



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNOLOJİSİ İLE BETONUN BAZI MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Gamze ÇANKAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalını

Temmuz-2013
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNOLOJİSİ İLE BETONUN BAZI MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BULUNMASI

Gamze ÇANKAYA

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Musa Hakan ARSLAN
Yrd. Doç. Dr. Murat CEYLAN

2013, 150 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. Musa Hakan ARSLAN
Yrd. Doç. Dr. Ali KÖKEN
Yrd. Doç. Dr. Süleyman Kamil AKIN

Bu tezde, inşaat mühendisliğinin en önemli yapı malzemesi olan betonun bazı mekanik özelliklerinden basınç dayanımı, maksimum deformasyon kapasitesi ve elastisite modülünün görüntü işleme tekniği ve yapay sinir ağları gibi yapay zekâ yöntemleri ile bulunmasına yönelik yeni bir deney yöntemi tartışılmıştır. Bu bağlamda, betonarme yapılar veya beton numuneler üzerinden beton basınç dayanımı hakkında bilgi alırken hasar önlenerek, kullanılan ya da kullanılacak olan tahribatsız bir deney yöntemi geliştirilmiştir. Beton basınç dayanımı ve betonun diğer bazı önemli mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan geleneksel deney yöntemleri incelenmiş ve yeni bir deneysel yöntem olarak betonun mekanik özelliklerinin belirlenmesinde görüntü işleme teknolojisinin performansını görmek için bir dizi analitik modelleme ile görüntünün sayısallaştırması uygulaması yapılmıştır. Bunun yanı sıra, çalışmanın sonunda, analitik modellemenin başarısı deneysel verilerle karşılaştırılarak incelenmiştir.

Birinci bölümde, tezin amacı, kapsamı ve yaygın etkisi tarif edilmiştir. Etkili literatür taraması ikinci bölümde verilmiştir. Üçüncü bölümde betonun genel mekanik özelliklerinden bahsedilmiştir. Görüntü işleme teknolojisi (GİT) ve yapay sinir ağlarının (YSA) genel metodolojisi sırasıyla dördüncü ve beşinci bölümü oluşturmuştur. Malzemelerin ve deneysel metodun yapılmasına tezde altınca bölümde yer verilmiştir. Deneysel sonuçlar, GİT süreci ve YSA sonuçları yedinci bölümde verilmiştir. Son bölümde deneysel ve analitik çalışmalardan elde edilen sonuçlar bulunarak, bu sonuçların tartışılması yapılmıştır.

Tezde, 15x30 cm boyutunda 144 adet (96 +48) silindir beton numuneler, su / çimento oranı, betona uygulanan kür koşulları, sıkıştırma faktörü, çimento dozajı ve katkı malzemesi olarak seçilen parametrelere göre üretilmiştir. Tüm parametreler farklı oranlarda betonun basınç dayanımını etkilemektedir. 96 adet beton silindir numune analitik çalışmada eğitim ve test seti olarak kullanılmış, kalan 48 adet silindir numune ise oluşturulan GİT ve YSA hibrid modelinde doğrulama için kullanılmıştır. Numunelerin kalıba temas eden düz yüzeyleri fotoğraflanmıştır. Silindir beton numunelerin üst yüzeyinden 5 cm'lik bir kısım kesilerek tekrar fotoğraflama işlemi yapılmıştır. Beton numunelerin fotoğraflanması işlemi karanlık bir kabinde özel aydınlatma lambaları ile yapılmıştır. Beton numunelerin basınç dayanımını belirlemek için, her bir numune fotoğraflama işleminden sonra hidrolik pres aletinde test edilmiş ve numunelerin gerilme–deformasyon ilişkileri belirlenerek basınç dayanımları, maksimum deformasyonları ve elastisite modülleri hesaplanmıştır. Belirli bir çözünürlükte elde edilen silindir numune görüntüleri YSA'da kullanılmak üzere sayısallaştırılmıştır. Bu işlemler için MATLAB programı kullanılmıştır. Başka bir ifade ile deneylerde kullanılan beton numunelerin dijital görüntüleri üzerindeki her bir piksel değeri bir numerik rakama karşılık gelerek farklı boyutlarda matrisler oluşturmuştur. Sonuç olarak sayısallaşan görüntüler YSA'da işlemek için uygun hale gelmiştir. YSA

modeli oluşturularak, görüntülerden elde edilen matris formaları giriş verisi olarak YSA'da işlenip hedeflenen çıkış verileri (beton örneklerin basınç dayanımı, elastisite modülü ve maksimum deformasyonları) elde edilmiş ve bu veriler deneysel yöntemden bulunan sayısal değerlerle karşılaştırılarak analitik yöntemin çalışıp çalışmadığına bakılmıştır. Beton yüzey görüntülerinin elde edilen bu matris değerlerinin YSA'da eğitilmesi ile betonun bazı mekanik özelleri yüksek doğruluk oranı ile tahmin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Beton, Betonun Mekanik Özellikleri, Görüntü İşleme Teknolojisi, Yapay Sinir Ağları

ABSTRACT

MS THESIS

DETERMINATION OF SOME MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE WITH IMAGE PROCESSING TECHNOLOGY

Gamze ÇANKAYA

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN CIVIL ENGINEERING

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN
Assist. Prof. Dr. Murat CEYLAN

2013, 150 Pages

Jury
Assoc. Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN
Assist. Prof. Dr. Ali KÖKEN
Assist. Prof. Dr. Süleyman Kamil AKIN

In this thesis, a new experiment method is discussed in order to find some mechanical features such as compressive strength, maximum deformation capacity and modulus of elasticity of concrete which is the most important construction material in civil engineering by using image processing method (IPT) and artificial neural networks (ANN) method which are artificial intelligence methods. In this context, while getting information about compressive strength of concrete which is used or going to be used, a kind of non-destructive method has been developed by preventing destruction on reinforced concrete construction or concrete sample. Traditional experiment methods used in defining concrete compressive strength and some other important mechanical features of concrete are examined and in this context a series of analytic modeling is practiced with the application of digitising the image in order to see the performance of IPT as a new experimental method in identifying the mechanical features of concrete. Besides, at the end of the study, the success of analytic modeling is examined by comparing with experimental data.

In the section one, aims, scopes and widespread impact of the thesis described clearly. Efficient literature review was given in a thesis writing discipline at the second section. The general mechanical properties of the concrete were mentioned in the third section. Methodology of the generating IPT and ANN formed section fourth and fifth, respectively. Materials and experimental methods conducted in the thesis were given in sixth chapter. Experimental results, IPT process and ANN results were given in seventh chapter. Obtaining results from experimental and analytical studies and discussion of them mentioned in the final section.

In the thesis, 144 (96+48) cylindrical concrete samples in 15x30 cm size are produced according to the selected parameters such as water/cement ratio, cure conditions applied to concrete, compaction factor, dosage of cement, and admixture material. All of the parameters affect compressive strength of concrete with different ratio. 96 cylindrical concrete samples were used for training and testing set of the analytical study, the rest 48 cylindrical concrete samples were used for validation of the generated IPT and ANN hybrid model. Firstly flat circular surfaces of samples touching mold photographed. Cylindrical concrete samples cut 5 cm lower from upper fibre of the concrete and photographed again. The photographing process of the concrete samples conducted in a dark room with special lighting lamps. In order to identify compressive strength of concrete samples, each sample was tested in a hydraulic press after photography process and stress and deformation relationships of samples, compressive strength,

ultimate deformation values and elasticity modules were recorded. The images of all cylindrical samples obtained in a specific resolution should be digitised to use ANN. For these processes MATLAB programme is used. So that in the digital images of concrete samples used in experiments, matrixes in different sizes are formed by assigning a number to the brightness in the pixel in question to represent each pixel. At the end of the process of digitising the images digital data is made suitable for processing in ANN. By forming a model of ANN, matrix formats obtained from images are entered as input data and targeted output data (values like compressive strength of concrete samples, elasticity module, ultimate deformation) is obtained by processing in ANN and matched to numeric values which are compared to experimental method, so that it is observed whether method works or not. A great deal of mechanical features can be predicted in a high accuracy rate through ANN trained with these matrix values obtained from surface image of concrete.

Keywords: Artificial Neural Network, Concrete, Image Processing Technology, Mechanical properties of Concret

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasını yöneten, tez konusunun belirlenmesinde, araştırma ve deney çalışmalarının programlanmasında çalışmalarıma ışık tutan, bilgi ve birikimlerini paylaşan, yardımlarını esirgemeyen ve daima destek olan başta saygı değer hocam Doç. Dr. Musa Hakan ARSLAN olmak üzere, katkısını ve yardımını esirgemeyen saygıdeğer hocam Yrd. Doç. Dr. Murat CEYLAN'a,

Deneysel çalışmalarımın üretim safhasında katkılarını esirgemeyen Erdinç Hazır Beton A.Ş. çalışanları ve laboratuvar personeline,

Deneysel çalışmalarımda yardımlarından ötürü Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı ve Deprem Laboratuvarı personeline,

Bana sürekli destek olan aileme, dostlarıma ve çalışma arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Gamze ÇANKAYA
KONYA-2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **vi**

ÖNSÖZ ..... **viii**

İÇİNDEKİLER ..... **ix**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **xi**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Tezin Amacı 2
1.2. Tezin Önemi 2
1.3. Tezin Kapsamı 4
1.4. Tezin Katma Değeri veYaygın Etkisi 5

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **6**

2.1. Diğer Disiplerden Bazı Çalışmalar 6
2.2. İnşaat Mühendisliğindeki Bazı Çalışmalar 11

3. BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİ **25**

3.1. Betonun Basınç Dayanımı 25
3.1.1. Betonun basınç dayanımına etki eden faktörler 26
3.1.2. Betonun basınç dayanımının belirlenmesi 29
3.2. Betonun Çekme ve Eğilme Dayanımı 33
3.3. Betonun Yorulma Dayanımı 35
3.4. Betonun Gerilme – Birim Deformasyon İlişkisi 36
3.5. Poisson Oranı 40
3.5. Poisson Oranı 40
3.6. Betonun Elastisite Modülü ve Kayma Modülü 41
3.6.1. Başlangıç teğet yöntemiyle elastisite modülünün bulunması 41
3.6.2. Teğet yöntemiyle elastisite modülünün bulunması 42
3.6.3. Sekant yöntemiyle elastisite modülünün bulunması 42

4. GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNOLOJİSİ **43**

4.1. MATLAB Gereçleri ile Görüntü İşleme Uygulamaları 44
4.1.1. MATLAB'da görüntü okuma 46
4.1.2. MATLAB'da görüntü tipleri 49
4.2. Sayısal İmgede Örnekleme (Uzamsal Çözünürlük) 54
4.3. Basit Matrisel Görüntü İşlemleri 55
4.3.1. İmgede ters çevirme (imge aynalama) 55
4.3.2. Görüntü boyutlandırma 56
4.3.2. Görüntü boyutlandırma 56

4.3.3. Görüntü iyileştirme 57
4.3.4. Histogram 58
4.3.5. Piksel komşulukları 60
4.3.6. Gürültü ve gürültü giderme 60

5.YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA) 63

5.1. YSA'nın Yapısı 64
5.1.1. YSA nöronunun biyolojik yapısı 64
5.1.2. YSA sinir yapısı 65
5.1.3. Yapay sinir ağı modelleri 65
5.1.4. Öğrenme 69
5.1.5. Bağlantı ağırlık katsayılarının güncellenmesi 70
5.1.6. Öğrenme faktörleri 70
5.1.7.Öğrenme oranı 71
5.1.8. Hata hesabı 71
5.1.9. Hatayı azaltıcı istatistiki faktörler 72

6.DENEYSEL ÇALIŞMA 74

6.1. Eğitim ve Test Seti için Deney Parametrelerinin Seçimi 74
6.2. Eğitim ve Test Seti Deney Matsinin Oluşumu 75
6.3. Eğitim ve Test Seti Deney Numunelerinin Üretimi 80
6.3.1. Doğrulama setinin oluşturulması 89
6.4.Tüm Deney Elemanlarının Birim Ağırlık ve Su Emme Deneylerinin Yapılması 89
6.5. Deney Düzeneğinin Oluşturulması 91
6.6. Fotoğraflama Deneyinin Yapılması 95
6.7. Numunelerin Basınç Presinde Test Edilmesi 98

7. ANALİTİK ÇALIŞMA 101

7.1. Numunelerin Mekanik Özelliklerinin Elde Edilmesi 101
7.2. Fotoğraflar Kullanılarak Görüntü İşleme ve YSA Uygulanması 119

8. SONUÇLAR, TARTIŞMA VE ÖNERİLER 138

8.1 Sonuçlar 138
8.1.1. Genel sonuçlar 138
8.1.2. Özel sonuçlar 139
8.2. Tartışma 140
8.3. Öneriler 141

KAYNAKLAR 143

ÖZGEÇMİŞ 150

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

E : Elastisite modülü, MPa
E_c : Beton elastisite modülü, MPa
E_{cj} : "j" günlük betonun elastisite modülü, MPa
f_{ck}, f_c : Beton basınç dayanımı, MPa
f_{ckj} : "j" günlük betonun karakteristik silindir basınç dayanımı
f_{ctk} : Betonun karakteristik eksenel çekme dayanımı, MPa
f_u : Betonun kırıldığı andaki gerilme değeri
$g(.)$: Aktivasyon fonksiyonu
G_{cj} : "j" günlük betonun kayma modülü
k : Yapay sinir ağlarında eğitim veya test verilerinde data sayısı ET
L : Malzemenin ilk boyu
l_r : Öğrenme oranı
m : Yapay sinir ağlarında eğitim veya test verilerindeki segment sayısı
n : Aritmetik ortalama dizisindeki terim sayısı
n : Standart sapmada ölçüm sayısı
R^2 : Regresyon analizi hata oranı
SS : Standart sapma
$U_ç$: Çıkış katmanının çıkışı
$W_{yi,i}$: j. çıkış katman sinirinin i. gizli katman siniri ile arasındaki bağlantının
W_{zi} : Girişler ile sinirler arasındaki bağlantı ağırlık katsayısı
$W_{zi,i}$: j. gizli katman sinirinin i. giriş değeri ile arasındaki bağlantı ağırlığı
$Y_{ağ}$: YSA sinir girişlerine gelen verilerin toplamı
$Y_ç$: YSA sinir çıkışı
Z_i : YSA sinir girişleri
SS_{err} : Regresyon analizde toplam hatalar karesi
SS_{tot} : Regresyon analizde tüm toplam kareler değeri
$\sum x_i$: Medyan dizisindeki terimlerin toplamı
$\bar{x}$: Aritmetik ortalama ve medyan formülü gösterimi
ε_{cu} : Betonun birim kısalması
ε : Birim deformasyon
ε_x : Eksenel yük nedeniyle oluşan eksenel birim deformasyon
ε_y : Eksenel yük nedeniyle oluşan yanal birim deformasyon
σ : Gerilme
μ : Poisson oranı
x_i : Standart sapmada i'inci ölçüm değeri
$\overline{x}_n$: Standart sapmada ölçümün ortalaması
ΔL : Toplam deformasyon

Kısaltmalar

ACI	: Amerikan Beton Enstitüsü
AGS	: Agrega Görüntüleme Sistemi
ASTM C 469	: Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, Amerikan Beton Enstitüsü
BAÖ	: Beck Anksiyete Ölçeği
BDÖ	: Beck Depresyon Ölçeği
BMP	: Bit Map Picture
FPGA	: Field Programmable Gate Array- Alanda Programlanabilir Kapı Diziler
GBYSA	: Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları
GIF	: Graphics Interchange Format
GİT	: Görüntü İşleme Teknolojisi
HN	: Gizli Düğüm Sayısı
İBYSA	: İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları
JPEG	: Joint Photographic Expert Group
KBYSA	: Kaskat Bağlı Yapay Sinir ağları
KYB	: Kendiliğinden Yerleşen Beton
LVDT	: Lineer Vertical Displacement Transducer
MATLAB	: Matrix Laboratory
MR	: Manyetik Rezonans
RGB	: Red-Green-Blue, Kırmızı-Yeşil-Mavi
SONREB	: Birleşik Yöntem
TBİ	: Temel Bileşen İlkeleri
TDY-1997	: Türk Deprem Yönetmeliği -1997
TDY-2007	: Türk Deprem Yönetmeliği -2007
TIFF	: Tagged Image File Format
TS-500-2000	: Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarım Kuralları,Türk Standartı-2000
TSD	: Tek Serbestlik Dereceli
YSA	: Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

İnsanoğlu görme yeteneğini sayesinde çevresindeki olayları algılayarak tepki verebilme yetisine sahiptir. İnsan gözü etraftaki cisim ve nesneleri üç boyutlu olarak görebilmektedir. Görme işlevi, cismin betimlenen özellikleri (renk, boyut, konum vb.) hakkında beyne bilgi gönderir ve buradaki görme merkezi ile algılama mümkün olur. Günümüzde kullanılan görüntü algılama teknolojilerinde de insan fizyolojisindeki bu görüntüyü tanımlama sistemi referans alınarak gelişmeler kaydedilmiştir. Görüntü işleme, insan görme sisteminin yaptığı işlemlerin bilgisayar ortamında gerçekleştirilmeye çalışılmasıdır. Görüntü işleme yöntemleri görüntünün elde edilmesi, sayısallaştırılması, bölümlenmesi, iyileştirilmesi, sınıflandırılması, kaydedilmesi ve yeniden çağrılması gibi birçok işlemi kapsar. Bir araştırma alanı olan görüntü işlemede, cisme ait görüntüler üzerinde çeşitli çalışmalar yapılarak, merak edilen cisim özellikleri üzerinde soyut olarak erişilemeyen bilgilere erişebilme imkânı sağlanmıştır. Görüntü işleme teknolojisinin uygulama amacı da buna yönelik olarak gelişmiştir.

Görüntü işleme, daha önceden kaydedilmiş olan mevcut görüntüleri işlemek veya iyileştirmek için de kullanılır. Görüntü analiz sistemleri yazılımlarla birlikte kullanılarak alınan bir görüntü saniyenin dilimlerinde analiz edilir. Görüntü analizi akıllı sistemlerin gelişmesinde anahtar bir rol oynar. Akıllı sistemler üzerine olan araştırmaların temel amacı algılayabilen, mantık yürütebilen, hareket edebilen ve öğrenebilen sistemler geliştirmektir.

Görüntü yöntemlerinin temel öğesini oluşturan dijital görüntülerdir. Dijital bir resim haline getirilmiş olan gerçek yaşamdaki görüntülerin, bir girdi resim olarak işlenerek o resmin özelliklerinin ve görüntüsünün değiştirilmesi sonucunda yeni bir resmin oluşturulmasıdır. Dijital görüntüler genelde endüstriyel kameralar kullanılarak elde edilmektedir. Görüntüler, kameralardan bilgisayara aktarılarak kullanıcı tarafından geliştirilen veya bu amaçla hazırlanmış ticari yazılımlar kullanılarak analiz yapılmaktadır.

Yapay sinir ağları (YSA) insan beynindeki nöronların bilgi iletimindeki fizyolojik yapısının bilgisayar modeli olarak tasarlanmasıdır. Beyindeki biyolojik fonksiyonların modellenmesi ile oluşturulur. Modellemede oluşturulan ağ yapısı veriler arasında bağlantı kurarak problemi öğrenmekte, depolamakta ve bunları geliştirerek hedeflenen bilgiye götürmektedir.

Görüntü işleme uygulamaları ve YSA birer yapay zekâ yöntemidir. Yapay zekâ insanın düşünme yapısını anlamak ve bunun benzerini ortaya çıkaracak bilgisayar işlemlerini geliştirmeye çalışmak olarak tanımlanır. Yani programlanmış bir bilgisayarın düşünme

girişimidir. Yapay zekâ bilgi edinme, algılama, görme, düşünme ve karar verme gibi insan zekâsına özgü kapasitelerle donatılmış bilgisayardır.

1.1. Tezin Amacı

Görüntülerin fotoğraflanması, fotoğraflanan görüntülerin işlenmesi uzun zamandır üzerinde çalışılmakta olan bir alandır. Elektronik veri işleme son yıllarda hızla gelişmektedir. Bu alandaki gelişmeler bilgisayar teknolojisinin de paralel olarak gelişmesi ile mümkün olabilmiştir. Bilgisayarların işleme hızlarının artması sayısal görüntü işleme için kullanılan yazılımlarında gelişmesine olanak sağlamıştır. Böylelikle sayısal görüntü analizi de, bir uygulama alanı olarak yaygınlaşarak, farklı disiplinlerdeki problemlere ışık tutabilmiştir.

Günümüz bilimsel teknolojisinde birçok disiplin bir araya getirilerek çeşitli çalışmalar yapabilmek mümkün kılınabilmektedir. Mühendislik bakış açılarının çeşitli karmaşık yönlerine derinlemesine bir anlayış getirmek için mühendislik disiplinleri arası çalışma oldukça önemlidir. Disiplinler arası yaklaşımla birçok mühendislik problemlerine çözüm getirilmiştir. Farklı uzmanlık alanları ile değişik disiplinleri bir araya getirmeleri, yeni araştırma konuları ortaya çıkarmaları, belirli bir disiplin içinde çözülemeyecek problemlere yoğunlaşma imkânı sağlamaları açısından oldukça önemlidir.

Bu tezde, temel mühendislik dallarından inşaat mühendisliği ile elektrik-elektronik ve bilgisayar mühendisliği arasındaki yaklaşımlara örnekleme getirerek, bu mühendislik dallarının ilgi alanı olan görüntü işleme teknolojisi ve YSA inşaat mühendisliği üzerindeki uygulamaları incelenmiş, bu kapsamda literatürde görüntü işleme ve YSA üzerine yapılan çalışmalardan inşaat mühendisliği bilimi ile ilgili olanlar süzülmüş ve kazanımları irdelenerek tartışılmıştır. Tezin alan çalışması kısmında, silindir beton numunelerinin başta basınç dayanımı olmak üzere, elastisite modülü, maksimum deformasyon gibi diğer bazı mekanik özelliklerinin tespiti üzerine bir alan çalışması yapılmış, görüntü işleme teknolojisi ve YSA'nın bu alanda başarısı gerçek laboratuvar testleri ile karşılaştırılarak sınanmıştır.

1.2. Tezin Önemi

Mevcut olan ya da inşa aşamasında olan betonarme yapıların güvenliğinin belirlenmesinde önemli aşamalardan birisi yapıda kullanılan betonun dayanımı ve diğer mekanik özelliklerinin belirlenmesidir. Beton; kum, çakıl (veya kırma taş, hafif agrega vb.), çimento ve suyun belirli oranlarda karışımından elde edilen ve belirli bir süre sonunda sertleşerek yüksek basınç dayanımı kazanan bir yapı malzemesidir.

Betonun farklı mekanik özelliklerinden en önemlisi ve belirleyici olanı basınç dayanımıdır. Basınç dayanımı yüksek olan bir betonun çekme dayanımı, elastisite modülü, kayma modülü vs. gibi diğer mekanik özelliklerinin de iyi olacağı aşikârdır. Bununla beraber sargısız betonda artan basınç dayanımı ile birim deformasyon değeri de düşecektir. Betonun yüksek sayılabilecek basınç dayanımı ve taze halde kolaylıkla şekil verilebilmesi sahip olduğu en önemli özellik olarak düşünülebilir. Betonun basınç dayanımının diğer mekanik özelliklerine göre daha önemli olmasının çeşitli sebepleri vardır. Örneğin taşıma gücüne göre hesapta en önemli parametrelerden birisinin basınç dayanımı olması; basınç dayanımının betonun diğer mekanik özelliklerini etkilemesi, betonun nitelik denetiminde evrensel bir büyüklük olarak kabul edilmesi, basınç dayanımı deneyinin diğer dayanım deneylerine göre nispeten daha kolay olması, beton sınıflarının oluşturulmasında basınç dayanımının temel alınması, mevcut binaların performans analizlerinde bina performansını etkilemesi ve hesaplarda beton birim deformasyonunun önemli olması vb. söylenebilir.

TS 500 (2000) gibi yönetmeliklere göre betonun basınç mukavemeti, standart kür koşullarında saklanmış (20 °C ±2°C kirece doygun su içerisinde), 28 günlük silindir (15 cm çap, 30 cm yükseklik) veya küp (15 cm kenarlı) numuneler üzerinde ölçülür. Yapıdaki betonun basınç dayanımının belirlenmesinde kullanılan yöntemler tahribatlı (hasarlı) ve tahribatsız (hasarsız) olmak üzere iki gruba ayrılır. Hasarlı deneyler arasında, beton numunelerin eksenel basınç kuvveti etkisinde kırılmaya tabi tutulması standart deney yöntemi olarak kullanılmakta, hasarsız deneyler için, beton test çekici yöntemi, ultrasonik test cihazı uygulayarak basınç dayanımının bulunduğu deney yöntemi vs. gibi birçok deney yöntemi kullanılmaktadır. Literatürde söz konusu deneylerin hepsinin belirli bir oranda geçerliliği olmakla beraber bu konuda yapılmış çok sayıda çalışma mevcuttur.

Betonarme yapı tasarımında betonun basınç dayanımı hesaplarda esas alınan önemli bir faktördür. Betonun basınç dayanımı tespitinde literatürde farklı yöntemlerden bahsedilmektedir. Beton numunenin eksenel basınç kuvveti etkisinde kırılması, gömülü numune kullanma deneyi, batma direnci testi, kırıp koparma testi, beton test çekici yöntemi, ultrasonik yöntem (ultrases hızı yöntemi), birleşik yöntem, rezonans frekans tekniği deneyi, mekanik ses dalga hızı tekniği deneyi, pin penetrasyon test metodu, pull-out test metodu, break-off test metodu gibi deney yöntemleri bunlara örnek olarak verilebilir. Burada yöntem ne olursa olsun önemli olan belirli bir doğrulukta basınç dayanımının belirlenmesidir. Zamanın, masrafların ve hedeflenen amaca uygunluğun önemi de dikkate alınarak yapılacak deneyler iyi planlanmalıdır. İncelenecek yapılardaki beton dayanımı ve kalitesinin belirlenmesinde içinde eksikler bulunan deney yöntemlerinin doğru bir biçimde sentezleyerek

gerçeğe en yakın dayanımın belirlenmesinde en az zamanı kullanarak, en düşük tahribatı vererek en ekonomik ve pratik şekilde sonuca gitmek gereklidir.

Temel ve gerçekçi deney yöntemlerinden sadece biri TS 500 (2000)'de yer almaktadır. TS 500 (2000) beton karakteristik basınç dayanımının belirlenmesini şu şekilde tanımlar; standart deney yöntemlerinde; yapıda kullanılacak olan beton yerleştirilmeden önce numune alınır, küp ya da silindir kalıplara yerleştirilir, bir gün sonra kalıptan çıkarılır, kirece doygun suda 28 gün bekletilir. 28 gün sonra pres makinesinde eksenel kuvvet uygulanarak kırılır ve basınç dayanımı belirlenir. TS 500 (2000)'de tanımlanan bu yöntem tahribatlı bir deney yöntemidir.

Betonun basınç dayanımının yanı sıra betonun diğer bazı mekanik özelliklerinin belirlenmesinde de tahribatlı deney yöntemlerinden faydalanılmaktadır.

Numune görüntüleri kullanılarak yapılan ölçümlerde ise, mekanik yöntemlerin aksine malzeme yüzeyine doğrudan temas olmadan ölçüm yapabilmesi, karmaşık ve pahalı deney düzenekleri gerektirmeden ölçüme imkân veriyor olması nedeniyle, görüntü işleme yöntemleri kullanılarak malzemelerin yük altında deformasyon davranışlarının incelenmesi son yıllarda ilgi duyulan araştırma konularından birisidir.

Bu tezde, görüntü işleme tekniği ve YSA beraber kullanılarak yapılan uygulamada, beton dayanımının ve diğer bazı mekanik özelliklerinin bulunabilmesi için yeni bir deney yöntemi belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılarda mevcut betonun mekanik özellikleri hakkında bilgi edinirken, yapıda ya da alınan beton numune üzerinde hasar oluşumu engellenerek, bir çeşit yeni bir yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır.

1.3. Tezin Kapsamı

Günümüzde yapay zekâ yöntemlerinin mühendislik çalışmalarında kullanımının artması beton özelliklerini belirleme çalışmalarında da kullanılmaya başlamıştır. Bunların yanı sıra günümüzde ortaya atılan yeni yaklaşımlardan bir tanesi de dijital görüntü işlemedir. Görüntü işleme teknikleri ile beton içyapısı ve mekanik davranışı hakkında fikir edinme üzerine çalışmalar mevcuttur.

Bu tezin içeriğinde sözü edilen görüntü işleme tekniğini ve YSA'nın kullanımı ve uygulama yöntemlerinden bahsedilmiş, görüntü işleme teknikleri ve YSA kuramsal temelleriyle tanımlanmış ve inşaat mühendisliği alanında kullanımı üzerine yapılan bilimsel çalışmalar geniş bir literatür taraması ile ele alınmıştır. Görüntü işlemenin beton teknolojisindeki gelişmelere katkısı, betonun bazı mekanik özelliklerinin incelenmesine

yönelik yapılan deneylerle irdelenmiştir. Betonun bazı mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan bu yöntemin doğruluk oranı ve diğer deney yöntemleri ile kıyas edilerek uygunluğu tartışılmıştır.

Görüntülerin sayısallaştırılması için hesaplamalar ve matematiksel problemlerin çözümü ve analizi için tasarlanmış bir yazılım olan MATLAB (MATrix LABoratory) programından da faydalanılmış, MATLAB programının bu yöntemin uygulamasındaki önemi ve kullanımından kısaca bahsedilmiştir.

MATLAB kullanılarak sayısallaştırılan görüntüden elde edilen sayısal verilerin işlenerek, hedeflenen ölçüt olan betonun basınç dayanım değerlerinin bulunabilmesi için, insan beyninin bilgi işleme teknolojisinden esinlenerek geliştirilmiş olan YSA metodu kullanılmış ve içerikte bu metoda dair detaylara yer verilmiştir.

1.4.Tezin Katma Değeri ve Yaygın Etkisi

Bu tez kapsamında yapılan çalışmanın yaygın etkisinin ve getirisinin şu şekilde olduğu düşünülmektedir;

- Bu tez çalışması ile beton basınç dayanımı ve diğer mekanik özelliklerinin belirlenmesinde geleneksel yöntemlere nazaran daha pratik, ekonomik ve gerçekçi olabilecek yeni bir yöntemle tespitine yönelik, yazılım tabanlı bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla söz konusu araştırma sonraki aşamada uygulamaya yönelik bir formata getirilebilir.
- Bu tez çalışması ile disiplinler arası çalışmanın benzer bir örneği gösterilmiştir. İki farklı disiplinin entegresi ile inovatif bir ürün ortaya çıkarılmıştır.
- Bu tez çalışması ile ülke ekonomisinde önemli bir yeri olan betonun yapı inşaatında en önemli basamaklardan birisi olan basınç dayanımının belirlenmesi daha pratik olarak yapılmıştır. Dolayısıyla elde edilen sonuçlar beton basınç dayanımı ve diğer bazı mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanıcı dostu yeni bir yöntemin varlığını göstermiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Görüntü işleme tekniğinin tıp, uzay programları, nükleer tıp, biyoloji, arkeoloji, astronomi, telekomünikasyon, şehircilik, biyomedikal, kimya, veterinerlik, jeoloji, tarımsal inceleme, savunma, endüstriyel uygulamalar ve birçok mühendislik dalı gibi alanlarda uygulamaları vardır. YSA'da tıp, robotik (insansı robot üretimi), ileri elektronik, finans gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bu bölümde görüntü işleme tekniği ve yapay sinir ağları kullanılarak yapılan çalışmalarla ilgili literatür bilgilerine yer verilmiştir. İnşaat mühendisliğindeki ve diğer disiplinlerdeki uygulamaları ayrı başlıklarda incelenmiştir.

2.1. Diğer Disiplinlerden Bazı Çalışmalar

Görüntü işleme en yoğun olarak uzay araştırmalarında kullanılmaktadır. Yeryüzünden ya da atmosfer dışından uzayın fotoğraflanması buna bir örnektir. Uzaya ait çekilen bu fotoğraf karelerine bilgisayar ortamında görüntü işleme uygulanarak, gök cisimlerinin hareketleri belirlenmektedir. Ayrıca gökyüzünden çekilen uydu görüntüleri ile yeryüzündeki fayların bulunması da görüntüden otomatik olarak bilgi türetme olarak nitelendirilebilir.

Bunun yanı sıra tıpta da bu teknik oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle tıpta çeşitli hastalıkların (tümör hücreleri gibi) tespitinde, röntgen filmlerindeki görüntünün iyileştirilerek kemikteki kırık ve çatlakların vb. vakalara ait daha belirgin görüntü elde edilmesi gibi durumlarda bilgisayar ortamındaki bu tekniğe ihtiyaç duyulmaktadır. Tıbbi görüntülemedeki diğer bir uygulama ise damar görüntülerinin belirginleştirilmesinde çeşitli kenar zenginleştirme algoritmalarının kullanılmasıdır. Tıp alanındaki görüntü işleme tekniklerinin yaygın olarak kullanıldığı başka bir alan ise kalp hareketlerini inceleyen bir dal olan kardiyografi ile ilgilidir. Kalp kaslarının gerilme mekanizması üzerinde incelemeler yapılarak görüntü işleme sistemleri geliştirilmekte, kalp hareketleri önce videoya kaydedilerek, daha sonra kaydedilmiş olan görüntüler üzerinde işlem yapılmaktadır (Yalabık ve Göktoğan, 1990).

Görüntü işleme sanatta da kendini göstermiştir. Görüntü işleme tekniklerinin gelişmesi birçok yeni sanat dallarının ortaya çıkmasını sağlayarak yeni iş alanlarının da doğmasına neden olmuştur. Grafik sanatının yanı sıra görüntü işlem tekniklerinin kullanıldığı çok yeni diğer bir alan ise üç boyutlu müzik enstrümanları (Dimensional Musical Instrument) ile müzik yapılmaktadır. Bu yöntemde üç boyutlu uzayda vücut hareketleri ile müzik çalınabilmektedir.

Savunma sanayinde de, birçok askeri donanım görüntü işleme sistemlerine bağımlı olarak çalışmaktadır. Örnek olarak insansız hava araçları, görüntü ile hedef takibi yapan roketler verebilir.

YSA algoritmaları ise özellikle tıp alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu algoritma sistemleri ile insan vücudunu taranarak hastalık tanısı yapılabilmektedir. Ayrıca ulaşım araçlarında koltuk sayısına göre rezervasyon yapabilen, el yazılarını okuyabilen bilgisayar teknolojileri de yapay sinir ağları geliştirilerek yapılmaktadır.

Verim (2005) çalışmasında tıbbi görüntü analizi yapılmış, prostat hastalığı görüntüleri üzerinde görüntü işleme tekniği kullanılmıştır. İki boyutlu ultrason görüntülerinin analiz edilerek görüntülerdeki prostat sınırının bulunması için yeni bir yaklaşım sunulmaktadır. Bu çalışmada, belirlenecek prostat sınırı için prostatlı bölgenin prostatın dışına göre daha koyu kontrasta sahip olmasından yararlanılmıştır. Yani hastalıklı olan bölge ve dokunun kolayca tespiti sağlanmıştır.

Algaç (2006) çalışmasında ülkemizde yaygın olarak yetiştirilen bazı buğday çeşitlerinin tanelerine ilişkin uzunluk, genişlik, kalınlık, iz düşüm alanı ve farklı şekil katsayıları gibi bazı fiziksel özelliklerin görüntü işleme tekniğinden yararlanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Ülkemizde yaygın olarak üretilen yarısı ekmeklik ve yarısı makarnalık buğday çeşitlerinden olmak üzere 14 farklı buğday çeşidi seçilmiştir. Seçilen buğday çeşitlerine ait ölçümler farklı nem içeriklerinde yapılmış, farklı konumlarda yerleştirilmiştir. Ölçümlerin yapılabilmesi amacıyla hazırlanan örnekler bir tarayıcıdan geçilerek bilgisayar ortamına aktarılmış ve görüntü işleme programından yararlanılmıştır. Seçilen buğday tanelerine ait ölçüm sonuçları, elle ve görüntü işleme ile yapılan ölçümler arasında fark bulunmadığını göstermiş bu sebeple de buğday tanelerinin fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde görüntü işleme tekniğinden başarıyla yararlanılabileceği belirlenmiştir.

Çulha (1996) çalışmasında sayısallaştırılmış X-ışınlı (röntgenli) bilgisayarlı tomografiden (X ışını- röntgen) kullanılarak vücudun incelenen bölgesinin kesitsel görüntüsünü oluşturmaya yönelik radyolojik teşhis yöntemi) elde edilen görüntüleri çeşitli spesifik uygulamalar için orijinallerinden daha kaliteli tomografi görüntüleri elde etmek için işlemektedir. Bir başka deyişle amaç tomografi görüntülerinin kalitesini sayısal görüntü işleme metotları ile artırarak, radyologların daha kolay ve doğru teşhisler yapabilmesini sağlamaktadır. Geliştirilen yazılım değişik tomografi görüntüleri üzerinde test edilmiş, hız, kontrast ve çözünürlük açısından pozitif sonuçlar elde edilmiştir. Bu yazılım, doğal olarak, pahalı iş istasyonlarındaki görüntü işlemlerinin, her radyoloğun kolaylıkla erişebileceği bir bilgisayar ortamında gerçekleştirilmesini sağlamaktadır.

ODTÜ Bilgisayar Mühendisliği bölümünde gerçekleştirilen çalışmada ise görüntü işleme tekniklerinin kullanıldığı padobarografi sistemidir. Padobarografi, insanın ayakta durduğu sırada ayak tabanına uyguladığı basıncın ayak tabanında nasıl bir dağılıma sahip olduğunun saptanmasında kullanılan bir yöntemdir. Söz konusu bu yöntem kullanılarak geliştirilen padobarografi sistemi Hacettepe Hastanesi Ortopedi polikliğinde hallux valkus (ayak parmaklarının pozisyonlarındaki bir cins deformasyon) vakaları üzerinde başarı ile denenmiştir. Kullanılan sistemle ayak deformasyonu sonucu oluşan anormal basınç dağılımları saptanmış ve bu deformasyonların giderilmesi amacı ile yapılan operasyonlar sonunda ulaşılan nokta kontrol edilebilmiştir.

Tatlı (2006) çalışmasında oluşturulan algoritma ve yazılım hekimlere tanı koyma aşamasında yardımcı olmayı hedeflemiştir. MR (Manyetik Rezonans) görüntülerinin yorumlanmasında hekimler, temel düzeyde görüntü işleme algoritmaları içeren yazılımlar kullanmaktadırlar. Ancak bu yazılımlar tanıya katkıda bulunmak adına sınırlı sonular üretmekte, yalnızca hekimin lezyon (Hastalığın neden olduğu yapısal veya fonksiyonel değişiklikler) olarak yorumlandığı bölgeyi, tamamen kendi gözlem ve birikimlerine dayanarak seçimi ile belirli bir bölge için sonuçlar üretebilmektedir. Bu sorunu en aza indirgemek amacıyla, sunulan çalışmada, meme kanserinin erken tanısına yönelik bir yöntem geliştirilmiştir. MR görüntülerinin incelenip, kanserojen etkisi olan kötü huylu lezyonla ile kanserojen etkisi olmayan iyi huylu lezyonların otomatik olarak ayırt edilmesini sağlayan bir algoritma ve yazılım geliştirilmiştir.

Bal (2006) çalışmasında bir malzemeye ait görüntülerden, görüntü işleme teknikleri kullanılarak malzeme özelliklerini belirlemektedir. Çalışma iki bölümden oluşmaktadır. Öncelikli olarak hazırlanan yazılım ile domino taşları kullanılarak görüntü üzerinde, görüntü yakalama ve model tanıma teknikleri incelenmiş, ardında da bu hazırlanan yazılım geliştirilerek malzeme görüntüleri için uyarlanmıştır.

Yılmaz (2007) çalışmasında görüntü işleme konusu incelenmiş ve hareket analizi şablonunun temeli olan, hareketin tespiti ve izlenmesinde kullanılan yöntemler üzerinde inceleme ve uygulamalar yapılmıştır. Görsel tabanlı her türlü hareketin analizi tespitiyle başlar. Hareket tespiti, hareketli bölgenin görüntüdeki diğer bölgelerden ayrılması (segmentasyon) temeline dayanır. Kamera kullanılarak cihazdan alınan ardışık görüntülerde hareket analizi için kullanılan yöntemler incelenip uygulanarak; elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

Edizer (2006) çalışmasında sayısal görüntü işleme yöntemi ile madencilikte ki tane boyut dağılımı analizi incelenmiştir. Sayısal yöntemlerle elde edilmiş görüntüler üzerinde

bilgisayar yazılımı kullanmak üzere görüntüler içerisindeki parçaların tespit edilerek, boyut analizlerinin yapılması sonuçların tablolara kaydedilerek dağılım grafiklerinin oluşturulması amaçlanmıştır. Görüntüleme sistemlerinin yazılım ile kullanılması sonucu madencilik alanında cevher yığınlarının tane boyut dağılımı önceden tespit edilebilirken, buna bağlı diğer işlemlerde zaman ve verim anlamında gelişmeler sağlanmıştır.

Çayırlı (2006) çalışmasında görüntü işlemenin, kimyasal enerjinin termik enerjiye dönüşümü yoluyla ısı elde edilen yanma olayının analizi üzerine bir uygulama yapmıştır. Sıvı yakıtların yanma performansını en uygun seviyeye getirecek bir otomasyon sistemi oluşturma amaçlanmış bu uygulamada, yanma olayının gerçekleştiği yakıt kazanlarından belirli periyotlarda görüntüler alınıp, bu örneklemeler ile bir yakıt sisteminin kontrolü gerçekleştirilmiştir. Böylece yakıt ve oksijen miktarının en uygun karışımıyla tam yanma bilgisayar kontrollü sağlanarak, görüntü işleme metoduyla kimyasal enerjiden termik enerji dönüşümü için en yüksek performans şartları bu çalışma ile belirlenmiştir.

Tonguç (2007) çalışmasında görüntü işleme teknikleri kullanılarak meyvelerin boyut ve renk ayrımı üzerinde çalışılmıştır. Bu teknikte kullanılmak üzere meyveler içerisinden elma seçilmiştir. Görüntü işleme tekniklerinden yararlanılarak oluşturulan algoritma (bir problemin çözümünde izlenecek yol) ile birlikte yazılım geliştirilmiş ve bir sistem oluşturulmuştur. Bu sisteme bağlı bir sensor, kamera önüne bir nesne geldiği zaman bilgisayara bilgi vermektedir. Oluşturulan yazılım sistemi ile 1 ms'lik (milisaniye) periyotlarda sensorden bilgi gelip gelmediğini kontrol edilmektedir. Sensorden bilgi gelmesi durumunda yani kamera önüne bir nesne gelmesi durumunda kameradan aldığı görüntüyü işleyerek ekranda incelediği meyvenin boyut ve rengi hakkında sayısal ve görsel bilgiler vermektedir.

Taşçı (2011) çalışmasında robotik sistemler için gerçek zamanlı bir görüntü işleme ve tanıma sistemi geliştirmektedir. Robotlar ve robotik sistemler için etrafındaki görüntüyü alma ve bu görüntüdeki nesnelerin algılanması büyük önem taşımaktadır. Robotlar ve robotik sistemlerin görme yeteneği, görüntüyü alma, işleme ve çıkışta aktarma hızı ile doğru orantılıdır. Görüntü işleme ile ilgili yapılan çalışmalar sistemlerin daha hızlı ve güvenilir sonuç vermesine yöneliktir. Bu çalışma görüntü işleme teknolojisinde yeni bir çığır açan FPGA (Field Programmable Gate Array - Alanda Programlanabilir Kapı Diziler) sistemleri kullanılarak yapılacak olan yeni araştırmalara temel oluşturulmuştur.

Asmaz (2006) çalışmasında sayısal görüntü işleme ile iki boyutlu cisimlerden grafik modeller için veri elde edilmesi üzerinde çalışmıştır. İki boyutlu numunelerin yüzey verileri elde edilmek üzere dijital fotoğraf makinesi ile ve dijital görüntü ve tarayıcıdan elde edilen

görüntüler kullanılmıştır. MATLAB programından yararlanılarak numunelerin görüntüde kenarları bulunmuş, sınır piksellerinin Kartezyen koordinatları (2 boyutlu görüntülerinden oluşan eksenel sistem) elde edilmiştir. Burada elde edilen veriler tasarım yazılımına gönderilerek nesnenin aynı modellinin elde edilmesi çalışılmaktadır. Bu yöntemle elde edilen model ile gerçek parçanın boyut bilgileri karşılaştırılmış, yöntemin avantajlı ve dezavantajlı yönleri irdelenmiştir. Sonuç olarak bu çalışma ile birlikte iki boyutlu parçaların tanımlanması, sınırlarının çıkarılması ve boyut ölçümü belirlenir.

Doğaroğlu (2006) çalışmasında kasaplık sığırlarda canlı ağırlık ve vücut ölçülerinin tahmininde sayısal görüntü işleme ve değerlendirmesinde sayısal görüntü analiz yöntemleri kullanılarak görüntü işleme teknolojisinden yararlanma olanakları incelenmiştir. Ülkemizde çiftlik hayvanlarının morfolojik (yapısal, biçimsel) değerlendirmesinde kullanılmayan bu yöntemlerin kullanılması ile canlı ağırlık tahminlerinin daha sapmasız ve hızlı yapılacağı, hayvan ıslahına önemli katkı kazandıracağı düşünülmüştür. Araştırma sonunda elde edilen sonuçlar incelendiğinde görüntü işleme yolu ile hesaplanan vücut ölçüleriyle canlı ağırlık arasında pozitif yönde yüksek korelasyonların (Bir cisme ait çeşitli özellikler arasında bağlantı bulma olayı) olduğu ve bu yöntemle hesaplanan vücut ölçülerinin pratikte kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Uras (2006) çalışmasında tarım makinelerinin kullanımı sırasında oluşan aşınmaların belirlenmesinde görüntü işleme tekniğinden faydalanmıştır. Toprak işleme alet ve makinalarının işlevlerini en iyi şekilde yerine getirmesi, toprak işleme kalitesi ve verimini artırdığı gözlemlenmiştir. Aşınma ise kalite ve verimi olumsuz yönde etkileyen bir faktör olmuştur. Aşınmaya maruz kalan uç demiri toprağı kesmeyip onu ötelediğinde, enerjinin ve maliyetin artmasına yol açmıştır. Bu olumsuzluklara sebep olan aşınma faktörünün belirlenmesi önemli olmuştur. 2 gövdeli ve trapez uç demirli asma tip bir traktör pulluğu ile toplam 60 da olmak üzere 2 farklı tarlada çalışılmıştır. Çalışılan tarlaların toprak ve sıkışıklık değerleri bulunmuştur. Toprak sıkışıklığının fazla olduğu parsellerde çalışan uç demirlerinde aşınma daha fazla olmuştur. Bu çalışmada, pulluk uç demirlerindeki aşınmaların, diğer yöntemler yanında görüntü işleme tekniği kullanılarak da belirlenebileceği ortaya konulmuştur.

Akgündoğdu (2003) çalışmasında vücut dışından böbrek taşı kırılması işleminde kullanılan tıbbi bir aygıtın kontrolünün, röntgen görüntülerinin bulanık YSA ile yorumlanması sonucu daha başarılı olarak gerçekleştirilebileceği bir uygulama olarak çalışmıştır.

Etikan ve ark. (2009) psikiyatri hastalarına ilişkin bir veri kümesinin farklı YSA ile modellenmesi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, YSA tekniği yardımıyla, çeşitli şikâyetlerle 2008 yılı Ocak-Nisan ayları arasında Gaziosmanpaşa Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Hastanesi Psikiyatri Polikliniğine başvuran 196 hastaya ait demografik özellikler, çeşitli sınıflarda ölçekler (Beck depresyon ölçeği (BDÖ) ve Beck anksiyete ölçeği (BAÖ) puanları) kullanılarak tanı sınıflaması yapılmış ve bu tanıların ne kadarının, ilk görüşmede yapılan DSM-IV-TR tanı ölçütlerine göre konulan tanı ile eş değer olduğu saptamışlardır. Bu çalışmanın sonucuna göre, ilk görüşmede depresif bozukluklardan şüpheleniliyorsa, Beck depresyon ölçeği ile mutlaka desteklenmesi gerekmektedir.

Uysal (2005) çalışmasında Osmangazi Üniversitesi Nöroloji Anabilim Dalı'ndan alınan baş ağrısı hastalığı verilerini kullanmıştır. Problem, alınan hasta verilerini 4 farklı hastalık türüne ayrılacak şekilde sınıflandırmaktır. Bu hastalık türleri aurasız migren, auralı migren (aura; baş ağrısı başlamadan hemen önce, kısa süreli olarak hissedebilecek bazı duyumlar ve semptomlar), gerilim tipi baş ağrısı ve aurasız migrenden deforme baş ağrısıdır. Yapay sinir ağlarının bu tip problemleri çözmek için son derece uygun olduğu bilinmektedir. 3 öğreticili ve 1 öğreticisiz yöntemi kapsayan 4 farklı yapay sinir ağı metodu kullanılmıştır. Bunlar perseptron, geri yayılım ağları, vektör nicemleme ağları ve kendini düzenleyen ağlardır. Sonuç olarak geri yayılım ağlarının baş ağrısı hastalıklarını sınıflandırmada en etkili metot olduğu görülmüştür.

2.2.İnşaat Mühendisliğindeki Bazı Çalışmalar

Görüntü işleme tekniğinin, inşaat mühendisliği alt disiplinlerinde uygulamaları da oldukça fazladır. Malzeme ile ilgili araştırmalar ve özellikle beton teknolojinde bu yöntem sıkça kullanılmıştır. Bu yöntemle birlikte betonda çeşitli dış etkilere verilen tepkiler sonucu oluşan çatlakların dağılımı, yoğunluğu, yayınımı, yönü; aynı zamanda reaksiyon ürünlerinin tespitinde ve yine betonda kullanılan agrega, çimento gibi malzemelerin özellikleriyle birlikte etkilerinin incelenmesi ile ilgili birçok konuda çalışma yapılabilmektedir.

Söz konusu bu yöntem inşaat mühendisliği disiplinlerinden karayolu mühendisliğinde; asfalt betonundaki yorulma çatlakları, hızlandırılmış yol testlerine tabi tutulurken deney akımına monte edilmiş kameralar yardımıyla çatlakların ve deformasyonların incelenmesinde; geoteknik mühendisliğinde ise nesnelerin boyutlarını, şekillerinin sayısal olarak değerlendirilmesinde, granüler zeminlerin şekil özelliklerinin belirlenmesinde, bu şekil parametrelerinin kompaksiyon dayanımı, en büyük en küçük boşluk

oranları ve permeabilite özellikleri ile ilişkileri araştırılmasında kullanılmaktadır. Zemin malzemelerinin granülometri deneylerinde, görüntü işleme tekniğinin kullanımı, diğer birçok fiziksel deneye oranla daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

YSA'nın inşaat mühendisliğindeki kullanım alanları genellikle beton teknolojisi üzerinedir.

Öncü ve ark. (2006) yapmış oldukları çalışmalarında, beton numuneleri üzerinde görüntü işleme tekniği yardımıyla gözeneklik durumunu araştırmışlar, katkılı ve katkısız numunelerin sonuçları göz önüne alındığında, katkı maddesi kullanılarak üretilen betonlarda gözenekliğin daha düşük seyrettiğini belirtmişlerdir.

Felekoğlu ve Güllü (2006) yaptıkları çalışmada, klinker kalitesinin belirlenmesinde görüntü işleme teknikleri kullanmışlar. İstatistiksel açıdan anlamlı örneklemeyle klinker kesitinde alansal faz ve porozite dağılımı belirlenmeye çalışmışlar ve sonuç olarak kullanılan yöntemin klinker faz ve porozite dağılımının tespitinde üreticiye sağladığı avantaj ve dezavantajlar ortaya koymuşlardır. Ayrıca yöntemin geliştirilmesine yönelik öneriler sunmuşlardır.

Coşar ve ark. (2005) çalışmalarında, polipropilen malzemelerin (petrol parçalanırken çeşitli kimyasal reaksiyonlar sonucu ortaya çıkan sentetik malzeme) çekme deneyi kamera ile görüntülemişler ve yakalanan görüntü çerçeveleri görüntü işleme yöntemleriyle değerlendirilerek deneyle ilgili istatistiksel sonuçlar elde etmişlerdir.

Gönen ve ark. (2006) mermer parçasının hasarsız ve düzgün olan yüzeyini ayırt etmek amacıyla yaptıkları çalışmalarında, yüzeylerde bulunan periyodik kesme izlerini görüntü işleme yöntemleri ve Fourier analizi (matematik, fizik, kimya, astronomi ve mühendislik bilimlerindeki salınım ve titreşim hareketleri gibi periyodik olayları inceleyen analiz fonksiyonları) ile incelemişlerdir.

Özen (2007) çalışmasında, agrega şekil parametreleri ve beton basınç dayanımı arasındaki ilişkileri dijital görüntü işleme ve analizi metotları kullanılarak incelemiştir. Elde ettiği dijital görüntülerden, basınç dayanımı ile olan ilişkilerinin incelenmesi amacıyla birçok agrega şekil parametresi hesaplamıştır. Elde ettiği sonuçlara göre, agrega tipi ve basınç dayanımı arasında güçlü bir korelasyon görülmesine karşın, agrega şekil parametreleri ve basınç dayanımı arasında zayıf korelasyonlar bulmuştur. Çalışmasında agrega şekil parametreleri ve beton dayanımı arasındaki ilişkilerin agregaların numune kesit yüzeyi içerisindeki dağılımlarının yaratacağı etkilerin de göz önüne alınarak tekrar incelenmesini önermektedir.

Kılınç (2009) çalışmasında, çelik numune üzerinde farklı çap ve derinlikte oluşturulmuş deliklerin taramalı elektron mikroskop ile fotoğraflarını elde etmiş, daha sonra MATLAB programı yardımı ile piksel cinsinden derinliklerini bulmuş ve bunlar üzerinde inceleme yapmıştır. Çelik numunelerini korozif ortama bırakarak korozyona uğramasını sağlamıştır. Çelik numunede oluşan oyukların taramalı elektron mikroskop ile fotoğraflarını aldıktan sonra MATLAB programı ile derinliklerini saptamıştır. Gerçek oyuk derinlik değeri ile görüntü işleme yöntemini kullanarak belirlenen derinlik değerlerini karşılaştırmış ve maksimum % 6,5 bağıl hata ile gerçek oyuk derinliklerinin belirlenebildiği sonucuna varmıştır.

Onat (2008) çalışmasında, betonun kırılmadan önceki potansiyel davranışının görüntü işleme tekniklerini kullanılarak (MATLAB programında hazırlamış olduğu yazılımla) incelemiştir. 50x10x10 cm boyutunda dikdörtgen prizma seklinde lifli beton numuneleri hazırlamış ve daha sonra bu beton numunelerinin 28 günlük kürden sonra üç noktalı eğilme deneyine tabi tutmuştur. Yüke karşılık gelen deplasman miktarlarını bir komparatör yardımıyla ölçmüştür. Ayrıca deneye tabi tutulan numuneleri yüksek çözünürlüklü 10.3 Mega pikselli dijital kamera ile seri çekim yaparak görüntüler elde etmiştir. Bu görüntüleri MATLAB programında kodlanan yazılımla işlemiş ve ortaya çıkan deplasman miktarlarını aynı anda elde edilen komparatör değerleri ile karşılaştırmıştır.

Karakuş (2006) yapmış olduğu çalışmasında, kayaçların özelliklerinin belirlenmesine yönelik olarak Visual Basic Programlama dili kullanılarak bir görüntü analiz programı geliştirmiştir. Kayaçların renk farklılıklarına dayalı özelliklerinin görüntü işleme metotları ile tespit edilebilirliği ortaya koymuştur.

Bal (2006) yaptığı çalışmasında, bir malzemeye ait görüntülerden, görüntü işleme tekniklerini kullanarak malzeme özelliklerini belirlemiştir.

Kılınçarslan ve ark. (2009) yapmış oldukları çalışmalarında, değişik yoğunlukta betonlar üretmiş ve bu betonların röntgen filmlerini çekmişlerdir. Elde ettikleri görüntüleri görüntü işleme teknikleri kullanarak işlemişlerdir.

Gaydecki ve ark. (2000) yaptıkları çalışmalarında, beton içinde gömülü olan çelik çubuklarını tespit edebilmek için endüktif sensörü (kendisine yaklaşan metal cismi temas olmadan algılayan sensör) olan portatif bir tarama sistemi kullanmışlardır. Elde ettikleri görüntüler üzerinde görüntü işleme tekniklerini kullanmışlardır. Bu sayede beton içinde gömülü olan donatıların sahip oldukları birçok parametreye ait verilere ulaşabilmişlerdir. Kullandıkları yöntemin inşaat mühendisliğinde tahribatsız deney yöntemi olarak kullanabilir olduğunu göstermişlerdir.

Schutter (2002) çalışmasında, binalarda oluşan çatlakları izlemek için video mikroskop ile birlikte otomatik görüntü analizinden oluşan bir sistem geliştirmiştir. Bu sistem sayesinde hassas ve gelişmiş bir analiz yöntemi geliştirmiştir. Geliştirilen sistem laboratuvar testleri sırasında beton kirişler ve döşemeler üzerinde denenmiştir. Ayrıca Belçika'nın Ghent kentindeki tarihi bir bina üzerinden de ölçümler yaparak değerlendirmiştir. Sonuç olarak binalardaki çatlakların yerinde izlenmesi için, video mikroskobu ve otomatik görüntü analizi kombinasyonun kullanıcı dostu ve çok hassas bir yöntem olduğunu belirtmiştir.

Nambiar ve Ramamurthy (2007) yaptıkları çalışmalarında, köpük betonun (çimento ve su ve istenirse agregalar ile oluşturulan bir karışımın içine, bir ön işlem ile üretilmiş özel bir köpüğün katılması ile elde edilen beton türü) yapısındaki hava boşluğu miktarının, beton mukavemetine ve yoğunluğuna etki eden parametreleri incelemişlerdir. Bu parametreleri geliştirmek için optik mikroskoba bağlı bir kamera ile görüntü analizi yapan bir program kullanmışlardır. Hava boşluklarının hacmi, büyüklüğü ve hava boşlukları arasındaki mesafenin mukavemet ve yoğunluğa etkisi olduğunu tespit etmişlerdir.

Park ve ark. (2007) yapmış oldukları çalışmalarında, cilalanmış yüzeyli beton numunelerindeki hava boşluklarını ayırt etmek için görüntüyü işleyebilmek için tam otomatik bir görüntü analiz sistemi için etkili bir algoritma hazırlamışlardır. Önerilen algoritma agrega ve çimento hamurundan hava boşluklarını ayırt etmek için matematiksel morfoloji ve renkli görüntü işlemeyi benimsemektedir. Deneysel sonuçlar önerilen algoritmanın tam otomatik görüntü analizi sistemi için uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

Nagataki ve ark. (2004) yaptıkları çalışmalarında, geri dönüşüm nedeniyle zarar görmüş beton agregalarının normal agrega için belirtilen standart test yöntemlerinin ötesinde mikro yapısal değerlendirme teknikleri de kullanmışlardır. Laboratuvarda üretilmiş geri dönüştürülmüş beton agregaların mikro yapısını floresan mikroskobu aydınlatılmasında güçlü kaynaklar kullanılan bir mikroskop çeşidi) ve görüntü analizi kullanarak incelemişler ve mikroskobik düzeyde araştırmalar yapmışlardır.

Yu ve ark. (2007) çalışmalarında, beton yapılarda güvenlik değerlendirmesinde çatlakların ölçümü ve kontrolü için objektif olarak veri alabilmek için bir sistem önermişlerdir. Önerdikleri sistem mobil bir robot sistemi ve bir çatlak tespit sisteminden oluşmaktadır. Mobil sistem duvar üzerinde hareket ettirilerek bir CCD kamera (görüntüyü elektrik sinyallerine çeviren, görüntüde daha az gürültüye sahip daha kaliteli görüntüler veren kamera türü) sayesinde veriler elde etmişlerdir. Çatlak tespit sistemi sayesinde görüntüyü işleyerek elde edilen görüntülerden çatlakları tespit etmişlerdir. Doğru çatlak tanısını

sağlamak için, geometrik ve çatlak desenine görüntü işleyerek rutin olarak bakmışlardır. Önerilen sistemin laboratuvar ve arazi deneyleri için uygun olduğunu görmüşlerdir.

Sinha ve Fieguth (2006) yaptıkları çalışmalarında, borulardaki çatlakları tespit etmek için istatistiksel bir filtre geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri filtre sayesinde çatlak algılama parametrelerinin etkilerini incelemişler ve çeşitli boru görüntülerinde sonuçlar sunmuşlardır.

Santos ve ark. (2007) çalışmalarında beton tabaka yüzeylerinin pürüzlülüğü miktarının ara yüz yapışma gücü ile arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Beton numuneler hazırlanarak farklı pürüzlendirme teknikleri kullanarak örnek substrat yüzeyler (alt yüzey) hazırlamışlardır. Substrat yüzey pürüzlülük profillerini görüntü işlemeyle elde etmişlerdir. Çeşitli pürüzlülük parametrelerini bu profillere göre değerlendirmişler ve uygun yapışma gücü ile ilişkilendirmişlerdir.

Spyrou ve Davison (2001) yapmış oldukları çalışmalarında, çelik T saplama bağlantı elemanlarının bağlantı yapıldığı yerdeki gerilmeden dolayı oluşan deformasyonlarını ölçebilmek için görüntü yakalama ve görüntü işleme tekniklerini kullanmışlardır. Uygulama, yüksek sıcaklıklarda yapılan testlerde deformasyonların ölçülmesi ile ilgili sorunları çözmek için geliştirilmiş olmasına rağmen, aynı zamanda ortam sıcaklıklarında geleneksel teknikler üzerine de avantajlar sağlamıştır.

Başyiğit ve ark. (2012) yaptıkları çalışmalarında beton sınıflarını görüntü işleme tekniği kullanarak tahmin etmişlerdir. Üç farklı su/çimento oranı kullanarak farklı dayanım sınıflarında beton üretmişler, elde edilen numuneler üzerinde, özgül ağırlık, su emme ve boşluk oranı, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Görüntü işleme yöntemi kullanılarak elde edilen dayanım değerleri ile üretilen betonların basınç dayanım değerleri ilişkileri irdelemişlerdir.

Chang ve Lien (2007) yaptıkları çalışmalarında, beton içindeki çelik çubukları tarafından oluşturulan genleşme gerilmelerinin farklı korozyon ve çatlak aşamalarında tahmin etmek ve karşılaştırmak için sayısal bir model kullanmışlardır. Uzun vadeli izlemede dijital görüntü işleme uygulamasının fizibilitesi çelik çubuk korozyonu ve genleşme gerilmesi ölçüsünü tutarlı sonuçlarla doğrulamışlardır.

Yue ve ark. (2003) çalışmalarında, asfalt betonu örnekleri kullanmışlar ve sonlu elemanlar yöntemine bağlı bir görüntü işleme yöntemi önermişlerdir. Mekanik analiz için kaya mekaniği ve yol üstyapı mühendisliğinde dolaylı çekme testi olarak bilinen Brazilian yöntemi (brezilya deneyi) uygulamışlardır. Sayısal sonuçlar göstermiştir ki, bu yeni sonlu elemanlar yöntemine dayalı dijital görüntü işleme tabanlı jeomekanik analizinde malzemenin

homojen olmamasının dikkate alınmasını, dolaylı çekme testleri yükleme ekseni boyunca çekme gerilmesi dağılımı üzerinde de önemli etkileri olduğunu göstermişlerdir.

Robins ve ark. (2001) yapmış oldukları çalışmalarında, betonarme kirişlerde açıklık ortasında sapma ile ilgili birim şekil değiştirme ve çatlak genişliği profilleri kurulması ile ilgili çalışmışlardır. Görüntü işleme tekniği ile eğilme testi sırasında çelik lif donatılı beton kiriş üzerinde birim şekil değiştirme ve çatlak genişliği profilini ölçmek ve izlemek için bir gerilme analizi tekniği açıklamışlardır.

Özerkan (2009) çalışmasında uçucu kül içeren kendiliğinden yerleşen betonun (yerleştirilme ve sıkıştırma sırasında vibrasyon gerektirmeyen beton) hava boşluğu özelliklerini görüntü analizi ile belirlemiştir. Deney için veri seti olarak dört farklı uçucu kül miktarı ve üç farklı düzeyde hava sürükleyici katkı içeren toplam on adet kendiliğinden yerleşen beton karışımı hazırlanarak, beton numunelerindeki hava boşluğu oranları incelenmiştir. Betonun hava boşluğu parametrelerini belirlemek amacı ile beton yüzeyinin görüntü analizi yapılmış, boşluk dağılımını belirlemek için ise görüntü işleme tekniği kullanılmıştır. Geliştirilen bu yöntemle kendiliğinden yerleşen betonun hava boşluğu parametrelerini karakterize etmek ve bu parametrelerin kendiliğinden yerleşen betonun donma-çözülme döngülerine, dayanıma etkisini belirlemek amacıyla kullanılmıştır.

Soroushian ve Elzafraney (2005) çalışmalarında, betondaki mikro çatlakları ve boşluk sistemlerinin temel özellikleri ölçümü için formülasyonlar geliştirilmişler. Dik kesitlerden elde ettikleri 2 boyutlu verilerden betondaki mikro çatlakları ve boşluk sistemlerinin yapısını 3 boyutlu niceliksel bilgi gelişimi için stereolojik (3 boyutlu örneklerin 2 boyutlu kesitlerinden elde edilen verilere dayanarak, onların gerçekteki 3 boyutlu özellikleri ile ilgili yorumlar yapılmasını sağlayan bilim dalı) ilişkiler sunmuşlardır. Betonun mikro yapısal analizi için yeni geliştirilen bilgisayar yazılımında oluşturulan algoritmalarda görüntü işleme yöntemini ele almıştır.

Quick ve ark. (2002) yapmış oldukları çalışmalarında, yeni geliştirdikleri görüntü işleme algoritmalarının birinde, çeşitli çelik çubuk görüntülerini kullanarak, çubuklara dair nitel ve nicel özellikleri elde etmeyi amaçlamışlardır.

Abdel-Qader ve ark. (2006) çalışmalarında, beton köprülerdeki çatlakları otomatik olarak muayene edebilmek için Temel Bileşen İlkeleri (TBİ) tabanlı bir algoritma sunmuşlardır. TBİ için kullanılacak kümeleri tanımlamak için köprü görüntülerinden oluşan bir veri tabanı kullanmışlardır.

Sinha ve Fieguth (2006) yaptıkları çalışmalarında, taranan yeraltı beton kanalizasyon boru görüntülerinin otomatik analizi için sağlam ve verimli bir görüntü bölütleme algoritması

(nesneleri belli ölçütlere ya da ayırıcı özelliklere göre bölümlere ayırma) sunmuşlardır. Algoritma bir dizi morfolojik (nesnenin biçimiyle ilgili özelliklerinin değerlendirilmesi) işlemler izleyerek görüntü üzerinde ön işlemler uygulayarak yeraltı beton kanalizasyon borularındaki boru çatlakları, delikler, birleşme yerleri, yan yüzeylerdeki ve çökmüş yüzeylerdeki hataların sınıflandırılmasında kullanmışlardır. Önerdikleri yöntemi, Kuzey Amerika'da büyük şehirlerdeki gömülü beton kanalizasyon borularından elde edilmiş beş yüz adet taranmış görüntü üzerinde test etmişler ve tamamen otomatik hale getirilebileceği önerisinde bulunmuşlardır.

Soroushian ve ark. (2003) çalışmalarında, betondaki mikro çatlaklara ve boşluklara odaklanmak için betonun otomatik olarak niceleyici mikro yapısal soruşturmasında kullanılmak üzere görüntü işleme ve analiz teknikleri geliştirmişlerdir. Farklı numune hazırlama teknikleri kullanabilmek için floresan ve taramalı elektron mikroskobu kullanmışlar ve beton gövdesi ile mikro çatlaklar /boşluklar arasında keskin bir kontrast üretmişlerdir. Otomatik eşik, mikro çatlakların/boşluklar ve bağlanan boşlukların kesişim gelişimini, boşlukların geometrik özelliklerine bakarak mikro çatlakların formlarını ayırt etmek ve gürültü filtreleme için özel olarak görüntü işleme ve analiz teknikleri geliştirmişlerdir.

Mora ve Kwan (2000) yaptıkları çalışmalarında, dijital görüntü işleme ile beton için iri agreganın dışbükeyliği, şekil faktörü ve küreselliğini tespit edebilmek için bir ölçme yöntemi geliştirmişlerdir. Diğer dijital görüntü işleme yöntemlerinin aksine, kullandıkları yöntem kalınlığı ve parçacıkların hacmini tahmin yeteneğine sahip olmasıdır. Böylece şekil parametrelerinin kalınlığına bağlı olarak ölçebilmişler ve agrega örneklerinde özel parçacıkların şekil parametrelerinin ağırlıklı ortalama değerlerini değerlendirmek için kullanmışlardır.

Isa ve ark. (2008) yapmış oldukları çalışmalarında, yapay sinir ağı kullanarak agrega partikülleri için akıllı bir sınıflandırma sistemi uygulamışlardır. Görüntü analizi ile elde edilen alan ve çevre özelliklerini yapay sinir ağları için giriş verisi olarak kullanmışlardır.

Fernandes ve ark. (2000) çalışmalarında, betona gömülü çelik çubuk görüntülerinden modifiye edilmiş bir Hough dönüşümü (sayısal görüntülerdeki doğruların ve diğer şekillerin tespiti işlemi için kullanılan görüntü analiz algoritması) ile görüntü ön işleme algoritması kombine ederek pozisyon bilgisini çıkarabilmek için bir yöntem kullanmışlardır.

Öztürk ve Baradan (2008) çalışmalarında, görüntü analiz sonuçları ile çimento harçlarının gözenek yapısı ve basınç dayanımı değerleri arasındaki ilişkiye belirlemek için bir matematiksel model elde etmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda görüntü analiz tekniklerinin

mikro yapı incelemeleri ile basınç dayanımı değerleri ile gözenek alanı oranları arasında ilişkiye tanımlamak için büyük bir kapasiteye sahip olduğunu göstermektedir.

Lopez ve ark. (2009) çalışmalarında, yüksek performanslı hafif betonda büzülme birim şekil değiştirmesi, sünme ve elastik doğasını incelemek için görüntü analizi ve birim şekil değiştirme haritalaması kullanmışlardır. Birim şekil değiştirme haritalaması ile düzgün olmayan deformasyonların mikro yapısal özellikleri ile ilgili olduğunu göstermişlerdir.

Head ve Buenfeld (2006) yapmış oldukları çalışmalarında, sertleşmiş betonun görüntülerinden doğal agrega partiküllerinin ara yüzey gözenek dağılımını ölçmek için bir yöntem sunmuşlardır.

Akkurt ve ark. (2010) yapmış oldukları çalışmalarında, malzemelerin radyasyon koruyucu özelliklerini test etmek için alternatif bir yöntem öne sürmüşlerdir. Üç farklı beton ve kurşunun röntgen film görüntüleri üzerinde çalışmışlardır.

Wang ve ark. (2007) çalışmalarında, görüntüdeki karmaşık arka planda yol kaplamasındaki çatlakları çıkarmak için çok parçalı bir yöntem sunmuşlardır. Simülasyon sonuçları göstermiştir ki, kullandıkları yöntemin görüntüde kenar algılamada yüksek kalite faktörü olduğunu göstermiştir.

Obaidat ve ark. (1998) yapmış oldukları çalışmalarında, bitümlü karışımların mineral agregaların boşluk oranını ölçmek için yarı otomatik bir bilgisayar görme sistemi kullanımının fizibilitesini incelemişlerdir. Dijital görüntü düzeni ve planimetre ölçme aletinden oluşan kompleks bir sistem kullanmışlardır. Mineral agrega boşluk ölçümü için önerilen yöntemi sıcak karışım asfalt alanında kalite kontrolü artırmak için de öngörmektedirler.

Rousan (2004) yapmış olduğu çalışmasında, ince ve kaba agrega şekil özelliklerini ölçmek amacıyla Agrega Görüntüleme Sistemi (AGS) geliştirmiştir. Ayrıca yine çalışmasında agregaların şekil özellikleri dağılımına göre yeni bir sınıflandırma yöntemi de geliştirilmiştir.

Kabir ve ark. (2009) çalışmalarında, akustik izleyici kullanarak bir beton barajın dijital sondaj deliği görüntülerinden hasar tahmin etmedeki etkinliği değerlendirmek için çeşitli kenar algılama algoritmalarının yanı sıra istatistiksel tabanlı dönüşüm metotları kullanmışlardır. İstatistiksel tabanlı yaklaşımın akustik görüntülerden hasar tespiti için en etkin yöntem olduğunu bulmuşlardır. Dikey çatlaklar, yatay çatlaklar, boşluklar, leke ve alt yapı hasarı gibi hasarları, görüntülerden hasar ölçmek için bir kümeleme tekniği kullanmışlardır.

Chang ve ark. (2010) yapmış oldukları çalışmalarında, dijital görüntü işleme yardımıyla korozyon sonucu meydana gelen ilk çatlama ve kısmi çatlama aşamalarında

ölçülen genleşme gerilme dağılımını incelemişlerdir. Tahminler, deneysel tahminler ve sayısal sonuçların karşılaştırılması sonucunda kullandıkları yöntemin doğru olduğunu görmüşlerdir.

Kim ve Buttlar (2009) çalışmalarında, asfalt malzemelerin çeşitli kırılma mekanizmalarını araştırmak için yüksek çözünürlüklü görüntü işleme tekniği kullanarak farklı geometrik şekilli masif kütleler veya dairesel şekilli taneciklerden yararlanarak modelleme yapmayı sağlayan bir sayısal çözümleme yöntemi olan ayrık elemanlar metoduna dayalı bir heterojen kırık modeli geliştirmişlerdir. Deney sonuçları ve sayısal simülasyonları farklı test koşullarında karşılaştırmışlardır. Geliştirdikleri heterojen kırık modelleme yaklaşımının yarı-gevrek malzemelerin çeşitli kırılma mekanizmalarını anlamak için uygun olduğunu tespit etmişlerdir.

Chang ve ark. (2009) yaptıkları çalışmalarında, üniform tek eksenli basınca maruz bırakılan öngerilimli beton numune üzerindeki kalıcı gerilmeleri belirlemek için ayrık dijital görüntü işleme ile fotoelastik kaplama ve delik delme sisteminden oluşan kombine bir sistem geliştirmişlerdir. Uygulanan gerilmenin büyüklüğünü hesaplamışlar ve beton numuneye başlangıçta uygulanan gerilme değerleri ile karşılaştırmışlardır.

Huon ve ark. (2009) çalışmalarında, kızılötesi termografi (termal görüntüleme) ve dijital görüntü korelasyonunu yarı-statik yükler altında harç, beton ve yüksek performanslı beton numunelerin mekanik davranışını analiz etmek için kullanmışlardır.

Zhu ve Brilakis (2010) çalışmalarında, makine öğrenme tekniklerini kullanarak şantiyelerdeki beton malzeme bölgelerinin saptanması için yeni bir yöntem sunmuşlardır. Mevcut yöntemlerle malzeme bilgileri alımı için malzemenin özel renk ve doku aralıkları kullanımı yapılmıştır. Her bir şantiye görüntüsünü ilk görüntü segmentasyonu (bölünmesi) ile bölgeye ayırmışlardır. Daha sonra, her bölgenin görsel özelliklerini hesaplamışlar ve ön eğitimli sınıflandırıcı ile sınıflandırmışlardır. Manuel sınıflandırma ile kullandıkları yöntemi karşılatırmışlar ve yöntemin geçerli olduğunu görmüşlerdir.

Çankaya (2012) çalışmasında görüntü işleme yönteminin betonun basınç dayanımının belirlenmesindeki performansını görebilmek amacıyla görüntünün sayısallaştırılması uygulaması ile bir dizi analitik modelleme gerçekleştirmiş, analitik modellemenin başarısı deneysel verilerle kıyaslayarak irdelemiştir. Çalışma 15x15x15 cm boyutlarında 23 adet beton küp numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Beton basınç dayanımı tayini, dijital görüntüden özellik çıkarma ve YSA kullanılarak tahminde bulunma olarak iki fazda gerçekleştirilmektedir. Numunelerin yüzey görüntüleri alınarak MATLAB programında görüntünün sayısallaştırılması işlemi yapılmıştır. Sayısallaşan görüntüden elde edilen veriler (matris formları) yapay sinir ağlarında işlenmiştir. Fotoğraflama işleminden sonra her bir

numune hidrolik pres aletinde kırılarak numunelere ait beton basınç dayanımı değerleri not edilmiştir. YSA metodu ve deneysel sonuçların doğruluk oranı yaklaşık % 98,88 olarak bulunmuştur.

Keleşoğlu (2006) çalışmasında YSA ile betonarme kiriş kesitlerinin analizi ele almıştır. Sayısal uygulamalarda ankastre kiriş ve tablalı kiriş kesitleri kullanmış ve bu kesitlerin donatı alanları ile taşıma gücü ve tasarım momentleri analiz etmiştir. Ağ yapısı olarak geri yayılımlı YSA tercih edilmiş ve veriler normalize edilerek ağa sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, sayısal sonuçlarla karşılaştırılmış ve YSA'nın mühendislik sistemlerinin analizi için alternatif bir metot olabileceği belirtilmiştir.

Uysal ve Tanyıldızı (2011) çalışmalarında mineral katkılar ile kendiliğinden yerleşen beton (KYB) karışımların çekirdek basınç dayanımlarının yapay sinir ağları ile tahmini üzerine incelemelerde bulunmuşlardır. Bu çalışma, perde duvar elemanların çekirdek basınç dayanımı, su emme ve birim ağırlığı varyasyonun belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Veri seti olarak bir sıkıştırılmış beton (konvansiyonel beton) ve altı farklı şekilde mineral katkılı kendiliğinden sıkışan beton numuneler üretilmiştir. Yapılan deney sonuçlarına göre YSA tahminlerinin mineral katkılar ile kendiliğinden yerleşen beton karışımların çekirdek basınç dayanımının tahmininde alternatif bir yaklaşım olabileceği gözlemlenmiştir.

Dantas ve ark. (2013) çalışmalarında inşaat ve yıkıntı atıklarından oluşan betonların 3,7, 28 ve 91 günlük basınç dayanımlarını yapay sinir ağları ile tahmin etmek için bir takım deneyler yapmışlardır. Test ve eğitim seti için uygun YSA modeli oluşturmuşlar ve bu YSA modeli ile belirlenen günlerdeki betonun basınç dayanımı yüksek oranla tahmin edildiğini gözlemlemişlerdir.

Çankaya ve ark. (2013) çalışmasında beton basınç dayanımının belirlenmesinde kullanılan geleneksel deney yöntemlerini irdeleyerek bu kapsamda alternatif yeni bir deney yöntemi olarak görüntü işleme tekniğinin betonun basınç dayanımının belirlenmesindeki performansını görebilmek amacıyla bir dizi uygulama sonucu yüksek bir doğruluk oranı elde edildiğini görmüştür. Çalışamada görüntü işlemenin malzeme ve yapı mühendisliğinde kullanımında kısıtlar ve yöntemin avantajları tartışmıştır.

Alshihri ve ark. (2009) çalışmalarında 3, 7, 14 ve 28 günlük kür koşullarına maruz bırakılmış hafif betonların basınç dayanımlarının yapay sinir ağları ile tahmini üzerine bir araştırma yapmışlardır. Çalışmada basınç dayanımı sekiz farklı parametreye göre modellenmiştir. Bunlar kum, su/çimento oranı, hafif ince agrega, hafif iri agrega, süper akışkanlaştırıcı, silis dumanı, silis dumanı ilaveli çimento ve kür periyodudur. Çalışmadan

elde edilen sonuca göre YSA modelleri ile basınç dayanımı tahmini mümkün kılınabilmektedir.

Bildik (1998) çalışmasında normal basınç dayanımlı betonların karışım hesaplarının yapay sinir ağları ile modellenmesi üzerinde çalışmıştır. Ayrıca çalışmada lifli betonların karışım hesabının yapılması amacıyla değişik su/çimento oranları için slump deneyleri yapılmıştır. Slump sonuçları da YSA'da eğitilerek çelik liflerin slump üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Severcan (1998) çalışmasında deprem yer hareketi karakteristikleri ile tek serbestlik dereceli (TSD) sistemlerde oluşan hasar arasındaki ilişki YSA ile incelemiştir. 12 farklı TSD'li sistem 75 farklı depreme maruz bırakılarak süneklilik değerleri elde edilmiştir. Deprem yer hareketlerinin maksimum ivme değerleri, maksimum hız değerleri, maksimum deplasman değerleri, ivmegram şiddetleri, kuvvetli yer hareketi süreleri, Housner spektrum şiddetleri ve Enerji yayılma indeksi ile hasar arasındaki dağılım elde edilmiştir. Daha sonra Deprem yer hareketlerinin karakteristik özelliklerinin TSD'li sistemlerde oluşan hasar üzerindeki etkinlikleri YSA yardımıyla bulmuştur.

Çankaya ve ark. (2013) çalışmasında betonun basınç dayanımının görüntü işleme ve yapay sinir ağları kullanarak iki fazda belirlemiştir. Görüntünün sayısallaştırılması ve sayısallaştırılan görüntünün yapay sinir ağlarında eğitilmesinde bazı istatistiki metotlardan faydalanmıştır. Medyan, aritmetik ortalama ve standart sapma gibi istatistiki kurallardan faydalanarak yapay sinir ağlarında özellik bloğu (feature block) çıkarma işlemi gerçekleştirmiş, YSA modelinde eğitilecek, sayısallaşan görüntüden elde edilen matrisin boyutları küçültülerek YSA'da yüksek doğruluk oranını ile sonuçlar elde etmiştir.

Çelik (2004) çalışmasında son yıllarda çok hızlı bir şekilde gelişen YSA, zeminlerin bazı gerilme ve deformasyon özelliklerinin modellenmesinde kullanmıştır. Çalışma; düşey gerilme artışının, ön konsolidasyon basıncının ve boşluk oram değişiminin modellenmesi olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, zemin yüzeyine etkiyen uniform yüklü dikdörtgen ve dairesel alanlardan dolayı zemin ortamında oluşacak düşey gerilme artışları YSA ile modellenmiş ve regresyon modelleri ile karşılaştırılmıştır. İkinci aşamada, ön konsolidasyon basıncının YSA ile modellenmesi yapılmış ve model ön konsolidasyon basıncını belirleme yöntemleri (grafik yöntemler) ile karşılaştırılmıştır. Üçüncü aşamada ise YSA ile boşluk oram değişimi modellenmiştir. Sonuç olarak, matematiksel modellerin kurulmasının çok zor olduğu karmaşık zemin problemlerinin çözülmesinde, YSA'nın modeli ifade edecek yeterince veri olması durumunda iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Subaşı ve ark. (2008) çalışmalarında taze beton özelliklerinden yararlanılarak beton basınç ve yarmada çekme dayanımı değerlerini YSA kullanılarak tahmin edebilecek bir model geliştirilmesi amaçlamıştır. Bu kapsamda farklı karışım oranlarına sahip betonlar hazırlamıştır. Hazırlanan taze beton karışımları üzerinde çökme, birim ağırlık ve hava miktarı tayini deneyleri gerçekleştirmiştir. Ayrıca her bir karışımdan alınan 15x15x15 cm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde 28. günde basınç ve yarmada çekme dayanımı deneyleri gerçekleştirmiştir. Oluşturulan YSA'da beton karışımlarına ait su/çimento oranı, çökme miktarı, taze beton birim ağırlığı ve hava miktarı girdi parametresi, basınç ve yarmada çekme dayanımı değerleri ise çıktı parametresi olarak kullanılmıştır.

Betonun bir başka mekanik özelliğinden elastisite modülünün bulunması üzerine de literatürde yapılmış bir takım çalışmalar mevcuttur. Bunlardan bazıları şu şekildedir;

Arıoğlu ve Arıoğlu (1999) çalışmasında iri agreganın basınç dayanımının betonun elastik modülü üzerindeki etkisini çeşitli ampirik yaklaşımlar yardımıyla incelemiştir. Yapısal stabilitenin önem taşıdığı durumlarda, betonun elastik modülünün büyük olması, istenen elastik modülün değeri ise karışımda kullanılacak agreganın elastik modülünün yüksek seçimi ile en ekonomik şekilde gerçekleştirilebiliyor olması sebepleriyle iri agrega basınç dayanımının beton elastik modülüne etkisi ampirik yaklaşımlar yardımıyla belirli bir ayrıntı içinde incelenmiştir.

Türk ve ark. (2010) çalışmasında, farklı oranlarda uçucu kül ve silis dumanlı kendiliğinden yerleşen beton (KYB) karışımlarına ait basınç, çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri arasındaki ilişki araştırılmıştır. KYB karışımları için bir takım deneyler gerçekleştirilmiş, üretilen numuneler kalıptan alındıktan sonra, toplam 28 gün süreyle suda kür edilmiştir. Her bir beton özelliği için 3'er numune kullanılarak, basınç ve yarmada çekme dayanımı ve elastisite modülü deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerden elde edilen çok sayıda veri kullanılarak yapılan regresyon analizi sonucu bulunan basınç dayanımı-çekme dayanımı ve basınç dayanımı-elastisite modülü bağıntıları önceki çalışmalara ait bağıntılarla karşılaştırılmıştır. Sonuçta, bu çalışmadan elde edilen basınç-çekme dayanımı ve basınç dayanımı-elastisite modülü bağıntılarının yüksek dayanıma sahip kendiliğinden yerleşen betonların çekme dayanımı-elastisite modülü bağıntılarının yüksek dayanıma sahip kendiliğinden yerleşen betonların çekme dayanımı ve elastisite modülünü doğru tahmin etmede kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Emiroğlu ve ark. (2009) çalışmasında atık lastiklerden beton içinde kullanmak amacıyla ince ve iri lastik agregalar üreterek bu agregaları kullanarak betonarme kiriş elemanlar üretmiştir. Bu elemanlar eğilmede çekme deneylerine tabi tutularak deney

esnasında kirişlerin orta noktalarından elde edilen sehim miktarları ölçülmüştür. Bu sehim miktarlarından faydalanarak üretilen lastik agregalı betonların elastisite modülleri belirlenmiştir. Sonuç olarak betondaki lastik miktarı arttıkça deneysel verilerle hesaplanan elastisite modülleri ile ampirik formüllerle hesaplanan elastisite modülleri arasındaki ilişkinin azaldığı belirlenmiştir. Ancak; Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) tarafından verilen formül ile deneysel olarak hesaplanan elastisite modülü arasında oldukça yüksek bir ilişki olduğu görülmüştür.

Felekoğlu ve Türel (2004) çalışmasında iki farklı dayanım sınıfındaki beton karışımları ile hazırlanan standart silindir örneklerin iki farklı yaştaki üç farklı gerilme artış hızıyla (standartların önerdiği sınırların içinde, altında ve üstünde) yüklenmesi sonucu elde edilen basınç dayanımları belirlenmiştir. Ayrıca, yüksek dayanımlı serinin gerilme-deformasyon ilişkileri ile elastisite modülleri incelenmiştir.

Özkul (2009) çalışmasında betonarme bir kesitte bulunan donatı oranına bağlı olarak kesitin elastisite modülünü belirlemeye çalışmıştır. Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarı'nda 100 ton eksenel basınç kapasiteli bir deney düzeneği geliştirilmiş, hazırlanan kolon numuneler eksenel olarak yüklenerek kırılmıştır. Deney sonuçları ve Response-2000 bilgisayar programıyla elde edilen analitik çözümler karılaştırılmış, donatı oranına bağlı olarak elde edilen elastisite modülünün deplasmanlara olan etkisi incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarında; Elastisite modülünün, kesit içerisindeki donatı oranına bağlı olarak arttığı ve deneysel olarak elde edilen $\sigma - \varepsilon$ eğrileri ile analitik olarak elde edilen eğrilerin dikkate değer biçimde yakın olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar yardımıyla regresyon analizi yapılarak; Betonarme kesit içindeki donatı oranına bağlı olarak bulunan elastisite modülü için, $E_c = 10270 \sqrt{f_{ck}} + 3000000 \rho + 130000$ (kg/cm^2) formülü önerilmiştir.

Yıldırım ve Şengül (2011) çalışmalarında beton elastisite modülü üzerinde deneysel bir araştırma yapılmış ve sonuçlarını sunmuşlardır. Su/çimento oranı, agrega, agrega tipi ve maksimum boyutu, uçucu kül içeriğinin etkilerinin araştırıldığı 60 karışım hazırlanmışlardır. Çok düşük kaliteli beton elde etmek için karışımda su / çimento oranları 2.2 gibi yüksek bir değerde tutmuşlardır. Betonların elastisite modülü ASTM C469'a göre elde edilmiştir. Betonun basınç dayanımı ve ultrasonik darbe hızı kaydedilmiştir. Elastikiyet değerlerinin deneysel olarak elde edilen modülü, tahmin modelleri kullanılarak hesaplanan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Betonun elastisite dinamik modülü de elde edilmiştir.

Arslan ve ark. (2007) çalışmalarında, 1999 Marmara Depremi sonrası ağır hasar görmüş prefabrike betonarme sanayi yapıların hesaplarında kabul edilen yapı davranış

katsayısının tespitine yönelik YSA tabanlı bir analitik çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda bu tür yapıların davranış katsayılarının yönetmelik de öngörülen 5 yerine 2.2 ile 3.5 arasında değişmesi gerektiği bulgulanmıştır.

Arslan (2010) çalışmasında betonarme yapıların deprem performansına etki eden parametrelerin etki oranlarını YSA kullanarak belirli doğrulukta tespit etmiştir.

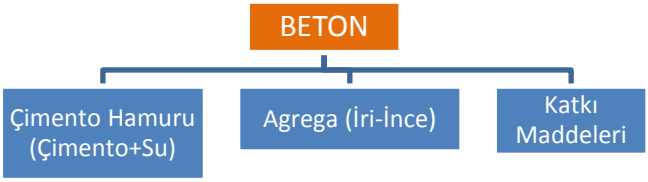
Ceylan ve ark. (2010) 1999 Marmara Depremi sonrası ağır hasar görmüş prefabrike betonarme sanayi yapıların deprem davranış katsayılarını ANFIS kullanarak yüksek doğruluk oranında belirlemiştir.

Köroğlu ve ark. (2012) FRP ile sargılanmış kolonların kapasite değerlerini (M_r-N_r) birleştirilmiş YSA (Combined ANN) yöntemi ile literatürdeki diğer geleneksel yöntemlerin oldukça üzerinde bir oranda belirlemiştir.

Yüksel ve Arslan (2010) çalışmasında dörtlü grup silindir siloların birleşim bölgelerinde oluşan tasarım kuvvetleri ve tasarım momentlerinin tahmininde YSA'nın performansını sınamış ve yüksek doğruluk oranları bulmuşlardır.

3. BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Beton, çimento, agrega ve suyun belirli bir oranda karıştırılmasıyla oluşan, yeterli süre sonunda sertleşerek (mukavemetini alarak) yüksek basınç dayanımı kazanan bir yapı malzemesidir. Yapılar kullanım amacına göre sınıflandırılırken mevcut olan ya da yapım aşamasında olan betonarme yapıların deprem ve düşey yükler altında yeterli güvenliğe sahip olup olmadığının belirlenmesinde önemli aşamalardan birisi yapıda kullanılan betonun mekanik özelliklerinin belirlenmesidir. Betonu oluşturan malzemeler Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Betonun bileşenleri

Betonun özellikleri, sahip olduğu basınç dayanımı, kıvamı, standartlara uygunluğu vb. gibi faktörlere bağlı olarak belirlenir. Beton birçok mekanik özelliğe sahiptir. Bu tezde betonun sahip olduğu mekanik özelliklerden bir kısmı anlatılacaktır.

3.1. Betonun Basınç Dayanımı

Üzerine gelen yüklerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı betonun gösterebileceği maksimum direnme kabiliyeti (eksenel basınç yükü etkisiyle, betonda oluşan maksimum gerilme) "beton basınç dayanımı" olarak tanımlanmaktadır (Erdoğan, 2003).

Betonun farklı mekanik özelliklerinden en önemlisi ve belirleyici olanı basınç dayanımıdır. Betonun basınç dayanımının diğer mekanik özelliklerine göre daha önemli olmasının çeşitli sebepleri vardır. Örneğin taşıma gücüne göre hesapta en önemli parametrelerden birisinin basınç dayanımı olması; basınç dayanımının betonun diğer mekanik özelliklerini etkilemesi, betonun nitelik denetiminde evrensel bir büyüklük olarak kabul edilmesi, basınç dayanımı deneyinin diğer dayanım deneylerine göre nispeten daha kolay bulunması, beton sınıflarının oluşturulmasında basınç dayanımının temel alınması vb. söylenebilir. Betonun basınç dayanımı ölçütüne göre yapı elemanlarının taşıma gücü belirlenmekte ve kesit alanları seçilmektedir.

Betonarme yapıların taşıyıcı sistemlerinde tercih edilebilen betonun basınç dayanımı, beton üretim ve uygulama teknolojilerindeki gelişmelerle ve depreme dayanıklı yapı kavramının önem kazanmasıyla birlikte sürekli artış göstermektedir (Öztürk ve ark., 2005).

Betonun yükleme altında hasar görmesi, agreganın ya da çimento hamurunun yeterli dayanıma sahip olamaması, çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki aderansın yeterince iyi olmamasından kaynaklanmaktadır. Çimento hamurunun kalitesi, betona uygulanan kür, agreganın şekli, dayanımı ve granülometrisi, su/çimento oranı, katkı malzemeleri, betonun sıkıştırılması, beton karışımındaki boşluk oranı vb. gibi birçok faktör betonun basınç dayanımını etkilemektedir.

3.1.1. Betonun basınç dayanımına etki eden faktörler

Beton dayanımını etkileyen faktörleri bir kısmını aşağıdaki gibi sıralayabilmek mümkündür;

1. Su/çimento oranı (yani beton üretiminde kullanılan suyun ve çimentonun miktarı),
2. Betona uygulanan karılma, taşınma, yerleştirilme ve sıkıştırılma işlemleri,
3. Çimento özellikleri,
4. Agrega özellikleri,
5. Kür koşulları ve betonun yaşı
6. Karma suyunun kalitesi, (Erdoğan,2003)

Basınç dayanımına etki eden faktörlerin araştırılmasına yönelik yapılan bir çalışmaya göre (Binici ve ark., 2000), beton basınç dayanımına etki eden faktörlerin dayanıma etkime yüzdelerine ait sonuçlar Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Beton basınç dayanımına etki eden faktörler ve etkime yüzdeleri

Faktörler	Faktörlerin Dayanım Değişikliğine Etkisi (%)
Çimento türünün etkisi	10
Granülometrinin etkisi	11
Beton üretim şeklinin etkisi	21
Betonun kompaksiyonun etkisi	26
Beton kürünün etkisi	32

Bu çalışmanın sonuçlarına göre beton üretiminin ardından belirli zaman dilimi boyunca (28 gün) uygulanacak kürün önemi oldukça fazladır. Çalışmada beton dayanımına

önemli etkisi olduğu bilinen su/çimento oranını, beton yaşı ve agrega türünün etkisinin irdelenmemiş olması ilginçtir.

Çimento Türünün Beton Dayanımına Etkileri:

Çimento, kalker ve kil karışımını hammaddelerin pişirilmeleri ile ortaya çıkan ve "klinker" olarak adlandırılan malzemenin çok az miktarda alçıtaşı ile birlikte öğütülmesi sonunda elde edilen bir üründür; su ile birleştirildiğinde hidrolik bağlayıcılık özelliği kazanmaktadır. Çimento ve suyun birleştirildiği andan itibaren bu iki malzeme arasında "hidratasyon" olarak adlandırılan kimyasal reaksiyonlar başlamakta ve devam etmektedir. Çimento tipini belirleyen özellikler, çimentonun kimyasal kompozisyonu ve çimento tanelerinin öğütülmüş oldukları inceliktir. Bu özellikler, çimentonun hidratasyon hızını etkilemektedir. Dolayısıyla bu özellikler, çimento hamurunun içerisinde ne miktarda çimento jelinin üretilebileceğini, yani çimento hamurunun dayanım kazanma hızını ve kazanılan dayanım değerini etkilemektedir (Erdoğan, 2003).

Çimentonun su ile bileşiminden oluşan çimento hamuru, beton karışımdaki agregaların yüzeylerini kaplayarak taneler arasındaki boşlukları doldurmakta ve çimento hamurunun bağlayıcılık özelliği ile birlikte agrega tanelerini bağlayarak betonu oluşturmaktadır.

Çimento hamurunun dayanımı beton dayanımını etkileyen önemli bir faktördür. Çimento dayanımını etkileyen faktörler ise; çimentonun hidratasyonu ve su/çimento oranıdır. Çimentoda hidratasyonu (çimentonun su ile kimyasal reaksiyonu) sonucu boşluk oranı azalmakta ve ters orantılı olarak kazandığı dayanım artmaktadır.

Su/Çimento Oranının Beton Dayanımına Etkileri :

Su/Çimento oranı arttıkça, betondaki boşluk oranı daha fazla olmakta ve orantılı olarak beton dayanımı azalmaktadır. Su/çimento oranı 0,1'den 0,5'e kadar artması beton basınç dayanımını artırırken 0,5'den 1,0'a kadar artması dayanımı azaltmaktadır.

Kür Ortamının Beton Basınç Dayanımına Etkileri :

Taze betonun kürü önemli bir parametredir. Betonun bulunduğu nem ve sıcaklık ortamı, çimentonun hidratasyon süresini etkilediği için betonun dayanımını da buna bağlı olarak etkilemektedir. Ayrıca beton içeriğindeki suyun ortam sıcaklığı sebebiyle

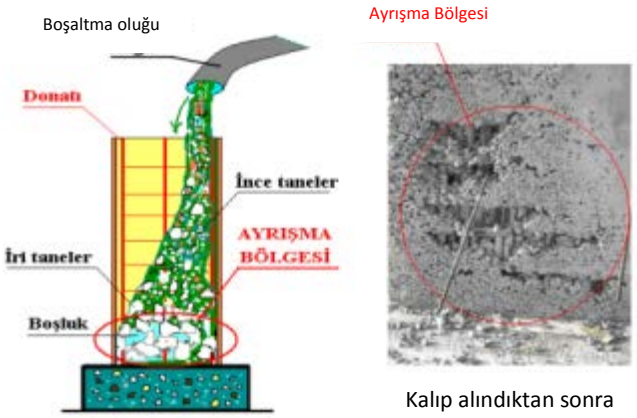
buharlaşması sonucu oluşabilecek rötre çatlaklarının (beton yüzeyindeki kılcal çatlaklar) engellenmesi için beton prizini kazanana kadar kür uygulanmalıdır.

Betonun Yerleştirilme ve Sıkıştırılması İşlemlerinin Beton Dayanımına Etkileri:

Beton homojen olmayan bir yapı malzemesidir. Çimento, agrega, su uygun oranlarda bir araya getirilerek betonu oluşturmaktadır. Beton yapımında bu malzemelerin karıştırılması işlemi gerekli süreden uzun ya da kısa olmamalıdır. Karışım süresi uzatılarak betonda segregasyon (ayrışma) oluşmamasına dikkat edilmelidir. Yerine yerleştirilen betonda büyük boşlukların bulunmaması için sıkıştırma işlemi yapılmalıdır. Taze betonun sıkıştırılması çeşitli mekanik yöntemlerle yapılmaktadır. Uygulanacak sıkıştırma yönteminin belirlenmesinde betonun işlenebilme özelliği önemlidir. Taze betonun kalıbına yerleştirilmesi iki şekilde yapılır; Taze betonun kalıplara aktarılarak sıkıştırma işlemi yönetmeliğe göre şişleme çubuğu ile betonun şişlenmesi ve belirli sayıdaki tokmak darbesi ile gerçekleştirilir. Bu yöntem insan kas gücü gerektirdiği için günümüzde büyük kütle betonların dökümünde yerini makinalarla yapılan sıkıştırma işlemlerine bırakmıştır. Taze betonun yerleştirilmesinde en yaygın ve pratik olarak vibrasyon yöntemi kullanılmaktadır. Vibratörle beton kütlesine titreşim verilerek betondaki hava çıkarılıp betonun daha az boşluklu şekilde yerleşimi sağlanır. Taze betona vibrasyon uygulamasının sağladığı yararlar:

- Betonun yerleştirilmesi kolay olduğundan ekonomi sağlamaktadır.
- Daha yoğun ve homojen bir beton elde edilmektedir.
- Kalıpları sökülen betonda, kenarların belirgin hatların düzgün şekilde oluşabilmesini sağlamaktadır.
- Daha yüksek dayanımlı beton elde edilmektedir.
- Betonarme yapı betonlarında, betonla çelik donatıların arasında daha iyi aderans sağlanmaktadır.
- Daha yüksek dayanıklılık elde edilmektedir (yapılsal.net).

Betonun yerleşimi sırasında iri taneciklerin harçtan ayrışarak kalıbın dip kısmına toplanıp segregasyona (ayrışmaya) uğramamasına dikkat edilmelidir. Bunun içinde betonun kalıba 50 cm'den daha yüksek mesafeden dökülmesi durumunda önlem alınması gerekmektedir. Betonun ayrışması olayı Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Taze betonun ayrışması (segregasyon) (Megep, 2006)

Katkı Malzemelerinin Beton Dayanımına Etkileri:

Beton karışımını oluşturmak üzere kullanılan temel malzemelerin (çimento, agrega ve suyun) karılma işleminden hemen önce veya karılma işlemi esnasında beton karışımının içerisine katılan betonun bazı özelliklerini değiştirerek performansını artırabilen veya betonun daha ekonomik olmasını sağlayabilmek için kullanılan malzemeye "beton katkı malzemesi" denilmektedir. Katkı malzemeleri; kimyasal katkı maddeleri, hava sürükleyici katkılar, ince taneli mineral katkılar vb. olarak sınıflandırılmaktadır (Erdoğan, 2003). Şantiyelerde en yaygın olarak kullanılan katkı betonun yerleşimini kolaylaştıran akışkanlaştırıcı katkılardır. Bunun yanı sıra ihtiyaca göre betonun priz süresini geciktiren ya da mukavemetini artıracak nitelikte katkı çeşitleri de kullanılmaktadır.

3.1.2. Betonun basınç dayanımının belirlenmesi

Beton basınç dayanımını ölçebilmek için değişik deney yöntemleri kullanılmaktadır. Yapıdaki betonun basınç dayanımının belirlenmesinde kullanılan yöntemler tahribatlı (hasarlı) ve tahribatsız (hasarsız) deney yöntemleri olmak üzere iki guruba ayrılır. Tahribatlı yöntemler içerisinde en çok kullanılanı, yapıdaki betondan kesilerek çıkartılan silindir şekilli karot adı verilen numunelerin eksenel basınç kuvveti etkisinde kırılmaya tabi tutulanıdır (Başka,2006).

3.1.2.1. Tahribatlı (hasarlı) deney yöntemleri

En güvenilir deney yöntemi olmasına karşın, yapıya zarar vermeleri nedeniyle zorunlu durumlarda kullanılması tercih edilir. Tahribatlı deneyler taze betonda preste küp veya silindir

numunelerin kırılması ile, mevcut betonlarda ise karot numunesinin kırılması ile yapılmaktadır.

Karot numune alma yöntemi deneyi:

Mevcut bir betonun karakteristik basınç dayanımının tespiti, en güvenilir olarak, betondan karot numunesi alınıp bu numuneye basınç deneyi uygulanmasıyla cihaz yardımıyla mevcut bir yapıdan silindir şeklinde numunelerin kesilip çıkarılması işlemidir. Karot alınacak yer konusunda baktığımızda taşıyıcı elemanın taşıma gücü belirlemek amaçlanıyorsa en büyük kesit ortalaması ve en düşük dayanım beklenen yerler tercih edilmelidir. Karot alınırken elemanın en çok zorlanan kesitinden karot alınmamalıdır. Karot alma işlemi ile ilgili görsel Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Karot alınması işlemi

Tahribatlı deney yöntemlerinde karot numune alma yönteminin yanı sıra literatürde, döşemelerin basınç dayanımlarını öğrenmek amacıyla uygulanan "gömülü numune kullanma deneyi", betonun sertliği ile ilişkili olarak sonuç veren "batma direnci testi", ve betondan alınan karota yanal kuvvet uygulayarak dayanım değerinin ölçülmesini sağlayan "kırıp-koparma (break off) testi" de mevcuttur.

3.1.2.2. Tahribatsız (hasarsız) deney yöntemleri

Tahribatsız (hasarsız) deney yöntemleriyle yapılan ölçümlerde, betonun sahip olduğu yüzey sertliği, elastiklik, yoğunluk gibi bazı özeliklerden yararlanılarak sayısal değerler elde edilmektedir Bu sayısal değerler ile standart deney yöntemi uygulanarak elde edilecek olan

beton basınç dayanımı arasındaki ilişki kullanılarak betonun basınç dayanımı yaklaşık olarak belirlenmektedir.

Beton Test Çekici Yöntemi (Schmidt Çekici)

Beton test çekici yönteminde betonun yüzey sertliği ölçülmektedir. Beton test çekicinin uygulanmasında aygıt içerisinde yer alan bir kütle aracılığıyla sertleşmiş betonun yüzeyine darbe vurulmaktadır. Yaylı bir sisteme bağlı olan kütle geri sıçramaktadır. Kütlenin ne kadar geri sıçradığı aygıt üzerindeki bir göstergeden sayısal olarak ölçülür ve bu sıçrama değerlerinin ortalaması kullanılarak betonun sahip olduğu basınç dayanımı yaklaşık olarak tahmin edilebilmektedir. Beton çekici yöntemi, betonun basınç dayanımını yaklaşık olarak belirlemede kullanılmakta ve bu test metodunun doğruluğu %60 ile %70 arasında değişmektedir (Küçük, 2006). Schmidt çekici yöntemi uygulaması Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Schmidt çekici uygulaması



Şekil 3.5. Schmidt çekici uygulaması (Okan üniversitesi)

Ultrasonik Yöntem (Ultrases Hızı Yöntemi)

Ultrasonik test aygıtı, ses üstü dalganın, betona gönderildiği yüzey ile geri alındığı yüzey arasındaki bir uzaklığı ne kadar zaman süresinde geçtiğini ölçmektedir. Ultrasonik test aygıtının kullanılması ile herhangi bir beton bloğun bir yüzüne ultrasonikpuls (nabız atışı gibi ritmik ses üstü vuruşlar) uygulanarak, betonun içerisinde basınç dalgaları yaratılmaktadır. Betonun içerisinde ilerleyen ses üstü dalgalar, beton bloğun diğer yüzeyinden geri alınmaktadır (kaydedilmektedir). Hesaplanan ses üstü dalga hızı ile betonun basınç dayanımı ve diğer özelikleri arasındaki ilişki yaklaşık olarak elde edilmektedir. Yapılan bir çalışmada

ultrasonik ses hızı yönteminin, beton basınç dayanımını, tek başına ancak % 80 doğrulukla tespit edebileceğini bulmuştur (Okuyan, 2007). Yine literatürde beton malzeme dayanımlarının hasarsız olarak belirlenmesinde kullanılan ultrasonik ses yayılım deneyi ile malzemelerin tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişkinin % 67 düzeylerinde olduğu verilmektedir (Özkan ve ark., 2004). Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'de sıvalı ve sıvasız kolon örneklerinden ultrasonik yöntem yardımıyla ölçüm olma işlemi gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Sıvasız bir kolonda ölçüm alma işlemi (Özçep ve ark., 2012)



Şekil 3.7. Sıvalı bir kolonda ölçüm alma işlemi (Özçep ve ark., 2012)

Birleşik yöntem (SONREB yöntemi):

Beton test çekici yöntemi sadece yüzeyin sertliği ile ilgilidir, ultrasonik yöntem ise betonun içindeki boşluklar ve beton yoğunluğuyla ilgilidir. Bu iki yöntem birlikte uygulandıklarında biri diğerinin bazı hatalarını azaltıcı veya eksiklerini tamamlayıcı olduğundan sadece birinin uygulanmasına göre daha az tahmin hatası olacağı söylenebilir. Bu yöntemde hem beton test çekici yöntemini hem de ultrasonik yöntemin birlikte kullanılmasından ötürü Birleşik Yöntem ya da SONREB adını almaktadır. Bu birleşik tahribatsız yöntemde bağıl hata oranı ± %12 civarına indirgenebilmektedir (Başyiğit ve ark., 2012).

Tahribatsız deney yöntemlerinde yaygın olarak kullanılan bu üç yöntemin dışında literatürde, beton numunelerin rezonans frekanslarının bulunmasıyla dayanımları arasında korelasyon sağlayan "rezonans frekans tekniği deneyi", numune üzerinde çekiç darbesinin oluşturduğu titreşimlerin numune içinde yayılma hızı ile doğru orantılı olarak dayanım değerinin bulunmasını hedefleyen " mekanik ses dalga hızı tekniği deneyi", numune üzerinde açılan delik derinliği ile dayanım değerinin ilişkilendirilmesi olarak bilinen "pinpenetrasyon test metodu", çekme kuvvetinin basınç dayanımı ile ilişkilendirildiği " pull-out test metodu"

ve taze betona silindir test numunesi yerleştirilmesi esasına dayanan "break off test metodu" yöntemleri de mevcuttur.

Betonun basınç dayanımını bulurken kullanılan birtakım deney metotları güvenirlik, uygulama kolaylığı, doğruluk ve ekonomiklik yönünden karşılaştırılması ise Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Deney yöntemlerinin karşılaştırılması (Ergün ve Kürklü, 2005)

Deney Tipi	Güvenilirlik	Uygulama Kolaylığı	Doğruluk	Ekonomiklik
Schmidt Çekici	Zayıf	Çok İyi-İyi	Zayıf-İyi	Çok İyi
Çekip Çıkarma	İyi	İyi	İyi	Zayıf-İyi
Penetrasyon	İyi	İyi	İyi	Zayıf-İyi
Ultrasonik Ses Hızı	Zayıf-İyi	Zayıf	Zayıf-İyi	Zayıf-İyi
Gömülü Numune	İyi	Çok İyi	İyi	Zayıf-İyi
Karot Numune	İyi	Zayıf	İyi	Zayıf

Çizelgeden de görüldüğü üzere "iyi bir doğruluk oranı veren metodun uygulaması zordur ya da tam tersi olarak uygulaması kolay olan deney metodunun doğruluk oranı zayıftır". Hem doğruluk oranının yüksek olduğu hem de uygulama kolaylığı açışından tatmin edici düzeyde olabilecek yeni bir dayanım belirleme yöntemine ihtiyaç duyulmaktadır. Yeni bir yöntem olarak numune görüntüleri kullanılarak yapılan ölçümlerde, mekanik yöntemlerin aksine malzeme yüzeyine doğrudan temas olmadan ölçüm yapabilmesi, karmaşık ve pahalı deney düzenekleri gerektirmeden ölçüme imkân veriyor olması nedeniyle, görüntü işleme yöntemleri kullanılarak malzemelerin yük altında deformasyon davranışlarının incelenmesi son yıllarda ilgi duyulan araştırma konularından birisi olmuştur (Güler ve ark., 2007).

Bahsedilen görüntü işleme yönteminin betonun basınç dayanımında ve diğer mekanik özelliklerinde kullanılabilirliğinin test edilmesi amacıyla da bu tezin deneysel ve analitik çalışma kısmı oluşturulmuştur.

3.2. Betonun Çekme ve Eğilme Dayanımı

Betonun çekme dayanımı, eksenel çekme deneylerinden elde edilen değerdir. f_{ctm} deneylerden elde edilen ortalama çekme dayanımı, f_{ctk} ise karakteristik çekme dayanımıdır. Betonun karakteristik çekme dayanımı, eksenel çekme elemanı deneylerinden elde edilecek dayanımın, bu değerden az olma olasılığı belirli bir oran olan (genellikle %10) dayanım değeridir.

Betonun karakteristik eksenel çekme dayanımı Denklem 3.1'de verilen bağıntıdan hesaplanabilir. Denklem 3.1'de f_{ck} betonun karakteristik basınç dayanımıdır.

$$f_{ctk} = 0{,}35\sqrt{f_{ck}}\ (\text{MPa}) \qquad (3.1)$$

Çeşitli beton sınıfları için bu denklemden elde edilen eksenel çekme dayanımı değerleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Beton sınıfları ve dayanımları (TS500-2000)

	Beton Sınıfı	Karakteristik Silindir (150 mm x 300 mm) Basınç Dayanımı, f_{ck} (MPa)	Eşdeğer Küp (150mmx150mm) Basınç Dayanımı, f_{ck} (MPa)	Karakteristik eksenel çekme Dayanımı, f_{ctk} (MPa)	28 Günlük Elastisite Modülü Ec (MPa)
TDY 1997	**C16**	16	20	1.4	27000
	C18	18	22	1.5	27500
TDY 2007	**C20**	20	25	1.6	28000
	C25	25	30	1.8	30000
	C30	30	37	1.9	32000
	C35	35	45	2.1	33000
	C40	40	50	2.2	34000
	C45	45	55	2.3	36000
	C50	50	60	2.5	37000

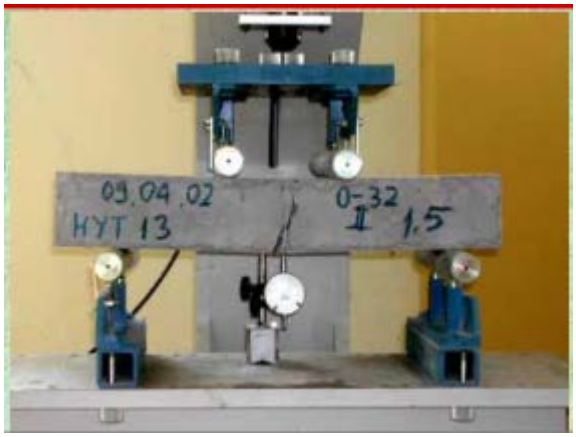
Betonun çekme dayanımı, eğilme ve silindir yarma deneylerinden de elde edilebilir. Eksenel çekme dayanımı f_{ctk}, silindir yarma deneyinden elde edilen çekme dayanımını 1,50 ile; eğilme deneyinden elde edilen çekme dayanımını da 2,0 ile bölerek yaklaşık biçimde hesaplanabilir (TS 500, 2000). Betonda çekme dayanım deneylerinden silindirde yarma deneyi Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Çekme yüklerinin dolaylı olarak uygulanması ile çekme dayanımının tespit edildiği bu yöntem "Brezilya Yarma Deneyi" olarak da adlandırılmaktadır. (Ün, 2007)





Şekil 3.8. Yarmada çekme dayanım deneyi (Ün, 2007)

Betonun eğilme dayanımı ise eğilme deneyleri yardımıyla bulunur. 4 noktalı eğilme deneyi Şekil 3.9'da, 3 noktalı eğilme deneyi ise Şekil 3.10'da gösterilmiştir.





Şekil 3.9. 4 noktada eğilme deneyi (Ün, 2007)

Şekil 3.10. 3 noktada eğilme deneyi (Ün, 2007)

3 nokta eğilme deneyi ile alınan sonuçlar 4 nokta eğilme deneyindekine göre daha yüksektir. Dolayısıyla deney yöntemine göre aynı malzemeden elde edilmiş olan beton kirişlerde farklı dayanımlar ortaya çıkmaktadır.

3.3. Betonun Yorulma Dayanımı

Betonda maksimum statik gerilme değerinin altındaki gerilme değerlerinin tekrar tekrar uygulanmaları sonucunda malzemede yer alan kırılma olayına "yorulma" denilmektedir.

3.4. Betonun Gerilme-Birim Deformasyon İlişkisi

Malzemelerin bir birim uzunluğunun yük altında gösterdikleri uzama veya kısalma miktarı, "birim deformasyon" olarak belirlenmektedir. Birim deformasyon Denklem 3. 2'de verilen formülle tanımlanmaktadır.

$$\varepsilon = \Delta L / L \qquad (3.2)$$

Burada;

ε= Birim deformasyon

ΔL= Toplam deformasyon

L= Malzemenin ilk boyu olarak verilmektedir.

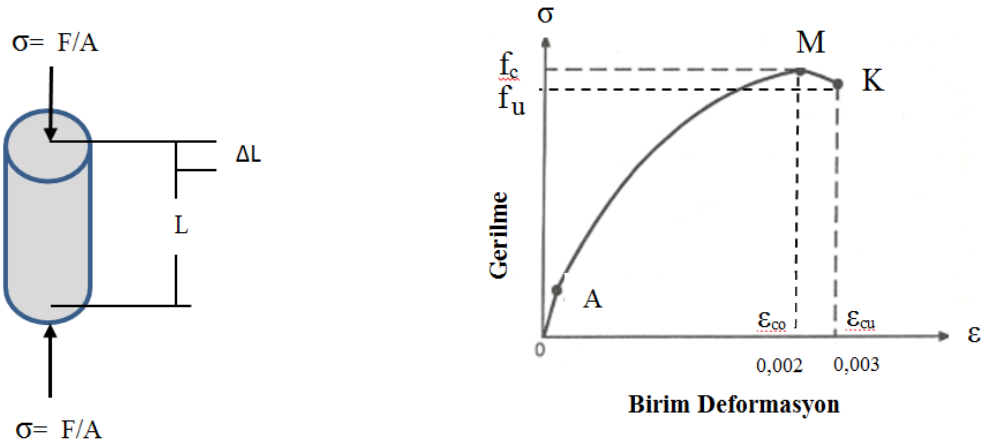
Bu formülden bulunan birim deformasyon değeri birimsizdir (mm/mm, cm/cm veya % olarak ifade edilmektedir).

Betondaki gerilme-birim deformasyon ilişkisi deneysel yöntemlerle belirlenmektedir. Bu amaçla genel olarak 15 cm x 30 cm boyutlu standart numune kullanılmakta ve basınç dayanımı deneyinde olduğu gibi, deney presinde yüklemeye tabi tutulmaktadır. Selçuk Üniversitesi Yap ve Deprem Laboratuvarında basınç presi test aletinde yüklemeye tabi tutulan numune Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Hidrolik pres aletinde beton numunenin kırılması

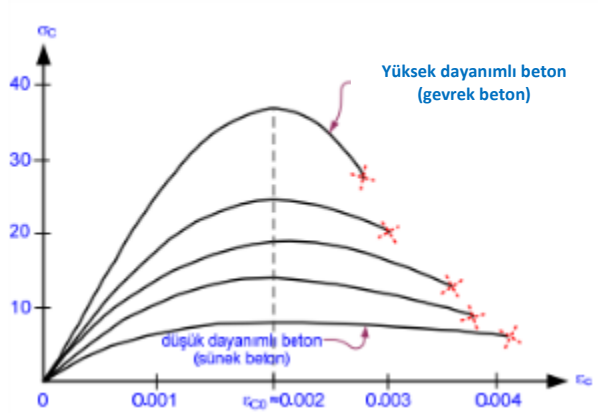
Yükleme işlemine başlamadan önce, numunenin üzerine mekanik ve elektriksel yöntemle deformasyon ölçücü cihazlar yerleştirilmektedir (LVDT vb. gibi). Yükleme hızı yaklaşık saniyede 2,5 kg/ cm^2 olarak uygulanmaktadır. Deney başladıktan sonra, uygulanan giderek artan büyüklüklerdeki gerilmeler altında betonda oluşan deformasyonlar kaydedilmekte ve numune kırılıncaya kadar bu işleme devam edilmektedir. Kaydedilen değerler, dikey ekseni gerilmeyi, yatay ekseni birim deformasyonu gösteren bir diyagram üzerine yerleştirilerek "gerilme-birim deformasyon" eğrisi elde edilmektedir. Bu eğri Şekil 3.12 'de gösterilmektedir.



Şekil 3.12. Betonun gerilme-birim deformasyon (σ – ε) eğrisi

Eğrinin OA arasındaki bölümü doğrusaldır. Ancak, A noktasına karşılık olan gerilme değerinden daha büyük gerilme uygulandığında, "gerilme- birim deformasyon" arasındaki doğrusal ilişki kaybolmaktadır. σ – ε eğrisi M noktasına kadar artış göstermektedir. M noktasına karşılık gelen gerilme değeri, maksimum gerilmeyi (dayanım) ifade etmektedir. σ – ε eğrisinin kuyruk kısmında (M ve K noktaları arasındaki bölümde) düşüş görülmektedir. K noktasına karşılık gelen değerler, betonun kırıldığı andaki f_u gerilme değerini ve ε_{cu} birim deformasyon değerini göstermektedir. Normal dayanımlı sargısız betonun maksimum gerilme altındaki deformasyonun 0.002, nihai durumdaki deformasyon değerinin 0.003 olduğu yönetmeliklerce kabul edilmiştir.

Değişik beton sınıflarına ait farklı kaliteli (dayanımlı) beton numunelerin basınç deneyi sonunda belirlenen gerilme-birim kısalma diyagramları Şekil 3.13'de verilmiştir.



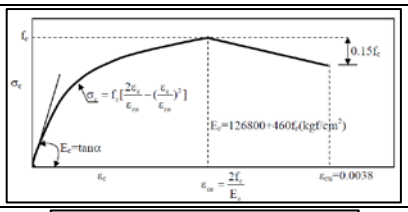
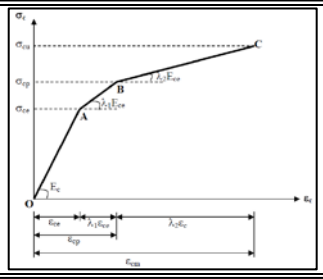
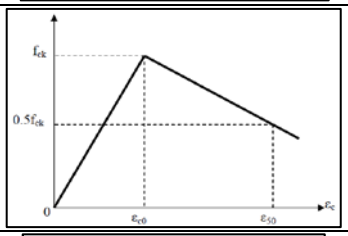
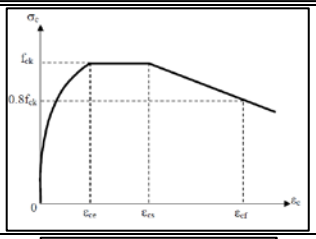
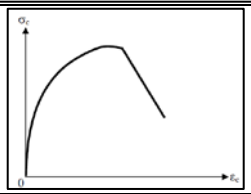
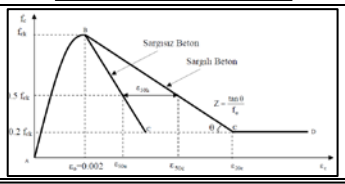
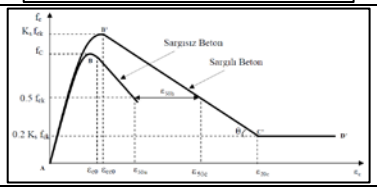
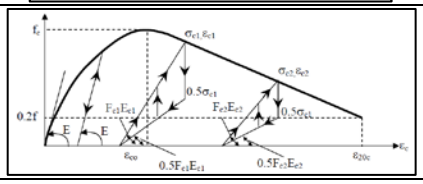
Şekil 3.13. Farklı kalitedeki betonlar için (σ – ε) eğrisi (Topçu, 2013)

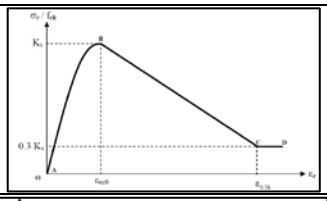
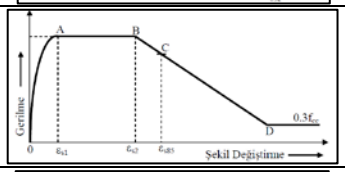
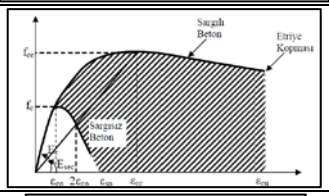
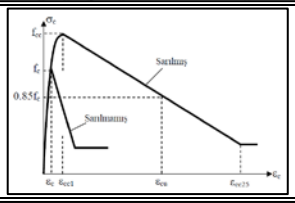
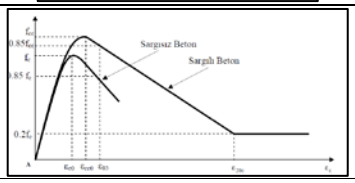
Diyagramların yorumlanmasından aşağıdaki sonuçlara varılabilir:

- Beton kalitesi arttıkça kırılma birim kısalması ε_{cu} daha küçük olur. Bu ise betonun daha gevrek olduğu yani kırılmanın da gevrek olacağı anlamına gelir. Dolayısıyla beton kalitesi azaldıkça kırılma birim kısalması ε_{cu} daha büyük olur. Bu ise betonun daha sünek olduğu, kırılmanın da sünek olacağı anlamına gelir.
- Elastisite modülü beton kalitesine bağlıdır. Beton dayanımı arttıkça doğrunun eğimi artacağı için elastisite modülü de artacaktır.
- Her tür betonda maksimum gerilmeye karşılık gelen kısalma yaklaşık aynıdır, $\varepsilon_{c0}\approx 0.002$ dir (Topçu, 2013).
- Beton kalitesi artıkça eğrinin tepe noktası belirginleşir.

Ayrıca Özkul (2009) çalışmasında beton için tek bir gerilme-şekil değiştirme eğrisinin bulunmadığını, aksine her beton için farklı eğriler mevcut olabileceğini söylemiştir. Betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisinin, çok sayıda bileşenden etkilendiğini, bu sebeple de bugüne kadar çeşitli araştırmacıların birçok beton modeli öne sürdüğünü söylemiştir. Bu modeller Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Betonun gerilme-şekil değiştirme yaklaşımları

Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi	*Öneren Bilim Adamı*
	**Hognestad**
	**Chan (1995)**
	**Roy ve Sözen (1964)**
	**Soliman ve Yu (1967)**
	**Sargın (1971)**
	**Kent ve Park (1971)**
	**Park, Priestly ve Gill**
	**Thompson ve Park**

	**Vallenas, Bertero ve Popou (1977)**
	**Sheikh veÜzümeri (1980)**
	**Mander (1988)**
	**Kappos (1991)**
	**Saatçioğlu ve Razvi (1992)**

3.5. Poisson Oranı

Eksenel yük uygulaması nedeniyle oluşan yanal yöndeki birim deformasyonun eksenel yöndeki birim deformasyona oranı "poisson oranı" olarak adlandırılmaktadır (Erdoğan,2003)

$$\mu = \varepsilon_y / \varepsilon_x \qquad (3.3)$$

Burada;

μ= Poisson oranı

ε_y = Eksenel yük nedeniyle oluşan yanal birim deformasyon.

ε_x = Eksenel yük nedeniyle oluşan eksenel birim deformasyon.

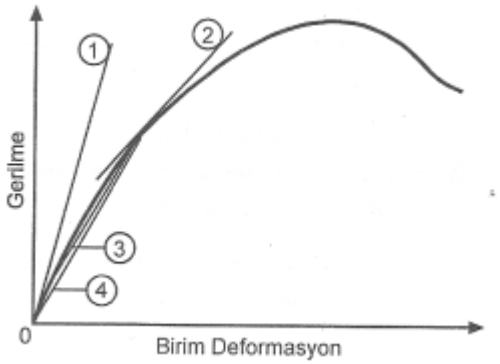
Betonun poisson oranı 0,15 – 0,30 değerleri arasındadır ve genellikle 0,20 kabul edilebilir. Betonun kalitesi ve uygulanan gerilme miktarı betondaki poisson oranını etkileyen faktörlerdir.

3.6. Betonun Elastisite Modülü ve Kayma Modülü

Betonda elastisite modülü değeri çeşitli yöntemlerle bulunabilir. Bunlardan en bilineni, hazırlanan beton numuneye deney presinde basınç gerilmeleri uygulanmakta ve her basınç gerilmesine karşılık gelen deformasyonlar ölçülmektedir. Deney sonunda, betonun "gerilme-birim deformasyon" eğrisi elde edilmektedir. Bu eğri kullanılarak ve betondaki bu ilişkinin doğrusal olduğu varsayılarak, $E= \sigma / \varepsilon$ ilişkisi hesaplanmaktadır (E: elastisite modülü). Betondaki elastisite modülünü elde edebilmek için, betondaki $\sigma - \varepsilon$ ilişkisi doğrusal olduğu kabul edilmekte ve gerçek olan eğriyi temsil ettiği varsayılan böyle bir doğru çizginin eğimi hesaplanabilmektedir. Bu amaçla, sıralanan dört değişik yöntemden birisini uygulayabilmek mümkündür (Erdoğan, 2003). Bunlar;

3.6.1. Başlangıç teğet yöntemiyle elastisite modülünün bulunması

$\sigma - \varepsilon$ eğrisine, başlangıç noktasından teğet olarak geçen bir doğru çizgi çizilmektedir. Çizilen bu doğru çizgi, $\sigma - \varepsilon$ eğrisi gibi kabul edilmekte ve bu doğrunun eğimi ($E= \sigma / \varepsilon$) hesaplanmaktadır. Bu yöntemle bulunan elastiklik modülü, ancak küçük gerilmeler altındaki betonun gerçek durumunu yansıtmaktadır. Şekil 3.14'te betonun elastisite modülünün bulunmasında kullanılan değişik yöntemler gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Betonun elastik modülünün bulunmasında kullanılan değişik yöntemler; (1) Başlangıç teğet yöntemi, (2) Teğet yöntemi, (3) Sekant yöntemi, (4) Kiriş yöntemi (Erdoğan, 2003)

Bu yöntemler arasından 4. Yöntem olarak bilinen kiriş yönteminden bahsedilmeyecektir.

3.6.2. Teğet yöntemiyle elastisite modülünün bulunması

σ – ε eğrisi üzerinde herhangi bir nokta belirlenmekte ve σ – ε eğrisinin üzerindeki bu noktadan teğet olarak geçen bir doğru çizgi çizilmektedir. Pratikte böyle bir nokta, maksimum gerilmenin %40'ına karşılık gelen gerilme değer temel alınarak belirlenmektedir. Çizilen bu doğru çizgi, betonun σ – ε eğrisi imiş gibi kabul edilmekte ve doğrunun eğimi (E= σ / ε) hesaplanmaktadır.

3.6.3. Sekant yöntemiyle elastisite modülünün bulunması

Betonun σ – ε eğrisinin üzerinden herhangi bir nokta belirlenmekte ve hem eğrinin başlangıç noktasından (0 noktasından) hem de belirlenen bu noktadan geçen bir doğru çizilmektedir. Bu noktanın seçiminde, genellikle, betonun maksimum gerilme değerinin %40'ına karşılık gelen gerilme değeri temel alınmaktadır. Çizilen bu doğru çizgi, betonun σ – ε eğrisi imiş gibi kabul edilmekte ve doğrunun eğimi (E= σ / ε) hesaplanmaktadır.

Ayrıca TS 500-2000'e göre normal ağırlıktaki betonlar için "j" günlük betonun elastisite modülü Denklem 3.4'te verilmiştir.

$$E_{cj} = 3250 \sqrt{f_{ckj}} + 14000 \quad \text{(MPa)} \qquad (3.4)$$

Bu denklemdeki f_{ckj} değeri, "j" günlük betonun karakteristik silindir basınç dayanımıdır. 28 günlük beton esas alınarak, çeşitli beton sınıfları için hesaplanan E_c değerleri Çizelge 3.3'de verilmiştir. Bu denklemle verilen değerler, 0,4 f_{ck} gerilme düzeyine karşılık olan sekant elastisite modülü tanımına uygundur.

Betonun bir diğer mekanik özelliği olan kayma modülü de, Denklem 3.5'te verilen bağıntıdan yaklaşık olarak hesaplanabilir (TS 500, 2000).

$$G_{cj} = 0{,}40\ E_{cj} \qquad (3.5)$$

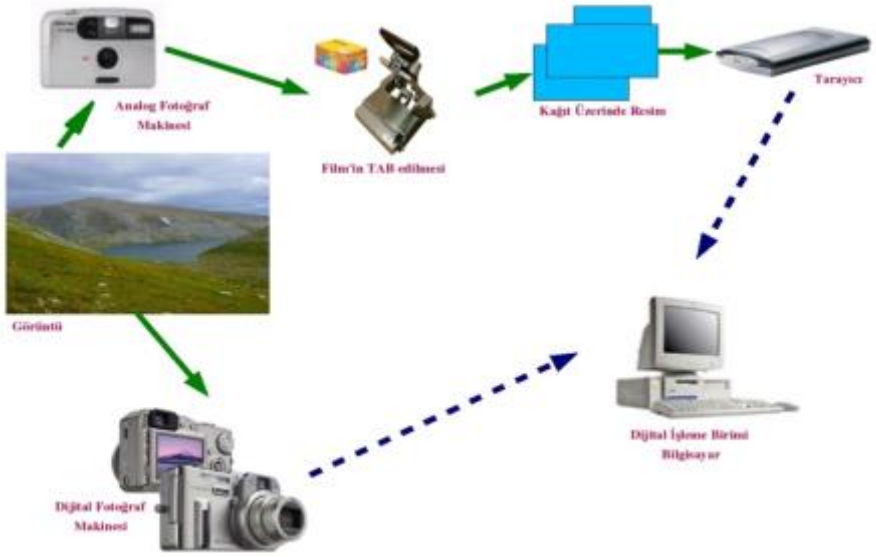
Burada;

G_{cj} = j günlük betonun kayma modülü

E_{cj} = "j" günlük betonun elastisite modülü

4. GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNOLOJİSİ

Görüntü işleme (Image Processing), verilerin yakalanıp ölçme ve değerlendirme işlemlerinden sonra, başka bir aygıtta okunabilir bir biçime dönüştürülmesidir. Görüntü işleme kaydedilen mevcut görüntüler üzerinde iyileştirme ve bilgisayar aracılığı ile görüntülerin işlenmesi olarak bilinir. Görüntü işleme sistemlerinin dizayn ve analizinde işlem görecek görüntü, uygun ve gerekli ölçüde matematiksel olarak karakterize edilirler. Şekil 4.1'de görüntü işleme tekniği uygulaması ile ilgili işlem döngüsü gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Doğadan alınan görüntünün iki farklı yöntemle sayısallaştırılması (Özbek, 2005)

Görüntü işleme, sinyal işleme kapsamında yer alan ve hızla gelişen önemli bir alandır. Görüntü işleme, sayısal bir resim haline getirilmiş olan gerçek yaşamdaki görüntülerin bir giriş resmi olarak işlenerek o resmin özelliklerinin ve görüntüsünün değiştirilmesi sonucunda yeni bir resim oluşturulmasıdır. Bilgisayarda görüntü işlemek için ise görüntünün bilgisayar ortamına uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Bu dönüşüme sayısallaştırma (digitizing) adı verilir. Bir resmin fotografik sunumunu, daha doğrusu sayısal forma dönüştürülmesi çeşitli şekillerde olanaklıdır. Buna farklı teknikler kullanılarak resmin sayısallaştırıldığı tarayıcılar örnek olarak verilebilir. Yada analog/sayısal dönüşümün kullanılarak resmin sayısal hale dönüştürüldüğü sistemler (Frame-Grapper), uzaktan algılamada uçak ya da uydulara yerleştirilen çok kanallı tarayıcılar yine örnek olarak verilebilir (Russ, 1999).

Sayısal bir resim deyince akla analog bir sinyalin (frekans ve genişliğinin değişmesine rağmen gönderildiği gibi alınan sinyal) sayısal bir sinyale dönüştürülmesi gelmelidir. Bu da obje tarafından yayılan enerjinin (analog sinyal) bir algılayıcı tarafından öngörülen elektromanyetik aralıkta algılanarak sayısal sinyal haline dönüştürülmesi ile olanaklıdır. Görüntü iki boyutlu bir işaret kaydıdır. Bir görüntü üzerindeki parlaklık hem seviye olarak hem de konum olarak sürekli değişen bir değişkendir. Buna karşılık bilgisayar içinde değerler ayrık sayılar biçiminde temsil edilirler. Bunun için bir resmin bilgisayara girilebilmesi, onun belirli sayıda konum (ya da nokta) ve belirli sayıda parlaklık değeri ile ifade edilmesi ile mümkündür. Sayısallaştırma denen bu işlem resmin sürekli değişkenlerini ayrık değişkenlere dönüştürmek olarak tanımlanabilir. Günümüzde dijital fotoğraf makinaları sayısal görüntüleri doğrudan depolayabilmekte ve onların analizi için ön işlemleri sağlayabilmektedir (Erkan,2009).

Sayısal görüntü işleme (dijital görüntü işleme) yöntemleri iki ana kullanım alanı doğrultusunda önem kazanmaktadır;

1. Yorum yapabilmeyi geliştirmek için resimli bilgi sağlanması,
2. Görüntülerin saklama, iletişim, gösterme gibi faaliyetler ile otomatik algılama işlemleri vasıtasıyla işlemden geçirilmesi.

4.1. MATLAB Gereçleri ile Görüntü İşleme Uygulamaları

Görüntü işleme uygulamalarını geliştirmek, gerçekleştirmek, eğitimini vermek klasik programlama dilleri ve teknikleri ile kolay olmamaktadır. Bu nedenle görüntü işleme algoritmalarına yönelik fonksiyon kütüphaneleri bu programlama dillerine eklenmiş ve hazır araçlar geliştirilmiş, hatta bu işlemlere yönelik özel programlama dilleri geliştirilmiştir. MATLAB bir teknik programlama dili ve ortamıdır. Kontrol sistemlerinden haberleşmeye, istatistikten finansal analizlere kadar birçok uygulama alanına yönelik hazır algoritma ve fonksiyona sahip olan MATLAB'ın görüntü işlemeye yönelik fonksiyonları ve gereçleri mevcuttur. Bu gereçler sayesinde MATLAB görüntü işleme uygulamaları geliştirilmesinde en çok tercih edilen uygulama ortamlarından biri olmuştur. MATLAB hazır fonksiyonlar ve programlama yoluyla birçok alandaki yoğun matematiksel algoritma ve işlemlerin gerçekleştirilmesini sağlayan bir matematiksel çözüm platformudur (Demir, 2006). MATLAB geliştirme ortamının sağladığı özellikler kullanılarak görüntü işlemeye yönelik uygulama ara yüzleri gerçekleştirilmiştir.

MATLAB ile;

- Matematiksel hesaplamalar,
- Algoritma geliştirme (işin hangi etaplardan geçilerek yapılacağını gösteren çalışma planı)
- Veri elde etme
- Modelleme ve simülasyon
- Veri analizi
- Bilimsel grafikleme
- Uygulama geliştirme yapabilmek mümkündür.

MATLAB görüntü işleme fonksiyonları işlevlerine göre şu şekilde gruplara ayrılabilir;

- Görüntü yükleme fonksiyonları: Görüntü dosyalarını MATLAB ortamına aktarmak için kullanılırlar.
- Görüntü fonksiyonları: Görüntü matrislerini ekranda resim olarak görüntülemek için kullanılırlar.
- Görüntü yazma fonksiyonları: Görüntü matrisini dosya olarak kaydetmek için kullanılırlar.
- Görüntü dönüşüm fonksiyonları: Görüntü türlerini birbirine dönüştürmek için kullanılırlar.
- Uzamsal dönüşüm fonksiyonları: görüntü üzerine uzamsal işlemler yapmak için kullanılırlar.
- Görüntü analizi ve istatistik fonksiyonları: Görüntü analizi gerçekleştiren ve istatistik değerler çıkaran fonksiyonlardır.
- Görüntü aritmetiği fonksiyonları: Görüntüler için aritmetiksel işlemler yapılmasını sağlarlar.
- Görüntü düzenleme ve iyileştirme fonksiyonları: Görüntüyü iyileştirmek için kullanılırlar.
- Doğrusal filtreleme ve dönüşüm fonksiyonları: Doğrusal filtre oluşturma ve uygulamak için kullanılırlar.
- Biçimsel işlem fonksiyonları: Görüntü türüne göre biçimsel işlemler yapmak için kullanılırlar.

- Alan tabanlı, komşuluk ve blok işlem fonksiyonları: Görüntünün bir bölümü için işlem yapılmasını sağlayan fonksiyonlardır.
- Renk haritası fonksiyonları: Renk haritaları ile ilgili işlemleri gerçekleştiren fonksiyonlardır (Demir, 2006).

Görüntü işleme araç kutusu ile işlemler yapılabilmesi için görüntünün MATLAB çalışma ortamına aktarılması gerekmektedir. Araç ile BMP (Bit Map Picture), JPEG (Joint Photographic Experts Group), TIFF (Tagged Image File Format), GIF (Graphics Interchange Format), PNG (Portable Network Graphics) türündeki görüntü dosyaları işlenebilir.

- BMP : Microsoft Windows Resim formatıdır. 1 – 2 – 4 – 8 – 16 – 24 – 32 bit derinliğinde olabilirler.
- GIF : Grafik arabirim formatıdır. 1 bitten (siyah – beyaz), 8 bite kadar [0,255] renk desteği vardır. Bu aralıkta griskala resim veya 256 renkten oluşmuş renkli resim oluşturulabilir.
- JPEG : Sıkıştırılmış resim formatıdır. Griskala resimde 8 – 12 bit kayıplı, RGB resim formatında 24 – 36 bit kayıplı veya az kayıplı olabilirler.

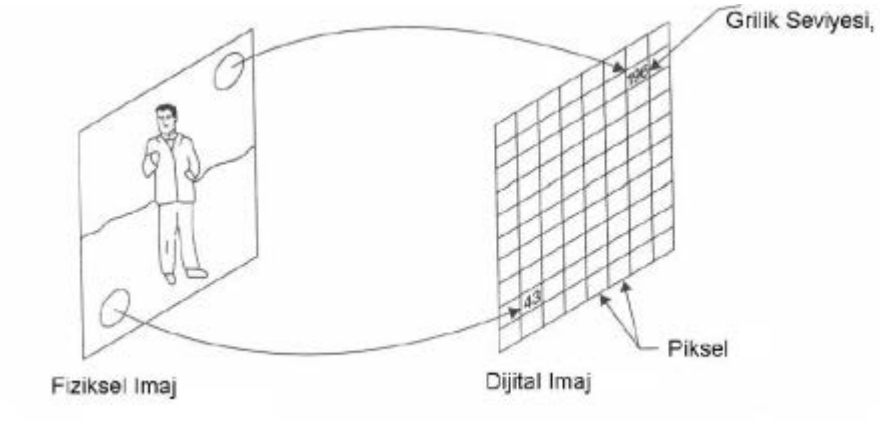
MATLAB menüleri kullanılarak dosya, düzenleme, grafik, program işlemleri, pencere ve yardım işlemleri yapılabilir. Açılan pencerede sol altta yer alan start düğmesine basılarak MATLAB araç kutularına, simülasyon ve görsel ara yüz tasarlama araçlarına erişilebilir.

4.1.1. MATLAB'da görüntü okuma

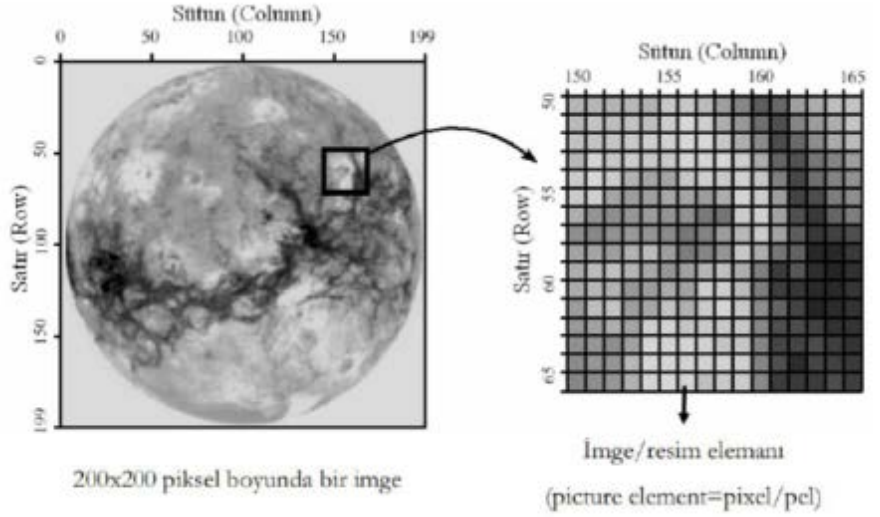
MATLAB ile bir görüntü dosyası matris olarak uygulama ortamına alınır. Bu matris üzerinde yapılan işlemler, uygulanan algoritmalar sonucunda elde edilen matriste bir resim olarak görüntülenebilir. Bir görüntünün temel bileşeni piksel-resim elemanı (pixel-picture element) dır. Piksel; sürekli zamanda temsil edilen bir resmin uygun örnekleme frekansı ile sayısallaştırılmasıdır. Piksel fonksiyonu resmin iki boyutlu olmasından dolayı x,y cinsinden temsil edilebilir. Dolayısı ile görüntü deyince m x n boyutlu piksellerden oluşan bir matris gelmelidir.

Dijital görüntüde, her piksele yerleştirilen sayı, o noktadaki parlaklığı yansıtmaktadır. Dönüştürme işlemi sayısallaştırma olarak adlandırılır. Her piksel için görüntünün parlaklığı örneklenir ve sayısal olarak değerlendirilir. İşlemin bu adımı, her piksel için o noktadaki parlaklık ya da karanlığı simgeler. Bu işlem tüm pikseller için gerçekleştirildiğinde görüntü

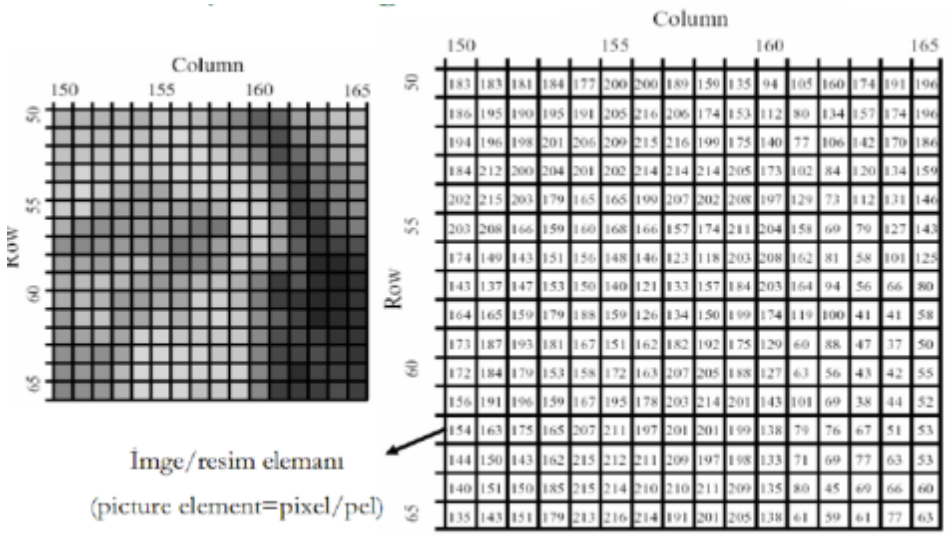
dörtgen sıralı bir şekilde gösterilmiş olur. Her piksel, tam bir konum ya da adrese (satır ve sütun numarasıyla) grilik seviyesi denen tam bir değere sahiptir. Bu sıralı dijital veri şu anda bilgisayarda işlenmek için uygun bir hale gelmiştir. Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te görüntünün dijital karşılığı verilmiştir.



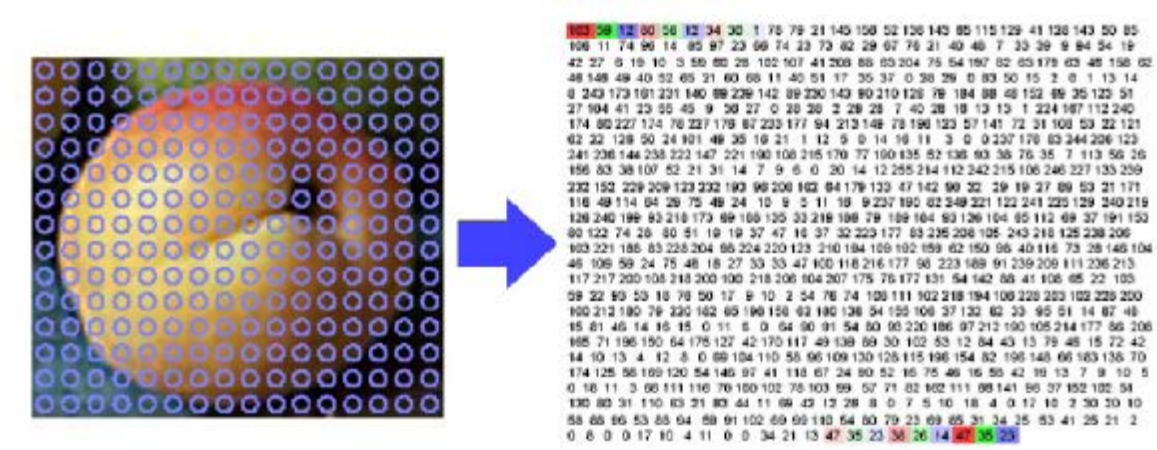
Şekil 4.2. Bir fiziksel görüntü ve dijital karşılığı (Güler ve ark, 2007)



Şekil 4.3. Sayısal imgede piksel kavramı (McAndrew, 2004)



Şekil 4.4. Sayısal imgede piksel kavramı-matris (McAndrew, 2004)



Şekil 4.5. Gerçek görüntü ve dijital görüntü karşılığı (Yıldırım ve ark, 2003)

Yukarıdaki şekillerden de görüldüğü üzere iki boyutlu matriste gerçek görüntüde bulunan renk skalasındaki sayısal değer matris satır ve sütunlarına tam sayı olarak işlenmiştir. 1 ve 0'lardan oluşan sayısal görüntü yapısı a[m,n], 2 boyutlu dünyadan elde edilen a(x,y) fonksiyonundan örnekleme tekniği kullanılarak oluşturulur. Görüntü sayısallaştırılırken x ve y gibi fonksiyon olarak tanımlanıp, satır ve sütunlardan oluşan [mxn] boyutunda matrislere dönüştürülür.

Her piksele atanan değer ise o pikselin parlaklık değerinin en yakın tamsayıya yuvarlatılmıştır halidir. Bu durum Denklem 4.1'de fonksiyon olarak gösterilmiştir.

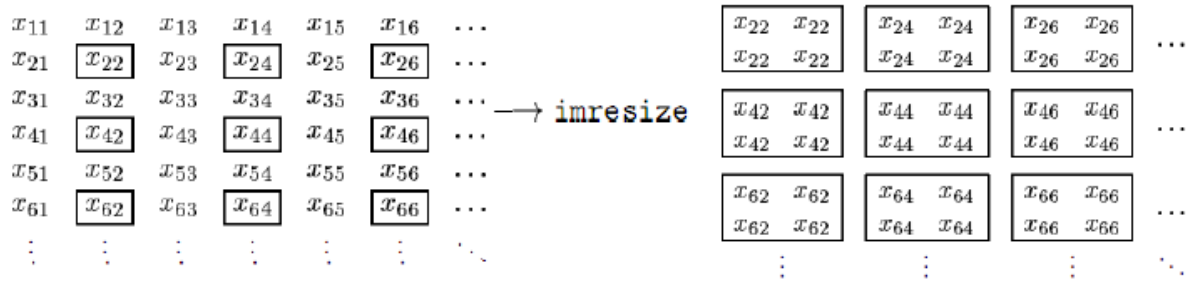
$$g = f(x,y) \tag{4.1}$$

Denklemde *g* sayısal görüntüye, *x* matristeki satır sayısına, *y* ise sütun sayısına karşılık gelmektedir.

MATLAB ortamında görüntüyü okumak için "imread" komutu kullanılır. Okunan görüntüye ait matrisin boyutları ise "size" komutu ile görülebilir.

Görüntü hakkında bilgi almak için ise "imfinfo" komutu kullanılır.

MATLAB 'da görüntünün çözünürlüğünü değiştirmek için "imresize" komutu kullanılır. MATLAB'da imresize komutunun uygulaması Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. MATLAB'de imresize komutunun gösterimi

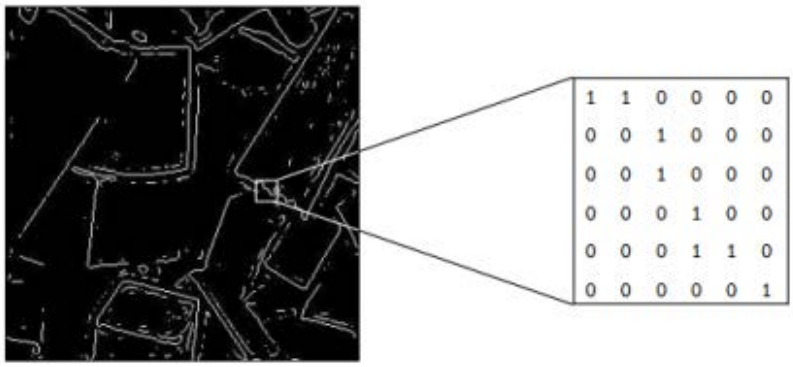
MATLAB tarafından desteklenen görüntü tipleri: Binary (ikili) görüntü, Gri Seviyeli görüntü, RGB (renkli) görüntü, İndekslenmiş görüntü olmak üzere dört (4) çeşittir.

4.1.2. MATLAB'da görüntü tipleri

4.1.2.1. İkili görüntü (binary image)

Bir resmin sayısallaştırılmasının açıklanması amacı ile öncelikle siyah-beyaz resim göz önünde bulundurulur. Siyah-Beyaz görüntü sadece iki gri değerden oluşan bir resimdir. Böylesi bir görüntüde her bir piksel ya siyah ya da beyaz olarak oluşur. Sembolik olarak beyaz pikseller 1, siyah pikseller 0 değeri ile gösterilir (Russ, 1999).

Bu şekilde 0 ve 1 kodlanmış piksellerden oluşan görüntülere ikili görüntü (binary image) adı verilir. Bir resim gri seviyeden ikili görüntüye çevrilirken [0..255] aralığının orta değeri olan 128 değeri (eşik değeri olarak olarak) alınır ve parlaklık değeri 128'den küçük olan pikseller 0' a; parlaklık değeri 128 den büyük olanlar 255'e çekilmek suretiyle resimde sadece siyah ve beyaz renklerinin kalması sağlanır. Şekil 4.7'de ikili görüntü ve görüntü koordinat sistemindeki gösterimi verilmiştir. Şekil 4.7'de görüldüğü gibi görüntünün parlaklık değerleri sadece 0 ve 1 değerlerden oluşmaktadır.



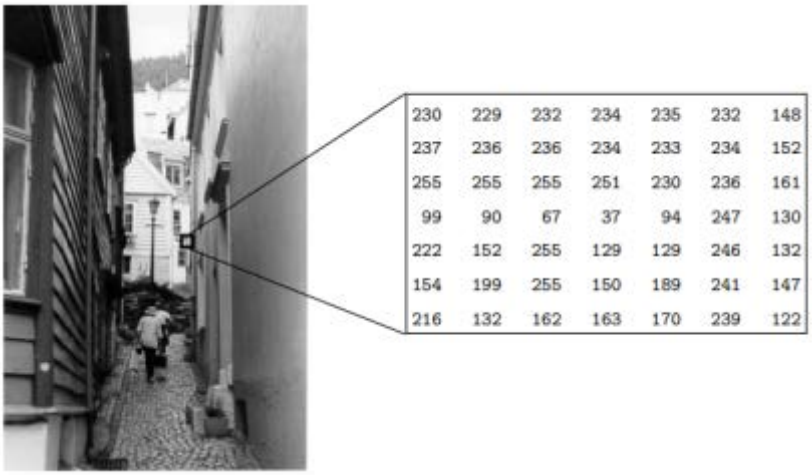
Şekil 4.7. İkili sayısal görüntü (McAndrew, 2004)

Görüntü işleme metotlarında eşikleme (Thresholding) adı verilen yöntemde ise eşik değeri kullanıcıya bırakılır. Yani, görüntü işleyen kişinin belirleyeceği değer yukarıda anlatılan 128 gibi varsayılır ve resmin diğer değerleri görüntü işleyen kişinin belirlediği değere göre 0' a ya da 255' e çekilir. Örneğin standart olarak 128 değerinin altındaki değerler 0 değerine çekilirken kullanıcı bu değeri 200 değeri olarak belirleyebilir. Böylelikle 200 değerinin altındaki değerler 0 olarak görüntü ikili hale çevrilebilir.

4.1.2.2. Gri seviyeli sayısal görüntü (gray scale)

Gri seviyeli görüntülerde; görüntü farklı gri seviye değerlerinden oluşur. Gri değer aralıkları: G={0,1,2,……..255} şeklinde ifade edilir. Bunun anlamı şudur: bilgisayarda en düşük veri depolaması byte olarak yapılır ve bir byte 8 bittir. Yani bir karekter 8 bit olarak temsil edilir (1 Byte=8 Bit ve 28 Byte=256 Bit). Bir gri seviyeli görüntüde 256 tane farklı gri ton değeri daha doğrusu gri değer bulunabilir. 0 gri değeri kural olarak siyah renge, 255 gri değeri ise beyaza karşılık gelir. Bu değerler arasında ise gri seviyeler oluşur.

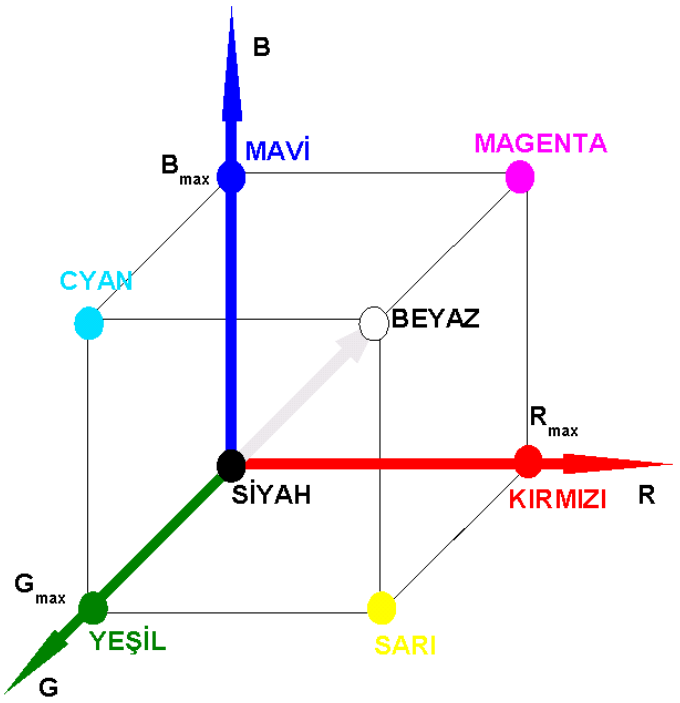
Şekil 3.10'da gri seviyeli sayısal bir görüntüye örnek verilmiştir. Görüntü koordinat sisteminde bir f(x,y) değerine karşılık gelen gri seviye değeri 0-255 arasındadır. Şekil 4.8'de sayısal görüntünün f (593,379) noktasının parlaklık değeri 212'dir.



Şekil 4.8. Gri seviyeli sayısal görüntü (McAndrew, 2004)

4.1.2.3. Renkli sayısal görüntü (color image)

Renkler birincil renkler denilen kırmızı, yeşil ve mavinin farklı oranlarda karıştırılmasıyla oluşur. Renkli görüntüler kırmızı (Red), yeşil (Green) ve mavinin (Blue) (RGB) 0-255 arasında değişen değerleri ile oluşmaktadır. Bu kartezyen koordinat sisteminde açıklanacak olursa başlangıç noktası (0,0,0) siyah, tüm renk değerlerinin (255,255,255) olduğu değer ise beyaz olacaktır. Şekil 4.9'da kartezyen koordinat sisteminde renkli görüntü modeli verilmiştir. Şekil 4.9'da görüldüğü gibi en az iki rengin bir araya gelmesi ile de ikincil renkler denilen mor (magenta), açık yeşilimsi (cyan), ve sarı (yellow) renkleri oluşmaktadır. Bunlardan birinci renkler ile geliştirilen modele RGB, ikincil renkler ile geliştirilen modele ise CMY olarak isim verilmektedir.

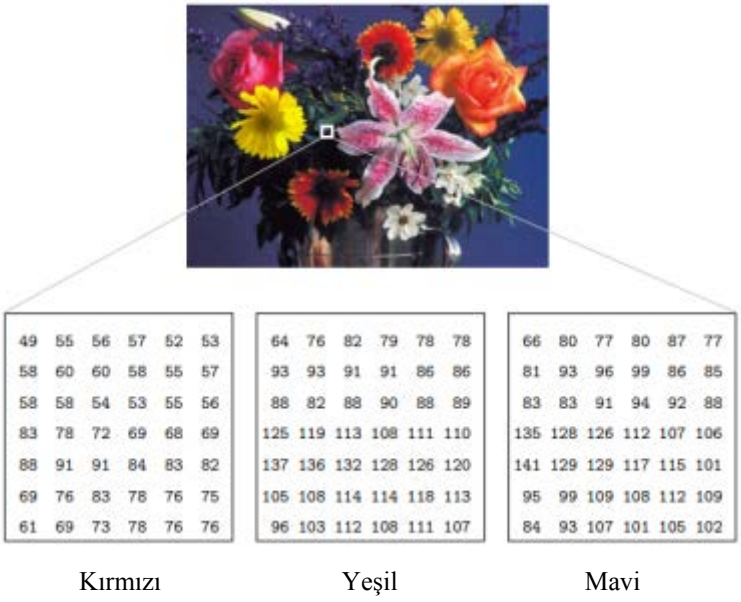


Şekil 4.9. Kırmızı, mavi, yeşil (RGB) renkli görüntü kübü (McAndrew, 2004)

Renk uzayında toplam olarak her bir kanal için 8 bitlik bir yer ayrılacaktır (2^8=256). Bilgisayarlarda RGB renk için toplam 8+8+8 = 24 bitlik bir alan tahsis edilir. Bilgisayarlar da renk band bilgileri ayrı ayrı matris formunda tutulmaktadır. Görüntüleme R(Kırmızı), G(Yeşil), B(Mavi) kodlanmış aynı objeye ait üç adet gri düzeyli görüntünün üst üste ekrana iletilmesi ile oluşur. Elektro-manyetik spektrumda 0.4-0.5 mm dalga boyu mavi renge; 0.5-0.6 mm dalga boyu yeşil renge; 0.6-0.7 mm dalga boyu kırmızı renge karşılık gelir. Bu dalga boylarında elde edilmiş üç gri düzeyli görüntü bilgisayar ekranında sırası ile kırmızı-yeşil-mavi kombinasyonunda üst üste düşürülecek olursa renkli görüntü elde edilmiş olur. Buna göre renkli görüntülerin f(x,y) fonksiyonu gri seviyeli görüntüde olduğu gibi 0-255 arasında sayısal bir büyüklük değil 3 elemanlı bir vektördür (Denklem 4.2).

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(1,1) = \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} & f(1,2) = \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \ldots\ldots & f(1,j) = \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \\ f(2,1) = \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} & f(2,2) = \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \ldots\ldots & f(2,j) = \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \\ f(i,1) = \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} & f(i,2) = \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \ldots\ldots & f(i,j) = \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

RGB sıralanışı üç adet kanal için toplam 6 farklı biçimde sıralanabilirler. Bu sıralama sonuçları RGB – RBG – GBR – GRB – BRG – BGR olacaktır. Şekil 4.10'da oluşan farklı sıralamalara örnek gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Oluşan renk sıralamaları ve resimdeki değişmeler (McAndrew, 2004)

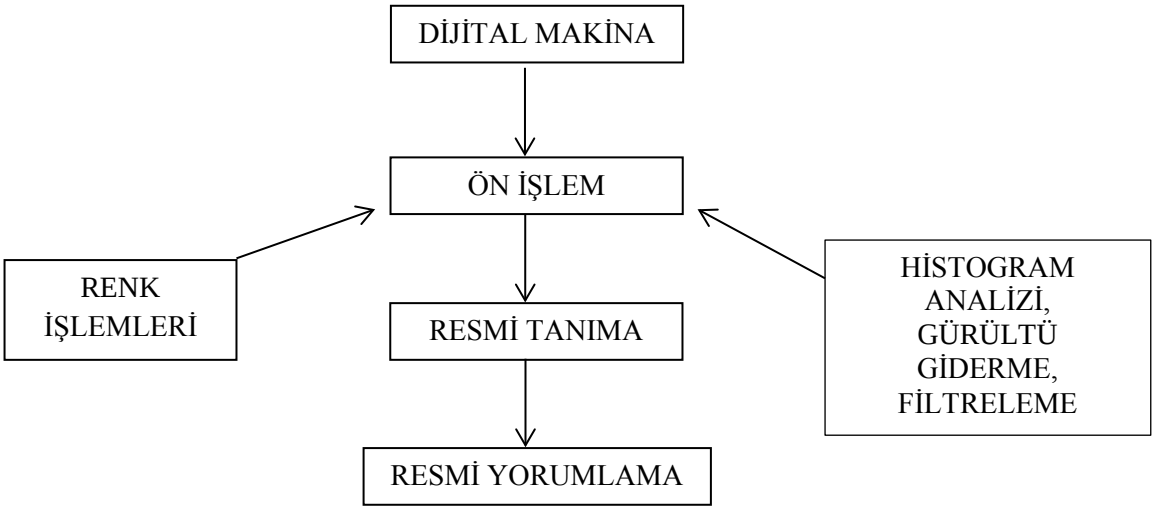
4.1.2.4. İndekslenmiş görüntü

Bilgisayar ekranında gördüğümüz tüm renkler üç ana rengin belli oranlarda karışımından oluşur. Işıktaki ana renkler kırmızı, yeşil ve mavidir. Literatürde toplamsal (additive) renkler olarak geçer. RGB (R=kırmızı, G=yeşil, B=blue) kısaltması olarak da karşımıza çıkar. Resimleri daha iyi ve verimli saklamak için iyi bir yöntemdir. İndekslenmiş resimlerin bir renk paleti vardır. Bu palet üç adet kolonu olan ve her satırın o bir rengin RGB değerini içerdiği bir matristir. Dolayısıyla her bir piksel, bu tabloya bir indeks değeri içerir. Değişik renk paletleri kullanılarak aynı resim değişik şekillerde ifade edilir. Renkli resimlerde ayrı ayrı RGB değerlerinin tutulması yerine palet tutulması bu bakımdan daha avantajlıdır. İndekslenmiş görüntü örneği Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11. İndekslenmiş görüntü örneği (McAndrew, 2004)

Görüntü işleme tekniği uygulanırkenki işlem basamakları da Şekil 4.12'de şematik olarak gösterilmiştir.



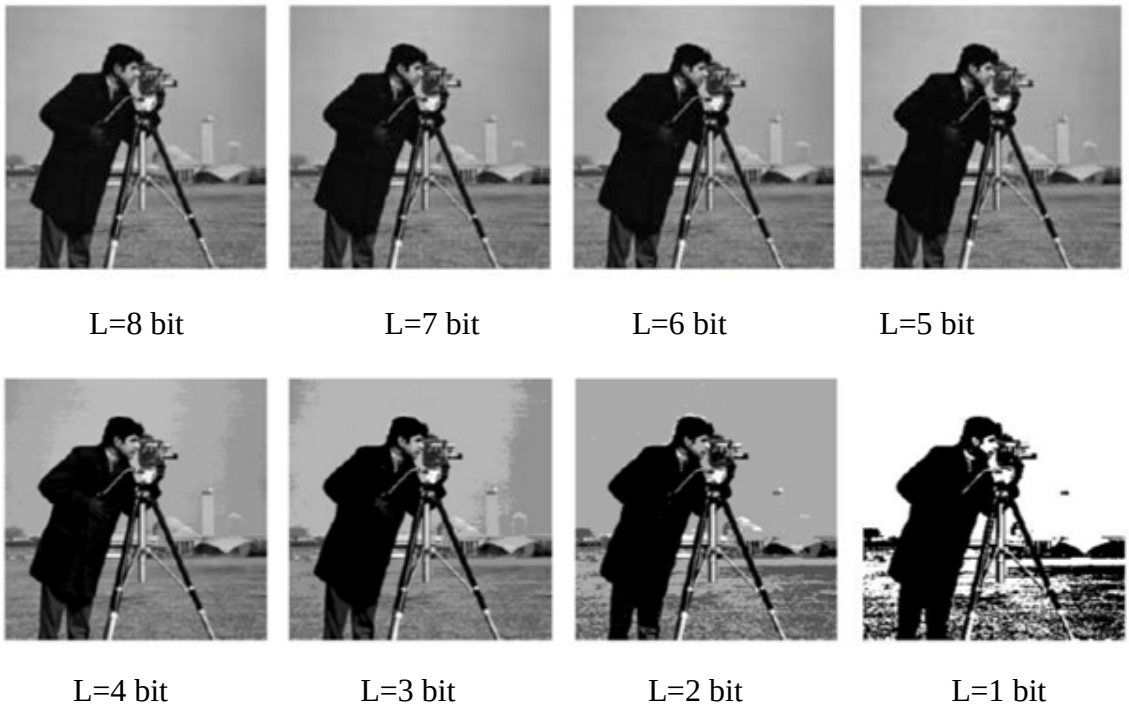
Şekil 4.12. Görüntü işleme adımları şematik gösterimi

4.2. Sayısal İmgede Örnekleme (Uzamsal Çözünürlük)

Çözünürlük imgenin piksel sayısı/ birim fiziksel boyut ifadesi ile bulunur. Birimi genelde ppi (pixels per inch) ya da dpi (dot per inch) ifadeleri ile verilir. Farklı piksel ve bit değerlerine ait görüntüler Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.13. Uzamsal çözünürlük (McAndrew, 2004)



Şekil 4.14. Sayısal imgede örnekleme (McAndrew, 2004)

4.3. Basit Matrisel Görüntü İşlemleri

4.3.1. İmge ters çevirme (imge aynalama) :

İmge ters çevirme işleminde, en üstteki satır en alta, en alttaki satır ise en üste gelecek şekilde matrisi (imgenin) bütün elemanları (ışıklık değerleri) yer değiştirmektedir. Görüntüde ters çevirme işlemine ait örnek Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.15. Orijinal resim ve ters çevrilmiş resim (McAndrew, 2004)

4.3.2. Görüntü boyutlandırma

Görüntü üzerinde boyutlandırma işlemi resmi eksenler boyunca küçültmek veya genişletmektir. Boyutlandırma artım yönündeyse görüntü de bozulmalar gözle seçilebilir hale gelebilir. Bunun nedeni büyütme işleminde piksellerin kendi boyutları verilen yatay ve dikey oranlarla büyütüleceğinden pikseller tek tek seçilebilecek bir hale alacaktır. Bu işlemin tersi yani küçültme işlemi oldukça büyük resimler için kullanılabilir. Bu işlemde piksellerin birim boyutları verilen boyutlar dahilinde küçültülürler. Şekil 4.16'da buna örnek bir matris verilmiştir.

A	B	C
D	E	F
G	H	I

→

A	A	B	B	C	C
A	A	B	B	C	C
D	D	E	E	F	F
D	D	E	E	F	F
G	G	H	H	I	I
G	G	H	H	I	I

Şekil 4.16. Boyut değişikliği

3x3'lük bir imgenin yakınlaştırma öncesi ve sonrasında piksel değerleri harflerle gösterilmiştir. Burada yapılan sadece ilgili piksel değerinin imge boyutunu iki katına çıkaracak şekilde yeni imgeye kopyalanmasıdır. Yakınlaştırma işleminde ilgilenilen pikselin değerini kopyalamak yerine komşu piksel değerleri de kullanılabilir. Böylelikle daha yumuşak geçişler elde edilir. Bu geçişleri sağlayan matris oluşumu Şekil 4.17'de verilmiştir.

A	B	C
D	E	F
G	H	I

→

A	$\frac{A+B}{2}$	B	$\frac{B+C}{2}$	C
$\frac{A+D}{2}$	$\frac{A+B+D+E}{2}$	$\frac{B+E}{2}$	$\frac{B+C+E+F}{2}$	$\frac{C+F}{2}$
D	$\frac{D+E}{2}$	E	$\frac{E+F}{2}$	F
$\frac{D+G}{2}$	$\frac{D+E+G+H}{2}$	$\frac{E+H}{2}$	$\frac{E+F+H+I}{2}$	$\frac{F+J}{2}$
G	$\frac{G+H}{2}$	H	$\frac{H+I}{2}$	I

Şekil 4.17. Boyut değişikliği yumuşak geçiş için oluşturulan matris

4.3.3. Görüntü iyileştirme

İyileştirmeler, görüntünün görsel yorumlama ve anlaşılmasın artırmak için yapılır. Hedeflerin farklı durumlarından dolayı spektral yansımalarındaki büyük değişimlerle ilgili radyometrik düzeltmeler, bütün hedeflerde optimum kontrast ve parlaklık gösterimi için hesaplanabilir. Bu nedenle, her uygulama ve her görüntü için, mutlaka alanın tanınması ve yansıma değerlerinin dağıtımı gereklidir (Sabins 1996).

Görüntü iyileştirme de parlaklık ayarı, karşıtlık (kontrast) ayarı, eşikleme, piksel tersleme gibi ayarlar yapılabilir.

Parlaklık ayarı; parlaklık değişimi imgenin ışıklık değerlerinin belirli bir sayıyla toplanması veya çıkarılması ile gerçekleştirilir. Işık değerleri farklı görüntüler Şekil 4.18'de verilmiştir.



Orijinal b=-50 b=+50

Şekil 4.18. Görüntü iyileştirme-parlaklık ayarı (McAndrew, 2004)

Karşıtlık (kontrast) ayarı; parlaklık değişimi imgenin ışıklık değerlerinin belirli bir sayıyla çarpılması ile gerçekleştirilir. Kontrast ayarları ile ilgili görüntüler Şekil 4.19'da verilmiştir.



Şekil 4.19. Görüntü iyileştirme-kontrast ayarı (McAndrew, 2004)

Eşikleme; imge ışıklılık değerlerinin belirli bir değerden büyük/küçük olmasına göre ikili (binary) bir imge oluşturulur. Bu ikili imgedeki renkler siyah ve beyazdır. Görüntü eşikleme örneği Şekil 4.20'de verilmiştir.

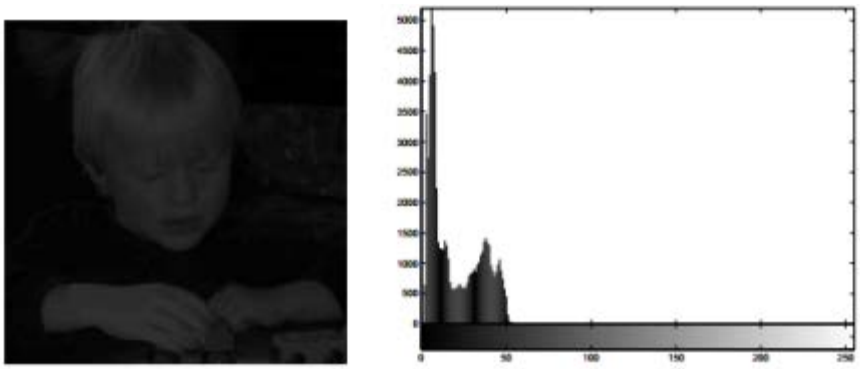


Şekil 4.20. Görüntü iyileştirme-eşikleme (McAndrew, 2004)

4.3.4. Histogram

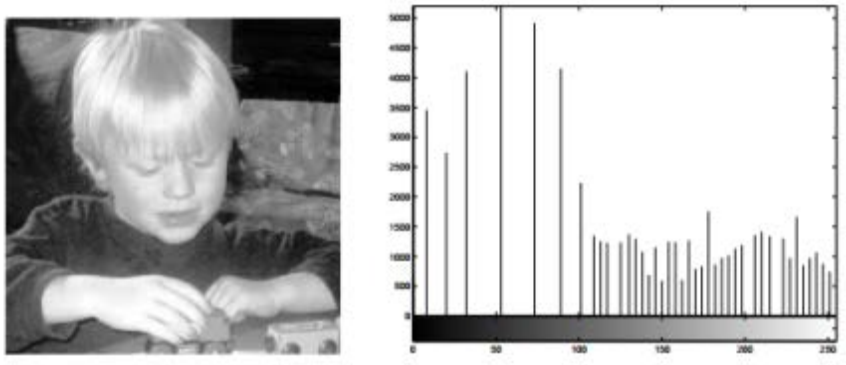
Histogram, her piksel seviyesinin imgedeki miktarını (frekansını) gösterir. Bir görüntüde ortalama değer, standart sapma görüntüdeki gri değerlerin dağılımına ilişkin basit ölçütlerdir. Aynı şekilde görüntü histogramı da görüntüde piksellerin gri değerlerine ilişkin

bağıl sıklık ölçütünü oluşturur. Histogramda yatay eksen gri değer aralığını, düşey eksen de her bir aralıktaki piksel sayısını göstermektedir. Böylelikle görüntünün kontrastına ilişkin bilgi elde etmek mümkün olmaktadır. Şekil 4.21'de verilen örnek resme ait histogram değeri görülmektedir.



Şekil 4.21. Örnek resme ait histogram dağılımı (McAndrew, 2004)

Histogramda grafiksel olarak gösterilen dijital değerleri kullanarak, görüntüde çeşitli iyileştirmeler yapılabilir. Görüntüde kontrast ve detay iyileştirmenin farklı teknik ve metotları vardır. En basit iyileştirme metodu lineer kontrast gerilimidir(lineer contrast strecth). Bu yöntemde histogramdaki en alt ve en üst değerler belirlenir ve bütün aralıkları doldurmak için bu sıralar gerilir (Altuntaş ve ark., 2002). Örneğin histogramdaki minimum değer 84, maksimum değer 153 olsun. Yansıma değerleri (yeni değerlere dönüştürme) 0-255 arasında olacak şekilde görüntünün bütün piksel değerleri değiştirilir (Şekil 4.21). Böylece parlak tonlu alanlar daha parlak, koyu tonlu alanlar daha koyu olacak şekilde görüntünün kontrastı artırılmış olur ve görsel yorumlama kolaylaşır. Bu bilgilere ait görüntü örneği Şekil 4.22'de verilmiştir.



Şekil 4.22. Lineer gerilmiş görüntü ve histogramı (McAndrew, 2004)

4.3.5. Piksel komşulukları

İmge üzerinde yapılacak uzamsal işlemlerde genellikle komşuluk ilişkileri dikkate alınır. Bunun nedeni ise tek başına fazla bir anlam ifade etmeyen bir pikselin, komşuları ile birlikte daha fazla bilgi içermesidir.

Piksel temelli komşuluk işlemlerinde ise ilgili pikselin yeni değeri, komşu piksellerin değerleri de dikkate alınarak hesaplanır. Hangi komşuların nasıl kullanılacağı seçilen piksel komşuluk işleme bağlı olarak belirlenir.

4.3.6. Gürültü ve gürültü giderme

Gürültü görüntü üzerindeki kirliliktir. Görüntüde olmaması gereken bu piksel noktaları değeri veya değerleri görüntü işlemeyi zorlaştıran unsurladır. Görüntü üzerinden bu gürültülerin ayıklanması gerekmektedir. Gürültüyü tanımak ve gürültüyü ayrıştırmak için her piksel ve komşulukları analiz edilebilir. Gürültü temizlemek için çeşitli filtreler kullanılır.

4.3.6.1. Filtreler

Filtreleme resmin üzerinde bir filtre varmış gibi düşünüp her piksel değerinin yeniden hesaplanmasıdır. Filtreler görüntü zenginleştirme amacı ile görüntüde belirli ayrıntıların ayıklanması ya da daha belirgin hale getirilmesi vb. gibi operasyonları gerçekleştiren operatörlerdir. Filtreler resmin içerisindeki bazı ayrıntıları ortaya çıkartmak veya resim içerisindeki istenmeyen gürültülerin yok edilmesini sağlamak için kullanılmaktadır. Farklı amaçlar için farklı filtreleme operatörleri vardır. Bunlar, kenar keskinleştirme, kenar yakalama, görüntü yumuşatma ve bunun gibi daha bir çok amaçla kullanılan filtreler örnek verilebilir.

Keskinleştirme filtreleri ise görüntüdeki detayların belirgin hale getirilmesi ve nesnelerin sınırlarının belirginleştirilmesi amacıyla kullanılır. Özellikle medikal görüntülemede oldukça sık kullanılmaktadır. Kenar belirleme yöntemi olarakta bilinir.

Kenar bulma işlemi 3 ana aşamada incelenebilir:

1- Gürültü Azaltma: Anlamlı kenarları etkilemeden mümkün olduğu kadar gürültünün bastırılması
2- Kenar Pekiştirme: Kenarlarda daha yüksek tepki veren bir filtenin kullanılması.
3- Kenar Tespiti: Filtre çıktılarından hangilerin anlamlı kenar hangilerin gürültü olduğuna karar verilmesi.

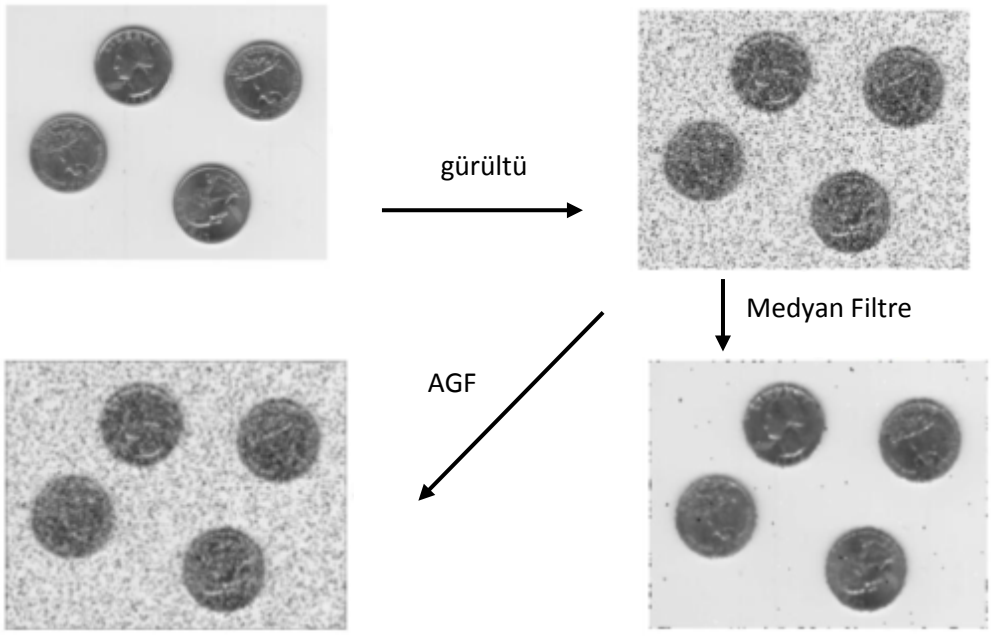
Yüksek geçirgenlikli filtrelerde türevsel filtrelerdir. En yaygın kullanılan türevsel operatörler Prewit ve Sobel filtreleridir. Kullanılan bir başka filtre Gaussian filtredir. Gauss filtre görüntüyü yumuşatmak, detayların ve kirliliklerin uzaklaştırılması için uygulanır.

Ortalama değer filtresinde ise orijinal görüntüde bir pikselin 8 komşu piksel ile birlikte küçükten-büyüğe doğru sıralanır ve ortadaki değer o piksele atanır. Görüntüdeki kirliliklerin yok edilmesinde alternatif olarak kullanılır.

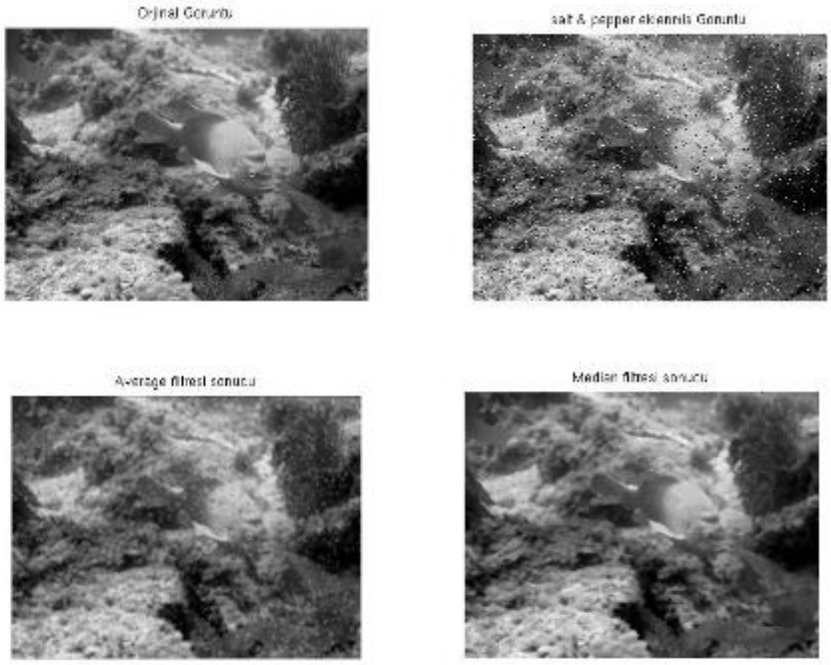
Filtre olarak kullanılabilecek diğer filtre yöntemi ise meydan filtre yöndemidir. Bu yöntemde maskelenmiş 3 x 3 , 5 x 5 gibi pikseller sıralanır ve merkez piksel değeri kabul edilir. Pikseller küçükten büyüğe doğru sıralanacağı için bilgisayar sıralama algoritmalarına ihtiyaç duyarlar. Denklem 4.3 ‘te 3 x 3 için seçilen maskenin merkezi bulunuyor.

$$\begin{bmatrix} 64 & 65 & 76 \\ 56 & 68 & 61 \\ 34 & 55 & 68 \end{bmatrix} \tag{4.3}$$

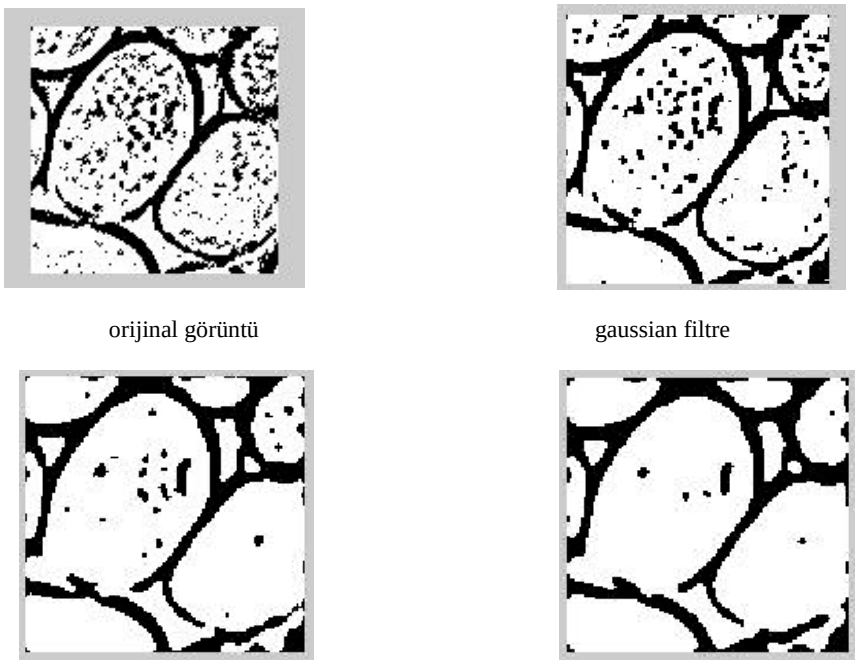
Küçükten büyüğe doğru sıralama sonucu 34 – 55 – 56 – 61 – 64 – 65 – 68 – 68 – 76 bulunur. Medyan filtresi sonucu merkez piksel değeri 68 değil artık 64 olacaktır. Böylece merkez piksel meydan filtresi doğrultusunda tekrar işlenir ve komşu piksellere yaklaştırılırmış olur. Medyan filtresi uygulamasına ait görüntü örneği Şekil 4.23’de ve Şekil 4.24’te verilmiştir. Medyan, gaussian ve ortalama filtre örnekleri de Şekil 4.25’de gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Medyan filtre uygulama örneği (McAndrew, 2004)



Şekil 4.24. Orjinal görüntü (üst sol) salt & pepper gürültüsü (üst sağ), ortalama alma teoremiyle (alt solda) ve medyan filtresi ile (alt sağda) (Özbek, 2005)



orijinal görüntü gaussian filtre

medyan filtre ortalama filtre

Şekil 4.25. Orijinal görüntü ve filtre uygulamalı görüntüler (Demir, 2006)

Görüntü işleme teknikleri uygulanarak görüntüler sayısallaştırıldıktan sonra, YSA'da eğitilerek hedef verilere ulaşılmış, görüntü işleme ile yapay sinir ağlarının koordineli çalışması sağlanmıştır.

5. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)

Bu bölümde tez çalışmasında amaçlanan 15/30 cm silindir beton numunelerin yüzey ve bünye görüntüleri üzerinden görüntü işleme teknolojisi ile beraber YSA kullanılarak betonun mekanik özelliklerinin belirlenmesi işleminde, özellikle görüntülerin sonuçları nasıl tahmin edebileceğinin daha iyi anlaşılması için YSA'nın temel mantığı ve işlem izleği kısaca özetlenecektir. Burada YSA'nın genel anlatımından daha ziyade tez yöntem bilimine daha uygun bir YSA özeti yapılmıştır.

Genel bir bilgi işleme yöntemi olan YSA 1943 yılında McCollach ve Pitts tarafından ortaya atılan, sonrasında ise 1949'da Hebb, 1958'de Rosenblat, 1969'da Minsky ve Papert, 1976'da Grossberg, 1984'de Hopfield ve 1986'da Kohonen' nin yaptığı çalışmalar neticesinde geliştirilmiştir. Son yirmi yıldır ise YSA'nın kullanılmadığı bilim dalı yok gibidir. Günümüz bilgi çağında özellikle çözülmesi zor olan mühendislik problemlerinde YSA yardımcı bir metot olarak çoğu araştırmacı ve uygulamacı tarafından tercih edilmektedir.

İnsan beyninin çalışma mekanizmasını örnek alarak geliştirilen ve insan beyninin yaptığı temel işlemleri bir yazılımla gerçekleştirmeyi amaçlayan mantıksal bir programlama tekniği olan YSA aynı zamanda bilgisayar ortamında, beynin görevlerini yapabilen (karar veren sonuç çıkaran), yetersiz veri durumunda mevcutta var olan bilgilerden yola çıkarak sonuca ulaşan, sürekli veri girişini kabul eden, öğrenen ve hatırlayan bir algoritmadır.

YSA'lar gerçek sinirlerin sadece bazı fonksiyonlarına benzerlik göstermekle birlikte biyolojik sinir yapısından örnek alınarak geliştirilmiştir. YSA'nın bazı temel özellikleri şu şekilde özetlenebilir;

- Gerçek sinirlere göre daha basit yapıdadırlar ve analiz edilmeleri daha kolaydır.
- Gerçek bir sinirde, siniri oluşturan küçük sinir parçacıkları vardır ve bu küçük sinir parçacıklarının öğrenme kabiliyetleri vardır.
- YSA'lar, bilgisayar ortamında doğrusal olmayan sistemlerin modellenmesi konusunda çalışma yapanların sayısının artmasına bağlı olarak büyük çapta uygulama alanı bulmakla beraber yenilenen modelleriyle de sürekli değişen ve gelişen bir yapı göstermektedir.

5.1. YSA'nın Yapısı

YSA'nın yapısının bilinmesi bir sonraki bölümde yapılacak olan analiz yöntemlerinin anlaşılması ve tezin okuyucu tarafından daha iyi algılanması için önemlidir. Dolayısıyla bu bölümde YSA için bazı temel bilgiler verilmiştir.

5.1.1. YSA nöronunun biyolojik yapısı

Nöron, sinir ağlarının en küçük yapı taşlarından birisidir. Nöronların birbirleri ile haberleşmeleri elektrik sinyalleri şeklindedir. İnsan beyni bu şekilde çalışan milyonlarca nöronun bir araya gelmesinden oluşur. Bir nöronun çıkışı ona bağlı olan bütün nöronlara iletilir.

Biyolojik beynin en önemli özelliklerinden birisi de öğrenme olayıdır. İnsanlar ve hayvanlar sürekli olarak içlerinde bulunduğu çevre ile ilişkiler neticesinde bir öğrenme süreci içerisindedirler. Öğrenilen her yeni bilgi, hemen beynin fonksiyonlarını etkileyerek davranışlarda da kendini gösterir. YSA'nın geliştirilmesinde bu özellik esas teşkil eder.

Bir nöron/işlem elemanı, kendine gelen girişleri toplayan ve sadece girişlerin toplamı iç eşik değerini aştığında bir çıkış üreten bir işlem elemanıdır. YSA bu basit nöronların (düğümlerin) bağlanarak bir ağa dönüştürülmesi ile meydana getirilir.

Sinirler YSA'nın en küçük elemanıdır. Sinirde bir bellek vardır ve bu bellekte önceden yapılmış hesaplamalara ait veriler saklanır. YSA, girişine gelen veriye göre, kendi belleğindeki bilgiye bağlı olarak bir çıkış verir. Sinirin belleğindeki bilgilerin gelen giriş bilgilerine göre güncellenmesi ile öğrenme işlemi yapılır.

YSA' ların özelliklerini aşağıdaki gibi genel başlıklar altında yazabiliriz:

- YSA, biyolojik sinir sisteminden modellenerek elde edilmiştir,
- YSA, sinirlerden oluşur,
- YSA' da, sinirler arası bağlantılar söz konusudur,
- YSA' da sinirler, girişe gelen veriye göre ve bir aktivasyon fonksiyonu ile çıkış üretir,
- Bir belleğe sahip olan YSA' ların öğrenme kabiliyetleri vardır,
- YSA' da sinirler birbirinden bağımsız görünse de genelde bir bütünün parçası olarak birbirini etkiler yapıya sahiptirler (Koyuncu,2009).

5.1.2 YSA sinir yapısı

YSA' nın temelini oluşturan her bir sinirin birden fazla girişi ve bir adet çıkışı vardır. YSA doğrusal olmayan dinamik bir davranış gösterir. Dolayısıyla hesap mantığı diğer lineer yöntemlere göre bir miktar farklıdır. Örneğin M adet girişi olan basit bir sinir sisteminde Z_i sinir girişlerini, W_{zi} girişler ile sinirler arasındaki bağlantı ağırlık katsayılarını, $g(.)$ aktivasyon fonksiyonunu ifade etsin, bu durumda sinir girişlerine gelen verilerin toplamını ifade eden $Y_{Ağ}$ fonksiyonu Denklem 5.1'de verildiği gibi;

$$Y_{Ağ} = \sum_{i=1}^{M} W_{zi} * Z_i \tag{5.1}$$

ve sinir çıkışını ifade eden $Y_{Ç}$ fonksiyonu ise Denklem 5.2'de verildiği gibi

$$Y_{Ç} = g(Y_{Ağ}) \tag{5.2}$$

ifadelerinden hesaplanabilir.

5.1.3. Yapay sinir ağı modelleri

YSA içerisindeki sinirler arası bağlantılar açısından incelendiğinde, temel olarak üç tip YSA modeli vardır: Bunlar; İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları (İBYSA), Kaskat Bağlı Yapay Sinir Ağları (KBYSA) ve Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları (GBYSA)' dır. İBYSA' da, her bir katmandaki sinirler sadece önceki katmandaki hücreler tarafından beslenirler. Ses tanıma, örüntü işleme problemlerinde kullanılırlar. KBYSA' da her bir ağ kendinden önceki ağ tarafından beslenir. Yapı olarak İBYSA ile benzerlik göstermekle birlikte, İBYSA ile çözülmesi güç olan problemlerin çözümünde kullanılırlar. GBYSA' da ise, en az bir sinir kendinden sonraki katmandaki sinir tarafından beslenir. Bu ağ modeli, hem ileri yönde hem de geri yönde sinyal akışı içerir. Çoğu kez, optimizasyon gerektiren (filtre tasarımı gibi) problemlerde kullanılır. Bu kısımda tezde kullanılan İBYSA açıklanmıştır.

5.1.3.1. İleri beslemeli yapay sinir ağları (İBYSA)

YSA'larda sinirler arasındaki bağlantı ve akış yönüne göre sınıflandırma sonucunda ortaya çıkan İBYSA'nda veri akışı tek yönde ve girişten çıkışa doğru yapılır. İBYSA tek katmanlı ileri beslemeli ve çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağları olarak ikiye'ye ayrılır. Karmaşık bir fonksiyon yerine kullanılacak YSA' da tek bir sinir kullanımı, fonksiyonun işlevini yerine getirebilmek için yeterli olmaz. Bunun için tek bir sinir yerine benzer özellikte birden fazla sinir kullanılarak bir YSA oluşturulur. M girişli ve N çıkışlı tek katmanlı ileri beslemeli bir YSA, Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Şekil 5.1'deki Z_i ' ler sinir girişlerini ifade eder ve tüm sinirlerin girişlerine aynı veriler gelir. j. sinirin i. giriş değeri ile arasındaki bağlantı ağırlığı $W_{zj.i}$ ile ifade edilmiştir. $Y_Ç$ ise sinir çıkışlarını göstermektedir. Her sinirin aktivasyon fonksiyonu ise yine $g(.)$ ile gösterilmiştir. Şekil 5.1'deki çizim dikkate alınırsa, sinir giriş toplamı Y_{Agj} Denklem 5.3'te

$$Y_{Agj} = \sum_{i=1}^{M} W_{zj,i}.Z_i \tag{5.3}$$

ile ve sinir çıkışı $Y_Ç$ Denklem 5.4'te

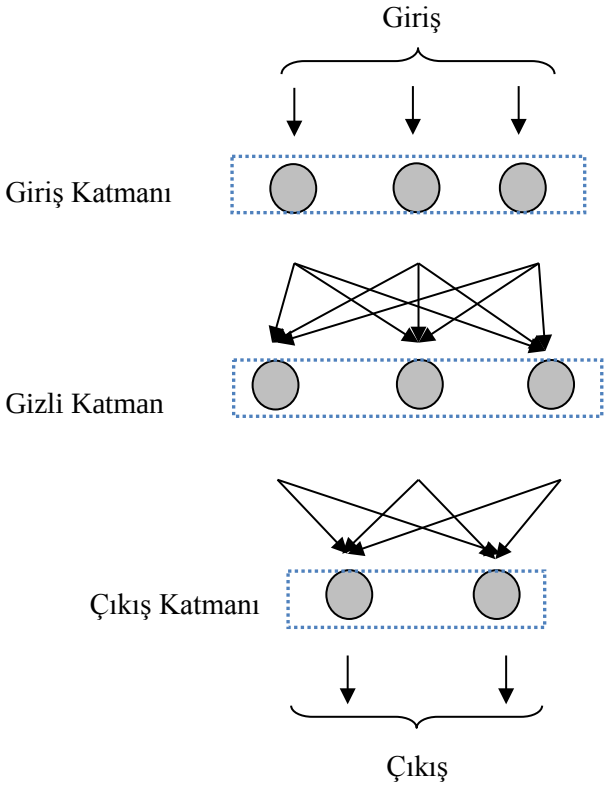
$$Y_Ç = g(Y_{Agj}) \qquad j = 1.....N \tag{5.4}$$

ile ifade edilir.

Ağın çıkış fonksiyonu ise Denklem 5.5'te

$$Y_Ç = G[W_Z.Z] \tag{5.5}$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 5.1 Tek katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı

Tek katmanlı YSA'ların art arda bağlanması ile çok katmanlı YSA'lar elde edilir. Böyle bir ağ yapısı Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Çok katmanlı yapıda, bir katmandaki sinirlerin çıkışları diğer katmanın sinirlerinin girişlerini oluştururlar. Giriş ve çıkış katmanının arasında kalan katmanlara gizli katmanlar adı verilir. Giriş ve çıkış katmanlarındaki sinir sayılarını, hesaplamaları yapılacak verilerin sayıları belirlerken, gizli katmandaki sinirlerin sayıları kullanıcıya göre değişiklik gösterir. Gizli katmandaki sinir sayısı, genel olarak, giriş veya çıkış katmanındaki sinir sayılarından fazla seçilir.

Şekil 5.2'deki çizimde belirtildiği gibi, bu ağ yapısında U_{mj} sabit kazançlı bir fonksiyonu göstermektedir. Ayrıca bu şekilde, Z_i giriş sinirlerinin girişlerini, $W_{zj,i}$ $j.$ gizli katman sinirinin $i.$ giriş değeri ile arasındaki bağlantı ağırlığını, $Y_Ç$ gizli katmanın çıkışını, $W_{yj,i}$ $j.$çıkış katman sinirinin $i.$ gizli katman siniri ile arasındaki bağlantı ağırlığını, $U_Ç$ çıkış katmanının çıkışını ve $g(.)$ aktivasyon fonksiyonunu ifade eder. Çok katmanlı bu ağdaki matematiksel bağlantılar girişten çıkışa doğru olan bir sinyal akışı için Denklem 5.6, 5.7,5.8, 5.9 ve 5.10'daki gibi verilebilir:

$$Y_{Agj} = \sum_{i=1}^{M} W_{zj,i} . Z_i \tag{5.6}$$

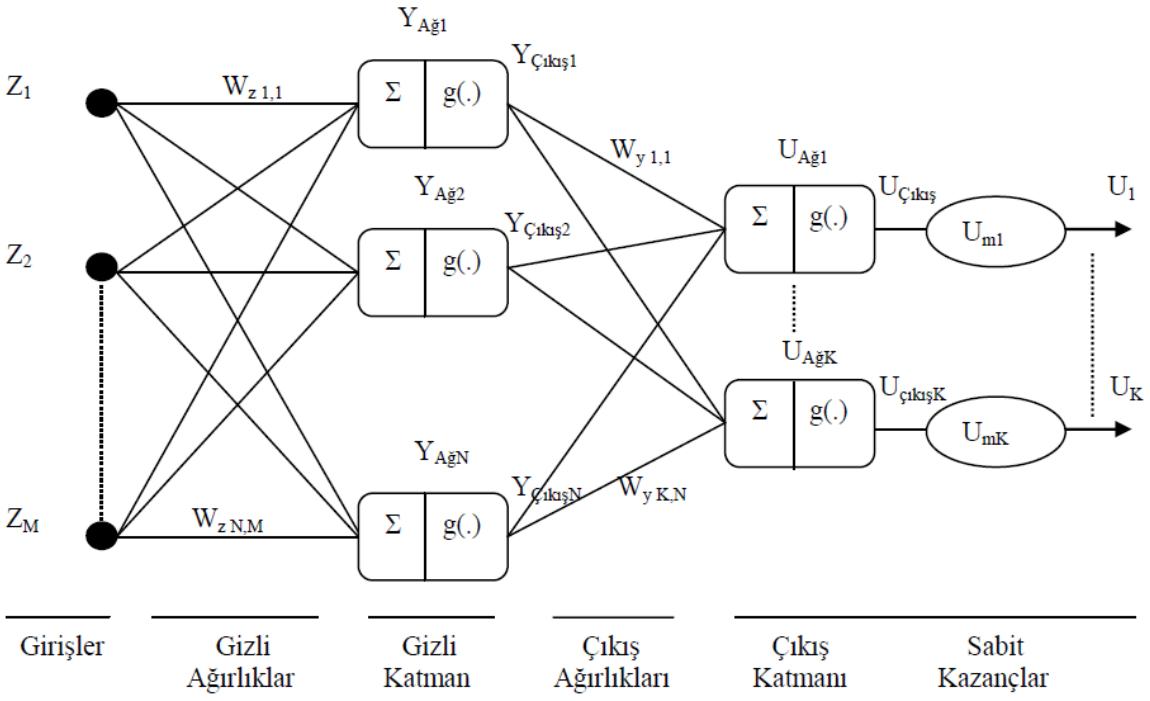
$$Y_{Ç} = g(Y_{Agj}) \qquad j = 1.....N \tag{5.7}$$

$$U_{Agj} = \sum_{i=1}^{N} W_{yj,i} . Y_{Ç} \tag{5.8}$$

$$U_{Ç} = g(U_{Agj}) \qquad j = 1.....K \tag{5.9}$$

$$U_j = U_{mj} . U_{Ç} \qquad j = 1.....K \tag{5.10}$$

Böylece çok katmanlı YSA' lar için temel ifadeler elde edilmiş olur.



Şekil 5.2. Çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağları (Koyuncu, 2009)

YSA'la birçok öğretme algoritması kullanılarak eğitilebilirler. Levenberg-Marquardt (LM) Algoritması literatürde sıklıkla tercih edilen maksimum komşuluk fikri üzerine kurulmuş en az kareler hesaplama metodudur. Gauss-Newton ve Steepest-Descent algoritmalarının en iyi

özelliklerinden oluşur ve bu iki metodun kısıtlamalarını ortadan kaldırır. Yavaş yakınsama probleminden etkilenmez. Çok hızlı çözüme ulaşmasına rağmen çok fazla bellek gerektirmektedir (Sağıroğlu ve ark., 2003). Bu algoritmanın haricinde Eşleştirmeli Eğim (Conjugate Gradient) Algoritmaları, Kuasi-Newton Öğrenme Algoritmaları, Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağı (RTFA) sıklıkla tercih edilmektedir.

5.1.4. Öğrenme

YSA'nın en önemli özelliği verilere göre kendisini eğitebilen dinamik bir yapıya sahip olmasıdır. Bu eğitme ile öğrenme hadisesi gerçekleştir. YSA'lar verilen giriş ve bu girişlere göre istenen çıkış değerlerini verecek kuralları kendisi öğrenir. Öğrenme işlemi, istenen çıkışları elde edebilmek için, giriş değerlerinin çıkışla ilişkisini sağlayan bağlantı ağırlık katsayılarının güncellenmesi ile veya belirli bir öğrenme kuralı ile yapılır. Yani, öğrenilmesi istenilen fonksiyon $f(x)$ ise bu fonksiyon başka bir $F(\omega, x)$ fonksiyonu ile elde edilebilir. Burada ω, ağırlık vektörü ve x giriş vektörüdür. YSA için öğrenme işlemi, eğitim örnekleri kümesi x girişine dayalı olarak $f(x)$ ' e mümkün olan en iyi yaklaşımı yapan ω 'ların elde edilmesidir.

Belirli kurallara dayalı olan ve sahip olunan bilgiye göre öğrenme eğiticili ve eğiticisiz öğrenme şeklinde yapılabilir. Tahmin öğrenme en çok kullanılan öğrenme şeklidir. Zaman domeninde alınan M adet eskiye ait verilerden $(x(n-1), x(n-2), ..., x(n-M))$, $x(n)$ verisini tahmin etmek için kullanılabilir. Bu tahmin edilen değer eğiticisiz öğrenmede olduğu gibi hata düzeltmeli öğrenme ile tespit edilebilir ve bunun için önceden alınan veriler zamanın bir fonksiyonu olarak çizdirilir. Bu eğri fonksiyonuna göre $\hat{x}(n)$ tahmini veri bulunur. Bu öğrenmede tahmin etme hatası $(e(n))$ Denklem 5.11'de verilmiştir.

$$e(n) = x(n) - \hat{x}(n|n-1, n, ..., n-M) \tag{5.11}$$

Hesaplanan bu hata terimi ağın parametrelerini güncelleme için kullanılır.

5.1.5. Bağlantı ağırlık katsayılarının güncellenmesi

YSA'larda öğrenme işlemi, bağlantı ağırlık katsayılarının belli bir ardışıklıkla ayarlanması ile yapılmaktadır. Ardışık olarak ayarlanan bu bağlantı ağırlık katsayıları çözülmek istenen probleme ait bilgiyi saklar. Literatürde, YSA eğitimi için bir çok algoritmalar geliştirilmiştir. Geri yayılım (Backpropagation veya Gradient Descent) algoritması en yaygın kullanılan eğitim algoritmasıdır (Haykın, 1999). Bu algoritma, seçilmiş olan bir maliyet fonksiyonunun (Cost Function) YSA' nın o anki çıkışı ile olması istenen çıkışı arasındaki farka göre değişmesi ile bağlantı ağırlık katsayılarının güncellemesini yapan hesaplama yöntemine dayanır.

5.1.6. Öğrenme faktörleri

Geriye yayılım YSA'larında ağ performansını etkileyen birçok faktör vardır.

- Başlangıçta seçilen ağırlık katsayıları,
- Öğrenme oranı,
- Hata fonksiyonu,
- Ağırlık adaptasyon kuralı,
- Ağ mimarisi,
- Algoritma,
- Parametreler ve veri aralığı,
- Eğitim süresinin fazlalığı bu faktörlerin başlıcalarıdır.

Geriye yayılımlı bir YSA' nın dezavantajlarından olan eğitim süresinin uzunluğu ve hata hesaplarında yerel minimumda kalması durumu ve benzeri problemler öğrenmeyi etkileyen faktörlerin doğru seçimi ile giderilebilir.

İki katmanlı bir YSA' da n tane sinir için her bir sinirin diğerine ve kendi kendine bağlantısı olduğu düşünülürse, n^2 tane ağırlık güncellemesi yapılır. Hatanın geriye yayılımı da bu ağırlık üzerinden gerçekleştirildiği için, bu işlemler oldukça uzun zaman alır. Hatayı minimum yapacak ağ ağırlıkları, bir gradyan arama tekniği kullanılarak tespit edilir. Eğitme

aşamasında, hesaplanan hatalarda yerel minimum değerlerine yakalanma sorunu vardır. Bu durumda ağ kabul edilmeyecek bir çözüme doğru gider. Bu sorun öğrenme oranında yapılacak değişimle giderilebilir.

5.1.7. Öğrenme oranı (l_r)

Eğitim süresini değiştirecek parametrelerden biri olan öğrenme oranının l_r başlangıçta uygun bir şekilde ayarlanması gerekir. Farklı eğitim aşamaları için uygun tek bir öğrenme oranı belirlenmemiştir. Yani öğrenme oranında belirli bir kriter yoktur. Çoğunlukla bu oran deneysel olarak belirlenir. Büyük öğrenme oranlarının tanımlanması, eğitimde davranış bozukluklarına sebep olur. Böyle bir davranışı önlemek için öğrenme oranını küçük değerde tutmak gerekir. Öğrenme oranı, $0.001 < l_r < 1$ aralığında seçilen sabit bir sayıdır. Diğer taraftan çok küçük bir öğrenme oranı, öğrenme işlemini yavaşlatacağından çözülecek probleme göre optimum bir değer seçilir.

5.1.8. Hata hesabı

T adet çıkış siniri olan YSA' da, i anında istenen (d_i) ve o anki YSA çıkış (y_i) değeri arasındaki farktan elde edilen hata fonksiyonu için Denklem 5.12'deki gibi genelleştirilmiş bir ifade yazılabilir.

$$Hata = \frac{1}{T}\sum_i (d_i - y_i)^p \qquad 1 \le p \le \infty \tag{5.12}$$

Hata fonksiyonunun bir tek minimumu ve birçok yerel minimumu olabilir. Pratikte çok katmanlı ağların, eğitim sırasında yerel minimuma takılması durumu ile ender olarak karşılaşılır. Eğer yerel minimuma yaklaşılırsa, eğitim birkaç yeni hücre ekleyerek yine rastgele ağırlıklardan başlatılmalı veya yerel minimum sığ ise, ağırlıklara rastgelelik eklenmelidir. İdeal durumda, hatanın sıfır olması veya sıfırdan büyük bir global minimuma ulaşması beklenir.

Ancak bu, pratikte sonsuz zaman gerektirir. Bunun için kabul edilebilir bir değerin altındaki hatalar için öğrenmenin başarılı olduğu kabul edilir (Koyuncu, 2009).

Bu tezin analitik çalışma kısmında her bir numunenin görüntüsü, görüntü işleme tekniği kullanılarak sayısallaştırıldığında, büyük boyutta bir matris formu elde edilmiştir. Bu boyuttaki bir matris yapay sinir ağlarında eğitilirken işlem süresi olağandan uzun ve doğruluk derecesi de oldukça azdır. Bu sebeple bir takım istatistiki yöntemler uygulanarak matris boyutu küçültülerek işlem sonucu ortaya çıkacak hata oranı düşürülmektedir. Bu işlem ile YSA uygulanmadan önce özellik bloğu (feature block) oluşturulmuş olur. Özellik bloğu çıkarma işleminde kullanılan bazı istatistiki yaklaşımlar aşağıda verilmiştir.

5.1.9. Hatayı azaltıcı istatistiki faktörler

YSA'da özellik bloğu oluşturulurken kullanılan istatistiki yöntemler Standart Sapma, Aritmetik Ortalama ve Medyan'dır.

5.1.9.1. Aritmetik ortalama

Aritmetik ortalama verilen sayı dizisindeki terimlerin toplamının, terim sayısına bölünmesiyle elde edilen değerdir. Örnek olarak {1,2,4,8,16} gibi bir sayı dizisi düşünelim. Bu dizinin aritmetik ortalaması (1+2+4+8+16)/5 işleminin sonucunda 6,2'dir (Dizide 5 adet terim olduğu için 5' e bölünmüştür). Formülasyonu ise Denklem 5.13'te verilmiştir.

$$\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i = \frac{1}{n}\left(x_1 + ... + x_n\right) \tag{5.13}$$

Burada $\overline{x}$ aritmetik ortalama, n ise terim sayıdır.

5.1.9.2. Standart sapma

Veri gruplarının aritmetik ortalamalarının eşit veya birbirine yakın olması durumunda veri gruplarında yer alan çok küçük ve çok büyük değerler verilerin dağılımını etkiler. Örneğin; {10,22,34} değerlerini alan 3 kişilik bir dağılımda aritmetik ortalama 66/3=22'dir.{21,23,22} değerlerini alan başka bir 3 kişilik dağılımda aritmetik ortalama yine

66/3=22'dir. İki dağılımın aritmetik ortalaması 22 olduğu halde birinci dağılımda değerler (1 ve 3'üncü değerler) aritmetik ortalamadan çok uzakta iken ikinci dağılımdaki değerler ortalamaya çok yakındır. Bu örnekten de anlaşıldığı üzere Standart sapma dağılımdaki her bir değerin ortalamaya göre ne uzaklıkta olduğunu, diğer bir deyişle dağılımın ne yaygınlıkta olduğunu gösteren bir ölçüdür. Formülasyonu ise Denklem 5.14'te verilmiştir.

$$ss = \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - \frac{\left(\sum x_i\right)^2}{n}}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum \left(x_i - \overline{x}\right)^2}{n-1}} \tag{5.14}$$

Burada SS Standart Sapma, x_i ise i'nci ölçüm değeri, $\overline{x}$ n sayıda ölçümün ortalaması ve n ise ölçüm sayısıdır. Yapılan deney için bu denklemi düşünürsek; çalışılan numune sayısı artıkça formülde payda da verilen n-1 yerine n değeri de alınabilir.

5.1.9.3. Medyan

Verilen bir sayı dizisinde terimler büyüklük sırasına göre yazıldıktan sonra ortadaki sayıya medyan denir. Dizinin terim sayısı tek ise tam ortasındaki sayı medyandır. Terim sayısı çift ise ortadaki iki terimin aritmetik ortası medyandır. Örneğin {6,8,10,11,12,14,16,17,18,20} sayı dizisinin medyanı ortadaki 12 ve 14 sayılarının toplamının 2 ye bölünmesi ile bulunur, medyan =12+14/2=13'tür. Formülasyonu ise Denklem 5.15'te verilmiştir.

$$\overline{x} = \frac{\sum x_i}{n} \tag{5.15}$$

Burada $\overline{x}$ medyan gösterimi, n terim sayısı ve $\sum x_i$ ise terimlerin toplamıdır.

6. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde görüntü işleme ve yapay sinir ağları kullanılarak betonun basınç dayanımı, maksimum deformasyonu, elastisite modülü gibi bazı mekanik özelliklerin tayini üzerine bir deney yapılmış ve deney adımları anlatılmıştır. Betonun mekanik özelliklerini belirlemek üzere 144 adet 15 cm x 30 cm boyutlarında silindir beton numune üretilmiştir. Bu numunelerden 96 adedi farklı parametreler dikkate alınarak araştırmacı tarafından laboratuvarda, 48 adedi ise beton üretim firmalarının herhangi bir betonarme yapıda kullanılmak üzere hazırlamış oldukları transmikser betonundan rastgele alınarak üretilmiştir. Çizelge 6.1'de deneysel çalışma için üretilen numune verileri gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Deney verileri

Set	Numune Sayısı	Üretim Prosedürü	Amaç
Eğitim ve Test Seti	96	Parametrelere Göre	YSA ve Görüntü İşlemeye göre Eğitilmesi ve test edilmesi
Doğrulama Seti	48	Rastgele	Programın Doğrulanması

6.1. Eğitim ve Test Seti İçin Deney Parametrelerinin Seçimi

Betonun mekanik özelliklerinin yapay zekâ yöntemleri ile belirlenmesi için üretilen deney setini oluştururken analizde nicel veriler kullanılmak üzere farklı parametreler dikkate alınarak 96 adet 15x30 cm boyutlarında silindir numune üretilmiştir. Bu numunelerin üretimi Erdinç Beton A.Ş. laboratuvarlarında yapılmıştır. Söz konusu numuneler oluşturulurken su/çimento oranı, çimento dozajı, katkı malzemesi kullanımı, sıkıştırma (kompaksiyon) işlemi ve kür şartları olmak üzere 5 farklı parametre seçilmiştir. Bahsi geçen bu 5 parametrenin doğrudan betonun basınç dayanımına ve betonun yapacağı deformasyonlara etkisi olduğu bilinmektedir. Bu etkide nihai sonuçlarda elde edilmesi amaçlanan beton özelliklerini değiştirebileceği için her bir parametrenin deney sonuçlarına yansımalarını gözlemlemek adına yeterli sayıda numune üretilmiştir. Beton basınç dayanımına etki eden diğer bazı parametreler ise numune sayısını sınırlamak amacıyla dikkate alınmamıştır.

Parametrelerin her biri iki farklı değişken olarak Çizelge 6.2'de olduğu gibi belirlenmiştir.

Çizelge 6.2. Deney parametrelerinin oluşturulması

Parametre	***Değişim Aralığı***	
Su/çimento	0,4	0,6
Çimento Dozajı	350 kg/m^3	450 kg/m^3
Katkı Malzemesi	Var	Yok
Kompaksiyon (Sıkıştırma)	Var	Yok
Kür	Var	Yok

Deney için 28 günlük mukavemetini almış beton numuneler üretilmiştir. Kür uygulanan numune grubunda da kür havuzunda bekleme süresi 28 gün olarak belirlenmiştir.

6.2. Eğitim ve Test Seti Deney Matrisinin Oluşumu

Deney için gerekli her bir numunenin karışım özellikleri, üretimi ve üretimden sonraki kür koşulları ile ilgili deney matrisinin oluşturulabilmesi için 2^n modülü kullanılmıştır. Su/çimento oranı, çimento dozajı, kür koşulları, kompaksiyon ve katkı malzemesi olmak üzere seçilen 5 farklı parametreye göre hesapta $2^n = 2^5$ olmak üzere 32 farklı karışım ve koşula tabi tutulmuş numune üretilmesi gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır. Standartlara göre betonun özelliklerinin belirlenebilmesi için her bir gruptan 3'er tane olmak üzere 32x3=96 adet beton silindir numune üretimine geçilmiştir.

Eğitim ve test seti numuneleri üretim aşamasında etiketlenirken karışımdaki özelliklerini belirlemek adına her bir numuneye kod verilmiştir. Numune kodları verilirken 1 ve 0 rakamları kullanılmıştır. Numune kodlarının oluşturulması ise Çizelge 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Test Seti Numunelerin kodlanması

	1	**0**
Su/çimento	0,4	0,6
Çimento Dozajı (kg/m^3)	350	450
Katkı Malzemesi	var	yok
Kompaksiyon	var	yok
Kür Uygulanması	var	yok

Numune kodu yazılırken oluşan rakamlar tabloda verilen sıraya göre düzenlenmiştir. Etiketlemedeki bu kodlama işlemine göre örneğin N1 numunesinin kodu 11011 olarak belirlenmiştir. Bu demek oluyor ki N1 numunesindeki beton karışımında su/çimento oranı 0,4, çimento dozajı 350 kg/m^3, içeriğinde katkı malzemesi yok, beton kalıba yerleştirilirken sıkıştırma yapılmış ve kalıptan alındıktan sonra 28 gün kür havuzunda bekletilmiştir. Bu sayıya ve verilen tanıtım kodlarına göre oluşturulan deney matrisi Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4. Eğitim ve test seti deney matrisi

96 adet Silindir Beton Numune	**Numune Numarası**	**Numune sayısı**	**Su/Çimento**	**Çimento Dozajı (kg/m^3)**	**Katkı Malzemesi**	**Sıkıştırma**	**Kür**	**Numune Kodu**
1.Grup	**N1**	3	0,4	350	Yok	Var	Var	11011
	N2	3	0,4	350	Yok	Var	Yok	11010
	N3	3	0,4	350	Yok	Yok	Var	11001
	N4	3	0,4	350	Yok	Yok	Yok	11000
2.Grup	**N5**	3	0,4	450	Yok	Var	Var	10011
	N6	3	0,4	450	Yok	Var	Yok	10010
	N7	3	0,4	450	Yok	Yok	Var	10001
	N8	3	0,4	450	Yok	Yok	Yok	10000
3.Grup	**N9**	3	0,6	350	Yok	Var	Var	01011
	N10	3	0,6	350	Yok	Var	Yok	01010
	N11	3	0,6	350	Yok	Yok	Var	01001
	N12	3	0,6	350	Yok	Yok	Yok	01000
4.Grup	**N13**	3	0,6	450	Yok	Var	Var	00011
	N14	3	0,6	450	Yok	Var	Yok	00010
	N15	3	0,6	450	Yok	Yok	Var	00001
	N16	3	0,6	450	Yok	Yok	Yok	00000
5.Grup	**N17**	3	0,4	350	Var	Var	Var	11111
	N18	3	0,4	350	Var	Var	Yok	11110
	N19	3	0,4	350	Var	Yok	Var	11101
	N20	3	0,4	350	Var	Yok	Yok	11100
6.Grup	**N21**	3	0,4	450	Var	Var	Var	10111
	N22	3	0,4	450	Var	Var	Yok	10110
	N23	3	0,4	450	Var	Yok	Var	10101
	N24	3	0,4	450	Var	Yok	Yok	10100
7.Grup	**N25**	3	0,6	350	Var	Var	Var	01111
	N26	3	0,6	350	Var	Var	Yok	01110
	N27	3	0,6	350	Var	Yok	Var	01101
	N28	3	0,6	350	Var	Yok	Yok	01100
8.Grup	**N29**	3	0,6	450	Var	Var	Var	00111
	N30	3	0,6	450	Var	Var	Yok	00110
	N31	3	0,6	450	Var	Yok	Var	00101
	N32	3	0,6	450	Var	Yok	Yok	00100

Gerçekleştirilecek olan deneysel çalışmada kullanılacak olan beton karışımlarında kullanılan suyun, çimentonun ve katkı malzemesinin TS standartlarında olması beklenir. Çizelge 6.5'te beton karışımında kullanılan suyun analiz özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 6.5. Beton karışımındaki suyun analizi

İncelenen Parametreler	**Birim**	**Yöntem**	**Yön.Değeri**	**SONUÇ**
Alkali Muhtevası (Na2O)	mg/L	Kimyasal	<1500	248
Askıda Katı Madde	Ml	Gravimetrik	<4	0
Azami Klorür Miktarı	mg/L	Spektrofotometrik	<500	400
Çinko (Zn+2)	mg/L	ICP-OES	<100	0,039
Deterjanlar		Kimyasal	Bulunmamalı	Yok
Fosfatlar (P2O5)	mg/L	Spektrofotometrik	<100	0,54
HCI İlavesi sonrası H2S kokusu		Kimyasal	Olmamalı	Yok
Koku		Organoleptik	Kokusuz olmalı	Yok
Kurşun (Pb+2)	mg/L	ICP-OES	<100	0,143
Nitratlar (NO3)	mg/L	Spektrofotometrik	<500	23,7
Organik Madde (NaOH İlavesi sonrası)		Kimyasal	Sarıya Dönük Kahve	Renksiz
pH		Elektrometrik	>4	6,86
Renk		Organoleptik	Açık Sarı veya	Renksiz
Sıvı ve Katı Yağlar		Kimyasal	Bulunmamalı	Yok
Sülfat Miktarı	mg/L	Spektrofotometrik	<2000	368
Şekerler	mg/L	Kimyasal	<100	Yok

Yapılan analiz sonucu karışımdaki su TS EN 1008'e uygundur değerlendirmesi yapılmıştır.

Çimento türü olarakta CEM III-42,5 çimento kullanılmıştır. Çimento analizi Çizelge 6.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.6. Beton karışımındaki çimentonun analizi

KİMYASAL ÖZELLİKLER	**Elde Edilen Değerler**	**TS EN 197-1**	
		En az (min)	**En çok (max)**
Kızdırma Kaybı %			
Çözünmeyen Kalıntı %			
Magnezyum Oksit (MgO) %			
Kükürt trioksit (SO3) %	3.02		4.00
Klorür (Cl) %	0.04		0.1
Toplam Katkı Miktarı %	17.8	6	20
C3A			
2C3A + C4AF			
FİZİKSEL ÖZELLİKLER			
Özgül Yüzey (cm2/gr)			
2 Günlük Basınç Dayanımı (N/mm^2)	27.7	20.0	
7 Günlük Basınç Dayanımı (N/mm^2)			
28 Günlük Basınç Dayanımı (N/mm^2)	49.1	42.5	62.5
Priz Başlangıcı (min)	210	60	
Priz Sonu (min)			
Hacim Genleşmesi (min)	1		10
Beyazlık %			

Yapılan analiz sonucu karışımdaki çimento TS EN 197-1 (2012)'e uygundur değerlendirmesi yapılmıştır.

Katkı malzemesi olarak da uygulamada sık sık rastlanan akışkanlaştırıcı bir katkı türü tercih edilmiştir. Katkı malzemesi analizi ise Çizelge 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Beton karışımındaki katkı malzemesi analizi

Özellik	Test Metodu	Sonuçlar	Standart Değerler	
Görünüm	Görsel	Kahverengi	Kahverengi	
Yoğunluk	ISO 758	1.0543	1.03	1.07
Katı Madde Yüzdesi %	EN 480-8	18.30	16.00	20.00
pH (%10'luk Çözelti)	TS 6365 EN 1262	6.24	4.00	8.00
Suda Çözünebilen Klor Yüzdesi %	EN 480-10	0.0990	Max.	0.10

6.3. Eğitim ve Test Seti Deney Numunelerinin Üretimi

Deneysel çalışma için oluşturulan beton karışımlar Erdinç Hazır Beton A.Ş. laboratuvarlarında üretilmiştir. TS 500 (2000) gibi yönetmeliklere göre betonun basınç mukavemeti ve diğer bazı mekanik özellikleri standart kür koşullarında saklanmış (20 °C ±2°C kirece doygun su içerisinde), 28 günlük silindir (15 cm çap, 30 cm yükseklik) numuneler üzerinde ölçüleceği için üretimde silindir numunelerin üretimi yapılmıştır. Şekil 6.2'de beton silindir numune elde etmek için kullanılan silindir kalıplar gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Silindir numune kalıpları

Silindir kalıplara yerleştirilmek üzere oluşturulan beton karışımlar 8 farklı grupta üretilmiştir. Her bir grup beton karışımında 4 farklı beton numunesi ve her bir numune tipinden de 3'er tane olmak üzere 12 adet beton silindir örneği elde edilmiştir. Beton karışım oranları ise Çizelge 6.8'de verilmiştir.

Çizelge 6.8. Beton karışımı

		Karışımdaki Miktar							
		1. Grup	**2. Grup**	**3. Grup**	**4. Grup**	**5. Grup**	**6. Grup**	**7. Grup**	**8. Grup**
	Çimento (kg)	8,750	9,000	8,750	11,250	8,750	11,250	8,750	11,250
	Su (kg)	3,500	3,600	5,250	6,750	3,500	4,500	5,250	6,750
	Katkı Malzemesi (gr)	-	-	-	-	87,500	112,500	87,500	112,50
Agregalar (kg)	**İnce 0-5 mm**	24,300	18,000	23,400	21,320	24,300	22,49	23,400	21,320
	Orta7-15 mm	9,350	6,920	9,000	8,200	9,350	8,650	9,000	8,200
	İri 15-22 mm	13,075	9,68	12,600	11,470	13,075	12,110	12,600	11,480

Çizelge 6.8'de verilen karışım oranları kullanılarak malzemeler pan mikser isimli karıştırıcıda harmanlanmıştır. Pan mikser cihazı Şekil 6.3'te gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Pan mikser cihazı

Terazide tartılarak belirlenen miktarlarda hazırlanan agregalar pan miksere atılarak 3-5 dakika karıştırıldıktan sonra çimento ilave edilerek 3 dakika daha karıştırılmıştır. Daha sonra mikserdeki karışıma gerekli su ilave edilerek karıştırma işlemi 3 dakika daha devam ettirilmiş ve karıştırma işlemi bitirilmiştir. Beton karışımdaki malzemelerin tartılması ve miksere boşaltılması işlemi Şekil 6.4 ve Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.4. Malzemelerin tartılması



Şekil 6.5. Beton karışım için tartılan malzemeler



Şekil 6.6. Tartılan malzemelerin miksere aktarılması

Mikserde karıştırılan malzemeler el arabasına alınarak buradan çapı 15 cm boyu ise 30 cm olan silindir kalıplara dökülmüştür. Şekil 6.7'de betonun el arabasına aktarımı verilmiştir.



Şekil 6.7. Betonun aktarılması

Beton el arabasına alındıktan sonra ilk olarak slump testine tabi tutulmuştur. Slump testi üst çapı 10 cm, alt çapı 20 cm, yüksekliği 30 cm olan kesik bir metal koni yardımıyla yapılmıştır. Beton karışımı koninin içine 3 eşit kademede doldurulmuştur. Her kademe demir şiş yardımıyla 25 defa şişlenmiştir. Betonun doldurulması işlemi bittikten sonra koni yavaşça yukarı kaldırılmış ve koni kaldırıldıktan sonra betonda bir miktar çökme gözlemlenmiştir. Koni yüksekliği ile çökmüş beton arasındaki fark metal metre yardımıyla ölçülmüştür. Bu fark betonun çökme miktarını yani slump değerini vermektedir. Deney için üretilen beton karışım gruplarının her biri için slump (çökme) değerlerinin ölçümü yapılmıştır.

Standartta 0-4 cm arası çökme değeri kuru betonu, 5-9 cm arası plastik kıvamlı betonu, 10-15 cm arası akıcı kıvamdaki betonu ve 15 cm den fazla olan çökme değeri çok akıcı betonu ifade etmektedir. Dolayısıyla slump değerlerine göre betonun kıvamı ile ilgili fikir sahibi olunabilmektedir. Deney için kullanılan betonların çökme ve kıvamlar değerleri Çizelge 6.9'da verilmiştir.

Çizelge 6.9. Beton karışımların slump değerleri

Beton Karışım Grupları	Slump (çökme) Değerleri	Beton Kıvamı
1.Grup Deney Numuneleri	0	Kuru
2.Grup Deney Numuneleri	1	Kuru
3.Grup Deney Numuneleri	12	Akıcı
4.Grup Deney Numuneleri	23	Çok akıcı
5.Grup Deney Numuneleri	5	Plastik
6.Grup Deney Numuneleri	25	Çok akıcı
7.Grup Deney Numuneleri	Slump alınamadı	Çok akıcı
8.Grup Deney Numuneleri	Slump alınamadı	Çok akıcı

7. ve 8. Grup betonlar oldukça akışkan olduğu için çökme değerleri ölçülememiştir. Beton gruplarının slump ölçümleri Şekil 6.8, 6.9, 6.10, 6.11, 6.12 ve 6.13'te verilmiştir.



Şekil 6.8. 1.Grup beton karışımı slump deneyi



Şekil 6.9. 2.Grup beton karışımı slump deneyi



Şekil 6.10. 3.Grup beton karışımı slump deneyi



Şekil 6.11. 4.Grup beton karışımı slump deneyi



Şekil 6.12. 5.Grup beton karışımı slump deneyi



Şekil 6.13. 6.Grup beton karışımı slump deneyi

Çökme değerlerine bakılan betonlar önceden kalıp yağı ile yağlanmış olan silindir numunelere doldurulmuştur. Yerleştirme işleminde sıkıştırma yapılacak numune grubu için demir çubukla şişleme ve tokmakla kalıbın dış yüzeyinden vurularak tokmaklama işlemi yapılmıştır. Kalıba doldurulan beton 3'er kademede her kademe eş yükseklikte olacak şekilde dökülmüş ve demir çubukla 25 kez şişlenmiştir. Eş zamanlı olarak 36 adet tokmak darbesi vurularak betonun kalıp içinde iyice yerleşmesi sağlanmıştır. Şekil 6.14'te betonun kalıplara aktarılması gösterilmiştir.



Şekil 6.14. Silindir kalıplara beton aktarımı

Kalıplara alınan betonun sıkıştırılması için yapılan şişleme ve tokmaklama işlemleri Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'da gösterilmiştir.



Şekil 6.15. Betonun şişlenmesi



Şekil 6.16. Tokmaklama işlemi

Betonun silindir kalıplara yerleştirilmesinin ardından her bir numunenin üst yüzeyleri mala yardımıyla kalıba göre düzeltilip, tanıtım etiketi yapıştırılarak prizini alması için beklemeye bırakılmıştır. Numune yüzeylerinin düzeltilmesi ve etiketlenmesi Şekil 6.17 ve 6.18'de verilmiştir. Beklemedeki beton numunelerin görüntüsü ise Şekil 6.19'de gösterilmiştir.



Şekil 6.17. Beton yüzeyinin düzeltilmesi



Şekil 6.18. Beton numunelerin etiketlenmesi



Şekil 6.19. Prizlerini almak üzere bekletilen beton numuneler

Beton numuneler kalıplar içerisinde 24 saat bekletildikten sonra kalıptan çıkarılarak bir kısmı kür odasında su havuzunda 28 gün boyunca saklanmış bir kısmı ise oda sıcaklığı ortamında dayanım kazanması için 28 gün bekletilmiştir. Deneyde kullanılan iki farklı kalıp olduğu için plastik kalıplara doldurulan beton kompresör cihazı ile (havayı sıkıştırarak basınçlı bir şekilde kullanmaya yarayan cihaz) çıkarılmıştır. Betonun kalıptan çıkarılması Şekil 6.20 ve 6.21'de gösterilmiştir.



Şekil 6.20. Betonun kompresör ile kalıptan alınması



Şekil 6.21. Betonun kalıptan alınması

6.3.1. Doğrulama setinin oluşturulması

Belirli karışım oranları ve kür şartlarında üretilen 96 adet beton silindir numunenin yanı sıra doğruluma seti olarak 48 adet daha beton silindir numune üretilmiştir. Bu üretimin amacı ise betonun mekanik özelliklerinin görüntü işleme tekniği ve YSA ile tahmininin uygulamada kullanılan herhangi bir beton sınıfında da sonuç verip vermediğinin gözlenmesi içindir. Bu amaçla konut inşaatında kullanılmak üzere transmikserlere (kamyon şasisi üzerine monte edilmiş, betonu homojen şekilde karıştırma ve teslime (boşaltmaya) uygun beton karıştırıcısı, betonyer) aktarılan beton karışımlarından rastgele alınan 48 silindir numunesi doldurulmuş, standartların önerdiği şekilde 28 günlük kür havuzunda bekletilmiştir. Numune tanıtım etiketlerinde S numune şeklinde isimlendirilmiştir. Şekil 6.22'de doğrulama seti için üretilen beton örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 6.22. Doğrulama seti beton numuneleri

Bu beton grubunda gözlemlenen bir detayda, yerine yerleştirilmiş, sıkıştırılmış olması sebebiyle daha az boşluksuz ve diğer numunelere göre ağırlıkça fazla olmasıdır. Doğrulama seti numunelerinin slump değerleri ve beton kıvamları değişkendir.

6.4. Tüm Deney Elemanlarının Birim Ağırlık ve Su Emme Deneylerinin Yapılması

Beton numunelerin boşluk oranı ve birim ağırlıkları ile basınç dayanımları arasında bir ilişki bulunabileceği düşüncesiyle numunelerin kuru ağırlıkları ve su küründen alındıktan sonraki yaş ağırlıkları tartılarak değerler kaydedilmiştir. Su kürüne maruz bırakılmamış

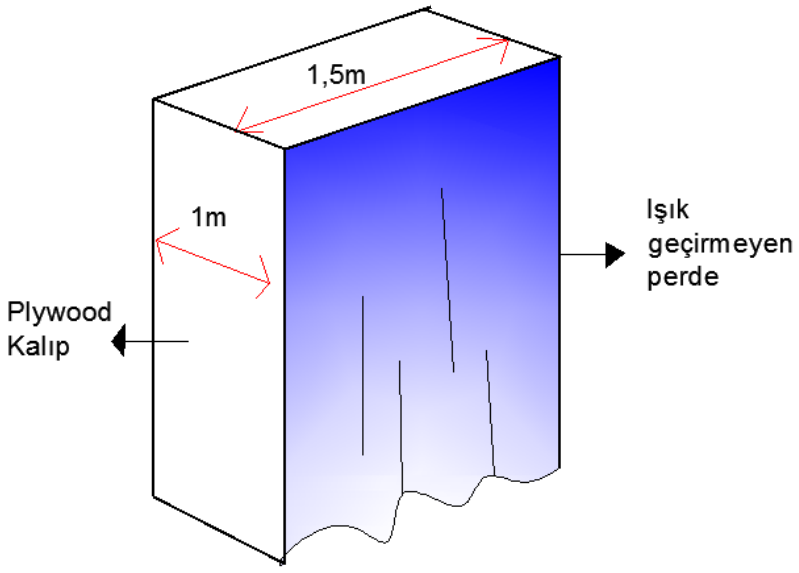
numunelerde 28 günlük dayanım kazanma sürelerinin sonunda 1 gün süreyle su havuzuna atılarak bünyesindeki boşlukların su ile dolması sağlanmıştır. Bu değere göre numunelerin birim ağırlıkları ve su emme oranları hesaplanmıştır. Betonun birim ağırlığı, kuru ağırlığının numune hacmine oranı ile bulunmuştur. Su emme oranı ise betonun yaş ağırlık ile kuru ağırlık farkının kuru ağırlığına oranından bulunmuştur. Bulunan değerler Çizelge 6.10'da verilmiştir.

Çizelge 6.10. Betonun birim ağırlığı ve su emme oranı

	Numune İsmi	**Birim Ağırlık (kg/cm^3)**	**Su Emme Oranı (%)**
1.Grup	N1	2,30	1,21
	N2	2,25	1,37
	N3	1,88	3,49
	N4	1,87	1,74
2.Grup	N5	2,40	1,42
	N6	2,35	0,37
	N7	2,12	1,08
	N8	2,01	2,10
3.Grup	N9	2,36	0,53
	N10	2,27	0,34
	N11	2,31	0,42
	N12	2,25	0,42
4.Grup	N13	2,33	0,30
	N14	2,24	0,34
	N15	2,33	0,40
	N16	2,20	0,42
5.Grup	N17	2,46	0,54
	N18	2,46	0,77
	N19	2,23	0,46
	N20	2,14	0,57
6.Grup	N21	2,42	0,39
	N22	2,39	0,34
	N23	2,45	0,68
	N24	2,41	0,58
7.Grup	N25	2,40	0,24
	N26	2,32	0,07
	N27	2,42	0,12
	N28	2,40	0,15
8.Grup	N29	2,34	0,09
	N30	2,30	0,09
	N31	2,34	0,30
	N32	2,24	0,24

6.5. Deney Düzeneğinin Oluşturulması

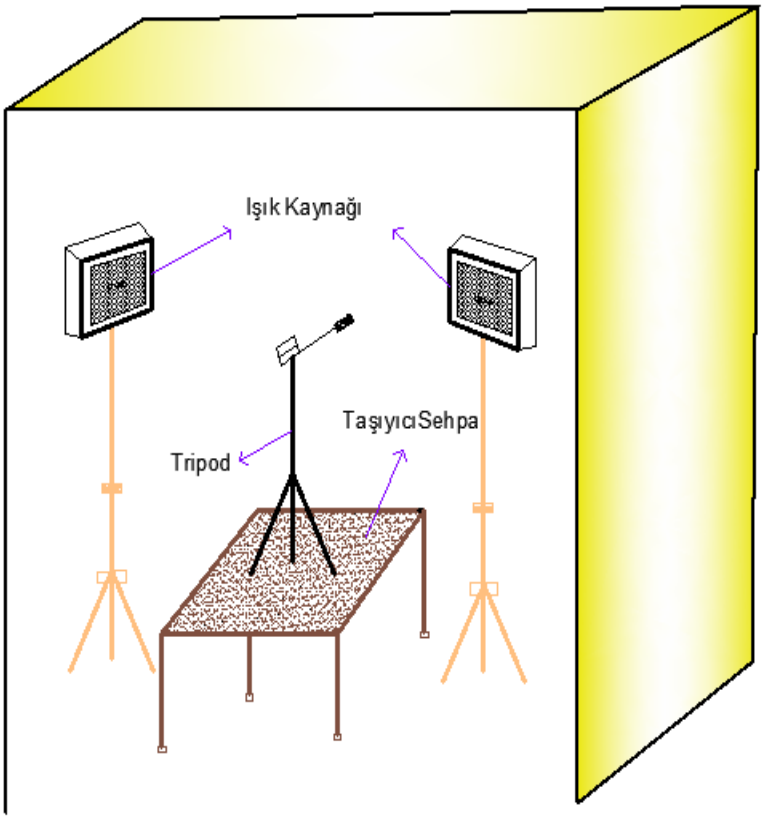
Erdinç Beton A.Ş. laboratuvarlarında üretilen 144 adet beton silindir numune 28 gün sonunda Selçuk Üniversitesi Deprem Laboratuvarı'na nakil edilmiştir. Burada çalışmanın diğer etabı olarak numunelerin yüzey görüntülerinin alınması işlemine geçilmiştir. Görüntüleme için bir düzenek oluşturulmuştur. Işık geçirmeyen bir kabin inşa edilmiş ve kabin içerisine uygun ışık şiddetlerinde aydınlatma sistemi yerleştirilmiştir. Kabin inşa edilmesinin sebebi, numunelerin sabit bir ışık altında fotoğraflanabilmesi gereğidir. Gün ışığı değişken olduğu için her bir numuneye gelen ışık miktarı aynı olmaması sebebiyle analitik çalışmadaki sonuçları değiştirebilmektedir. Bu sebeple ışık geçirmeyen bir kabin oluşturulup içine aydınlatma düzeneği sabit olarak yerleştirilmiştir. Kabin inşası için öncelikle ağaç tabakalarından oluşan plywood bir panel ile 1m x 1,5m boyunda mini bir kabin oluşturulmuştur. Kabinin üç tarafı için plwood kaplama kullanılmıştır. Kabinin giriş kısmı ise ışık geçirmeyen siyah perde ile kapatılmıştır. Görüntüleme yapabilmek için kabine giriş-çıkış böylelikle mümkün hale getirilmiştir. Görüntüleme kabini dış görüntüsü Şekil 6.23'te gösterilmiştir.



Şekil 6.23. Görüntüleme kabini tasarımı

Görüntüleme kabininin iki köşesine simetrik olarak ayaklı projektör lambalar kurulmuştur. Projektörler üzerine 30'ar volt (W) ışık şiddetinde iki led ışıklı aydınlatıcı monte edilmiş ve bu aydınlatıcı lambaların açışı beton numune yüzey detaylarını görülebilir hale getirecek şekilde aşağı doğru bükülmüştür. Kabinin giriş kısmına ayaklı bir taşıyıcı

sabitlenerek görüntüleme esnasında beton silindir numuneler bu taşıyıcı üzerinde sabit bir noktaya alınarak fotoğraflanması gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.24'te kabin iç yüzey görüntüsü verilmiştir.



Şekil 6.24. Görüntüleme kabini iç dizaynı

Kabin içerisine yerleştirilen aydınlatma sistemi için her bir projektör üzerine 30W'luk (volt) ışık veren LED (Light Emitting Diode, Işık Yayan Diyot) sistemli toplam 2 lamba bağlanmıştır. LED lambalar doğal ışık yaydığı için tercih edilmiştir. Ayrıca LED aydınlatma sisteminden önce ışık düzeneğine halojen lamba bağlanarak da fotoğraflanma işlemi gerçekleştirilmiştir. Akkor lambanın atmosferindeki gaz karışımının değiştirilmesi (halojen eklenmesi) ile oluşturulmuş bir ısıl ışık kaynağı olan halojen lambalar kısa ömürlü olduğu için beton numunelerin görüntülenmesinde sık sık patlayarak verimli sonuç vermemiştir. Bu sebeple de deneyin LED aydınlatma sistemi ile yapılmasına karar verilmiştir. LED ışık kaynaklarından da öncelikle 10W ışık veren lambalarla görüntüleme yapılmış, fakat numune yüzeyinde yetersiz bir aydınlanma olduğu gözlemlendiği için ışık şiddeti artırılarak 30W LED

lambalar bağlanmıştır. Şekil 6.25 ve Şekil 6.26'da kabin içerisindeki deney düzeneğine yer verilmiştir.



Şekil 6.25. Kabin içi deney düzeneği



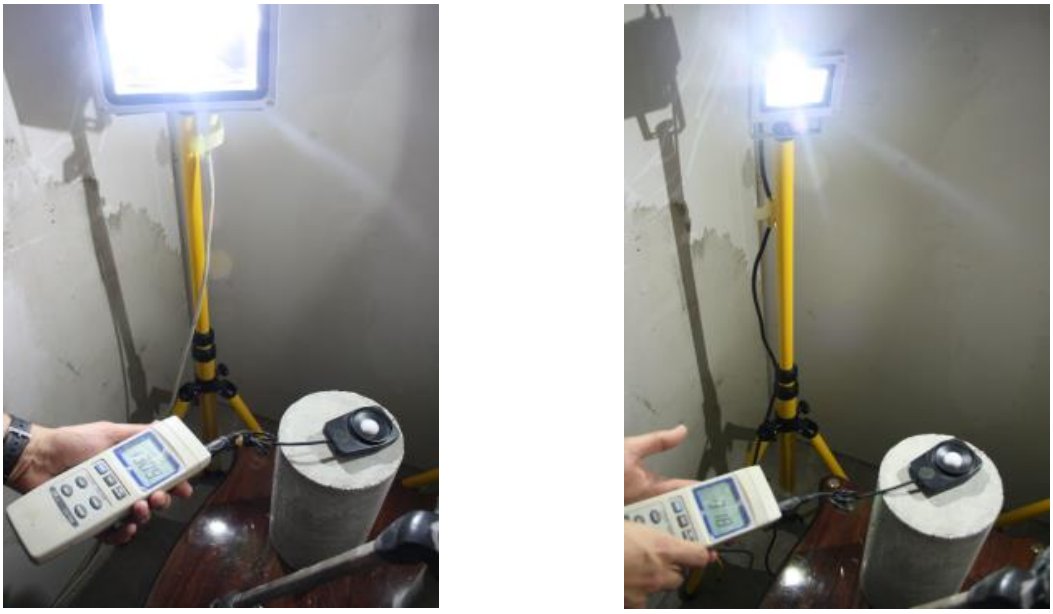
Şekil 6.26. Kabin içinde görüntülenen beton numunesi

Simetrik olarak beton numune yüzeyini aydınlatan ışık sisteminde numune yüzeyine düşen ışığın ölçümü de gerçekleştirilmiştir. Lüksmetre adı verilen ışıkölçer cihazı beton numunesinin üzerine yerleştirilerek numune yüzeyine düşen ışık şiddeti ölçülmüştür. Lutron – LX 1108 marka lüksmetre cihazı Şekil 6.27'de gösterilmiştir.



Şekil 6.27. Lutron – LX 1108 marka lüksmetre (ışık ölçer)

Lüksmetre ile yapılan ölçüm sonucu beton yüzeyine gelen ışık şiddeti miktarı 1909 lükstür (Lümen/m^2). Lüksmetre ölçümleri Şekil 6.28'de gösterilmiştir.



Şekil 6.28. Lüksmetre (ışık ölçer) ölçümleri

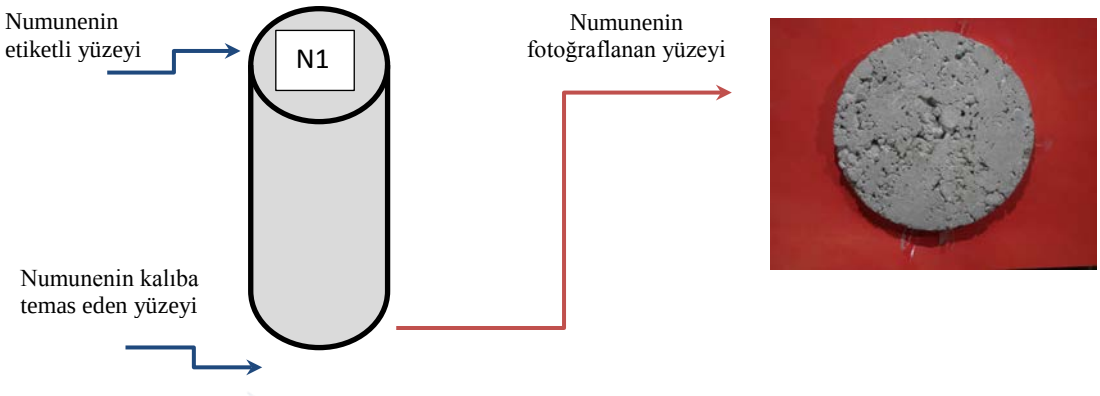
Görüntüleme sistemi ile ilgili gerekli düzenekte hazırlandıktan sonra beton numunelerin fotoğraflanması işlemine geçilmiştir. Fotoğrafların çekiminde Canon Eos 400d marka 18-55mm lense sahip 10.1 megapiksel çözünürlüklü dijital fotoğraf makinası kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan fotoğraf makinası Şekil 6.29'da gösterilmiştir.



Şekil 6.29. Deneyde kullanılan dijital fotoğraf makinası

6.6. Fotoğraflama Deneyin Yapılması

İlk olarak beton numunelerin kalıba temas eden dairesel alt yüzeylerinin fotoğrafları çekilmiştir. Fotoğraflama numune yüzeyinden yaklaşık 30 cm mesafeden gerçekleştirilmiştir. Fotoğraf makinesi ile uzun süreli pozlama istendiği için, makinenin üzerine takılabileceği üç bacaklı ve çeşitli yöntemlerle oynar bir kafaya sahip olan tripod kullanılmıştır. Fotoğraf makinasının sabitlenmesinden sonra 144 beton numunenin çekimleri yapılmıştır. Şekil 6.30'da numunenin fotoğraflanan yüzeyinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 6.30. Numunelerin fotoğraflanan yüzeylerinin şematik gösterimi

Örnek olarak N1, N16, N19 ve N32 numunelerinin fotoğraflanan yüzeylerinin görüntüsü Şekil 6.31, 6.32, 6.33 ve 6.34'te verilmiştir. Bu görüntülere ait beton karışımları da Çizelge 6.11'de verilmiştir.



Şekil 6.31. N1 numunesi yüzey görüntüsü



Şekil 6.32. N16 numunesi yüzey görüntüsü



Şekil 6.33. N19 numunesi yüzey görüntüsü



Şekil 6.34. N32 numunesi yüzey görüntüsü

Çizelge 6.11. Görüntüleri verilen numunelerin beton karışım oranları

Numune Numarası	Su/Çimento	Çimento Dozajı (kg/m^3)	Katkı Malzemesi	Sıkıştırma	Kür	Numune Kodu
N1	0,4	350	yok	var	var	11011
N16	0,6	450	yok	yok	yok	00000
N19	0,4	350	var	yok	var	11101
N32	0,6	450	var	yok	yok	00100

Her bir numunenin fotoğrafları çekildikten sonra agrega dağılımının betonun dayanımına ve diğer mekanik özelliklerine etkisinin incelenmek adına numune yüzeylerinden 5 cm'lik kısımlar kesilerek kesilen yeni yüzeyin fotoğraflanması işlemine geçilmiştir. Kesilme işlemi numuneler üzerinde etiketli yüzeylerinden yapılmıştır. Şekil 6.35'te numunelerin kesimi gösterilmiştir. Numunelerin kesildikten sonraki görüntüleri ise Şekil 6.36'da verilmiştir.



Şekil 6.35. Numunelerin kesilmesi



Şekil 6.36. Numunelerin kesildikten sonraki görüntüsü

Beton silindirlerin 30W'luk ışık kaynakları altında bu kezde kesilen yüzeylerinin fotoğrafları çekilmiştir. Kesilen numunelere ait yüzey görüntüleri Şekil 6.37,ve Şekil 6.38'de verilmiştir.



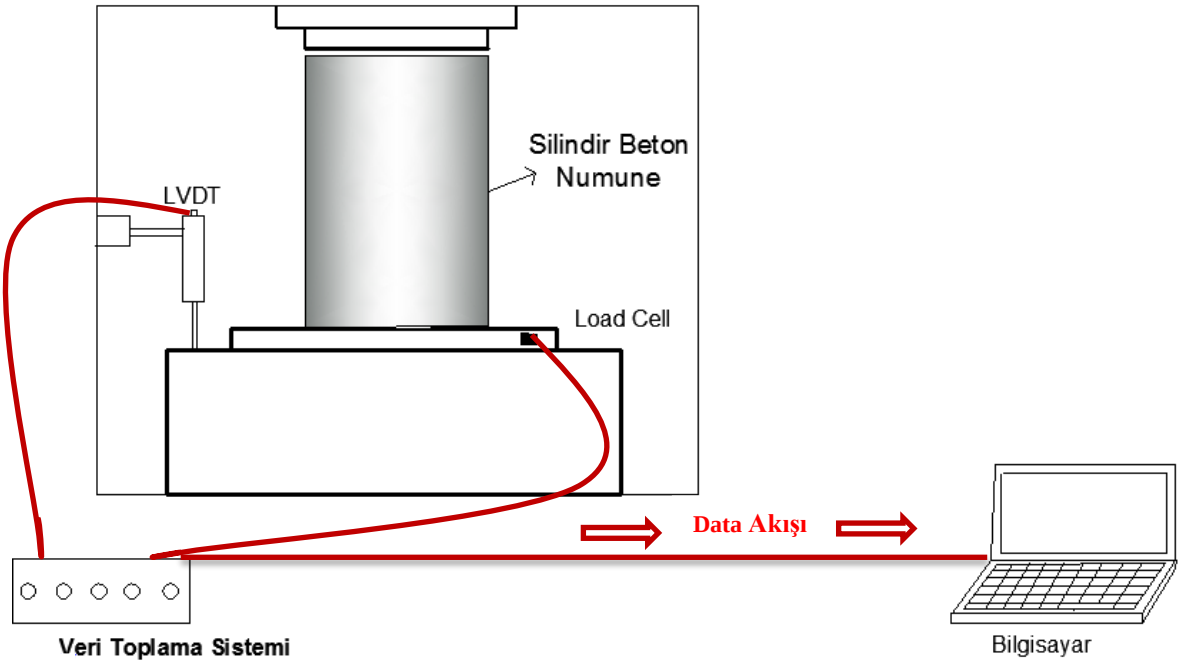
Şekil 6.37. N7 (solda) ve N3(sağda) numunesi kesilmiş yüzey görüntüsü



Şekil 6.38.N20 (solda) ve N8 (sağda) numunesi kesilmiş yüzey görüntüsü

6.7. Numunelerin Basınç Presinde Test Edilmesi

Bu tez çalışmasında tek eksenli basınç dayanımı, tek eksenli basınç dayanımı altında gerilme-düşey deformasyon (σ–ε) davranışı deneyleri yapılmıştır. Beton numuneler Selçuk Üniversitesi Maden Mühendisliği Mekanik Laboratuvarında hazırlanan bir deney düzeneğinde deneye tabi tutulmuştur. Beton silindir örneklerinin fotoğraflanması işleminin ardından numunelerin basınç dayanımları, maksimum deformasyon ve elastisite modüllerinin bulunabilmesi için 3000 kN düşey yük kapasiteli ve otomatik kontrol ünitesine sahip hidrolik pres adı verilen cihazda tek eksenli düşey yüklemeye tabi tutulmuştur. Numuneler üzerine gelen yükün neden olacağı şekil değiştirme ve kırılmaya karşı maksimum direnme gösterecektir. Pres aletinde yüksekliği ayarlanabilir üst tabla ve hareketli alt tabla arasına beton silindir numune örneği yerleştirilmiştir. Silindir numunenin cihaz içinde oturacağı kısımda bir yük okuyucu eleman (load cell) bulunmaktadır. Numunenin eksenel olarak deformasyonunu ölçmek içinde numune etrafına düşey olarak LVDT (Lineer Vertical Displacement Transducer) bağlanmıştır. LVDT uygulanan yük altıda betonda meydana gelecek eksenel boy değişikliğini belirli bir hassasiyette ölçebilen, ölçtüğü değerleri belirli aralıklarla bilgisayara aktarabilen elektronik bir cetveldir. Yükleme ve ölçüm düzeneğinde LVDT'den ve load cell'den alınan veriler veri toplama sisteminden bilgisayara aktarmaktadır. Deney düzeneğinde LVDT ve loadcell TDG-CODA marka sekiz kanallı veri toplama sistemine bağlanarak datalar bilgisayara aktarılmıştır. Betonun dayanım ve deformasyon değerlerinin ölçüldüğü deney düzeneği Şekil 6.39'da gösterilmiştir.



Şekil 6.39.Beton pres aleti düzeneği

Deneyde kullanılan 3000 kN düşey yük kapasiteli hidrolik pres aleti Şekil 6.40'da gösterilmiştir. Pres içine numuneler Şekil 6.41'de gösterildiği üzere yerleştirilmiş ve yük uygulamaya hazır hale getirilmiştir. Yükleme hızı TS'de belirtildiği üzere 0,25 MPa/sn (2,5 kg/cm^2/sn) olarak ayarlanmıştır.



Şekil 6.40.Deneyde kullanılan hidrolik pres aleti



Şekil 6.41.Numunelerin pres içine yerleştirilmesi

Düşey yük uygulanan beton silindir numunelerde oluşan deformasyon örnekleri Şekil 6.42 ve 6.43'te verilmiştir.



Şekil 6.42. Yükleme sonucu beton numunelerde oluşan deformasyonlar



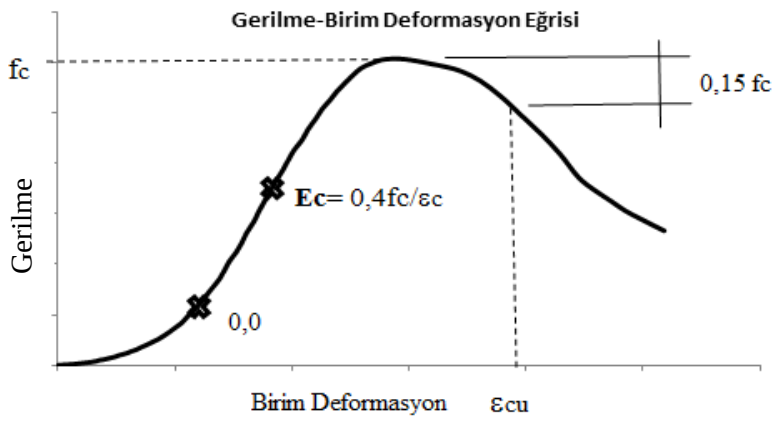
Şekil 6.43. Yükleme sonucu beton numunelerde oluşan deformasyonlar

7. ANALİTİK ÇALIŞMA

Bu bölümde beton silindir numunelerinin seçilen mekanik özelliklerinin belirlenmesi işlemi ve belirli çözünürlükte elde edilen beton silindir numune görüntülerinin sayısallaştırılması, sayısallaştırılan görüntünün YSA'da eğitilmesi işlemi anlatılmıştır. Tez kurgusu gereği ilk olarak numunelerin görüntüleri elde edilmiştir. Akabinde deneysel olarak numunelerin mekanik özellikleri elde edilmiştir. Elde edilen deneysel verilerle görüntüler eşleştirilerek analitik çalışma tamamlanmıştır.

7.1. Numunelerin Mekanik Özelliklerinin Elde Edilmesi

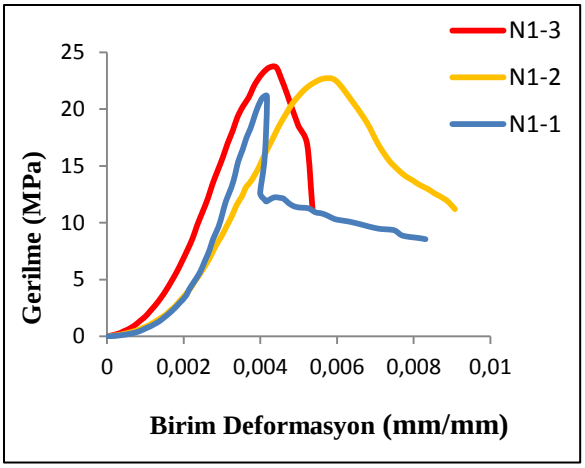
Farklı beton tipleri için hazırlanan silindir numuneler tek eksenli deformasyon ve tek eksenli düşey yükleme deneylerine tabi tutulmuştur. Yük altında düşey deformasyonlar LVDT cihazı ile ölçülmüştür. Deneyde 2 saniye aralıklarla veri kaydı yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre numunelerin basınç dayanımları, tanjant elastisite modülleri ve maksimum deformasyon değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda test seti olan 96 adet N numunesinde her bir beton karışımında 3 adet numune üretildiği için ortalama değerleri alınarak sonuçlar hesaplanmıştır. Örnek olarak N1 numunesi için üretilen 3'erli silindir beton numunelerin her birinin belirtilen değerleri hesaplanarak sonuçta tek bir elastisite modülü, maksimum deformasyonu (kırılma anında ki deformasyon) ve maksimum dayanımı hesaplanmıştır. Sonuçlara göre çizilen grafikler üzerinde yapılan hesaplamalarda çeşitli yaklaşımlar yapılmıştır. Hidrolik pres aleti beton numune üzerine temas ettikten sonraki yükleme ve deformasyon değerleri dikkate alınmıştır. Şekil 7.1'de grafik üzerinden yapılan hesaplamalar şematik olarak gösterilmiştir.



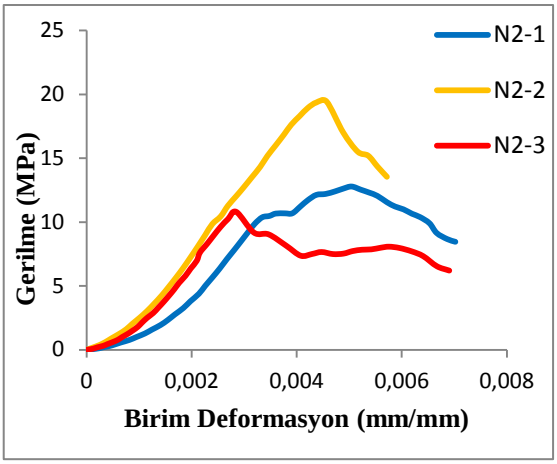
Şekil 7.1. Gerilme-deformasyon grafiği üzerinden hesapların yapılması işlemi şematik gösterimi

Grafiklerin başlangıç kısımlarında oluşan ters eğimlerin bittiği nokta 0,0 koordinatı olarak düşünülmüştür. Her bir numune için maksimum gerilmenin %40'ına tekabül eden kısımlardaki eğrinin eğimi alınarak elastisite modülü hesaplanmıştır. Numunelerin kopma deformasyon değerleri ise maksimum gerilme değerinin %15'ine denk gelen kısımlarında ölçülmüştür.

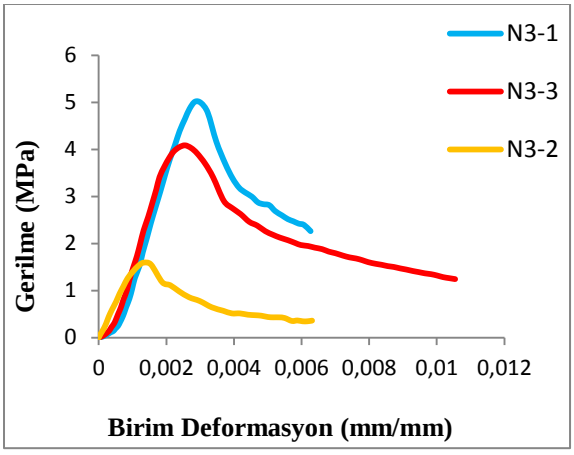
Her bir deney sonucu neticesinde gerilme- birim deformasyon davranışı için grafikler çizilmiş ve bu grafikler yardımıyla tanjant elastisite modülü (E_c) ve maksimum deformasyon değerleri (ε_{cu}) belirlenmiştir. Şekil 7.2 ve 7.33 arasında N grubu silindir beton numunelere ait gerilme-birim deformasyon grafikleri verilmiştir. Şekil 7.34 ve Şekil 7.80 arasında ise doğrulama seti olan S numunelere ait gerilme-deformasyon grafiği verilmiştir.



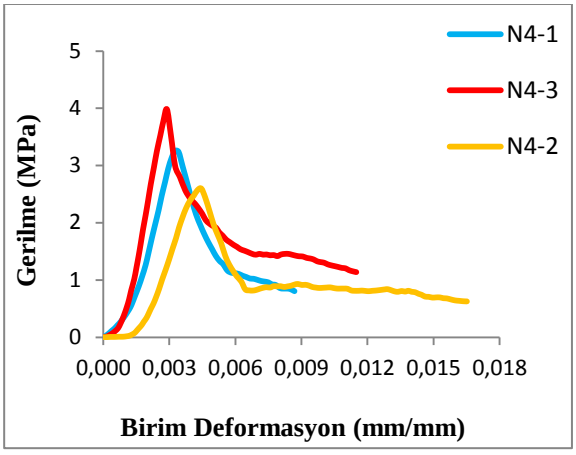
Şekil 7.2.N1 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



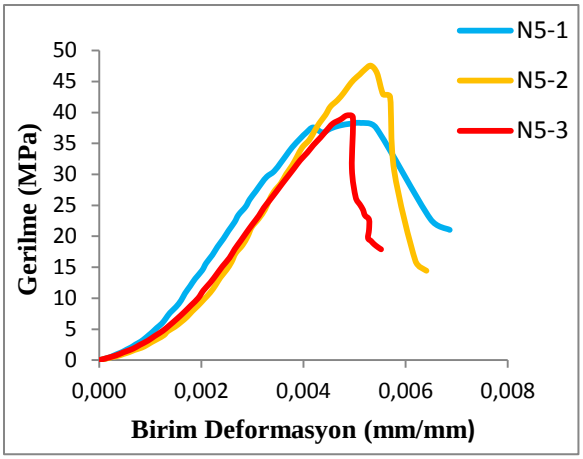
Şekil 7.3.N2 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



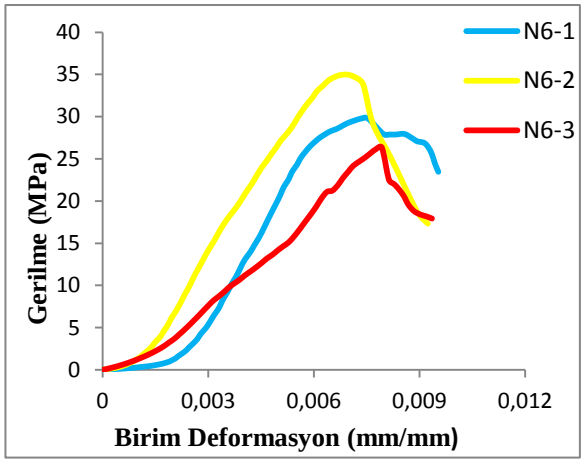
Şekil 7.4.N3 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



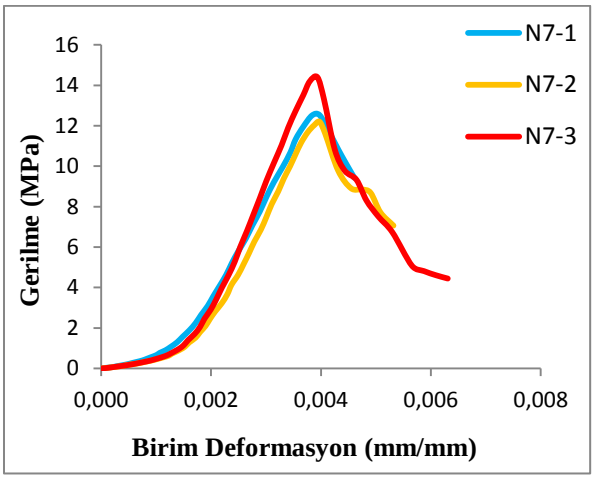
Şekil 7.5.N4 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



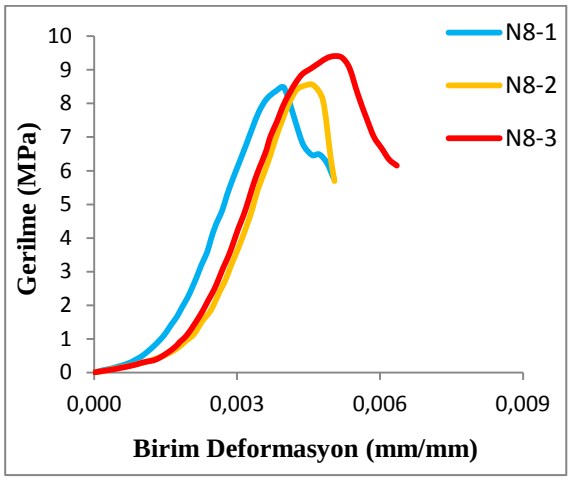
Şekil 7.6.N5 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



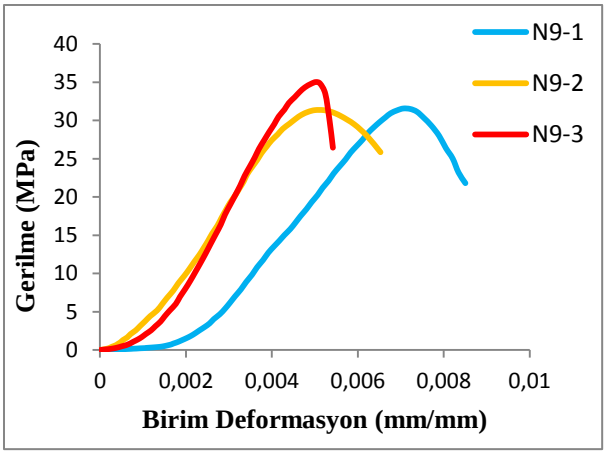
Şekil 7.7. N6 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



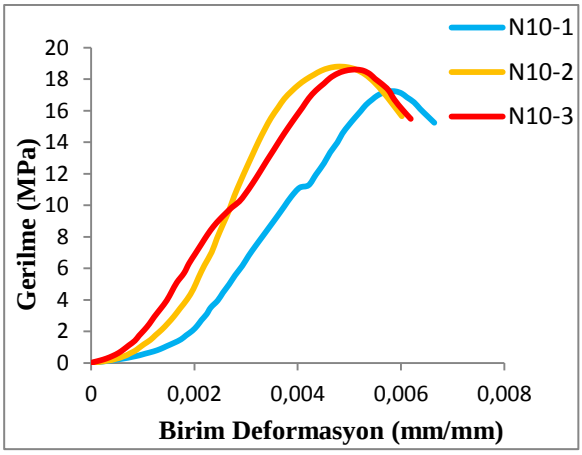
Şekil 7.8. N7 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



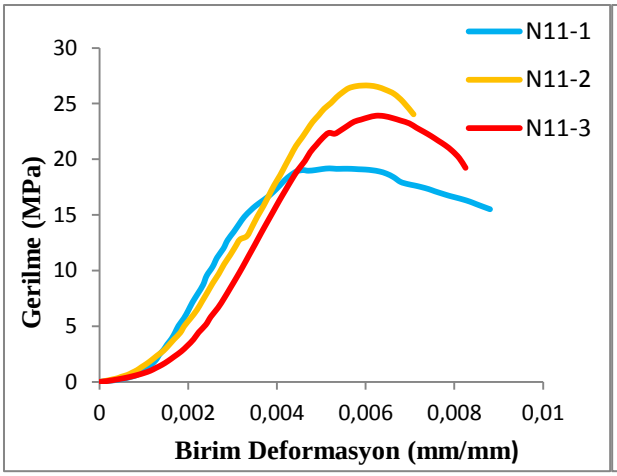
Şekil 7.9. N8 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



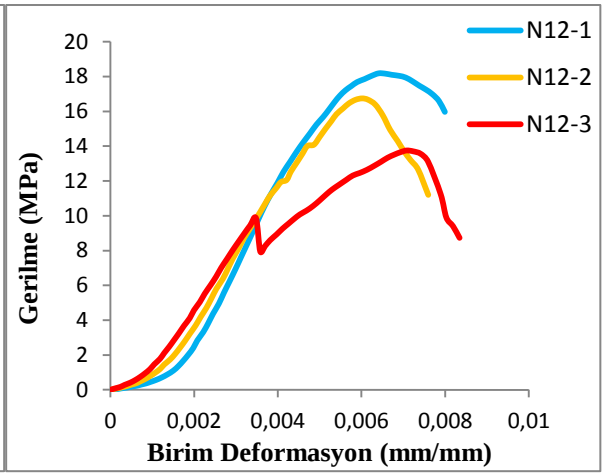
Şekil 7.10. N9 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



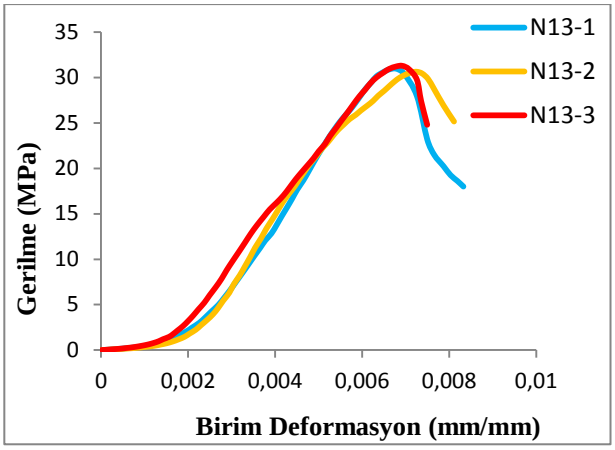
Şekil 7.11. N10 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



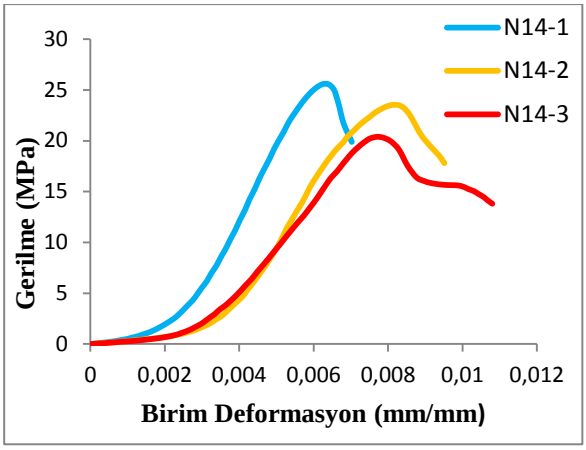
Şekil 7.12. N11 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



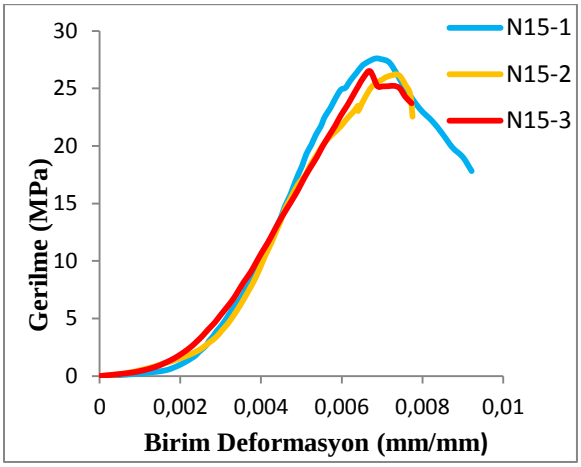
Şekil 7.13. N12 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



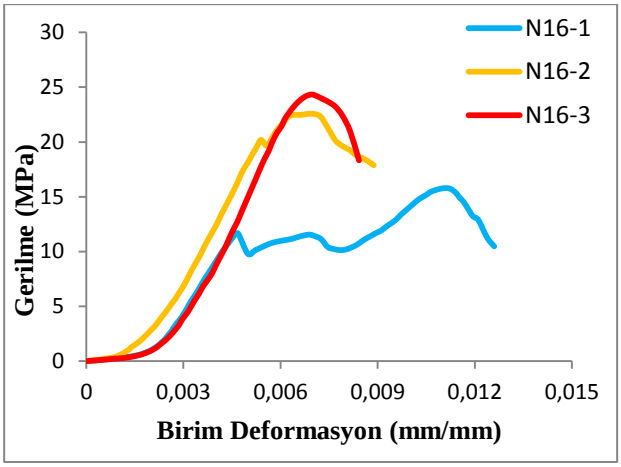
Şekil 7.14. N13 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



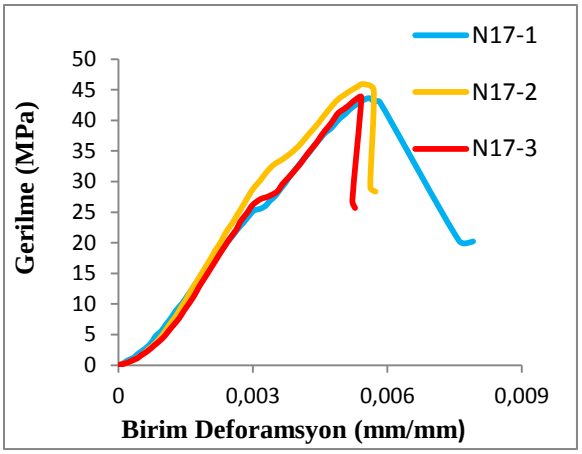
Şekil 7.15. N14 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



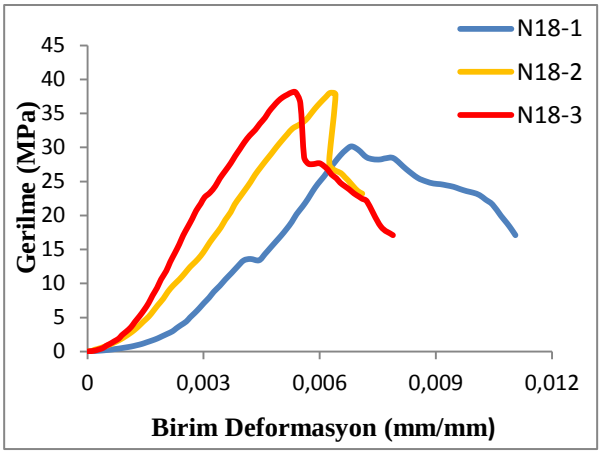
Şekil 7.16. N15 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



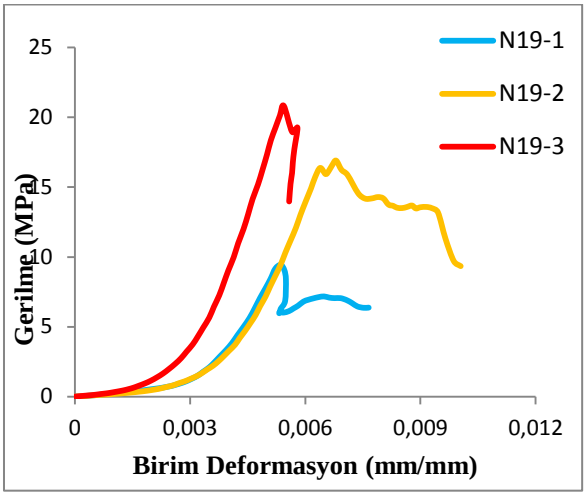
Şekil 7.17. N16 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



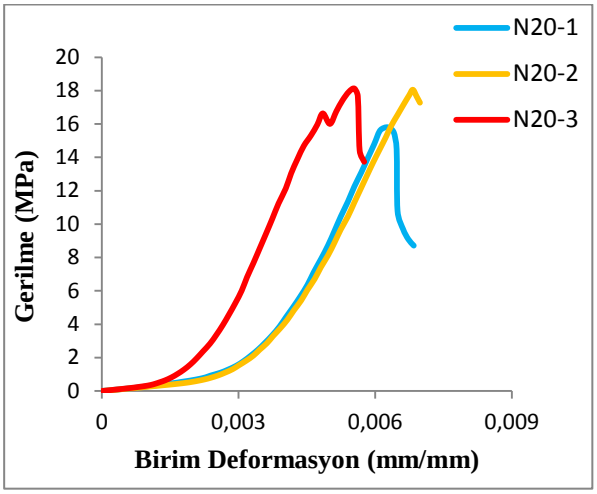
Şekil 7.18. N17 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



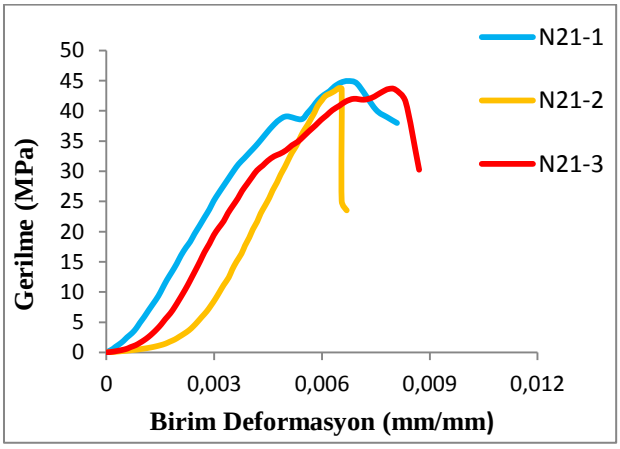
Şekil 7.19. N18 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



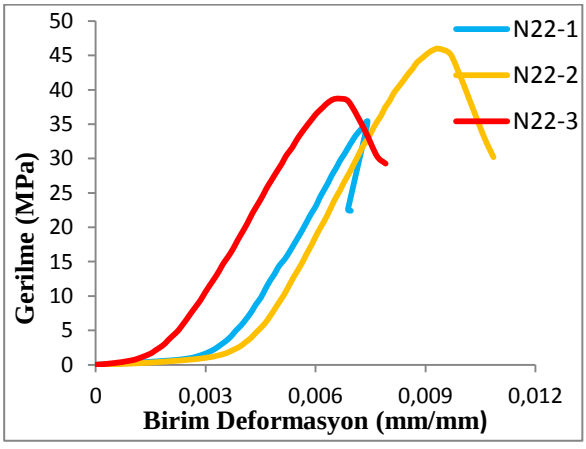
Şekil 7.20. N19 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



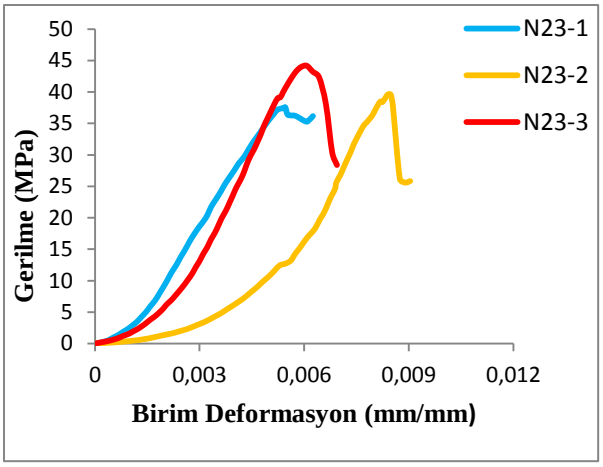
Şekil 7.21. N20 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



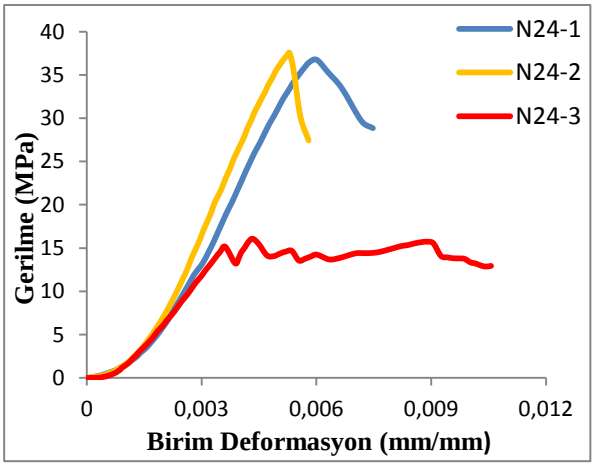
Şekil 7.22. N21 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



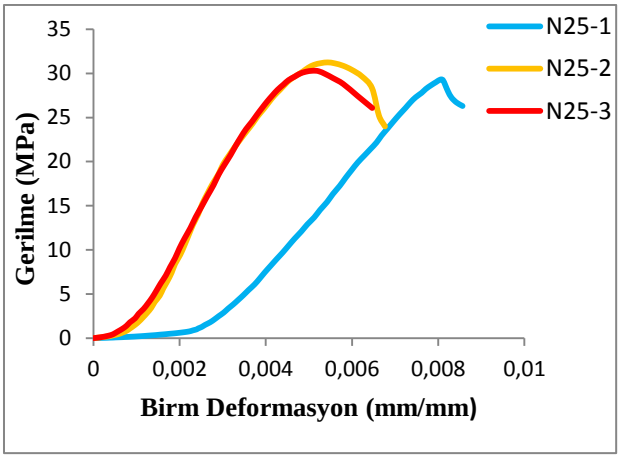
Şekil 7.23. N22 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



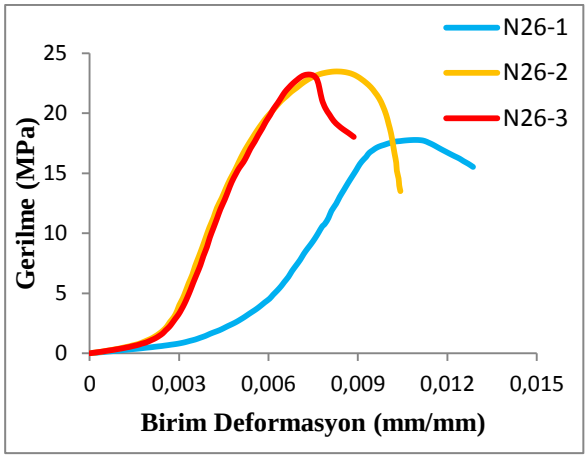
Şekil 7.24. N23 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



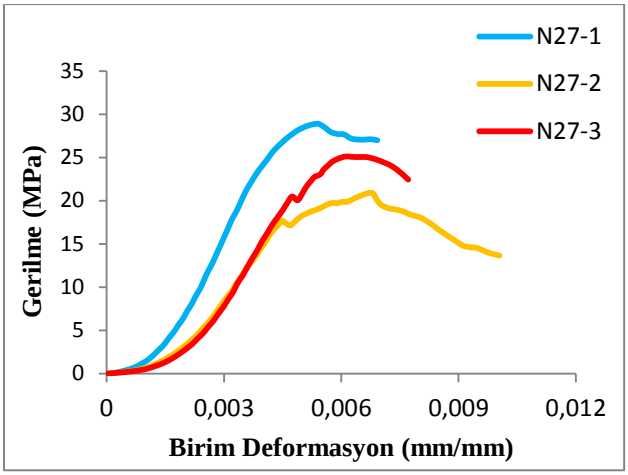
Şekil 7.25. N24 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



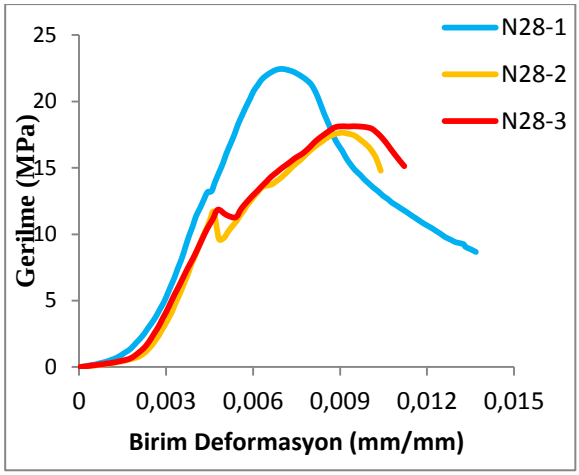
Şekil 7.26. N25 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



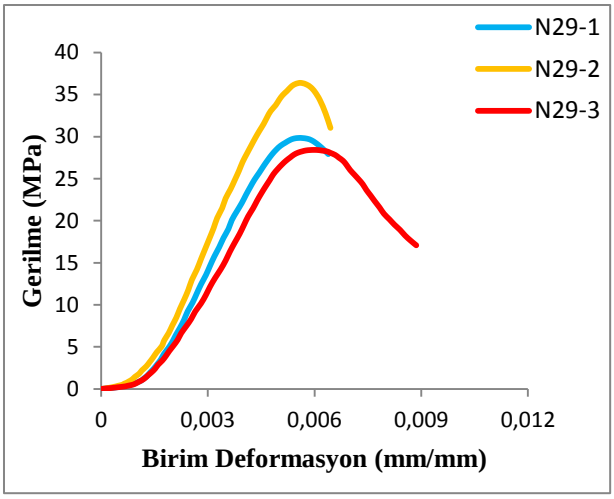
Şekil 7.27. N26 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



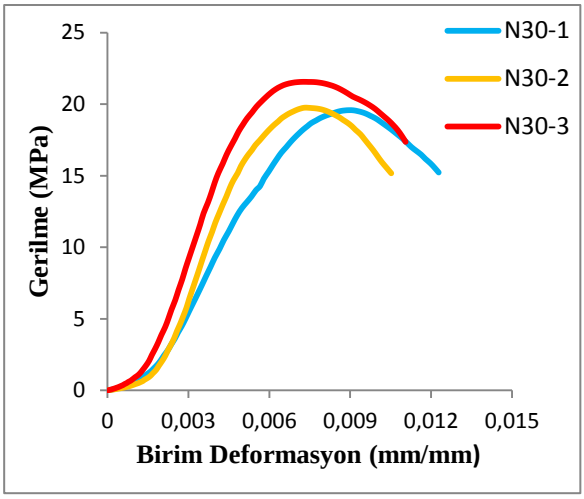
Şekil 7.28. N27 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



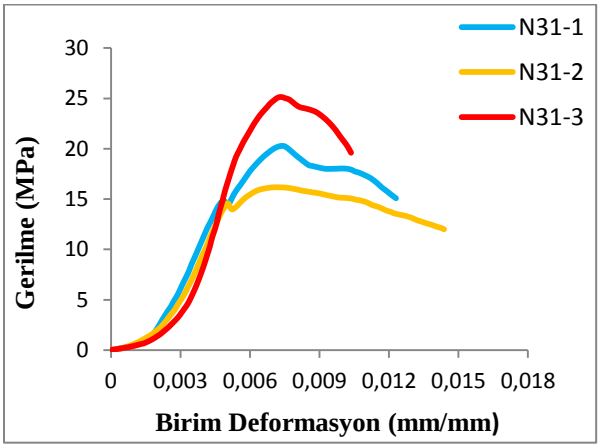
Şekil 7.29. N28 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



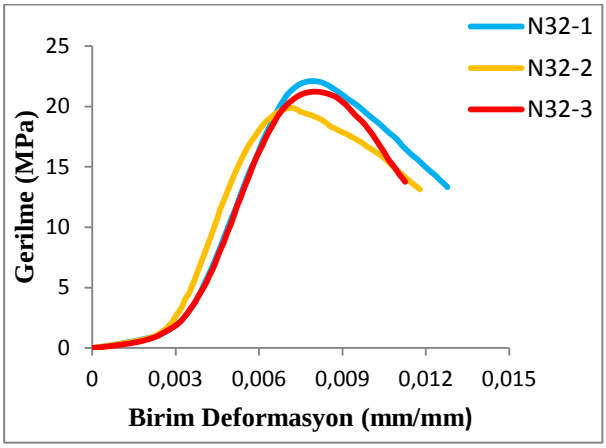
Şekil 7.30. N29 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



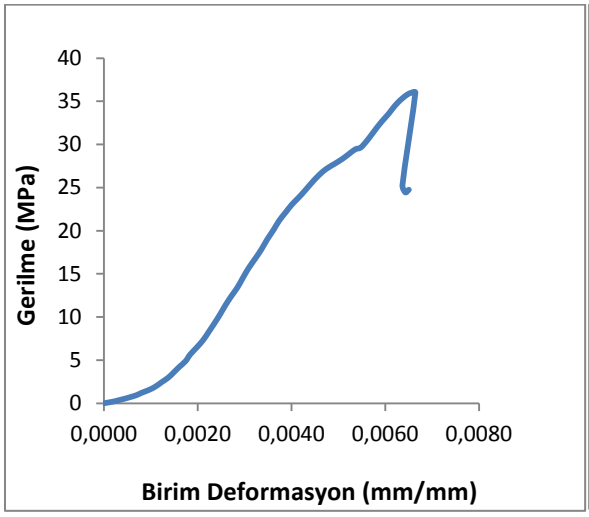
Şekil 7.31. N30 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



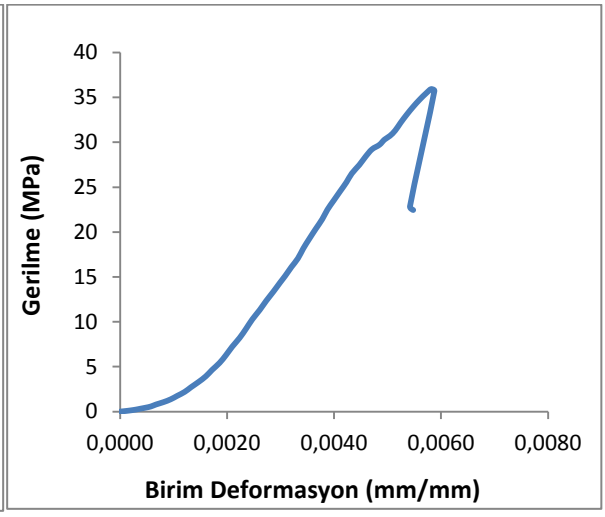
Şekil 7.32. N31 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



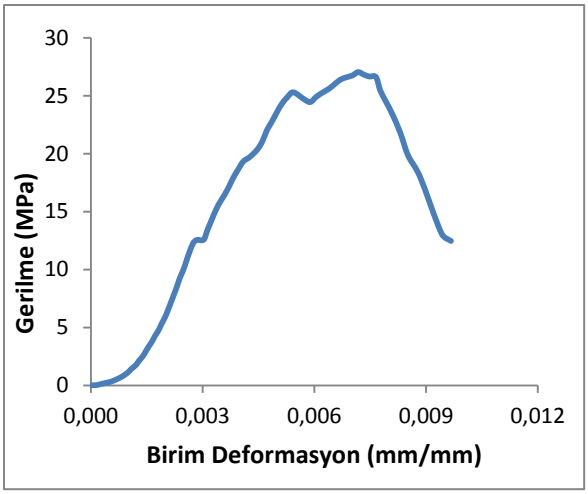
Şekil 7.33. N32 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



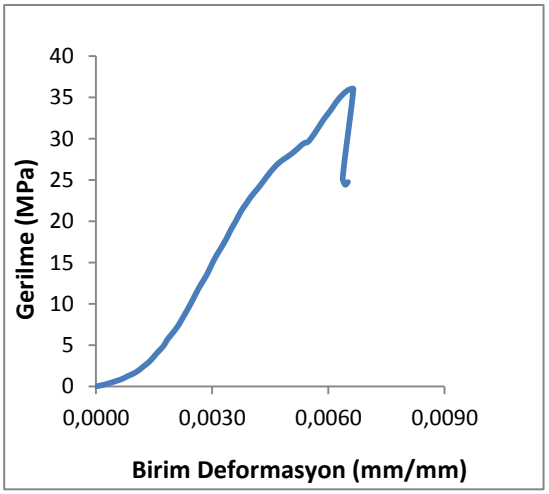
Şekil 7.34. S-1-1 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



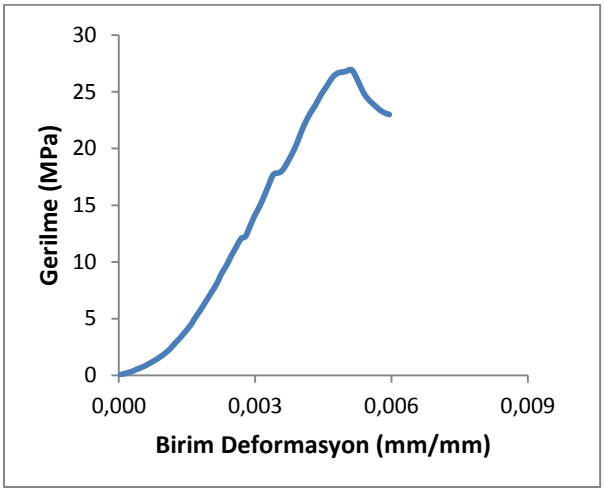
Şekil 7.35. S-1-2 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



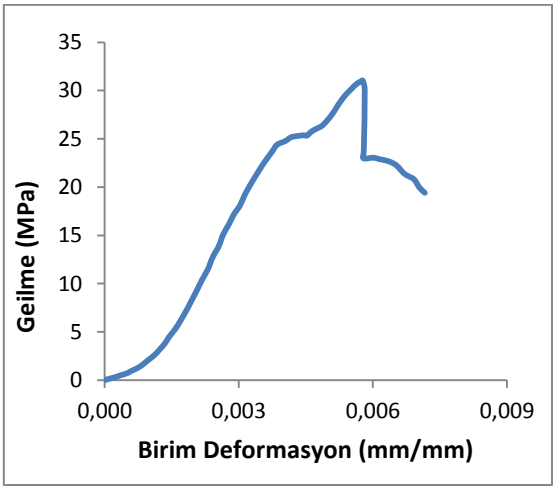
Şekil 7.36. S-1-3 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



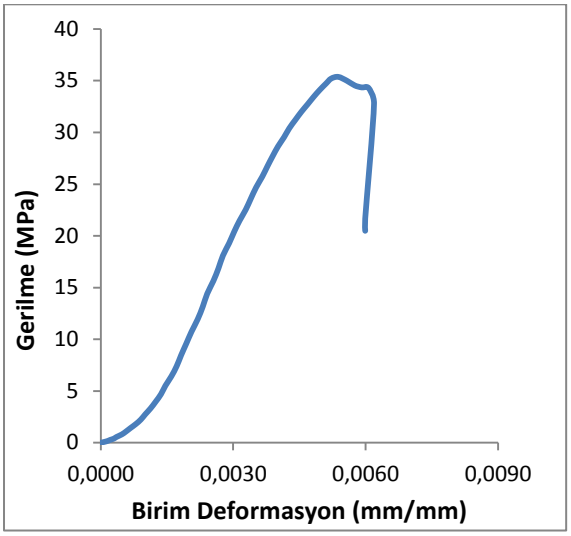
Şekil 7.37. S-2-1 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



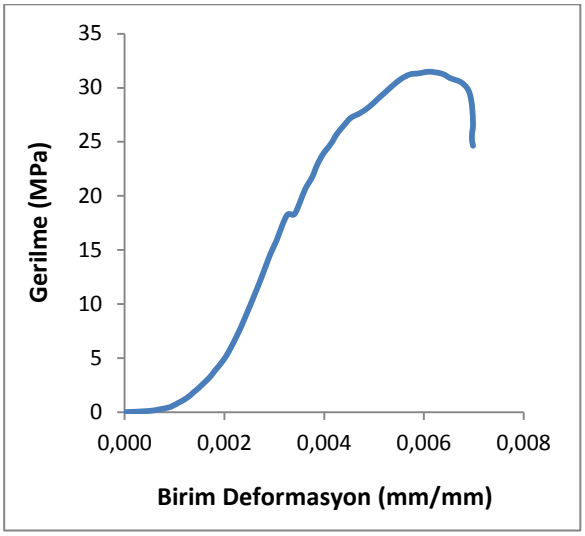
Şekil 7.38. S-2-2 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



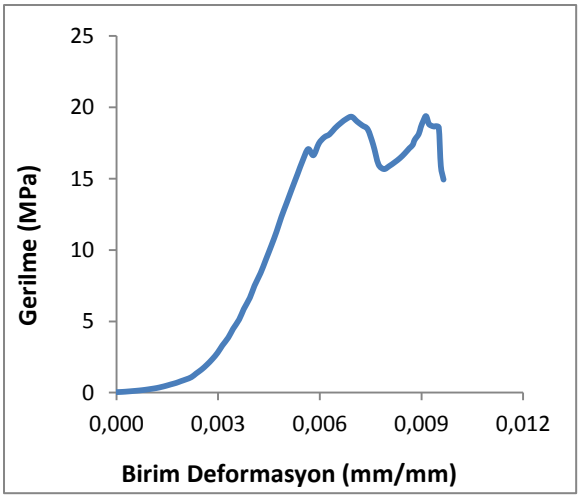
Şekil 7.39. S-2-3 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



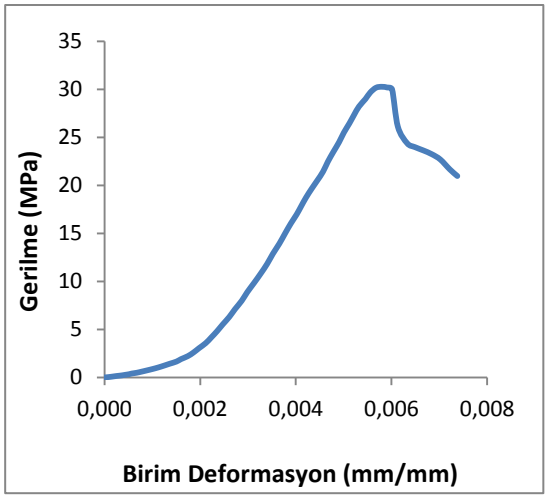
Şekil 7.40. S-3-1 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



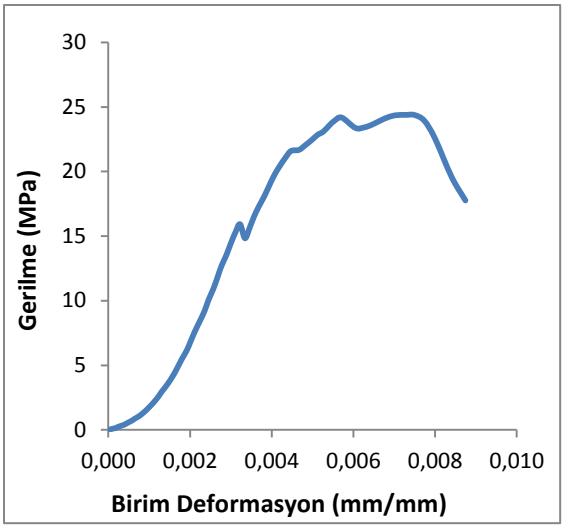
Şekil 7.41. S-3-2 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



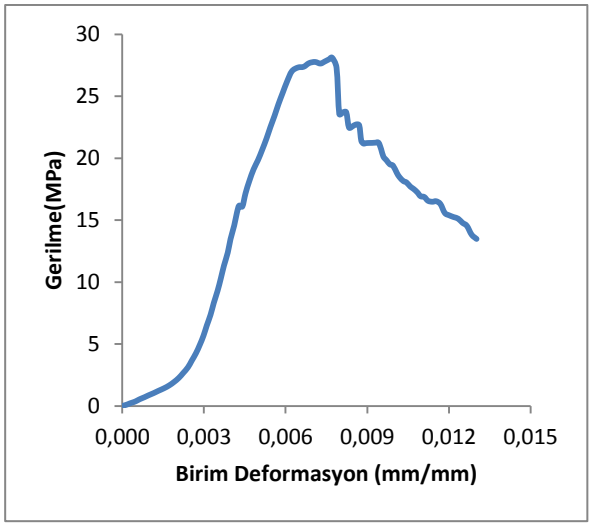
Şekil 7.42. S-3-3 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



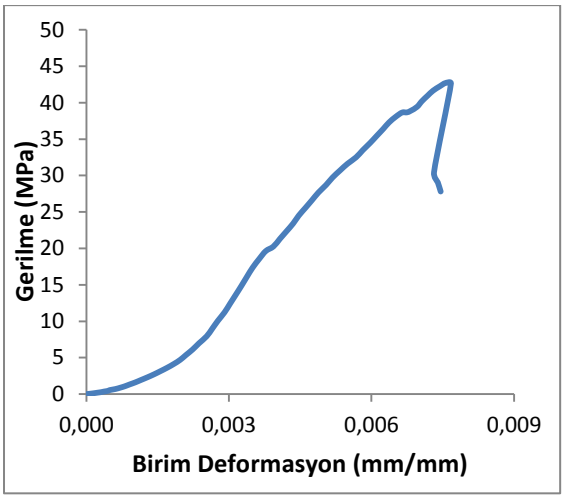
Şeki7.43. S-4-1 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



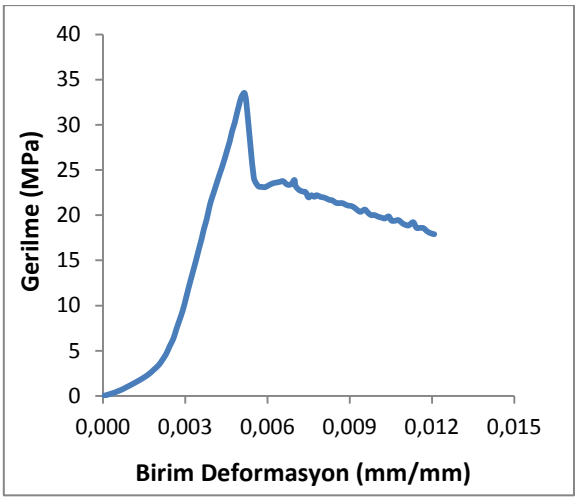
Şekil 7.44. S-4-2 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



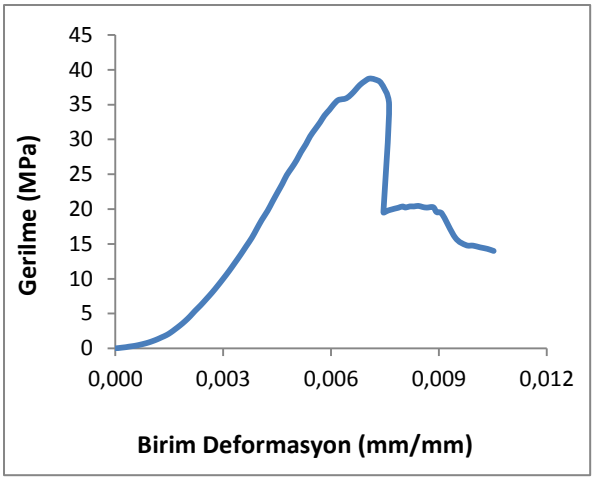
Şekil 7.45. S-4-3 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



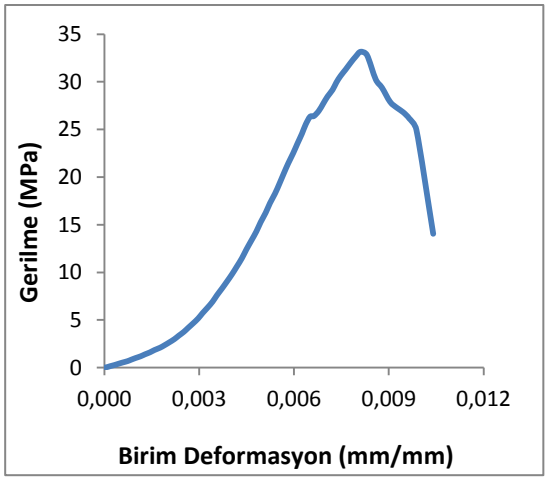
Şekil 7.46. S-5-1 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



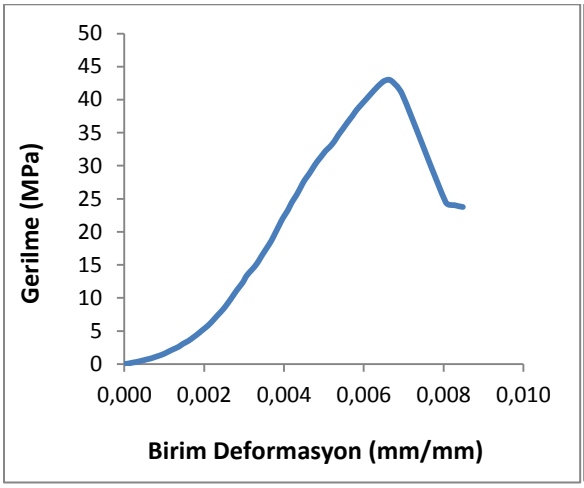
Şekil 7.47. S-5-2 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



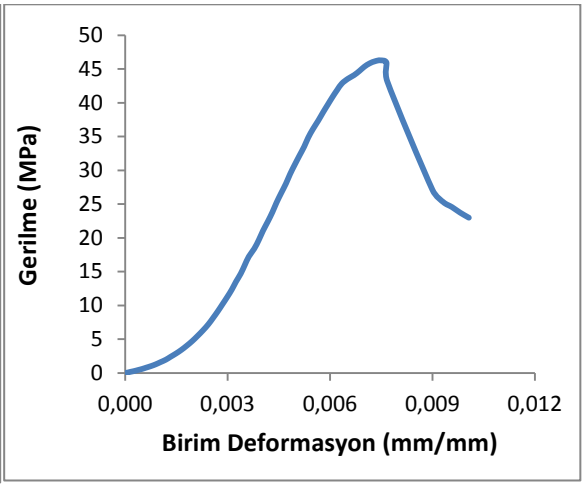
Şekil 7.48. S-5-3 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



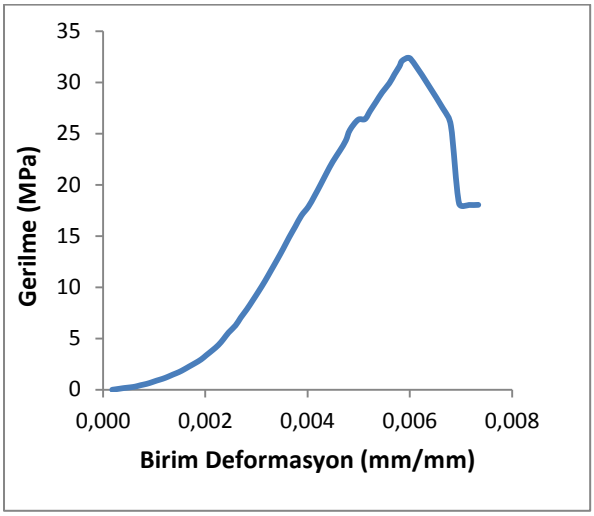
Şekil 7.49. S-6-1 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



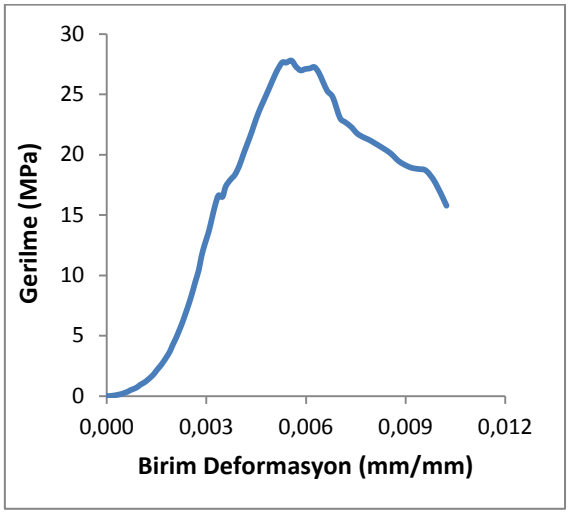
Şekil 7.50. S-6-2 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



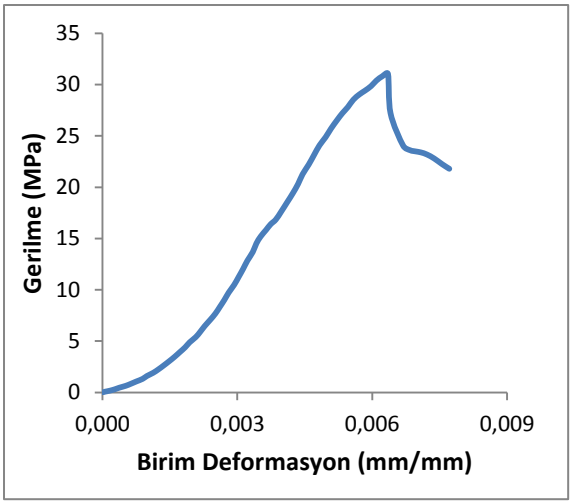
Şekil 7.51. S-6-3 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



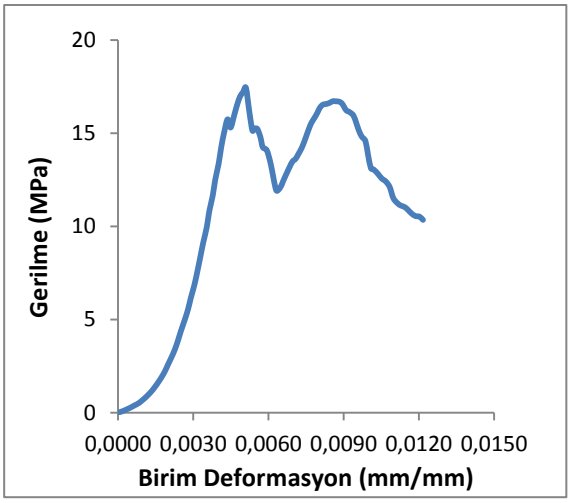
Şekil 7.52. S-7-1 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



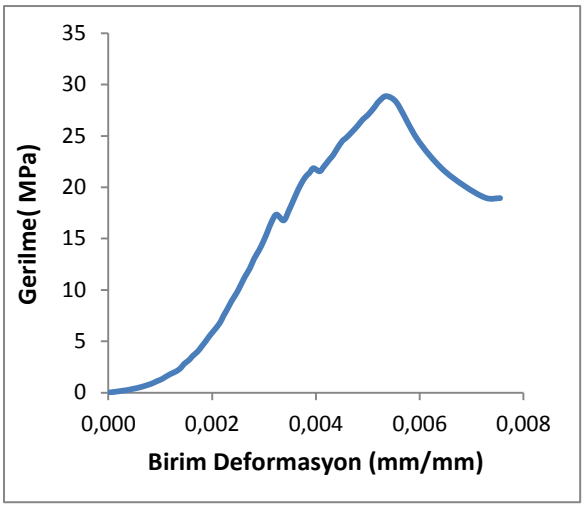
Şekil 7.53. S-7-2 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



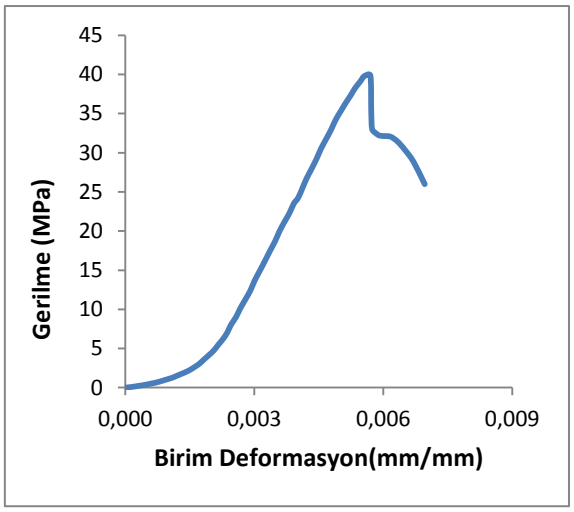
Şekil 7.54. S-7-3 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



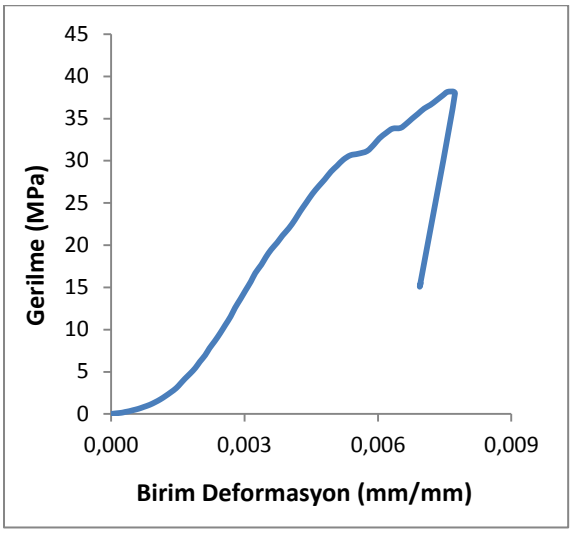
Şekil 7.55. S-8-1 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



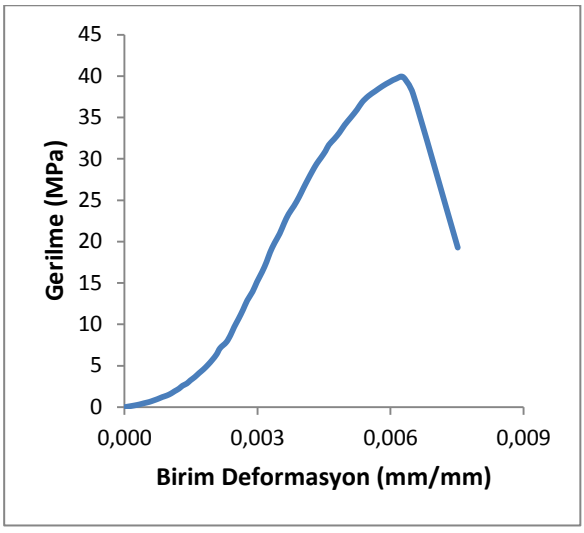
Şekil 7.56. S-8-2 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



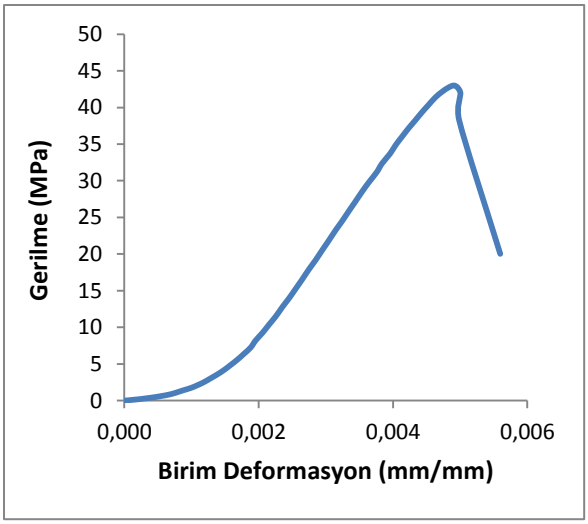
Şekil 7.57. S-8-3 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



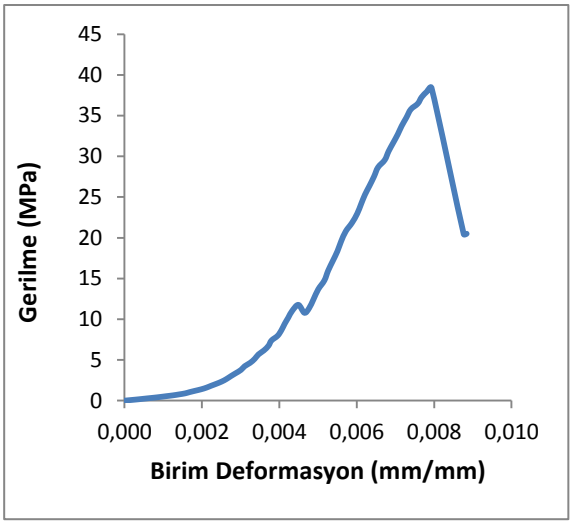
Şekil 7.58. S-9-1 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



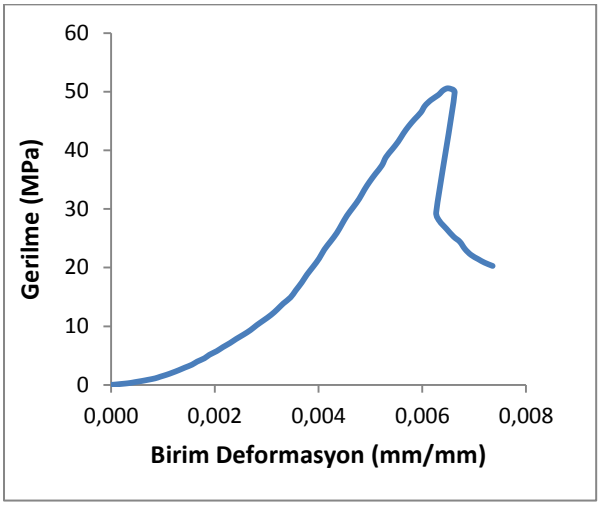
Şekil 7.59. S-9-2 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



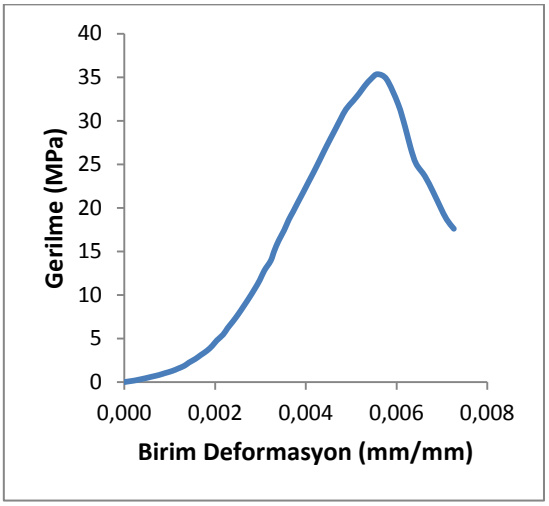
Şekil 7.60. S-9-3 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



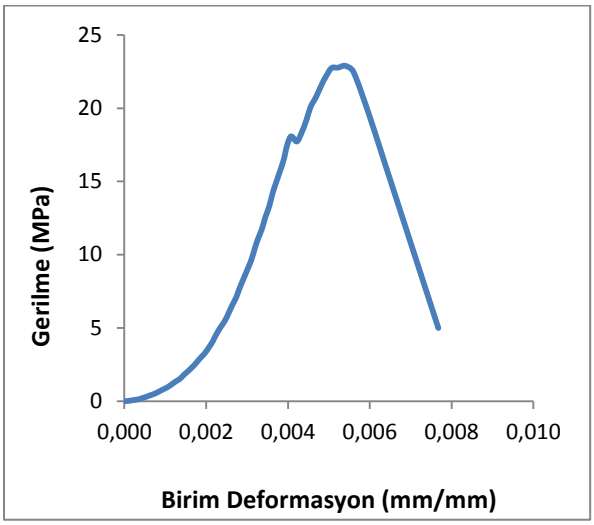
Şekil 7.61. S-10-1 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



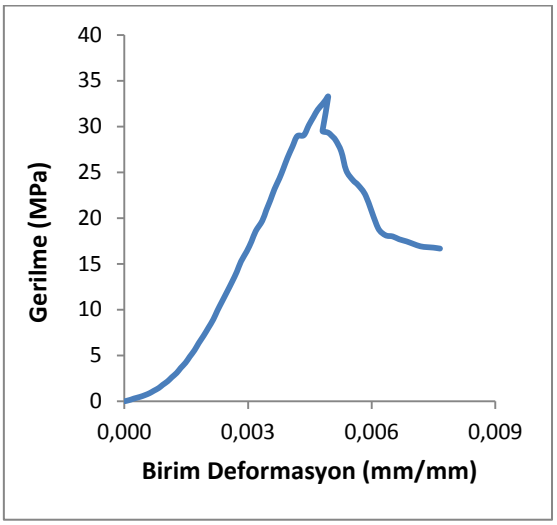
Şekil 7.62. S-10-2 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



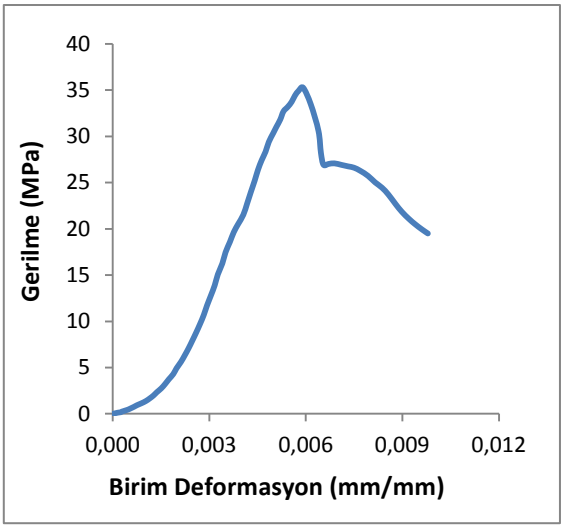
Şekil 7.63. S-10-3 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



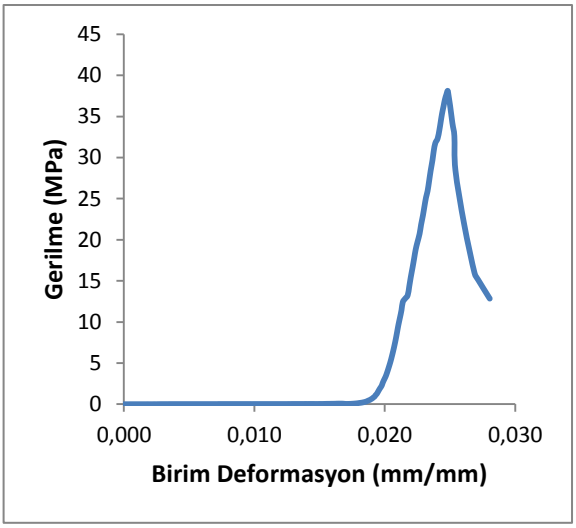
Şekil 7.64. S-11-1 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



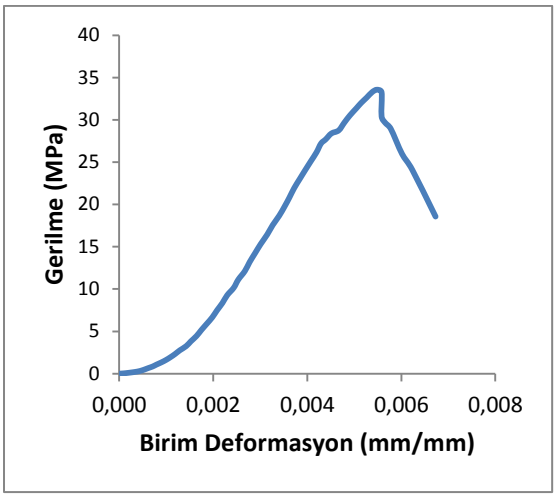
Şekil 7.65. S-11-2 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



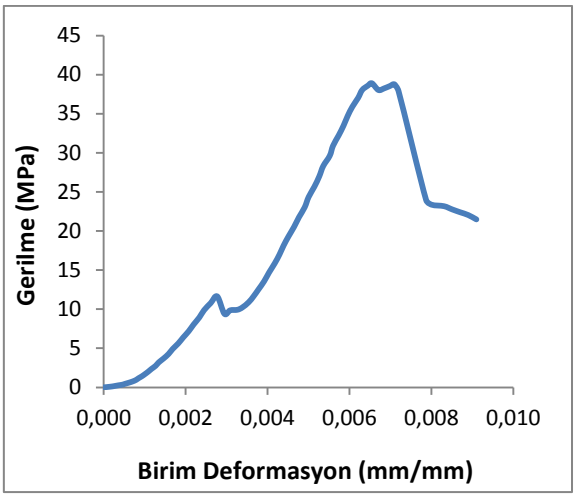
Şekil 7.66. S-11-3 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



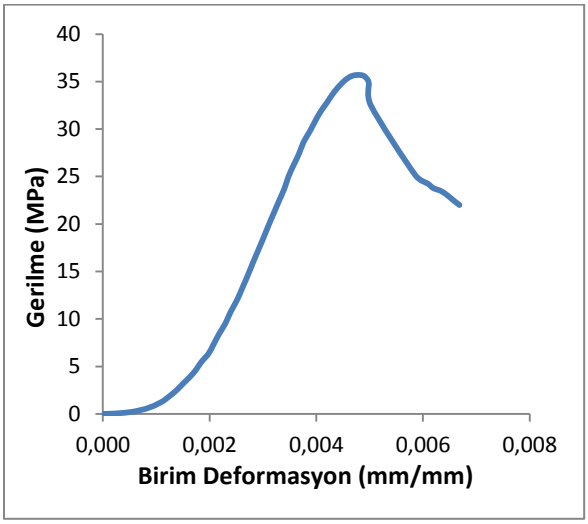
Şekil 7.67. S-12-1 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



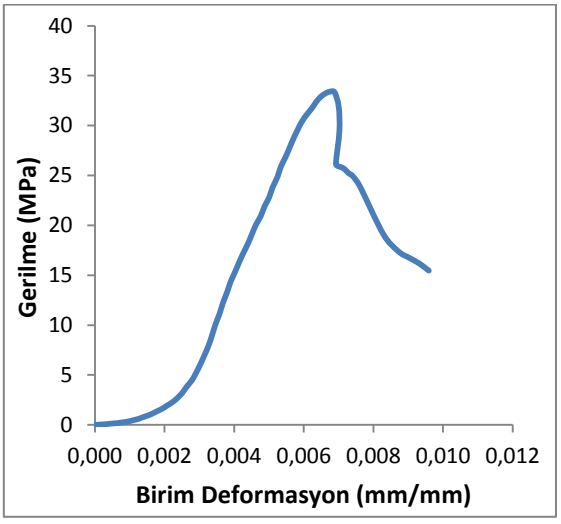
Şekil 7.68. S-12-2 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



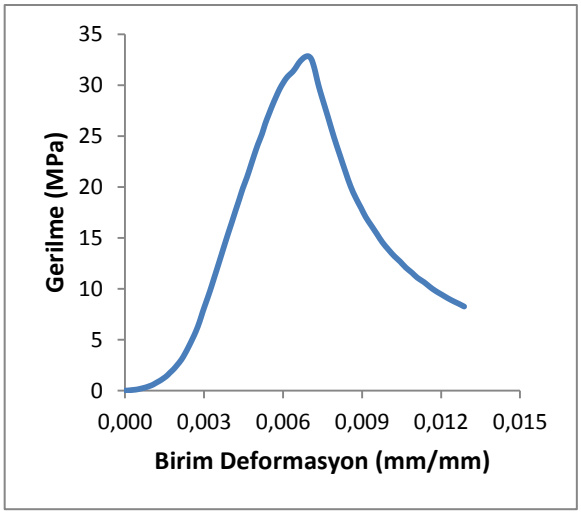
Şekil 7.69. S-12-3 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



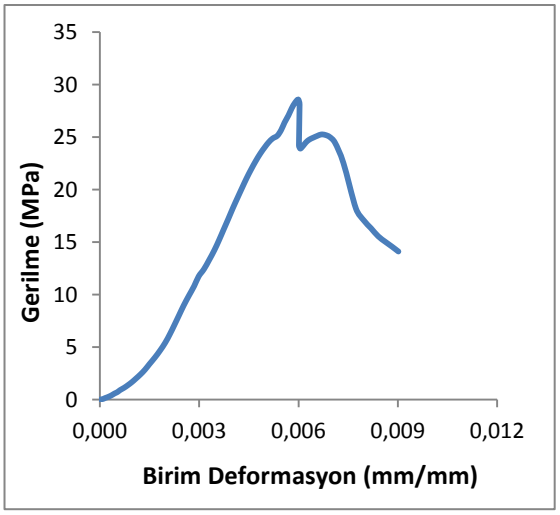
Şekil 7.70. S-13-1 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



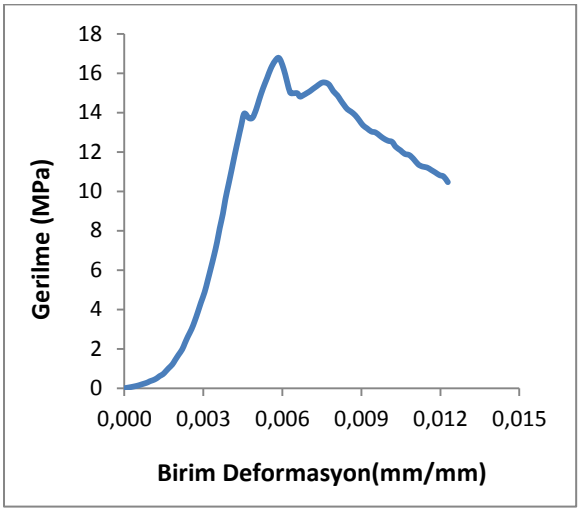
Şekil 7.71. S-13-2 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



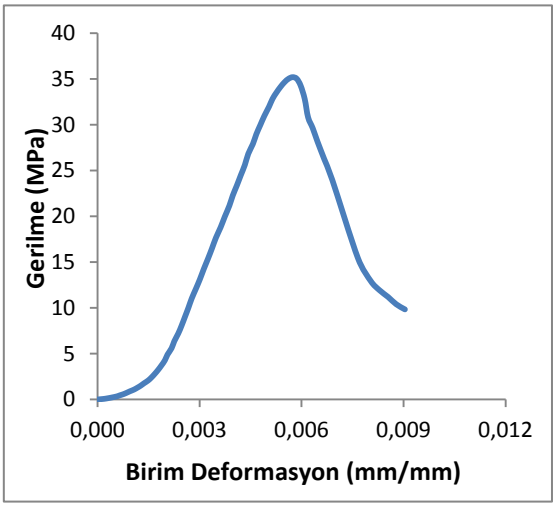
Şekil 7.72. S-13-3 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



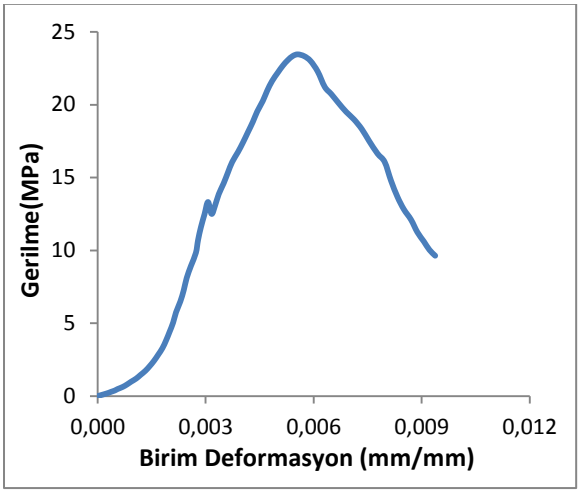
Şekil 7.73. S-14-1 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



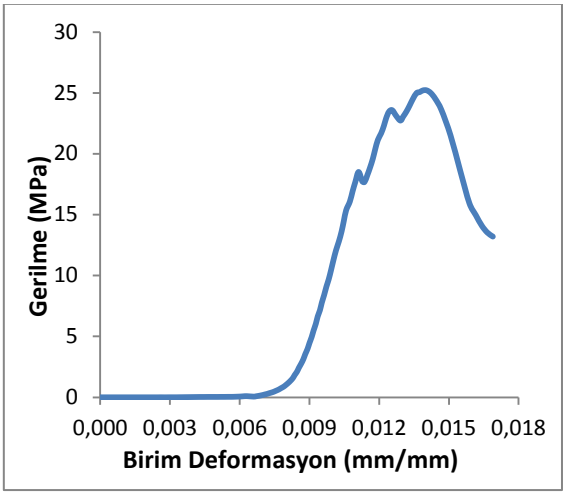
Şekil 7.74. S-14-2 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



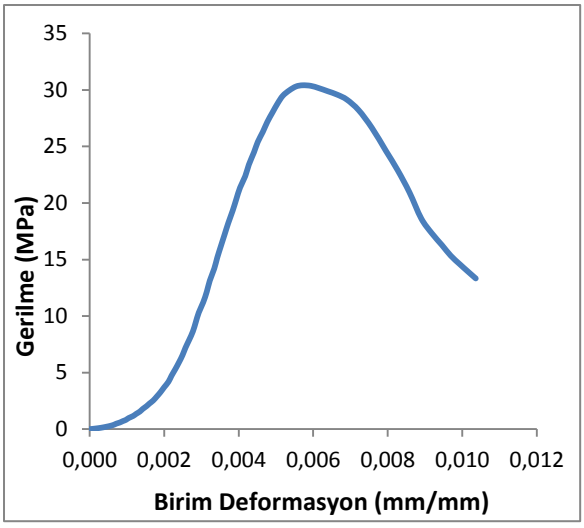
Şekil 7.75. S-14-3 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



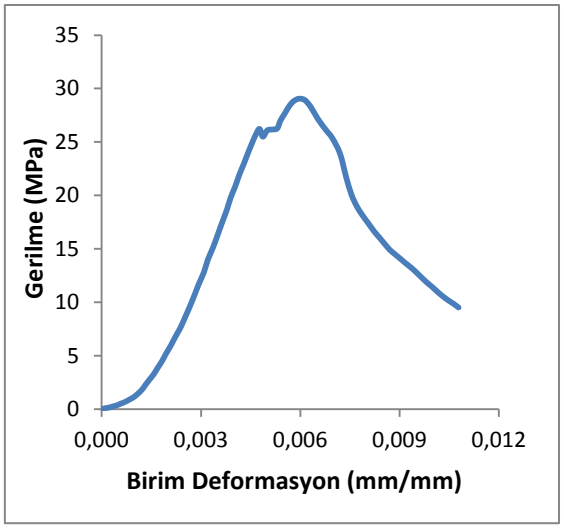
Şekil 7.76. S-15-1 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



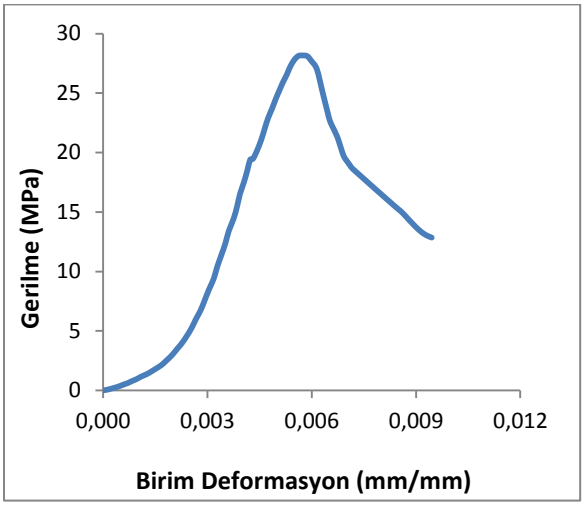
Şekil 7.77. S-15-2 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



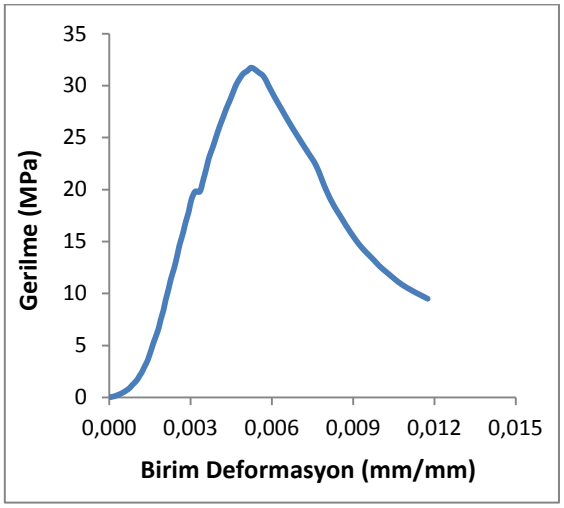
Şekil 7.78. S-15-3 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



Şekil 7.79. S-16-1 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



Şekil 7.79. S-16-2 Numunesine ait σ – ε Eğrisi



Şekil 7.80. S-16-3 Numunesine ait σ – ε Eğrisi

Grafikler üzerinden yapılan hesaplamalara göre test seti olan N numunelere ait malzemelerin mekanik özelliklerini gösteren sonuçlar Çizelge 7.1'de gösterilmiştir. Çizelgede verilen değerler 3 numunenin ortalaması yani ortalama değerlerdir.

Çizelge 7.1. Eğitim ve test seti olan N numunelerine ait deneysel sonuçlar

Numune Adı	Basınç Dayanımı f_c (MPa)	Max Deformasyon (kopma noktası) ε_{cu} $x10^{-3}$	Elastisite Modülü E_c (MPa)
N1	23	3,89	6435,0
N2	15	4,71	4124,0
N3	4	4,20	1895,0
N4	3	2,86	1348,0
N5	42	4,40	10746
N6	30	6,78	6477,0
N7	13	2,91	4667,0
N8	9	3,32	2681,0
N9	32	4,97	8460,0
N10	18	4,75	4775,0
N11	23	6,12	5523,0
N12	16	6,25	3962,0
N13	30	5,56	6925,0
N14	23	5,96	4254,0
N15	27	5,48	4963,0
N16	21	7,73	4054,0
N17	45	5,19	10756
N18	35	5,98	7129,0
N19	15	3,84	4216,0
N20	17	2,90	4798,0
N21	44	6,06	9642,0
N22	40	4,96	7519,0
N23	40	4,82	8241,0
N24	30	5,87	7791,0
N25	30	5,62	7238,0
N26	21	7,38	3390,0
N27	25	5,49	6322,0
N28	20	7,45	5120,0
N29	32	4,96	7772,0
N30	21	9,38	4035,0
N31	20	9,20	4738,0
N32	21	7,91	5718,0

Doğrulama seti olan S numunelere ait sonuçlarda Çizelge 7.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.2. Doğrulama seti olan S numunelerine ait deneysel sonuçlar

Numune Adı	**Basınç Dayanımı f_c (MPa)**	**Max Deformasyon ε_{cu} (kopma noktası) x10^{-3}**	**Elastisite Modülü E_c (MPa)**
S1-1	36	4,63	12851
S1-2	35	3,70	11996
S1-3	27	7,22	7286,0
S2-1	36	5,02	12600
S2-2	27	4,47	9929,0
S2-3	30	4,45	12596
S3-1	35	4,74	11620
S3-2	31	5,48	9993,0
S3-3	19	7,22	4107,0
S4-1	30	5,04	8370,0
S4-2	24	7,18	8492,0
S4-3	27	7,23	7705,0
S5-1	42	5,34	11584
S5-2	33	3,46	11076
S5-3	38	5,66	8242,0
S6-1	33	7,97	4730,0
S6-2	42	6,44	8953,0
S6-3	46	7,20	9883,0
S7-1	32	5,00	8596,0
S7-2	28	5,38	12020
S7-3	30	5,32	7002,0
S8-1	17	8,48	4718,0
S8-2	28	5,08	8456,0
S8-3	40	4,68	11180
S9-1	38	5,60	8435,0
S9-2	40	6,03	9774,0
S9-3	43	4.41	11082
S10-1	38	6,25	5377,0
S10-2	50	4,23	10793
S10-3	35	4,48	9937,0
S11-1	23	4,97	5403,0
S11-2	32	4,62	7636,0
S11-3	35	4,84	8932,0
S12-1	38	7,21	3859,0
S12-2	33	4,49	11577
S12-3	39	6,53	5319,0
S13-1	35	4,55	10053
S13-2	33	4,41	11151
S13-3	32	5,74	8526,0
S14-1	28	6,00	6738,0
S14-2	17	7,10	4316,0
S14-3	35	5,10	8090,0
S15-1	23	5,97	8006,0
S15-2	25	6,78	4110,0

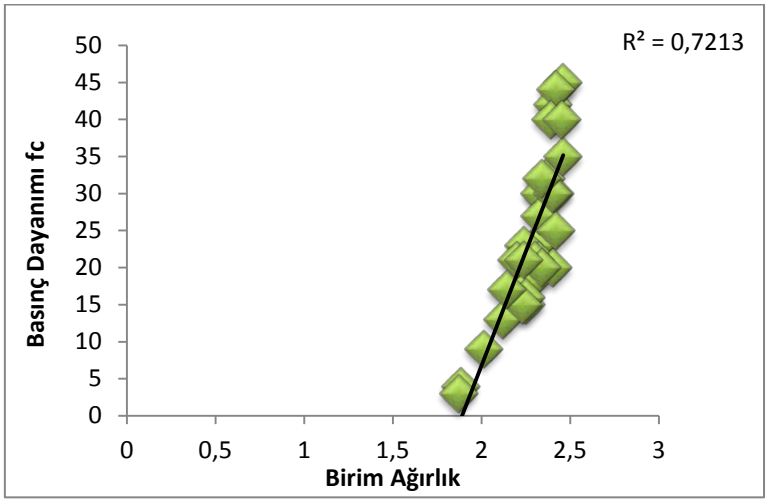
S15-3	30	6,84	6952,0
S16-1	28	6,29	6238,0
S16-2	28	5,10	6469,0
S16-3	31	6,17	7317,0

Deneyler elde edilen sonuçlara göre beton silindir numunelerden N grubu numunelerin basınç dayanımı- birim ağırlık değerleri arasındaki ilişkilendirilmiştir. Bulunan değerlere göre regresyon analizi yapılmış R^2 grafiği oluşturulmuştur. R^2 değeri tahmin doğruluğu konusunda bilimsel çalışmalarda hata oranı ile beraber kullanılan bir değerdir. Regresyon analizi olarak bilinen bu istatistiki yöntem, iki ya da daha çok değişken arasındaki ilişkiyi ölçmek için kullanılan analiz metodudur. R^2 ile değişkenler arasındaki ilişkinin varlığı, eğer ilişki var ise bunun gücü ve hakkında bilgi edinilebilmektedir (Vikipedi). R^2'nin formülasyonu Denklem 7.1'de verilmiştir.

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{err}}{SS_{tot}} \tag{7.1}$$

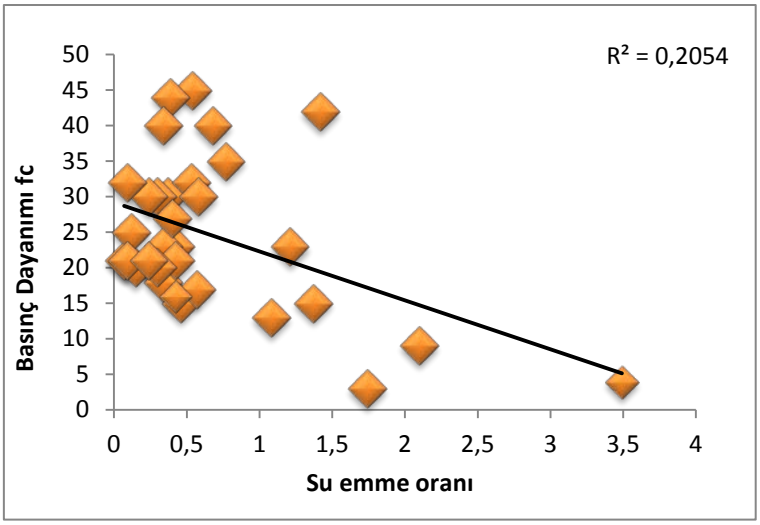
Denklemde R^2 regresyon analiz değeri, SS_{err} toplam hatalar karesi, SS_{tot} tüm toplam kareler değeridir. Bulunan R^2 değeri doğru hesaplanmış ise 0 ile 1 arasında olmalıdır.

N grubu numunelerin basınç dayanımı- birim ağırlık değerleri R^2 grafiği Şekil 7.81'de verilmiştir.



Şekil 7.81. N numunelerine ait birim ağırlık- dayanım R^2 grafiği

N grubu numunelerin basınç dayanımı- su emme oranı arasındaki R^2 grafiği ise Şekil 7.82 'de verilmiştir.



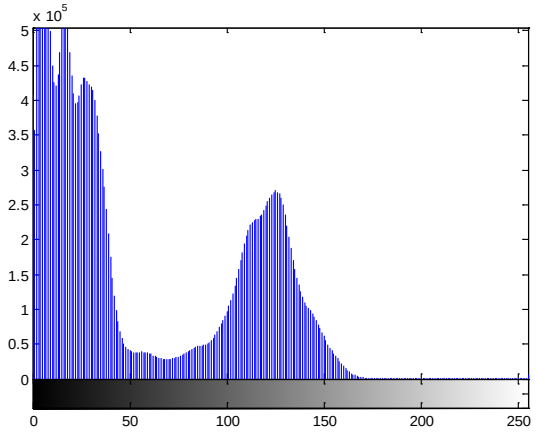
Şekil 7.82. N numunesine ait su emme oranı- dayanım R^2 grafiği

7.2. Fotoğraflar Kullanılarak Görüntü İşleme ve YSA Uygulanması

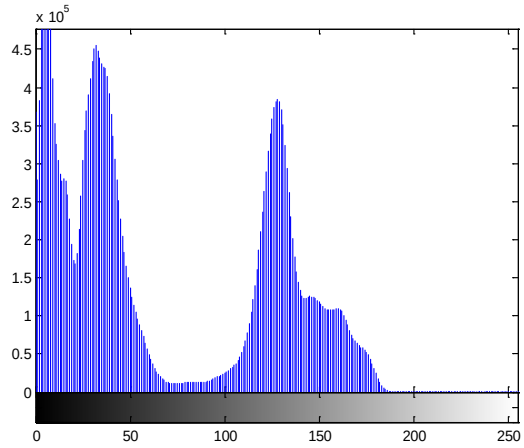
Görüntülerinin sayısallaştırılması için MATLAB programı kullanılmıştır. MATLAB'in görüntü işlemeye yönelik fonksiyonları sayesinde ilgili görüntü dosyalarının her biri matris olarak uygulama ortamına alınmıştır. Bu işlem dönüştürme olarakta anılmaktadır. Burada bahsedilen matris [mxn] boyutlu piksellerden oluşan bir matristir. Böylece bu matris üzerinde yapılan işlemler, uygulanan algoritmalar sonucunda elde edilen matriste bir resim olarak görüntülenmiştir. Böylece deneylerde kullanılan beton silindir numunelerin dijital görüntülerinde, her bir pikseli temsil etmesi için söz konusu pikseldeki parlaklığa karşılık bir sayı atanarak [3888 x 2592] boyutunda bir matris oluşturulmuştur. Sayısallaştırma işleminin sonunda dijital veriler YSA'da işlenebilmek için uygun hale getirilmiştir. Öncelikle sayısallaşan görüntüdeki matrisin boyutu oldukça büyük olduğu için YSA'da işlenme süresi oldukça uzun ve doğruluk oranı düşüktür. Bu sebeple sayısallaşan görüntüler YSA'da eğitilmeden önce istatistiki özellikler uygulanarak özellik bloğu çıkarılmış, matris boyutu 3x2592 'a indirgenmiştir.

Deneydeki beton numunelerin görüntüsü gri seviyeli görüntüdür. Görüntü işleme uygulamalarında gri seviyeli görüntü aralığı için 256 farklı gri ton değeri kullanılmaktadır. 0 gri değeri siyah, 255 gri değeri ise beyaz renge karşılık geldiği de düşünülürse, numune üzerindeki görüntüde, açık renkte olan piksel değerleri nümerik olarak 255 sayısına daha yakın, koyu renkli olan alanlarda nümerik olarak 0 sayısına daha yakındır. Beton numunelerin

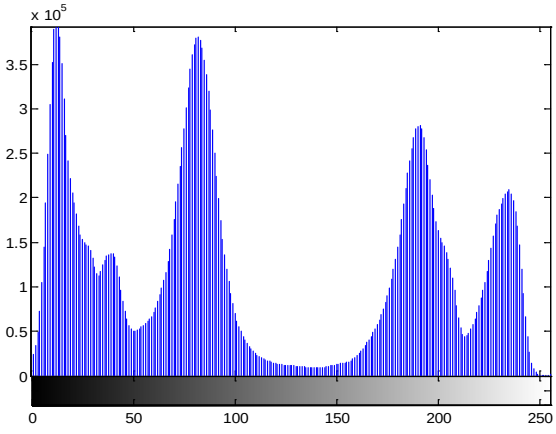
gri seviyeli görüntüleri üzerinden histogram diyagramları çıkarılmıştır. Numunelerin kesilmeden önceki hallerinden N1, N12, S1-3 ve S12-1 numunelerinin yüzey görüntülerine ait histogram dağılımları örnek olarak Şekil 7.83, Şekil 7.84, Şekil 7.85 ve Şekil 7.86'da verilmiştir. Histogram dağılım grafiğinde yatay eksen görüntüde bulunan piksellerin nümerik değerini düşey eksen ise sayısal resim içerisinde her renk değerinden kaç adet olduğunu gösterir.



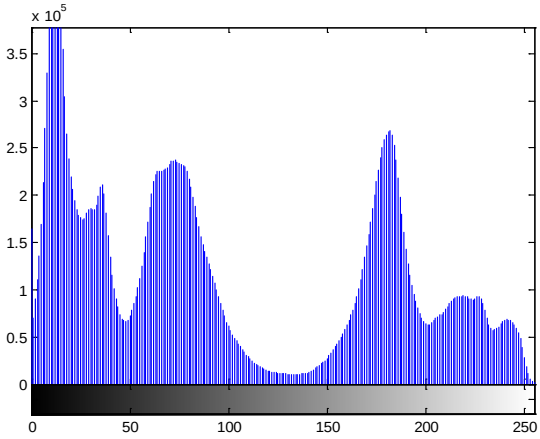
Şekil 7.83. Kesilmemiş N1 numunesine ait histogram dağılımı



Şekil 7.84. Kesilmemiş N12 numunesine ait histogram dağılımı

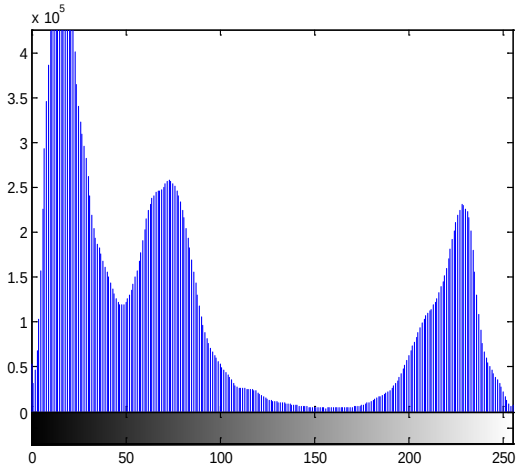


Şekil 7.85. Kesilmemiş S1-3 numunesine ait histogram dağılımı

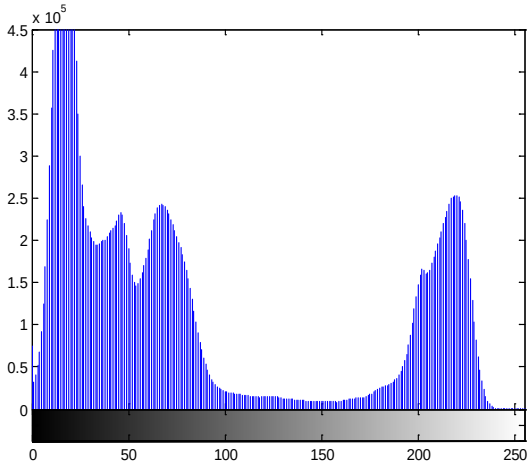


Şekil 7.86. Kesilmemiş S12-1 numunesine ait histogram dağılımı

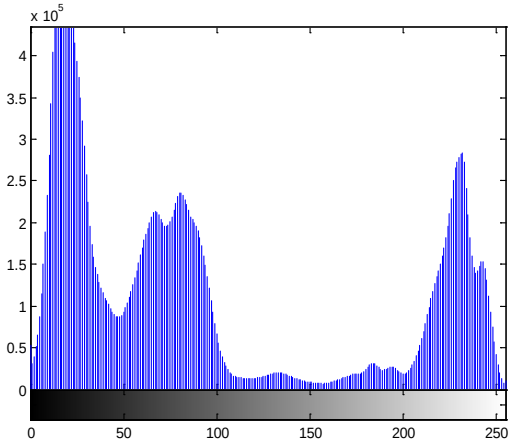
Aynı numunelerin kesildikten sonraki yüzey görüntülerine ait histogram dağılımları için ise hallerinden Şekil 7.87, Şekil 7.88, Şekil 7.89 ve Şekil 7.90'da verilmiştir.



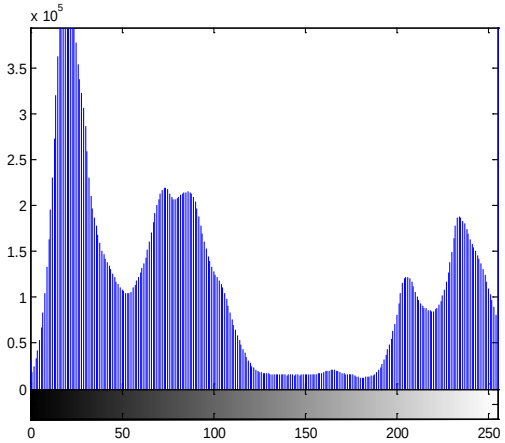
Şekil 7.87. Kesilmiş N1 numunesine ait histogram dağılımı



Şekil 7.88. Kesilmiş N12 numunesine ait histogram dağılımı

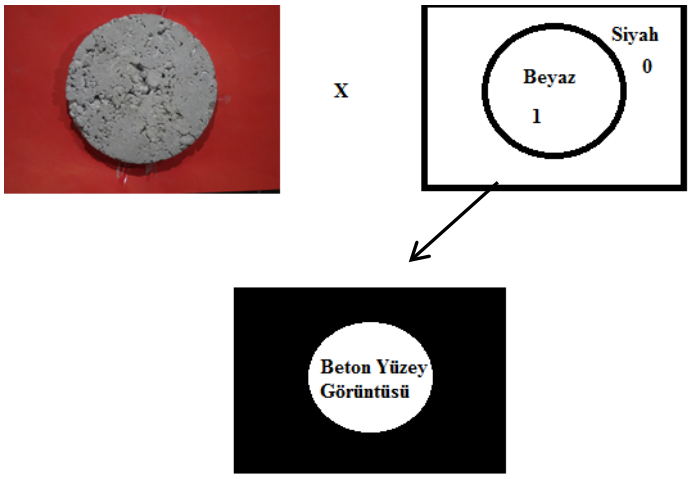


Şekil 7.89. Kesilmiş S1-3 numunesine ait histogram dağılımı



Şekil 7.90. KesilmişS12-1 numunesine ait histogram dağılımı

Görüntü üzerinde bulunan ve betonun karakter hakkında bilgi veren bölümün çıkartılması ile ilgili alan (region of interest) işleminin gerçekleştirilmesi için bir şablon tasarlanmıştır. Bu şablon görüntüde bulunan en büyük dairesel alanı temsil edecek şekilde otomatik olarak tanımlanmış ve ilgili alanı "1 (beyaz)", diğer kısımlar "0(siyah)" olarak belirlenmiştir. Kullanılan şekle göre tanımlanan şablon ile görüntü (piksel x piksel) işlemine tabi tutulduğunda YSA'ya giriş olarak verilecek sonuç görüntüsü elde edilmiştir. Şablon oluşturma işlemi Şekil 7.91'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.91. Oluşturulan şablonun şematik gösterimi

Bu çalışmada beton basınç dayanımı tayini, dijital görüntüden özellik çıkarma bloğu oluşturulması ve YSA kullanılarak tahminde bulunma olarak iki fazda gerçekleştirilmektedir. YSA'dan sonrada çıkış verileri MPa cinsinden beton basınç dayanımı ve elastisite modülü, birimsiz olarakta birim deformasyon olarak belirlenmiştir. Levenberg-Marquardt (LM) geri yayılma algoritması YSA'yı eğitmek için kullanılmıştır.

YSA modelinde eğitim ve test seti olarak 3'erli gruplar halinde olan 32 numunenin (N numune grubu) bir grubu çıkarılarak otuz biri eğitilmiştir ve dışarda kalan bir grupla test edilmiştir. Bu işlem her grup numune için tekrarlanmıştır. Böylece eğitme ve test işlemi 32 kez gerçekleştirilmiş ve ilgili N grubundaki bütün veriler eğitim ve test işleminde kullanılmıştır. Cross-validation test (çapraz-geçerlilik testi) adı verilen bu işlem hem kesilmiş hem de kesilmemiş numuneler için yapılmıştır.

Gizli katman ve çıkış katmanında kullanılan aktivasyon fonksiyonunun (uygulamada kullanılan logaritmik sigmoid için) tanım aralığına uygun olarak giriş ve çıkış dataları [0 1] aralığına normalize edilmiştir.

Optimum YSA mimarisinin belirlenebilmesi için, sabit öğrenme oranı (l_r) altında gizli düğüm (HN) sayıları ve sabit gizli düğüm sayıları altında öğrenme oranı değerleri düzenli aralıklar ile artırılmış ve en düşük hata değerleri için optimum yapı belirlenmiştir. Bu işlem iteratif olarak 10000 kez tekrarlanmıştır (iterasyon sayısı 10000 olarak belirlenmiştir). YSA ağ mimarisi oluşturulurken seçilen değerler Çizelge 7.3'te verilmiştir.

Çizelge 7.3. YSA ağ mimarisi için seçilen değerler

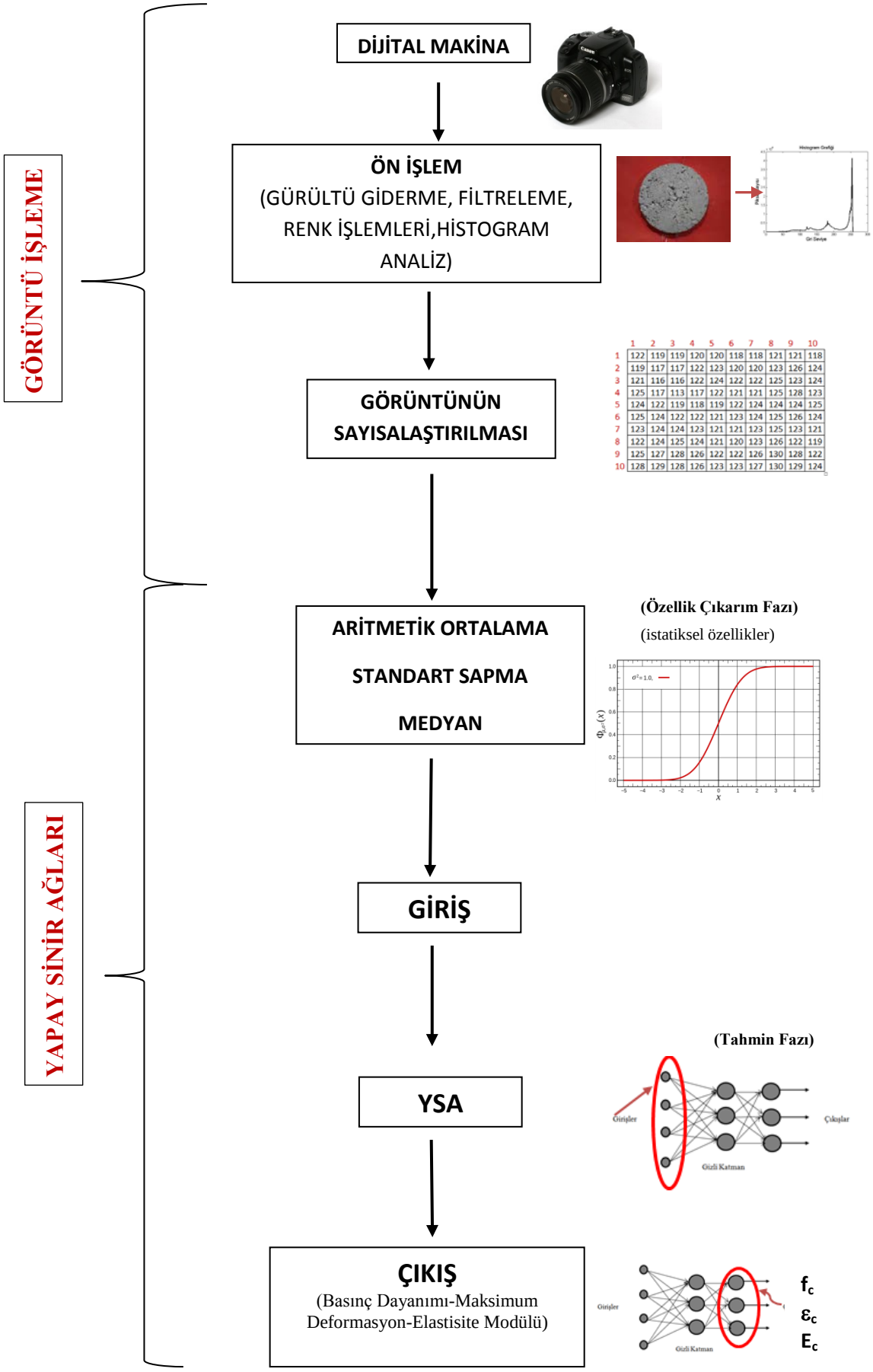
	Öğrenme Oranı (l_r)	Gizli Düğüm Sayısı (HN)	Maksimum İterasyon (Epocs)
Kesilmemiş Numune	0,7	12	10000
Kesilmiş Numune	0,9	16	10000

Momentum sabiti (m_c) tüm numuneler için 0,2 olarak seçilmiştir. Optimum YSA modelinde, düşük eğitim ve test hataları elde edilmiştir. Eğitim ve test hataları formülü ise Denklem 7.2'de verilmiştir. Bu formül literatürde sık olarak kullanılmaktadır.

$$ET(\%) = \left(\frac{\sum_{i=1}^{k} |t(i) - a(i)|}{m * n} \right) * 100 \tag{7.2}$$

Burada *t(i)* istenilen çıkış değerleri, *a(i)* sinir ağı çıkışları, k eğitim veya test verilerindeki data sayısı, m eğitim veya test verilerindeki segment sayısı, n eğitim veya test prosedürleri için sinir ağı çıkışlarının sayısıdır.

Tezin analitik çalışma kısmında yapılan çalışmanın şematik gösterimi Şekil 7.92'de verilmiştir.

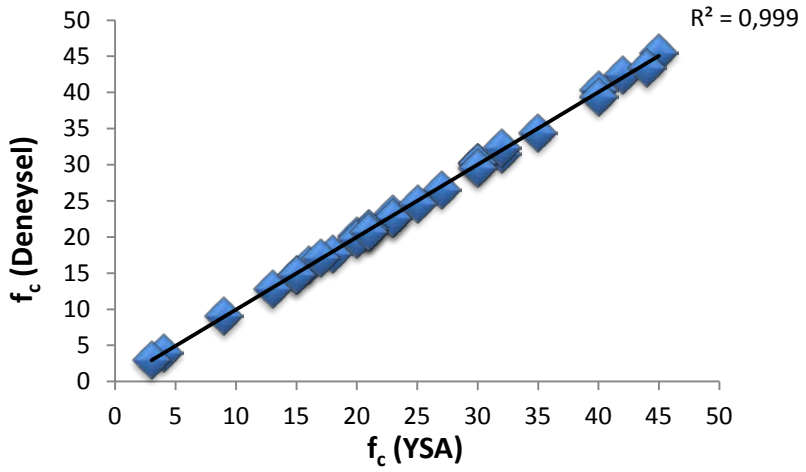


Şekil 7.92. Analitik çalışma adımları şematik gösterimi

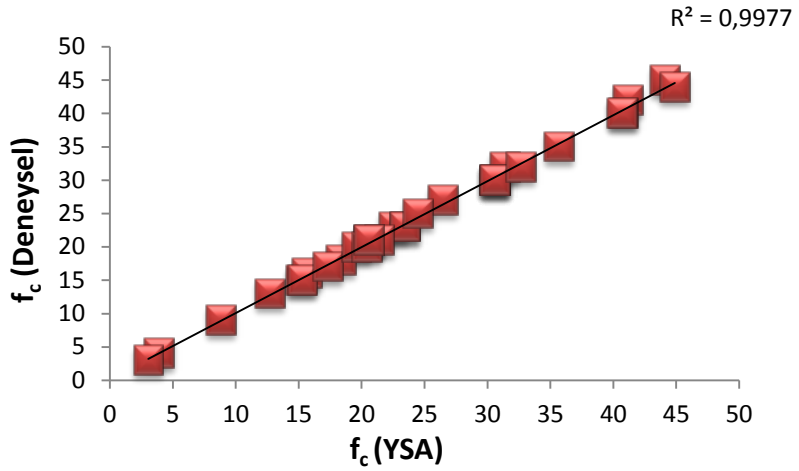
YSA'dan elde edilen sonuçlara göre eğitim ve test seti olarak kullanılan N numunelerinden kesilmiş ve kesilmemiş yüzey görüntülerine göre elde edilen basınç dayanımı değerleri Çizelge 7.4'te verilmiştir. Deneysel sonuçlardan bulunan basınç dayanımı değeri YSA'dan elde edilen dayanım değerleri ile ilişkilendirilerek R^2 grafikleri Şekil 7.93 ve Şekil 7.94'te gösterilmiştir.

Çizelge 7.4. N numunesine ait deneysel ve analitik çalışmadan elde edilen basınç dayanımı değerleri

Numune Adı	**Deneysel (f_c) (MPa)**	**Kesilmemiş Numune(f_c) (MPa) YSA**	**Kesilmiş Numune (f_c) (MPa) YSA**
N1	23	22,72	22,54
N2	15	14,81	15,18
N3	4	4,05	3,92
N4	3	3,04	3,06
N5	42	42,53	41,16
N6	30	30,38	30,60
N7	13	12,84	12,74
N8	9	9,12	8,82
N9	32	31,60	31,36
N10	18	17,77	18,36
N11	23	23,29	23,46
N12	16	16,20	15,68
N13	30	30,38	30,60
N14	23	22,72	23,46
N15	27	26,66	26,46
N16	21	20,74	20,58
N17	45	45,56	44,10
N18	35	34,56	35,70
N19	15	14,81	15,30
N20	17	17,22	17,34
N21	44	43,45	44,88
N22	40	40,50	40,80
N23	40	39,50	40,70
N24	30	30,38	30,60
N25	30	29,62	30,60
N26	21	21,26	20,58
N27	25	24,69	24,50
N28	20	20,25	19,60
N29	32	32,40	32,64
N30	21	21,26	21,42
N31	20	19,75	20,40
N32	21	20,74	20,58



Şekil 7.93. Kesilmemiş N numuneleri basınç dayanımı değeri için R^2 grafiği

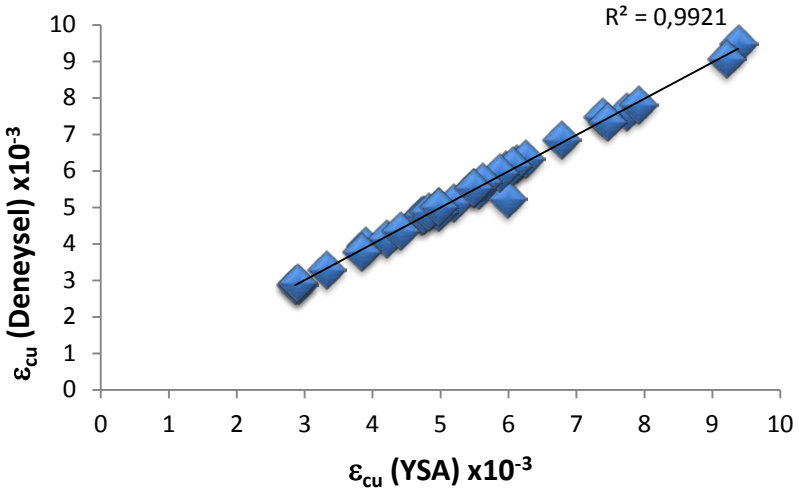


Şekil 7.94. Kesilmiş N numuneleri basınç dayanımı değeri için R^2 grafiği

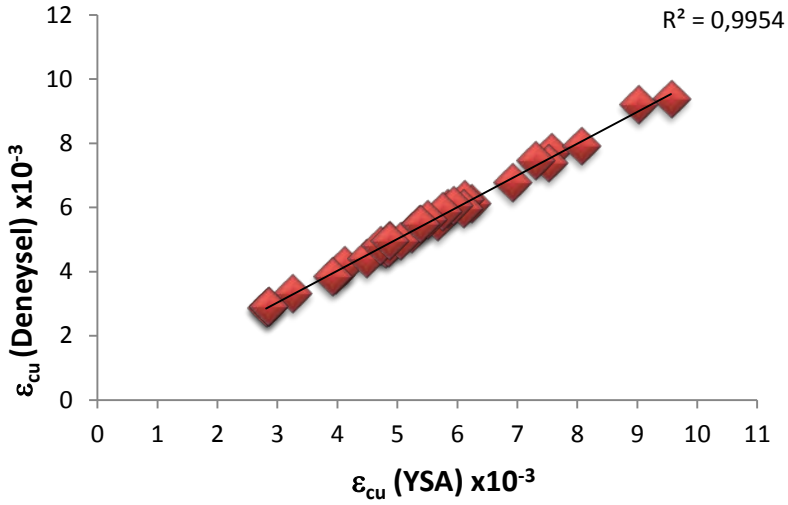
YSA'dan elde edilen sonuçlara göre eğitim ve test seti olarak kullanılan N numunelerinden kesilmiş ve kesilmemiş yüzey görüntülerine göre elde edilen maksimum deformasyon değerleri Çizelge 7.5'te verilmiştir. Deneysel sonuçlardan bulunan maksimum deformasyon değeri YSA'dan elde edilen deformasyon değerleri ile ilişkilendirilerek R^2 grafikleri Şekil 7.95 ve Şekil 7.96'da gösterilmiştir.

Çizelge 7.5. N numunelerine ait deneysel ve analitik çalışmadan elde edilen maksimum deformasyon değerleri

Numune Adı	Deneysel (ε_{cu}) ($x10^{-3}$)	Kesilmemiş Numune(ε_{cu}) YSA ($x10^{-3}$)	Kesilmiş Numune(ε_{cu}) YSA ($x10^{-3}$)
N1	3,89	3,94	3,97
N2	4,71	4,76	4,80
N3	4,20	4,15	4,12
N4	2,86	2,89	2,81
N5	4,40	4,35	4,48
N6	6,78	6,86	6,91
N7	2,91	2,87	2,85
N8	3,32	3,28	3,25
N9	4,97	5,03	4,87
N10	4,75	4,81	4,84
N11	6,12	6,19	6,24
N12	6,25	6,33	6,12
N13	5,56	5,49	5,67
N14	5,96	6,03	5,84
N15	5,48	5,54	5,37
N16	7,73	7,63	7,57
N17	5,19	5,13	5,23
N18	5,98	5,25	6,10
N19	3,84	3,79	3,91
N20	2,90	2,93	2,84
N21	6,06	6,13	5,93
N22	4,96	4,89	5,05
N23	4,82	4,88	4,72
N24	5,87	5,94	5,75
N25	5,62	5,69	5,50
N26	7,38	7,47	7,52
N27	5,49	5,55	5,38
N28	7,45	7,36	7,30
N29	4,96	5,02	4,86
N30	9,38	9,49	9,56
N31	9,20	9,08	9,02
N32	7,91	7,82	8,06



Şekil 7.95. Kesilmemiş N numuneleri maksimum deformasyon değeri için R^2 grafiği

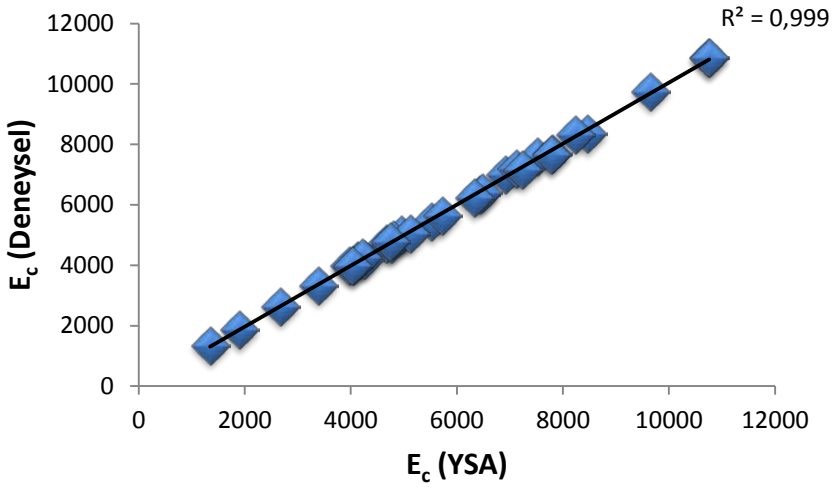


Şekil 7.96. Kesilmiş N numuneleri maksimum deformasyon değeri için R^2 grafiği

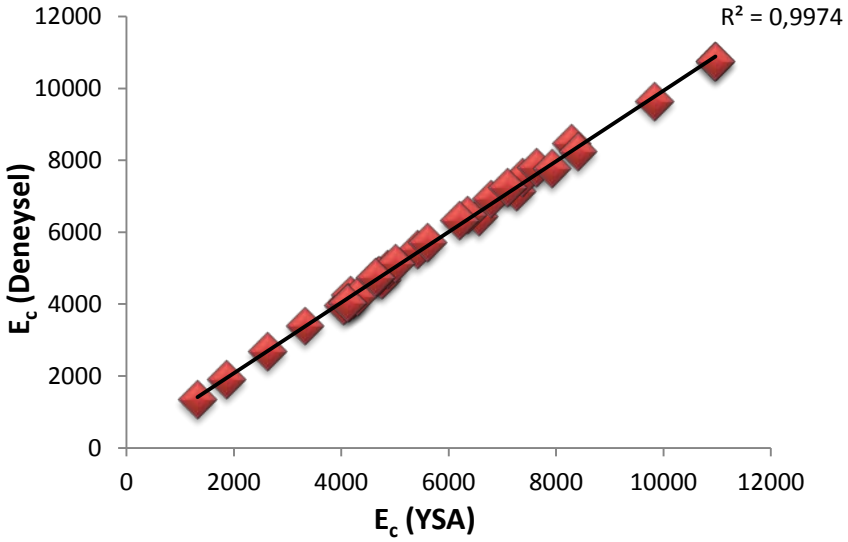
Yine YSA'dan elde edilen sonuçlara göre eğitim ve test seti olarak kullanılan N numunelerinden kesilmiş ve kesilmemiş yüzey görüntüsü üzerinden elde edilen elastisite modülü değerleri deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlarla birlikte Çizelge 7.6'da verilmiştir. Deneysel sonuçlardan bulunan elastisite modülü değeri YSA'dan elde edilen elastisite modülü değerleri ile ilişkilendirilerek R^2 grafikleri Şekil 7.97 ve Şekil 7.98'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.6. N numunelerine ait deneysel ve analitik çalışmadan elde edilen elastisite modülü değerleri

Numune Adı	Deneysel (E_c) (MPa)	Kesilmemiş Numune(E_c) (MPa) YSA	Kesilmiş Numune (E_c) (MPa) YSA
N1	6435	6354,56	6563,70
N2	4124	4175,55	4206,48
N3	1895	1871,32	1857,10
N4	1348	1364,85	1321,04
N5	10746	10880,33	10960,92
N6	6477	6396,04	6347,46
N7	4667	4725,34	4760,34
N8	2681	2647,48	2627,38
N9	8460	8354,25	8290,80
N10	4775	4715,32	4679,50
N11	5523	5453,97	5412,54
N12	3962	4011,53	4041,24
N13	6925	7011,56	6786,50
N14	4254	4200,83	4168,92
N15	4963	5025,04	4863,74
N16	4054	4003,33	4135,08
N17	10756	10890,45	10971,12
N18	7129	7218,12	7271,58
N19	4216	4268,70	4300,32
N20	4798	4857,98	4702,04
N21	9642	9762,53	9834,84
N22	7519	7612,98	7368,62
N23	8241	8344,01	8405,82
N24	7791	7693,61	7635,18
N25	7238	7174,53	7093,24
N26	3390	3347,63	3322,20
N27	6322	6242,98	6195,56
N28	5120	5056,00	5017,60
N29	7772	7674,85	7927,44
N30	4035	3984,56	4115,70
N31	4738	4797,23	4643,24
N32	5718	5646,53	5603,64



Şekil 7.97. Kesilmemiş N numuneleri elastisite modülü değeri için R^2 grafiği



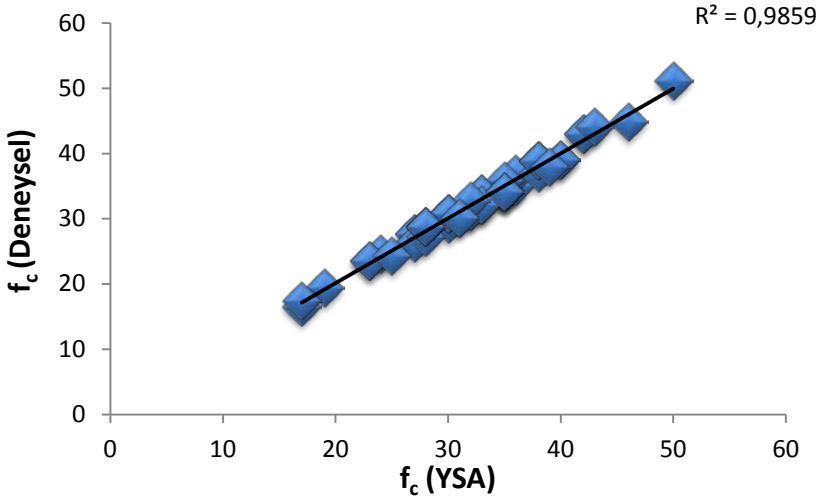
Şekil 7.98. Kesilmiş N numuneleri elastisite modülü değeri için R^2 grafiği

N numuneler üzerinde yapılan eğitim ve test işleminden sonra, sistemin genelleştirme kabiliyetini artırmak için elde edilen optimum ağ mimarisi kullanılarak, validasyon (geçerlilik, doğrulama) seti olan 48 adet S numunesi YSA'da test edilerek hedef değerlere ulaşılmaya çalışılmıştır. YSA'dan elde edilen sonuçlara göre doğrulama seti olarak kullanılan S numunelerinden kesilmiş ve kesilmemiş yüzey görüntüsü üzerinden elde edilen basınç dayanımı değerleri deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlarla birlikte Çizelge 7.7'de verilmiştir. Deneysel sonuçlardan bulunan beton numunelerin basınç dayanımı değeri YSA'dan elde edilen elastisite modülü değerleri ile ilişkilendirilerek R^2 grafikleri Şekil 7.99 ve Şekil 7.100'de gösterilmiştir.

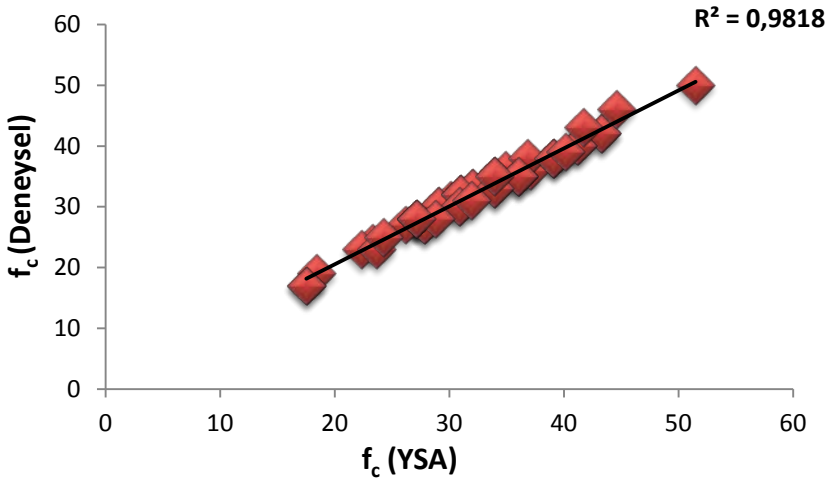
Çizelge 7.7. S numunelerine ait deneysel ve analitik çalışmadan elde edilen basınç dayanımı değerleri

Numune Adı	Deneysel (f_c) (MPa)	Kesilmemiş Numune (f_c) (MPa) YSA	Kesilmiş Numune (f_c) (MPa) (YSA)
S1-1	36	35,10	37,08
S1-2	35	34,13	36,05
S1-3	27	27,68	26,19
S2-1	36	36,90	34,92
S2-2	27	27,68	27,81
S2-3	30	29,25	29,10
S3-1	35	34,13	36,05
S3-2	31	30,23	30,07
S3-3	19	19,48	18,43
S4-1	30	30,75	30,90
S4-2	24	24,60	23,28
S4-3	27	26,33	27,81
S5-1	42	43,05	43,26
S5-2	33	32,18	33,99
S5-3	38	38,95	39,14
S6-1	33	33,83	32,01
S6-2	42	43,05	43,26
S6-3	46	44,85	44,62
S7-1	32	31,20	31,04
S7-2	28	27,30	27,16
S7-3	30	30,75	29,10
S8-1	17	16,58	17,51
S8-2	28	28,70	27,16
S8-3	40	39,00	41,20
S9-1	38	37,05	39,14
S9-2	40	39,00	41,20
S9-3	43	44,08	41,71
S10-1	38	38,95	36,86
S10-2	50	51,25	51,50
S10-3	35	34,13	33,95
S11-1	23	23,58	22,31
S11-2	32	31,20	31,04
S11-3	35	35,88	33,95
S12-1	38	38,95	39,14
S12-2	33	33,83	32,01
S12-3	39	38,03	40,17
S13-1	35	34,13	36,05

S13-2	33	32,18	33,99
S13-3	32	32,80	31,04
S14-1	28	28,70	27,16
S14-2	17	17,43	17,51
S14-3	35	34,13	33,95
S15-1	23	23,58	23,69
S15-2	25	24,38	24,25
S15-3	30	30,75	30,90
S16-1	28	28,70	28,84
S16-2	28	28,70	27,16
S16-3	31	30,23	31,93



Şekil 7.99. Kesilmemiş S numuneleri basınç dayanımı değeri için R^2 grafiği



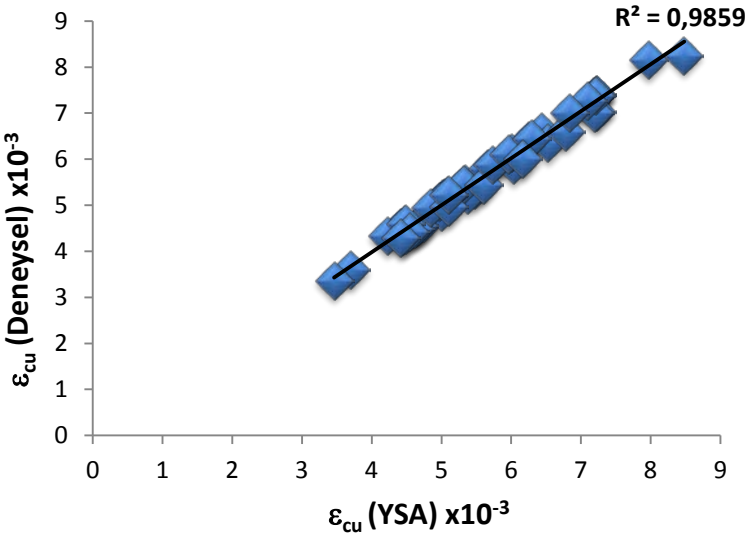
Şekil 7.100. Kesilmiş S numuneleri basınç dayanımı değeri için R^2 grafiği

YSA'dan elde edilen sonuçlara göre doğrulama seti olarak kullanılan S numunelerinden kesilmiş ve kesilmemiş yüzey görüntüsü üzerinden elde edilen maksimum deformasyon değerleri deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlarla birlikte Çizelge 7.8'de verilmiştir. Deneysel sonuçlardan bulunan beton silindir numunelerin maksimum deformasyon değeri YSA'dan elde edilen maksimum deformasyon değerleri ile ilişkilendirilerek R^2 grafikleri Şekil 7.101 ve Şekil 7.102'de gösterilmiştir.

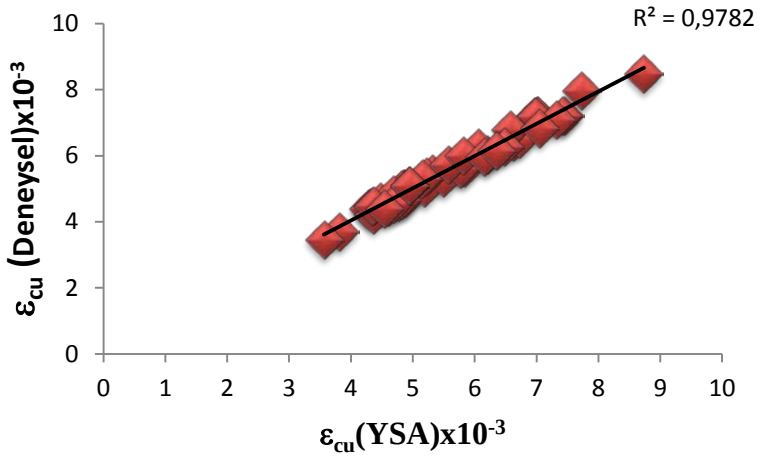
Çizelge 7.8. S numunelerine ait deneysel ve analitik çalışmadan elde edilen maksimum deformasyon değerleri

Numune Adı	Deneysel (ε_{cu}) ($x10^{-3}$)	Kesilmemiş Numune (ε_{cu}) ($x10^{-3}$) (YSA)	Kesilmiş Numune (ε_{cu}) ($x10^{-3}$) (YSA)
S1-1	4,63	4,51	4,77
S1-2	3,70	3,61	3,81
S1-3	7,22	7,40	7,00
S2-1	5,02	5,15	4,87
S2-2	4,47	4,58	4,60
S2-3	4,45	4,34	4,32
S3-1	4,74	4,62	4,88
S3-2	5,48	5,34	5,32
S3-3	7,22	7,40	7,00
S4-1	5,04	5,17	5,19
S4-2	7,18	7,36	6,96
S4-3	7,23	7,05	7,45
S5-1	5,34	5,47	5,50
S5-2	3,46	3,37	3,56
S5-3	5,66	5,80	5,83
S6-1	7,97	8,17	7,73
S6-2	6,44	6,60	6,63
S6-3	7,2	7,02	6,98
S7-1	5,00	4,88	4,85
S7-2	5,38	5,25	5,22
S7-3	5,32	5,45	5,16
S8-1	8,48	8,27	8,73
S8-2	5,08	5,21	4,93
S8-3	4,68	4,56	4,82
S9-1	5,60	5,46	5,77
S9-2	6,03	5,88	6,21
S9-3	4,41	4,52	4,28
S10-1	6,25	6,41	6,06

S10-2	4,23	4,34	4,36
S10-3	4,48	4,37	4,35
S11-1	4,97	5,09	4,82
S11-2	4,62	4,50	4,48
S11-3	4,84	4,96	4,69
S12-1	7,21	7,39	7,43
S12-2	4,49	4,60	4,36
S12-3	6,53	6,37	6,73
S13-1	4,55	4,44	4,69
S13-2	4,41	4,30	4,54
S13-3	5,74	5,88	5,57
S14-1	6,00	6,15	5,82
S14-2	7,10	7,28	7,31
S14-3	5,10	4,97	4,95
S15-1	5,97	6,12	6,15
S15-2	6,78	6,61	6,58
S15-3	6,84	7,01	7,05
S16-1	6,29	6,45	6,48
S16-2	5,10	5,23	4,95
S16-3	6,17	6,02	6,36



Şekil 7.101. Kesilmemiş S numuneleri maksimum deformasyon değeri için R^2 grafiği



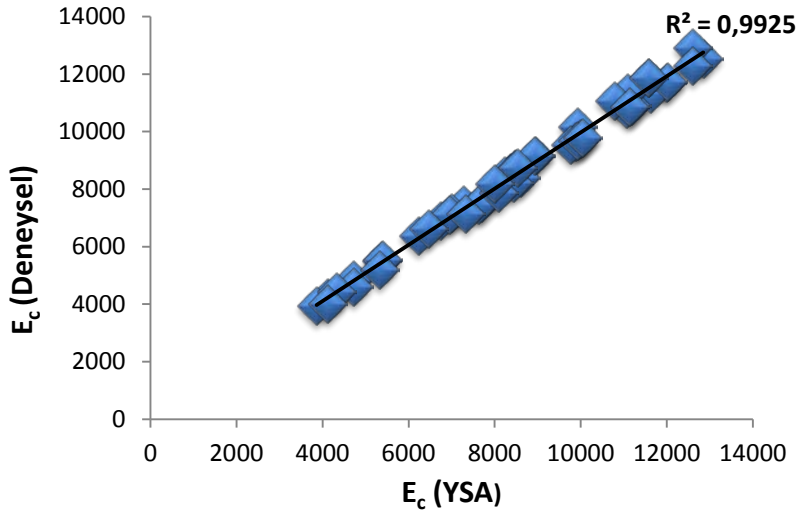
Şekil 7.102. Kesilmiş S numuneleri maksimum deformasyon değeri için R^2 grafiği

Yine YSA'dan elde edilen sonuçlara göre doğrulama seti olarak kullanılan S numunelerinden kesilmiş ve kesilmemiş yüzey görüntüsü üzerinden elde edilen elastisite modülü değerleri deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlarla birlikte Çizelge 7.9'da verilmiştir. Deneysel sonuçlardan bulunan beton silindir numunelerin maksimum deformasyon değeri YSA'dan elde edilen elastisite modülü değerleri ile ilişkilendirilerek R^2 grafikleri Şekil 7.103 ve Şekil 7.104'de gösterilmiştir.

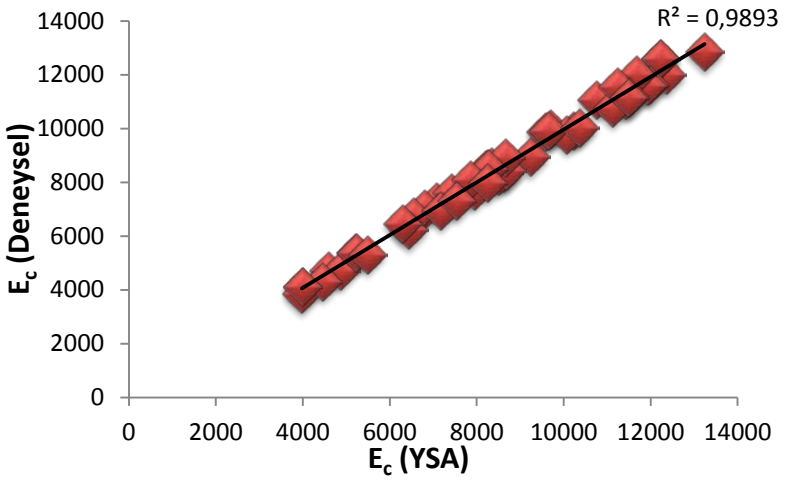
Çizelge 7.9. S numunelerine ait deneysel ve analitik çalışmadan elde edilen elastisite modülü değerleri

Numune Adı	Deneysel (E_c) (MPa)	Kesilmemiş Numune (E_c) (MPa) (YSA)	Kesilmiş Numune (E_c) (MPa) (YSA)
S1-1	12851	12530	13237
S1-2	11996	11696	12356
S1-3	7286	7468	7067
S2-1	12600	12915	12222
S2-2	9929	10177	10227
S2-3	12596	12281	12218
S3-1	11620	11329	11969
S3-2	9993	9743	9693
S3-3	4107	4210	3984
S4-1	8370	8579	8621
S4-2	8492	8704	8237
S4-3	7705	7512	7936

S5-1	11584	11874	11932
S5-2	11076	10799	11408
S5-3	8242	8448	8489
S6-1	4730	4848	4588
S6-2	8953	9177	9222
S6-3	9883	9636	9587
S7-1	8596	8381	8338
S7-2	12020	11720	11659
S7-3	7002	7177	6792
S8-1	4718	4600	4860
S8-2	8456	8667	8202
S8-3	11180	10901	11515
S9-1	8435	8224	8688
S9-2	9774	9530	10067
S9-3	11082	11359	10750
S10-1	5377	5511	5216
S10-2	10793	11063	11117
S10-3	9937	9689	9639
S11-1	5403	5538	5241
S11-2	7636	7445	7407
S11-3	8932	9155	8664
S12-1	3859	3955	3975
S12-2	11577	11866	11230
S12-3	5319	5186	5479
S13-1	10053	9802	10355
S13-2	11151	10872	11486
S13-3	8526	8739	8270
S14-1	6738	6906	6536
S14-2	4316	4424	4445
S14-3	8090	7888	7847
S15-1	8006	8206	8246
S15-2	4110	4007	3987
S15-3	6952	7126	7161
S16-1	6238	6394	6425
S16-2	6469	6631	6275
S16-3	7317	7134	7537



Şekil 7.103. Kesilmemiş S numuneleri elastisite modülü değeri için R^2 grafiği



Şekil 7.104. Kesilmiş S numuneleri elastisite modülü değeri için R^2 grafiği

Tüm beton numunelerine ait karşılaştırmalı doğruluk değerleri olan R2 değerleri Çizelge 7.10'da verilmiştir.

Çizelge 7.10. S ve N numunelerinin karşılaştırmalı doğruluk değerleri

R^2 Değerleri Tablosu (%)	N numuneleri		S numuneleri	
	Kesilmemiş	Kesilmiş	Kesilmemiş	Kesilmiş
f_c	99,99	99,97	98,59	98,18
ε_{cu}	99,21	99,54	98,59	97,82
E_c	99,90	99,74	99,25	98,93

8. SONUÇLAR, TARTIŞMA ve ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

Betonun kalitesi, sahip olduğu dayanım, kıvam, standartlara uygunluğu vb. gibi faktörlerin uygunluğuna bağlı olarak belirlenir. Betonda kaliteyi belirleyebilmenin yolu ise beton numunelere ve elemanlara uygulanan çeşitli deney yöntemleri ve bunlardan elde edilebilecek sonuçların doğru yorumlanabilmesidir. Şantiye şartlarında imal edilen betonlar için üretim tekniklerinde kalite güvenliğinin sağlanması ve alternatif kontrol metotlarının geliştirilmesi için yapılacak çalışmalar son derece önemlidir.

Tez çalışmasında detayları açıklanan betonun basınç dayanımı ve diğer mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan tahribatlı (hasarlı) ve tahribatsız (hasarsız) yöntemlere bir alternatif olması düşüncesiyle görüntü teknolojisi ve YSA'nın beraber kullanımı ile ortaya çıkan hibrid bir akıllı yazılım metodunun başarısı sınanmıştır. Tez çalışmasında toplamda 144 adet 15/30 cm ebadında silindir numune üzerinde çeşitli mekanik özellikleri test edebilmek amacıyla deneyler gerçekleştirilmiştir.

Çalışmadan elde edilen sonuçları genel ve özel sonuçlar başlığı altında incelemek yerinde olacaktır.

8.1.1 Genel sonuçlar

- Eğitim ve test setinde kullanılan 96 adet numuneden elde edilen ve betonun davranışını simgeleyen $\sigma-\varepsilon$ grafiklerinin oldukça değişken bir aralıkta olduğu görülmüştür. Örneğin basınç dayanımı 3 MPa ile 45 MPa arasında değişmektedir. Bu değerler gerek yapı stoğu gerekse yeni üretilen betonarme yapılardaki beton basınç değerlerini temsil edebilecek bir aralıktadır. Beton basınç dayanımı ile beraber benzer şekilde elastisite modülü ve maksimum deformasyon da büyük oranda değişiklik göstermektedir. Dolayısıyla eğitim ve test seti için üretilen betonların oldukça geniş bir spektrumu kapsadığı görülmüştür.
- Yine eğitim ve test setinde kullanılan 96 adet numunenin deney öncesi ölçülen birim ağırlık ve su emme değerleri ile beton basınç mukavemeti arasında bir ilişkinin varlığı söz konusudur. Beton basınç mukavemeti ile birim ağırlık

arasında %72.1 oranında doğru bir orantı, su emme oranı arasında ise % 20.5 oranında ters bir orantı mevcuttur ve beklendiği şekildedir.

- Beton çökme değeri ile basınç mukavemeti arasında açıklanabilecek bir doğru orantı mevcuttur. N grupları için ölçülen slump (çökme) değerleri deneysel sonuçlardan elde edilen betonun dayanım değerleri ile ilişkilidir. Slump değeri (25) yüksek olan 6. Grup numune betonlarında basınç dayanım değerleri de fazla bulunmuştur. Bulunan bu değerde beton karışımdaki katkı malzemesinin etkisi de mevcuttur. Betona ilave edilen katkı malzemesi ile birlikte daha akışkan ve hatta kendiliğinden yerleşebilen beton elde edilmiş, kalıplara dökülen betonlarda hava boşlukları minimum seviyeye indirgenmiştir. Boşluksuz olan betonda karışım oranına da bağlı olarak daha yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir.
- Betonun maksimum deformasyonu (ε_{cu}) grafiksel ortamdan hesap edilmiş ve 96 adet numune için ortalama 0.00552 değeri bulunmuştur. Bu değer sargısız betonun eksenel yükleme altında ulaşabileceği, yönetmeliklerde de verilen 0.003~0.0035'luk teorik birim kısalma değerinin oldukça üzerindedir. Bu durum deney sırasında deformasyon ölçümünün yeterli hassasiyette yapılamamasıyla ilişkilendirilebilir. Dolayısıyla elastisite modülü (E_c) için $\sigma-\varepsilon$ grafiklerinden hesap edilen 1348 MPa - 9642 MPa aralığı benzer durumla açıklanabilir.
- Araştırmacının amaçladığı değişik yüzey fotoğrafları çeşitliliğine tez çalışmasında ulaşılmıştır. Bu durum beton üretiminde seçilen parametrelerin doğruluğuna işaret etmektedir. Örneğin beton, silindir kalıplara döküldükten sonra uygulanan sıkıştırma (kompaksiyon) işleminin oldukça önemli olduğu bu çalışmada gözlemlenmiştir. Sıkıştırma yapılmış ve yapılmamış beton arasında çok önemli dayanım ve görsel farklılık mevcuttur.

8.1.2 Özel sonuçlar

- Araştırmada beraber kullanılan görüntü işleme ve YSA'nın betonun mekanik özelliklerinin belirlenmesindeki performansı oldukça yüksektir. Araştırmada, test ve eğitim setinde kullanılan 96 adet numune üzerinden yapılan analiz sonucunda kesilmemiş numunelerde basınç dayanımı tahmin değeri % 99,9, kesilmiş numunelerde ise bu oran % 99,97 mertebesindedir. Benzer şekilde

elastisite modülü için % 99,90 ve % 99,74 oranı, maksimum deformansyon için ise % 99,21 ve % 99,74 oranları bulunmuştur.

- Doğrulama seti kapsamında kullanılan 48 adet numuneye bakıldığı zaman ise söz konusu yöntemin basınç dayanımını kesilmemiş ve kesilmiş numuneler için sırasıyla % 98,59 ve % 98,18, elastisite modülü için % 99,25 ve % 98,93, maksimum deformasyon için ise % 98,59 ve % 97,82 oranlarında tahmin ettiği görülmüştür.
- Beklenenin aksine kesilmiş numuneler için çıkan tahmin değerinin % 0,7 ile % 0, 02 arasında değişen oranda daha düşük olması şaşırtıcıdır.
- Doğrulama setinden elde edilen değerlerin test ve eğitim setinden elde edilen değerlere göre düşük olması doğaldır. Zira doğrulama seti beton santralinden üretilen betondan rastgele alınmış numuneleri kapsamaktadır.
- Çalışmada YSA kısmında LM algoritması kullanılmış, öğrenme oranı (l_r) 0.7 ve 0,9, momentum katsayısı (m_c) ise 0.2 seçilmiştir. Bu üç parametre YSA'nın performansına etki edebilecek parametreler olup değiştirilmesi durumunda başarı yüzdesi değişecektir. Fakat araştırmacı literatürde sıklıkla tercih edilen değerler arasında kalmayı tercih etmiştir.
- Seçilen deney grubunun özelliği, sayısı ve veri aralığı da YSA sonuçlarına etki edebilir. Fakat çalışmada kullanılan veri grubunun dayanım açısından çeşitliliği deney verilerinin yeterli olduğu kanısını uyandırmaktadır.
- Doğrulama setinden elde edilen yüksek doğruluk oranı ilgili yöntemin diğer yöntemlere göre üstünlüğünü göstermektedir.

8.2. Tartışma

Çalışmadan elde edilen sonuçlar tez çalışmasını literatür açısından önemini vurgulayabilecek seviyededir. Bu çalışmada yapılan deneysel ve analitik çalışma sonuçları arasında beton basınç dayanımın açısından yaklaşık %98'lik tahmin oranı oldukça başarılı görülebilir. Mevcut literatürde tahribatlı ve tahribatsız deney yöntemlerinin sonuçları incelendiği zaman beton basınç dayanımının tespitine yönelik basınç presine en yakın çalışmanın ultrasonik ses hızı yöntemi olduğu bu yöntemin beton basınç dayanımını, tek başına ancak % 80 doğrulukla tespit edebileceğini söylenmektedir. Özkan ve ark. (2004) çalışmalarında ise beton malzeme dayanımlarının hasarsız olarak belirlenmesinde kullanılan

ultrasonik ses yayılım deneyi ile malzemelerin tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişkinin % 67 düzeylerinde olduğu verilmektedir. Ultrasonik ses hızı metodunun yalnız başına kullanılmasından meydana gelen hataları elimine etmek için, bazı araştırmacılar ultrason hızı metodu ile Schmidt çekici yönteminin birlikte kullanıldığı kombine metodu oluşturmuşlardır (Okuyan, 2007). Bu birleşik tahribatsız yöntemde hata oranı ± %12 civarına indirgenebilmektedir (Akman ve Güner, 1980). Schmidt çekici (beton çekici) yöntemi, betonun basınç dayanımını yaklaşık olarak belirlemede kullanılmakta ve bu test metodunun doğruluğu %60 ile %70 arasında değişmektedir (Küçük, 2006).

Çalışmanın bir diğer faydalı tarafı literatürde henüz üç mekanik özelliği aynı anda belirleyebilen bir yöntemin olmayışıdır. Bu çalışmada beton basınç dayanımı (f_c), elastisite modülü (E_c) ve maksimum birim kısalma (ε_{cu}) tek bir yöntemle aynı anda yüksek doğruluk oranlarında bulunabilmektedir. Her ne kadar tez çalışmasında elde edilen deformasyonların mutlaka kalibrasyonu gerekse de prensip olarak yöntemin başarıyla çalıştığı görülmüştür.

Literatürde beton numunelerini keserek yapılan görüntü işleme ile ilgili diğer çalışmalarda (Başyiğit ve ark., 2012) agrega dağılımı vs. gibi konular işlense de beton basınç dayanımı ve diğer mekanik özelliklerin belirlenmesinde kesme işlemi yapılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada numunelerin kesilmesinin sonuçlara önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Kesilmiş numuneler ile kesilmemiş numuneler arasında tahmin farkı %0.7 mertebesindedir ve ihmal edilebilecek seviyededir.

8.3. Öneriler

Görüntü işleme teknolojisinden inşaat mühendisliği ve özellikle de beton teknolojisi alanında faydalanabilmek adına yapılan bu tez çalışmasına ait sonuçlar değerlendirilirken, veri seti oluşturma ve deneyin tekniksel detaylarındaki eksiklikleri gidermek için bir takım öneriler mevcuttur.

Öncelikli olarak betonun basınç dayanımını ve diğer mekanik özelliklerini etkileyen tüm faktörlerin her biri yapılan deneyler için birer parametredir. Bu tez çalışmasında beton dayanımına etki eden su/çimento oranı, çimento dozajı, sıkıştırma faktörü, katkı malzemesi ve kür şartları parametre olarak seçilmiş ve betonun dayanımına etkisi olduğu bilinen betonun yaşı, numunenin şekli ve geometrisi, hidrolik pres cihazının yükleme hızı, kullanılan agregaların şekli, maksimum boyutu ve dayanımı, üretimde kullanılan ya da sonradan ilave edilen değişik türdeki katkı maddeleri, vb. gibi parametrelere bakılmamıştır. Tüm bu parametreleri dikkate alabilmek için ise çok daha fazla sayıda numune üretilmesi ve onlar

üzerinden ilgili testlerin yapılması gerekir. Dolayısıyla çalışmanın deneysel kısmı geliştirilebilir.

Numuneleri görüntüleyebilmek için kullanılan fotoğraf makinesinin çekim özellikleri, fotoğraflanan ortamdaki ışık miktarı ve görüntüleme mesafesi de bu metodun doğru sonuç verebilmesi adına etken bir durumdur.

Deneyin yapıldığı laboratuvarda mevcut bulunan beton pres cihazı ve bu cihaza bağlı düşey deformasyon ölçümü yapan LVDT'lerin hassasiyeti özellikle deformasyon ve elastisite modülü hesabında çok önemlidir. Dolayısıyla deney düzeneği sonuçların gerçekliği ve doğruluk yüzdesini artırabilmesi adına daha hassas ölçüm yapabilecek şekilde ayarlanmalıdır.

Yapılan çalışmada, görüntü işleme tekniği ve YSA kullanılarak betonun mekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik geliştirilen metot mevcut yapılardaki beton kalitesinin belirlenmesinde kullanılabilirse ülke ekonomisi açısından önemli bir kazanç sağlanabilir. Ancak, bu metot da, diğer tahribatsız test metotları gibi, yapıdan alınan karot numuneler ile kalibre edilmelidir.

9. KAYNAKLAR

Akgündoğdu A., 2003, Bulanık- yapay sinir ağları ile biyomedikal görüntülerin işlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul

Algaç, D., Y., H., 2006, Buğday tanelerinin bazı fiziksel özelliklerinin görüntü işleme tekniğiyle belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara

Alshihri, M., M., Azmy, A., M., El-Bisy, M., s., 2009, Neural networks for predicting compressive strenght of structral light weight concrete, *Construction and Building Materials* 23 (2009) 2214-2219

Altuntaş, C., Çorumluoğlu, Ö., 2002, Uzaktan algılama görüntülerinde digital görüntü işleme ve RSImage yazılımı, *Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, 2002,* Konya

Arıoğlu, N., Arıoğlu, E., 1999, İri agrega basınç dayanımının beton elastik modülüne etkisi, *2.Ulusal Kırmataş Sempozyumu'99*, İstanbul

Arslan, M., H., Ceylan, M., Kaltakcı, M., Y., Özbay, Y., 2007, Prediction of force reduction factor (R) of prefabricated industrial buildings using neural networks, *Structural Engineering and Mechanics,* 2 (2007) 117-134

Arslan, M., H., 2010, An evualtion of effective design parameters on earthquake performance of RC buildings using neural networks, *Engineering Structures,* 32 (2010) 1888-1898

Asmaz, K., 2006, Görüntü işleme ile iki boyutlu cisimlerden grafik modeller için veri eldesi, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul

Bal, H., 2006, Kamera ile görüntü işleme teknikleriyle malzeme tane büyüklüğü analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara

Başka, M.A., 2006, Betonun basınç dayanımının belirlenmesi ve değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Erzurum

Başyiğit, C., Kılınçarslan, Ş., Çomak, B., 2012, Görüntü işleme tekniği ile beton basınç dayanımının tahmin edilmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 16-1 (2012), 82-88

Bildik, A., T., 1998, Normal basınç dayanımlı beton karışımların yapay sinir ağları ile hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ

Binici, H., Çağatay, İ.H., Kaplan, H., 2000, Değişik faktörlerin beton mukavemetine etkisinin deneysel olarak incelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 203-209

Chang, C.W., Lien, H.S., 2007, Expansion stress analysis of ferroconcrete corrosion by digital reflection photoelasticity, *NDT&E International* 40 (2007) 309-314

Ceylan, M., Arslan, M.H., Ceylan, R., Kaltakçı, M.Y., Özbay, Y. 2010, A new application area of ANN and ANFIS: determination of earthquake load reduction factor of prefabricated industrial buildings, *Civil Engineering &Environmental Systems,* article in online press.

Çankaya, G., Arslan, M., H., Ceylan, M., 2012, Statistical methods Statistical Methods for Processing and Analysis of Digital Images: Determining compressive strength of concrete *, Applied Statistics 2012 International Conference,* Bled, Slovenya

Çankaya, G., 2012, Görüntü işleme teknolojisinin inşaat mühendisliğinde kullanımı ve bir uygulama örneği, Yüksek Lisans Semineri, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Konya

Çankaya, G., Arslan, M., H., Ceylan, M., 2013, Görüntü işleme ve yapay sinir ağları yöntemi ile betonun basınç dayanımının belirlenmesi, Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Bilim ve Teknoloji Dergisi (Kabul Edildi)

Çayırlı, M., 2006, Yanma olayının modellenmesi ve görüntü işleme yoluyla yanma performansının optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Isparta

Çelik, S., 2004, Zeminlerde gerilme ve deformasyon özelliklerinin yapay sinir ağları ile modellenmesi, Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Erzurum

Çomak, B., Beycioğlu, A., Başyiğit, C., Kılınçarslan, Ş., 2011, Beton teknolojisinde görüntü işleme tekniklerinin kullanımı, *6th Intenational Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ

Çoşar, S., Urhan, O., Ertürk, S., Sınmazçelik, T., 2005, Polipropilen malzemede çatlak ilerlemesinin görüntü işleme destekli çekme test ile değerlendirilmesi, *13. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU'2005),* Kayseri

Çulha, S., 1996, Sayısallaştırılmış bilgisayarlı tomografi ve magnetik rezonans tomogramları üzerine görüntü işleme tekniği uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversite Fen Bilimleri Enstitüsü,* Ankara

Dantas, A., T., A., Leite, M., B., Nagahama, K., J., 013, Prediction of compressive strength of concrete containing construction and demolotion waste using artificial neural networks, *Construction and Building Materials* 38 (2013) 717-722

Demir, Ö., 2006, MATLAB gereçleri ile görüntü işleme uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* İstanbul

Doğaroğlu, O.K., 2006, Kasaplık sığırlarda canlı ağırlı ve çeşitli vücut ölçülerinin tahmininde görüntü işleme teknolojisinden yararlanma olanakları, Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Tekirdağ

Edizer, E., 2006, Sayısal görüntü işleme yöntemi ile tane boyut dağılımı analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Adana

Emiroğlu, M., Yıdız, S., Özgan, E., 2009, Lastik agregalı betonlarda elastisite modülünün deneysel ve teorik olarak incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 3 (2009) 469-476

Erdoğan, T., 2003, *Beton*, Odtü Geliştirme Vakfı Yayınları

Ergün, A., Kürklü, G., 2005, Mevcut betonarme yapılarda beton dayanımının belirlenmesi, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli

Erkan, İ.H., 2009, Görüntü işleme teknolojisi ve geoteknik mühendisliğinde kullanımı, Doktora Semineri, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya

Etikan, İ., Cumurcu B., E., Çelikel, F., Ç., Erkorkmaz, Ü., 2009, Yapay sinir ağları yöntemi ve bu yöntem kullanılarak psikiyatrik tanıların sınıflanması, *Türkiye Klinikleri J Med Sci* 2009; 29(2)

Felekoğlu, B., Güllü, D., 2006, Klinker incelemelerinde optik mikroskop ve görüntü işleme tekniklerinin kullanılması, *İMO Teknik Dergi*, 2006 3761

Felekoğlu, B., Türkel, S., 2004, Yükleme hızının beton basınç dayanımına ve elastisite modülüne etkisi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 1 (2004) 65-75

Gaydecki, P., Silva, I., Fernandes, B.T., Yu, Z. Z., 2000, A portable inductive scanning system for imaging steel- reinforcing bars embedded within concrete, *Sensors and Actuators* 84 (2000) 25-32

Gönen, D., Gümüştekin, Ş., Oral, A., 2006, Mozaik dizme otomasyonu için görüntü algılama ile mermer yüzey kalitesinin değerlendirilmesi, *Tasarım İmalat Analiz Kongresi, TİMAK-2006*, Balıkesir

Güler, M., Sözen, Ş., Özen, M., 2007, Görüntü yöntemlerinin beton mikro yapısının ve çelik birleşimlerin deformasyon davranışlarının belirlenmesinde uygulanması, *Tübitak 1002 Hızlı Destek Programı, Proje no:105M085*, Ankara

Haykin, S., 1999, *Neural Networks*, Second Edition, Prentice Hall

Karakuş, D., 2006, Görüntü analiz yöntemleri ile kayaçların yapısal özelliklerinin tanımlanması, Doktora Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir

Keleşoğlu, Ö., 2006, Yapay sinir ağları ile betonarme kiriş kesitlerin analizi, *İMO Teknik Dergi, 2006 3935-3942, Yazı 260, Kısa Bildiri*

Kılınçarslan, Ş., Başyiğit, C., Çomak, B., Akkurt, İ., 2009, Görüntü işleme ile beton özelliklerinin belirlenmesi, *5. Uluslarası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, 2009, Karabük

Koyuncu, T., 2009, Deprem altında mevcut betonarme bina performansının hızlı değerlendirilmesi için yeni bir yöntem, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya

Köroğlu, 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 (2010) 23-32

Küçük, Ö.F., 2006, Ultrasonik yüzey dalgaları- Schmidt yöntemi yardımıyla beton dayanımının bulunması, Yüksek Lisans Tezi, *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Şanlıurfa

McAndrew, A., 2004, Digital image processing with MATLAB, *School of Computer Science and Mathematetics, Victoria University, Thomson Course Technology,* Melbourne, Victoria, Australia

Nagataki, S., Gokce, A., Saeki, T., Hisada, M., 2004, Assessment of recycling process induced damage sensitivity of recycled concrete aggregates, *Cement and Concrete Research* 34 (2004) 965-971

Nambiar, E.K.K., Ramammurthy, K., 2007, Air-void characterisation of foam concrete, *Cement and Concrete Research* 37 (2007) 221-230

Regresyon Analizi, Vikipedi, http://tr.wikipedia.org/wiki/Regresyon_analizi

Schutter, G. D., 2002, Advanced monitoring of cracked structures using video microscope and automated image analysis, *NDT&E International* 35 (2002) 209-212

Subaşı, S., Beycioğlu, A., Emiroğlu, M., 2008, Beton mekanik özelliklerinin taze beton özelliklerinden yararlanılarak yapay sinir ağları ile tahmini, *Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu-BMYS'2008*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir

Okan Üniversitesi, Yapı Malzemesi Lab., http://celab.okan.edu.tr/yapi-malzemesi-lab.php

Okuyan, M.N., 2007, Silis dumanı içeren yüksek dayanımlı betonların basınç dayanımlarının hasarsız olarak bulunması, Yüksek Lisans Tezi, *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Şanlıurfa

Onat, M., 2008, Dijital görüntü işleme yöntemi ile lifli beton numunelerindeki çatlakların tesbit edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ

Özbek, U., 2005, MATLAB'da image processing toolbox kullanarak temel resim işleme ve gürültü ayıklama, Yüksek Lisans Semineri, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Konya

Öncü, M.,E., Karakaş, A., S., Kavak, M., T., 2006, Production of high performance concrete using admixtures, *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 76

Özen, M., 2007, Investigation of relationship between aggregate shape parameters and concrete strength using imaging techniques, Master Thesis, *Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University*, Ankara

Özerkan, N.G., 2009, Evaluation of air void parameters of fly ash incorporated self consolidating concrete by image processing, Doctoral Thesis, *Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University*, Ankara

Özkan, İ., Bilim, N., Sezer, R., Gökay, M.K., 2004, Beton malzemelerde dayanım değerlerinin belirlenmesi için hasarsız yeni bir yaklaşım: Elektriksel geçirgenlik yöntemi, *KAYAMEK'2004-VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu 2004*, Sivas

Özkul, B., 2009, Betonarme kolonların eksenel yük altındaki davranışı ve elastisite modülü önerisi, Doktora Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir

Öztürk, D.,Bozdoğan,K.B., Nuhoğlu, A., 2005, "Betonarme Yapılarda Beton Sınıfının Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkisi", *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli

Robins, P., Austin, S., Chandler, J., Jones, P., 2001, *Cement and Concrete Research* 31 (2001) 719-729

Russ, J., C., 1999, The image processing handbook, Crc press

Sarıoğlu, Ş., Beşdok, E., Erler, M. 2003, *Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-1: Yapay Sinir Ağları* , Kayseri

Santos, P., M.D., Julio, E.N.B.S., Silva, V.D., 2007, Correlation between concrete to concrete bond strenght and the roughness of the substrate surface, *Construction and Building Materials* 21(2007) 1688-1695

Severcan, M., H., 1998, Deprem yer hareketi kayıtları ve yapıların tepki kayıtları arasındaki ilişkilerinin yapay sinir ağları ile tayini, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde

Sinha, S.K., Fieguth, P.W., 2006, Automated detection of cracks in buried concrete pipe images, *Automation in Construction* 15 (2006) 58-72

Spyrou, S., Davison, J.B., 2001, Displacement measurement in studies of steel T-stub connections, *Journal of Constructional Steel Research* 57 (2001) 647-659

Taşçı, M., 2011, FPGA kontrollü robotik göz, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir

Tatlı, P.,2006, Kontrast tutucu meme manyetik rezonans görüntülerinde kanserli olan ve olmayan dokuların görüntü işleme yöntemleri ile belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul

Taze betonun sıkıştırılması, http://forum.yapisal.net/betonarme-yapilar/3454-taze-betonun-sikistirilmasi-nasil-yapilmalidir.html

Tonguç, G., 2007, Görüntü işleme teknikleri kullanılarak meyve tasnifi, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta

Topçu, A., 2013, http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index_dosyalar/Dersler/Betonarme1/Sunular/Betonarme_1_2.pdf

Türk Standartı TS 500, 2000, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara

Türk Standartı TS EN 1008, Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara

Türk Standartı TS EN 197-1, 2012, Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara

Türk, K., Karataş, M., Turğut, P., Benli, A., 2010, Farklı tip ve miktarda puzolan içeren kendiliğinden yerleşen betonun dayanımı ve elastisite modülü arasındaki ilişki, *Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16 (2010) 247-253

Uras, A., 2006, Pullu uç demirlerindeki aşınmaların belirlenmesinde görüntü işleme tekniğinden yararlanma olanakları, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa

Uysal, A., K., 2005, Tıbbi bilgilerin yapay sinir ağları kullanılarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir

Uysal, M., Tanyıldızı, H., Predicting the core compressive strength of self-compacting concrete (SCC) mixture with mineral additives using artificial neural network, *Construction and Building Materials* 25 (2011) 4105-4111

Ün, H., 2007, Taze ve sertleşmiş beton deneyleri, https://dosya.sakarya.edu.tr/Dokumanlar/2013/206/34431063_yapi_malzemesi_9_taze_ve_sertlesmis_beton_deneyleri.pdf

Verim, V., 2005, Görüntü işleme yöntemleri ile doku sınırlarının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara

Yalabık, N. Ve Göktoğan, A., 1990, Görüntü işleme ve biyomedikal uygulamaları, http://www.emo.org.tr/ekler/66473650870501e_ek.pdf?dergi=196

Yıldırım, H., Şengül, Ö., 2011, Modulus of elasticity of substandard and normal concretes, *Construction and Building Materials*, 25 (2011) 1645-1652

Yıldırım, S., İnce, C., Kalaycı, T., E., 2003, Görüntü İşleme sunum, http://yzgrafik.ege.edu.tr/~tekrei/dosyalar/sunum/gi.pdf

Yılmaz, A., 2007, Kamera kullanılarak görüntü işleme yoluyla gerçek zamanlı güvenlik uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Haliç Üniversitesi Fen Bilileri Enstitüsü*, İstanbul

Yu, S.N, Jang, J.H., Han, C.S., 2007, Auto inspection system using a mobile robot for detecting concrete cracks in a tunnel, *Automation in Construction* 16 (2007) 255-261

Yue, Z.Q., Chen, S., Tham, L.G., 2003, Finite element modelling of geomaterials using digital image processing, *Computers and Geotechnics* 30 (2003), 375-397

Yüksel, S., B., Arslan, M., H., 2010, Design force estimation using artificial neural network for groups of four cylindrical silos, *Advences in Structural Engineering*, Vol. 13- No 4

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Gamze ÇANKAYA
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti (T.C)
Doğum Yeri ve Tarihi : 13.09.1988-KONYA
Telefon : (0332) 223 20 25
e-mail : gamze@selcuk.edu.tr

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Meram Konya Lisesi (Yabancı Dil Ağırlıklı Bölüm)	2006
Üniversite	:	Selçuk Üni.-Müh.-Mim. Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü	2011
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü	Devam ediyor
Doktora	:	-	

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Çankaya, G., Arslan, M., H., Ceylan, M., 2012, Statistical methods Statistical Methods for Processing and Analysis of Digital Images: Determining compressive strength of concrete , *Applied Statistics 2012 International Conference*, Bled, Slovenya

Çankaya, G., 2012, Görüntü işleme teknolojisinin inşaat mühendisliğinde kullanımı ve bir uygulama örneği, Yüksek Lisans Semineri, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* Konya

Çankaya, G., Arslan, M., H., Ceylan, M., 2013, Görüntü işleme ve yapay sinir ağları yöntemi ile betonun basınç dayanımının belirlenmesi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Bilim ve Teknoloji Dergisi* (Kabul Edildi)

Çankaya, G., Arslan, M., H., Ceylan, M., 2013, Görüntü işleme teknolojisinin inşaat mühendisliğinde örnek bir uygulama ile tartışılması, *6.Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu'2013,* Ankara

Çankaya, G., Arslan, M., H., Ceylan, M., 2013,*Advanced Materials World Congress, AMWC 2013,* İzmir