**T.C.**
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMİ KULLANILARAK YAPISAL DEFORMASYONLARIN ÖLÇÜLMESİ

**SENEM BİLİCİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**
**MEKANİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN**
**YRD. DOÇ. DR. ZEYNEP FIRAT ALEMDAR**

**İSTANBUL, 2017**

# ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimi yaptığım süre içinde, tüm çalışmalarımda yol gösterici olan, ders yüküne ve üç çocuk annesi olmasına rağmen yardımını, ilgisini ve özverisini benden esirgemeyen, güleryüzlü tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Zeynep FIRAT ALEMDAR'a, çalışmalarımızda uyguladığımız sayısal görüntü işleme yönteminin önemli adımlarına yaratıcı fikirleri ile yardım eden hocam Yrd. Doç. Dr. Fatih ALEMDAR'a, tezimin önemli bölümü olan test datalarını bizimle paylaşan Prof. Dr. Güray ARSLAN'a, İnşaat Yüksek Mühendisi Mehdi ÖZTÜRK'e ve köprü tasarımını yapıp deney esnasında video kaydı almamı sağlayan YTÜ öğrencilerinden Team Orion ekibine, her türlü konuda maddi manevi desteklerini hissettiğim aileme ve özellikle ablam Özlem BİLİCİ'ye, yoğun eğitim hayatım ve tez çalışması süresince sabrını benden esirgemeyen, sevgisi ile her zaman destek olan motivasyon kaynağım, kıymetli nişanlım Cem BİLİCİ'ye teşekkür ederim.

Mayıs, 2017

Senem BİLİCİ

# İÇİNDEKİLER

KISALTMA LİSTESİ ..... vi

ŞEKİL LİSTESİ ..... vii

ÇİZELGE LİSTESİ ..... ix

ÖZET ..... x

ABSTRACT ..... xi

BÖLÜM 1

GİRİŞ ..... 1

1.1 Literatür Özeti ..... 1
1.2 Tezin Amacı ..... 13
1.3 Hipotez ..... 14

BÖLÜM 2

DİJİTAL GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMİ ..... 15

2.1 Görüntülemenin Tarihçesi ..... 15
2.2 Dijital Görüntü İşleme Nedir? ..... 16
2.2.1 Sayısal İmgede Örnekleme (Uzamsal Çözünürlük) ..... 17
2.3 Dijital Görüntü İşleme Teknikleri ve Adımları ..... 18
2.3.1 Görüntü Ters Çevirme (İmge Aynalama) ..... 20
2.3.2 Görüntü Boyutlandırma ..... 20
2.3.3 Görüntü İyileştirme ..... 21
2.3.4 Histogram ..... 22
2.3.5 Piksel Komşulukları ..... 23
2.3.6 Gürültü ve gürültü giderme ..... 23
2.3.6.1 Filtreler ..... 23
2.4 Dijital Görüntülerde Kullanılan Renk Modelleri ..... 24
2.4.1 Kırmızı-Yeşil-Mavi (RGB) Renk Modeli ..... 24
2.4.2 Gri Ton Renk Modeli ..... 25
2.4.3 İkili (Binary) Renk Modeli ..... 25
2.5 Dijital Görüntülerde Kullanılan Koordinat Sistemleri ..... 26
2.5.1 Piksel Koordinat Sistemi ..... 26

2.5.2 Uzamsal Koordinat Sistemi ..... 27
2.6 Görüntü İşleme Tekniklerinin Kullanıldığı Alanlar ..... 27

BÖLÜM 3

ÇEŞİTLİ YAPI ELEMANLARI İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR VE SONUÇLAR ..... 28

3.1 Kiriş Numuneleri ile Yapılan Çalışmalar ve Sonuçlar ..... 28
3.1.1 Kirişlerin Geometrik Özellikleri ..... 29
3.1.2 Kirişlerin Yüzeyinin Hazırlanması ..... 29
3.1.3 Üç Eksenli Eğilme Deneyinin Yapılması ..... 30
3.1.4 Fotoğraflar Kullanılarak MATLAB'da Görüntü İşleme Adımları ..... 30
3.1.5 MATLAB Düşey Deformasyon Sonuçları ..... 33
3.1.6 Kirişlerin Histogram Dağılımları ..... 35
3.2 Çelik Köprü ile Yapılan Çalışmalar ve Sonuçlar ..... 37
3.2.1 Köprünün Geometrik Özellikleri ..... 37
3.2.2 Çelik Köprünün Sonlu Elemanlar Programı ile Analizi ..... 38
3.2.3 Yükleme Deneyinin Yapılması ..... 40
3.2.4 MATLAB Düşey Deformasyon Sonuçları ..... 40
3.2.5 Çelik Köprünün Histogram Dağılımı ..... 42

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER ..... 44

KAYNAKLAR ..... 46

ÖZGEÇMİŞ ..... 48

## KISALTMA LİSTESİ

| | |
|---|---|
| CCD | Charge Coupled Device |
| DIC | Digital İmage Correlation |
| RGB | Red, Green, Blue |
| LED | Işık Yayıcı Diyot |
| PDT | Potentiometric Differential Transformer |
| YTÜ | Yıldız Teknik Üniversitesi |

# ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa


Şekil 1.1 En yüksek yükteki ve çatlağın açılmasından sonraki ahşabın görüntüleri ..... 2
Şekil 1.2 Şekil değiştirmiş membran için x yönündeki gerinim değerleri ..... 3
Şekil 1.3 Eğilme testi uygulanan ters U şeklinde betonarme kiriş ..... 4
Şekil 1.4 Test laboratuarı düzeni ve fotogrametrik ağın şematik olarak gösterilmesi ... 5
Şekil 1.5 Öngerilmeli kiriş için yük- yer değiştirme grafiği ..... 5
Şekil 1.6 Dikdörtgen prizma numuneler (3 adet) ..... 6
Şekil 1.7 Deney düzeneğinin önden ve arkadan görünüşü ..... 6
Şekil 1.8 Deney düzeneğinin arkadan görünüşü ..... 7
Şekil 1.9 Dört açıklıklı köprü ..... 9
Şekil 1.10 Yakın görünüş referans çizgileri (a) alt bölge (b)üst bölge ..... 10
Şekil 1.11 Referans çizgileri ve LVDT yerlerinin gösterimi ..... 10
Şekil 1.12 Üçüncü ve sekizinci noktaların düşey yöndeki dönmelerinin hesabı ..... 11
Şekil 1.13 Yedinci ve dokuzuncu noktaların düşey yöndeki dönmelerinin hesabı ..... 11
Şekil 1.14 Düşey ve yatay yöndeki dönmelerin karşılaştırılması ..... 12
Şekil 1.15 Elli dokuzuncu noktadaki sapmanın karşılaştırılması ..... 12
Şekil 2.1 Analog görüntü ve sayısal karşılığı ..... 17
Şekil 2.2 Görüntünün sayısallaştırılması ..... 17
Şekil 2.3 Uzamsal çözünürlük ..... 18
Şekil 2.4 Sayısal imgede örnekleme ..... 18
Şekil 2.5 Görüntü işleme teknikleri ..... 19
Şekil 2.6 Orijinal resim ve ters çevrilmiş resim ..... 20
Şekil 2.7 Boyut değişikiği ..... 21
Şekil 2.8 Görüntü iyileştirme-parlaklık ayarı ..... 21
Şekil 2.9 Görüntü iyileştirme-kontrast ayarı ..... 22
Şekil 2.10 Görüntü iyileştirme-eşikleme ..... 22
Şekil 2.11 Örnek resme ait histogram dağılımı ..... 23
Şekil 2.12 Gerçek renk küpü ..... 24
Şekil 2.13 Gri ton görüntü ..... 25
Şekil 2.14 İkili (binary) görüntü ..... 26
Şekil 2.15 Piksel koordinat sistemi ..... 26
Şekil 2.16 Uzamsal koordinat sistemi ..... 27
Şekil 3.1 Kiriş kesiti, donatı yerleşimi ve yer değiştirme ölçerlerin konumları ..... 29
Şekil 3.2 B35 kirişinin karelajlara ayrılmış ön yüzeyi ..... 30
Şekil 3.3 Görüntü işleme yönteminde ilk fotoğrafın seçilmesi ..... 31

Şekil 3.4 İlk fotoğrafın referans noktalarının belirlenmesi..... 32
Şekil 3.5 Fotoğrafların sırası ile işlenmesi ..... 32
Şekil 3.6 B35P10 kirişinde işaretlenen referans noktası ..... 33
Şekil 3.7 B35P20 kirişinde işaretlenen referans noktası ..... 33
Şekil 3.8 B35P10 kirişinin yer değiştirme grafiklerinin karşılaştırılması..... 34
Şekil 3.9 B35P20 kirişinin yer değiştirme grafiklerinin karşılaştırılması..... 35
Şekil 3.10 B35P10 kirişine ait histogram dağılımı ..... 36
Şekil 3.11 B35P20 kirişine ait histogram dağılımı ..... 37
Şekil 3.12 AutoCAD programı ile tasarlanan çelik köprünün önden görüşü ..... 38
Şekil 3.13 Sonlu elemanlar programı ile modellenen çelik köprü ..... 39
Şekil 3.14 Sonlu elemanlar programı ile elde edilen yer değiştirme değerleri..... 39
Şekil 3.15 Yükleme deneyi ..... 40
Şekil 3.16 Çelik köprüde işaretlenen referans noktası ..... 41
Şekil 3.17 Çelik köprüde işaretlenen referans noktasının yer değiştirme grafiği ..... 42
Şekil 3.18 Çelik köprünün histogram dağılımı..... 43

# ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 Deplasman değerleri ..... 8
Çizelge 3.1 Köprüde kullanılan çeliğin mekanik özellikleri..... 38

# ÖZET

## GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMİ KULLANILARAK YAPISAL DEFORMASYONLARIN ÖLÇÜLMESİ

Senem BİLİCİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Zeynep FIRAT ALEMDAR

Yapılan çalışmada, yapılarda meydana gelen deformasyonların ölçümü için dijital fotogrametrik yöntemlerinin kullanımı açıklanmaktadır. Bu yöntem numunelere dijital sensörler uygulanmadan deney sırasındaki yer değiştirmeleri ölçmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu optik teknikte, kamera, video kayıtlarını resim karelerine çevirme programına sahip bir bilgisayar ve MATLAB görüntü işleme teknikleri kullanılmaktadır. Test numunelerinin yüzeyindeki yer değiştirmeler, numunede karelajlara ayrılıp boyanmış noktaların hareketlerinin analizi ile elde edilir. Görüntü analiz algoritması, noktaların hareketlerini otomatik olarak izlemeyi ve sıralı bir şekilde dizilmiş görüntülerin merkezi koordinatlarını hesaplamayı sağlar. Çalışmanın amacı, tek eksenli yük altında betonarme elemanın ve yükleme testi altında çelik köprünün yüzey deformasyonlarını incelemek ve geleneksel yöntemlerden elde edilen deformasyon sonuçları ile karşılaştırmaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Eğilme testi, yükleme testi, deformasyon ölçümü, görüntü işleme yöntemi

## ABSTRACT


### STRUCTURAL DEFORMATION MEASUREMENT USING IMAGE PROCESSING METHOD

Senem BİLİCİ

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assist. Prof. Dr. Zeynep FIRAT ALEMDAR

In this study, the digital photogrammetry method to measure displacements in the experimental mechanics without applying digital sensors to the specimens is described. This optical technique uses a camera, a computer with frame grabber board and image analysis techniques within the MATLAB Image Processing Toolbox. The displacements at the surface of the test specimens are obtained by the analysis of the movements of dots painted on the specimen. The image analysis algorithm makes it possible to automatically track the motions of the dots and compute their centroid coordinates in a sequence of images. The aim of the study is to examine the surface deformations of the reinforced concrete under uniaxial loading and the steel bridge under load test and to compare with the results obtained from traditional instruments.



**Keywords:** Bending test, load test, deflection measurement, digital image processing

# BÖLÜM 1

# GİRİŞ

## 1.1 Literatür Özeti

İnsanoğlu görme yeteneği sayesinde çevresindeki olayları algılayarak tepki verebilir. 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 algılama 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 kapsamaktadır. Görüntü işlemede, cisme ait görüntüler üzerinde çeşitli çalışmalar yapılarak, merak edilen cisim özellikleri üzerinde soyut olarak erişilemeyen bilgilere erişebilme imkânı sağlanmıştır ve görüntü işleme teknolojisinin uygulanma amacı da buna yönelik olarak gelişmiştir.

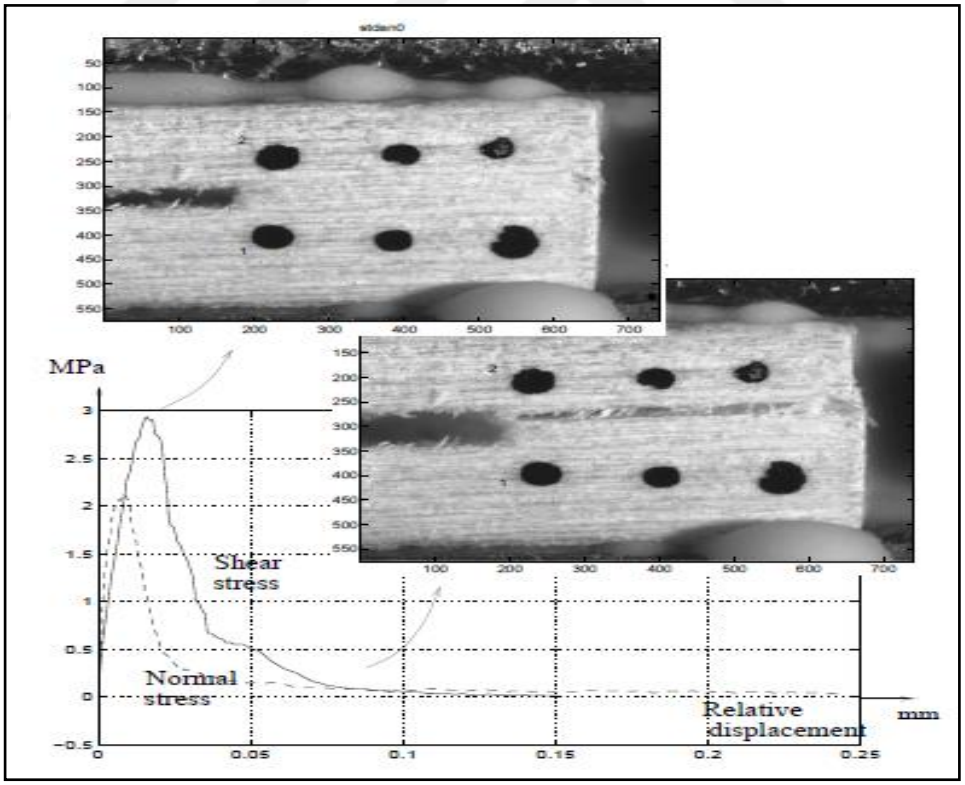
Görüntü işleme, daha önceden kaydedilmiş olan mevcut görüntüleri işlemek veya iyileştirmek için de kullanılır. Görüntü analiz sistemleri yazılımlarla birlikte kullanılarak alınan görüntü saniyenin dilimlerinde analiz edilir. Görüntü analizi akıllı sistemlerin gelişmesinde anahtar bir rol oynar ve genellikle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

Görüntü yöntemlerinin temel parçasını 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 [1].

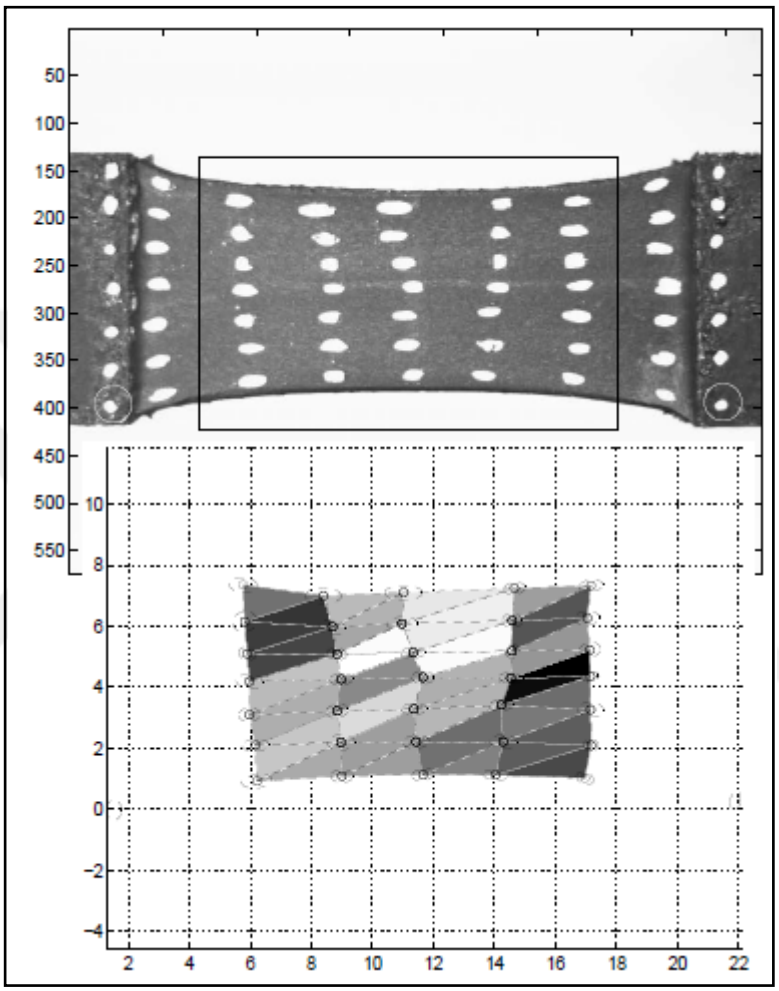
Literatür araştırmaları gösteriyor ki son yıllarda görüntü işleme yöntemi mühendislik konularında geniş bir kullanım alanına sahip. Yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Austrell vd. (1995) [2] araştırmalarında mekanik test parçalarındaki deformasyon ve gerinimleri deney elemanına herhangi bir sensör uygulamadan ölçmeye çalışmıştır. İlk önce ahşap test örneği ele alınmış, karışık mod yüküne maruz bırakılan elemanın gerilme-deformasyon eğrisini belirlemek için kapsamlı testler yapılmıştır. Çalışmanın amacı maksimum gerilme ve kırılma enerjisi değerlerinin yanı sıra gerilme-deformasyon eğrisi gibi malzeme özelliklerini belirlemektir (Şekil 1.1).




Şekil 1.1 En yüksek yükteki ve çatlağın açılmasından sonraki ahşabın görüntüleri [2]

Diğer bir çalışma ise gerilmiş bir kauçuk membrandan birden fazla görüntü alınarak görüntü işleme yöntemi ile yüzey gerinimlerinin değerlendirilmesidir. Örnek, 10x10x2 mm ebatlı bir kauçuk membranın çelik plakalara yapıştırılmasından oluşur (Şekil 1.2). Deney sonucu sağ taraftaki yük hücresi 10 mm yer değiştirmiştir ve her milimetre yer değiştirmede iki resim karesi olmak üzere yirmi resim karesi elde edilmiştir.

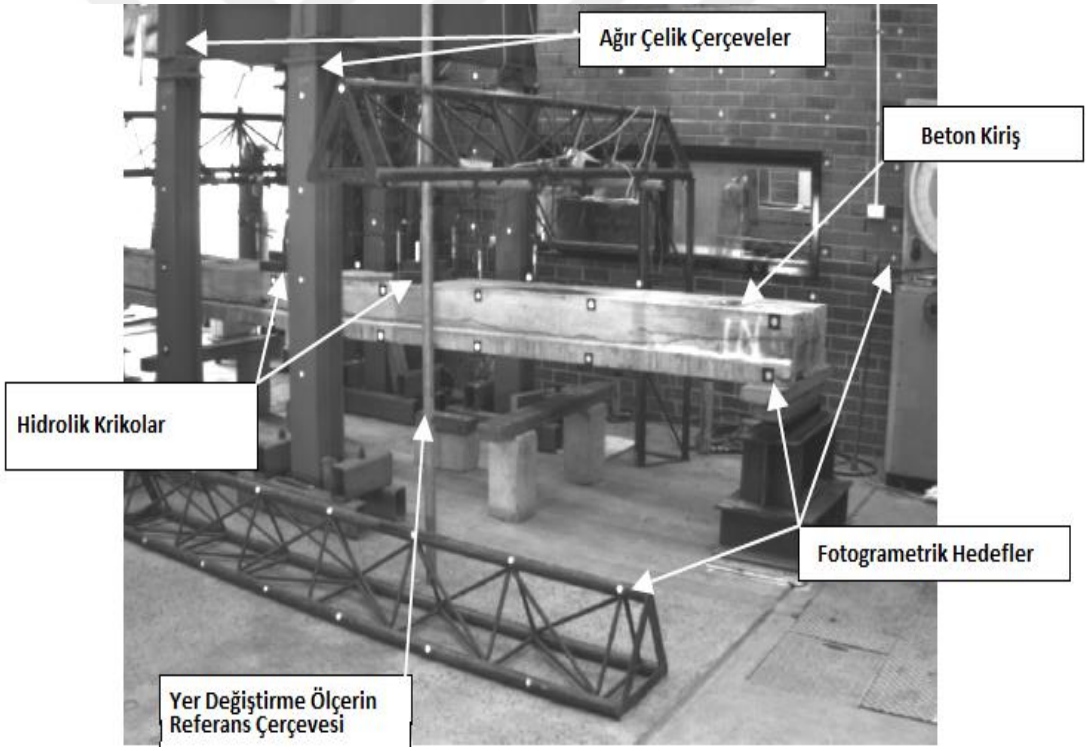



Şekil 1.2 Şekil değiştirmiş membran için x yönündeki gerinim değerleri [2]

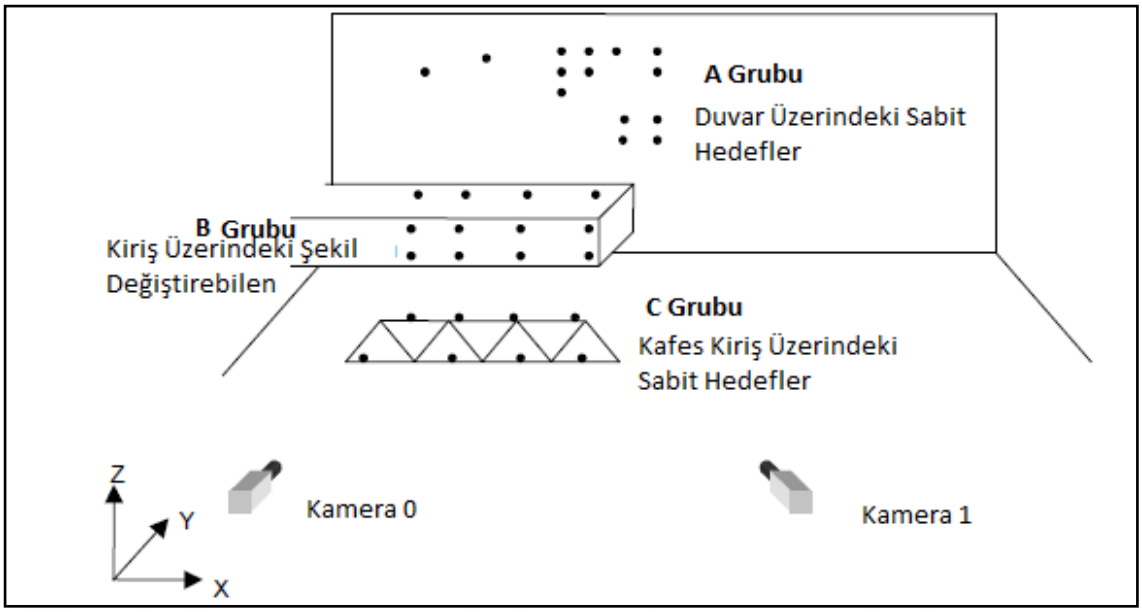
Görüntü işleme algoritması noktalardaki hareketi otomatik olarak izlemeyi ve resimlerin sırasına göre orta noktalarındaki koordinatları hesaplamayı sağlamıştır. Bu yöntem sonlu elemanlardaki şekil fonksiyonlarını kullanarak ara değerdeki deformasyonları ve gerinimlerin yüzeylerini hesaplar. İlk resimdeki noktaların otomatik olarak tespiti zamandan tasarruf sağlamaktadır. Bu yöntemin daha iyi uygulanması için test numunesi üzerine karelajlar çizilebilir.

Yue vd. (2002) [3] çalışmalarında temeli sonlu elemanlar yöntemine dayanan görüntü işleme yöntemini homojen olmayan ve mikroyapıya sahip zemin, kayalar, asfalt betonu ve çimentolu beton da dahil olmak üzere jeolojik malzemelerin dijital formatta homojen dağılımlarını elde etmek için kullanmışlardır. Sayısal sonuçlara bakıldığında dijital görüntü işleme yönteminin jeomekanik analizde malzeme homojensizliğini de hesaba katabildiği görülmektedir.

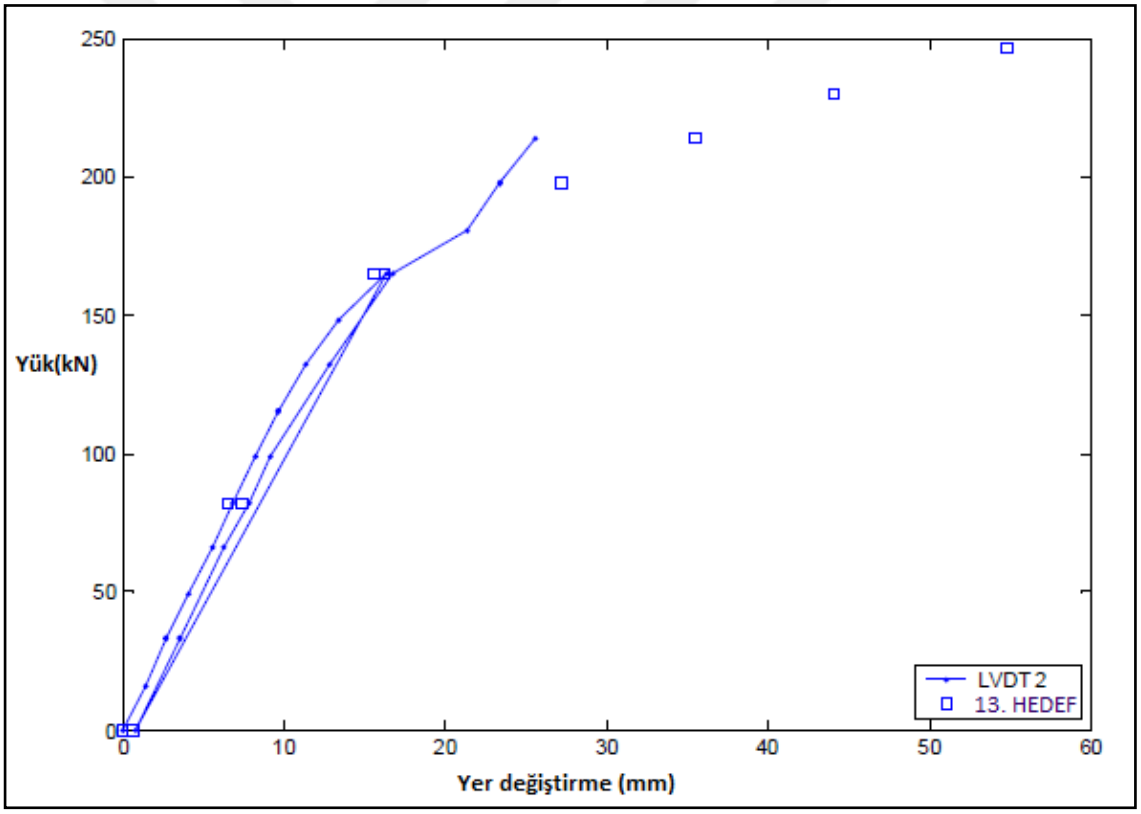
Whiteman vd. (2002) [4] hasarlı testler sırasında beton kirişlerde deformasyonların ölçümü için dijital fotogrametriyi kullanmışlardır (Şekil 1.3 ve Şekil 1.4). Öngerilmeli beton kirişin eğilme testi sırasında büyük yer değiştirme yaptığı görülmektedir (Şekil 1.5) . Yük, kirişin orta noktasına, iki adet çelik çerçeveden askıya alınmış hidrolik krikolarla uygulanmıştır. Kirişin üzerinde ve etrafında çok sayıda yansıtıcı hedefler bulunmaktadır.




Şekil 1.3 Eğilme testi uygulanan ters U şeklinde betonarme kiriş [4]




Şekil 1.4 Test laboratuarı düzeni ve fotogrametrik ağın şematik olarak gösterilmesi [4]

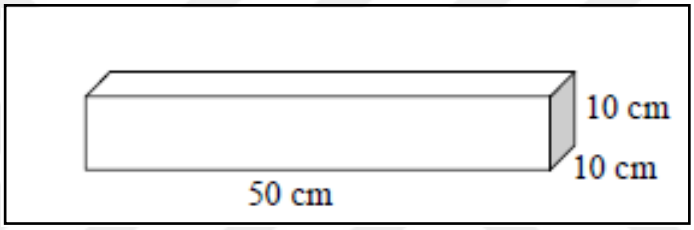



Şekil 1.5 Öngerilmeli kiriş için yük- yer değiştirme grafiği [4]

Deplasman bileşenlerinin üç boyutlu ölçümü, sınırsız ölçüm aralığı ve doğrusal olmayan sistematik hataları en aza indirgemesi bu yöntemin avantajlarından bazılarıdır. Sonuçlar, farklı kirişlerde yapılan çeşitli testlerden elde edilmiştir. Fotogrametrik ve deplasman ölçerden alınan ölçümleri karşılaştırılmıştır.

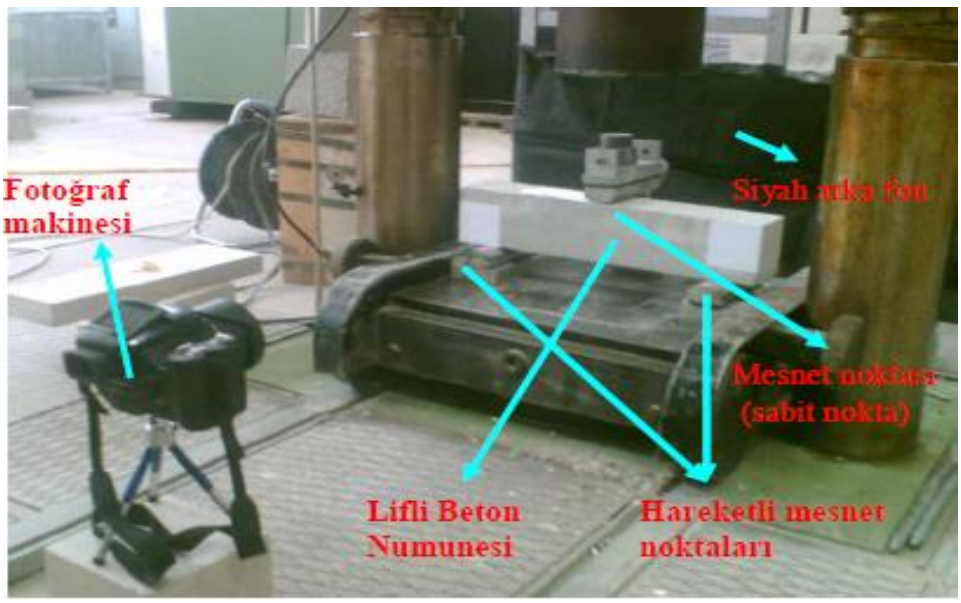
Jauregui vd. (2002) [5] köprülerin düşey deplasman ölçümlerini dijital yakın resim fotogrametrisi kullanarak elde etmişlerdir. İlk olarak, öngerilmeli beton köprü kirişlerin 31.1 m'deki başlangıç eğriliği ve ölü yükten dolayı deformasyonları fotogrametrik olarak ölçülmüş ve seviye çubuğu ve toplam istasyon okumaları ile karşılaştırılmıştır. İkinci olarak, kirişsiz çelik konstrüksiyon köprüsü 14.9 m'de iki damperli kamyonla yüklenerek yapılan düşey deplasman ölçülmüştür. Sonuç olarak, fotogrametrik sonuçlar; seviye çubuk okumaları ve eğrilik tabanlı deformasyon ölçümleri kullanılarak hesaplanan deplasmanlar ile karşılaştırılmıştır.

Onat (2008) [6] çalışmasında betonun kırılmadan önceki potansiyel davranışını görüntü işleme tekniklerini kullanarak incelemiştir. Bu amaçla 50x10x10 cm boyutunda dikdörtgen prizma seklinde lifli beton numuneleri hazırlanmıştır (Şekil 1.6).

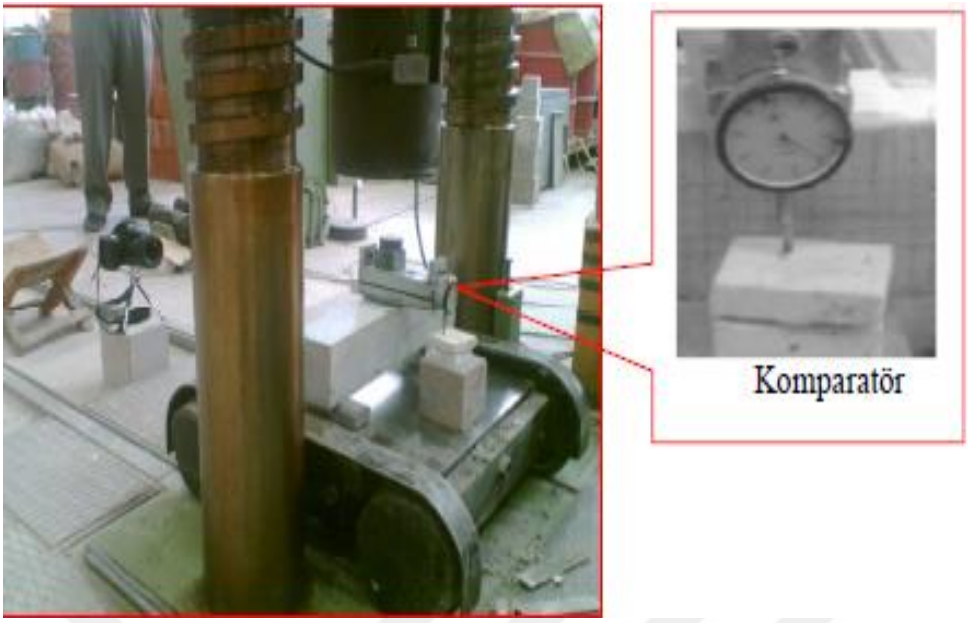



Şekil 1.6 Dikdörtgen prizma numuneler (3 adet) [6]

Beton numuneleri üç noktalı eğilme deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 1.7 ve Şekil 1.8) ve yüke karşılık gelen deformasyon değerleri komparatör yardımıyla ölçülmüştür.




Şekil 1.7 Deney düzeneğinin önden ve arkadan görünüşü [6]




Şekil 1.8 Deney düzeneğinin arkadan görünüşü [6]

Ayrıca deney sırasında numunelerin yüksek çözünürlüklü dijital kamera ile seri çekim yapılarak görüntüleri de elde edilmiştir. Bu görüntüler MATLAB programında kodlanan yazılımla işlenmiş ve ortaya çıkan deformasyon değerleri aynı anda elde edilen komparatör değerleri ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1 Deplasman değerleri [6]

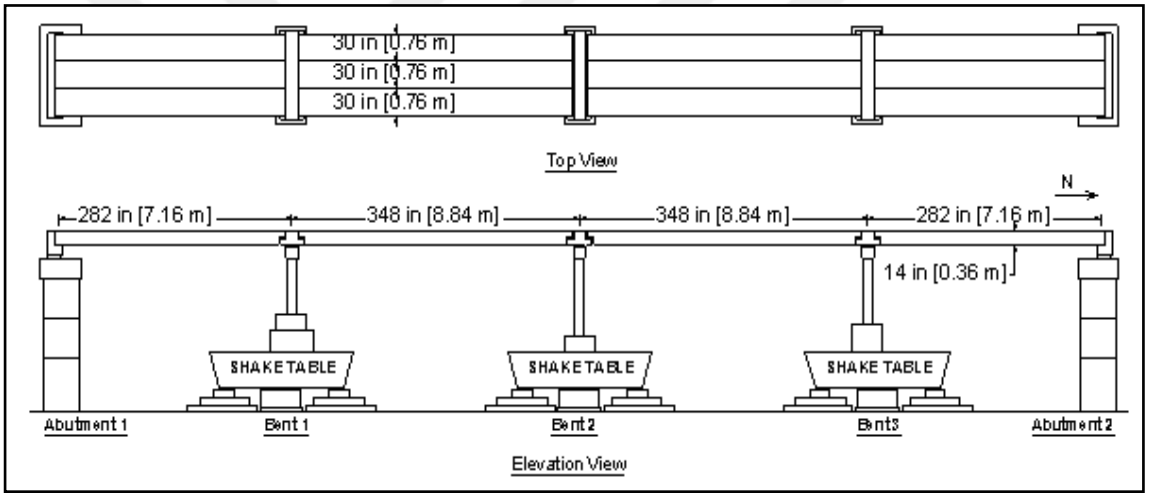
| Fotoğraf No | Süre (sn) | Yük (kN) | Deplasman (Matlab) (mm) | Deplasman (Komparatör) (mm) | Açıklamalar |
|---|---|---|---|---|---|
| 11 | 56 | 9.9 | 3.6 | 1.8 | Numunenin kırılmadan önce maksimum yükte yapmış olduğu deplasman değeri |
| 15 | 79 | 6.4 | 4.2 | 2.5 | |
| 20 | 107 | 6 | 4.8 | 3.3 | |
| 25 | 134 | 5.3 | 5 | 4.1 | |
| 30 | 157 | 4.7 | 5.1 | 4.8 | |
| 35 | 182 | 4.1 | 5.2 | 5.5 | |
| 40 | 206 | 3.7 | 5.7 | 6.3 | |
| 45 | 235 | 3.2 | 5.9 | 7 | |
| 50 | 275 | 2.8 | 6.2 | 8.2 | Basınç yüzeyinin ortadan kalktığı durumdaki resme ait deplasman değeri |

Kılınç (2009) [7] 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 numunelerin korozif ortama bırakılarak korozyona uğraması sağlanıp çelik numunede oluşan oyukların taramalı elektron mikroskobu ile fotoğrafları alındıktan sonra MATLAB programı ile derinlikleri tekrar bulunmuştur. Gerçek oyuk derinlik değeri ile görüntü işleme yöntemi kullanılarak belirlenen derinlik

değerleri karşılaştırılmış ve maksimum % 6,5 bağıl hata ile gerçek oyuk derinliklerinin belirlendiği sonucuna varılmıştır.

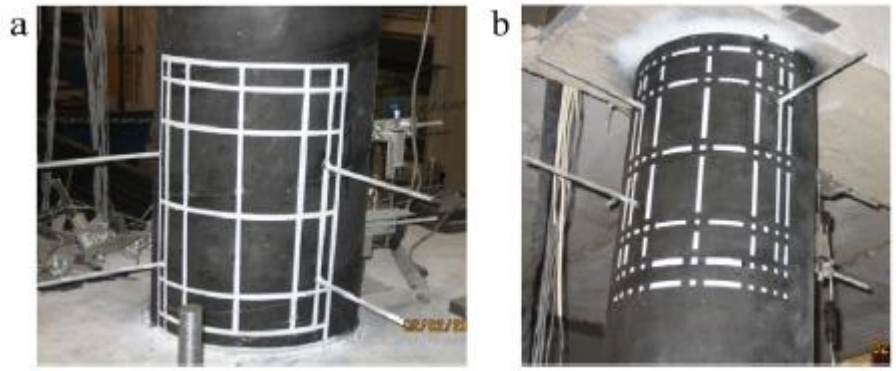
Çomak vd. (2011) [8] inşaat mühendisliği alanında özellikle beton teknolojisinde görüntü işleme tekniklerinin kullanılma potansiyelini araştırmışlardır. Beton özelliklerinin belirlenmesinde ve parametrelerin değerlendirilmesinde görüntü işleme tekniklerinin kullanımı ile ilgili çalışmaların giderek arttığı sonucuna varılmıştır.

Fırat Alemdar vd. (2011) [9] farklı yüklemeler altında olan yapısal sistemlerde doğrusal olmayan tepkinin yerinin belirlenmesi hakkında çalışmışlardır. Veriler, dört açıklıklı büyük ölçekli köprü sistemlerinin sismik performansı araştırılırken güçlü sarsma olaylarına tepki sırasında kolonların plastik bölgelerindeki deformasyonlarından alındı (Şekil 1.9).

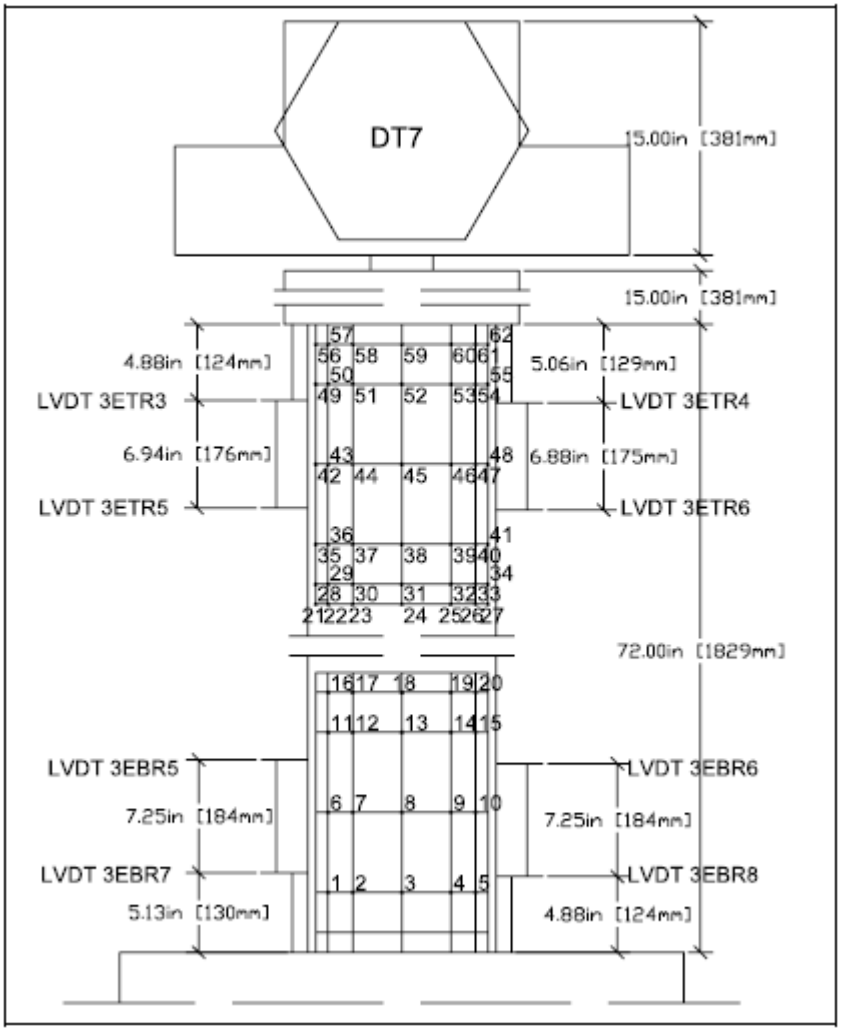



Şekil 1.9 Dört açıklıklı köprü [9]

Plastikleşme bölgelerindeki deformasyonları kaydetmek ve analiz etmek için kolonların üst ve alt yüzeylerine referans çizgileri kullanılarak bir fotogrametri yöntemi uygulandı (Şekil 1.10 ve Şekil 11).

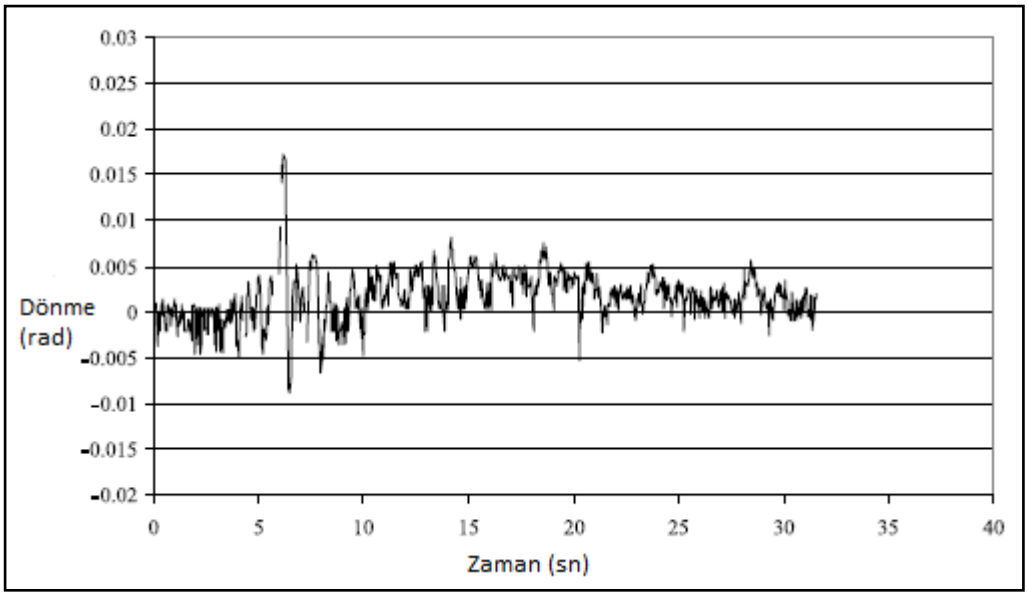



Şekil 1.10 Yakın görünüş referans çizgileri (a) alt bölge (b)üst bölge [9]

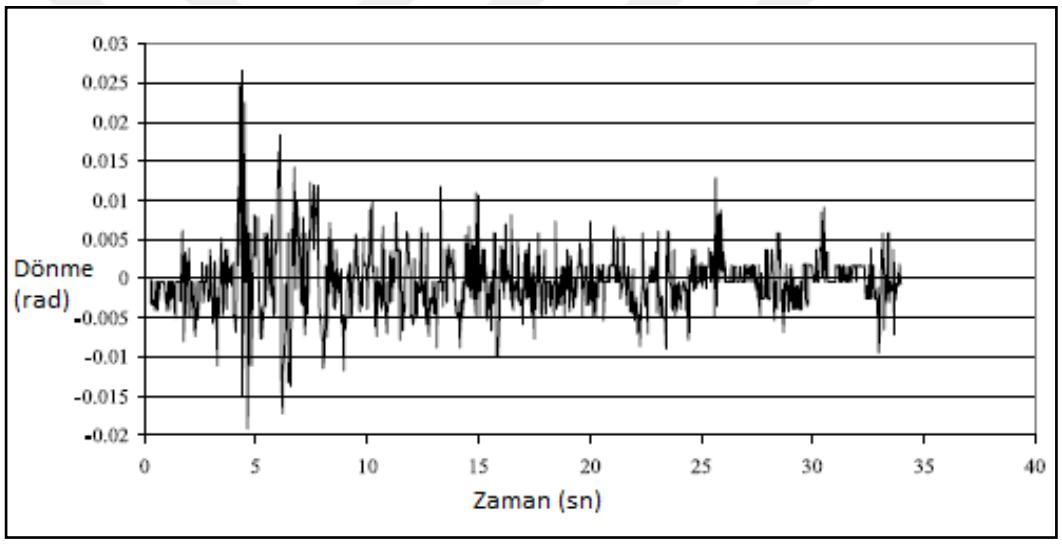



Şekil 1.11 Referans çizgileri ve LVDT yerlerinin gösterimi [9]

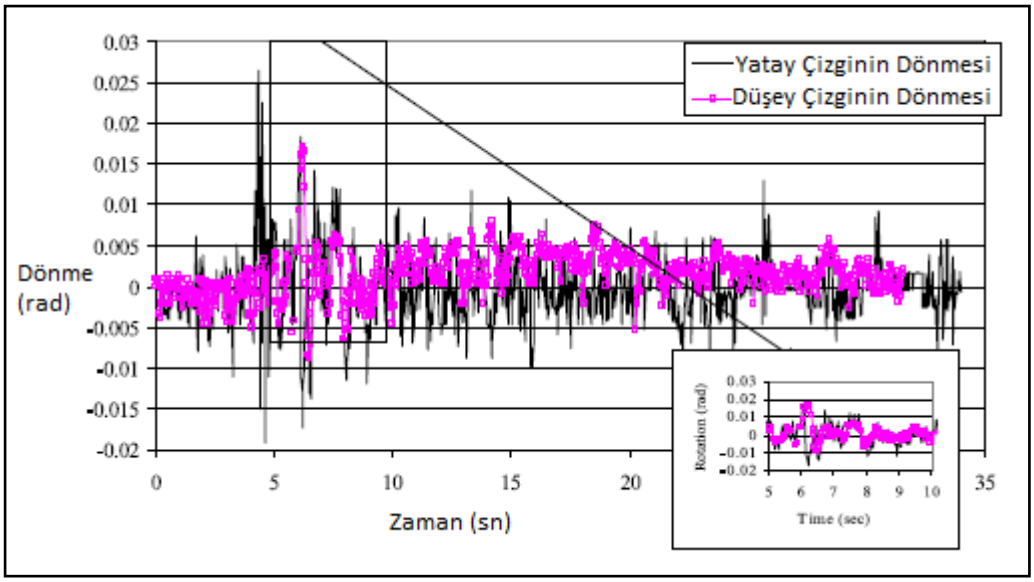
Dinamik yükleme altındaki betonarme köprü kolonunun yüzeyindeki deformasyonlar ve dönmeler incelenmiş ve geleneksel deney aletlerinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır (Şekil 1.12, Şekil 1.13, Şekil 1.14 ve Şekil 1.15).



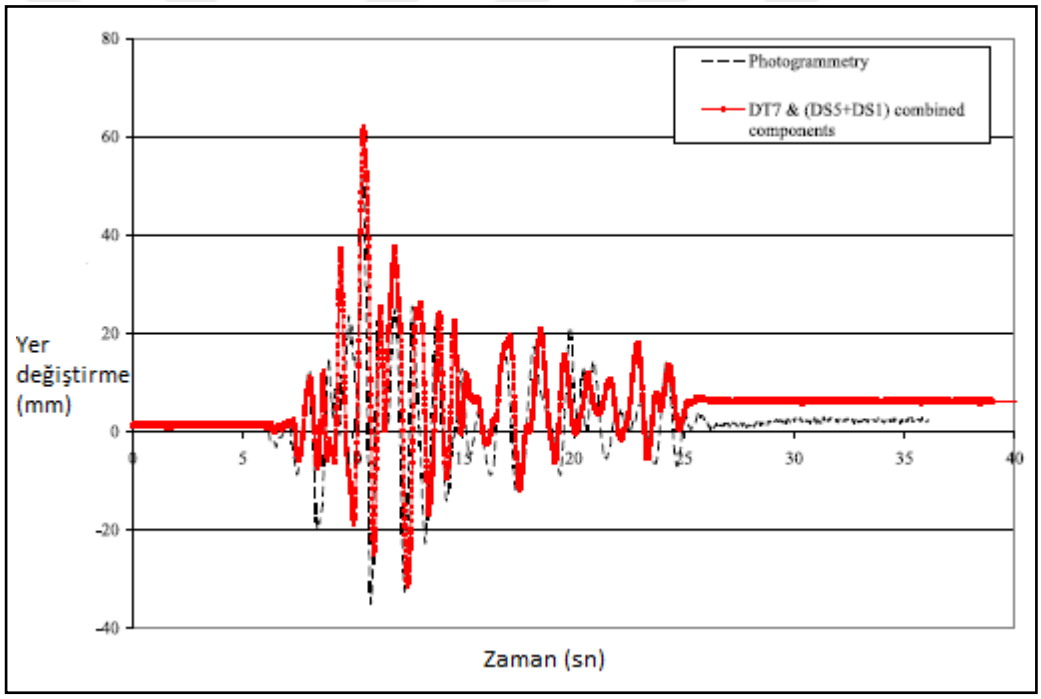

Şekil 1.12 Üçüncü ve sekizinci noktaların düşey yöndeki dönmelerinin hesabı [9]




Şekil 1.13 Yedinci ve dokuzuncu noktaların düşey yöndeki dönmelerinin hesabı[9]




Şekil 1.14 Düşey ve yatay yöndeki dönmelerin karşılaştırılması [9]




Şekil 1.15 Elli dokuzuncu noktadaki sapmanın karşılaştırılması [9]

Fotogrametri yöntemi ile referans çizgileri kullanılarak çizilen yüzeydeki noktaların yanal ve düşey yer değiştirmelerinin yanında, plastikleşme bölgelerindeki deforme edilmiş şekli izlemek çok başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiş, ancak kolonun dönmeleri gibi ikincil hesaplamaların sonuçları sınırlı bir başarı elde edilmiştir.

Şahin vd. (2013) [10]çalışmalarında çekme deneyine tabi tutulan numunelerin kesit alanlarını geleneksel ölçüm yöntemleri ve görüntü işleme yöntemi ile ölçerek

karşılaştırmasını yapmışlardır. Daha sonra kopmanın gerçekleştiği kesitin görüntüsü işlenerek süneklik tespit edilmiş ve değerler karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak iki ölçüm arasındaki ortalama hata payı %29.74 olarak hesaplanmıştır.

Henke vd. (2014) [11] çalışmalarında bina türü yapılardaki deformasyonları basit, doğru ve ekonomik bir şekilde ölçme sistemi geliştirmek için dijital görüntü işleme yöntemini uygulamışlardır. Yapının seçilen noktaları düzenli aralıklarla elektronik kameralar tarafından kaydedilip, yerleri dijital görüntü işleme yöntemi ile ölçülmüştür. Bu durumda hedef noktalar ışık yayıcı diyotlar (LED) ile birlikte ölçüm için kullanılan kameralar da kızılötesi aralıkta çalışır; bu da görüntü kalitesinin ışık koşullarından etkilenmediği anlamına gelmektedir. Laboratuvardaki testler göstermiştir ki bu yöntem kullanılarak bina türü yapılar için belirli mesafelerde milimetre cinsinden hedef takibi mümkün olmaktadır. Çalışmada geniş açıklıklı ahşap çatı elemanına sahip bir yapı ele alınmış ve dört ana kirişin her üç noktasının hareketi dijital görüntü işleme yöntemi ile ölçülmüştür.

## 1.2 Tezin Amacı

Bu tezde, temel mühendislik dallarından inşaat mühendisliği ile bilgisayar mühendisliği arasındaki yaklaşımlara örnekleme getirerek, bu mühendislik dallarının ilgi alanı olan görüntü işleme teknolojisi üzerindeki uygulamaları incelenmiş, bu kapsamda literatürde görüntü işleme üzerine yapılan çalışmalardan inşaat mühendisliği ile ilgili olanlar irdelenmiştir. Tezin alan çalışması kısmında, ilk olarak YTÜ İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarı'nda daha önceden deneyi yapılan polipropilen lif katkılı betonarme kirişlerin deney sırasında çekilen video kayıtları alınıp, kirişlerin düşey yer değiştirmeleri görüntü işleme teknolojisi ile bulunarak laboratuvar testlerinden edinilen sonuçlarla doğruluğu karşılaştırılmıştır. Daha sonra YTÜ İnşaat Mühendisliği lisans öğrencileri tarafından Boğaziçi Üniversitesi'nin düzenlemiş olduğu 'Uluslararası Öğrenci Çelik Köprü Yarışması' kapsamında hazırlanan köprünün deney sırasında video kaydı alınarak orta noktadaki düşey yer değiştirmeler bulunarak yer değiştirme ölçerden edinilen sonuçlarla karşılaştırılması yapılmıştır.

## 1.3 Hipotez

Geleneksel deformasyon ölçerler sadece bir veya birkaç nokta için ölçüm yaptığından çalışılan yüzeyler küçüldükçe ölçümler de zorlaşmaya başlamaktadır. Geleneksel yöntemlerin aksine fotogrametrik ölçümler herhangi bir sensör gerektirmediği ve temas olmadan ölçüm yapıldığı için özellikle hasarlı testler için idealdir. Görüntü işlemenin inşaat teknolojisindeki gelişmelere katkısı, deneyi daha önce yapılan polipropilen lif katkılı betonarme kirişlerin üç noktalı kiriş eğilme deneyinden ve yarışma kapsamında üretilen çelik köprünün yükleme deneyinden elde edilen yer değiştirme değerleri ile aynı deneylerin video kaydının dijital görüntü işleme yöntemi kullanılarak elde edilen deformasyon değerleri karşılaştırılarak uygunluğu incelenmiştir.

# BÖLÜM 2

# DİJİTAL GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMİ

Görüntülerden bilgi çıkarma ve içeriğini yorumlama ihtiyacı, son yıllarda görüntü işleme ve bilgisayar görüntüsünün geliştirilmesinde önemli faktörlerden biri olmuştur[12]. Görüntü işleme (Image Processing), verilerin alınıp ölçme ve değerlendirme işlemlerinden sonra, başka bir aygıtta okunabilir bir şekle dönüştürülme işleminin genel adıdır. Görüntü işleme yönteminde kaydedilen görüntüler üzerinde iyileştirme yapılabilir ve bilgisayar aracılığı ile mevcut görüntülerin işlenmesi de gerçekleştirilebilir [1].

## 2.1 Görüntülemenin Tarihçesi

Araştırmalara göre yaklaşık yediyüz milyon yıl önce yaşamış ilkel canlılarda göz benzeri organların evrimi ile görüntüleme başlamıştır. Bu ilkel organlar görüş alanındaki üç boyutlu objelerden yansıyan ışığı iki boyutlu göz yüzeyinin üzerine iz düşürerek, görüş alanının basitleştirilmiş bir modelini oluşturmayı sağlamıştır. Fotoğraf makinesinin icadı ile görüntüleme; ışık, odak ve açı ayarları ile sınırlanmıştır [13].

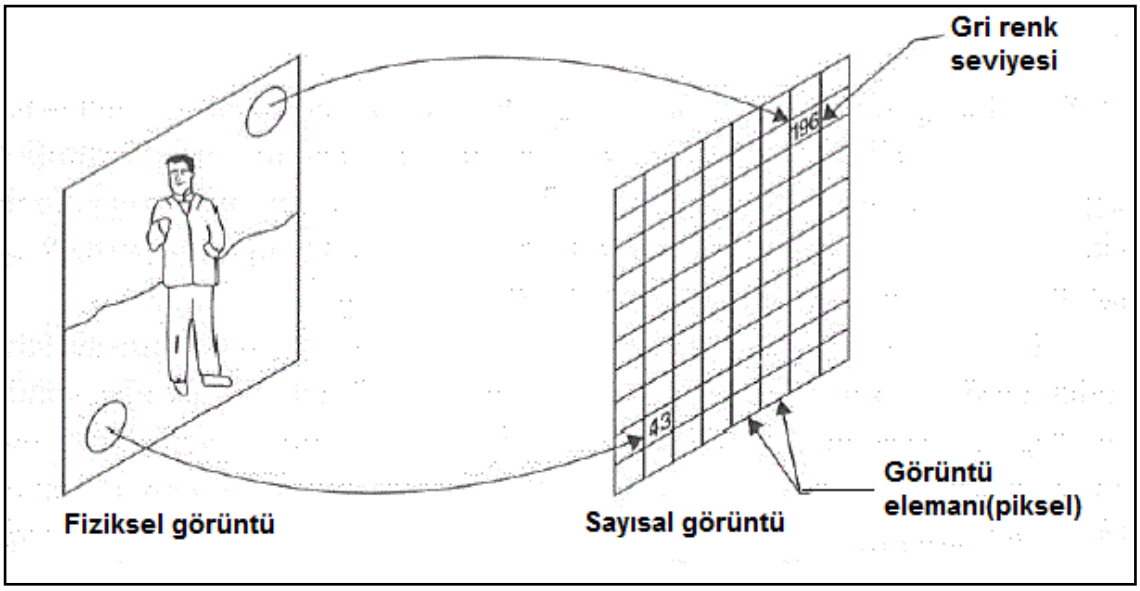
Günümüze kadar ulaşacak kalitede fotoğraf çekebilen ilk fotoğraf makinesi Joseph Nicéphore Niépce tarafından 1825 yılında yapılmıştır. İlk renkli fotoğraf ise James Clerk Maxwell tarafından 1861 yılında çekilmiştir. Dijital olarak ışık algılama fikri 1961 yılında bir uzay araştırma konferansında önerilmiş, önerilen mantıktaki bir ışık algılama paneli 1968'de üretilmiştir. İlk dijital fotoğraf makinesi ise 1975 yılında Steven Sasson adındaki bir mühendis tarafından Kodak bünyesinde tasarlanmıştır. Ağırlığı 3.6 kg olan, 23 saniyede 0.01 megapiksel çözünürlüğünde renksiz fotoğraf çekebilen bu kamera

uzay araştırmaları için 1973 yılında üretilmiş ve Charge Coupled Device (CCD) algılayıcı kullanılmıştır [13].

Hareketli görüntü veya diğer adıyla video, temel olarak hızlı bir şekilde çekilen ve çerçeve (frame) adı verilen fotoğrafların ardı ardına dizilmesi ile elde edilir. İlk hareketli görüntü kaydı 1880'lerin sonunda yapılmıştır. Hareketli bir görüntünün insanlar tarafından kesintisizmiş gibi algılanabilmesi için saniyede 20 kareden fazla çerçeve gerekse de pratik olarak daha az sayıda çerçeve içeren video sistemleri de mevcuttur [13].

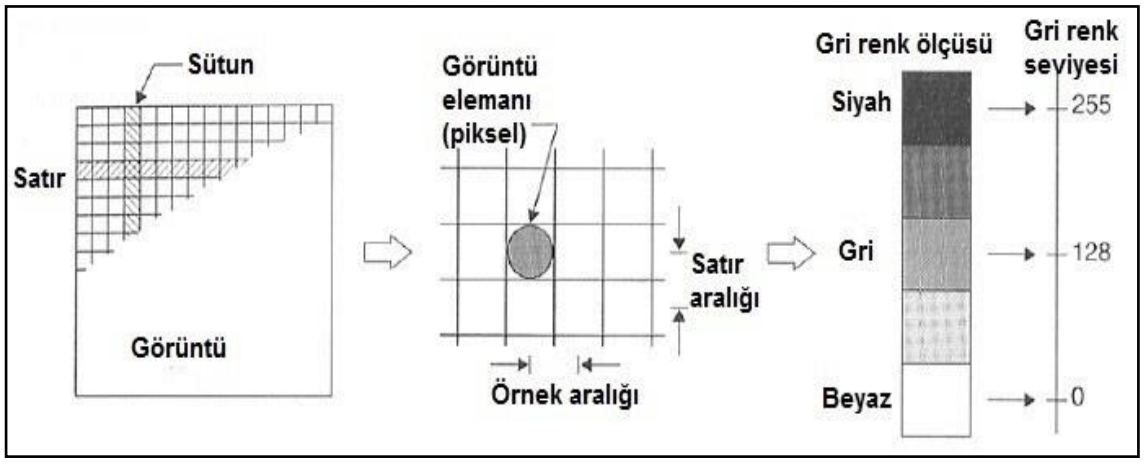
## 2.2 Dijital Görüntü İşleme Nedir?

Görüntü işleme, girişin bir görüntü olduğu sinyal işleme formu olarak tanımlanabilir. Bir görüntü, x ve y düzlem koordinatlarda iki boyutlu bir fonksiyon olan f (x, y) olarak tanımlanabilir ve herhangi bir koordinat çiftindeki f genliği, o noktadaki görüntünün yoğunluğu olarak adlandırılır. Gri renk seviyesi, tek renkli görüntülerin yoğunluğunu belirtmek için kullanılır. Renkli görüntüler ise tek tek görüntülerin birleşimi ile oluşturulur. Örnek vermek gerekirse, RGB renk sisteminde renkli bir görüntü, kırmızı (R), yeşil (G) ve mavi (B) birincil görüntüler olarak adlandırılan üç renkli görüntüden oluşur. Bir görüntü, x ve y koordinatlarına ve genliklerine göre sürekli olabilir. Böyle bir görüntünün dijital form haline getirilmesi için, koordinatların ve genliğin sayısallaştırılması gerekmektedir (Şekil 2.1). Koordinat değerlerinin dijital ortama alınmasına örnekleme, genlik değerlerinin sayısallaştırılmasına ise kuantizasyon adı verilir. Böylece, x, y ve f fonksiyonunun genlik değerlerinin tümü sonlu ve ayrık nicelikler olduğunda, görüntüyü dijital bir görüntü olarak adlandırabiliriz [14].




Şekil 2.1 Analog görüntü ve sayısal karşılığı [15]

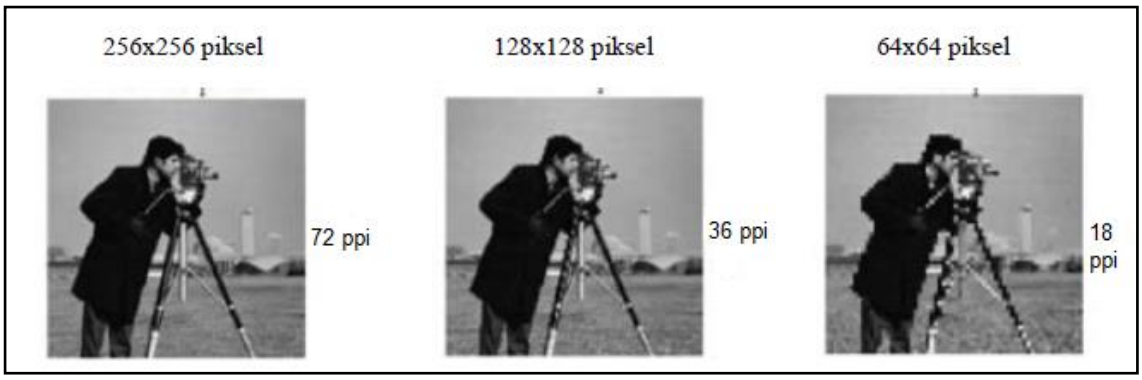
1 ve 0'lardan oluşan sayısal görüntü yapısı a[m,n], 2 boyutlu dünyadan elde edilen f(x,y) fonksiyonundan örnekleme yöntemi kullanılarak oluşturulur. Sayısal görüntü M ve N sayılarında satır ve sütunlardan oluşur, satır ve sütunların kesiştiği her bölgeye piksel denir. O pikseldeki değer derinlik (z), renk(λ) ve zamanın(t) bir fonksiyonudur [8]. Her bir piksele yerleştirilen sayı, o noktanın parlaklık değerine karşılık gelir (Şekil 2.2).




Şekil 2.2 Görüntünün sayısallaştırılması [15]

### 2.2.1 Sayısal İmgede Örnekleme (Uzamsal Çözünürlük)

Çözünürlük imgenin piksel sayısının birim fiziksel boyutuna oranı ile bulunur. Birimi ppi (pixels per inch) ya da dpi (dot per inch) ile ifade edilir. Farklı piksel ve bit değerlerine ait görüntüler Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te verilmektedir.

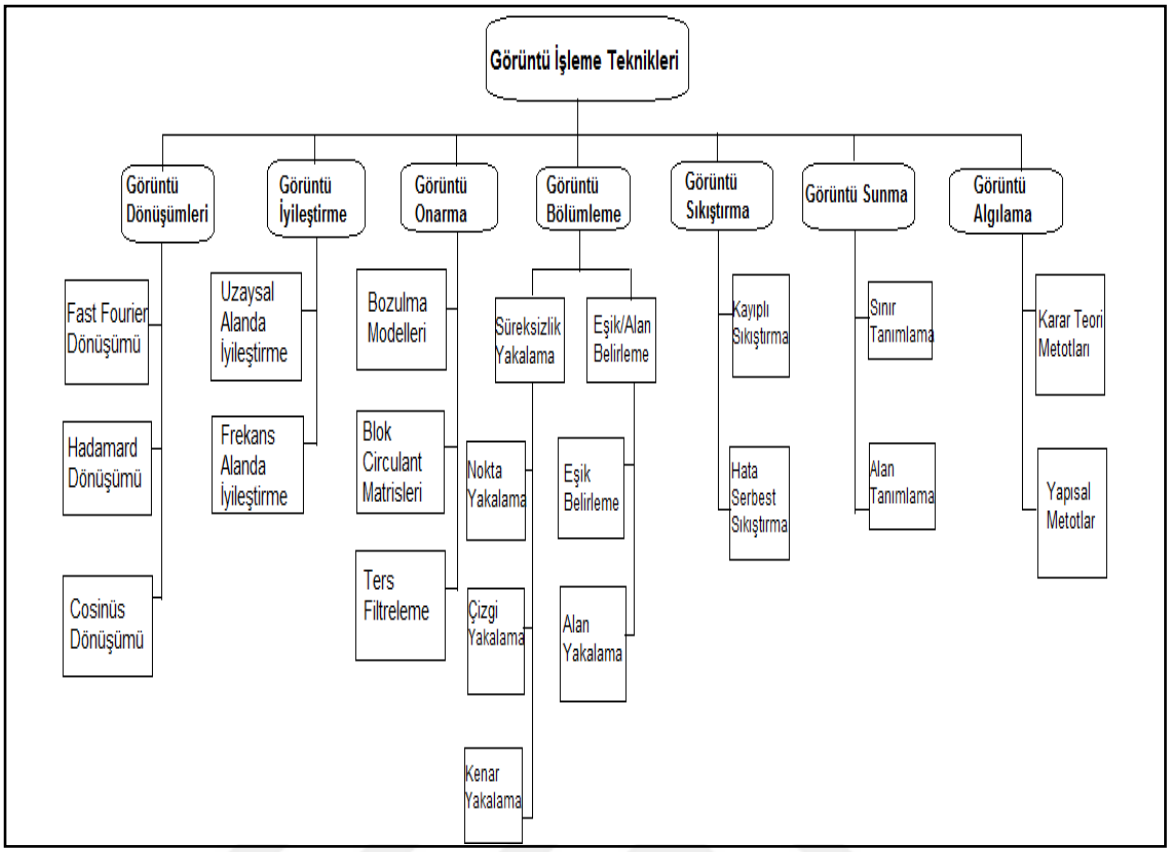



Şekil 2.3 Uzamsal çözünürlük [1]

Şekil 2.4 Sayısal imgede örnekleme [1]

## 2.3 Dijital Görüntü İşleme Teknikleri ve Adımları

Görüntü işleme teknikleri, görüntünün insan veya bilgisayar tarafından daha iyi yorumlanması, kullanılması, depolanması ve transfer edilmesini sağlamak için, uzaysal alandaki bir görüntünün parlaklık, çözünürlük, zıtlık gibi nicel değerleri değiştirilmesini veya frekans alanındaki bir görüntünün filtrelenmesi, genlik veya faz değerlerinin değiştirilmesini sağlayarak yeni bir görüntünün oluşmasını sağlayan tekniklerin genel adıdır. Görüntü bilgisi, görüntü işleme teknikleri ile istenilen forma dönüştürülebilir. Şekil 2.5'te görüldüğü gibi bu tekniklere örnek olarak görüntü dönüştürme, iyileştirme, onarma, bölümleme, sıkıştırma, sunma ve algılama sayılabilir [6].




Şekil 2.5 Görüntü işleme teknikleri [6]

Görüntü işleme teknikleri uzaysal ve frekans alanı olmak üzere iki farklı uzayda çalışır. Görüntü dönüştürme tekniği kullanılarak uzaysal alanda bulunan bir görüntü frekans alanına aktarılabilir ya da tam tersi işlem yapılabilir. Görüntü iyileştirme tekniği kullanılarak kaynak görüntü daha anlaşılır ve yorumlanabilir biçime dönüştürülebilir. Kaynak görüntü uzaysal alanda ise histogram eşitleme, görüntü çıkarma gibi operasyonlar kullanılabilir. Kaynak görüntü frekans alanında ise düşük frekans geçiren, yüksek frekans geçiren veya benzer yapılı filtreleme gibi operasyonlar kullanılır. Görüntü onarma teknikleri kullanılarak bozulmuş görüntüleri düzeltme işleme yapılabilir. Görüntü sıkıştırma tekniği sayesinde yüksek hacimli bir görüntü daha düşük bir hacme indirgenerek, görüntünün depolanma işleminde hafızanın en uygun şekilde kullanılması, görüntünün transfer edilmesi işleminde ise aktarım için harcanan sürenin daha az olmasını sağlanır. Görüntü bölümleme tekniği ile kaynak görüntü içerisindeki süreksizlik (nokta, çizgi ve kenar) ve benzerlik (alan) özellikleri tespit edilir. Görüntü bölümleme tekniği ile parçalara ayrılmış bir görüntünün sayısal ortamda tekrar kullanılması için uygun bir biçimde birleştirilmesi gerekir. Bu işlem için uygun bir

görüntü sunma tekniği kullanılabilir. Görüntü algılama ve yorumlama tekniği ile görüntü içerisinde bölümlenmiş her bir nesnenin önceden veri tabanına kaydedilmiş nesne boyutlarına karşılık gelip gelmediği kontrol edilebilir. Böylece aranan nesnenin görüntü içerisinde olup olmadığına karar verilebilir [6].

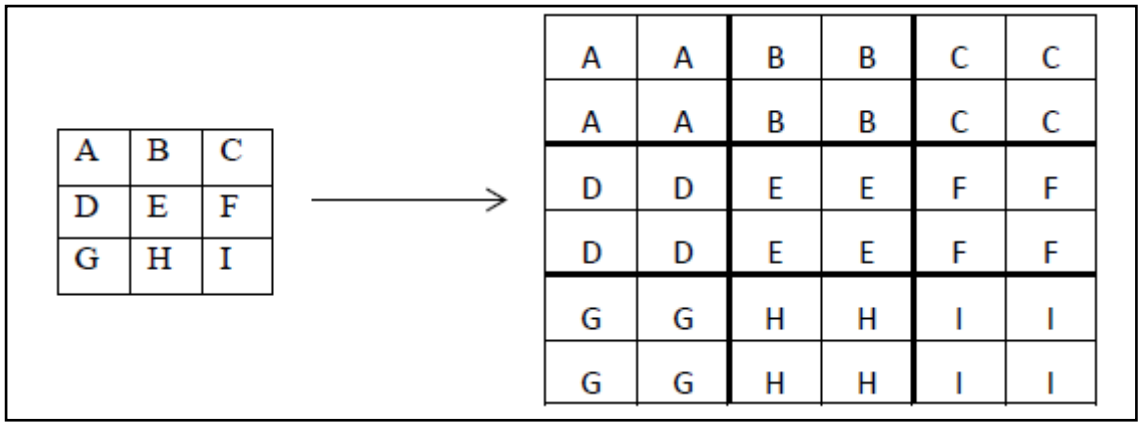
### 2.3.1 Görüntü Ters Çevirme (İmge Aynalama)

İmge ters çevirme işleminde, en üstteki satır en alta, en alttaki satır ise en üste gelecek şekilde imge matrisinin bütün elemanları yer değiştirmektedir. Görüntüde ters çevirme işlemine ait örnek Şekil 2.6'da verilmiştir.

Şekil 2.6 Orijinal resim ve ters çevrilmiş resim [1]

### 2.3.2 Görüntü Boyutlandırma

Görüntü boyutlandırma işlemi resmi eksenler boyunca küçültmek veya genişletmektir [1]. Görüntü boyutları arttırılıyorsa görüntüde bozulmalar gözlenir. Bunun nedeni büyütme işleminde piksellerin kendi boyutları verilen yatay ve dikey eksenlerde büyütüleceğinden pikseller tek tek seçilebilecek hale gelecektir. Bu işlemin tersi yani küçültme işleminde piksellerin birim boyutları verilen boyutlar dahilinde küçültülürler. Şekil 2.7'de buna örnek bir matris verilmiştir.



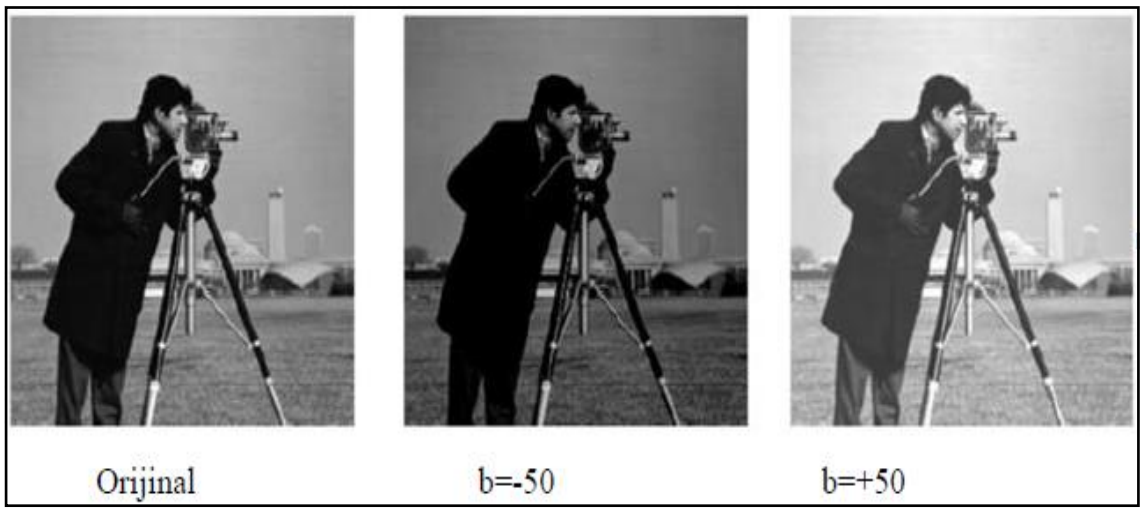

Şekil 2.7 Boyut değişikiği [1]

### 2.3.3 Görüntü İyileştirme

İyileştirmeler, görüntünün görsel yorumlanmasını ve anlaşılmasını arttırmak için yapılır. Hedeflerin farklı durumlarından dolayı her uygulama ve her görüntü için, mutlaka alanın tanınması ve yansıma değerlerinin dağıtımı gereklidir [1].

Görüntü iyileştirmede parlaklık ayarı, kontrast ayarı, eşikleme ve piksel tersleme gibi ayarlar yapılabilir [1].

Parlaklık ayarı; parlaklık değişimi imgenin ışıklık değerlerinin belirli bir sayıyla toplanması veya çıkarılması ile gerçekleştirilir [1]. Işık değerleri farklı görüntüler Şekil 2.8'de verilmiştir.




Şekil 2.8 Görüntü iyileştirme-parlaklık ayarı [1]

Kontrast ayarı; parlaklık değişimi imgenin ışıklık değerlerinin belirli bir sayıyla çarpılması ile gerçekleştirilir. Kontrast ayarları ile ilgili görüntüler Şekil 2.9'da verilmiştir.

Şekil 2.9 Görüntü iyileştirme-kontrast ayarı [1]

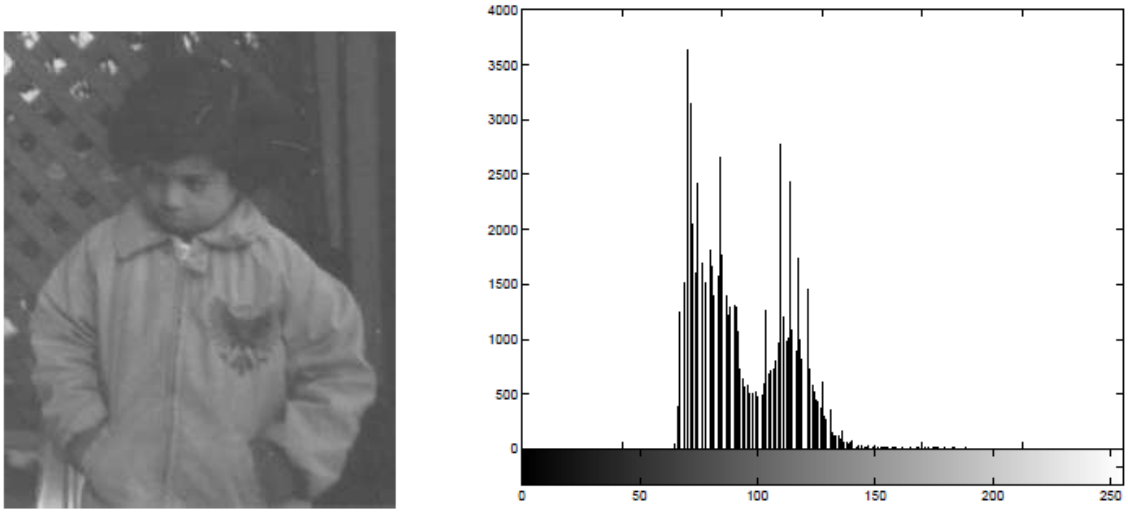
Eşikleme; imge ışıklılık değerlerinin belirli bir değerden büyük veya küçük olmasına göre ikili (binary) bir imge oluşturulur [1]. Bu ikili imge siyah ve beyaz renktedirler. Görüntü eşikleme örneği Şekil 2.10'da verilmiştir.

Şekil 2.10 Görüntü iyileştirme-eşikleme [1]

### 2.3.4 Histogram

Histogram, her piksel seviyesinin 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 ifade etmektedir [1]. Böylelikle görüntünün kontrastına ilişkin bilgi elde etmek mümkün olmaktadır. Şekil 2.11'de verilen örnek resme ait histogram değeri verilmektedir.




Şekil 2.11 Örnek resme ait histogram dağılımı [15]

### 2.3.5 Piksel Komşulukları

İmge üzerinde yapılacak uzamsal işlemlerde komşuluk ilişkileri de dikkate alınır. Bunun nedeni; 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 [1].

### 2.3.6 Gürültü ve Gürültü Giderme

Gürültü, görüntü üzerindeki kirliliktir. Görüntüde olmaması gereken bu piksel noktaları değeri/değerleri görüntü işlemeyi zorlaştırır. Bu sebeple görüntü üzerinden bu gürültülerin ayıklanması gerekmektedir. Gürültüyü tanımak ve gürültüyü ayrıştırmak için her piksel ve komşulukları analiz edilebilir [1]. Gürültü temizlemek için çeşitli filtreler kullanılır.

#### 2.3.6.1 Filtreler

Filtreleme resmin üzerinde bir filtre varmış gibi düşünüp her piksel değerinin yeniden hesaplanma işlemidir. Filtreler görüntüde belirli ayrıntıların ayıklanması ya da daha belirgin hale getirilmesi gibi operasyonları gerçekleştirir. Filtreler sayesinde resmin

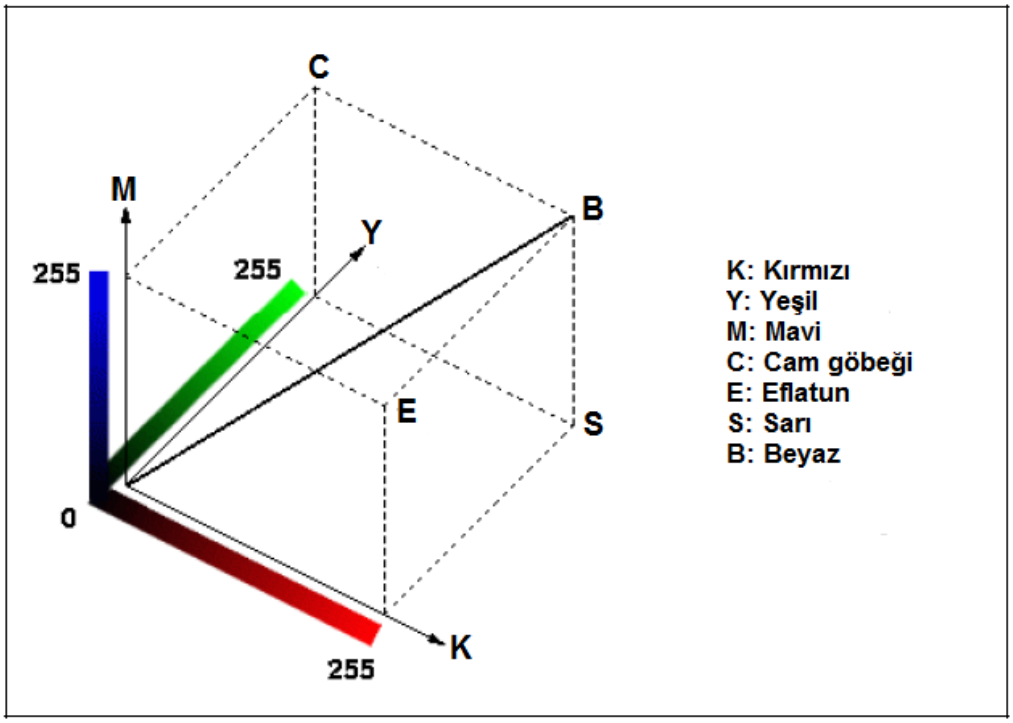
içerisindeki bazı ayrıntıları ortaya çıkartmak veya resim içerisindeki istenmeyen gürültülerin yok edilmesi sağlanır. Farklı amaçlar için farklı filtreleme operatörleri vardır. Bunlar, kenar keskinleştirme, kenar yakalama ve görüntü yumuşatma olarak sayılabilir [1].

Keskinleştirme filtreleri görüntüdeki detayların belirgin hale getirilmesi ve nesnelerin sınırlarının belirginleştirilmesi amacıyla kullanılır. Özellikle medikal görüntülemede sık kullanılmaktadır. Kenar belirleme yöntemi olarak da bilinir [1].

## 2.4 Dijital Görüntülerde Kullanılan Renk Modelleri

### 2.4.1 Kırmızı-Yeşil-Mavi (RGB) Renk Modeli

Gerçek renk görüntülerde her bir piksel içerisindeki kırmızı, yeşil ve mavi düzeyi ile tanımlanır [16]. Şekil 2.12'de gerçek renk küpü görülmektedir. Her eksen 0 ile 255 arasındaki kırmızı, yeşil ve mavi değerleri temsil eder. Küpün başlangıç noktası (0,0,0) siyah rengi ve başlangıç noktasından en uzak köşe (255,255,255) ise beyaz rengi göstermektedir.



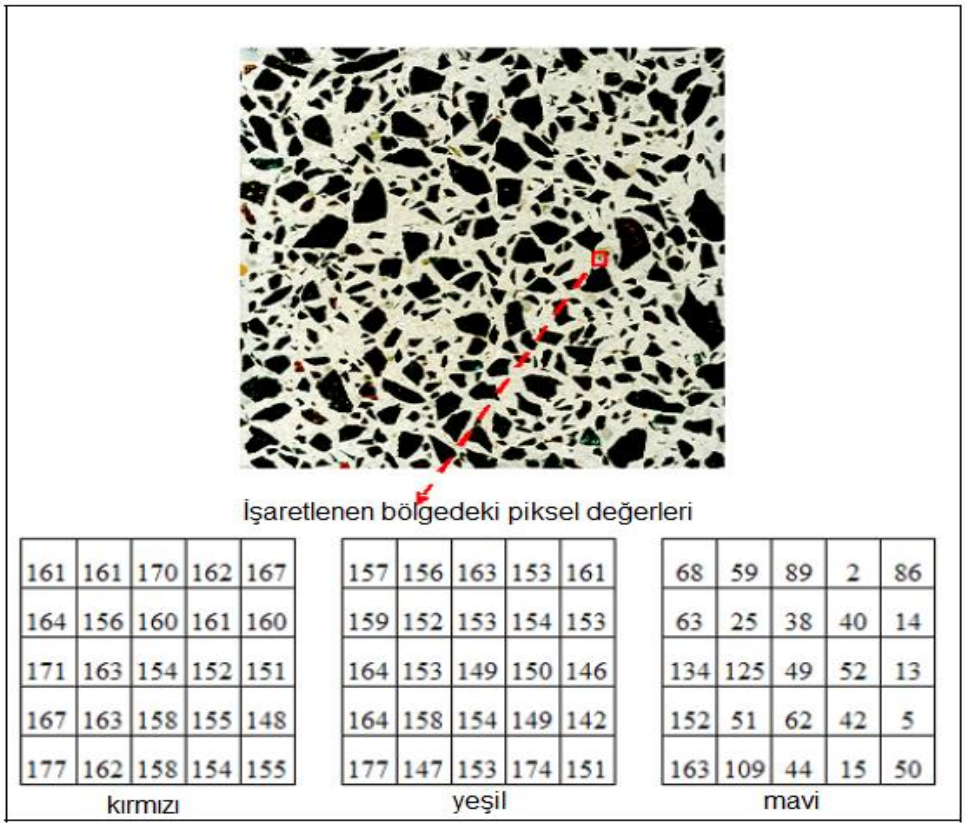

Şekil 2.12 Gerçek renk küpü [16]

Gerçek renk küpünün köşeleri mavi, yeşil, kırmızı ve bunların bileşiminden oluşan cam göbeği, eflatun, sarı ve beyaza karşılık gelmektedir. Renkler vektörler gibi birbirleriyle

toplanarak ya da birbirlerinden çıkarılarak diğer renkler oluşmaktadır [16]. Şekil 2.12 ‘de görüldüğü gibi 255 kırmızıya 255 yeşil eklenmesi sarıyı ve 255 yeşile 255 mavi eklenmesi cam göbeğini oluşturmaktadır.

### 2.4.2 Gri Ton Renk Modeli

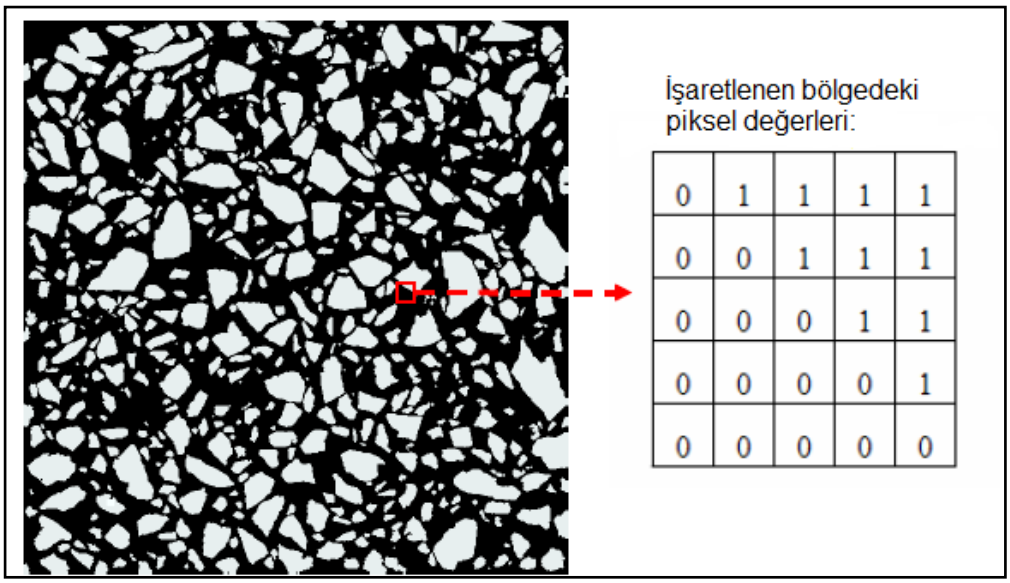
Gri ton renk modeli Şekil 2.12’ de gösterilen gerçek renk küpünün ana diyagonali ile tanımlanır ve başlangıç noktasındaki 0 değerine sahip siyah renk ile 255 değerine sahip beyaz renk arasındadır. Gri ton görüntülerde her pikselin kırmızı, yeşil ve mavi değerleri birbirine eşittir (Şekil 2.13).




Şekil 2.13 Gri ton görüntü [16]

### 2.4.3 İkili (Binary) Renk Modeli

İkili renk modelinde görüntülerin her bir pikseli 0 yada 1 değerine sahip olur. 0 siyahı, 255 ise beyazı temsil eder (Şekil 2.14). Bu tür görüntülerde her bir piksel 1 bitlik yer kaplar. İkili görüntüler genellikle parmak izlerinin gösteriminde, mimari planlarda ve yazılı metinlerde kullanılır[16].



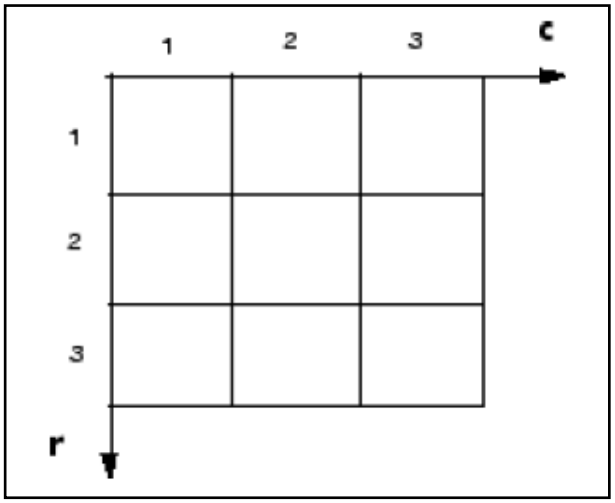

Şekil 2.14 İkili (binary) görüntü [16]

## 2.5 Dijital Görüntülerde Kullanılan Koordinat Sistemleri

Görüntü işleme yönteminde temel iki koordinat sistemi bulunmaktadır: Piksel koordinatları ve uzamsal (spatial) koordinatları [7].

### 2.5.1 Piksel Koordinat Sistemi

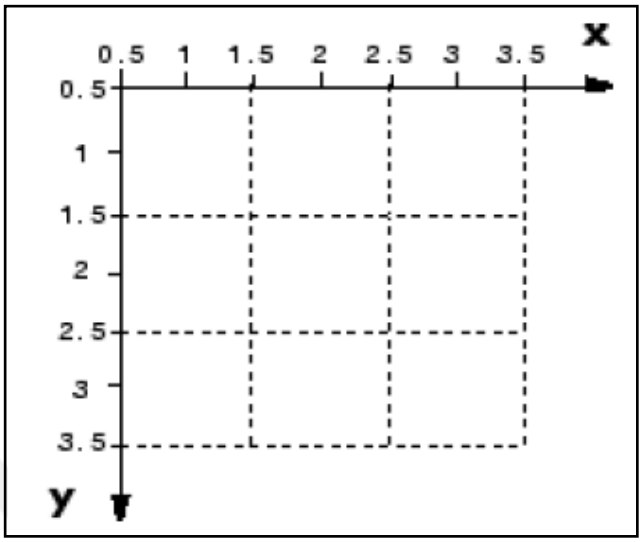
Bir pikselin konumunu belirtmek için çoğu zaman piksel koordinat sistemi kullanılır. Bu koordinat sisteminde, pikseller Şekil 2.15 ’de gösterildiği gibi soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru düzenlenmiş şekilde temsil edilir. Piksel koordinat sisteminde, satır veya sütunları değerleri tam sayılarla belirtilir.




Şekil 2.15 Piksel koordinat sistemi [7]

### 2.5.2 Uzamsal Koordinat Sistemi

Uzamsal koordinat sisteminde, bir görüntüdeki konum bir yüzey üzerinde koordinat değerine sahiptir ve kesirli sayılarla temsil edilir [7].




Şekil 2.16 Uzamsal koordinat sistemi [7]

## 2.6 Görüntü İşleme Tekniklerinin Kullanıldığı Alanlar

Elektronik veri işleme son yıllarda büyük bir hızla gelişmeye devam etmektedir. Bu gelişme bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak meydana gelmektedir. Bilgisayarların boyutlarının küçülmesi, bellek kapasitelerinin ve veri işleme hızlarının artması görüntü işleme teknolojilerindeki gelişmeyi de hızlandırmıştır. İnşaat mühendisliği alanında dijital görüntü işleme yöntemleri yol üst yapısı gerilmelerinin ölçülmesinde, betonun mikro yapısının incelenmesinde, yapı elemanları ve zemin deformasyonlarının hesaplanmasında, parçacık şekil ve büyüklüklerinin incelenmesinde kullanılmaktadır [16]. Mühendislik sektörünün yanında birçok uygulamada görüntü işleme teknikleri kullanılmaktadır. Tıpta, uzay araştırmalarında, askeri alanda, savunma sanayiinde, eğitim alanında, sanatta, tarımda, endüstriyel uygulamalarda ve mühendislikte, coğrafyada, arkeolojide, fizikte, biyolojide, astronomide, belge işlemede, parmak izi tanımada, x-ray'lerin ve kan örneklerinin incelenip bilgisayar tarafından yorumlanmasında kısaca hemen hemen tüm alanlarda görüntü işleme teknikleri kullanılmaktadır [8].

# BÖLÜM 3

# ÇEŞİTLİ YAPI ELEMANLARI İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR VE SONUÇLAR

Görüntü işleme yöntemi ile karşılaştırılması yapılan ilk deney 2016 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarı'nda yüksek lisans bitirme tezi kapsamında yapılmıştır [17]. İkinci deney ise 13 Nisan 2017 tarihinde Boğaziçi Üniversitesi'nin düzenlemiş olduğu 'Uluslararası Öğrenci Çelik Köprü Yarışması' kapsamında hazırlanan çelik köprü ile yapıldı. Yapılan çalışmaların amacı deneyler sırasında kaydedilen videolardan VirtualDub-1.10.4 programıyla saniyede 1 tane olmak üzere elde edilen JPEG formatında fotoğraflar kullanılarak MATLAB programı ile yer değiştirmelerin bulunmasıdır.

Genel olarak, dijital görüntü işleme yöntemi sırasıyla üç adımdan oluşmaktadır:

1. Numune ve deney düzeneğinin hazırlanması,
2. Yükleme sırasında numune yüzeyinden video kaydı alınması,
3. Bir bilgisayar programı kullanılarak videoların görüntüye çevrilmesi ve görüntü işleme yöntemi ile yer değiştirmelerin elde edilmesi.

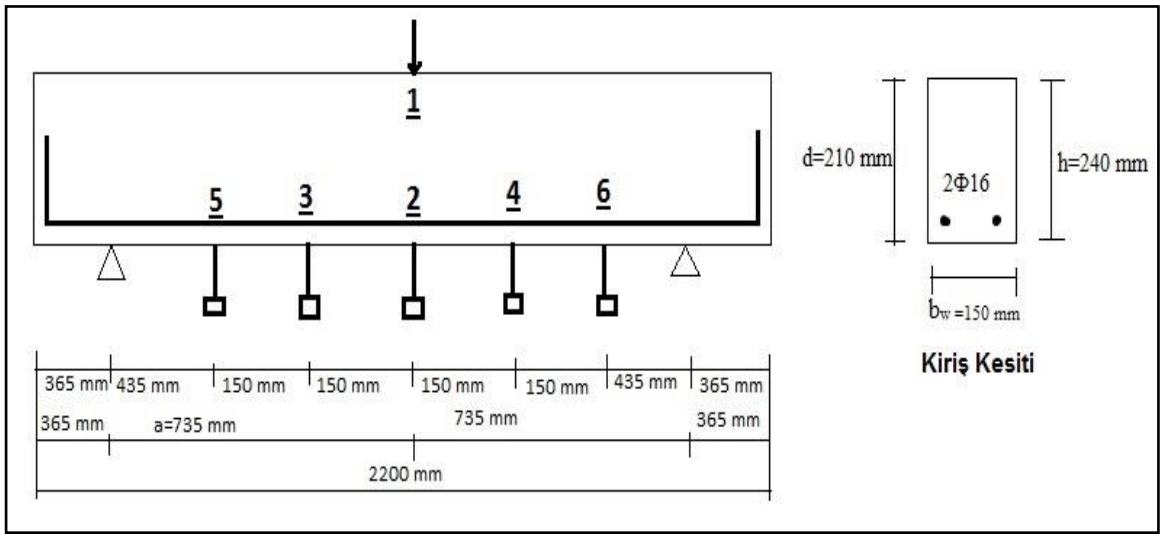
## 3.1 Kiriş Numuneleri ile Yapılan Çalışmalar ve Sonuçlar

Bu bölümde, öncelikle deneyde kullanılan kirişin özelliklerinden, hazırlanma sürecinden ve deney esnasında alınan video kaydından bahsedilecektir. Daha sonra, dijital görüntü işleme yönteminin temel prensipleri anlatılacaktır.

### 3.1.1 Kirişlerin Geometrik Özellikleri

Bu çalışmada kullanılan kiriş farklı hacimsel oranlarda hazırlanan polipropilen lif katkısı kullanılarak oluşturulmuş etriyesiz betonarme bir elemandır. Kirişlerdeki temel değişkenler; kesme açıklığının kiriş etkili yüksekliğine oranının 2.5, 3.5, 4.5 ve hacimsel polipropilen lif oranının 1.0%, 2.0% ve 3.0% olmasıdır. Etriyesiz betonarme kirişlerin yer değiştirme değerleri açıklık ortasına tekil yük uygulanarak ölçülmüştür. Kirişlerin enkesit genişliği ($b_w$) 150 mm ve yüksekliği (h) 240 mm alınmıştır. Deneyi yapılan kirişlerin; çekme donatısı 2Φ16 seçilmiştir [17,18].

Dijital Görüntü İşleme yöntemi ile karşılaştırılacak olan kirişin kesiti, sınır şartları, yükleme durumu ile yer değiştirme ölçerlerin kirişler üzerinde yerleşimi Şekil 3.1'de verilmiştir. Yük hücresi üzerindeki düşey yer değiştirmelerin PDT (potentiometric displacement transducer) yardımıyla ölçüldüğü nokta "1", açıklık ortasında kiriş yer değiştirmelerinin ölçüldüğü nokta "2" ile tanımlanmıştır. B35 serisindeki kirişlerde; "3" ve "4" noktaları kiriş açıklık ortasından sağ ve sol tarafından 15 cm, "5" ve "6" noktaları kiriş açıklık ortasından sağ ve sol tarafından 30 cm olarak alınıp belirlenen yerlere yer değiştirme ölçerler yerleştirilmiştir.

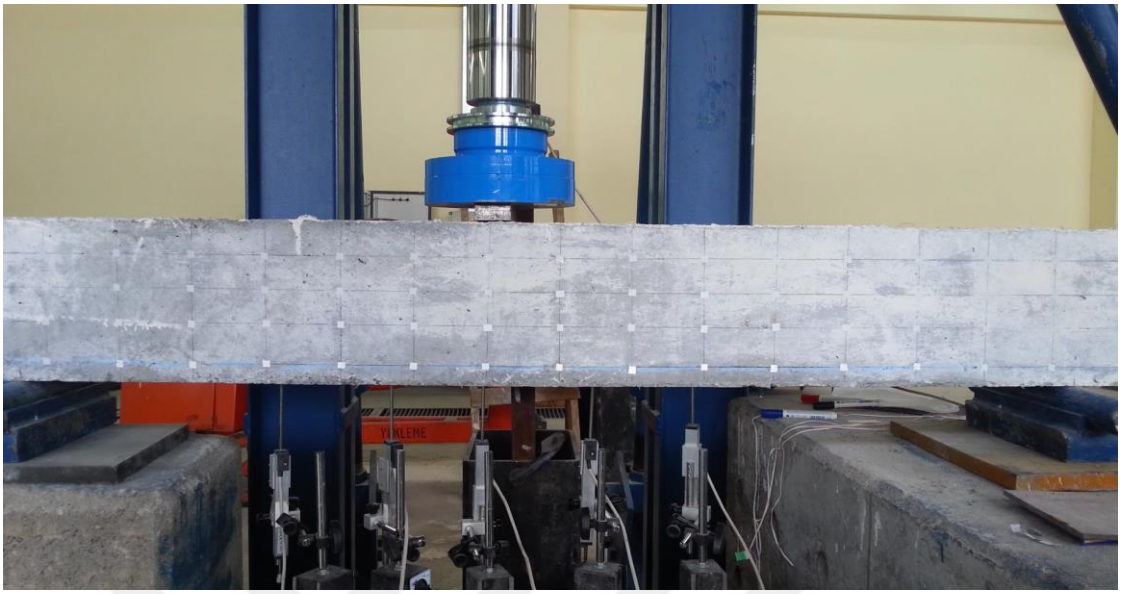



Şekil 3.1 Kiriş kesiti, donatı yerleşimi ve yer değiştirme ölçerlerin konumları

### 3.1.2 Kirişlerin Yüzeyinin Hazırlanması

Deney öncesi kiriş yüzeyi Şekil 3.2'de görüldüğü gibi 5x15 lik karelajlara bölünüp kesişim noktalarına da beyaz renkli parlak kağıtlar yapıştırılmıştır. Karelajların amacı

kirişin düşey yönde milimetrik aralıklarda yapabileceği hareketlerinin tespit edilebilmesini kolaylaştırmaktır.



Şekil 3.2 B35 kirişinin karelajlara ayrılmış ön yüzeyi

### 3.1.3 Üç Eksenli Eğilme Deneyinin Yapılması

Deneysel çalışmada kirişler biri sabit diğeri hareketli olan iki mesnet üzerine koyularak açıklık ortasında etki eden tekil yük etkisinde yer değiştirme kontrollü olarak test edilmiştir. Yükleme hızı 30 µm/s'dir. Bütün kirişlerin mesnet koşulları, açıklığı, yükleme hızı aynıdır. Hacimsel polipropilen lif oranı ve a/d oranına göre kirişlerin yaptığı deformasyon değerleri temel alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır [17]. Bu tez kapsamında B35 kirişlerinin deney sonuçları dikkate alınmıştır. Deney yapılırken video çekimi yapılmış olup kamera 1920x1080 çözünürlüğe ve 29 kare/saniye resim karesi hıza sahiptir.

### 3.1.4 Fotoğraflar Kullanılarak MATLAB'da Görüntü İşleme Adımları

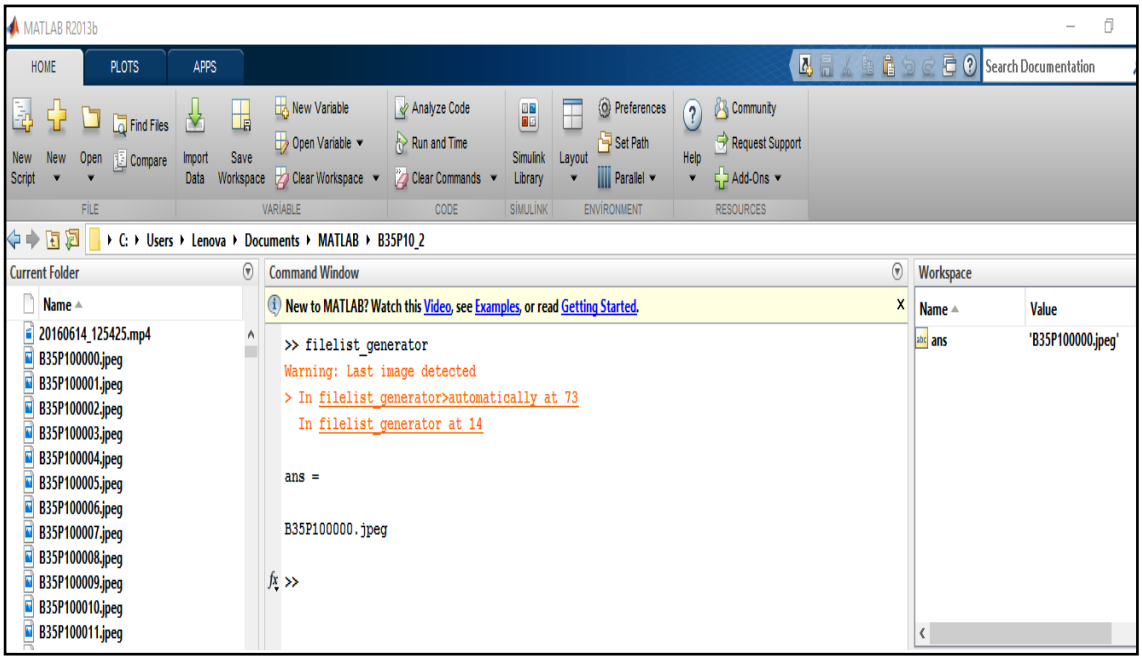
Görüntülerin işlenip sayısal hale getirilmesi için MATLAB programı kullanılmıştır. MATLAB dosyası ile birlikte çalışan Digital İmage Correlation (DIC) programı ile görüntü işleme fonksiyonları görüntü dosyalarının her birini sıralı bir şekilde matris olarak uygulama ortamına alır. Bu matris [mxn] boyutlu piksellerden oluşan bir matristir.

Deneydeki kiriş 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 kabul edilirse, numune üzerindeki görüntünün açık renkte olan piksel değerleri nümerik olarak 255 sayısına daha yakın, koyu renkli olan alanlarda nümerik olarak 0 sayısına daha yakındır [1].

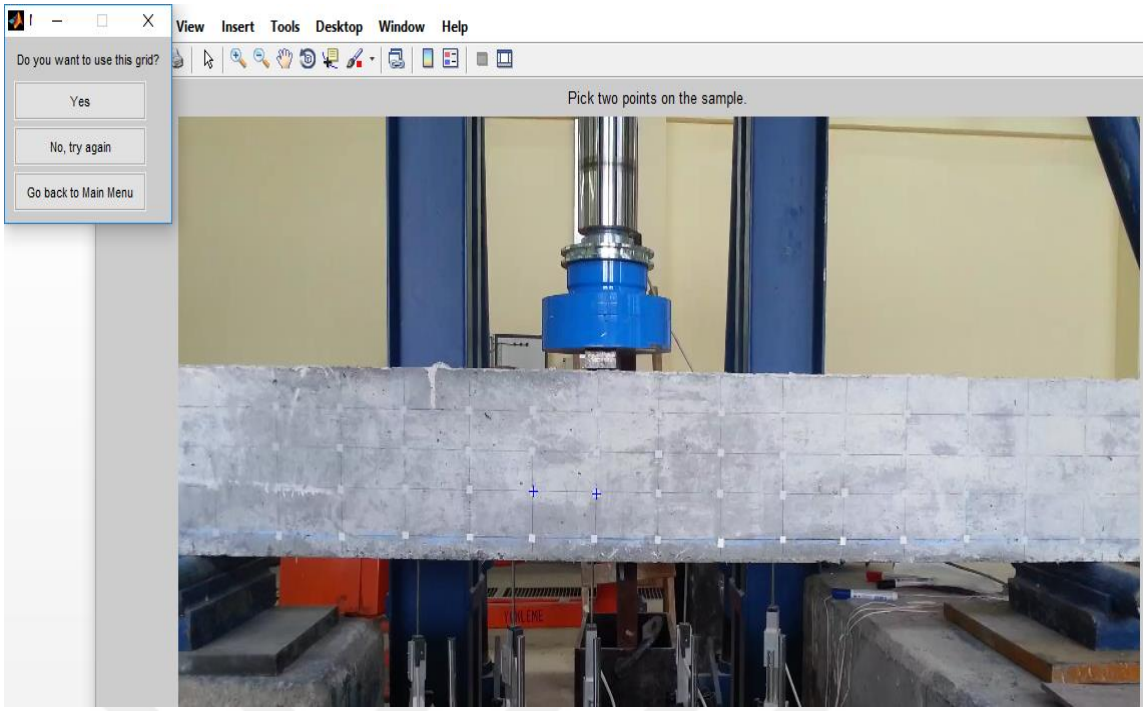
Görüntülerin işlenmesi için MATLAB programında sıralı olarak aşağıda anlatılan kodlara bağlı olarak işlemler uygulanır [19]:

1. filelist_generator: Bu kod yazılarak fotoğrafların sıralı şekilde işleneceği liste oluşturulur (Şekil 3.3). İlk resim seçilerek ikinci adıma geçilir.



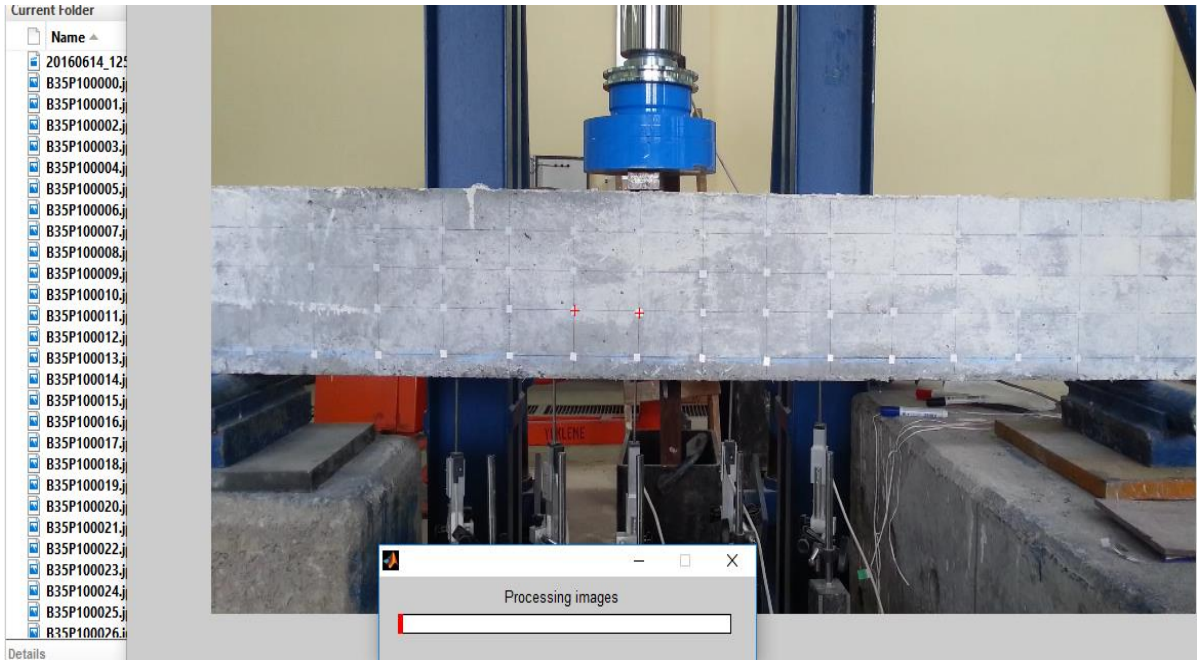

Şekil 3.3 Görüntü işleme yönteminde ilk fotoğrafın seçilmesi

2. grid_generator: Bu kod yazılarak işlenecek olan ilk fotoğraf seçilip hangi noktalarında yer değiştirmelerin okunacağı işaretlenir (Şekil 3.4).




Şekil 3.4 İlk fotoğrafın referans noktalarının belirlenmesi

3. automate_image: Şekil 3.5'te görüldüğü gibi ilk fotoğrafta işaretlenen noktalar sırası ile son fotoğrafa kadar işlenmesi sağlanarak piksel cinsinden düşey ve yatay yer değiştirmeler bulunur.

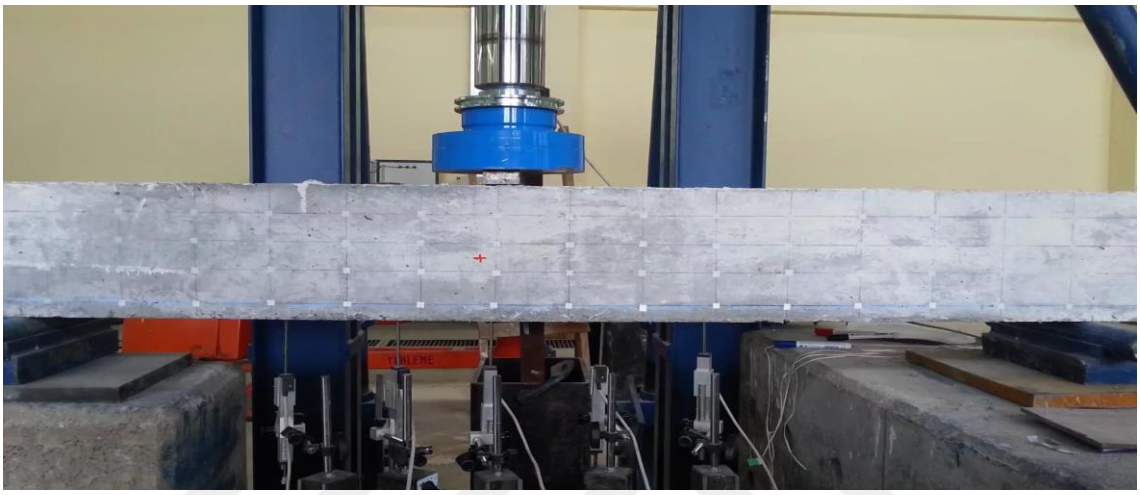



Şekil 3.5 Fotoğrafların sırası ile işlenmesi

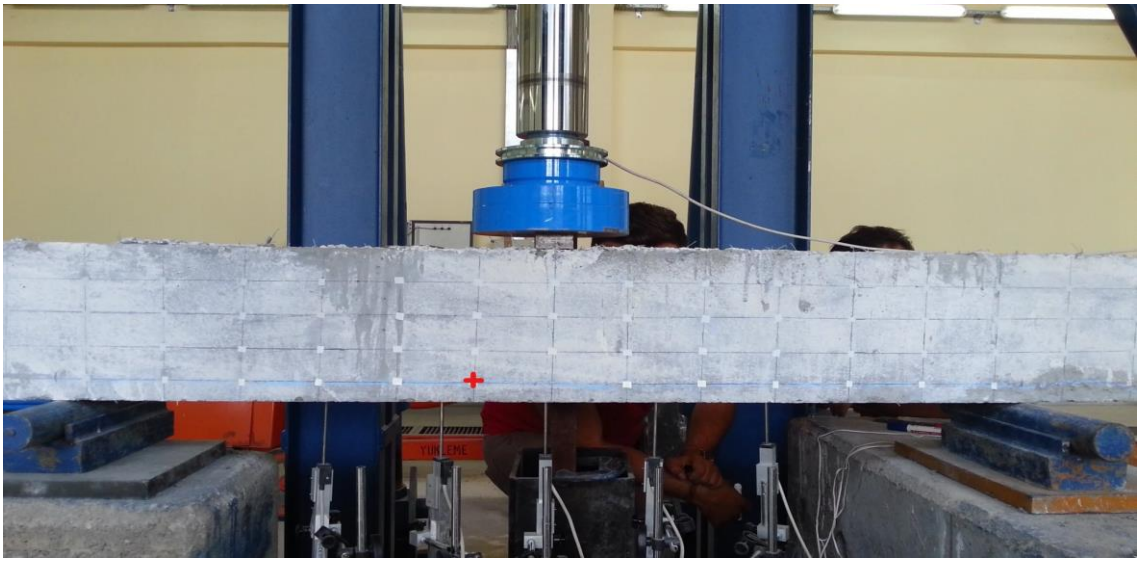
4. displacement: Bu kod ile düşey ve yatay yöndeki yer değiştirmeler piksel cinsinden ekranda görünür hale getirilir.

### 3.1.5 MATLAB Düşey Deformasyon Sonuçları

B35P10 ve B35P20 olarak isimlendirilen iki kirişin yüzeyinden MATLAB Digital Image Correlation (DIC) yöntemi ile düşey yer değiştirmelerin okunacağı referans noktalar seçilir (Şekil 3.6 ve Şekil 3.7).



Şekil 3.6 B35P10 kirişinde işaretlenen referans noktası

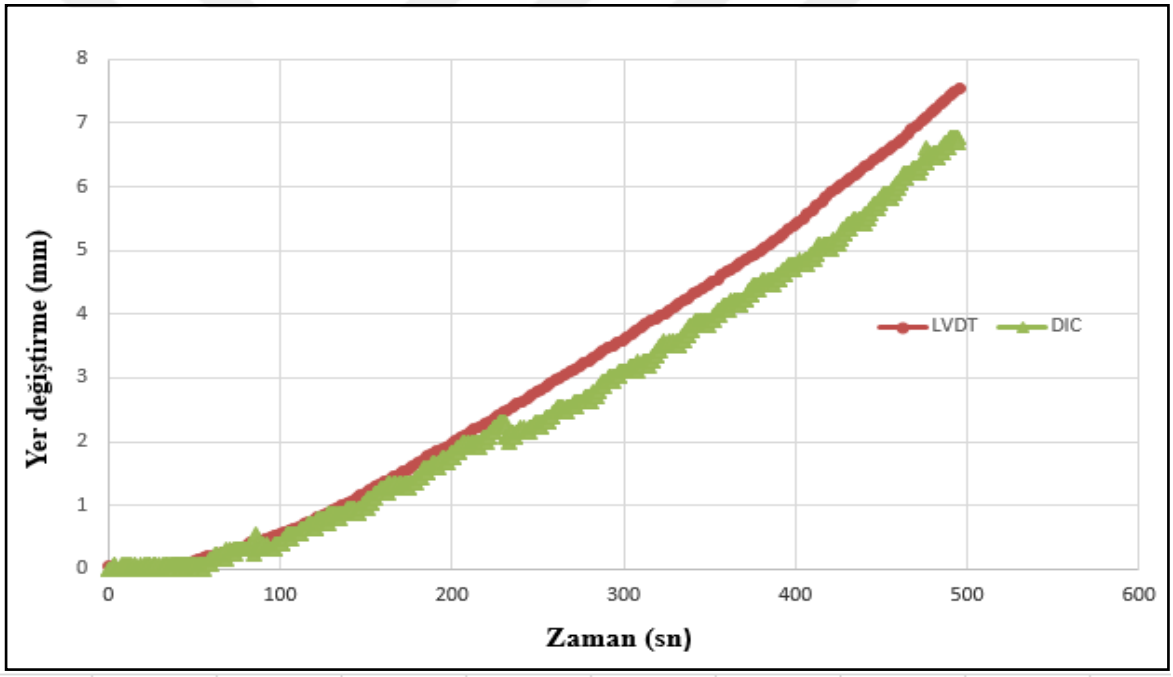


Şekil 3.7 B35P20 kirişinde işaretlenen referans noktası

Referans noktaları seçildikten sonra bir önceki başlıkta anlatılan görüntü işleme adımları uygulanır. MATLAB'da bulunan düşey yer değiştirmeler piksel cinsinden olduğu için milimetreye dönüştürmek için ara işlem yapılır. Bunun için numunede

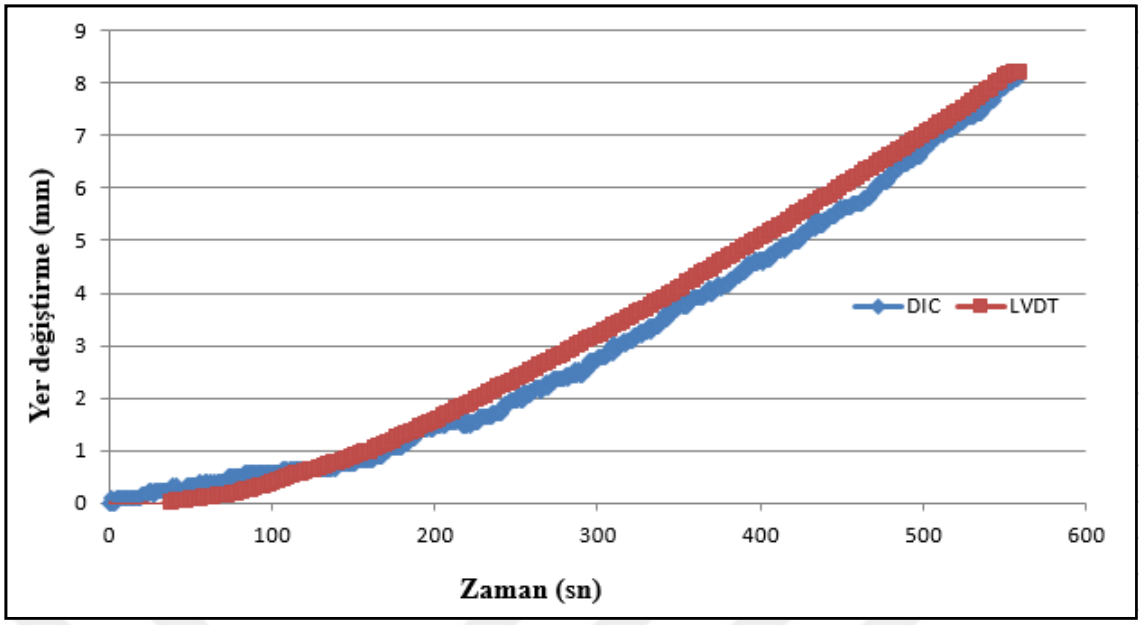
uzunluğunu bildiğimiz milimetre cinsinden olan iki nokta arasındaki mesafenin piksel cinsinden hangi değere denk geldiği tespit edilir. Piksel cinsinden alınan veriler bu değerlerin birbirine olan oranı (gerçek uzunluk/piksel değeri) ile çarpılır ve böylece veriler milimetreye çevrilmiş olur. Her bir fotoğrafın alındığı zamanın hesabı için saniye cinsinden hesaplanan toplam video süresinin toplam fotoğraf sayısına olan oranı bulunur ve sıfırdan başlanarak zaman sütunu oluşturulur. Daha sonra zamana bağlı yer değiştirme grafiği çizilir.

B35P10 kirişi için LVDT ile ölçülen yer değiştirme değeri 7.54 mm, görüntü işleme tekniği ile bulunan değer ise 6.69 mm'dir (Şekil 3.8). Sonucumuzun hata oranı: (7.54-6.69)/7.54 = 0.11'dir. Değerin yüksek olması video kaydının kalitesiz olmasından kaynaklanmaktadır.




Şekil 3.8 B35P10 kirişinin yer değiştirme grafiklerinin karşılaştırılması

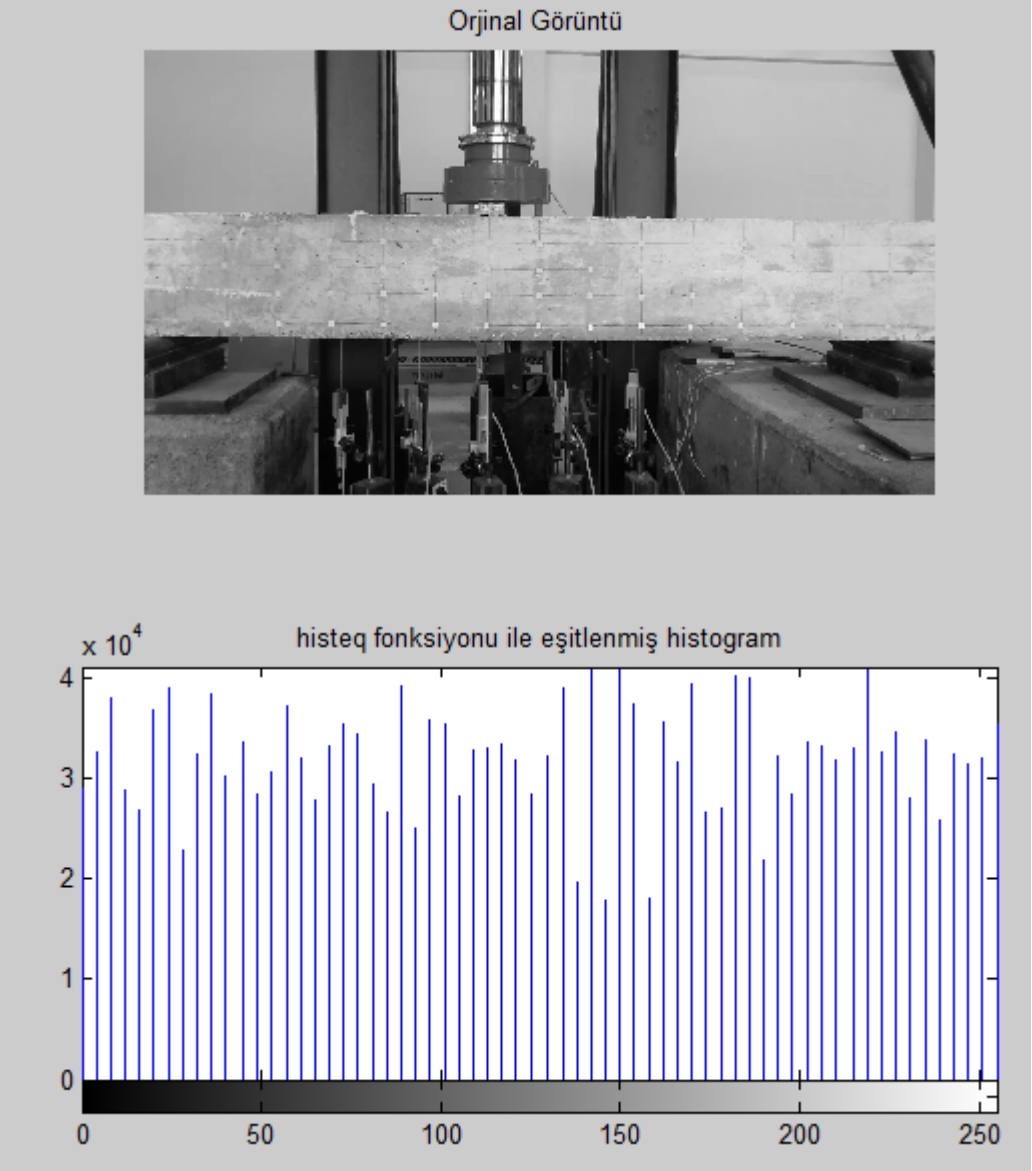
B35P20 kirişi için LVDT ile ölçülen yer değiştirme değeri 8.17 mm, görüntü işleme tekniği ile bulunan değer ise 8.16 mm'dir (Şekil 3.9). Sonucumuzun hata oranı: (8.17-8.16)/8.17 = 0.001'dir. Görüldüğü gibi renk farkı azaldıkça ve resmin kalitesi arttıkça hata oranı düşüp gerçeğe daha yakın sonuç vermektedir.



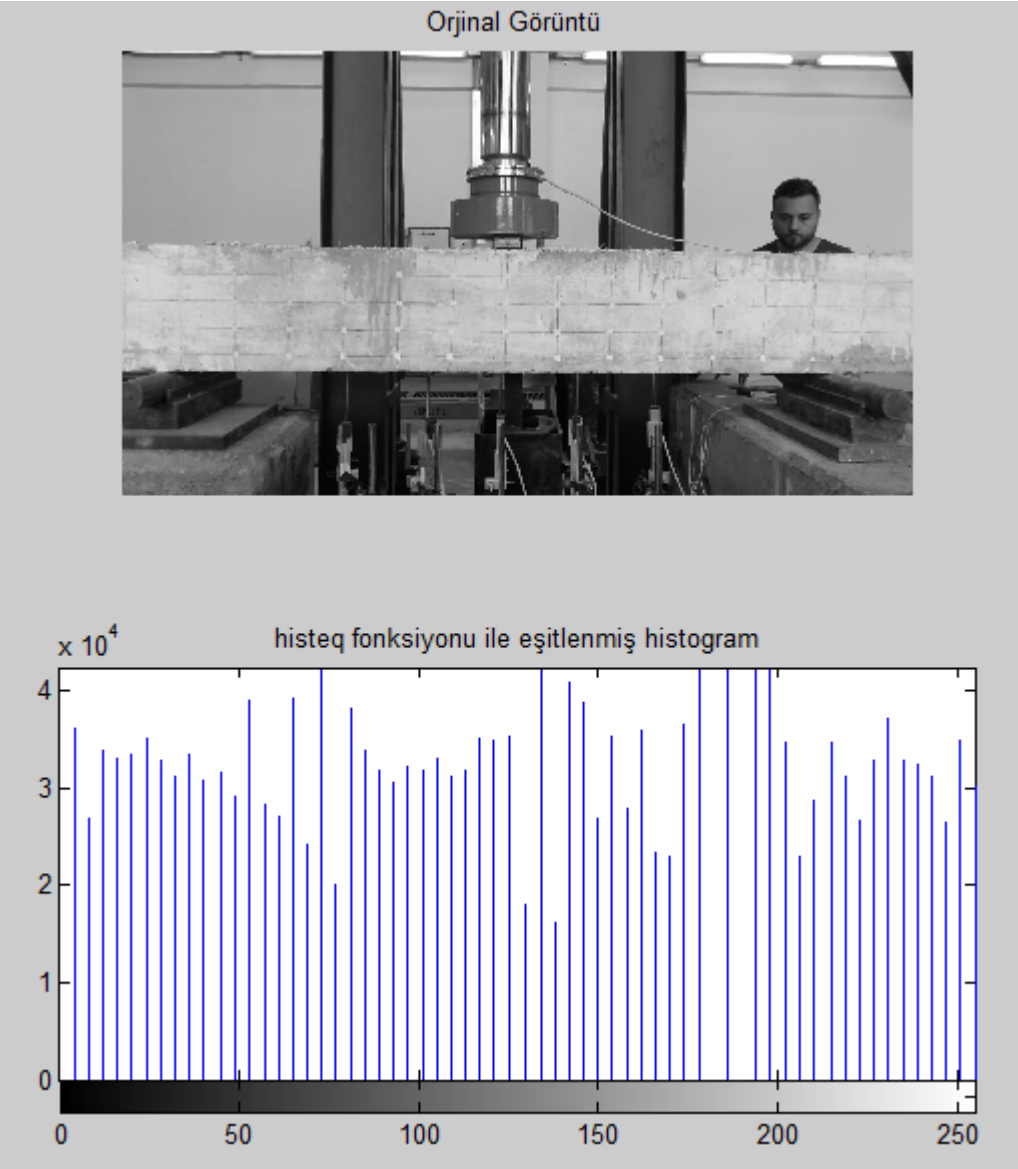

Şekil 3.9 B35P20 kirişinin yer değiştirme grafiklerinin karşılaştırılması

### 3.1.6 Kirişlerin Histogram Dağılımları

Görüntü histogramı görüntüde piksellerin gri değerlerine ilişkin bağıl sıklık ölçütünü ifade eder. Histogramda yatay eksen gri değer aralığını, düşey eksen de her bir aralıktaki piksel sayısını ifade etmektedir. B35P10 kirişinin histogram dağılımı incelendiğinde renkler arası çok belirgin fark olmadığı görülmektedir (Şekil 3.10). B35P20 kirişinin histogram dağılımında diğer kirişe göre renk seviyesi daha belirgin olup hata oranı buna bağlı olarak azalmıştır (Şekil 3.11).




Şekil 3.10 B35P10 kirişine ait histogram dağılımı




Şekil 3.11 B35P20 kirişine ait histogram dağılımı

## 3.2 Çelik Köprü ile Yapılan Çalışmalar ve Sonuçlar

Bu bölümde, öncelikle deneyde kullanılan çelik köprünün geometrik özelliklerinden ve deney esnasında alınan video kaydından bahsedilecektir. Daha sonra, dijital görüntü işleme yöntemini kullanarak bulunan yer değiştirmeler ile yer değiştirme ölçer aletinden alınan sonuçlar karşılaştırılacaktır.

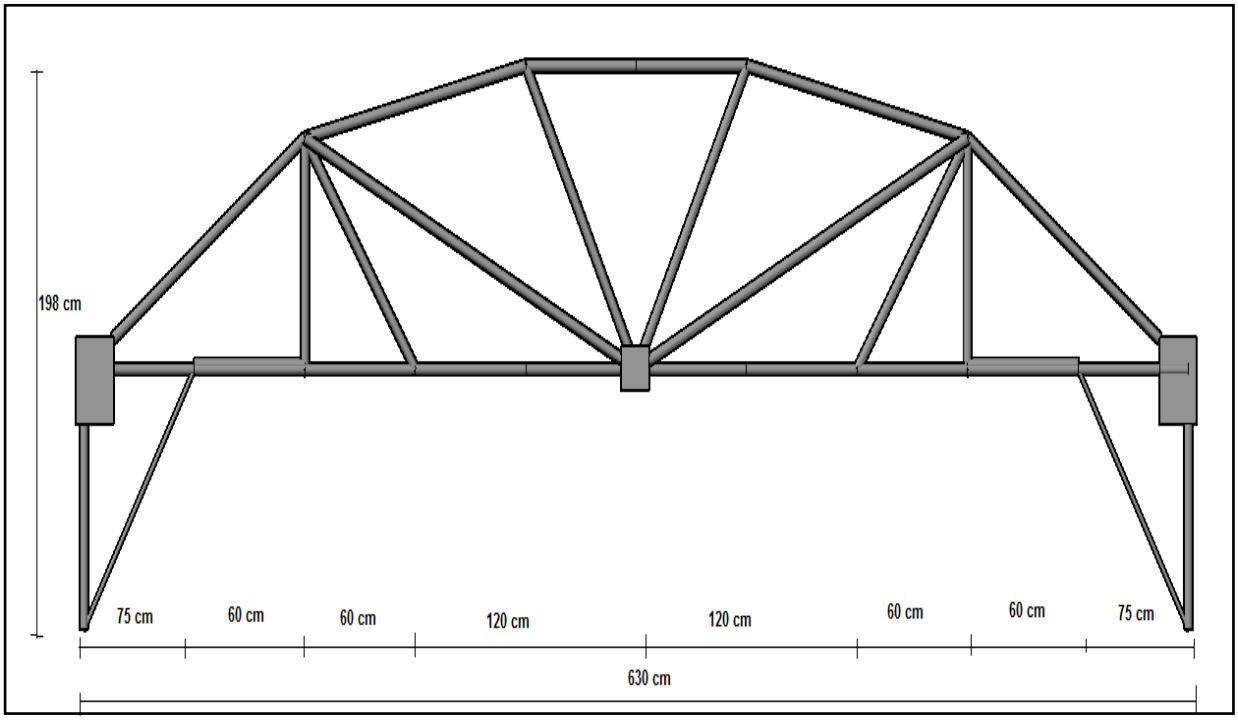
### 3.2.1 Köprünün Geometrik Özellikleri

Bu çalışmada kullanılan çelik köprünün toplam uzunluğu 6.3 m, yüksekliği 1.98 m'dir (Şekil 3.12 ). Ayrıca köprüde kullanılan çelik malzemenin sınıfı ASTM A992 olup ϕ40

mm'lik ve ϕ15 mm'lik borular kullanılmıştır. Kullanılan çeliğin özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Köprüde kullanılan çeliğin mekanik özellikleri

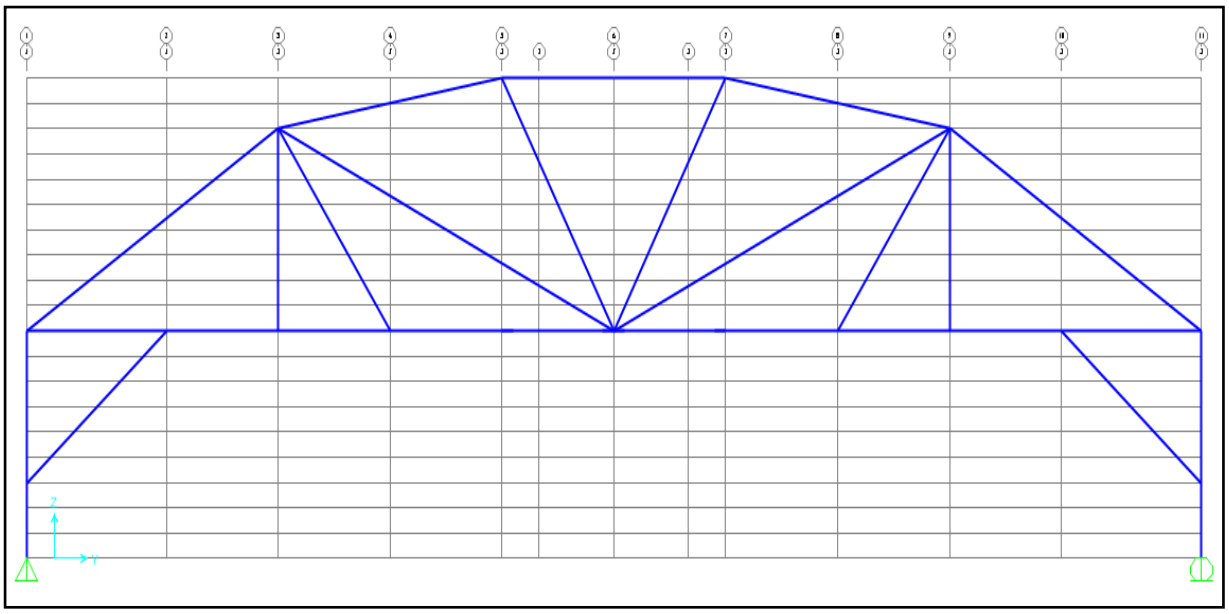
| | |
|---|---|
| Minimum çekme gerilmesi(MPa) | 450 |
| Maksimum akma gerilmesi(MPa) | 345 |
| Elastisite Modülü(MPa) | 200000 |
| Yoğunluk($kg/m^3$) | 7850 |




Şekil 3.12 AutoCAD programı ile tasarlanan çelik köprünün önden görüşü

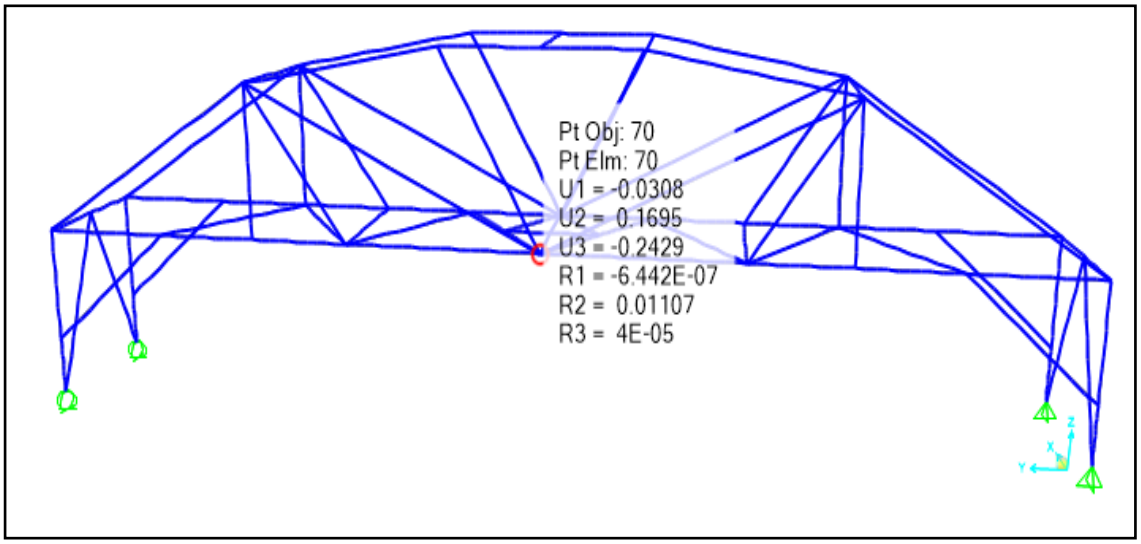
### 3.2.2 Çelik Köprünün Sonlu Elemanlar Programı ile Analizi

Çelik köprü sonlu elemanlar programı olan Sap2000 ile modellenip yükleme deneyine uygun şekilde analizi yapılmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Sonlu elemanlar programı ile modellenen çelik köprü

Analiz sonucuna göre köprünün orta noktasındaki düşey yer değiştirme değeri 2.43 mm'dir (Şekil 3.14). Yükleme deneyi ile bulunan yer değiştirme değeri ise 3.47 mm'dir. Sonucumuzun hata oranı: (3.47-2.43)/3.47=0.29'dir. Değerin yüksek olmasının birçok sebebi vardır. Sap2000 programında çelik köprü modellenirken bağlantılarda bulunan bulon elemanları modellenememiştir. Ayrıca kaynak yapılan bölgelerde sıcaklık etkisinde oluşan iç gerilmeler modelleme sırasında dikkate alınmamıştır.




Şekil 3.14 Sonlu elemanlar programı ile elde edilen yer değiştirme değerleri

### 3.2.3 Yükleme Deneyinin Yapılması

Düşey yük uygulamasında; 3 adet toplam 1.5 m uzunluktaki yükleme tabliyeleri (yaklaşık 25 kg ağırlığında) köprünün ortasına, sağ ve sol merkezlerine yerleştirilmiştir. Şekil 3.15'de görüldüğü gibi 500 kg'lık yük köprünün orta noktasına göre simetrik olacak şekilde sırayla sağ ve sol tabliye üzerine düzgün dağılacak şekilde, 1000 kg'lık yük ise köprünün orta noktasındaki tabliyeye yerleştirilmiştir [20]. Deney yapılırken video çekimi yapılmış olup kamera 1440x1080 çözünürlüğe ve 29 kare/saniye resim karesi hıza sahiptir.

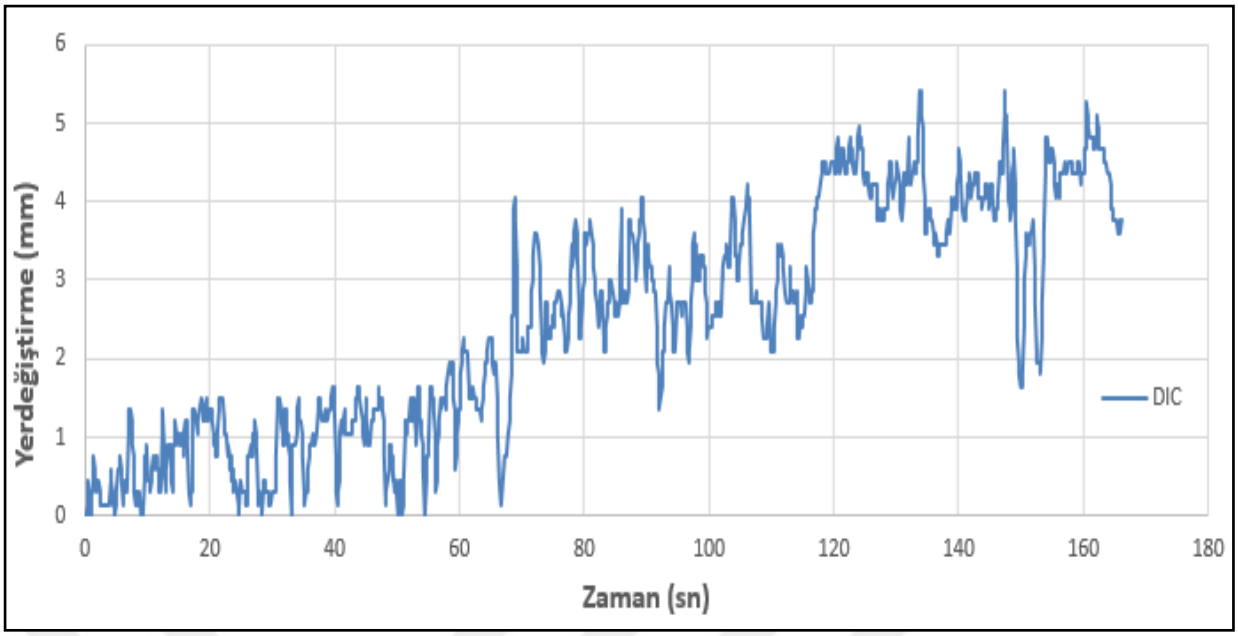
Şekil 3.15 Yükleme deneyi

### 3.2.4 MATLAB Düşey Deformasyon Sonuçları

Köprüde yer değiştirmeleri okumak istedeğimiz referans noktası (mavi renk ile işaretli) seçildikten sonra bir önceki başlıkta anlatılan ve kiriş numuneleri için uyguladığımız görüntü işleme adımları takip edildi (Şekil 3.16). MATLAB'da bulunan düşey yer değiştirmeler piksel cinsinden olduğu için milimetreye dönüştürüldü. Daha sonra zamana bağlı yer değiştirme grafiği çizildi.

Şekil 3.16 Çelik köprüde işaretlenen referans noktası

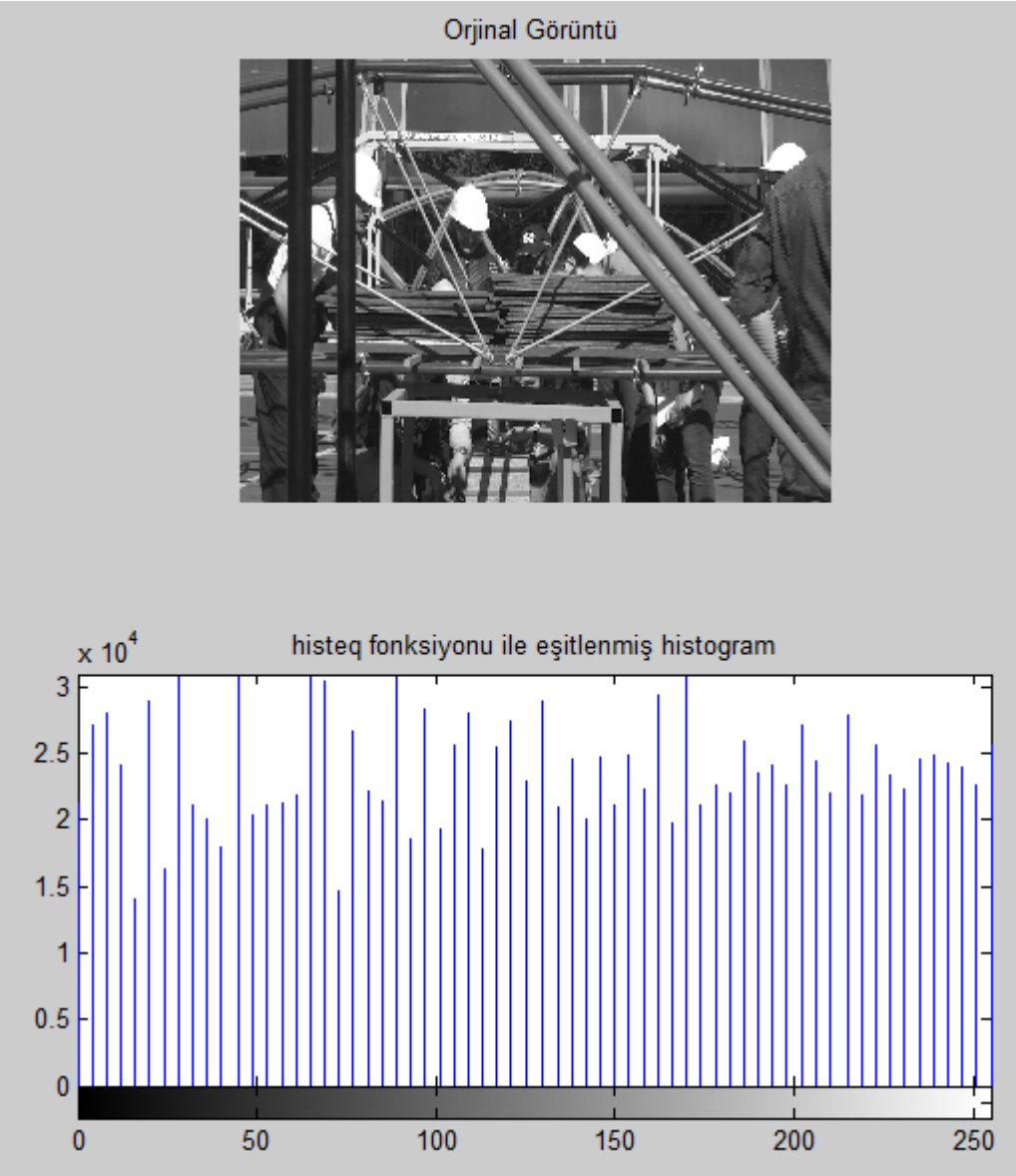
Çelik köprü için LVDT ile ölçülen yer değiştirme değeri 3.47 mm, görüntü işleme tekniği ile bulunan değer ise 3.6 mm'dir (Şekil 3.17). Sonucumuzun hata oranı: (3.6-3.47)/3.47=0.037'dir. Hata oranımız çok küçük olup değerimiz gerçek değere yakın çıkmıştır. Grafikteki dalgalanmaların sebebi ise yükleme deneyinde plakalar yerleştirilirken köprüde titreşimler meydana gelmesidir.




Şekil 3.17 Çelik köprüde işaretlenen referans noktasının yer değiştirme grafiği

### 3.2.5 Çelik Köprünün Histogram Dağılımı

Histogramda yatay eksenin gri değer aralığını, düşey eksenin ise her bir aralıktaki piksel sayısını ifade ettiği daha önceki konularda anlatılmıştı. Çelik köprünün histogram dağılımı incelendiğinde renk seviyesinin belirgin olduğu görülmektedir (Şekil 3.18).




Şekil 3.18 Çelik köprünün histogram dağılımı

# BÖLÜM 4

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Deneylerden birincisi YTÜ İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarında yüksek lisans bitirme tezi olarak yapılmış ve video kayıtları görüntü işleme yöntemi kullanılacağından habersiz olarak alınmıştır. Doğal ışık numuneden homojen bir görüntü almamızı engellemiştir ve video kalitesi de görüntü işleme yöntemi için yetersizdir. Bu tür dış etkenler görüntü işleme yönteminden doğruya yakın sonuçlar almamızı engellemesine rağmen ilk kiriş numunesinin analizinden hesaplanan hata oranı %11'dir. Görüntü kalitesi daha iyi olan ikinci kiriş numunesinden ise gerçeğe yakın bir eğilim elde edilmiştir ve hesaplanan hata oranı %0.1'dir.

Deneylerden ikincisi olan çelik köprünün deneyleri ise Boğaziçi Üniversitesi'nde yarışma kapsamında yapılmış olup deney sırasında köprüye yaklaşmamız mümkün olmamıştır. Güneş ışığı çekilen videonun kalitesini etkilemesine rağmen görüntü işleme yönteminden alınan sonuçlar gerçeği yansıtmaktadır ve hata oranı %3,7'dir.

Yapılan çalışmalar ile aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Deney sırasında video kaydı için kullanılan fotoğraf makinesinin görüntü kalitesi, deneyin yapıldığı ortamdaki ışık miktarı ve kayıt alma mesafesi bu metodun doğru sonuç verebilmesi için önemlidir.
- Numune üzerindeki her bir piksel görüntü deneydeki nümerik değerleri etkileyeceği için, video kaydı alınan numune yüzeyinde gölgelenme durumu oluşmamasına dikkat edilmelidir. Bu tür durumlarda gölge oluşturabilecek pürüzlerin giderilerek yüzeyin düzeltilmesi gerekmektedir.

- Deney öncesi karelajlara bölünen numune üzerinde deformasyonun ölçülmesi istenen noktalara yerleştirilecek işaretçi kağıtların kullanılması zamandan tasarruf sağlayacaktır.
- Görüntü işleme yöntemiyle deformasyon ölçümü diğer klasik yöntemlere oranla birçok avantaj sunmaktadır. Genel olarak malzeme yüzeyine doğrudan temas olmadan ölçüm yapılabilir ve ölçüm hassasiyeti uygulamaya ve kamera sisteminin çözünürlük seviyesine göre ayarlanabilir.

Görüntü işleme yöntemi bu parametrelere dikkat edilerek ve farklı yapı elemanlarında uygulanarak en ideal sonuç vermesi için geliştirilebilir.

# KAYNAKLAR


[1] Çankaya, G., (2013). Görüntü İşleme Teknolojisi ile Betonun Bazı Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

[2] Austrell, P.E., Enquist, B., Heyden, A. ve Spanne, S., (1995). "Contact Free Strain Measurement Using MATLAB Image Processing Toolbox", Lund, Sweden.

[3] Yue, Z.Q., Chen, S. ve Tham, L.G., (2002). " Finite Element Modeling of Geomaterials Using Digital Image Processing", Republic of China.

[4] Whiteman, T., Lichti, D.D. ve Chandler, I., (2002). " Measurement of Deflections in Concrete Beams By Close-Range Digital Photogrammetry", Symposium on Geopatial Theory, Processing and Applications, 9-12 July, 2002, Ottawa.

[5] Jauregui, D.V., Leitch, K.R., White, K.R. ve Woodward, C., (2002). "Vertical Deflection Measurement of Bridge Structures With Digital Close-Range Terrestrial Photogrammetry", First International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, 14-17 July, 2002, Barcelona.

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

[7] Kılınç, İ., (2009). Çelik Malzemelerde Korozyon Oyuklarının Görüntü İşleme Yöntemiyle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

[8] Çomak, B., Beycioğlu, A., Başyiğit, C. ve Kılınçarslan, Ş., (2011). "Beton Teknolojisinde Görüntü İşleme Tekniklerinin Kullanımı", International Advanced Technologies Symposium, 16-18 Mayıs, 2011, Elazığ.

[9] Fırat Alemdar, Z., Browning, J. ve Olafsen, J., (2011). "Photogrammetric Measurements of RC Bridge Column Deformations", Journal of Engineering Structures, Vol. 33 Issue 8, pp. 2407-2415.

[10] Şahin, Y., Baş, M. K., Öztürk, F. ve Kılıç, S., (2013). "Malzemelerde Sünekliğin Görüntü İşleme Yöntemiyle Ölçülmesi", Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 2, Sayı 2, 34-42.

[11] Henke, K., Pawlowski, R., Schregle, P. ve Winter, S.,(2014). "Use of Digital Image Processing in the Monitoring of Deformations in Building Structures", Journal of Civil Structural Health Monitoring, 5: 141–152.

[12] Oge, M., (2011). Practical Image and Video Processing Using MATLAB®, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

[13] Yıldız, N., (2010). "Görüntü İşlemenin Dünü, Bugünü ve Geleceği", Elektrik Mühendisliği Dergisi, 440: 11-16.

[14] Gonzalez, R. C., Woods, R. E. ve Eddins, S. I., (2009). Digital Image Processing Using MATLAB®, Second Edition, Gatesmark Publishing, United States of America.

[15] McAndrew, A., (2004). An Introduction to Digital Image Processing with Matlab, School of Computer Science and Mathematics, Victoria University, Thomson Course Technology, Melbourne, Victoria, Australia.

[16] Güler, M., Sözen, Ş. ve Özen, M., (2007). Görüntü Yöntemlerinin Beton Mikro Yapısının ve Çelik Birleşimlerin Deformasyon Davranışlarının Belirlenmesinde Uygulanması, Tübitak 1002 Hızlı Destek Programı, Ankara.

[17] Öztürk, M., (2016). Etriyesiz Polipropilen Lifli Betonarme Kirişlerin Kesme Mukavemeti, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[18] Arslan, G., Keskin, R.S.O. ve Öztürk, M., (2017). "Shear Behavior of Polypropylene Fiber-Reinforced Concrete Beams without Stirrups", Structures & Buildings, 170:190-198.

[19] Youtube, Digital Image Correlation Processing in Matlab, https://www.youtube.com/watch?v=MsuiU4cxRpE, 6 Şubat 2017.

[20] 11. Design & Construct Uluslararası Öğrenci Çelik Köprü Yarışması Kuralları ve Düzenlemeleri, Yapı Kulübü, Boğaziçi Üniversitesi,2017.

# ÖZGEÇMİŞ

**KİŞİSEL BİLGİLER**

**Adı Soyadı** : Senem BİLİCİ

**Doğum Tarihi ve Yeri** : 01/02/1993- BAĞCILAR

**Yabancı Dili** : İngilizce

**E-posta** : snmbilici@gmail.com

**ÖĞRENİM DURUMU**

| **Derece** | **Alan** | **Okul/Üniversite** | **Mezuniyet Yılı** |
|---|---|---|---|
| Y. Lisans | İnşaat Mühendisliği | Yıldız Teknik Üniversitesi | 2017 |
| Lisans | İnşaat Mühendisliği | İstanbul Üniversitesi | 2015 |
| Lise | Fen Bilimleri | Osmangazi Lisesi | 2010 |

**YAYINLARI**

**Bildiri**

1. Bilici, S. ve Fırat Alemdar, Z. (Mayıs, 2017). “Structural Deformation Measurement Using MATLAB Image Processing Toolbox”, International Conference on Civil and Environmental Engineering, Nevşehir, Turkey

**Proje**

1. Bilici, S. ve Erdem, S. (2015, Temmuz). “Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Donatılı Betonarme Kirişlerin Eğilme Davranışının İncelenmesi”, Tubitak 2209-B- Sanayi Odaklı Lisans Bitirme Tezi Destekleme Programı.

2. Çelik, M.S., Erdem, S., Bilici, S., Dinç, Y. ve Kökan, H.(2015, Temmuz). “Çok Katlı Bir Yapının Deprem Davranışının Sarsma Tablasıyla Analizi ve Nümerik Modellenmesi”, Tubitak 2209-B- Sanayi Odaklı Lisans Bitirme Tezi Destekleme Programı.

**ÖDÜLLERİ**

1. Bilici, S., Dinç, Y., Kökan, H., Yılmaz, D.T. ve Bezer, B. (2015, Haziran). “En İyi Mimari Özel Ödülü”, Depreme Dayanıklı Bina Tasarım Yarışması 2015.

2. Bilici, S., Dinç, Y., Kökan, H., Yılmaz, D.T. ve Bezer, B. (2015, Haziran). “Nihai Yıllık Kazanç Özel Ödülü”, Depreme Dayanıklı Bina Tasarım Yarışması 2015.