



# Yapılarda Bozulma ve Nem Hasarının Dijital Görüntü İşleme Yöntemi ile Tespiti

Saltuk Taha Ustaoglu<sup>1\*</sup>, Betül Bektaş Ekici<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>, Fırat Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Elazığ, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-7378-3374), saltukustaoglu@gmail.com

<sup>2</sup> Fırat Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Elazığ, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0142-0587), betulbektas80@gmail.com

(3rd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, July 20-23, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1145348)

**ATIF/REFERENCE:** Ustaoglu, S. T. & Bektaş Ekici, B. (2022). Yapılarda Bozulma ve Nem Hasarının Dijital Görüntü İşleme Yöntemi ile Tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (39), 103-108.

## Öz

Yapı fiziği hasarlarının çözüme kavuşturulması, yapının sağlıklı bir şekilde işlevini yerine getirebilmesi ve sürdürülebilirlik açısından büyük önem arz etmektedir. Bu doğrultuda yapılacak ilk adım olan hasarların doğru tespit edilmesi, sorunların çözüme ulaştırılabilmesi adına en önemli aşamadır. Sonrasında yapılacak olan onarım çalışmalarının düzgün bir şekilde ilerleyebilmesine ve onarımın maliyetine direkt etki etmektedir. Yapı fiziği sorunlarını çıplak gözle tespit etmeye çalışmak öznel yargılar içermekte, tahribatlı yöntemler ise yapıya zarar vermektedir. Bu çalışmada yapay zekâ uygulamalarından biri olan dijital görüntü işleme yöntemi kullanılarak yapılarda oluşan nem hasarlarının/bozulmaların tahribatsız ve nesnel bir şekilde tespit edilmesi amaçlanmıştır. Farklı yapıların yüzeylerinden alınmış hasarlı durumlara ait 3.600 adet görüntü verisi, evrimsel yapay sinir ağı mimarisi kullanılarak makine öğrenmesine tabi tutulmuş ve test verileri sınıflandırılarak uygulama sonuçları elde edilmiştir. Geçerlilik testi sonucunda yöntemin nem hasarı ve bozulmalar üzerinde etkili olduğu, yüksek doğruluk oranı ile başarımlı sağladığı gözlenmiştir. Bu çalışma ile birlikte günümüzde çeşitli alanlarda kullanılan yapay zeka uygulamalarının yapı fiziği sorunlarından nem hasarlarının ve bozulmaların tespit edilmesinde kullanılabileceğini ortaya çıkarmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Görüntü İşleme, Yapay Zeka, Yapay Sinir Ağları, Yapı Fiziği Sorunları.

## Detection of Deterioration and Moisture Damage of Buildings with Digital Image Processing

### Abstract

Resolving building physics damages is of great importance in terms of the healthy functioning of the building and its sustainability. The first thing to be done in this direction, the correct determination of the damages, is the most important step in order to solve the problems. It directly adds to the smooth progress of the repair work and the cost of the repair. Trying to detect building physics problems with the naked eye involves subjective judgments, and destructive methods damage the structure. In this study, it is aimed to detect moisture damage/deterioration in buildings in a non-destructive and objective way by using digital image processing method, which is one of the artificial intelligence applications. 3.600 image data of damaged states taken from the surfaces of different structures were subjected to machine learning using convolutional neural network architecture and the test data were classified and the application results were obtained. As a result of the validity test, it was observed that the method was effective on moisture damage and deterioration, and achieved a high accuracy rate. With this study, it is revealed that artificial intelligence applications used in various fields today can be used to detect moisture damage and deterioration, which is one of the building physics problems.

**Keywords:** Image Processing, Artificial Intelligence, Artificial Neural Network, Building Physics Problems.

\* Sorumlu Yazar: [saltukustaoglu@gmail.com](mailto:saltukustaoglu@gmail.com)

## 1. Giriş

Günlük yaşantımızın büyük bir kısmı yapıların içerisinde geçmektedir. Amaçları çerçevesinde farklı türde olan bu yapıların kullanıcıya ve ortam şartlarına uygun bir şekilde tasarlanması, inşa edilmesi ve detaylandırılması gerekmektedir. Söz konusu şartların ihmal edilmesi mekanik, su-nem ve fiziko-kimyasal yapı fiziği problemlerini karşımıza çıkarmaktadır. Bu problemler yapının konfor seviyesini düşürerek kullanıcılara sıkıntılar yaşatmaktadır. Bu şekilde yapıya zarar veren ve konforu etkileyen problemler yapı fiziği sorunları olarak adlandırılmaktadır. Yapı fiziği sorunları kullanıcıların sağlıklı bir şekilde barınmalarının ve ihtiyaçlarını gidermelerinin önünde engel teşkil etmektedir ve kısa süre içerisinde çözümlenerek onarıma gidilmesi gerekmektedir. Bu sorunlar çoğu zaman çıplak gözle tespit edilmeye veyahut ulaşılamayan yerlerden alınan fotoğraflar üzerinden bir kaniya varılmaya çalışılmaktadır bu da öznel sonuçlar doğurmaktadır. Bunun sonucunda yapı ile alakalı sorun net bir şekilde belirlenip bölgesel onarıma gidilemeyip onarım maliyetini ve zamanını artırmaktadır. Diğer taraftan bunun önüne geçmek için aletli ve tahribatlı yöntemler kullanılmaya çalışıldığı takdirde ise yapıya zarar verilmektedir. Bunlar yapı ile alakalı büyük bir problem haline gelmektedir.

Bu problem giderilemediği takdirde yapının sağlığını ve ömrünü azaltmakta bununla birlikte küresel anlamda sürdürülebilir bir geleceği tehdit etmektedir. Dünya üzerinde harcanan enerjinin ve nakitin büyük bir bölümü çeşitli amaçlarla kullanılan yapıların inşası ve onarımında kullanıldığı bilinmektedir. Bundan dolayı yapılarda yapılabilecek bu değişimler tüm dünya ülkelerinde çözüme kavuşturulduğunda ileriye dönük olarak sıfır enerji politikasına katkı vererek küresel bir kalkınma sağlayacaktır.

Literatürde konu ile ilgili olarak Başyigit vd., (2012), görüntü işleme yöntemini kullanarak beton sınıflarını tahmin etmeyi amaçlamışlardır. 3 farklı dayanım sınıfına sahip beton üretmişler ve bu numunelerden su emme, özgül ağırlık, boşluk oranı ve basınç dayanımı olarak deneyler gerçekleştirmişlerdir. Numunelerden alınan görüntülere görüntü işleme yöntemi uygulayarak çözümlenmeler yapılmış, ilk yapılan deneyler ile aralarındaki ilişki karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak görüntü işleme tekniği kullanılarak beton numuneleri içerisindeki agrega ve çimento yüzdelerinin tahmin edilebildiği aynı zamanda basınç dayanımlarının yüksek oranda olarak ilk deneylerle eşleştiği görülmüştür [1].

Çomak vd., (2011), görüntü işleme yöntemleri kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında mermer malzemesinin özrünün belirlenmesi, beton ve betonarme malzemenin gözenekliliğinin belirlenmesi, çelik malzemede korozyonun tesiri, kirlişlerde deplasman ölçümü, betonda agrega ve basınç dayanımı arasındaki ilişkinin belirlenmesi, yapıda kullanılan malzemelerdeki çatlak tespiti, hafif betonlarda performans tayini, ağır beton malzemelerdeki radyasyon tutuculuğunun belirlenmesi, asfaltlarda kırılma işleyişinin incelenmesi ve yapı malzemelerindeki hava miktarının belirlenmesi gibi pek çok alanda uygulama yaparak başarılı sonuçlar elde etmişlerdir [2].

Mousa vd. (2021), görüntü işleme yöntemlerinden dijital görüntü korelasyonu (DIC) yöntemini kullanarak beton, asma ve çelik köprüler üzerinde oluşan deformasyon, gerinim, titreşim, sapma ve dönme gibi yapısal parametrelerin tespit edilmesini amaçlamışlardır. Alınan numunelerin belirli şartlar ve ortam oluşturularak kamera yardımı ile dijital veriye aktarılması

sağlanmış ayrıca termal görüntü üzerinden çalışma da yapılmıştır. Önerilen yöntemin köprüler için tahribatsız bir yöntem olduğunu ve güvenilir bir teknik olarak kullanılabilineceğini ifade etmişlerdir [3].

Alemdar vd. (2018), çelik köprülerdeki yer değiştirme deformasyonunu tespit etmek amacı ile dijital fotogrametri görüntü işleme yöntemi kullanmışlardır. İşaretli parçalarda oluşan düzensizlikleri tanımlamayı amaçlamışlardır. Dijital görüntü verileri üzerinden yaptıkları uygulamada oluşan hata payı %3.7 iken, SAP 2000 programı Finite Element üzerinden yapılan tespitte hata payı %2,9 olarak ortaya çıkmıştır. Görüntü işleme yönteminin köprü üzerindeki bu uygulamada çok daha net bir şekilde hata payı düşük olarak tespit edilmişlerdir [4].

Yang vd. (2019), görüntü işleme tekniğinden faydalanarak geçmiş yıllarda yapılan kenar sabitleme yöntemleri ile yaptıkları uygulamayı karşılaştırmışlardır. 10mm x 10mm çift kare yapıyı işaretleme yaparak aynı görüntü üzerinde bulunan çatlakların konum ve genişliğini ölçmeyi amaçlamışlardır. Kenar bulunarak daha sonra bu kenarlar üzerinden çatlak odaklamayı hedefleyen bu yöntemin doğruluk oranını %98.56 olarak belirlemişlerdir [5].

Bu çalışmada dijital görüntü işleme yönteminin çeşitli kullanım alanlarından yola çıkılarak yapı üzerindeki bozulma ve nem sorunlarının tespitinde kullanılabilirliğini ele alınacaktır. Görüntü işleme yöntemleri ve evrimsel yapay sinir ağı modeli kullanılarak yapı üzerindeki su ve nem hasarlarının hızlı ve net bir şekilde tespit edilmesi amaçlanmaktadır.

## 2. Yapı Fiziği Sorunları

İnsanı yakından saran ve çevreleyen etkenlerin tümüne fiziki ortam denir. Fiziki ortamın unsurları hava sıcaklığı, ses ve gürültü, solunan havanın özellikleri, ısı alışverişi, hava devinimleri, yüzey renkleri olarak verilebilir. Bu unsurlar insanın başarısını, sağlığını ve verimliliğini etkilemektedir. Yapı üzerinde ve içerisinde kullanıcılara etki eden fiziki koşullarla alakalı konuların tümüne ise yapı fiziği adı verilmektedir.

Yapılarda bulunan fiziki problemlerle alakalı olarak uluslararası ve ulusal birçok araştırma ve inceleme yapılmıştır. Bu araştırmalarda konunun yapı fiziği sorunları, yapı yapım sistematığı ve yapıda kullanılan malzeme anlamında genel olarak farklı başlıklar altında değerlendirildiği görülmektedir [6, 7, 8]. Bu çalışmalar göz önüne alınıp incelendiğinde yapılarda eksikliklere ve kullanım koşulları ile birlikte yapı fiziği problemlerine değinilmiş bu sorunlara yol açan genel tanı olarak da 'hasar' kavramı ortaya çıkmıştır. Hasar kavramı "zorlu bir olay ve dış etkiler sonucu meydana gelen kırılma, dökülme, çatlama, yıkılma gibi zarar, bir yapının tümünün ya da bir parçasının işlevini göremeyecek durumundaki zararı" olarak tanımlanmaktadır [9].

Malzemelerin birbirine etkilerinden ve kendi içerisinde özelliğini kaybetmesinden dolayı uzun süre önce yapılan yapılar, zaman içerisinde tahribatlı hale gelmektedir. Bu tahribatların ve dış etkenlerin minimum seviyede tutulması, yapının uzun ömürlü olması kullanıcıların göstermiş olduğu öneme bağlıdır. Geçmişte yaşamış olan medeniyetlerin izini onlardan geriye kalan yapılardan ortaya çıkartmaktayız. Farklı malzemelerden ortaya konulmuş yapılarda kullanılan ahşap, beton, tuğla, çelik ve beton malzemeler zamanla tahribata yol açan etkilerle

karşılaşmaktadır. Malzemelerin dayanımını ve ömrünü düşüren fiziksel ve kimyasal olaylar mevcuttur [10].

Yapılarda sıklıkla denk gelinen sorunlar; ısısal problemler, mekanik problemler, su-nem problemleri ve fiziko-kimyasal problemler olarak 4 başlık altında toplanabilmektedir. Yapılan çalışmada bu etkiler sonucunda oluşan nem sorunları ve bozulmalar ele alınmıştır.

### 2.1. Su-Nem Etkileri

Yapı malzemesi içerisinde nem, basınç farkından dolayı ortaya çıkmaktadır. Kısmi basınca göre hareket eden su buharı basıncın yüksek olduğu yerden düşük olduğu yere doğru hareket etmektedir. Yapı inşasında kullanılan malzemelerin ve elemanların içerisinde oluşan nem hareketi kapilarite etkisi, buhar difüzyonu ve infiltrasyon olarak üç biçimde ortaya çıkmaktadır [11].

Yapı kullanıcılarının, daha iyi ortamda ömür sürmek sebebi ile ortamdaki nem düzeyi belirli seviyede (%35-%70) olmalıdır. Nem ve su; yapı üzerinde çürüme ve kabarma gibi tahribatlara sebep olmasının yanında küflenme ile birlikte sağlıksız koşullara da yol açmaktadır. Sonuç olarak nem ve su sebebiyle oluşan olumsuzluklar yapının sağlamlığını ve dayanımını da önemli ölçüde azaltmaktadır [12].

### 2.2. Fiziko-Kimyasal Etkileri

Yapılarda zamanla ortaya çıkan tahribatlara neden olan fiziko-kimyasal problemler; yangın, çiçeklenme, korozyon ve güneş gibi muhtelif kimyasal tesirlerden ortaya çıkmaktadır. Yangın da bu problem sınıfına girmesine rağmen, zamanla gelişen bir durum değildir. Güneş etkisi yapıda renk solması, ısıl gerilme çatlama gibi tahribatlara yol açmaktadır. Korozyon, kimyasal reaksiyonlar sonucunda ortamda bulunan metallerin bozulmasıdır. Korozyon meydana geldiği takdirde alaşımlar veya metallerin kimyasal, fiziksel veya elektriksel niteliğinde bozulmalara yol açarak özdeksel kayıplara sebep olmaktadır [13].

Korozyon kimyasal etkiler sonucunda yapı malzemelerinde oluşan kütle kaybıdır. Beton ile donatılar ilk buluştuğunda, beton donatıyı sararak koruyucu görevi görür ve paslanmanın önüne geçer. Fakat zamanla gelişen sarsıntı, mekanik yorgunluk ve titreşim gibi fiziko-kimyasal olaylar betonda yıpranmaya yol açarak mikroskobik çatlaklar oluşmasına neden olur. Şekil 1'de yapılarda bozulmalar ve nemden kaynaklanan bazı hasarlar gösterilmiştir.



Şekil 1. Yapılarda Bazı Nem Hasarları ve Bozulmalar

### 3. Uygulama Çalışması

Bu çalışmada yapı üzerinde oluşan su ve nem etkisi ile oluşan problemlerinin dijital görüntü işleme sistemi kullanılarak tespit edilmesi yapılmıştır. Derin öğrenme disiplininin alt kümesi olan yapay sinir ağlarından evrimsel yapay sinir ağı çeşidi seçilmiştir. Uygulama çalışması Matlab R2020 programı üzerinde yapay sinir ağı oluşturularak yapılmıştır. İlk olarak veri kümesi dosyası sisteme yüklenmiştir. Sonrasında veri kümesi içerisindeki sınıflar belirtilmiştir. Her sınıftan alınacak olan eğitim verisi sayısı modele girilmiştir. Yapay sinir ağı mimarisi

oluşturularak ağı ana sisteminde bulunan katmanlar yerleştirilmiştir. Daha sonra yapay sinir ağındaki parametre ayarları yapılmış ve değerleri işlenmiştir. Bu parametreler öğrenme algoritması, başlangıç öğrenme katsayısı, iterasyon sayısı ve validasyon frekansdır. Son olarak ağı eğitilmesi yapıp, bu eğitilen ağa sınıflandırma uygulanmıştır.

Bu modelde öncelikle veriler nem hasarları ve bozulmalar olarak ikiye ayrılmıştır. Bu iki sınıf içerisindeki verilerin bir kısmı eğitim için kullanılmıştır. Eğitim için kullanılacak veriler toplam verinin %80'i olarak belirlenmiştir. Geriye kalan %20 ise test için ayrılmıştır. Veriler belirli iterasyonlar ile eğitilmiştir.

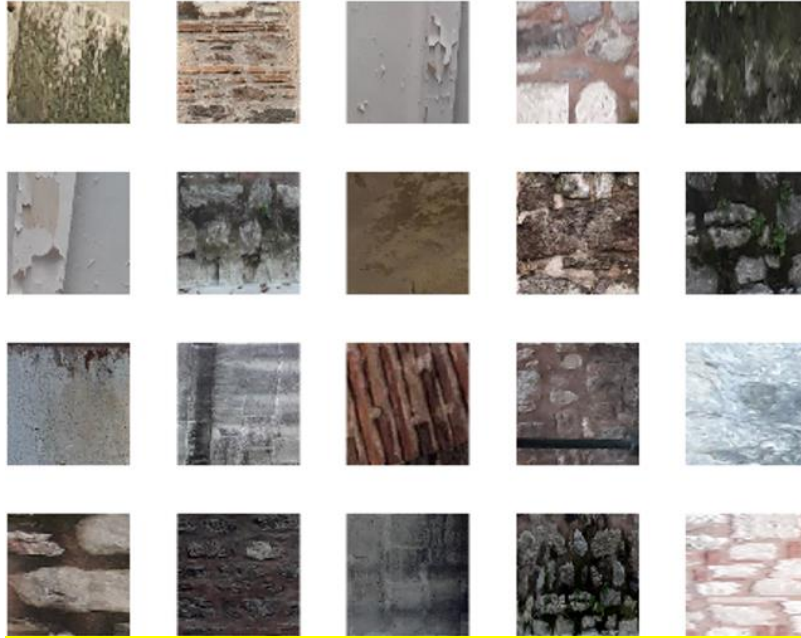
Eğitim aşamasından sonra evrimsel yapay sinir ağı öğrenmiş olmaktadır. Daha sonra validasyon yani geçerlilik testi aşamasına geçmiştir. Test yapıldıktan sonra softmax layer kullanılarak sınıflandırma yapılmış ve doğruluk oranı belirlenmiştir.

Veri kümesi olarak yapı üzerinden alınmış fotoğrafların işlenmesi ile edinilen toplamda 3.600 resimden görüntüler kullanılmıştır. Bu görüntülerin 1.800 tanesi üzerinde bozulmalar, 1800 tanesi nem hasarı olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Kullanılan görüntüler 227 x 227 x 3 boyutlarındadır. Bu değerlerden 227 x 227 o boyutlarda olan bir matrisi simgelerken sondaki 3 ise verilerin renkli olduğunu ifade etmektedir. Uygulamada kullanılan resim boyutları sinir ağı performansını zorlasa da öğrenme yetisinin yüksek olması amacı ile boyutlar sabit bir piksele alınırken, makine öğrenmesini engellemeyecek kadar düşürülmemiştir. Başka bir ifade ile resimler herhangi bir filtre uygulanıp 2 boyuta çekilip siyah beyaz formata çevrilmemiştir.

Üzerinde çeşitli hasar türleri olan veriler bir dosya içerisinde 2 ayrı sınıf dosyası olarak modele tanıtılmıştır. Verilerin okunması için gerekli kodlar girilmiş boyut analizi yaptırılmıştır. Şekil 2'de 3.600 örneklem içerisinde rastgele seçilmiş 20 adet veri gösterilmektedir.

Uygulama MATLAB programı üzerinde en uygun parametre değerleri bulunduğundan sonra yapılmış. Elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında genel anlamı itibari ile oluşturulan yapay sinir ağının yüksek yüzdeli doğruluk oranları verdiği görülmüştür. Başarı oranının yakalanmasında görüntü verilerinin boyutlarında küçültmeye gidilmeyip piksel sayısı fazla tutularak uygulama yapılması önemli bir rol oynamaktadır.

Uygulamalarda geçen süreler boyut küçültülmesi ile düşürülebilir ancak sağlıklı veriler alınması açısından bu çalışmada boyut küçültülmesi yapılmamıştır.

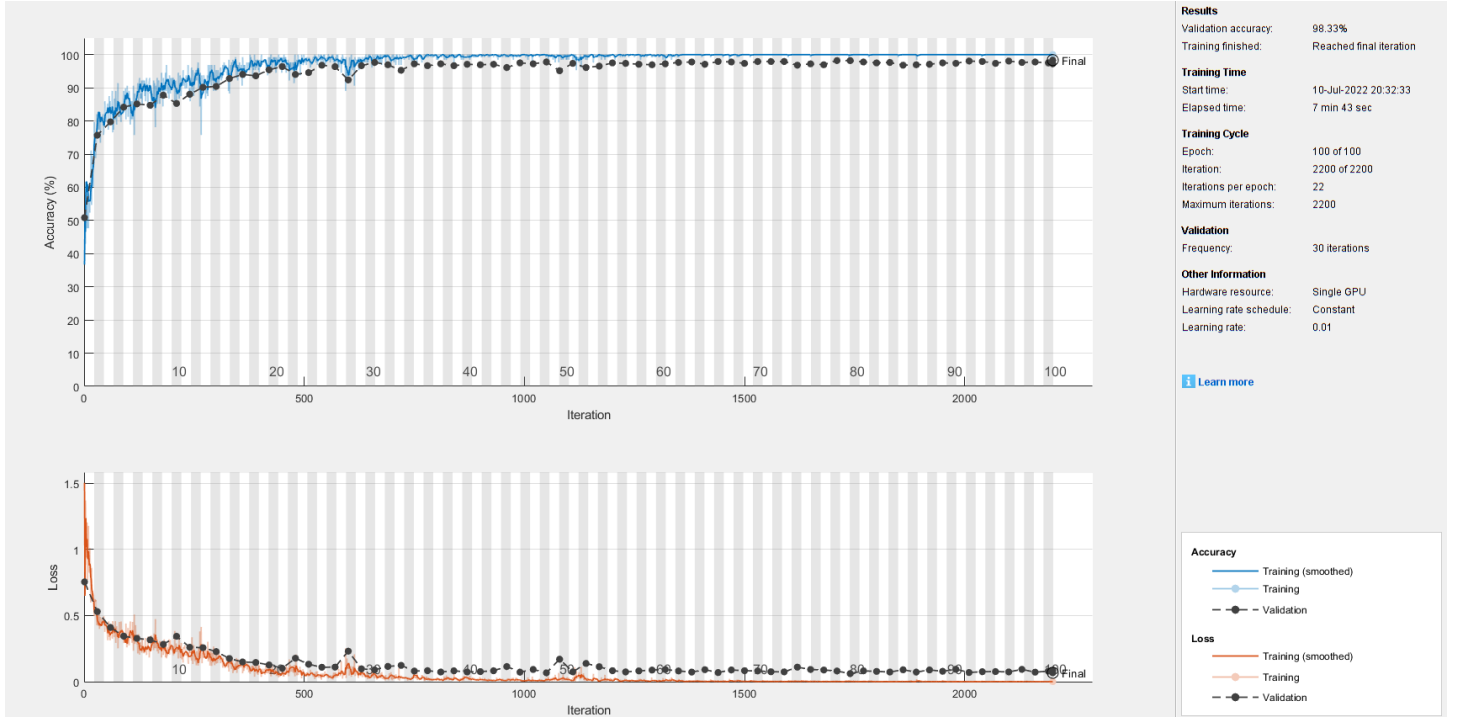


Şekil 2. Veri seti görüntüleri

#### 4. Bulgular ve Değerlendirme

Evrimsel yapay sinir ağı mimarisi kullanarak yapılardaki nem hasarları ve bozulmaların tespit edilebilmesi amacı ile hazırlanmış olan veri seti içerisindeki 3600 adet veriden 2880 adeti makine öğrenmesine tabi tutularak ağın eğitimi gerçekleştirilmiştir. Ağın eğitimine ait parametreleri içeren öğrenme grafiği Şekil 3'te verilmiştir. Öğrenme verilerinden

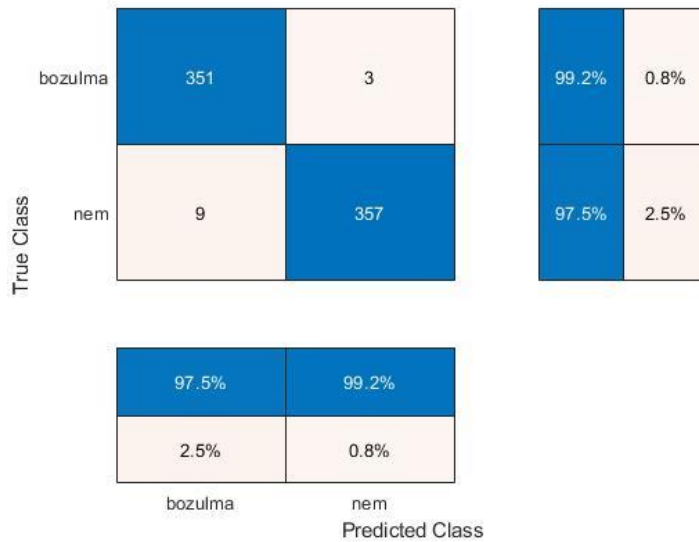
geriye kalan 720 adet veri ise sınıflandırma yapılmak üzere ayrılmış ve bu veriler programa rastgele seçtirilmiştir. Öğrenme grafiğinde doğru öğrenme oranı üst grafikte, kayıplar ise oransal olarak alt grafikte yer almaktadır. Eğitim verilerinin kaç parça halinde dâhil olduğu ve öğrenme katsayısı da bu grafikte görülmektedir. Uygulama toplamda 7 dakika 43 saniyede tamamlanmıştır.



Şekil 3. Evrimsel Yapay Sinir Ağının eğitimi

Uygulama sonucunda oluşturulan konfüzyon matrisi şekil 4'te gösterilmiştir. Bu matriste görüldüğü üzere yapılan uygulama çalışmasının test aşamasında 360 adet bozulma hasarı verilerinden 351 adedini % 97.5 oran ile sınıflandırmış. 360 adet nem hasarı verilerinden 357 adedini % 99.2 oran ile doğru

sınıflandırmıştır. Bozulma verilerinde bulunan yanlış olan veri 9 iken nem hasarında bulunan yanlış veri 3 olmuştur. Genel uygulama sonucunda toplam doğruluk oranı % 98.33 olarak ortaya çıkmıştır.



Şekil 4. Çalışma Sonuçlarına Ait Konfüzyon Matrisi

## 5. Sonuçlar

Bu çalışma ve içeriğinde yer alan yapay sinir ağı ile yapılan yapay zeka uygulaması günümüzde yapılarda sürekli görülen ve yapı sağlığı açısından oldukça önemli fiziki sorunların tespiti

amacıyla yapılmıştır. Yapı fiziği sorunları yapının ömrünü azaltmakla birlikte doğru onarım yapılmadığı takdirde daha büyük sorunlara yol açtığı bilinmektedir. Sorunların tespiti aşamasında farklı yöntemler izlenmekte, bazı durumlarda yapıya ciddi zararlar verilmektedir. Tahribatsız yöntem uygulamaları bu

nedenle yapı için vazgeçilmez bir seçenek olmaktadır. Özellikle tarihi yapılarda yapılacak olan denetleme ve tespit işlemlerinde kullanılması gerekmektedir. Ayrıca yapıdaki sorunun net olarak tespit edilebilmesi, yapı bütünü için değil bölgesel olarak onarıma gidilmesi zamandan ve onarım maliyetini büyük ölçüde azaltacaktır.

Yapay zekâ bulunduğumuz dijital çağda birçok alanda kullanılmaktadır. Görüntü işleme ve makine öğrenmesi uygulaması yapılan çalışmalar incelendiğinde büyük bir başarı elde edildiği görülmüştür. Mimari anlamda ise disiplinler arası bir geçiş ile yapıya entegre edilebilirliği ele alınmıştır. Dijital görüntü işleme yöntemleri bahsettiğimiz sorunların çözümünde kullanıldığı takdirde yapıya hiçbir şekilde zarar verilmemektedir ve yalnızca görüntü üzerinden tespitinin yapılabilmesini mümkün kılmaktadır.

Sonuç olarak yapay zeka yöntemlerinden dijital görüntü işleme yönteminin mimari alanda yapı fiziği problemlerinden bozulma ve nem hasarlarının tespit edilmesinde mevcut tahribatsız yöntemlere alternatif olarak kullanılabilirliği ve yüksek yüzdeli sonuç verdiği açık bir şekilde görülmektedir.

## **Kaynakça**

[1] Başıyigit, C. , Kılınçarslan, Ş. & Çomak, B. (2014). Görüntü İşleme Tekniği ile Beton Basınç Dayanımının Tahmin Edilmesi . Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi , 16 (1)  
[2] Çomak, B., Beycioğlu, A., Başıyigit, C. ve Kılınçarslan, Ş. (2011). Beton Teknolojisinde Görüntü İşleme Tekniklerinin Kullanımı, 6 th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ

[3] Mousa, M. A., Yussof, M. M., Udi, U. J., Nazri, F. M., Kamarudin, M. K., Parke, G., Assi, L. N., Ghahari, S. A. (2021). Application of Digital Image Correlation in Structural Health Monitoring of Bridge Infrastructures: A Review, *Infrastructures* , 6, 176.  
[4] Alemdar, Z.F., Bilici, S., Alemdar, F. (2018). Deformation Measurement In A Steel Bridge System By Using Image Processing Method, *Publications Prepared for the 20. National Mechanics Congress, Sigma J Eng & Nat Sci* 9 (2).  
[5] Yang, G., Wu, J., Hu, Q. (2019). Rapid detection of building cracks based on image processing technology with double square artificial marks, *Advances in Structural Engineering*. Vol 22(5) 1186-1193.  
[6] Eriç, M. (1994) *Yapı Fiziği ve Malzemesi*, Nisan, İstanbul, Literatür Yayınları  
[7] Heckroodt, R. O. (2002). *Guide To The Deterioration And Failure Of Building Materials*, Thomas Telford Publishing, 1. Baskı. İngiltere, Ss.75  
[8] Richardson Barry. A. (1999). *Defects And Deterioration In Building*, 2 Nd Edition, Construction Press, London.  
[9] Utkutuğ, Z. (2006). Konutta Kalite Kavramı ve Yapı Hasarları, *Gazi Üniversitesi. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, Cilt 21, No 2, 205-211.  
[10] Yıldırım, K. (2018). Yapı Fiziği Açısından Yapı Elemanlarında Dayanıma Etki Eden Çiçeklenme Olayı ve Korunma Yöntemleri, *Natural Hazards and Disaster Management*, 04-06 Mayıs (IS HAD2018 Sakarya Turkey).  
[11] Ertaş, K. (2001). Binalarda Buhar Difüzyonu Olayının İrdelenmesi, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yalıtım Kongresi*, Eskişehir-Türkiye.  
[12] Güler, H., Şenkal Sezer, F. ve Ülkü S., (2010). Binalarda yapı fiziği problemleri: Bursa'da bir kamu kurumu örneği, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 15, Sayı 2.  
[13] Yüzer, N. (2003). Betonarme Yapılarda Korozyon Ölçüm Yöntemleri ve Hasar Tespiti, *THM Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı 426-2003/4.