin yapma vb. görevleri yapabilmek için tasarlanan algoritma sınıfının genel adıdır. Modelin derinliğini katman sayısı belirlemektedir (Chollet, 2017). Çok sayıda veri girişinden ayırt edici nitelikleri kendisi öğrenir. Veri girişi ne kadar çok olursa öğrenme o kadar iyi gerçekleşir ve tahminler o kadar gerçeğe yakın olur. Üç ana derin öğrenme modeli bulunmaktadır. Bunlar: Evrimsel Sinir Ağı (ESA), Çok Katmanlı Algılayıcılar (ÇKA), Yinelemeli Sinir Ağı (YİSA)’dır. Ses tanıma sistemlerinde, alarm sistemlerinde, sağlık sektöründe, yüz tanıma sistemlerinde, sürücüsüz araçlarda, görüntü iyileştirilmesinde, siber tehdit analizlerinde, tavsiye sistemlerinde kullanılmaktadır (URL 2). Makine öğrenmesinde cisimlerin nitelikleri manuel olarak ayırt edildikten sonra modelleme yapılabilirken derin öğrenmede söz konusu nitelikler otomatik olarak belirlenir, makine kendi kendine öğrenir (URL 3).



Şekil 1. Derin öğrenme modeli (URL 4)

### 1.2. Makine öğrenmesi (Machine learning)

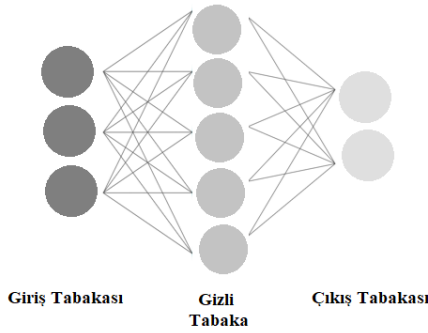
Makine öğrenmesi (MÖ), birtakım matematiksel ve istatistiksel işlemlerle verilerin öğrenme yapabildiği ve öğrendiği bilgiler doğrultusunda tahminlerde bulunabildiği yapay zekânın önemli bir alt dalıdır. MÖ yöntemi temelde regresyon ve sınıflandırma işlemleri için kullanılabilir. MÖ algoritması, regresyon modellerinde girilen veriler yardımıyla öğrenir ve mantıklı tahminler yapar. Sınıflandırma modellerinde ise verilerin hangi kategorik sınıfa ait olduğu belirlenebilmektedir. Algoritma söz konusu iki kategoride verileri öğrenerek bunlara göre tahminde bulunur. MÖ’de bu işlemleri gerçekleştirebilen birçok alt dallar mevcuttur. Regresyon tabanlı MÖ algoritmalarına; basit doğrusal regresyon (BDR), çoklu doğrusal regresyon (ÇDR), destek vektör makineleri (DVM), rassal orman; sınıflandırma tabanlı MÖ algoritmalarına ise karar ağaçları, K-En yakın komşuluk ve diskriminant analizi örnek verilebilir.



Şekil 2. Makine öğrenmesi akış şeması (Gültepe, 2019)

### 1.3. Yapay sinir ağları (Artificial neural network)

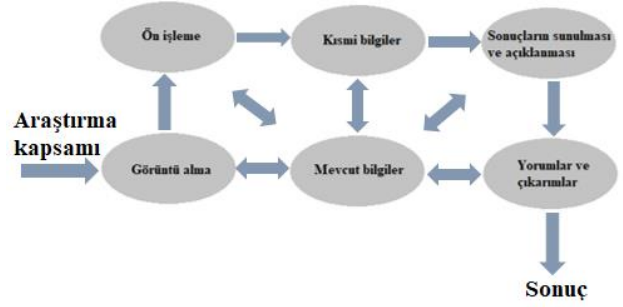
Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin yapısından yararlanılarak ortaya konulan ve beyindeki sinir ağları çalışma prensibi ile benzer nitelikte olan bir yapay zekâ dalıdır. Diğer bir deyişle insan beyni işleyişini örnek olarak geliştirilmiş bir sistemdir. Giriş tabakası, gizli tabaka ve çıkış tabakası olmak üzere üç katmandan oluşur (Sağlam, 2020). YSA'ya girilen veri sayısı oldukça önemlidir. Optimum veri sayısı aşıyor ise burada öğrenmeden ziyade ezberleme söz konusu olur. Verilerin %80'i yapay sinir ağlarına öğretme için kullanılıp kalan %20'lik kısım ise test etmek için kullanılmalıdır (Özbayrak, 2019).



Şekil 3. Yapay sinir ağları modeli (Sağlam, 2020)

### 1.4. Görüntü işleme (Image processing)

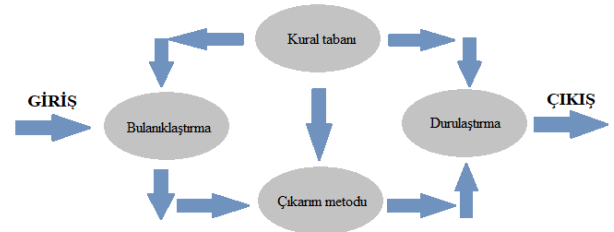
Görüntü işleme (Gİ), insan gözünün görüntüleri görme ve algılamasından esinlenerek geliştirilmiştir. İnsan gözünün görüntüleri algılamasının çeşitli aşamaları bulunmaktadır; cisimlerden yansarak gelen ışınlar önce korneadan, gözbebeğinden ve mercekten geçer ardından görüntü ters çevrilerek retinaya ulaşır. Sonrasında bu ışık elektrik sinyallerine dönüştürülerek sinir uçlarına ve beyne ulaştırılır. Bu sayede beyin görüntü hakkında bilgi sahibi olur (Onat, 2008). Anlatılan işlemleri mikrosaniyeler içerisinde tıpkı beyin gibi gerçekleştirebilecek olan bir makine henüz bulunmamaktadır. Ancak doğada var olan cisimleri bilgisayar ortamına aktarmak için görüntü işleme yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde kamera, yani optik alıcı kullanılarak alınan görüntüler bilgisayar ortamında başka bir forma dönüştürülerek işlenebilir (Çomak, 2012). Gİ uygulamalarında MATLAB, GOM Corrolate, Python gibi programlardan yararlanılmaktadır. Uygulamalarda renkli, siyah-beyaz, gri renkli görüntüler kullanılabilir. Ayrıca görüntü üzerinde açma, kapama, aşındırma, morfolojik işlemler ve filtreleme gibi çeşitli değişiklikler çalışma amacına uygun olarak yapılabilir (Doğan, 2017).



Şekil 4. Görüntü işleme akış şeması (Aydın, 2019)

### 1.5. Bulanık mantık (Fuzzy logic)

Yöntemin temeli, bulanık küme ve alt kümelere dayanmaktadır. Yaygın yaklaşımda herhangi bir nesne ya kümenin elemanıdır ya da değildir. Bu durum matematiksel olarak ifade edileceğinde nesne kümenin elemanı ise '1' ile değil ise '0' değerlerini alır. Ancak bulanık mantık (BM) yönteminde her bir kümenin elemanlarının üyelik derecesi bulunmaktadır. Söz konusu üyelik derecesi 0 ile 1 arasında bir değer alır. Klasik yöntemlerde hızlı-yavaş, soğuk-sıcak gibi kesin ayrımlar varken BM yöntemi biraz hızlı, biraz yavaş gibi keskin olmayan sonuçlar üretir ve bu yönüyle gerçek dünya problemlerine benzetilmektedir (URL 2). BM, gerçek yaşamda sunulan belirsizliklerle ilgilenir (Usta vd., 2021). İnsanın düşünme biçimine benzeyen bir akıl yürütme yöntemidir. BM yaklaşımı, insanlarda evet ve hayır dijital değerleri arasındaki tüm ara olasılıkları içeren karar verme şeklini taklit eder. Normal bir yapay zekâ uygulamasının yapısı temel girdiler, program ve sabit bir sonuç şeklinde iken BM uygulaması sayısı belirli olmayan veri yığını, program ve değişken birden fazla sonuç şeklindedir. Otomotiv sistemlerinde, elektronik ürünlerde, beyaz eşyalarda, ev aletlerinde, klima vs. gibi ürünlerde kullanım alanına sahiptir (URL 5).



Şekil 5. Bulanık mantık akış şeması (URL 6)

## 2. YAPAY ZEKÂ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ UYGULAMALARI

Dünya genelinde iş gücünün en yüksek olduğu inşaat sektöründe yapay zekâ kullanımı ne yazık ki istenilen düzeyde değildir. Ancak yapay zekânın diğer sektörlerdeki aktif kullanımı ve meydana gelen olumlu gelişmeler inşaat mühendisliği alanını da etkilemektedir. Bu da sektörü gelişen teknolojinin nimetlerinden faydalanmaya itmektedir (URL 7). Bu çalışmada, yapay zekâ teknolojilerinin inşaat mühendisliği disiplindeki uygulamaları incelenmiş, bu kapsamda literatürde yapılan çalışmalardan inşaat mühendisliği bilimi ile ilgili olanlar süzülüş ve kazanımları irdelenerek tartışılmıştır.

### 2.1. Derin öğrenme (DÖ) ve inşaat mühendisliği uygulamaları

Zhang vd. (2021), geoteknik alanında DÖ algoritmasının uygulanmasına dayalı eleştirel bir çalışma yapmıştır. Yapılan incelemenin sonucunda geoteknik mühendisliği dalında yapılan literatür çalışmalarında DÖ algoritmalarının trend kazandığı gözlemlenmiştir.

Akan vd. (2020), yapay zekâyı depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanmak istemiş, Gİ ve DÖ yöntemlerini beraber kullanarak düzensiz taşıyıcı sistem tespiti yapmıştır. Çalışmada araştırmacılar mimari tasarım sırasında mimarlara taşıyıcı sistem ve deprem mimarlığı hakkında bilgi verecek bir Düzensizlik Kontrol Asistanı yapmışlardır. Sonuç olarak insanın öğrenme mekanizmasını taklit edebilen bu asistanın taşıyıcı sistem düzensizlikleri hakkında tutarlı ve doğru yorum yapabildiğine ulaşılmıştır.

Çakıroğlu ve Süzen (2020), inşaat mühendisliğinde DÖ algoritmalarının geliştirilmesi ve kullanılması üzerine bir literatür araştırması yapmıştır. Çalışmanın sonucunda DÖ yönteminin inşaat mühendisliği alanında kullanımının oldukça pratik ve maliyet açısından oldukça kârlı olduğuna dikkat çekilmiştir.

Mangalathu ve Burton (2019), depremden etkilenen binaların DÖ'ye dayalı bir yöntemle sınıflandırılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada 2014 yılında Kaliforniya depremi sonucu 3423 binada meydana gelen hasarlardan oluşan veri seti kullanılmıştır. Veri setinde binalar az, orta ve çok hasarlı olmak üzere sırasıyla yeşil, sarı ve kırmızı renklerle etiketlenmiştir. Eğitim seti kullanılarak tahmine dayalı bir model oluşturulmuş ve bu modelin

performansı test seti ile değerlendirilmiş %86 tahmin başarısı elde edilmiştir.

Zhong vd. (2019), bina kalitesi problemlerinin DÖ'ye dayalı sınıflandırılması üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışma, bina kalitesi şikayetlerinde bulunan kısa metinleri otomatik olarak sınıflandırmak için DÖ yöntemini içeren yeni bir ESA tabanlı yaklaşımı araştırmıştır. Sonuçlar, yöntemin iyi performans verdiğini göstermiştir.

Abdeljaber vd. (2018), ESA'yı sismik tabanlı yapı hasarlarının tespiti için kullanmışlardır. Binalar hasar derecelerine göre dokuz sınıfa ayrılmıştır. Sonuç olarak, geliştirilmiş ESA tabanlı yaklaşımın, gerçek hasar miktarını başarıyla tahmin ettiği gösterilmiştir.

Atha ve Jahanshahi (2018) çalışmalarında, korozyon tespiti için ESA'ya dayalı DÖ yaklaşımlarını kullanmışlardır. Çalışmada önerilen modelin önemli ölçüde bir başarı ile korozyonu algıladığı görülmüştür.

Cha vd. (2018), birden fazla hasar türünün (beton çatlağı (orta ve yüksek seviyeli iki grupta), çelik korozyonu, cıvata korozyonu ve çelik delaminasyonu) tespiti için lokasyon tabanlı DÖ'yü kullanan yapısal görsel inceleme yapmıştır. Birden çok hasar türünün eşzamanlı tespitini yapmak için, farklı ESA ağları kullanılarak yapısal görsel inceleme yöntemi önerilmiştir. Sonuçlar, yöntemin beş hasar türü için sırasıyla %90,6, %83,4, %82,1, %98,1 ve %84,7 doğrulukla tahmin yapabileme başarısını göstermiştir.

Fang vd. (2018), şantiyelerde işçilerin ve ağır ekipmanların otomatik olarak algılanması için bir ESA oluşturmuştur. Çalışmada geliştirilen modelin şantiyelerde çalışanların ve ekskavatörlerin varlığını yüksek bir doğruluk düzeyinde (sırasıyla %91 ve %95) tespit ettiği görülmüştür.

Pathirage vd. (2018), DÖ'ye dayalı çelik yapılarda hasar tespiti üzerine bir çalışma yapmıştır. Çelik çerçeve yapıları üzerinde sayısal ve deneysel araştırmalar, geleneksel YSA yöntemleriyle karşılaştırıldığında önerilen DÖ yönteminin doğruluğunun ve verimliliğinin daha iyi olduğu kanıtlanmıştır.

Patterson vd. (2018), bina deprem hasarlarının sınıflandırılması için DÖ yöntemini kullanmıştır. Sonuçlar, sınıflandırılmış hasar/yapı modellerine yönelik bir DÖ çözümünün mümkün olduğunu ve eğitim için daha fazla görüntü sağlandıkça, sistemin daha karmaşık sınıflandırmaları başarabileceğini göstermiştir.

Yaseen vd. (2018), çalışmalarında kiriş-kolon bölgesi kesme tahminini hibritleşmiş DÖ sinir ağı yoluyla yapmışlardır. Çalışma için literatürde son yirmi yılda yapılan deneysel veriler toparlanmış, deneysel sonuçlar ile geliştirilen model sonuçlarının tahmin değerleri arasında kabul edilebilir bir uyum olduğu gözlemlenmiştir.

Avcı vd. (2017), yapısal hasar tespiti için DÖ üzerine bir çalışma yapmış, bir boyutlu ESA kullanılmıştır. Çalışmada ayrıca çelik çerçeve üzerinde deneysel bir çalışma yapılmış, deneysel sonuçlar, önerilen algoritmanın geleneksel MÖ tabanlı hasar tespit yöntemlerine bir alternatif olarak çok umut verici olduğunu göstermiştir.

Cha ve Choi (2017), ESA'yı kullanarak betonarme yapılarıdaki hasarların tespiti üzerine bir çalışma yapmıştır. Önerilen yaklaşımın doğruluğu ve uyarlanabilirliği, çeşitli koşullar altında farklı bir yapıdan alınan 55 görüntü üzerinde test edilmiştir. Sonuçlar, önerilen yöntemin oldukça iyi performans gösterdiğini ve yapılarda hasar sonucu oluşan çatlakların bu yöntem ile tespit edilebileceğini göstermiştir.

Lin ve Nie (2017) çalışmalarında, yapısal hasar tespitini DÖ yoluyla yapan otomatik hasar çıkarma yöntemini geliştirmişlerdir. Çalışmada, özellikleri öğrenmek ve hasar konumlarını belirlemek için bir ESA tasarlanmıştır. Geliştirilen algoritmanın yapısal hasarları belirlemede olumlu sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Ma vd. (2017), büyük ölçekli ulaşım ağı hız tahmini için ESA kullanmıştır. ESA algoritması; diğer MÖ modellerinden elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, önerilen yöntemin, diğer algoritmalarından %27,96'lık bir ortalama ile daha fazla doğruluk gösterdiğini ortaya koymuştur.

## 2.2. Makine öğrenmesi (MÖ) ve inşaat mühendisliği uygulamaları

Arama vd. (2020) çalışmalarında, ince taneli zeminlerin kıvam sınıfı tahminleri için MÖ regresyon analizi yapmışlardır. Bunun için İstanbul'da yüksek ve çok yüksek plastik killi topraklarda yapılan zemin etüt çalışmalarından (500) bir veri seti oluşturulmuştur. Çalışmada, basit regresyon analizi ile killi topraklardan sadece belirli killerin sıvı limit değerleri dikkate alınarak kıvam özellikleri değerlendirilerek bu zorlukların üstesinden gelinmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda güçlü denklemler elde edilmiş ve

literatür kaynakları ile karşılaştırıldığında denklemlerin kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Arslan vd. (2020), Keban Baraj Gölü'ndeki seviye değişimlerinin MÖ algoritmalarından DVM ve Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) yöntemi ile tahmini ile ilgili bir çalışma ortaya koymuştur. Elde edilen tahmin sonuçları gerçek gözlem sonuçları ile karşılaştırılmış ve modelin başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Cao vd. (2020), kolon-kiriş birleşimlerine ilişkin momentleri tahmin etmek üzere MÖ yöntemleri kullanmışlardır. Öngörülen tahminin doğruluğu YSA ve Genetik Programlama (GP) ile karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar MÖ algoritmalarının daha iyi performans sağladığı görülmüştür.

Gao ve Lin (2020), MÖ yöntemlerini kullanarak kiriş-kolon birleşimlerinde hasar analizi tahmin modeli üzerinde çalışmışlardır. 580 adet test verisi üzerinde gerçekleştirilen çalışmanın sonucuna göre MÖ algoritmalarından Rassal orman ve XGBoost algoritması tahmin modelleri için yüksek doğruluk sağlayabilirken, XGBoost tahmin doğruluğunun biraz daha yüksek olduğu elde edilmiştir.

Hwang vd. (2020) çalışmasında, deprem etkisi altındaki çerçeve sistemli sünek betonarme binanın sismik talebi ve göçme tahmini için MÖ tabanlı yaklaşımlardan faydalanmıştır. Çalışmada Kaliforniya'da oldukça sismik bir bölgede tasarlanmış çerçeve sistemli farklı kat sayısındaki betonarme yapıların analizlerinden elde edilen sonuçlar algoritma için veri seti olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre XGBoost algoritması, regresyon tabanlı diğer MÖ algoritmalarından daha iyi performans göstermiştir.

Okazaki vd. (2020), MÖ'nün beton köprülerde çatlak modeline uygulanabilirliği üzerine bir çalışma yapmıştır. Sonuçlar, çok az veri için bile MÖ'nün mükemmel uygulanabilirliğini göstermiştir.

Khai vd. (2019), baraj su seviyelerinin günlük tahmini için MÖ yöntemlerini kullanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, zaman serisi regresyon tahmin modelinin DVM modelinden daha iyi bir tahmin sonucu verdiğini göstermektedir.

Mangalathu vd. (2019), MÖ tekniklerini kullanarak köprülerin hızlı sismik hasar değerlendirmesi hakkında bir çalışma yapmışlardır. Önerilen metodoloji için veri seti olarak Kaliforniya'da iki açıklıklı kutu kirişli köprüler seçilmiştir. Çeşitli MÖ modelleri kullanılmış,

ancak Rassal orman algoritmasının seçilen köprüler için daha iyi performans sağladığını, doğruluğunun %73 ile %82 arasında değiştiği belirtilmiştir.

Özel ve Büyükyıldız (2019), yapay zekâ yöntemlerinin aylık buharlaşma tahmininde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Söz konusu çalışmada Konya Kapalı Havzası'nda bulunan Karaman İstasyonu'nun verileri kullanılarak ANFIS, DVM ve YSA yöntemleri ile buharlaşma tahminleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda en başarılı model DVM olmuştur.

Doğan (2018) çalışmasında, betonarme kolonların deprem sonrası hasar seviyelerini akıllı sitem tabanlı bir yöntemle belirlemeye çalışmıştır. Kolon yüzeylerinden alınan 390 adet hasar görüntüsü yardımıyla veri setleri oluşturulmuştur. Hasar görüntülerinden çatlakların özellikleri çıkarılmış ve bu verilere göre MÖ sınıflandırıcı algoritmaları kullanılarak kolonların hasar seviyesi sınıflandırmıştır. Tahminlerden elde edilen başarılar %64 ile %80 arasında değişmektedir.

Neves vd. (2018), köprülerdeki hasar tespiti için MÖ yöntemlerini kullanmıştır. Çalışmada bir demiryolu köprüsü için sonlu eleman modeli kullanılarak veriler elde edilmiş ve köprü hasar tahmini için MÖ yönteminin uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Prayogo (2018), beton karışım özelliklerine ve erken dayanımı testi sonuçlarına göre beton basınç dayanımı tahmini yapan bir MÖ algoritması üzerine çalışmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre MÖ'nin beton basınç dayanımı tahmininde başarılı olduğu gözlenmiştir.

Zhang vd. (2018), çalışmalarında deprem sonrası betonarme yapı güvenliğini değerlendirmek için bir MÖ algoritması sunmuştur. Önerilen metodoloji, depremselliği yüksek bir bölgede bulunan 4 katlı betonarme çerçevesiz bir binaya uygulanmıştır. Çalışma sonucunda önerilen metodun %86 ile %90 arasında doğruluk oranı ile hasar görmüş bir binanın herhangi bir depremden sonra yeniden kullanılmasının güvenli olup olmadığının hızlı bir şekilde değerlendirmesi için uygulanabilir olduğu görülmüştür.

Gui vd. (2017), yapı sağlığı izleme ve hasar tespiti için DVM yöntemi kullanarak bir çalışma yapmıştır. Çalışmada literatürden elde edilen 17 farklı deneysel veri seti kullanılmış, DVM algoritmasının başarılı sonuçlar verdiğini gözlemiştir.

Rafiei ve Adeli (2017), yüksek binalardaki hasarları tespit etmek amacıyla MÖ algoritmalarını ve Nöral

Dinamik Sınıflandırma (NDS) algoritmasını kullanmışlardır. Geliştirilen model 38 katlı betonarme bina yapısından elde edilen veriler kullanılarak doğrulanmıştır. Çalışmada kullanılan algoritmalarından NDS, geliştirilmiş olasılıklı sinir ağları (GOSA), olasılıklı sinir ağları (OSA) ve k-en yakın komşuluk (KEYK) sırasıyla %96, %94, %92 ve %82'lik maksimum ortalama doğruluklar vermiştir.

Santos vd. (2016) çalışmalarında, hasar tespiti için MÖ algoritmasından faydalanmışlar ve bu önerilen MÖ algoritmalarının hasar tespiti için uygulanabilir olduğunu gözlemiştir.

Worden ve Manson (2016), MÖ'nin yapı sağlığı izleme çalışmaları üzerine bir uygulama yapmışlardır. Çalışmada verilere dayalı yaklaşımın yapılarda hasar tespiti tahminine yönelik etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuca göre MÖ algoritmalarının yapılarda hasar tanımlama problemlerinde uygulanabilir olduğu görülmüştür.

Erdal (2015) çalışmasında, MÖ yöntemlerini kullanarak beton basınç dayanım tahmini yapmıştır. Çalışmada 17 farklı laboratuvarında üretilen 1030 beton numunesi kullanılmıştır. Yüksek performanslı betonların basınç dayanım tahmininde YSA ve DVM kullanmış, oldukça yüksek doğrulukta tahmin başarıları elde etmiştir. İki yöntem kıyaslandığında ise DVM'nin daha tatmin edici sonuçlar verdiğini ortaya konulmuştur.

Jeon vd. (2014) çalışmalarında, MÖ teknikleri kullanarak kolon-kiriş birleşimlerinin kesme dayanımları için istatistiksel modeller sunmuşlardır. Çalışmada çoklu doğrusal regresyon (ÇDR) yöntemi kullanılmıştır. Mevcut çerçeve türü betonarme binalarda birleşim bölgesi kapasitesinin değerlendirilmesi için bu yöntemin uygulanabilir olduğu görülmüştür.

Sudheer vd. (2014), aylık akış tahmini için DVM ve YSA yöntemlerini kullanmıştır. Çeşitli girdi yapılarına sahip DVM modelleri oluşturulmuş ve en iyi yapı belirlenmiştir. DVM modelinin performansı, YSA ile karşılaştırılmış, DVM'nin yüksek derecede doğruluk ve güvenilirlik sağladığı için aylık akışları tahmin etmek için daha iyi bir alternatif olabileceğini göstermiştir.

Huang ve Cox (2012), MÖ tekniklerini kullanarak akıllı binalarda tehlike algılama üzerine bir çalışma yapmıştır. Toplanan verileri akıllıca analiz etmek ve algılanan tehlikeler için otomatik olarak erken uyarı sinyalleri oluşturmak için bir MÖ algoritması geliştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, MÖ algoritmasını ve bina

tehlikelerinin erken tespiti için kablosuz bir sensör ağı kullanmanın etkinliğini doğrulamıştır.

Samui ve Sitharam (2011) çalışmalarında, toprak sıvılaşma duyarlılığını tahmin etmek için MÖ modellerinden faydalanmışlardır. Çalışmada, 1999 Chi-Chi Tayvan depreminden elde edilen standart penetrasyon testi (SPT) verileri kullanılarak YSA ve DVM algoritmaları tahmin modeli olarak sınanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre DVM algoritmasının tahmin başarısında YSA'dan daha etkili olduğu vurgulanmıştır.

Kim vd. (2004), regresyon analizi, sinir ağları ve vaka tabanlı muhakemeye dayalı inşaat maliyeti tahmin modellerinin karşılaştırılması üzerine bir çalışma yapmış 530 adet inşaat maliyet verisi kullanılmıştır. YSA modeli, diğer modellerden daha doğru tahmin sonuçları vermesine rağmen, vaka bazlı muhakeme tahmin modeli, uzun vadeli kullanım, sonuçtan elde edilen bilgiler ve zamana karşı doğruluk ticareti açısından daha iyi performans göstermiştir.

### **2.3. Yapay sinir ağları (YSA) ve inşaat mühendisliği uygulamaları**

Acar ve Saplıoğlu (2020), akarsulardaki sediment taşınımının ANFIS ve YSA yöntemleri kullanılarak tespiti üzerine bir çalışma yapmıştır. Fırat havzası üzerinde bulunan Murat nehri, Göynük çayı ve Peri suyu gibi nehirler söz konusu sediment taşınımı için araştırılmıştır. Çalışmada veri seti olarak yağış, sıcaklık, sediment ve debi verilerinden yararlanılmıştır. Regresyon katsayısı açısından en başarılı sonuç YSA modelinden elde edilse de ortalama yüzde hatası açısından her iki model birbirine yakın başarılı sonuçlar vermiştir.

Cansız vd. (2020), trafik kazaları ve yaralı sayılarının tahmini için YSA ve regresyon modellerini kullanmışlardır. Yapılan analizler sonucu, YSA modelinin diğer modellere göre daha yüksek tahmin başarısı verdiği görülmüştür.

Cansız vd. (2020), yapay zekâ ve regresyon yöntemleri ile karayolları enerji tüketiminin modellenmesi üzerine çalışmıştır. Çalışma kapsamında YSA, ANFIS ve ÇDR yöntemleri kullanılmıştır. En iyi sonuç ÇDR yönteminden elde edilen tahminlerden elde edilmiştir.

Marangu (2020), YSA ve DVM kullanarak kil esaslı çimento harçlarının basınç dayanımı tahmini hakkında bir çalışma yapmıştır. Kil esaslı çimento ve Portland çimentosunun belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde

edilen numunelerin basınç dayanım tahminlerine göre YSA'nın daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Moayedi vd. (2020), geoteknik alanında YSA kullanımı üzerine derleme bir çalışma yapmıştır. YSA'nın, karmaşık geoteknik problemlerinde güvenilir bir araç olduğu ve kullanıcı dostu özelliği ile zaman tasarrufu sağladığı ortaya konulmuştur.

Sağlam (2020) çalışmasında, farklı malzemeler kullanılarak üretilen hafif betonların karışım tasarımlarının belirlenmesinde YSA modelini kullanmıştır. Çalışmada karışımdaki hafif agrega miktarının tahmini için dört farklı YSA modeli tasarlanmıştır. YSA'dan elde edilen sonuçlar ile literatürde deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış sonuç olarak geliştirilen yöntemin hafif beton karışımlarında kullanılabilecek pratik bir yöntem olduğu ortaya konulmuştur.

Yalçın (2020), YSA ile basit mesnetli köprülerin hareketli yük dağılım faktörlerine ait denklemlerinin elde edilmesi üzerine bir çalışma yapmış, YSA sonuçlarının oldukça iyi tahminler yapabildiğini göstermiştir.

Yörübulut vd. (2020), YSA ve regresyon yöntemleri ile beton basınç dayanımı tahmini üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışmada 117 tane karot numunesi için tahribatsız yöntemlerle elde edilen değerler veri seti olarak kullanılmış, YSA ve regresyon modellerinden elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak tahribatsız yöntemlerle elde edilen verilerden oluşan YSA ve regresyon modellerinin tahmini, tahribatlı yöntemlere oldukça yakın çıkmıştır.

Katanalp vd. (2019), atık kömür katkılı asfalt betonunun özelliklerinin YSA ve merkezi kompozit tasarım yöntemleri kullanılarak karşılaştırılması üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışma sonucunda normalde üretilmesi gereken numune sayısının azalacağı ve durumun hem maliyet hem de zaman açısından araştırmacılara kolaylık sağlayacağı ortaya konulmuştur.

Özbayrak (2019), yaptığı bir çalışmada YSA kullanarak deprem etkisi altında betonarme kirişsiz plakların eğilme momentlerini %98'lik bir tahmin başarısı ile elde etmiştir.

Yardım vd. (2019), sönmüş kireç katkısının asfalt karışımlar üzerindeki etkilerini YSA ve BM ile modellemiştir. 15 adet Marshall tasarımı içerisine %6,8'den başlayarak ve 0,5 azaltılarak sönmüş kireç

ilave edilmiş ve bu karışım sonuçları YSA modelini geliştirmek için kullanılmıştır. Geliştirilen YSA modeli, karışım parametreleri için kabul edilebilir tahminler üretmiştir.

Chao vd. (2018), YSA modeli kullanılarak geoteknik alanında yapılan çalışmaları incelemiştir. YSA algoritmasının kayaların özellikleri, kaya ve toprağın deformasyonu, eğimlerin stabilitesi, yapı malzemelerinin deprem yükü altında deformasyonu gibi parametreleri tahmin etmek ve toprağı sınıflandırmak için kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Salam ve Keskin (2018), Dibis Barajı'nın seviye tahmini için YSA modellerini kullanmıştır. Çalışmada; baraja giren akım değerleri, barajdan çıkan akım değerleri, başlangıç su seviyesi ve yağış değerleri modellerin tahmininde çeşitli kombinasyonlar oluşturularak kullanılmıştır. Burada amaç, en iyi tahmin değerine ulaşmak için YSA modelinin ihtiyaç duyduğu değişkenleri elde etmektir. Çalışma kapsamında farklı modeller oluşturulmuş ve sonucunda ise en iyi tahmin hazneden çıkan debi, hazneye giren debi ve başlangıç su seviyesine göre oluşturulan YSA modeli ile elde edilmiştir.

Behmanesh ve Mehdizadeh (2017), çalışmalarında altı farklı derinlikteki toprak sıcaklığını tahmin etmek için YSA dahil olmak üzere yapay zekâ için biyolojik olarak ilham alan iki yaklaşım ve ÇDR kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre YSA yaklaşımının en iyi performans gösterdiği görülmüştür.

Ilkhani vd. (2017), YSA yardımıyla betonarme kirişlerin burulma kapasitelerini hesaplamışlardır. Burulma etkisindeki 112 adet betonarme kiriş üzerinde yapılan deneylerin sonuçları veri seti olarak kullanılmıştır. Kirişler üzerinde yapılan deneysel sonuçlar ve YSA sonuçları arasındaki maksimum hata %30 olarak elde edilmiştir.

Khademi vd. (2017), betonun 28 günlük basınç dayanımını çeşitli yapay zekâ yöntemleri ile tahmin etmek istemiştir. 173 veri setinden oluşan deneysel sonuçlar dikkate alınarak bu makalede; ÇDR, YSA ve ANFIS olmak üzere üç farklı model oluşturulmuştur. Bu üç model birbirleriyle karşılaştırılmış ve YSA ve ANFIS modellerinin daha kesin ve doğru sonuçlar verdiği elde edilmiştir.

Mazanoğlu ve Kandemir (2017), YSA ile çatlaklı kirişlerin modellenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda, kirişlerle ilgili bulguların deney gözlemine ihtiyaç olmadan bu model

ile tahmin edilebilmesinin mümkün olduğu görülmüştür. Ayrıca çalışmada kirişlerdeki çatlak yerleri hakkında bir öngörü de sunulmuştur.

Suryanita vd. (2017), YSA kullanarak deprem sonrası betonarme binaların hasar seviyesi tahmini üzerinde çalışmıştır. Elde edilen sonuçlara göre YSA modelinde yapı hasar seviyesinin tahmin oranı %85-%95 arasında olduğu görülmüştür.

Tezel ve Büyükyıldız (2016), aylık buharlaşma tahmini için YSA ve DVM yöntemlerini beraber kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlar, buharlaşma miktarının tahmininde kullanılan ampirik denklemlerin sonuçları ile karşılaştırılmış, YSA ve DVM yöntemlerinin başarısının birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Arslan vd. (2015), mevcut betonarme binaların deprem performansının YSA modeli ile tahmini üzerine bir çalışma yapmıştır. YSA tabanlı hızlı değerlendirme algoritması, 4-10 katlı betonarme binaların ekonomik ve hızlı bir değerlendirmesini yapmış ve araştırmaya göre YSA'nın tahmin doğruluğu %74 civarında bulunmuştur.

Chun vd. (2015), YSA kullanarak köprü hasarları üzerine bir çalışma yapmışlardır. Köprü güvenlikleri için erken hasar tespitinin oldukça önemli olması sebebiyle yapılan çalışmada, hasarların yerinin ve derecesinin belirlenebildiği YSA tabanlı bir sistem geliştirilmiştir.

Büyükyıldız vd. (2014), çalışmalarında, Beyşehir Gölü'ndeki aylık su seviyesi değişimini tahmin etmek için parçacık sürüsü optimizasyonuna dayalı YSA, Destek Vektör Regresyonu (DVR), çok katmanlı YSA, radyal temel YSA dahil olmak üzere beş farklı yapay zekâ yöntemi ve uyarlanabilir ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi, kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda, DVR modeli en yüksek tahmin oranı ile en başarılı model olmuştur.

Bahadır (2013) çalışmasında, cam elyaf katkılı cephe kaplama elemanlarının teklif fiyatının tahmininde YSA yöntemini kullanmıştır. Modelde 100 adet değişik işe ait proje verileri kullanılmıştır. Sonuç olarak YSA'dan elde edilen teklif fiyatları ile normal teklif fiyatları karşılaştırılmış, elde edilen sonuçların küçük hata payları dâhilinde kabul edilebilir olduğu bilgisine ulaşılmıştır.

Gemici vd. (2013), akarsu debilerini çeşitli yapay zekâ yöntemleri ile modellemek istemiştir. Çalışma kapsamında Kızılırmak Nehri'nin kollarında farklı 5



istasyon seçilmiş ve 22 değişik akım şartlarında debiler belirlenmiştir. YSA ve BM modellerinin başarılı olduğu ve tahmin sonuçlarının birbirlerine yakın olduğu görülmüştür. En iyi sonuç ANFIS yönteminden alınmıştır.

Yavuz vd. (2013), YSA yöntemi ile Fiber Takviyeli Plastik (FRP) ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerin kayma mukavemetini tahmin etmek üzere bir çalışma yapmıştır. Literatürde bulunan 96 adet dikdörtgen kirişin deney sonuçları veri seti olarak kullanılmıştır. Çalışma, YSA modelinin betonarme kirişlerin nihai kesme dayanımı için makul tahminler verdiğini göstermiştir.

Köroğlu vd. (2012), kombine YSA kullanılarak dört taraflı FRP ile sarılı betonarme kolonların eğilme kapasitesini tahmin etmek amacıyla bir çalışma yapmıştır. Literatürdeki mevcut geleneksel yaklaşımlara kıyasla önerilen YSA modellerinin doğrulukları daha tatmin edici çıkmıştır.

Okkan ve Dalkılıç (2012), yaptıkları çalışmada radyal temel YSA kullanarak büyük Menderes Havzası'nda bulunan Kemer Barajı Havzası'na ait aylık akışı tahmin etmeye çalışmışlardır. Sonuçlar, istatistiklerle karşılaştırıldığında modelin oldukça başarılı tahminler yaptığı görülmüştür.

Kök vd. (2011), değişik şartlarda hazırlanmış modifiyeli bitümün viskozitesinin YSA ile modellenmesi üzerine çalışmıştır. Model ile tahmin edilen veriler ile gerçek veriler arasında 0,92 yüksek korelasyon oranı elde edilmiştir.

Uğur vd. (2011), yığma yapı maliyetlerini tahmin etmek amacı ile YSA modeli kullanmıştır. Çalışma için uygulamada sıklıkla tercih edilen tek katlı yığma yapı modeli tasarlanmıştır. Oluşturulan YSA modelinde yapı boyutları, karakteristikleri ve alanı girdi olarak kullanılırken çıktı olarak maliyet bedeli kullanılmıştır. Çalışma sonucunda %5'lik bir hata payı ile oluşturulan YSA modelinin kullanılabilir olduğu ortaya konulmuştur.

Günaydın ve Doğan (2004), bina yapısal sistemlerinin erken maliyet tahmini için bir YSA yaklaşımı geliştirmiştir. Türkiye'de yapılmış, 4-8 katlı 30 farklı betonarme konut projesinden elde edilen metrekare faaliyet verileri YSA modelinde kullanılmış, ortalama maliyet tahmin doğruluğu %93 oranına ulaşmıştır.

#### 2.4. Görüntü işleme (Gİ) ve inşaat mühendisliği uygulamaları

Doğan vd. (2020), Gİ odaklı bir yöntemle betonarme kolonların hasar seviyelerinin belirlenmesi üzerinde çalışmıştır. Çalışmada yapılan deneylerde depreme benzeştirilen tersinir tekrarlanır yükleme ile kolonlarda oluşan hasarlardan toplam 390 adet görüntü elde edilmiş ve Gİ kullanılarak kolon hasar performans değerleri %64-%80 arasında değişen tahmin başarıları ile elde edilmiştir.

Kaçın ve Aydın (2020), betonarme kiriş deplasmanlarının Gİ yöntemleri ile belirlenmesi üzerine çalışmıştır. Elde edilen görseller deney sırasında deplasman ölçerler tarafından ölçülen değerler ile karşılaştırılmış, bulunan sonuçların birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

Pekgöz (2020), çalışmasında Gİ yöntemi ile betonda gerilme-şekil değiştirme davranışını incelemiştir. Görüntüler bilgisayar ortamında işlenmiş maksimum gerilmelerde betonda meydana gelen deformasyonlar ve çatlaklar belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, betonda oluşan şekil değiştirmelerinin Gİ yöntemi ile başarıyla belirlendiği vurgulanmıştır.

Avcı (2019), sarsma tablası deneyi ve sayısal analizlerden elde edilen dinamik parametrelerin Gİ tekniği ile karşılaştırılması üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışmada üç boyutlu çelik bir çerçeve kullanılmıştır. Çerçevenin hem sarsma tablasında deneyleri yapılmış hem de Abaqus programı yardımıyla modellenip deprem etkisinde nasıl davranacağı hakkında bir analiz yapılmıştır. Gİ yöntemiyle elde edilen sonuçlar ile Abaqus'ten elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve birbirleriyle uyumlu oldukları gözlemlenmiştir.

Aydın (2019), çalışmasında granüler zemindeki dane boyutlarını Gİ tekniği ile analiz etmek istemiştir. Referans olarak klasik yöntem olan elek analizi deneyleri yapılmış, numunelerin görüntüleri çekilmiştir. Yapılan analiz sonucu Gİ'den elde edilen sonuçlar %95,22 oranında elek analizi deneyi sonuçlarına yaklaşmıştır.

Karameşe (2018), yapı sistemlerinde şekil değiştirme ve yer değiştirme büyüklüklerinin Gİ yöntemiyle belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Farklı numuneler üzerinde deneyler yapılmış ve yapılan deneyler kamera ile videoya alınmıştır.

Deney sonuçları ile Gİ yönteminden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında birbirine yakın sonuçlar bulunmuş ancak kamera çözünürlüğü, ışık gibi çevresel faktörlerin görüntü işlemede oldukça etkili olduğundan bahsedilmiştir.

Bilici (2017), çalışmasında Gİ yöntemi ile yapısal deformasyonları ölçmek istemiştir. Çalışma, yüklem testi altında çelik köprünün ve tek eksenli yük etkisindeki betonarme elemanın deformasyonlarını ve incelemek ve geleneksel yöntemler aracılığı ile elde edilen sonuçları ile karşılaştırmayı amaçlamıştır. Deney yapılan ortam ışığının, görüntülerin çekildiği aletin görüntü işlemede oldukça etkili olduğu ve küçük hata oranları ile yöntemin kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır.

Doğan vd. (2017), Gİ yöntemi kullanarak beton basınç dayanımı tespiti üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışmanın temel amacı, betonun mekanik özelliklerini belirlemek için tahribatsız yeni bir yöntem geliştirmektir. Bu amaçla beş farklı parametre kullanılarak 96 adet silindirik beton numunesi üretilmiştir. Hem eğitim/test örneklerinden hem de doğrulama örneklerinden, YSA ve Gİ sonuçları ile %97,18 ile %99,87 arasında değişen oldukça yüksek bir tahmin başarısı elde etmişlerdir.

Valença vd. (2017), beton köprülerdeki çatlakları belirlemek amacıyla lazer tarama işlemi ile desteklenen Gİ yöntemini kullanmıştır. Yöntem yerinde doğrulama için, Portekiz'deki bir beton viyadükte test edilmiştir. Deneyler ve çalışmalar sonucunda tatmin edici verilere ulaşılmıştır.

Acar (2015) çalışmasında, havalimanı terminal kapasitesini Gİ yöntemi ile belirlemeye çalışmıştır. Çalışmada yolcu hareketlerinin ve sayısının yoğunlaştığı akslar Gİ ile belirlenmiştir. Çalışmada sonucunda ise Gİ yöntemi ile elde edilen sonuçların havalimanı terminal binalarının simülasyonunda ve kapasite analizinde başarıyla kullanılabilmesi ortaya konulmuştur.

Hassan (2014) yaptığı çalışmada, Gİ yöntemi ile betonarme kolonlar içerisindeki donatıları belirlemeye çalışmıştır. Elde edilen sonuçlara göre optimum koşullarda çekilen fotoğraflarda etriye aralığı ve donatı çapı belirlenmesinde hata oranı %8,5'in altında kalırken, donatı koordinatlarının belirlenmesinde hata payı %20'ye kadar yükselmiştir.

Çankaya (2013) çalışmasında, Gİ yöntemi ile betonun maksimum deformasyon kapasitesi, elastisite modülü ve basınç dayanımı gibi bazı mekanik özelliklerini belirleme üzerine çalışmıştır. Çalışmada 15x30 cm boyutlarında 144 adet farklı parametrelere göre üretilmiş beton numunelerin yüzey görüntüleri alınarak Gİ uygulanmış, elde edilen sonuçlar deney sonuçları ile kıyaslanmıştır. Gİ yönteminin %99,9 gibi oldukça yüksek doğruluk oranına sahip olduğu görülmüştür.

Çomak (2012) çalışmasında, farklı beton numunelerin basınç dayanımını Gİ yardımı ile belirlemeye çalışmıştır. Çalışmada 7 farklı su/çimento oranına sahip numunelerin beton basınç dayanımı deneyleri yapılmış ve Gİ ile elde edilen sonuçlar ile arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Çalışma sonucunda ise Gİ'den elde edilen tahminlerin doğruluk seviyesinin oldukça yüksek olduğuna varılmıştır.

Lee vd. (2013), beton yüzey çatlaklarını tespit ve analiz etmek için otomatik Gİ tekniğini kullanmıştır. Çalışma sonucunda, çatlak özelliklerinin önerilen teknik kullanılarak doğru bir şekilde ölçülebileceği ve analiz edilebileceği görülmüştür.

Choudhary ve Dey (2012), beton yüzeylerdeki çatlak tespitini Gİ, BM ve YSA yöntemlerini kullanarak yapmıştır. Modeller 205 görüntü üzerinde test edilmiş ve beş performans ölçütü temelinde değerlendirilmiştir. YSA'nın tüm model performans ölçümlerinde daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Koç (2012), hava sürüklenmiş betonların donma çözünme dayanımını ve Gİ yöntemi ile boşlukların belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Numunelere çimento yerine %10, 15, 20, 25 oranlarında pomza, %0,025, 0,05, 0,075 oranlarında hava sürükleyici katkı ilave edilmiştir. Üretilen numuneler deneylere tabi tutularak taze ve sertleşmiş beton boşluk oranları, basınç dayanımları, ultrasonik hız değerleri ile 150 donma çözüme çevrimi sonucunda tekrar basınç dayanımları ve değişen boşluk yapısı üzerindeki değişimler incelenmiştir. Gİ yöntemi ile belirlenen sürüklenmiş hava miktarları ile taze betonda ölçülen hava miktarları arasında tutarlılık olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Onat (2008), yaptığı çalışmada, lifli beton numunelerinde oluşan çatlakları Gİ yöntemi ile belirlemeye çalışmıştır. Çalışmada 50x10x10 cm boyutlarında lifli beton numuneleri kullanılmış, elde edilen sonuçlara göre Gİ yönteminin %3 ila %7 arasında değişen hassasiyetlerle sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Sezer (2008) çalışmasında, farklı zeminlerin mikroyapısal özelliklerini belirlemek amacı ile Gİ yöntemini kullanmıştır. Zeminlerin indeks özellikleri ve dane şekilleri arasındaki bağlantılar araştırılmıştır. Ayrıca, çalışma kapsamında yapay sinir ağları ve bulanık mantık yöntemleri kullanılarak kumun maksimum birim hacim ağırlığı ve izafi sıklıkları tahmini yapılmıştır. Çalışma sonucunda, görüntü analizinden elde edilen bilgiler ile laboratuvarda yapılan pek çok zemin deneyi sonucunun tahmin edilebileceği ortaya konulmuştur.

## 2.5. Bulanık mantık (BM) ve inşaat mühendisliği uygulamaları

Mohanaselvi ve Hemapriya (2019), deprem hasar tahminlerini belirlemek amacıyla BM yöntemi geliştirmişlerdir. Binalar düşük, orta ve yüksek olmak üzere hasar seviyelerine göre üç gruba ayrılmıştır. BM yönteminin binaların hasar derecesinin tahmininde oldukça yüksek oranda başarı sağladığı gözlemlenmiştir.

Özdülkar vd. (2019), günlük buharlaşma miktarını tahmin etmek için BM yöntemini kullanmıştır. Çalışmada Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Enstitüsü (USGS)'den alınan 208-2012 yılları arasında elde edilmiş buharlaşma miktarı verileri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan Mamdani-Bulanık Mantık (M-BM) ve Sugeno-Bulanık Mantık(S-BM) tabanlı yöntemlerden en yüksek başarı S-BM yönteminden elde edilmiştir.

Allali vd. (2018), deprem sonrası bina hasarlarını değerlendirmek için BM yöntemini kullanmıştır. Sonuçlar, teorik temelli değerlendirmenin, incelenen binaların %90'ı için gözlenen değerlere uygun olduğunu göstermiştir.

Usta vd. (2018), BM yöntemini kullanarak mevcut binaların sismik hasarlarını değerlendirmiştir. Bulanık teorinin binalarda depremlerden kaynaklanan yapısal risk ve hasar ölçeğini değerlendirmek için kullanılabilir olduğu çalışmada toplanan kaynaklardan elde edilen bilgiler ışığında BM modelinin, binaların hasar değerlendirmesine karar verirken basitlik, hız ve esneklik sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

Akçay ve Manisalı (2017), inşaat işlerinde yüklenici seçimleri kararı için BM yöntemini kullanmıştır. Bu çalışmada inşaat işlerinde ihaleler için ekonomik açıdan en avantajlı teklif kararı verilirken kalite ve süreyi etkileyecek diğer hususları da içerecek BM tabanlı bir karar modeli geliştirilmiştir. Kamu alımlarında

elektronik araçlar kullanıldığından, bu çalışma kapsamında oluşturulan modelin uygulamada kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Beycioğlu vd. (2017), yüksek sıcaklıklarda harmanlanmış betonların eğilme ve basınç dayanımını belirlemek amacıyla BM yöntemini kullanmıştır. Sonuçlar, BM yönteminin betonun mekanik özelliklerinin yüksek sıcaklıklarda değerlendirilebilmesi için alternatif bir yöntem olduğunu göstermiştir.

Yurtcu ve Özocak (2016), ince daneli zeminlerin sıkışma indeksinin yapay zekâ yöntemleri ve istatistiksel yöntemler ile belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışma kapsamında YSA ve BM yöntemleri kullanılmış, YSA'nın BM'ye göre daha performans sergilediği gözlemlenmiştir.

Sünbül vd. (2015), zeminlerin sıvılaşma potansiyellerini BM yöntemi ile belirleme üzerine bir çalışma yapmıştır. Araştırmacılar 1999 yılında gerçekleşmiş olan Marmara Depremi sırasında zemin sıvılaşması meydana gelen Adapazarı şehrinin sıvılaşma potansiyelini; zemin içerisinde yüzde kil değerleri, dane dağılımı ve yeraltı su seviyesi değerlerini kullanarak bir BM modeli oluşturmuşlardır. Çalışma sonucunda BM yöntemiyle elde edilen sonuçlar depreme dayanıklı zemin parametreleri arasındaki ilişkiyi hızlı ve doğru bir şekilde tahmin etmesi, aynı zamanda diğer yöntemlere kıyasla daha pratik olması nedeniyle kullanılabilir olduğu ortaya konulmuştur.

Gülbandılar ve Koçak (2013), uçucu kül ve silis dumanının Portland Çimentosunun priz süresi üzerindeki etkilerini BM yöntemiyle tahmin etmeye çalışmışlardır. Deneysel sonuçlar BM sonuçları ile karşılaştırılmış ve yüksek korelasyon değerleri (0,96–0,92) bulunmuştur. Bu sonuçlar, geliştirilen modelin çimento endüstrisinde başarıyla uygulanabileceğini göstermektedir.

Golafshani vd. (2012), betona eklenmiş çelik çubukların bağlanma mukavemetlerini belirlemek amacıyla BM ve YSA yöntemlerini kullanmışlardır. Bu amaçla, modellerin eğitimi, doğrulanması ve test edilmesi için 179 farklı ek giriş testinin deneysel verileri kullanılmıştır. Sonuçlar, önerilen modellerin kabul edilebilir hatalarla iyi tahmin ve genelleme kapasitesine sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Şahin ve Bedirhanoğlu (2008), lifli polimerlerle güçlendirilmiş betonun basınç dayanımı tahmininde BM yöntemini kullanmıştır. BM ile bulunan tahminler ACI 440 ve DBHYYHY 2006 yönetmelikleri ile

karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda BM yöntemi ile elde edilen tahminlerin oldukça başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Topçu ve Sarıdemir (2008), yüksek ve düşük kireç içeren uçucu küller ile hazırlanmış betonların basınç dayanımlarının YSA ve BM yöntemleri ile tahmini üzerine çalışmıştır. Çalışma kapsamında literatürden elde edilen 52 birbirinden farklı karışımdan alınan 180 numune kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçlarında ise YSA ve BM yöntemlerinin beton basınç dayanımı tahmininde oldukça başarılı sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur.

### 3. SONUÇLAR

Bu çalışmada makine öğrenmesi, derin öğrenme, görüntü işleme, yapay sinir ağları ve bulanık mantık gibi yapay zekâ yöntemleri ele alınmış, literatürde inşaat mühendisliği alanında son on yılda yapılan çalışmalar derlenmiştir. Tüm çalışmalar, inşaat mühendisliği anabilim dallarına göre Tablo 1’de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Literatür çalışmalarının inşaat mühendisliği anabilim dallarına göre derlenmesi

Anabilim Dalı	Uygulama	Referans	Teknoloji
YAPI	Yapısal hasar tespiti	Santos vd. (2016)	MÖ
		Rafiei ve Adeli (2017)	
		Suryanita vd. (2017)	YSA
		Bilici (2017)	
		Avcı (2019)	Gİ
		Karameşe (2018)	
		Avcı vd. (2017)	
		Abdeljaber vd. (2018)	DÖ
		Lin ve Nie (2017)	
		Pathirage vd. (2018)	DÖ
	Köprülerde hasar tespiti ve çatlak tahmini	Mangalathu vd. (2019)	
		Neves vd. (2018)	MÖ
		Okazaki vd. (2020)	
		Valença vd. (2017)	Gİ
Deprem sonrası yapısal güvenliğin değerlendirilmesi	Zhang vd. (2018)	MÖ	
	Allali vd. (2017)	BM	
Kolon-kiriş birleşim noktalarının moment tahmini	Cao vd. (2020)	MÖ	
Kolon-kiriş eklemlerinin kayma dayanımları tahmini	Jeon vd. (2014)	MÖ	
Kolon-kiriş birleşim yerlerinin arıza modunun tahmini	Gao ve Lin (2020)	MÖ	

Betonarme binaların sismik tepkilerinin tahmini	Hwang vd. (2020)	MÖ
Yapı sağlığı izleme	Worden ve Manson (2016)	MÖ
	Gui vd. (2017)	
Basit mesnetli köprülerin hareketli yük dağılım faktörlerinin belirlenmesi	Yalçın (2020)	YSA
Çatlaklı kirişlerin modellenmesi	Mazanoğlu ve Kandemir (2017)	YSA
Deprem etkisi altında betonarme kirişsiz plakların eğilme momenti tahmini	Özbayrak (2019)	YSA
Köprü hasar önem ölçümü	Chun vd. (2015)	YSA
FRP ile sarılı RC kolonların eğilme kapasitesi tahmini	Köroğlu vd. (2012)	YSA
Betonarme kirişlerin burulma kapasiteleri tahmini	Ilkhanı vd. (2017)	YSA
FRP ile sarılı betonarme kirişlerin kayma mukavemeti tahmini	Yavuz vd. (2013)	YSA
Mevcut betonarme binaların deprem performansının tahmini	Arslan vd. (2015)	YSA
RC kolonların hasar seviyesi değişimi	Doğan vd. (2020)	Gİ
Betonarme kirişlerin deplasmanlarının belirlenmesi	Kaçın ve Aydın (2020)	Gİ
Betonarme kolonlardaki donatıların yerlerinin belirlenmesi	Hassan (2014)	Gİ
Beton yüzey çatlaklarının belirlenmesi	Lee vd. (2013)	Gİ
	Choudhary ve Dey (2012)	
Bina altyapısındaki deprem hasarlarının sınıflandırılması	Patterson vd. (2018)	DÖ
Düzensiz taşıyıcı sistem tespiti	Akan vd. (2020)	DÖ
Betonarme kolonların deprem sonrası hasar seviyelerinin belirlenmesi	Doğan (2018)	MÖ
Kolon-kiriş bölgesi kesme tahmini	Yaseen vd. (2018)	DÖ
Betonarme yapı hasar türü tespiti	Cha vd. (2018)	DÖ
Depremden etkilenen binaların sınıflandırılması	Mangalathu ve Burton (2019)	DÖ
Deprem hasar tahmini	Mohaneselvi ve Hemapriya (2019)	BM

	Mevcut binalardaki sismik hasarın belirlenmesi	Usta vd. (2018)	BM
	Çelik çubukların bağlanma mukavemetinin tahmini	Golafshani vd. (2012)	BM
<b>HİDROLİK</b>	Baraj seviyeleri değişimi tahmini	Arslan vd. (2020)	MÖ
		Khai vd. (2019)	
		Salam ve Keskin (2018)	YSA
	Aylık buharlaşma tahmini	Özel ve Büyükyıldız (2019)	MÖ
		Tezel ve Büyükyıldız (2016)	YSA
	Akarsulardaki sediment taşınımı	Acar ve Saphioğlu (2020)	YSA
	Aylık akış tahmini	Sudheer vd. (2014)	MÖ
	Göl suyu seviyesi değişimi tahmini	Büyükyıldız vd. (2014)	YSA
	Kemer Barajı aylık akış tahmini	Okkan ve Dalkılıç (2012)	YSA
	Akarsulardaki debinin tahmini	Gemici vd. (2013)	YSA
Günlük buharlaşma tahmini	Özdülkar vd. (2019)	BM	
<b>YAPI MALZEMELERİ</b>	Kalsine kil esaslı çimento harçlarının basınç dayanımı tahmini	Marangu (2020)	YSA
	Lifli beton numunelerin çatlaklarının belirlenmesi	Onat (2008)	Gİ
	Farklı beton sınıflarının mekanik özelliklerinin belirlenmesi	Çomak (2012)	Gİ
	Korozyon tespiti	Atha ve Jahanshahi (2018)	DÖ
	Betonun bazı mekanik özelliklerinin belirlenmesi	Çankaya (2013)	Gİ
	Betonda gerilme-şekil değiştirme davranışının belirlenmesi	Pekgöz (2020)	Gİ
	Hava sürüklenmiş betonların donma-çözünme dayanımlarının belirlenmesi	Koç (2012)	Gİ
	Granüler zemindeki dane boyutlarının analizi	Aydın (2019)	Gİ
	Beton basınç dayanımı tahmini	Erdal (2015)	MÖ
		Prayogo (2018)	
		Yörübulut vd. (2020)	YSA
	Yüksek sıcaklıklarda harmanlanmış çimentoların	Doğan vd. (2017)	Gİ
		Khademi vd. (2017)	YSA
	Beycioğlu vd. (2017)	BM	

	mekanik özellikleri tahmini		
	UK ve SD'nın Portland çimentosuna etkilerinin tahmini	Gülbandılar ve Koçak (2013)	BM
	Yüksek-düşük UK içeren betonların basınç dayanımı tahmini	Topçu ve Sarıdemir (2008)	BM
	Liflerle güçlendirilmiş betonun basınç dayanımı tahmini	Şahin ve Bedirhanoglu (2008)	BM
<b>ULAŞTIRMA</b>	Atık kömür katkılı asfalt betonunun özelliklerinin belirlenmesi	Katanalp ve ark (2019)	YSA
	Havalimanı terminal kapasitesinin belirlenmesi	Acar (2015)	Gİ
	Karayolları enerji tüketimi	Cansız vd. (2020)	YSA
	Sönmüş kireç katkısının asfalt karışımı üzerindeki etkisinin belirlenmesi	Yardım vd. (2019)	YSA
	Ulaşım ağı hızı tahmini	Ma ve ark	DÖ
	Trafik kazalarının ve yaralı sayılarının tahmini	Cansız vd. (2020)	YSA
	SBS modifiyeli bitümün viskozitesinin tahmini	Kök vd. (2011)	YSA
<b>YAPI İŞLETMESİ</b>	Yığma yapılarda maliyet tahmini	Uğur vd. (2011)	YSA
	Cam elyaf katkılı cephe kaplama elemanlarında teklif fiyatı tahmini	Bahadır (2013)	YSA
	Bina kalitesi problemlerinin sınıflandırılması	Zhang vd. (2019)	DÖ
	Binaların erken maliyet tahmini	Günaydın ve Doğan (2004)	YSA
	İnşaat maliyet tahmini	Kim vd. (2004)	MÖ
	İnşaatta yüklenici seçimi	Akçay ve Manısalı (2017)	BM
	Yüksekten düşmeleri azaltma	Fang vd. (2019)	DÖ
Şantiyelerde işçilerin ve ağır ekipmanların otomatik algılanması	Fang vd. (2018)	DÖ	
<b>GEOTEKNİK</b>	İnce taneli zeminlerin kıvam sınıflarının tahmini	Arama vd. (2020)	MÖ
	Toprak sıvılaşma duyarlılığının tahmini	Samui ve Sitharam (2011)	MÖ
	Farklı zeminlerin mikroyapısal özelliklerinin belirlenmesi	Sezer (2008)	Gİ
	Geoteknik mühendisliğinde yapay sinir ağları	Chao vd. (2018)	YSA

Moayedi ve ark (2020)		
Toprak sıcaklığının tahmini	Behmanesh ve Mehdizadeh (2017)	YSA
Geoteknik mühendisliğinde derin öğrenme	Zhang vd. (2021)	DÖ
İnce daneli zeminlerde sıkışma indeksinin tahmini	Yurtcu ve Özocak (2019)	BM
Zemin sıvılaşma potansiyelinin modellenmesi	Sünbül vd. (2015)	BM

İncelenen tüm bu çalışmalar ışığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Son yıllarda daha önceki yıllara kıyasla yapay zekâ yöntemlerine olan eğilim oldukça artış göstermiştir.
- MÖ yöntemi sunduğu regresyon ve sınıflandırma işlemlerinden dolayı inşaat mühendisliği anabilim dallarının hemen hemen hepsinde tercih edilmiş ve yüksek doğrulukta sonuçlar vermiştir.
- YSA sayesinde araştırmacılar birçok tahminde bulunmuş daha sonra deneyler yaparak YSA'dan elde ettikleri tahminlerle karşılaştırmışlar sonuç olarak yine yüksek başarı oranları yakalamışlardır.
- Gİ yöntemi ise deneyin yapıldığı ortamın ışığından, deney elemanı olan kameranın çözünürlüğünden ve bu gibi birçok faktörden oldukça fazla etkilendiğinden dolayı araştırmacılar tarafından çok hassas yapılmaya dikkat edilmiş ve gereken dikkat gösterildiğinde oldukça başarılı sonuçlar alınmıştır.
- Son olarak DÖ yöntemi diğerlerine kıyasla yakın tarihte uygulama alanı bulmuş, ancak geçtiğimiz dört yıl içinde üzerinde çok fazla yoğunlaşmıştır. Yapılan çalışmalar genel olarak yapı anabilim dalında ve çatlak hasarı üzerinde toparlanmış, başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

## KAYNAKLAR

Abdeljaber O., Avci, O., Kiranyaz M. S., Boashash B., Sodano H., Inman D. J. (2018). 1-D Cnns For Structural Damage Detection: Verification On A Structural Health Monitoring Benchmark Data. *Neurocomputing*, 275, 1308-1317.

Acar M.O., 2015, Havalimanı Terminal Kapasitesinin Görüntü İşleme Yöntemi ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Akçay C., Manisali, E. (2018). Fuzzy decision support model for the selection of contractor in construction works. *Revista de la Construcción. Journal of Construction*, 17(2), 258-266.

Allali S. A., Abed M., Mebarki A. (2018). Post-earthquake assessment of buildings damage using fuzzy logic. *Engineering Structures*, 166, 117-127.

Arama Z. A., Akın M. S., Nuray S. E., Dalyan, İ. (2020). Estimation Of Consistency Limits Of Fine-Grained Soils Via Regression Analysis: A Special Case For High And Very High Plastic Clayey Soils In Istanbul. *International Advanced Researches And Engineering Journal*, 4(3), 255-266.

Arslan H., Fatih Ü. N. E. Ş., Demirci M., Taşar B., Yılmaz A. (2020). Keban Baraj Gölü Seviye Değişiminin Anfis ve Destek Vektör Makineleri ile Tahmini. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(2), 1-7.

Arslan M. H., Ceylan M., Koyuncu T. (2015). Determining Earthquake Performances Of Existing Reinforced Concrete Buildings By Using Ann. *International Journal Of Civil And Environmental Engineering*, 9(8), 1097-1101.



Atha D. J., Jahanshahi M. R. (2018). Evaluation Of Deep Learning Approaches Based On Convolutional Neural Networks For Corrosion Detection. *Structural Health Monitoring*, 17(5), 1110-1128.

Avcı N. (2019). Sarsma Masası Deneyi ve Sayısal Analizlerden Elde Edilen Dinamik Parametrelerin Görüntü İşleme Tekniği ile Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Avci O., Abdeljaber O., Kiranyaz S., Inman, D. (2017). Structural Damage Detection İn Real Time: Implementation Of 1d Convolutional Neural Networks For Shm Applications. In *Structural Health Monitoring & Damage Detection*, 7, 49-54, Springer, Cham.

Aydın Sağlam R.N., (2020) Makine Öğrenmesi Yöntemleri Kullanılarak Farklı Malzemelerle Üretilmiş Hafif Betonlara Ait Karışım Tasarımlarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Aydın M. (2019). Görüntü İşleme Yöntemiyle Granüler Zeminde Dane Boyutu Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.

Bahadır Y. (2013). Cam Elyaf Katkılı Cephe Kaplama Elemanlarına Yönelik Teklif Fiyatı Tahmininde Yapay Sinir Ağlarının Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Behmanesh J., Mehdizadeh, S. (2017). Estimation of soil temperature using gene expression programming and artificial neural networks in a semiarid region. *Environmental Earth Sciences*, 76(2), 76.

Beycioglu A., Gultekin A., Aruntas H. Y., Gencil O., Dobiszewska M., Brostow W. (2017). Mechanical properties of blended cements at elevated temperatures predicted using a fuzzy logic model. *Comput. Concr*, 20(2), 247-255.

Bilici S., (2017). Görüntü İşleme Yöntemi Kullanılarak Yapısal Deformasyonların Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Bingöl K., Aslı E. R., Örmecioglu H. T., Arzu E. R. (2020). Depreme Dayanıklı Mimari Tasarımda Yapay Zekâ Uygulamaları: Derin Öğrenme ve Görüntü İşleme Yöntemi ile Düzensiz Taşıyıcı Sistem Tespiti. *Gazi*

Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 35(4), 2197-2210.

Buyukyildiz M., Tezel G., Yılmaz, V. (2014). Estimation of the change in lake water level by artificial intelligence methods. *Water resources management*, 28(13), 4747-4763.

Cansız Ö. F., Ünsalan K., Erginer, İ. Karayolları Enerji Tüketiminin Yapay Zekâ ve Regresyon Yöntemleri ile Modellenmesi. *Uludağ University Journal Of The Faculty Of Engineering*, 25(3), 1297-1314.

Cao Y., Wakil K., Alyousef R., Jermisittiparsert K., Ho L. S., Alabduljabbar H., ... Mohamed A. M. (2020, June). Application Of Extreme Learning Machine İn Behavior Of Beam To Column Connections. In *Structures*, 25, 861-867, Elsevier.

Cha Y. J., Choi W., Büyüköztürk, O. (2017). Deep Learning-Based Crack Damage Detection Using Convolutional Neural Networks. *Computer-Aided Civil And Infrastructure Engineering*, 32(5), 361-378.

Cha Y. J., Choi W., Suh G., Mahmoudkhani S., Büyüköztürk O. (2018). Autonomous Structural Visual Inspection Using Region-Based Deep Learning For Detecting Multiple Damage Types. *Computer-Aided Civil And Infrastructure Engineering*, 33(9), 731-747.

Chao Z., Ma G., Zhang Y., Zhu Y., Hu H. (2018, November). The application of artificial neural network in geotechnical engineering. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 189(2), 022054, IOP Publishing.

Choudhary G. K., Dey S. (2012, October). Crack Detection İn Concrete Surfaces Using İmage Processing, Fuzzy Logic, And Neural Networks. In *2012 Ieee Fifth International Conference On Advanced Computational Intelligence (Icacı)* (Pp. 404-411). Ieee.

Chun P. J., Yamashita H., Furukawa, S. (2015). Bridge Damage Severity Quantification Using Multipoint Acceleration Measurement And Artificial Neural Networks. *Shock And Vibration*, 2015.

Çakıroğlu M. A., Süzen A. A. Assessment And Application of Deep Learning Algorithms İn Civil Engineering. *El-Cezeri Journal Of Science And Engineering*, 7(2), 906-922.

Çankaya G., Arslan M. H., Ceylan, M. (2013). Görüntü İşleme ve Yapay Sinir Ağları Yöntemleri ile Betonun Basınç Dayanımının Belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 1(1), 1-12.

Çomak B., (2012) Farklı Beton Sınıflarının Görüntü İşleme Yöntemi ile Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Doğan G., Arslan M. H., Baykan, O. K. (2020). Determination Of Damage Levels Of Rc Columns With A Smart System Oriented Method. Bulletin Of Earthquake Engineering, 1-23.

Doğan G., Arslan M. H., Ceylan M. (2017). Concrete Compressive Strength Detection Using Image Processing Based New Test Method. Measurement, 109, 137-148.

Doğan G. (2018). Betonarme Kolonların Deprem Sonrası Hasar Seviyelerinin Akıllı Sistem Tabanlı Bir Yöntemle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Erdal H. (2015). Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin İnşaat Sektörüne Katkısı: Basınç Dayanımı Tahminlemesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21(3), 109-114.

Erginer M., Cansız, Ö. F., Erginer, İ. Trafik Kaza Sayısının ve Yaralı Sayısının Yapay Sinir Ağları ile Tahmini. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 3(1), 29-35.

Fang W., Ding L., Zhong B., Love P. E., Luo H. (2018). Automated Detection Of Workers And Heavy Equipment On Construction Sites: A Convolutional Neural Network Approach. Advanced Engineering Informatics, 37, 139-149.

Fang W., Zhong B., Zhao N., Love Pe, Luo H., Xue J., Xu S. (2019). Bilgisayar Görüşü ile Yüksekten Düşmeleri Azaltmak İçin Derin Öğrenmeye Dayalı Bir Yaklaşım: Evrişimli Sinir Ağı. İleri Mühendislik Bilişimi, 39, 170-177.

François Chollet, Python ile Derin Öğrenme, Ankara: Buzdağı Yayınevi, 2019.

Gao X., Lin C. Prediction Model Of The Failure Mode Of Beam-Column Joints Using Machine Learning Methods. Engineering Failure Analysis, 120, 105072.

Gemici E., Ardıçlıoğlu M., Kocabaş F. (2013). Akarsularda debinin yapay zekâ yöntemleri ile modellenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 29(2), 135-143.

Golafshani E. M., Rahai A., Sebt M. H., Akbarpour, H. (2012). Prediction of bond strength of spliced steel bars in concrete using artificial neural network and fuzzy logic. Construction and building materials, 36, 411-418.

Gui G., Pan H., Lin Z., Li Y., Yuan Z. (2017). Data-Driven Support Vector Machine With Optimization Techniques For Structural Health Monitoring And Damage Detection. Ksce Journal Of Civil Engineering, 21(2), 523-534.

Gulbandilar E., Kocak Y. (2013). Prediction of the effects of fly ash and silica fume on the setting time of Portland cement with fuzzy logic. Neural Computing and Applications, 22(7), 1485-1491.

Gültepe Y. (2019). Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Hava Kirliliği Tahmini Üzerine Karşılaştırmalı Bir Değerlendirme. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (16), 8-15.

Günaydın H. M., Doğan S. Z. (2004). A neural network approach for early cost estimation of structural systems of buildings. International journal of project management, 22(7), 595-602.

Hassan M.U. (2014). A Computer Vision Based Method for Semi-Automated Rebar Detection and Measurement of Reinforced Concrete Columns, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Huang Q., Cox R. F., Shaurette M., Wang J. (2012). Intelligent Building Hazard Detection Using Wireless Sensor Network And Machine Learning Techniques. In Computing In Civil Engineering, 485-492.

Hwang S. H., Mangalathu S., Shin J., Jeon, J. S. (2020). Machine Learning-Based Approaches For Seismic Demand And Collapse Of Ductile Reinforced Concrete Building Frames. Journal Of Building Engineering, 101905.

Ilkhani M. H., Moradi E., Lavasani M. (2017). Calculation Of Torsion Capacity Of The Reinforced Concrete Beams Using Artificial Neural Network. Journal Of Soft Computing In Civil Engineering, 1(2), 8-18.

İpek S. U. C. U. (2019). Yapay Zekanın Toplum Üzerindeki Etkisi ve Yapay Zekâ (Aı) Filmi Bağlamında Yapay Zekaya Bakış. Uluslararası Ders Kitapları ve Eğitim Materyalleri Dergisi, 2(2), 203-215.

İpek, S. U. C. U., Ataman E. (2020). Dijital Evrenin Yeni Dünyası Olarak Yapay Zekâ ve Her Filmi Üzerine Bir Çalışma. Yeni Medya Elektronik Dergisi, 4(1), 40-52.

Jeon J. S., Shafieezadeh A., Desroches R. (2014). Statistical Models For Shear Strength Of Rc Beam-Column Joints Using Machine-Learning Techniques. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 43(14), 2075-2095.

Kaçın S., Aydın M. (2020). Görüntü İşleme Yöntemi ile Betonarme Kiriş Depasmanlarının Belirlenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(2), 107-117.

Karameşe G. (2018). Yapı Sistemlerinde Yer Değiştirme ve Şekil Değiştirme Büyüklüklerinin Özel Bir Görüntü İşleme Yöntemiyle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Katanalp B. Y., Yıldırım Z. B., Karacasu M., İbrikçi T. (2019). Atık Kömür Katkili Asfalt Betonu Performans Karakteristiklerinin Yapay Sinir Ağları ve Merkezi Kompozit Tasarım Yöntemleri Kullanılarak Karşılaştırılması. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(3), 680-688.

Khademi F., Akbari M., Jamal S. M., Nikoo, M. (2017). Multiple linear regression, artificial neural network, and fuzzy logic prediction of 28 days compressive strength of concrete. Frontiers of Structural and Civil Engineering, 11(1), 90-99.

Khai W. J., Alraih M., Ahmed A. N., Fai C. M., El-Shafie A. (2019). Daily Forecasting Of Dam Water Levels Using Machine Learning. International Journal Of Civil Engineering And Technology (Ijciat).

Kim G. H., An S. H., Kang, K. I. (2004). Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks, and case-based reasoning. Building and environment, 39(10), 1235-1242.

Koç M.E. (2012). Hava Sürüklenmiş Betonun Donma-Çözülme Dayanımları ve Görüntü İşleme Yöntemi ile Boşluk Yapılarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.

Korkmaz S., Uğur L. O. Yığma Konutların Maliyet Tahmininde Yapay Sinir Ağlarının (Ysa) Kullanılması. Engineering Sciences, 7(3), 615-631.

Kök B. V., Yılmaz M., Kuloğlu N., Şengür A. Değişik Şartlarda Hazırlanmış SBS Modifiyeli Bitümün Viskozitesinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi.

Koroğlu M. A., Ceylan M., Arslan M. H., İlki A. (2012). Estimation Of Flexural Capacity Of Quadrilateral Frp-Confined Rc Columns Using Combined Artificial Neural Network. Engineering Structures, 42, 23-32.

Lee B. Y., Kim Y. Y., Yi S. T., Kim J. K. (2013). Automated İmage Processing Technique For Detecting And Analysing Concrete Surface Cracks. Structure And Infrastructure Engineering, 9(6), 567-577.

Lin Y. Z., Nie Z. H., Ma H. W. (2017). Structural Damage Detection With Automatic Feature-Extraction Through Deep Learning. Computer-Aided Civil And Infrastructure Engineering, 32(12), 1025-1046.

Ma X., Dai Z., He Z., Ma J., Wang Y., Wang, Y. (2017). Learning Traffic As İmages: A Deep Convolutional Neural Network For Large-Scale Transportation Network Speed Prediction. Sensors, 17(4), 818.

Mangalathu S., Burton H. V. (2019). Deep Learning-Based Classification Of Earthquake-İmpacted Buildings Using Textual Damage Descriptions. International Journal Of Disaster Risk Reduction, 36, 101111.

Mangalathu S., Hwang S. H., Choi E., Jeon, J. S. (2019). Rapid Seismic Damage Evaluation Of Bridge Portfolios Using Machine Learning Techniques. Engineering Structures, 201, 109785.

Marangu J. M. (2020). Prediction Of Compressive Strength Of Calcined Clay Based Cement Mortars Using Support Vector Machine And Artificial Neural Network Techniques. Journal Of Sustainable Construction Materials And Technologies, 5(1), 392-398.

Mazanoğlu K., Kandemir-Mazanoğlu E. Ç. (2017). Çatlaklı Kirişlerin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17(3), 1129-1135.

Moayedı H., Mosallanezhad M., Rashid ASA, Jusoh WAW, Muazu MA (2020). Geoteknik mühendisliğinde yapay sinir ağı uygulamasının sistematik bir incelemesi ve meta-analizi: teori ve uygulamalar. Nöral Hesaplama ve Uygulamalar, 32 (2), 495-518.

Mohanaselvi S., Hemapriya G. (2019). Application of fuzzy logic to earthquake damage predictions. In AIP Conference Proceedings, 2112(1), (p. 020043). AIP Publishing LLC.

Neves A. C., González I., Leander J., Karoumi R. (2017). A New Approach To Damage Detection In Bridges Using Machine Learning. In International Conference On Experimental Vibration Analysis For Civil Engineering Structures (Pp. 73-84). Springer, Cham.

Okazaki Y., Okazaki S., Asamoto S., Chun, P. J. (2020). Applicability Of Machine Learning To A Crack Model In Concrete Bridges. Computer-Aided Civil And Infrastructure Engineering, 35(8), 775-792.

Okkan U., Yıldırım Dalkılıç H. (2012). Radyal tabanlı yapay sinir ağları ile Kemer Barajı aylık akımlarının modellenmesi. Teknik Dergi, 23(112), 5957-5966.

Onat M. (2008) Dijital Görüntü İşleme Yöntemleriyle Lifli Beton Numunelerindeki Çatlakların Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Özbayrak A. (2019). Deprem Etkisi Altındaki Betonarme Kirişsiz Plak Döşemelerin Eğilme Momentlerinin Ysa Analizi ile Tahmin Edilmesi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(2), 979-991.

Özdülkar K., Fatih Ü. N. E. Ş., DEMİRCİ M., Kaya Y. Z. (2019). Günlük Buharlaşma Miktarının Bulanık Mantık Yöntemleri Kullanılarak Bölgesel Olarak Modellenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2(1), 23-29.

Özel A., Büyükyıldız M. (2019). Aylık Buharlaşma Tahmininde Yapay Zekâ Yöntemlerinin Kullanılabilirliği.

Öztürk K., Şahin M. E. (2018). Yapay Sinir Ağları ve Yapay Zekâ'ya Genel Bir Bakış. Takvim-İ Vekayi, 6(2), 25-36.

Pathirage C. S. N., Li J., Li L., Hao H., Liu W., Ni P. (2018). Structural Damage Identification Based On Autoencoder Neural Networks And Deep Learning. Engineering Structures, 172, 13-28.

Patterson B., Leone G., Pantoja, M., Behrouzi A (2018). Yapılı Altyapıya Sismik Hasarın Otomatik Görüntü Sınıflandırması İçin Derin Öğrenme. Deprem Mühendisliği On birinci ABD Ulusal Konferansı.

Pekgöz M., (2020). Görüntü İşleme Yöntemiyle Betonda Gerilme-Şekil Değiştirme Davranışının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adıyaman.

Pınar U. S. T. A., Nihat M. O. R. O. V. A., Ahmet E. V. C. İ., Ergün S. (2018). Assessment of seismic damage on the exist buildings using fuzzy logic. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 300(1), (p. 012062). IOP Publishing.

Prayogo D. (2018). Metaheuristic-Based Machine Learning System For Prediction Of Compressive Strength Based On Concrete Mixture Properties And Early-Age Strength Test Results. Civil Engineering Dimension, 20(1), 21-29.

Rafiei M. H., Adeli H. (2017). A Novel Machine Learning-Based Algorithm To Detect Damage In High-Rise Building Structures. The Structural Design Of Tall And Special Buildings, 26(18), E1400.

Ramazan A. C. A. R., Saplıoğlu K. Akarsulardaki Sediment Taşımının Yapay Sinir Ağları ve Anfis Yöntemleri Kullanılarak Tespiti. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9(1), 437-450.

Salam Z. K. A. A., Keskin M. E. (2018). Yapay Sinir Ağları ile Dibis Barajı'nın Seviye Tahmini. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 6(4), 564-569.

Salehi H., Burgueño R. (2018). Emerging Artificial Intelligence Methods In Structural Engineering. Engineering Structures, 171, 170-189.

Samui P., Sitharam, T. G. (2011). Machine Learning Modelling For Predicting Soil Liquefaction Susceptibility. *Natural Hazards And Earth System Sciences*, 11(1), 1-9.

Santos A., Figueiredo E., Silva M. F. M., Sales C. S., Costa J. C. W. A. (2016). Machine Learning Algorithms For Damage Detection: Kernel-Based Approaches. *Journal Of Sound And Vibration*, 363, 584-599.

Sezer A., (2008). Görüntü İşleme Yöntemleri Kullanılarak Farklı Türdeki Zeminlerin Mikroyapısal Özelliklerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Sudheer C., Maheswaran R., Panigrahi B. K., Mathur S. (2014). A hybrid SVM-PSO model for forecasting monthly streamflow. *Neural Computing and Applications*, 24(6), 1381-1389.

Sunbul A. B., ErKaymaz H., Rukiye U. (2016). Zemin sıvılaşma potansiyelinin bulanık mantık ile modellenmesi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(2), 101-104.

Suryanita R., Maizir H., Yuniarto E., Zulfakar M., Jingga H. (2017). Damage Level Prediction Of Reinforced Concrete Building Based On Earthquake Time History Using Artificial Neural Network. In *Matec Web Of Conferences*, 138, 02024, EDP Sciences.

Şahin U., Bedirhanoglu İ. Lifli Polimerler ile Güçlendirilmiş Betonun Basınç Dayanımının Bulanık Mantık ile Tahmin Edilmesi.

Tezel G., Buyukyildiz M. (2016). Monthly evaporation forecasting using artificial neural networks and support vector machines. *Theoretical and applied climatology*, 124(1-2), 69-80.

Topçu İ. B., Sarıdemir M. (2008). Yüksek-Düşük Kireçli Uçucu Kül İçeren Betonların Basınç Dayanımının YSA V-ve BM Kullanarak Tahmini. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(1), 39-56.

URL 1:  
[https://tr.wikipedia.org/wiki/Yapay\\_zek%C3%A2](https://tr.wikipedia.org/wiki/Yapay_zek%C3%A2)

URL 2:  
[https://www.beyaz.net/tr/yazilim/makaleler/derin\\_ogrenme\\_deep\\_learning\\_nedir.html](https://www.beyaz.net/tr/yazilim/makaleler/derin_ogrenme_deep_learning_nedir.html)

URL 3: <https://tr.newworldai.com/deep-learning-derin-ogrenme-nedir/>

URL 4: <https://www.ibm.com/tr-tr/cloud/learn/what-is-artificial-intelligence>

URL 5:  
[https://tr.wikipedia.org/wiki/Bulan%C4%B1k\\_mant%C4%B1k](https://tr.wikipedia.org/wiki/Bulan%C4%B1k_mant%C4%B1k)

URL 6: <https://medium.com/i%CC%87yi-programlama/bulan%C4%B1k-mant%C4%B1k-bula%C5%9F%C4%B1k-makinesi-modeli-b4b596a7f80e>

URL 7: <https://omegapro.com.tr/insaat-sektorunde-yapay-zeka-kullanimi-ve-faydaları/>

Valença J., Puente I., Júlio E., González-Jorge H., Arias-Sánchez P. (2017). Assessment Of Cracks On Concrete Bridges Using Image Processing Supported By Laser Scanning Survey. *Construction And Building Materials*, 146, 668-678.

Worden K., Manson, G. (2007). The Application Of Machine Learning To Structural Health Monitoring. *Philosophical Transactions Of The Royal Society A: Mathematical, Physical And Engineering Sciences*, 365(1851), 515-537.

Yalçın Ö. F. Basit Mesnetli Köprülerde Hareketli Yük Dağılım Faktörleri Denklemlerinin Yapay Sinir Ağları ile Elde Edilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(3), 609-622.

Yaseen Z. M., Afan H. A., Tran M. T. (2018, April). Beam-Column Joint Shear Prediction Using Hybridized Deep Learning Neural Network With Genetic Algorithm. In *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*, 143(1), 012025, Iop Publishing.

Yavuz G., Arslan M. H., Baykan O. K. (2014). Shear Strength Predicting Of Frp-Strengthened Rc Beams By Using Artificial Neural Networks. *Science And Engineering Of Composite Materials*, 21(2), 239-255.

Yörübulut S., Dogan O., Erdugan F., Yörübulut S. (2019). Tahribatsız Yöntem Verileri Kullanılarak Yapay Sinir Ağı ve Regresyon Yöntemi ile Beton Basınç Dayanımının Tahmin Edilmesi. *Uluslararası*

Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 12(2), 769-776.

Yurtcu Ş., Özocak A. (2016). İnce Daneli Zeminlerde Sıkışma İndisi'nin İstatistiksel ve Yapay Zekâ Yöntemleri ile Tahmin Edilmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(3).

Zhang W., Li H., Li Y., Liu H., Chen Y., Ding X. (2021). Application of deep learning algorithms in geotechnical engineering: a short critical review. Artificial Intelligence Review, 1-41.

Zhang Y., Burton H. V., Sun H., Shokrabadi M. (2018). A Machine Learning Framework For Assessing Post-Earthquake Structural Safety. Structural Safety, 72, 1-16.

Zhong B., Xing, X., Love P., Wang X. ve Luo H. (2019). Evrişimli Sinir Ağı: Bina Kalitesi Problemlerinin Derin Öğrenmeye Dayalı Sınıflandırılması. İleri Mühendislik Bilişimi, 40, 46-57.