

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**HAREKETLİ OBJELERİ VİDEO GÖRÜNTÜLERİ İLE  
ÜÇ BOYUTLU BELİRLEME**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Harita Mühendisi Burak TOKDEMİR**

**MAYIS 2019  
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**HAREKETLİ OBJELERİ VIDEO GÖRÜNTÜLERİ İLE**  
**ÜÇ BOYUTLU BELİRLEME**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**  
**“YÜKSEK HARİTA MÜHENDİSİ”**  
**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21 / 05 / 2019**

**Tezin Savunma Tarihi : 17 / 06 / 2019**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Fevzi KARSLI**

**Trabzon 2019**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Harita Mühendisliği Anabilim Dalında  
Burak TOKDEMİR Tarafından Hazırlanan**

**HAREKETLİ OBJELERİ VİDEO  
GÖRÜNTÜLERİ İLE ÜÇ BOYUTLU BELİRLEME**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28/05/2019 tarih ve 1806 sayılı  
Kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU**



**Üye : Prof. Dr. Fevzi KARSLI**



**Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DİHKAN**



**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

“Hareketli Objeleri Video Görüntüleri ile Üç Boyutlu Belirleme” konulu yüksek lisans tez çalışmamda öncelikle tez danışmanlığımı üstlenen, çalışmamın her aşamasında bana bilgi ve deneyimlerini sabırla aktaran, çalışmam boyunca desteğini her zaman hissettiğim hocam Sayın Prof. Dr. Fevzi KARSLI’ya sonsuz minnetle teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca bana her zaman destek olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, okumam ve meslek sahibi olamam için her türlü fedakârlığı sualsiz gösteren, bana her zaman güvenen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Burak TOKDEMİR  
Trabzon 2019

## **TEZ ETİK BEYANNAMESİ**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Hareketli Objeleri Video Görüntüleri ile Üç Boyutlu Belirleme” başlıklı bu çalışmayı Prof. Dr. Fevzi KARSLI'nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri kendim yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 21/05/2019

Burak TOKDEMİR  
Trabzon 2019

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

ÖNSÖZ .....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ .....	IV
İÇİNDEKİLER .....	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ .....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Temel Kavramlar .....	2
1.2.1. Fotogrametrinin Tanımı .....	2
1.2.2. Analog Fotogrametri .....	4
1.2.3. Analitik Fotogrametri.....	5
1.2.4. Dijital Fotogrametri.....	6
1.2.5. Fotogrametrik Matematik Model .....	8
1.3. Obje Takibi .....	12
1.3.1. Obje Takibi Problemi.....	13
1.3.2. Obje Takibi ve Sınıflandırılması.....	13
1.3.3. Obje Takip Özellikleri.....	14
1.4. Obje Algılama .....	15
1.5. Obje Tanıma.....	16
1.6. Kalman Filtreleme.....	17
1.6.1. Algoritmanın Aşamaları.....	20
1.6.2. Kalman Filtresinin Bileşenleri .....	22
1.6.2.1. Sistem Modeli Gürültü Süreçleri İçin Yapılan Varsayımlar.....	22
1.6.2.2. Kalman Filtresinde Optimallik Ölçütü.....	22
1.6.2.3. Hata Kovaryansları.....	23

1.6.2.4. İnnovasyon Terimi .....	23
1.6.2.5. Kalman Kazançları.....	24
1.6.2.6. Kalman Denklemlerinin İncelenmesi.....	24
1.6.2.7. Kalman Filtresi Sonuçları .....	25
1.7. Blob Analiz .....	26
1.7.1. Piksel Bağlılığı .....	27
1.7.2. Blob Özellikleri.....	27
1.8. Bilgisayarlarla Görme .....	29
1.9. Triangular Matris Dönüşümü.....	30
1.9.1. Triangular Matris Dönüşüm Methodu .....	31
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	34
2.1. Üç Boyutlu Obje Takibi İş Akışı .....	40
2.2. Ölçme Yönteminin Kurulumu .....	40
2.2.1. Donanım ve Yazılım .....	42
2.2.1.1. Yapı Bölümü .....	42
2.2.1.2. Optik ve Elektronik Bölüm.....	44
2.2.1.2.1. Kalibrasyon .....	44
2.2.1.2.2. Matlab Programında Kalibrasyon İşlemi .....	47
3. BULGULAR VE İRDELEME .....	57
4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	62
5. KAYNAKLAR .....	64
ÖZGEÇMİŞ .....	66

Yüksek Lisans Tezi

## ÖZET

### HAREKETLİ OBJELERİ VIDEO GÖRÜNTÜLERİ İLE ÜÇ BOYUTLU BELİRLEME

Burak TOKDEMİR

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Fevzi KARSLI  
2019, 66 Sayfa

Günümüzde fotogrametrik çalışmalarda kamera video sistemlerinin kullanımı, modellenecek objenin en iyi şekilde sunumu için büyük bir önem ve avantaj sağlamaktadır. Üç boyutlu model, hareketli görüntüler üzerinden üç boyutlu koordinat bilgisi içeren ve herhangi bir hareketli nesnenin üç boyutlu uzayda izlediği yolun tespiti niteliğindedir. Üç boyutlu koordinat, nesnelerin yatay koordinatlarına (x, y) ek olarak derinlik (z) bilgilerini ifade etmekte ve bu bilgiler objelerin gerçekte birbirlerine göre konumlarının net olarak anlaşılmasını ve görsel konum bilgisini ifade etmektedir. Konum bilgileri için aynı model iki adet kamera ile video görüntüleri alındı ve bu görüntüler, objelerin mesafe ve konum bilgilerinin daha hassas sonuçta elde edilmesini sağlayan stereovizyon yöntemi ile MATLAB programında değerlendirilmiştir. Çekilen görüntülerden objelerin belirlenmesi ve öznitelik çıkarılması işlemlerinde MATLAB programının içerisinde yer alan “Computer Vision Toolbox” içerisinde “Object Detection and Detection” işlemleri, kamera kalibrasyon işlemi için ise “StereoCamera Calibration” uygulaması kullanılmıştır. Bu algoritmalar sayesinde elde edilen veriler MATLAB programı içerisinde triangular matris dönüşümüne tabii tutularak objelerin, kolinearite ve dış yöneltme parametreleri olmaksızın sanal üç boyutlu koordinatları elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Blob Analiz, Fotogrametri, Kalman Filtre, Objeye Tanıma, Objeye Takibi, Stereo Kamera Kalibrasyonu.



Master Thesis

**SUMMARY**

THREE-DIMENSIONAL DETECTION OF MOVING OBJECTS ON VIDEO IMAGES

Burak TOKDEMİR

Karadeniz Technical University  
The graduate school of natural and applied sciences  
Geomatics engineering department  
Supervisor: Prof. Dr. Fevzi KARSLI  
2019, 66 Pages

Today, the use of camera video systems in photogrammetric studies provides a great importance and advantage for the best presentation of the object to be modeled. A three-dimensional model is the quality of the determination of the path that any moving object follows in three-dimensional space, containing three-dimensional coordinate information on moving images. The three-dimensional coordinate refers to the depth (z) information in addition to the horizontal coordinates (x, y) of the objects, and this information provides a clear understanding of the positions of the objects relative to each other and the visual position information. For the position information, video images were taken with two cameras of the same model and these images were evaluated in MATLAB program by stereovision method, which provides more accurate result of the distance and position information of the objects. Object Detection and Detection operations were used in Vision Computer Vision Toolbox MAT in MATLAB program, and C StereoCamera Calibration ”application was used for identification and extraction of objects from the captured images. The data obtained by these algorithms were subjected to triangular matrix transformation in MATLAB program and virtual three-dimensional coordinates of the objects were obtained without any collinearity and external orientation parameters.

**Key Words:** Kalman Filter, Blob Analysis, Object Recognition, Tracking Object, Stereo Camera Calibration.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1. Zeis multiplex projector, 1933 .....	4
Şekil 2. Analitik ölçme prensibi .....	5
Şekil 3. Optik veya dijital kameralar ile çekilmiş görüntünün dijital ortama aktarılması.....	7
Şekil 4. Fotogrametrinin matematik modeli .....	9
Şekil 5. Çeşitli nesne gösterimleri: a) Objenin merkezi, b) Nokta kümesi, c) Dikdörtgen, d) Objeye dağılımı, e) Eliptik ve f) Objeye yüzeyi .....	14
Şekil 6. Kalman filtresinde kestirim, ölçüm ve güncelleme adımları .....	19
Şekil 7. Kalman filtresinin döngüsü .....	21
Şekil 8. Piksel bağılığının görüntüsü her bir kare bir pikseli ifade etmektedir. 4- bitişik (solda) 8-bitişik (sağda).....	27
Şekil 9. Blob analiz yönteminde karesel sınırlayıcı ile obje tespiti.....	29
Şekil 10. Triangular matris dönüşümü .....	31
Şekil 11. İki boyutlu matrisin tek boyutlu matrise dönüşümü.....	32
Şekil 12. 5x5 boyutunda karesel matris.....	32
Şekil 13. “j” Sütun değerinden çıkarılarak oluşturulan yeni matris .....	33
Şekil 14. Triangular (üçgensel) matris .....	33
Şekil 15. Veri tabanındaki bilgiler ile görüntü üzerinden obje takibi .....	34
Şekil 16. Görüntü üzerinden dairesel objelerin tespiti .....	35
Şekil 17. Blob bağlantı ve sınırlandırıcı bölge çıkarımı.....	36
Şekil 18. Blob sınırlandırıcıları ile tespit edilen objelerin adet, alan ve dairesellik bilgisi .....	37
Şekil 19. Kalman filtresi ile takibi yapılacak obje görüntüsü.....	38
Şekil 20. Sadece kalman filtreleme ile obje takibi sonucu.....	38
Şekil 21. Kalman filtreleme ve blob analiz yöntemleri ile obje takibi.....	39
Şekil 22. Takibi sağlanan objenin izlediği yol .....	39
Şekil 23. İş akış şeması.....	40
Şekil 24. Huawei P9 Lite cep telefonu .....	43
Şekil 25. Görüntünün, görüntü merkezine düşümünün gösterimi.....	45

Şekil 26. CCD çip.....	45
Şekil 27. Radyal distorsiyon.....	46
Şekil 28. Teğetsel distorsiyon.....	47
Şekil 29. Kalibrasyon levhası .....	48
Şekil 30. Kalibrasyon levhasına alınan görüntü örneği.....	49
Şekil 31. MATLAB programı kalibrasyon uygulamaları.....	50
Şekil 32. MonoCamera kalibrasyon arayüz görünümü .....	51
Şekil 33. MonoCamera kalibrasyon görüntü ekleme .....	51
Şekil 34. StereoCamera kalibrasyon görüntü ekleme.....	52
Şekil 35. Kalibrasyon levhası siyah kare boyut bilgisi (A4 kâğıt) .....	52
Şekil 36. Kalibrasyon levhasının köşe noktalarının tespiti.....	53
Şekil 37. Tek kamera kalibrasyon işlemi sonucu .....	54
Şekil 38. Stereo kamera kalibrasyon sonucu .....	55
Şekil 39. İç yöneltme parametreleri.....	55
Şekil 40. Dönüklük Matrisi .....	56
Şekil 41. Kamera parametreleri .....	56
Şekil 42. Blob analiz ve kalman filtreleme obje takibi.....	57
Şekil 43. Sol kameradan alınan video kaydı üzerinden obje takibi.....	58
Şekil 44. Sağ kameradan alınan video kaydı üzerinden obje takibi .....	58
Şekil 45. Sağ ve sol kameradan çekilen görüntülerde aynı objelere ait koordinat ve boyut bilgileri .....	59
Şekil 46. Objelerin üç boyutlu uzayda gösterimi .....	60
Şekil 47. Kamera ile objeler arası mesafe (“z” derinlik).....	61
Şekil 48. Üç boyutlu koordinat bilgileri .....	61

## TABLULAR DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 1. Kalman filtresi denklemleri.....	25
Tablo 2. Kullanılan Kameraların Özellikleri.....	44



## SEMBOLLER DİZİNİ

3B	: Üçüncü boyut bilgisi.
A	: Sistemin durum geçiş matrisi.
APS	: MATLAB programı uygulamalar bölümü.
c	: Odak uzaklığı.
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi.
CCD	: Charge Couple Device – Yük Paylaşımli Görüntü Elemanı.
D	: Dönüklük matrisi.
$D^T$	: Dönüklük matrisinin tranpozu.
EKK	: En küçük kareler yöntemi.
H	: Ölçüm matrisi.
k	: Ayrık zaman sabiti.
K	: Kalman filtre kazancı.
$N(k)$	: Kontrol girişi.
O	: Kartezyen nesne koordinat sisteminin merkezi.
$P_i, p_i$	: Nesne, resim vektörleri.
RGB	: Kırmızı, yeşil ve mavi renk kodlarının İngilizce dilinde kısaltması.
SYM	: Sayısal yükseklik modeli.
$t_1$	: Birinci ölçüm zamanı.
$t_2$	: İkinci ölçüm zamanı.
$U(k)$	: Kontrol girişi.
$V(k)$	: Ölçüm gürültüsü.
$W(k)$	: Sistem gürültüsü.
$Z(k)$	: “k” anında alınan ölçümler.
$z_1$	: $t_1$ anındaki ölçme.
$z_2$	: $t_2$ anındaki ölçme.
$x_0, y_0$	: Resim koordinat merkezi.
$X_0, Y_0, Z_0$	: İzdüşüm merkezi koordinatları.
$X_i, Y_i, Z_i$	: Nesne noktası koordinatı.
x, y	: Resim koordinatları.
X, Y, Z	: Nesne koordinat sistemi merkez koordinatları.

- $x_1$  : Birinci ölçüm anındaki eşitlik ifadesi.  
 $x_2$  : İkinci ölçüm anındaki eşitlik ifadesi.  
 $X(k)$  : Sistem durumları.  
 $\omega, \varphi, \chi$  : x, y ve z eksenlerinde meydana gelen dönüklük açıları.  
 $\lambda_i$  : Nesne ve resim koordinatları arasındaki ölçek faktörü.  
 $\sigma_{z1}$  : z1 ölçmesinin standart sapması.  
 $\sigma_{z2}$  : z2 ölçmesinin standart sapması.



# 1. GENEL BİLGİLER

## 1.1. Giriş

Aslı Yunanca olup batı dillerine giren Fotogrametri sözcüğü üç sözcükten oluşmaktadır. Bunlar; Photos (ışık), Grama (çizim) ve Metron (ölçme)'dur. Yani fotogrametri ışık yardımı ile çizerek ölçme anlamına gelmektedir. Fotogrametrik teknikte ölçülmek istenen nesnenin ve yakın çevresinin ya da arazinin fotoğrafları çekilir. Bunların fotoğraf üzerindeki görüntüleri ölçülerek istenen bilgiler sağlanabilir ya da özel aletlerde bu görüntüler harita, plan ya da model biçimine dönüştürülebilir (Yıldız, 2010).

Fotogrametri günümüzde teknolojinin de etkisiyle Bilgisayar Görmesi (Computer Vision) ve Uzaktan Algılama gibi alanlarla yakından ilişkili hale gelmiştir. Yani fotogrametrik uygulamalar için geliştirilmiş yazılım-donanım sistemleri mevcuttur. Bu sistemler temelde bir kamera alanı ve bununla bağlantılı yazılım sistemlerinden oluşmaktadır.

Günümüzde, resimler, video görüntüleri veya canlı yayın kameraları aracılığıyla elde edilen görüntülerden obje takip ve mesafe algılama yazılım donanım sistemleri gün geçtikçe çoğalmaktadır. Sivil hayatta kullanılan otomobillerde bulunan yolda yürüyen yayayı, trafikteki diğer otomobilleri, yol şerit çizgilerini ve trafik tabelalarını algılayan araç kameraları ile güvenlik kameralarından elde edilen görüntülerden suçluların yüz tespitini sağlayan yazılımlar bu sistemlere örnek olarak gösterilebilir. Artan kamera çözünürlüğü, gelişen yazılım ve güçlenen bilgisayar donanımları sayesinde üretilen akılcı çözümler, gerçek zamanlı konum bilgisini algılayan ve çevreyi insan gözü gibi görebilen kamera sistemlerinin kullanılarak üç boyutlu konum bilgilerinin elde edilebilmesini gelecekte mümkün kılmaktadır.

Video görüntüleri üzerinde hareketli objeler, insanlar veya arabaların algılanması obje tespit ve takibi çalışmalarının önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Video görüntüleri üzerinden obje takibinin altında yatan asıl sebep, çeşitli uygulama alanlarındaki problemlerin keşfedilmemiş yüksek potansiyele sahip çözümlerinin olduğunun öngörülmesidir. Hareket algılama ifadesi dâhilinde bulunan, aslen büyük değişkenlikler barındıran fakat ortak bir sınıf içerisinde toplanması gereken veri kümesinin varlığının

ortaya konulması ile birlikte, objelerin hareketlerinin algılanması çalışma ilgisi uyandıran zorlu bir alan olarak tanımlanmıştır.

Günümüzde artan video kayıtları beraberinde akıllı çözümler gereksinimini getirmiştir. Objelerin hareketlerini algılayabilen bir sistemin, bilgi çıkarımı konusunda öncü ve daha karmaşık algılayıcılara yardımcı bir yapı oluşturabileceği öngörülmüştür.

Hareket tanıma çevrimiçi veya çevrimdışı olarak tanımlanan çeşitli uygulamalarda kullanılabilir. Örneğin; bu tez çalışması kapsamında, cep telefonu kamerası ile elde edilen video görüntülerinin, üretilmesi planlanan program için kullanılması ve video görüntülerindeki hareketli objelerin bulunması ve konum bilgisinin elde edilmesi işlemleri, çevrimdışı olarak tanımlanan uygulamalara örnek teşkil etmektedir. Bu işlem, canlı yayın kameralarından elde edilen görüntüleri eş zamanlı olarak bilgisayar ortamında işlemesi yöntemi ile gerçekleştirilseydi, çevrimiçi uygulamalara örnek teşkil edebilirdi.

Objeler hareketlerinin algılanmasında genel olarak videodan objeye ait görüntü özelliklerinin çıkarılması ve buna karşılık gelen objelerin video görüntüleri üzerinde belirlenmesi esası yaygındır. Objeler tanıma işlemi iki ana adımda incelenebilir. Bu adımlar, görüntü üzerinden özellik çıkarımı ve sınıflandırmadır. Özellik çıkarımı, sınıflandırma başarı sonucunu pozitif yönde etkilerken sistemin bütününe nasıl çalıştığını betimleyen modeli oluşturan esas bölümdür. Sınıflandırma, algılanmak istenen objeler ile ilgili verileri veri tabanında saklar ve obje tespitlerinde başarı yüzdesinin arttırılmasını sağlar. Bu adımda yaşanacak zorluklar ve kullanılan yöntemlerin karakteristikleri başarıya doğrudan etki etmektedir.

Video görüntüleri üzerinden objelerin tanınmasına ortam ve çekim koşulları doğrudan etki etmektedir. Kamera hareketleri veya istenmeyen hareketlerin bulunduğu dinamik ortamlardaki çekimler obje tanımayı zorlaştırmaktadır. Görüntü içerisinde bulunması istenilen objenin belirli kısmı veya tamamının görüntü içerisinde kaybolması, kamera açısı veya ilgi alanının açısının değişmesi gibi durumlar obje algılamayı zorlaştıran etmenlerdir.

## **1.2. Temel Kavramlar**

### **1.2.1. Fotogrametrinin Tanımı**

Fotogrametri; topoğrafik görüntülerin ve yayılan elektromanyetik enerjinin şekillerinin kayıt, ölçme ve yorumlama işlemleri sonucu fiziksel cisimler ve çevre hakkında



güvenilir bilgileri ortaya koyan, akustik enerji şekilleri ile manyetik olayların analizini de yapan bir bilim dalıdır (Kocaman,1988).

Fotogrametri, kullanılan kameranın durumuna, ölçülecek nesnenin yakın ya da uzak oluşuna, edinilecek bilgi türüne, değerlendirme yöntemine ve uygulama alanlarına göre sınıflandırılabilir. Buna göre (Yıldız, 2010):

- Yersel Fotogrametri: Yer üzerinde çekilmiş fotoğraflarla çalışan fotogrametridir. Nesne-kamera uzaklığı en çok 300 m olan bir fotogrametri uygulamasıdır.
- Hava Fotogrametrisi: Uçaktaki ya da genel olarak bir hava aracında bulunan bir kamera ile çekilmiş fotoğraflarla çalışan fotogrametridir.
- Foto-Yorumlama: Fotoğrafik dokuyu inceleyerek nesne ve yakın çevresi hakkında bilgi üreten, arazinin yapısını ve yüzey özelliklerini inceleyen fotogrametri koludur.
- Metrik Fotogrametri: Fotoğraflardan konum, yükseklik, uzaklık, alan ve hacim gibi metrik bilgilerin alınmasını, ya da doğrudan doğruya harita çizimini amaçlayan fotogrametridir.
- Topoğrafik Fotogrametri: Topoğrafik harita üretimi ile ilgili haritacılık fotogrametrisidir.
- Topoğrafik Olmayan Fotogrametri: Topoğrafik harita yapımı, topoğrafik ölçmeler dışında, başka bir deyişle haritacılık dışında kalan fotogrametridir.
- Kadastro Fotogrametrisi: Kadastro haritalarının yapımında kullanılan fotogrametridir.
- Jeodezik Fotogrametri: Jeodezik nokta üretiminde kullanılan fotogrametridir.
- Mühendislik Fotogrametrisi: Mühendislik projelerinin hazırlanmasında vb. çalışmalarda kullanılan fotogrametridir.
- Mimarlık Fotogrametrisi: Özellikle tarihsel yapıların belgelenmesinde kullanılan fotogrametridir.
- Analog Fotogrametri: Değerlendirmelerin, özellikle harita çizimlerinin analog aletlerde yapıldığı fotogrametridir.
- Analitik Fotogrametri: Çözümlerin matematiksel yöntemlerle yapıldığı, bilgisayar destekli fotogrametri uygulamasıdır.
- Sayısal Fotogrametri: Sayısal fotoğraflarla çalışan fotogrametridir.
- Tek Resim Fotogrametrisi: Tek tek fotoğrafları kullanarak metrik bilgiler üretmeyi amaçlayan, foto-plan, foto-mozaiik üreten fotogrametridir.

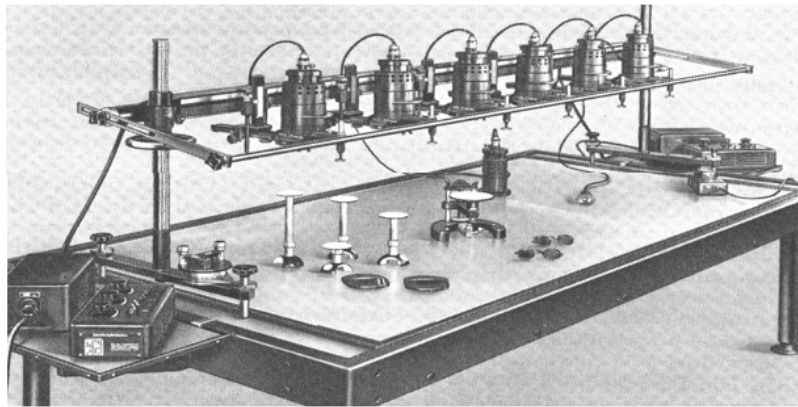
- Çift Resim Fotogrametrisi: Ortak alanları olan fotoğraf çiftleri üzerinde ölçüler yaparak bilgi üretmeyi amaçlayan fotogrametridir. Stereoskopik (üç boyutlu) görüş söz konusu olduğundan buna stereo fotogrametri de denir.
- Ortofotografi: Çizgi harita ile aynı geometrik doğruluğa sahip foto haritalarının üretimi ile ilgilenen fotogrametridir.

şeklinde sınıflandırılabilir.

Bu çalışmada analog, analitik ve sayısal (dijital) fotogrametrik yöntemler kullanılmıştır. 3B görüntünün elde edilmesini gösteren bu yöntemler yapılan tez çalışması ile ilgili olduğundan, çalışmalar bu yöntemlere benzer yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### 1.2.2. Analog Fotogrametri

Analog fotogrametri, optik ve/veya optik mekanik değerlendirme aletlerinde stereo olarak çekilmiş fotoğraflar kullanılarak objenin üç boyutlu modelinin stereoskopi yoluyla tekrar elde edilmesi ve objenin çizimsel yollarla değerlendirilmesi işlemidir. Analog fotogrametride görüntüleme fotogrametrisi optik veya mekanik aletler yardımıyla yeniden kuruldu. İki resim, objenin üç boyutlu modelinin oluşturduğu böyle bir yolla yöneltilir. Operatör, model üzerinde bir ölçü markasını hareket ettirebilir ve stereoskopik görüş altında hareketi kontrol edebilir (Şekil 1). Bu durum, objenin yapısal çizgilerini doğrudan haritalamaya imkân tanır (Akman, 2003).



Şekil 1. Zeis multiplex projector, 1933 (Yıldız, 2010).

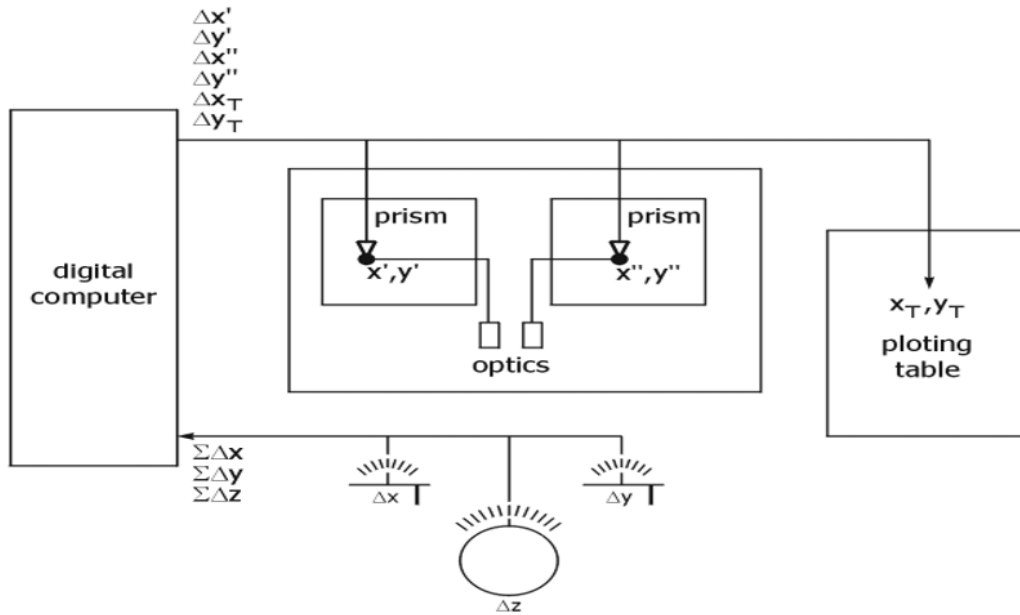
### 1.2.3. Analitik Fotogrametri

Analitik fotogrametri, stereo değerlendirme aletlerine bilgisayar ve elektronik ölçme sistemlerinin eklenmesi suretiyle bazı yöneltme, ölçme ve değerlendirme işlemlerinin otomatik ya da yarı otomatik yollarla değerlendirmesi tekniğidir (Yıldız, 2010).

Bilgisayarların gelişimi sayesinde analitik yazıcılar olarak adlandırılan sistemlerin gelişmesi de mümkün olmuştur. Böyle fotogrametrik sistemlerde resim ve obje noktaları arasındaki ilişkiler, doğrusallık denklemlerine dayanan sayısal hesaplamalar yoluyla tanımlanır. Bu, özellikle sistemlerin operatörü yöneltme ve tahmin metotları esnasında desteklediğinden beri yüksek doğruluk sunar. Ayrıca sonuçlar bilgisayar destekli tasarım sistemleri içine doğrudan transfer edilebilir (Albertz ve Wiedemann, 1995).

Fotoğraf ve Objeye Uzayında yapılan ölçmeler, analitik geometri kavramları (doğrusallık ve eşdüzlemlilik) üzerine tesis edilen matematik model EKK yöntemiyle çözülmekte ve bilinmeyen parametreler hesap yoluyla elde edilmektedir.

Analitik fotogrametri ile yarı-otomatik yöneltmeler, SYM, Analitik Hava Triangülasyonu, vektörel değerlendirme teknikleri ve çizim ile CBS mantığında veri katmanları kavramı uygulama ile tanışmışlardır. Bu sayede daha yüksek doğruluklu ve güvenilir haritalar elde edilmeye başlanmıştır (Yıldız, 2010).



Şekil 2. Analitik ölçme prensibi (Yıldız, 2010).

#### 1.2.4. Dijital Fotogrametri

Bilgisayar teknolojilerinde meydana gelen gelişmeler dijital görüntüye olan talebi arttırmıştır. Teknolojik gelişmeler diğer bilim dallarında olduğu gibi fotogrametri bilim dalında da gelişmelerin temel noktası olmuştur. Klasik fotogrametrik uygulamaların bazılarını geçersiz kılan dijital fotogrametri uygulamalarında hardcopy olarak adlandırılan diapositif veya fotoğraf yerine bunların sayısal piksel serileri ile ifade edilen dijital görüntüleri kullanır. Özetle; dijital fotogrametrik sistemler girdi olarak dijital görüntüleri kullanan otomatik veya yarı otomatik yöntemlerle tüm fotogrametri işlemlerini yerine getiren yazılım ve donanım sistemlerinden oluşur (Akman, 2003).

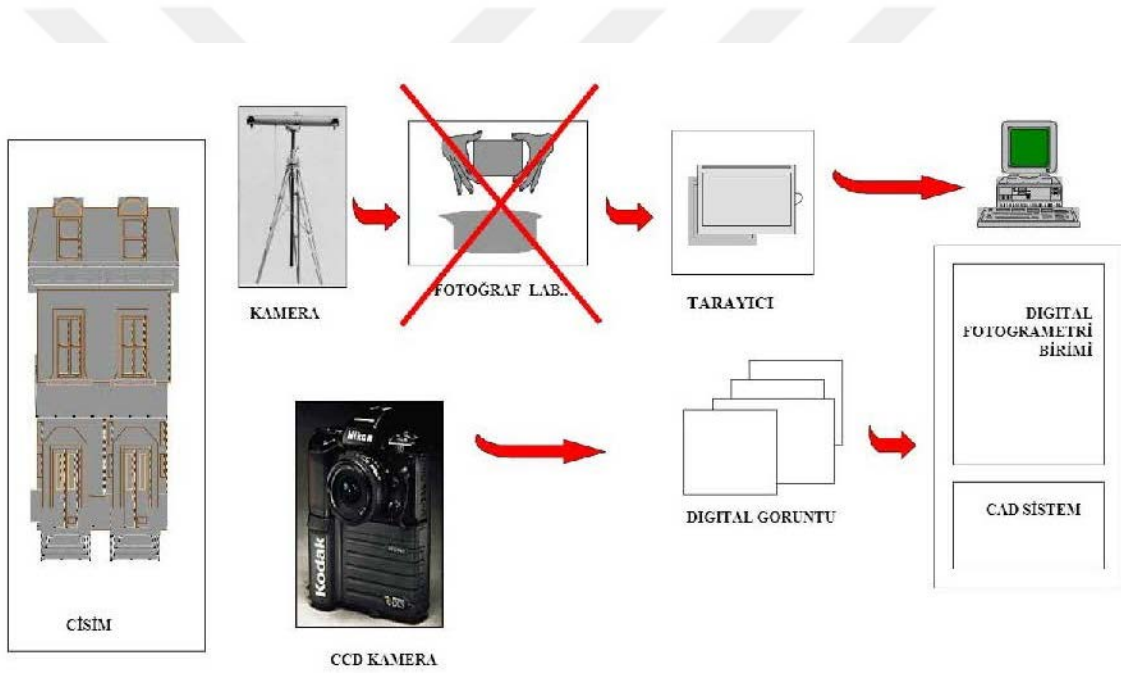
Dijital formdaki görüntüler, ayırma gücü yüksek optik mercekli analog kameralar ile alınmış ise yüksek çözünürlüklü tarayıcılarla taranarak dijital forma dönüştürülür ya da doğrudan yüksek çözünürlüklü dijital kameralarla alınır. Optik mercekli kameralarla çekilen fotoğraflara ait filmlerin taranmasında maliyet, süre ve doğruluk kaybı gibi olumsuz etkiler olmaktadır. Dijital kameralar ile çekilen görüntüler, bu kameraların veri depolama sistemleri olan “hafıza kartları” veya “dahili hafıza” olarak adlandırılan sistemlerinde dijital görüntü formatında saklanırlar. Saklanan veriler USB kablo, hafıza kartları veya bluetooth sistemleri ile bilgisayar ortamlarına aktarılabilirler. Bu aktarım, optik mercekli analog kameralar ile çekilen görüntülerin dijital formata çevrilmesi işlemlerinde oluşan maliyet, süre ve doğruluk kaybı gibi olumsuz etkilerin ortadan kaldırılmasını sağlamıştır (Yıldız, 2010).

Dijital fotogrametride iç ve dış yöneltme, analitik fotogrametri ilkelerine göre yapılır. Komparatör veya analitik aletlerle yapılan resim üzerindeki noktaların koordinat ölçmeleri dijital fotogrametri için de önemlidir. Dış yöneltmenin otomatik olarak yapılabilmesi için stereo görüntü üzerinde aynı cisme karşılık gelen noktalar otomatik olarak bulunmalıdır. Bu işlemin yapılabilmesi için resimdeki görüntü parçasının diğer resimdeki yerinin araştırılması gerekir. Yapılan bu araştırma işlemine görüntü eşleme adı verilir. Görüntü eşleme işlemleri; alana, şekle veya görüntü ilişkilerine dayanan eşleme olmak üzere üç farklı yöntemle gerçekleştirilir. Eşleme yöntemlerinde ilk olarak sol resimdeki bir noktanın sağ resimdeki yaklaşık konumunun bulunması gerekir. Bu işlem için sol ve sağ resimlerdeki ortak noktalar yardımıyla iki boyutlu dönüşüm uygulanır. Bu işlem sonucunda resimlerin biri birine göre durumları sayısal olarak belirlenmiş olur (Akman, 2003).

Dijital fotogrametri, raster görüntülerin yüksek çözünürlükte ve çok sayıda renklerin bilgisayarda elde edilmesi sayesinde hızlı gelişim göstermektedir. Günümüzde güçlü bellek

ve hızlı işlemcilerin yapılması, dijital fotogrametriye olan ilgiyi arttırmış ve bilgisayarda verilerin çözümlenmesini daha hızlı hâle getirmiştir.

Bu çalışmada, video görüntüsü çekilmesi ve eşleştirilebilmesi için aynı özellikte video kameraları kullanılmıştır. Çünkü, dijital fotoğraf makinelerinin özellikleri dışarıdan aynı gözükse bile ana parçalarında farklılık göstermekte ve bu nedenle görüntülerde farklılık oluşturabilmektedir. Bu farklılıklar göz ile anlaşılabilir. Görüntüde meydana gelebilecek bu bozukluklar kullanılan dijital kameranın mercekle kalitesinden, görüntü farklılıkları ise kameraların odak merkezi “c” mesafelerinin farklılık göstermesi vb. birçok farklı kamera özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle bu gibi çalışmalarda aynı kameranın kullanılmasına özen gösterilmelidir.



Şekil 3. Optik veya dijital kameralar ile çekilmiş görüntünün dijital ortama aktarılması (Karşlı, 2015).

Dijital fotogrametrinin avantajları;

- Görüntüler bilgisayarda görüntülenebilir ve ölçülebilir,
- Ölçme sistemleri sabittir ve kalibrasyona gerek yoktur,
- Görüntüde iyileştirme (image enhancement) yapılabilir,
- Dijital görüntü işleme teknikleri ve dış yöneltme parametreleri ile objenin üç boyutlu modelinin oluşturulması,

şeklinde sıralanabilir.

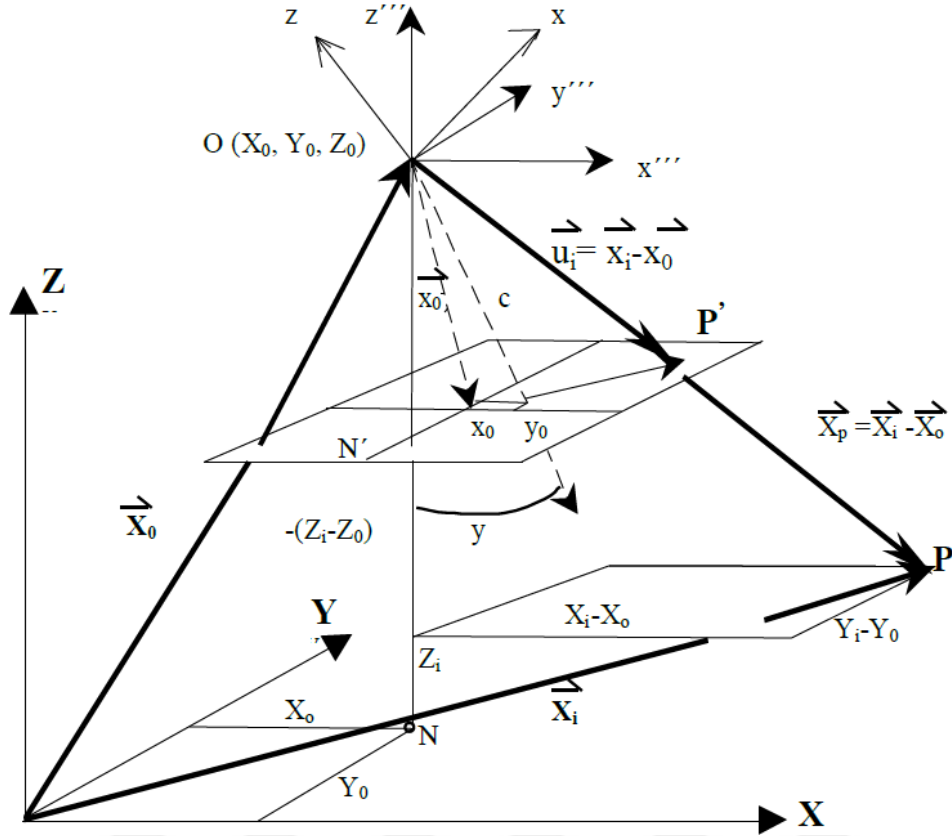
Dijital kameraların klasik (optik) kameralara kıyasla dezavantajlarının giderek azalması (geniş format, yüksek çözünürlük, vb.) müşteri talebini arttırmış, tümüyle sayısal iş akışı (klasik fotogrametrik iş akışındaki değişim), ara maliyetlerin azalması, analog kameralar ile sayısal kameralar arasındaki fiyat/maliyet dengesini sayısal kameraların lehine çevirmeye başlamıştır. Sayısal kamera görüntü kullanımı ile iç yöneltme gibi bazı işlem adımlarının ortadan kalması da sayısal kamera kullanımının artmasına başka bir etken olarak gösterilebilir.

Dijital hava kameralarının en belirgin avantajı film, foto laboratuvar ve tarama maliyetlerini ortadan kaldırmasıdır.

### **1.2.5. Fotogrametrik Matematik Model**

Matematik model; fotoğraf uzayı ve cisim uzayı arasındaki matematiksel gösterimdir ve cisim uzayındaki noktaların fotoğraf uzayı üzerine iz düşürülmesidir. Merkezi izdüşüm bağlantıları olarak bilinen kolinearite (doğrusallık) ve koplenearite (eş düzlemlilik) esasına dayanan bu model ile yeniden konumlandırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Merkezi izdüşüm, fotoğraf üzerine iz düşürülen nesnelerin; şekil ve konumlarının kolayca belirlenmesini sağlamaktadır.

Yeniden konumlandırma işlemi iki adımda gerçekleştirilmektedir. Şekil 4'te görüldüğü gibi birincisi, asal uzaklık ( $c$ ) ve ana nokta koordinatlarının (iç yöneltme parametreleri/ $c, x, y$ ) hesaplanması; ikincisi, istasyon noktası koordinatları ve dönüklük değerlerinin (dış yöneltme parametreleri/ $X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \chi$ ) hesaplanmasıdır.



Şekil 4. Fotogrametrinin matematik modeli

Fotogrametrik izdüşümde P, P' ve O noktalarının bir doğru (izdüşüm doğrusu) üzerinde bulunması, kolinearite (doğrusallık) koşulunun sağlanması anlamına gelmektedir.

Bu koşul:

$$\vec{X}_o i = \vec{X}_i - \vec{X}_o = \lambda_i \vec{u}_i \quad (1)$$

şeklinde tanımlanır. Burada  $\lambda_i$  ölçek katsayısıdır.  $\vec{u}_i$  vektörü  $\vec{X}_i - \vec{X}_o$  vektör farkına eşit olup  $(x''', y''', z''')$  sisteminde gösterimi için dönüşüm yapılması gerekmektedir. Bu dönüşüm işlemi;

$$\vec{u}'_i = D \cdot (\vec{x}_i - \vec{x}_o) \quad (2)$$

biçiminde D dönüşüm matrisi ile gerçekleştirilir. Resim koordinatlarının cisim koordinatlarından elde edilmesi resim ve resim koordinat sistemi  $(x, y, z)$  yerel (cisim) koordinat sistemi  $(X, Y, Z)$ ' ne "D" matrisi ile dönüştürülür. Burada "D" matrisi  $\omega$ ,  $\phi$  ve  $\kappa$

açısı kadar sırayla X, Y ve Z eksenlerinde oluşan dönüklük değerlerini ifade eden 3x3 boyutunda ortogonal matristir. Bu matrisin hesabı;

X Eksenini Doğrultusunda Dönüklük Matrisi

$$D_{\omega} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & \sin \omega \\ 0 & -\sin \omega & \cos \omega \end{pmatrix} \quad (3)$$

Y Eksenini Doğrultusunda Dönüklük Matrisi

$$D_{\phi} = \begin{pmatrix} \cos \phi & 0 & \sin \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \phi & 0 & \cos \phi \end{pmatrix} \quad (4)$$

Z Eksenini Doğrultusunda Dönüklük Matrisi

$$D_{\chi} = \begin{pmatrix} \cos \chi & \sin \chi & 0 \\ -\sin \chi & \cos \chi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Toplam Dönüklük Matrisi

$$D = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} \\ a_{12} & a_{22} & a_{32} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$a_{11} = \cos \phi \cdot \cos \kappa$$

$$a_{12} = \sin \omega \cdot \sin \phi \cdot \cos \kappa + \cos \omega \cdot \sin \kappa$$

$$a_{13} = -\cos \omega \cdot \sin \phi \cdot \cos \kappa + \sin \omega \cdot \sin \kappa$$

$$a_{21} = -\cos \phi \cdot \sin \kappa$$

$$a_{22} = -\sin \omega \cdot \sin \phi \cdot \sin \kappa + \cos \omega \cdot \cos \kappa$$

$$a_{23} = \cos \omega \cdot \sin \phi \cdot \sin \kappa + \sin \omega \cdot \cos \kappa$$

$$a_{31} = \sin \phi$$

$$a_{32} = -\sin \omega \cdot \cos \phi$$

$$a_{33} = \cos \omega \cdot \cos \phi$$

$\vec{u}_i = D \cdot (\vec{x}_i - \vec{x}_0)$  Dönüşümünün bileşenlerine ayrılması ile;

$$\begin{pmatrix} x''' \\ y''' \\ z''' \end{pmatrix} = D \begin{pmatrix} x_i - x_0 \\ y_i - y_0 \\ c \end{pmatrix} \quad (7)$$

Bu eşitlik kolinearite koşulunda yerine konularak



$$\vec{X}_i - \vec{X}_0 = \lambda_i \vec{u}_i \quad (8)$$

Eşitlik bileşenlerine ayrılarak yazılırsa

$$\begin{pmatrix} X_i - X_0 \\ Y_i - Y_0 \\ Z_i - Z_0 \end{pmatrix} = \lambda_i D \begin{pmatrix} x_i - x_0 \\ y_i - y_0 \\ c \end{pmatrix} \quad (9)$$

D matrisi elemanları ile gösterimi sonucunda  $a_1^T$ ,  $a_2^T$  ve  $a_3^T$  matrisleri elde edilir.

$$D = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} \\ a_{12} & a_{22} & a_{32} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1^T \\ a_2^T \\ a_3^T \end{pmatrix} \quad (10)$$

Orta nokta ile ana noktanın çakıştığı varsayılırsa,  $x_0 = y_0 = 0$  basitleştirmesiyle

$$X_i - X_0 = \lambda_i a_1^T \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ -c \end{pmatrix} \quad (11)$$

$$Y_i - Y_0 = \lambda_i a_2^T \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ -c \end{pmatrix} \quad (12)$$

$$Z_i - Z_0 = \lambda_i a_3^T \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ -c \end{pmatrix} \quad (13)$$

Buradaki formülden ölçek çarpanı yok edilerek

$$\frac{X_i - X_0}{Z_i - Z_0} = \frac{a_{11}x_i + a_{12}y_i - a_{13}c}{a_{31}x_i + a_{32}y_i - a_{33}c} \quad (14)$$

$$\frac{Y_i - Y_0}{Z_i - Z_0} = \frac{a_{21}x_i + a_{22}y_i - a_{23}c}{a_{31}x_i + a_{32}y_i - a_{33}c} \quad (15)$$

$$\vec{X}_i - \vec{X}_0 = \lambda_i D (\vec{x}_i - \vec{x}_0) \quad (16)$$

temel bağlantısı elde edilir. Kolinearite koşulunun yanına resim koordinatları getirilecek olursa  $D^{-1} = D^T$  olduğundan (Ortogonal Matris)

$$\vec{X}_i - \vec{X}_0 = \frac{1}{\lambda_i} D^T (\vec{x}_i - \vec{x}_0) \quad (17)$$

elde edilir. Bağlantıda da  $x_0=y_0=0$  kabul edilirse;

$$\begin{pmatrix} x_i' \\ y_i' \\ -c \end{pmatrix} = \frac{1}{\lambda_i} D^T \begin{pmatrix} X_i - X_0 \\ Y_i - Y_0 \\ Z_i - Z_0 \end{pmatrix} \quad (18)$$

Buradan  $\lambda_i$  elimine edilerek

$$x_i = -c \frac{a_{11}(X_i - X_0) + a_{21}(Y_i - Y_0) + a_{31}(Z_i - Z_0)}{a_{13}(X_i - X_0) + a_{23}(Y_i - Y_0) + a_{33}(Z_i - Z_0)} \quad (19)$$

$$y_i = -c \frac{a_{12}(X_i - X_0) + a_{22}(Y_i - Y_0) + a_{32}(Z_i - Z_0)}{a_{13}(X_i - X_0) + a_{23}(Y_i - Y_0) + a_{33}(Z_i - Z_0)} \quad (20)$$

fonksiyonel ifadeleri yazılır (Konecny, 2003). Bu ifade, resim koordinatları cinsinden izdüşüm denklemleridir. Buraya kadar olan işlemlerin neticesinde, resim ve cisim uzay koordinat sistemleri arasındaki açısal ilişkiler, koordinat eksenlerinin oluşturduğu 3x3 boyutunda “D” ortogonal matris dönüşümü ile uzay koordinat sisteminden resim koordinat sistemine dönüşüm sağlanmaktadır. Resim koordinat sistemi ile arazi koordinat sistemleri arasında benzer dönüşüm yöntemleri uygulanarak gerçek koordinat sistemine dönüşüm tamamlanmaktadır.

### 1.3. Obje Takibi

Obje takibi, çeşitli faktörlerden dolayı zorlu bir problemdir. Bunlar; kamera hareketi, stabil olmayan nesne yapıları ve beklenmeyen nesne ve sahnedeki değişikliklerdir. Nesne takibi işlemleri şu şekilde sıralanabilir (Yılmaz, Javed ve Shah, 2006):

- Video görüntüleri üzerindeki hareketli nesnenin davranışının izlenmesi veya sıra dışı faaliyetlerin tespit edilmesi.
- Veri tabanındaki nesnelere ait bilgilerin görüntü formatında veya MATLAB programında “mat” uzantılı dosya formatında saklanması ve bu bilgiler aracılığı ile video görüntüleri üzerinden objenin tespit edilmesi.

### 1.3.1. Obje Takibi Problemi

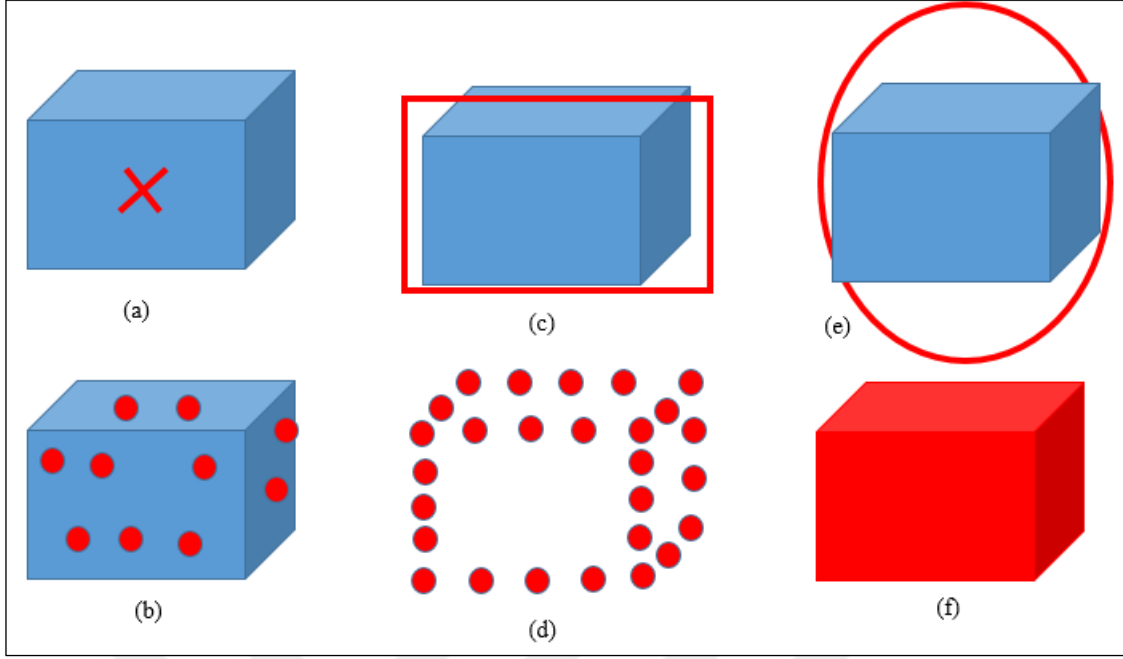
İstenilen nesneyi takip etmek, karmaşık bir görev olabilir. Ancak, görüntü düzleminde hareketli bir nesnenin yörüngesini tahmin etmek doğru olmak zorundadır. Nesne takibi ile ilgili ana problemler aşağıdaki gibidir (Yılmaz, Javed, ve Shah, 2006):

- Görüntülerde oluşan gürültü varlığı,
- Çekilen görüntülerde arka planın fazla aydınlık olması veya ışık yansımalarının fazla olması,
- Gerçek zamanlı obje takibi işlemi,
- Nesnelerin karmaşık hareketi,
- Video kameralarında meydana gelen titreşim veya kamera hareketi.

### 1.3.2. Obje Takibi ve Sınıflandırılması

Obje takibi stratejisinde, obje görüntü üzerinde ilgilenilen herhangi bir şey olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle, objeler şunlar olabilir: i) Bir nokta veya bir nokta topluluğu; ii) İlkel geometrik şekiller; iii) Nesne biçimi ve sınırları; iv) Eklemlı model (ler) ve iskelet modeli (modelleri) (Yılmaz, Javed ve Shah, 2006).

Nokta objesi, genellikle bir hedefin merkez noktası veya hedef üzerindeki bir nokta kümesi olarak ayarlanmaktadır. Nokta obje temsili, özellikle görüntü üzerindeki küçük bölgeler içerisindeki objelerin takibi için önemlidir. Dikdörtgen ve elips gibi katı veya katı olmayan objeler düzenli olarak genellikle karakterize edilen ilkel geometrik şekillerdir. Obje yüzeyi ve kenar temsillerinde kenar, objeyi çevreleyen yüzey ve obje sınırı olarak tanımlanmaktadır. Kenar ve yüzey görünümü objeyi tanımlayan en önemli unsurlardır. Objenin tanımlanma prensibi Şekil 6' da gösterilmiştir.



Şekil 5. Çeşitli nesne gösterimleri: a) Objenin merkezi, b) Nokta kümesi, c) Dikdörtgen, d) Obje dağılımı, e) Eliptik ve f) Obje yüzeyi (Yılmaz, Javed ve Shah, 2006).

Obje takibi için, görüntü üzerindeki objenin önce algılanması, ardından takibini yapmak istediğimiz obje olup olmadığını denetlemek için obje tanıma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu işlemler tamamlandığında objenin hareketi video görüntüleri üzerinden izlenmektedir.

### 1.3.3. Obje Takip Özellikleri

Renk, kenar algılama, obje doku bilgisi ve optik akış obje takibi için ortak özellikler olarak ifade edilebilir. Bu özellikler aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

**Renk:** Bir objenin renginin belirlenmesi iki faktöre bağlıdır. Bunlar; aydınlatmanın spektral güç dağılımı ve ışınların, objenin yüzeyinden yansmasıyla ortaya çıkan renk faktörüdür. Üç renk alanı RGB (kırmızı, yeşil, mavi), bir objenin rengini temsil etmek için görüntü işlemede yaygın olarak kullanılmasına rağmen, obje takibinde kullanılabilecek çeşitli renk uzayları vardır (Yılmaz, Javed ve Shah, 2006).

**Kenar Algılama:** Kenar algılama özelliği, bir görüntünün yoğunluğundaki güçlü değişkenlikleri tanımlayabilir. Bu özellik, aydınlatma şiddetinde oluşacak değişkenler ile renk tabanlı obje algılama yönteminden daha hassastır (Yılmaz, Javed ve Shah, 2006).

**Obje Doku Bilgisi:** Bu özellik, bir yüzeyin yoğunluk değişiminin bir ölçüsü olarak, bir nesnenin düzgünlüğünü ve düzenini açıklamaktadır. Bu özellik kenar algılama özelliğine benzer ve renk özelliğinin aydınlatma varyasyonuna göre daha az duyarlıdır (Yılmaz, Javed ve Shah, 2006). En önemli ve sağlam doku özelliği tanımlayıcılarından biri Gabor filtrelemesidir. Bu filtreleme, kenar ve çizgi dedektörleri için yönlendirme ve ölçek değişmezliği olarak görülebilir. Bu özelliklerin belirli bölgede uygulanması temel doku bilgisini karakterize etmek için önemlidir (Manjunath ve Ma, 1996).

**Optik Akış:** Bu yöntem, vektör yer değiştirmeleriyle dolu bir alandır ve bir bölgedeki her pikselin dönüşümünü temsil etmektedir. Optik akış, ardışık karelerde karşılık gelen piksellerin parlaklık tutarlılığı varsayılarak hesaplanmaktadır. Hareket tabanlı bölümlendirme ve hareket tabanlı izleme, optik akış özelliğinde iki yaygın uygulamadır. Çalışmada kullanılan kalman filtreleme, blob analiz algoritmaları, optik akış prensibi ile çalışarak görüntü üzerinden hareketli objeleri, her bir saniyede değişen piksel değerlerindeki değişkenlikler aracılığı ile tespit etmektedir. Bu tespit, blob analiz yöntemindeki karesel sınırlayıcının ne kadar boyutta alan tarayacağı bilgisi girilerek görüntü üzerinde hareket eden objelerin çıkarılması işlemidir (Yılmaz, Javed ve Shah, 2006).

#### **1.4. Objeye Algılama**

Görsel objeye algılama, genel olarak objeye tanıma olarak düşünülürken aklımıza gelen ilk şeydir. Kalabalığın içinden bir insanı, gazete okurken içerisindeki görsel bilgileri veya araç kullanırken yol çevresindeki tabelaları tanıyoruz. Benzer eylemler dizisi her gün yüzlerce ve binlerce kez gerçekleştirilmektedir. Teknolojinin gelişimi ile bilgisayarlarda görüntü ve video işlenmeye başlandığında, bu görevlerin otomasyonu için yeni yöntemler geliştirildi. Bununla birlikte, otomatik objeye algılama ve tanıma hâlâ zor bir iş ve bu alanda uzun süre araştırma yapılmasına rağmen sınırlı bir ilerleme kaydedilmiştir. İnsanların tanımlama yeteneği, mevcut bilgisayar algoritmalarının çoğuna kıyasla çok daha verimli ve zahmetsizdir.

Objeye algılama yönteminin kalitesi, görüntülerdeki objeye çeşitliliği ile başa çıkabilmektir. Görüntüler normal olarak, problem kısıtlamaları ile daha fazla kısıtlanmadıkça, gerçek görüntü, bütün görünüşünü etkileyen değişken poz, ölçek ve aydınlatmada, tek biçimli, muhtemelen dağınık arka plandaki ilgilenilen objeye gösterebilir. Bazı uygulamalarda sadece hedef nesnenin tespit edilmesi, nesneye özgü bir kimliğin de

tespit edilmesidir. Sınıflandırma, özellikle aynı nesne kategorisinde çok sayıda benzersiz fakat benzer örnekler bulunduğunda, tespit etmekten çok daha zor bir iştir. Algılama ve tanımlama arasında açık bir ayrım yoktur, ancak sırayla gerçekleştirilse bile, tanımlama güçlü bir şekilde algılamaya bağlı olabilmektedir. Bir hareketin devreye girdiği ve sahnenin zaman içinde değiştiği bir video bağlamında, hareket izleyici de gerekli olmaktadır. Gerçek sorunun özelliklerine bağlı olarak, izleme yalnızca hedefin hareketini, geçici görünüm değişkenliğini veya her ikisini modellemek için farklı seviyelerde uygulanabilmektedir (Alizadeh, 2015).

Objeye algılamaya yönelik popüler bir yaklaşım, hedef objeleri içeren belirgin bölgeleri bulmak için ilk önce ham görüntünün işlenmesidir. Daha fazla analiz sadece bulunan ilgi bölgelerinde gerçekleştirilebilmektedir. Bu tür bölgelerin keşfi, genel olarak, bağımsız renk değerleri, kenarlar veya gradyan yönleri ve büyüklükleri gibi, düşük seviyeli belirli özelliklerin ham görüntüden çıkarılmasını amaçlayan basit görüntü filtreleme ile gerçekleştirilmektedir. Eğer bu filtreleme tekniği yetersiz ise daha gelişmiş bir filtreleme veya bu filtreleme tekniğine yardımcı ek filtreleme tekniği uygulanabilmektedir (Alizadeh, 2015). Bu çalışmada, görüntü üzerinden objelerin tespitinde ilk filtreleme tekniği olarak kalman filtreleme kullanılmış, obje tanımda meydana gelen yetersizlikten ötürü kalman filtrelemeye ek Blob analiz yöntemi de projeye dâhil edilmiştir. Bu yöntemler, sabit kameralar, sabit levha, sadece levha üzerinde hareket eden objelerin tespiti için kullanılmıştır. Bunun nedeni, kullanılan filtreleme tekniklerinin, önceki ve sonraki görüntü arasındaki farkı ve nesnenin şekli ve boyut bilgisi göz önüne alınarak nesne tespit işlemini gerçekleştirmesidir.

### **1.5. Objeye Tanıma**

Tespit, özel bir sınıflandırma problemi olarak düşünülebilir. Bunlar; hedef ve arka plandır. Bazı uygulamalarda çözülmesi gereken sorun, yalnızca hedef sınıfın anonim örneklerinin yakalanması gereken şekilde tanımlanmasıdır. Örneğin, görüntü üzerinden tespiti yapılmak istenen nesnenin, program içerisine nesneye ait farklı açılardan görüntüleri konularak nesnenin, görüntü üzerinden tespiti sağlanır. Bu yöntem, temelde görüntü üzerindeki nesnenin veri tabanındaki görüntüleri ile karşılaştırılması ile nesne görüntü üzerinden tespit edilir. Bu çalışmada bu yöntem iş yükü ve zaman kaybı olmaması için

kullanılmamıştır. Bunun yerine, blob analiz yöntemi ile tespiti yapılmak istenen nesneye ait boyut bilgileri kullanılarak obje tanıma işlemi gerçekleştirilmiştir.

### 1.6. Kalman Filtreleme

Ersöz' e (2007) göre Kalman Filtresini iyi anlaşılabilmesi, bir ölçü aletine sahip olunduğu ve bu ölçü aletiyle  $t_1$  anında yapılan ölçmenin değerinin  $z_1$  olduğu düşünülün. Ancak, aletsel veya kişisel etkilerden dolayı  $z_1$  ölçmesinin  $\sigma_{z_1}$  gibi bir standart sapması olması kaçınılmazdır. Böylece  $t_1$  anındaki  $x_1$  değerinin  $z_1$  ölçme şartına bağlı olasılığı tahmin edilebilir. Ölçümün  $\sigma_{z_1}$ ' in değerinin büyüklüğü bize hatanın bu ölçüm içindeki miktarını gösterir.  $\sigma_{z_1}$  değerinin büyük olması olasılıklı değer in  $x$  değeri boyunca geniş bir alana yayılmasına neden olacaktır. Başka bir ifadeyle, bu ölçü aletinin, ölçüm kalitesinin iyi olmadığını gösterir. Sonuç olarak  $t_1$  anı için en iyi kestirim (21) ifadesi ile;

$$\bar{x}=z_1 \quad (21)$$

ve bu kestirimin varyansı (22) nolu eşitlikten;

$$\sigma_1^2=\sigma_{z_1}^2 \quad (22)$$

şeklinde hesaplanabilir. Bu arada  $t_2$  anında  $\sigma_{z_2}$  standart sapmasına sahip bir ölçüm aleti ile  $z_2$  ölçmesi yapılmış olsun. İkinci ölçüm aletinin standart sapması ilkinden küçük olduğu düşünülün. Bu durumda  $z_2$  şartına bağlı ve ilkinin göre daha dar bir olasılık eğrisi oluşacaktır (Ersöz, 2007).

Yapılan ikinci ölçme birincisinden daha doğru olduğu için sinyalin büyüklüğünün kestirimi olarak  $z_2$  kabul edilebilir. Fakat her iki ölçmeyi kullanarak  $z_1$  ve  $z_2$  ölçmelerine bağlı olarak yeni bir kestirimde bulunabilir.  $z_1$  ve  $z_2$  ölçmelerine bağlı olarak yeni kestirimin matematiksel beklentisi aşağıdaki denklem (23 ve 24) gibidir (Ersöz, 2007).

$$E(x)=\mu=\left(\frac{\sigma_{z_2}^2}{\sigma_{z_1}^2+\sigma_{z_2}^2}\right)+\left(\frac{\sigma_{z_1}^2}{\sigma_{z_1}^2+\sigma_{z_2}^2}\right)m_2 \quad (23)$$

$$\frac{1}{\sigma^2}=\frac{1}{\sigma_{z_1}^2}+\frac{1}{\sigma_{z_2}^2} \quad (24)$$

Yeni kestirimin sapması  $\sigma$ , hem  $\sigma_{z1}$ 'den hem de  $\sigma_{z2}$ 'den küçük olacaktır ve bu yeni kestirimin her iki ölçmeden de daha doğru olacağı kesindir. Buna göre yeni ölçüm değeri (25) nolu eşitlik ifadesi ile belirlenir.

$$\check{x}_1 = \mu \quad (25)$$

Son iki ifadeyi kullanarak aşağıdaki denklem yazılabilir.

$$\check{x}_2 = \mu = \left( \frac{\sigma_{z2}^2}{\sigma_{z1}^2 + \sigma_{z2}^2} \right) z_1 + \left( \frac{\sigma_{z1}^2}{\sigma_{z1}^2 + \sigma_{z2}^2} \right) z_2 \quad (26)$$

$$\check{x}_2 = z_1 = \left( \frac{\sigma_{z1}^2}{\sigma_{z1}^2 + \sigma_{z2}^2} \right) (z_2 - z_1) \quad (27)$$

$\check{x}_1 = z_1$  düşünülürse Kalman Filtresinin temel formu aşağıdaki gibi yazılabilir.

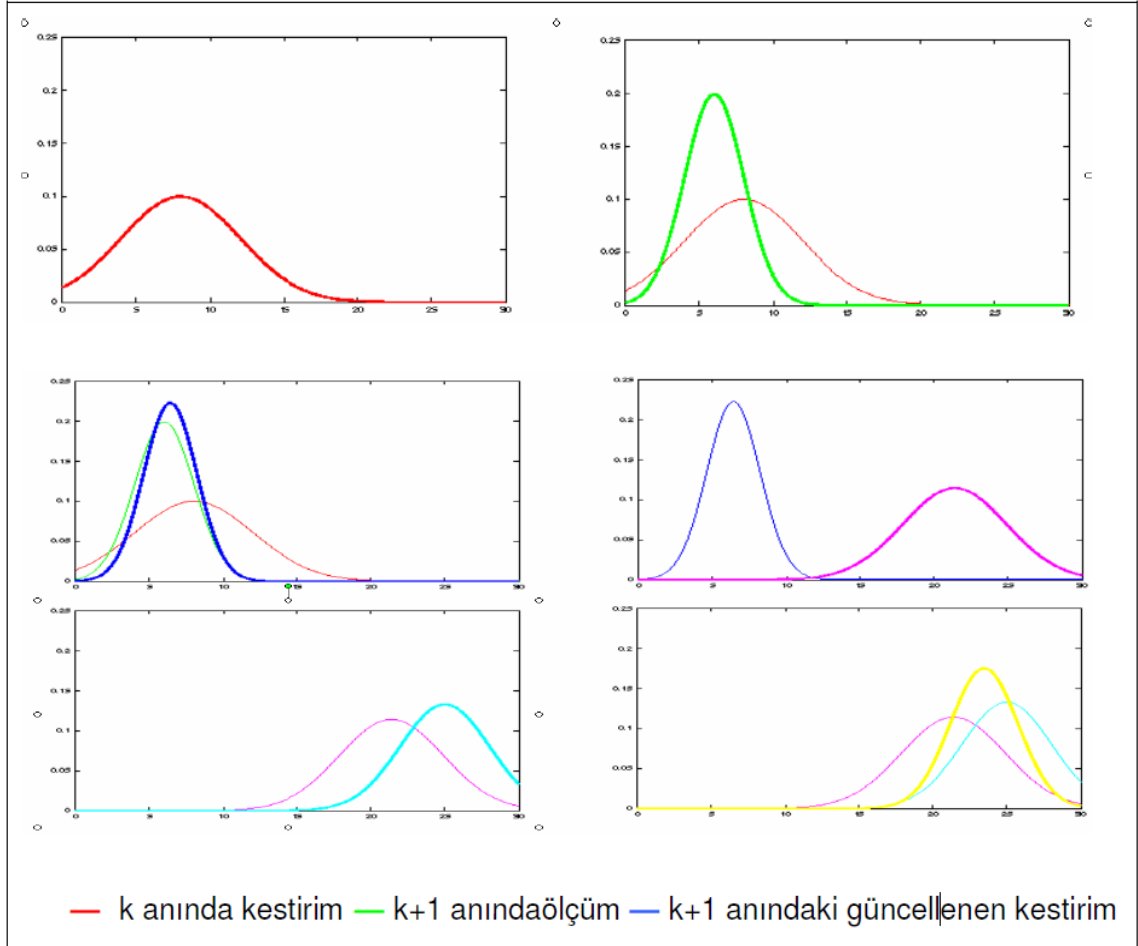
$$\check{x}_2 = \check{x}_1 + K(m_2 - \check{x}_1) \quad (28)$$

$$K = \left( \frac{\sigma_{z1}^2}{\sigma_{z1}^2 + \sigma_{z2}^2} \right) \quad (29)$$

Burada  $K$  Kalman Filtresi kazancıdır. Böylece bir kestirim problemi çözülebilir. Gerçek uygulamalarda ise durum vektörleri dinamik olarak değişen daha fazla değişkenlere sahiptir (Ersöz, 2007).

Durum geçişlerinin ve ölçüm durumlarının doğrusal olduğu, bunlarla ilişkili belirsizliklerin Gaus dağılımlı olduğu sistemlerde sistemin ölçülemeyen durumlarını tahmin etmek için Kalman filtresi kullanılabilir. Durum uzayı modeli ile gösterilen bir dinamik sistemin durumları modelin önceki bilgilerinden tahmin edilebilir (Ersöz, 2007).





Şekil 6. Kalman filtresinde kestirim, ölçüm ve güncelleme adımları (Ersöz, 2007).

Kalman filtresi teorik olarak doğrusal gaus problemi olarak bilinen bir tahmin yöntemidir. Gaus problemi beyaz gürültü tarafından bozulan doğrusal, dinamik bir sistemin o anki konumunun tahmini problemidir. Beyaz gürültü doğrusal sistemdeki ölçme hatalarındaki düzensizlikleri kapsar. Kalman filtresi doğrudan ölçülemeyen verilerin elde edilmesini de sağlar. İnsanların kontrol edemediği dinamik sistemlerin, örneğin sel sırasında nehirlerin akışı, uzaysal cisimlerin hareketleri gibi gelecekteki konumlarının önceden tahmini için de kullanılır.

Rastgele hatalar içeren dinamik bir sistemin parametrelerinin kestirim işlemi bu filtre ile belirli zamanlarda alınan ölçümler yardımıyla bilinmeyen durum vektörünün minimum varyanslı en uygun doğrusal kestirimi için yinelemeli bir algoritma oluşturur. Durum kestirimini en küçük karesel hata yöntemi ile sağlamaya çalışır. Öngörü ve güncelleme olmak üzere iki adımlı bir çevrimdir. Kalman filtresi iki modele bağlıdır (Ersöz, 2007).

$$X^{(k+1)}=AX^{(k)}+BU^{(k)}+w^{(k)} \quad (30)$$

$$Z(k+1)=Hx(k+1)+v(k+1) \quad (31)$$

A: Sistemin durum geçiş matrisi

X (k): Sistem durumları

W(k): Sistem gürültüsü

u(k): Kontrol girişı

Z(k): k anında alınan ölçümler

H: Ölçüm matrisi

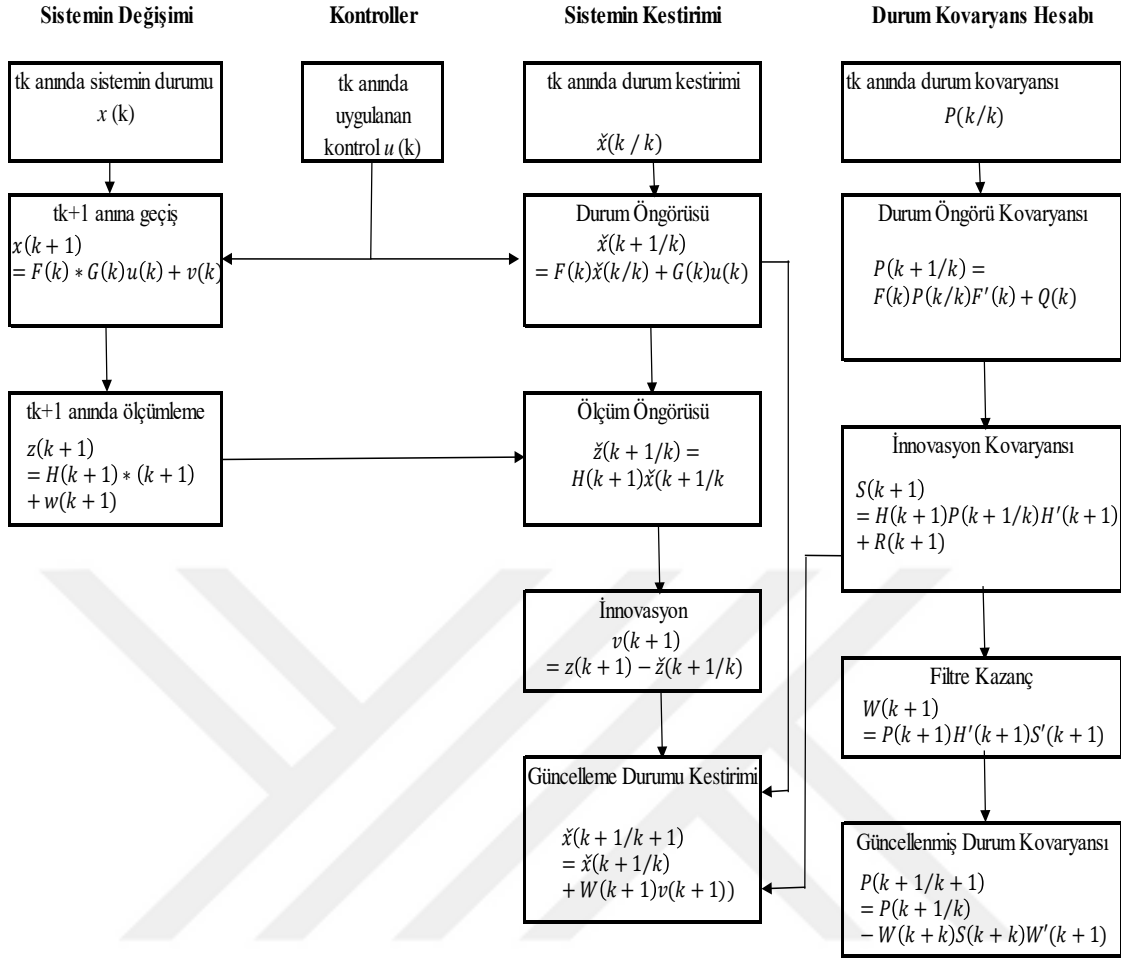
v(k): Ölçüm gürültüsü

(30) nolu denklem eşitlik sistemin fiziksel durumunu ifade eder. (31) nolu denklem eşitlik sistemin (k+1) ayrık anındaki durumuna bağlı olarak gözlemi temsil eder. A durum geçiş matrisi ve H gözlem matrisi ayrık zaman indeksi k'ye bağlı değildir. Bu şekilde ifade edilebilen bir sistem zamanla değişmeyen doğrusal bir sistemdir. Bir sonraki durum ve gözlem öncekinin doğrusal bileşimidir (Ersöz, 2007).

### 1.6.1. Algoritmanın Aşamaları

Kalman filtresi, bir tür geri besleme kullanarak bir işlemin adımlarını tahmin etmektedir. Filtre, işlem durumunu belli bir zamanda tahmin etmekte ve daha sonra geri beslemeyi gürültülü ölçümler şeklinde elde etmektedir. Bu durumda kalman filtresinin denklemleri zaman güncelleştirme denklemleri ve ölçüm güncelleştirme denklemleri olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. (Ersöz, 2007).

Zaman güncelleştirme denklemleri sonraki adımında gerekli olan önceden saptanan tahminleri elde etmek için mevcut durum ile hata kovaryans tahminlerinin zaman içerisindeki ileri projeksiyonundan sorumludur. Zaman güncelleştirme denklemleri geri beslemeden sorumludur. Bunlar düzeltici denklemler olarak düşünülebilir (Ersöz, 2007).



Şekil 7. Kalman filtresinin döngüsü (Ersöz, 2007).

### 1) Öngörü Aşaması

Öngörü aşamasında bir kinematik model ile birlikte geçmiş zamandaki konumlama bilgileri temel alınarak bir sonraki ölçüm periyodu için beklenen konum koordinatları ve doğrulukları hesaplanır. Durum kestirimi ve kestirim kovaryansı hesabı elde edilir (Ersöz, 2007).

### 2) Güncelleme Aşaması

Alınan  $z$  ölçüm kümesi ile yenilenme terimi hesaplanır. İnnovasyon kovaryansı, kalman kazancı elde edilerek güncellenmiş durum kestirimi ve güncellenmiş kovaryans matrisi değerleri belirlenir (Ersöz, 2007).

## 1.6.2. Kalman Filtresinin Bileşenleri

### 1.6.2.1. Sistem Modeli Gürültü Süreçleri İçin Yapılan Varsayımlar

Sistem modelinde, durum-uzay denkleminde görülen  $w(k)$  durum gürültüsü ve gözlem denkleminde görülen  $v(k)$  gözlem gürültüsü için yapılan varsayımlar Kalman filtresindeki öngörünün kurulabilmesini ve optimal kestirimler elde edilmesini sağlayan varsayımlardır. Gürültü süreçleri  $w(k)$  ve  $v(k)$  bağımsız sıfır ortalamalı normal dağılım süreçleridir. İstatistiksel özellikleri için aşağıdaki denklemler yazılabilir (Ersöz, 2007).

$$E[w(k)]=0 \quad (32)$$

$$E[v(k)]=0 \quad (33)$$

$$E[w(k)v(k)]=0 \quad (34)$$

Gürültü süreçlerinin kovaryans matrisleri olan  $Q$  ve  $R$  matrisleri hata kovaryansının iletimi ve yenilenme kovaryansının bulunmasında kullanılan köşegensel matrislerdir. Kovaryans matrisleri gürültüde mevcut olan gücü temsil ederler. Ayrıca denklem, (32, 33 ve 34) ifade edildiği üzere durum gürültüsü ve gözlem gürültüsü arasında herhangi bir ilişki mevcut değildir (Ersöz, 2007).

### 1.6.2.2. Kalman Filtresinde Optimallik Ölçütü

Belirli koşullar altında bir maliyet işlevini minimize eden veya bir performans işlevini maksimize eden herhangi bir sistem optimaldir. Kalman filtresinde kestirim hatalarına bağlı bir maliyet işlevi minimize edilerek kestirimler ön yargısız kestirimler üretilir. Ön yargısız bir kestirim hatasının beklenen değeri sıfır olan kestirimdir. Bu da optimal bir filtrede aranan özelliktir. Kestirim hatalarını aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir (Ersöz, 2007).

$$\tilde{x}(k+1/k)=x(k+1)-\hat{x}(k+1/k) \quad (35)$$

$$\tilde{x}(k+1/k+1)=x(k+1)-\hat{x}(k+1/k+1) \quad (36)$$

Son denklemde Kalman Filtresindeki kestirim güncelleştirme işlemi esnasında oluşan hata temsil edilir. Kalman filtresinde minimize edilecek hata işlevi güncelleştirilmiş kestirimlerdeki hata işlevidir. Bu güncelleştirme (37) nolu denklemde görülmektedir (Ersöz, 2007).

$$\tilde{x}(k+1/k+1) = \tilde{x}(k+1) - W(k+1)v(k+1) \quad (37)$$

$$v(k+1) = [z(k+1) - H.\tilde{x}(k+1/k)] \quad (38)$$

$$z_k = H.\tilde{x}(k+1) \quad (39)$$

Eşitlik 37’da görülen “W” Kalman kazancını temsil eder. Kestirimin güncellenmesi için kazanç değerleri belirlenmelidir. Kalman kazancı güncelleştirilmiş kestirim hatası kovaryansını minimize eden değerdir (Ersöz, 2007).

$$W: \min_K \{ J(k+1) = E[\tilde{x}(k+1/k+1)^T . \tilde{x}(k+1/k+1)] \} \quad (40)$$

(40) nolu eşitlikte yinelemeli Kalman döngüsünün optimal kestirimler üretmesini sağlayan maliyet işlevi ele alınmaktadır (Ersöz, 2007).

### 1.6.2.3. Hata Kovaryansları

Hata kovaryansları kestirim hatasının beklenen büyüklüğü konusunda bilgi taşır. Hata kovaryans matrisleri (41) ve (42) nolu eşitlikteki gibi yazılabilir.

$$P(k+1/k) = E[\tilde{x}(k+1/k)^T . \tilde{x}(k+1/k)^T] \quad (41)$$

$$P(k+1/k+1) = E[\tilde{x}(k+1/k+1) . \tilde{x}(k+1/k+1)^T] \quad (42)$$

Son denklemde görülen hata kovaryans matrisi kestirim güncelleştirme sonucunda oluşan hatanın kovaryansını temsil eder.

### 1.6.2.4. İnnovasyon Terimi

Yenilenme gözlem ve gözlemin beklenen değeri arasındaki farktır (Ersöz, 2007).

$$v(k+1) = z(k+1) - E[z(k+1)] \quad (43)$$

Kalman filtresinde yenilenme kovaryansı (44) nolu eşitlik ile temsil edilir (Ersöz, 2007).

$$S(k+1) = HP(k+1/k)H^T + R(k+1) \quad (44)$$

Yenilenme değerinin kovaryansı Kalman kazanç matrisinin hesabında kullanılır (Ersöz, 2007).

### 1.6.2.5. Kalman Kazançları

Kalman maliyet işlevini minimize eden değerler kazanç değerleridir. Kalman maliyet işlevi hata kovaryansları cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Ersöz, 2007).

$$W: \min_k \{ J(k+1) = \text{trace} P(k+1/k+1) \} \quad (45)$$

Denklem (45), bize güncelleştirilmiş hata vektörünün izinin minimize edilmesi gerektiğini söyler. Bunu yapmak için  $J(k+1)$ 'in "k" kazanç değişkenine göre kısmi türevini alarak sıfıra eşitlemek gerekir. Türev alma işlemi sonucunda ortaya çıkan denklemin çözümü ile "k" kazancının optimal değeri elde edilebilir (Ersöz, 2007).

$$W(k+1) = P(k+1/k)H^T S^{-1}(k+1) \quad (46)$$

Denklem incelendiğinde kazanç değerinin ayırık zamanın bir işlevi olduğu görülebilir (Ersöz, 2007).

### 1.6.2.6. Kalman Denklemlerinin İncelenmesi

Kalman denklemleri yinelemeli yapıdadır. Kalman filtresi kestirimin ayrıntılı bir hata analizini yaparak her bir yinelemede optimal kazanç değerini hesaplar. Kalman döngüsünün başlatılması için bir başlangıç kestirimine  $\hat{x}(0/0)$  ve başlangıç hata kovaryans matrisine  $P(0/0)$  gerek duyulur. Kalman filtresinin optimal kestirimler yapabilmesi için başlatma işleminin dikkatli yapılması gerekir. Kalman denklemleri Tablo 1'de toplu olarak sunulmaktadır (Ersöz, 2007).

Tablo 1. Kalman filtresi denklemleri

1. Başlangıç kestiriminin girilmesi ve başlangıç hata kovaryansının hesaplanması	$\hat{x}(0/0), P(0/0)$
2. Kestirimin iletimi	$x(k+1/k) = Ax_k + Bû_k$
3. Yenilenme tesriminin hesaplanması	$v(k+1) = z(k+1) - Hx(k+1/k)$
4. Hata kovaryansının iletimi	$p(k+1/k) = AP_kA^T + BU_kB^T + Q_k$
5. Yenilenme kovaryansının bulunması	$S(k+1) = HP(k+1/k)H^T + R(k+1)$
6. Kalman kazancının hesaplanması	$W(k+1) = P(k+1/k)H^TS^{-1}(k+1)$
7. Güncelleştirilmiş kestirimin elde edilmesi	$x(k+1/k+1) = x(k+1/k) + W(k+1)v(k+1)$
8. Hata kovaryansının güncelleştirilmesi	$P(k+1/k+1) = P(k+1/k) - W(k+1)S(k+1)W^T(k+1)$

Özet olarak kalman filtresi, sistem durumu için yapılan ilk kestirimle başlatılır. Bu kestirimi ve yapılan gözlemi kullanarak tahmini kestirim üretir. Bu amaçla kestirim hata kovaryansına dayanan bir kazanç matrisi hesaplar. Kalman kazanç matrisi başlangıç bilgisi ve yapılan gözlem arasındaki ilişkiyi ortaya koyar.

Kalman kazancı hesaplandıktan sonra yapılan gözlem ve gözlemin beklenen değeri arasındaki fark kazançla çarpılır. Elde edilen değerler tahmini yapılan durum kestirimine eklenerek güncelleştirme sağlanır.

### 1.6.2.7. Kalman Filtresi Sonuçları

Durum kovaryans matrisi kestirimin doğruluğu hakkında bilgi veren bir ölçü olup veri ilişkilendirme sırasında pencereleme için gerekli bir parametredir. İlk adımda yapılan tahminler ne kadar doğru olursa olsun P kovaryansının değeri o kadar küçük olur. Tahmin

ne kadar hatalı ise innovasyon kovaryansı o kadar büyük olur, buna bağılı olarak filtre kazancı da büyük olacaktır. Bu dağılım zamanla öngörü-ölçüm-güncelleme aşamaları ile yayılır (Ersöz, 2007).

Kalman filtreleme modeli, rastgele hatalar içeren dinamik bir sisteme uygulanan en uygun parametre kestirim işlemidir ve belirli zamanlarda elde edilen ölçüler yardımıyla bilinmeyen  $x_k$  durum vektörünün minimum varyanslı en uygun doğrusal kestirimi için yinelemeli bir algoritma oluşturur (Ersöz, 2007).

Kalman filtreleme yöntemi öngörü ve güncelleme aşamalarından oluşmaktadır. Bir kinematik model ile birlikte geçmiş zamandaki konumlama bilgilerini temel alan öngörü adımında bir sonraki ölçüm periyodu için beklenen konum koordinatları ve doğrulukları hesaplanır. Filtreleme adımı, klasik en küçük kareler yönteminin uygulamasıdır. Yapılan en son ölçme periyodu ile birlikte tüm ölçülerin yeniden işlendiği güncelleme adımı gerçekleştirilir (Ersöz, 2007).

Çalışmada Kalman filtresi, MATLAB programı aracılığı ile video görüntüler üzerinden obje tespitinde önemli bir adımı teşkil etmektedir. Bu filtre, obje tanıma ve algılama algoritmaları, blob analiz katkılarıyla video görüntüleri üzerinden objelerin tespitini sağlar. Tespit, bir video görüntüsünün içerisindeki her bir görüntü teker teker kontrol edilerek, her bir görüntü bir sonraki veya bir önceki görüntü ile karşılaştırılarak aralarındaki farklılıkların obje olarak nitelendirilmesi işlemidir. Bu nitelendirme, obje tanıma, algılama ve blob analiz yöntemindeki karesel sınırlayıcı algoritması ile objenin görüntü üzerinden tespiti, bulunmasını istediğimiz objenin olup olmadığı sorusunun karşılığıdır. Doğru obje, obje tanıma, algılama ve blob analiz içerisinde tespiti yapılması istenilen obje ile ilgili bilgilerin girilmesi sonucu elde edilir. Genel olarak Kalman filtresi, video içerisindeki her bir görüntü taranarak, aralarındaki farklılıkların kalman filtre formülleri ile hesaplanarak ortaya çıkarılması işlemidir. Kalman filtreleme algoritmaları Ersöz' ün (2007) çalışmasından alınarak MATLAB programının bu filtreleme tekniğini arka planda nasıl kullandığının açıkça gösterimi için kullanılmıştır.

## 1.7. Blob Analiz

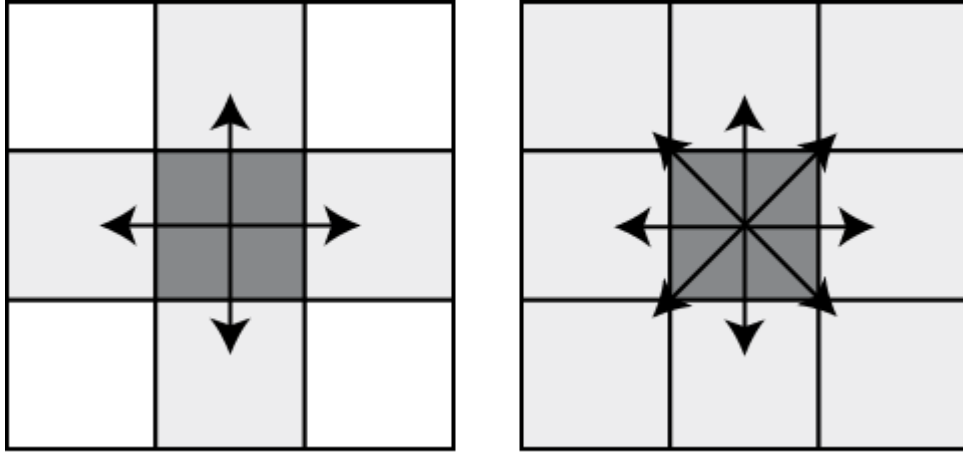
Blob kelimesi İngilizce Binary Large Object (İkili Büyük Nesne) ifadesinden gelmektedir. Blob birbirine bağılı piksellerin grup oluşturmasından meydana gelmektedir (Moesland, 2012).



Blob analizi, tutarlı görüntü bölgelerinin analizine dayanan temel makine ile görme tekniğidir. Bu nedenle, incelenen nesnelerin arka plandan açıkça ayırt edilebildiği uygulamalar için tercih edilen bir araçtır. Bu tekniğin ana avantajları arasında yüksek esneklik ve mükemmel performans bulunmaktadır. Sınırlamaları şunlardır: Net arka plan-ön plan ilişkisi gereksinimi ve piksel hassasiyetidir (Aydilek, 2015).

### 1.7.1. Piksel Bağlılığı

Aydilek 2015 yılındaki çalışmasında koordinatları  $p(x, y)$  ile ifade edilen pikselin dört yatay ve dikey komşusu olan  $(x+1,y)$ ,  $(x-1,y)$ ,  $(x,y+1)$  ve  $(x,y-1)$  koordinatlarına sahip pikseller ile olan bitişikliğine 4-bitişiklik denir. Eğer  $p(x, y)$  pikseli ayrıca dört köşegeninde bulunan  $(x+1, y+1)$ ,  $(x+1,y-1)$ ,  $(x-1,y+1)$ ,  $(x-1,y-1)$  koordinatlarına sahip komşu pikselleri ile bağlantılı ise bu duruma 8-bitişiklik denir. (Aydilek, 2015)



Şekil 8. Piksel bağlılığının görüntüsü her bir kare bir pikseli ifade etmektedir. 4- bitişik (solda) 8-bitişik (sağda) (URL-1)

### 1.7.2. Blob Özellikleri

Blob analiz yönteminde yer alan alan, sınırlayıcı kutu, sınırlayıcı çember, dışbükey sınırlayıcı, ağırlık merkezi ve çevresi bilgilerini tanımlamak blob analizin temelinde çalışma prensibini anlamamızı sağlayacaktır.

**Alan:** Bir blobun alanı o blobu oluşturan piksellerin sayısını ifade etmektedir. Bu özellik genellikle alan büyüklüğü filtrelemesi gibi küçük blobların filtrelenmesinde kullanılmaktadır (Aydilek, 2015).

**Sınırlayıcı Kutu:** Bir blobun sınırlayıcı kutusu, o blobu içeren minimum dikdörtgendir. Bir blobun sınırlayıcı kutusu o blobun resim koordinat düzleminde bulunan minimum ve maksimum x-y koordinatları ile bulunur. x koordinat düzlemindeki fark genişliğini ve y koordinat düzlemindeki fark uzunluğunu ifade eder (Aydilek, 2015).

**Sınırlayıcı Çember:** Blobun sınırlayıcı çemberi o blobu çevreleyen minimum yarıçaptaki çemberdir. Merkezi bulunan blobun, merkezinden blobun bitiş noktalarına doğru çizilir. Bu doğrulardan en uzun olanı o blobun sınırlayan minimum çemberin yarıçapını belirler (Aydilek, 2015).

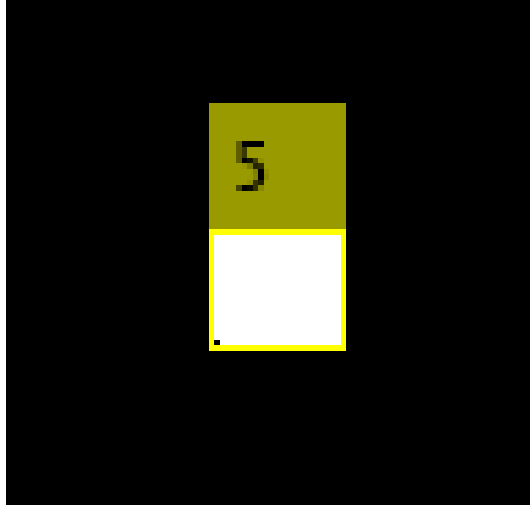
**Dışbükey Sınırlayıcı:** Bir blobun tamamını kapsayan en küçük dışbükey konveks poligondur (Aydilek, 2015).

**Ağırlık Merkezi:** Blobun resim koordinat düzleminde bulunan ortalama x ve y pozisyonudur. N adet pikselden oluşmuş bir blobun ağırlık merkezinin x ve y koordinatları aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir (Aydilek, 2015).

$$x_a = \frac{1}{N} + \sum_{i=1}^N x_i \text{ ve } y_a = \frac{1}{N} + \sum_{i=1}^N y_i \quad (47)$$

**Çevresi:** Blobun kenar uzunluğu olarak ifade edilebilir. Blobun kenar çizgisini oluşturan piksellerin sayısı sayılarak hesaplanabilir.

Bu çalışmada, karesel sınırlayıcı blob analiz yöntemi kalman filtreleme yöntemine entegre kullanılarak video görüntüsü üzerinden hareketli objelerin takibi sağlanmıştır. Takip edilen objelere ait resim koordinat bilgileri, bu yöntemler aracılığı ile tespit edilmiştir. Yapılan işlemler ile görüntüye ait iki boyutlu koordinat bilgisi, tespit edilen objelerin uzunluk bilgileri elde edilmiştir. 3B koordinat sistemine geçilebilmesi için, kameralara ait iç yöneltme parametrelerinin tespitinin yapılması gerekmektedir.



Şekil 9. Blob analiz yönteminde karesel sınırlayıcı ile obje tespiti

### 1.8. Bilgisayarlarla Görme

Bilgisayarla görme, bilim adamları için en ilginç konulardan biridir. Çünkü kameralardan alınan görüntüler üzerinden obje belirlenmesi, robot navigasyonu, karayolu trafik analizi gibi birçok uygulamada önemli rol oynar. Bilgisayarla görme sistemini aynı zamanda makine görme sistemi olarak da nitelendirebiliriz. Bu sistemlerin çalışma prensibi altı parametreye sahiptir. (Longoria, 2011). Bu parametreler:

- Görüntüler üzerinden nesne algılama,
- Görüntüler üzerinde meydana gelen parlak ışık, istenmeyen objeler gibi fazladan bulunan bilgilerin azaltılması süreci. Bu işleme gürültü azaltma işlemi de denir.
- Görüntüler üzerinden istenilen nesnelerin, diğer nesnelere ayrılması işlemleri.
- Objelerin özelliklerinin çıkarılması
- Objelerin tanınması,
- Tanınan objenin, yaya, araç, top, ...vb. özellik sınıfından hangisine ait olduğunun tanımlanmasının yapılmasıdır.

Çalışma, bilgisayarla görme programı olarak MATLAB, aynı özellikte iki adet kamera ile aynı zamanda aynı objeye çekilen görüntülerin içerisinde objelerin tespiti ve bu objelerin sanal üç boyutlu koordinat sisteminde gösterimini içermektedir.

## 1.9. Triangular Matris Dönüşümü

Triangular matris üçgen matris olarak da adlandırılabilir. Bu matris, bilgisayar bilimlerinde sıklıkla kullanılan veri yapılarıdır. Üçgensel matris gibi özel matris türleri için programlama dillerinde hazır yapılar bulunmamaktadır. Bir veri yapısı olarak üçgensel matris kullanıldığında programlama dilinden kaynaklanan bu eksiklik nedeniyle bellek ve zaman karmaşıklığı yönünden etkin olmayan yazılımlar kodlanmaktadır. Bu çalışmada, sol ve sağ kameradan çekilen video görüntüleri, frame (video oluşturan her bir resim) sayısı kadar değerlendirilip bir “t” anındaki görüntü üzerinden kalman filtreleme, blob analiz, obje algılama ve tanıma yöntemleri ile bulunan ve resim koordinatı çıkarılan objelerin kameralara olan uzaklıkları elde edilmiştir.

A karesel ve  $A=[a_{ij}]$  matrisinin ana köşegen altındaki elemanlar “ $a_{ij}=0$ ” için  $i > j$  ise, A matrisine üst üçgen (upper triangular) matrisi denir. Alt üçgensel matris (lower triangular matrix) ise “ $a_{ij}=0$ ” için  $i < j$  koşulunda, köşegenin üst kısmındaki elemanlar sıfır olduğu durumdur. Üçgen matrisler (triangular matrix) bilgisayar bilimleri için kritik öneme sahiptir. Çünkü bu tip matrisler literatürde var olan birçok sorunun çözümü için kullanılır (Berberler, 2018).

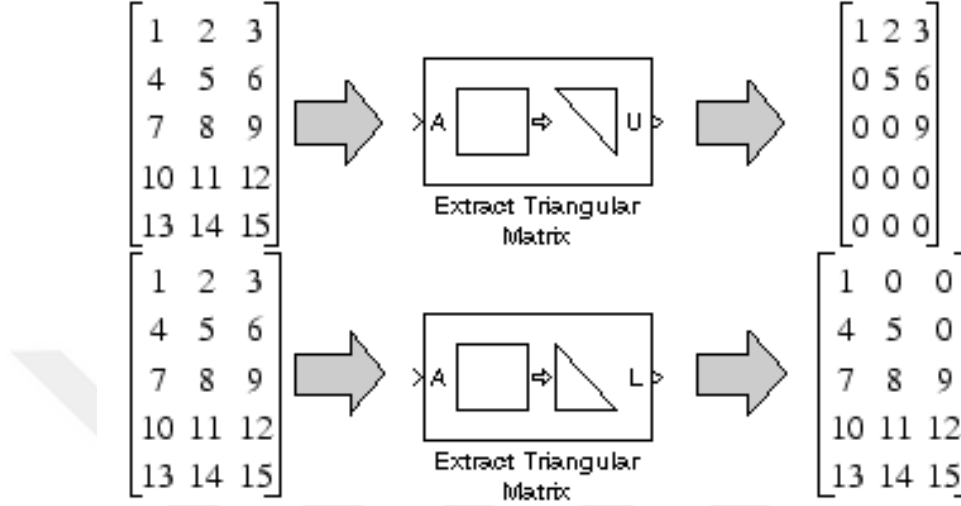
Bilgisayar oyunları, yüksek çözünürlüklü görüntüler kullandığından fazla miktarda veri yoğunluğu oluşturur. Bu nedenle, verilerin işlenmesi ve doğrusal denklem sistemlerinin çözümleri için triangular matris kullanılır (Berberler, 2017).

Üçgen tip matrisler kullanılmasının gereklilik ve bilgisayar programlama dillerinde mevcut olmamasının iki dezavantajı vardır. Bunlar;

- Matrisler kare matris formunda bilgisayar ortamında saklandığından fazla alan kaplar bu da bilgisayar için ekstra yük olduğundan programın verimliliğini azaltmaktadır.
- Üçgen matrislerin yapısı için işaretçiler kullanılarak pürüzlü diziler oluşturulmuşsa, işaretçi aritmetik kullanımı nedeniyle işlemler daha uzun zaman alır ve bu da programın etkinliğini düşürür.

Bu çalışmada MATLAB programı içerisinde kalman filtreleme, blob analiz, obje tanıma algoritmaları yardımıyla video görüntüleri üzerinden tespiti yapılan objelerin 3x3 boyutunda x, y resim koordinatlarına ek üçüncü sütunda dairesel objelerin çap bilgileri olacak şekilde sol ve sağ kameradan iki adet matris elde edildi. Bu matrisler triangular matris

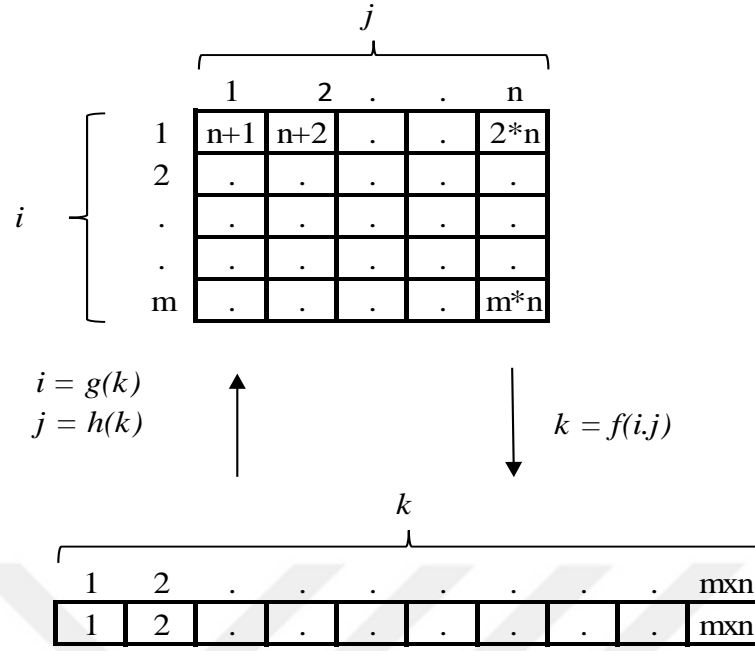
dönüşüm (Şekil 10) formülü kullanılarak 3x3 boyutunda objelerin x, y ve z (derinlik) bilgileri elde edildi.



Şekil 10. Triangular matris dönüşümü

### 1.9.1. Triangular Matris Dönüşüm Methodu

Üçgen matrislerin temsili için önerilen yöntem; iki boyutlu matrisleri tek boyutlu bir dizi olarak gösterilmesi temel yöntemidir ve tek boyutlu matrisin bellekte depolanması ve her bir hücrenin içeriğine erişim iki boyutlu matris hücrelerine erişim için kullanılan temel fikir ile aynıdır. İki boyutlu "mxn" boyutundaki matris ile tek boyutlu dizi elemanları arasındaki ilişki gösterimi Şekil 11'de ifade edilmektedir. Eğer istenirse tek boyutlu diziden iki boyutlu matrise dönüşümü mümkündür. Temel fikir; kullanılan bilgisayar programının matris hücrelerine erişimi için kullanılan yazılım veya programlama dilini ifade etmektedir. Çalışmada, hücrelere erişim programı olarak MATLAB tercih edilmiştir.



Şekil 11. İki boyutlu matrisin tek boyutlu matrise dönüşümü (Berberler, 2017).

Üçgensel matrisin basitçe anlaşılabilmesi için dönüşüm yönteminde karesel matris tercih edilmiştir. Matrisin hücreleri, matrisin hangi hücrelerinin dizinin hangi elemanı için olduğunu anlamak için Şekil 12’de görüldüğü gibi soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artan bir şekilde gösterilmiştir (Berberler, 2017).

$j$

		1	2	3	4	5
$i$	1	1	2	3	4	5
	2	6	7	8	9	10
	3	11	12	13	14	15
	4	16	17	18	19	20
	5	21	22	23	24	25

Şekil 12. 5x5 boyutunda karesel matris (Berberler, 2017).

Yöntem; basit bir ifade ile bir düzlemin bir çizgide izdüşümüne dayanır. Yani; birinci satırdaki değerler 0 (sıfır)’a indirgenir ve her bir satırdaki “j” sütun değerleri birinci satır “j” sütun değerlerinden çıkarılarak yeni matris elde edilir (Şekil 13).

		j				
		1	2	3	4	5
i	1	0	0	0	0	0
	2	5	5	5	5	5
	3	10	10	10	10	10
	4	15	15	15	15	15
	5	20	20	20	20	20

Şekil 13. “j” Sütun değerinden çıkarılarak oluşturulan yeni matris (Berberler, 2017).

Bu işlemlerin ardından her bir sıradaki hücelere karşılık gelen değerlerini elde etmek için,  $(i - 1) \times n$  formülünden açıkça görüldüğü gibi her bir satır (i) değeri kullanılabilir. Formül  $(i - 1) \times n$  değerine ilk başta çıkartılan (j) endeks değeri eklenerek iki boyutlu dizinin izdüşümü  $k = (i - 1) \times n + j$  formülü ile elde edilir (Berberler, 2017).

Üçgen matris tipi genellikle bilgisayar biliminde kullanılır. Ancak, programlama dillerinde bu tip matrislerin kullanımı için veri yapıları mevcut değildir. Bu yüzden, üçgen matrisler genellikle kare matris veri yapılarında depolanır ve bu da program veri tabanında veri karmaşıklığına, program tasarımının yetersiz kalmasına neden oluyor. Örneğin; üçgensel matris  $n \times n$  boyutunda karesel matris olarak saklanırsa, veri tabanında  $n(n + 1)/2$  boyutunda bir yer kaplar. Ancak,  $n(n - 1)/2$  formülünde gösterildiği kadar veri bilgileri etkisiz kalır ve bunlar da program veri tabanındaki karmaşıklığın oranının  $n \geq 50$  değeri için  $\% \left(50 - \frac{50}{n}\right)$  formülüne göre %50 veya daha fazla olmasına neden olur. Bu tür dezavantajların oluşmasını önlemek için üçgensel matrisler kullanılır. Üçgensel matrisin hücreleri, şekil 14’te görüldüğü gibi, sayıları soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru artan sayma sırasına göre etiketlenir (Berberler, 2017).

		j				
		1	2	3	4	5
i	1	1				
	2	2	3			
	3	4	5	6		
	4	7	8	9	10	
	5	11	12	13	14	15

Şekil 14. Triangular (üçgensel) matris (Berberler, 2017).

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

İnsanlar bile günlük yaşamlarında tanıma veya tanınma sorunu ile karşı karşıya kalmaktadır. Örneğin; hastalığın teşhisi gibi somut olmayan bir konu veya yüz tanıma gibi algılanabilir bir konu düşünürsek, her zaman çalışan bir çözüm için evrensel tarifin olmadığı görülmektedir. Kısaca, her tanıma sorunu farklılık içermektedir. Tanınacak gerçek varlık ne olursa olsun, doğal bir yaklaşım ilgilenilen nesneyi ayırt edici kılan bazı özelliklerin tanımlanmasını içermektedir. Etki alanı düzeyinde bilgiye dayalı olarak, bu tür ayırt edici özellikleri hemen belirlemek mümkündür. Ancak, bazı zamanlarda özellik alanı çok büyük olur ve verilerdeki ayırt edici kalıpları bulmak zor olabilir. Bu sorunların çözülebilmesi için veri tabanı, istatistiksel örüntü tanıma, makine öğrenmesi, yapay zekâ ve ilgili alanlardan gelişmiş veri analizi tekniklerinin kullanılması gerekmektedir.

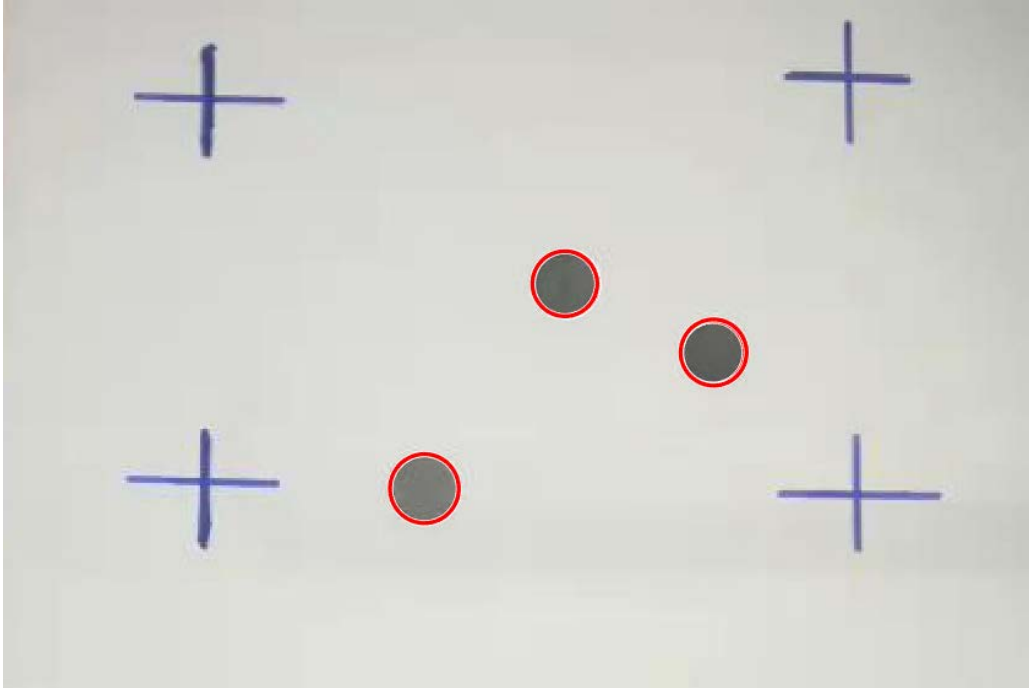
Objeye tanımlama, bu çalışmanın ana başlığı niteliğindedir. Çalışmada video görüntüleri üzerinden görsel nesne tanıma ve algılama incelenmiştir. Sunulan blob analiz, kalman filtreleme, obje tanıma ve takibi yöntemleri aynı zamanda video görüntüleri üzerinden insan, araç ve trafik tabelası tespiti ve sınıflandırılması gibi birkaç konuyu da ele almaktadır.



Şekil 15. Veri tabanındaki bilgiler ile görüntü üzerinden obje takibi



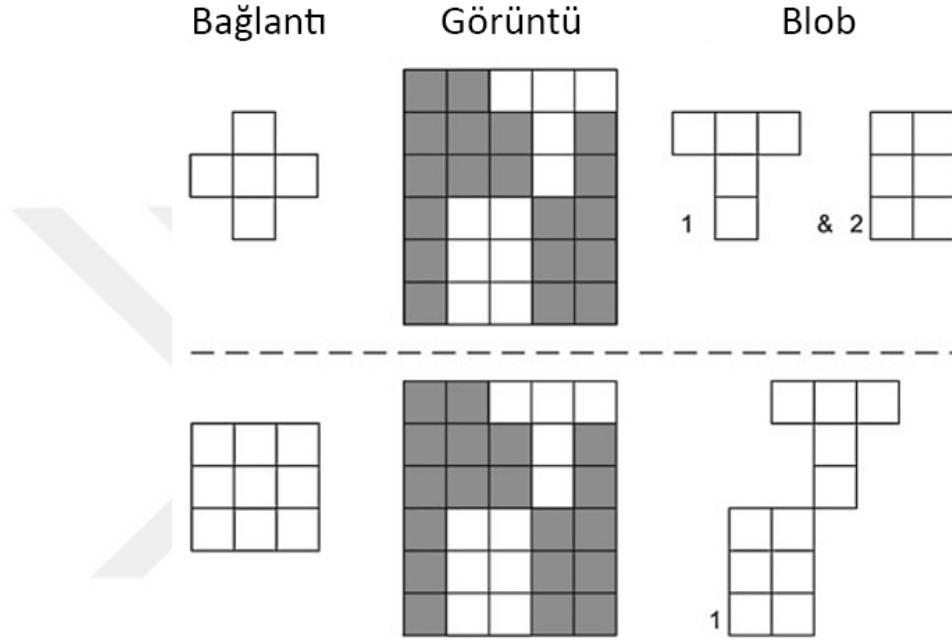
Şekil 15'te bilgisayarla görme teknolojisi yardımı ile trafik tabela tespiti sağlanmıştır. Bu tespit, "DUR" tabelasına ait görüntülerin farklı açılardan çekilmiş görüntülerinin veri tabanında saklanması ve kameradan çekilen görüntü üzerindeki nesnelere ile veri tabanındaki görüntülerin eşleştirilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Bu örnek, görüntü üzerinden tespit edilmesi istenilen objeye ait bilgiler kullanılarak obje tespiti niteliğindedir. Ancak, çalışmada görüntü üzerinde dairesel objelerin tespiti sağlanmak istediğinden herhangi bir veri tabanı bilgisine ihtiyaç duyulmamış, program veri bilgisi olarak dairesel objelerin maksimum ve minimum boyut bilgileri girilerek objelerin sınırlarının tespiti sağlanmıştır (Şekil 16). Tespit, sabit bir görüntü üzerinden obje bulmaya yönelik çalışmadır. Amaç; bu objelere video kaydı alınarak ve objelerin hareketlerinin video görüntüleri üzerinden de tespiti için objelere ait boyut bilgilerinin elde edilmesidir. Bu boyut bilgisi, kalman filtreleme ve blob analiz yöntemleri için kullanılarak, video görüntüleri üzerinden hareketli objelerin tespitini sağlayacaktır.



Şekil 16. Görüntü üzerinden dairesel objelerin tespiti

Blob analiz, video görüntülerini blob sınırlandırıcıları ile tarayarak görüntüler üzerinden obje tespiti yapılmasını sağlayan yöntemdir. Amaç; ikili görüntü üzerindeki nesnelere izole etmektir. Bu işlem, bağlı piksellerden oluşan blob ile iki pikselin bağlı olup

olmadığı, piksellerin birbirlerine komşu olup olmadığı durumunun bağlantı piksel grubu ile ortaya çıkarılmasıdır. En çok uygulanan iki bağlantı tipi şekil 18’de gösterilmiştir. Bunlardan sekiz bağlantı, dört bağlantıdan daha hassastır. Ancak, daha az hesaplama gerektirdiğinden dört bağlantı daha hızlıdır. İki bağlantı arasındaki farklılık şekil 17’deki “Bağlantı” noktasında gösterilmektedir.



Şekil 17. Blob bağlantı ve sınırlandırıcı bölge çıkarımı (URL-2)

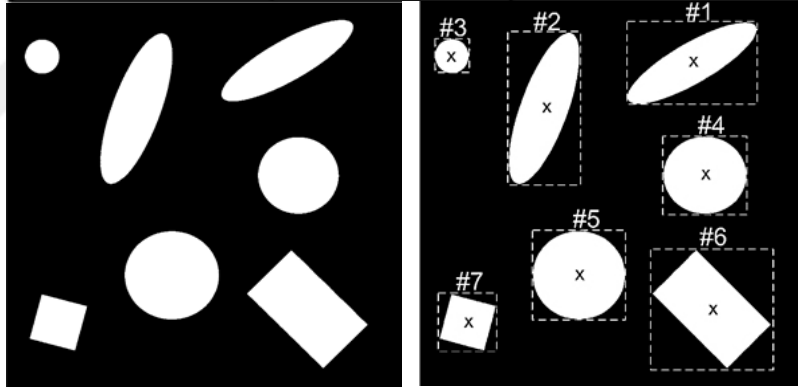
Blob çıkarma işlemi tamamlandığında görüntü üzerindeki objelerin sınıflandırılması işlemine geçilir. Sınıflandırma işlemi iki adımdan oluşur. Birincisi, her bir blob, belirtilmiş özellikler ile temsil edilir ve ikincisi, her bir blobun özelliklerini aradığımız nesne tipinin özellikleriyle karşılaştırmak için bazı eşleştirme yöntemleri kullanılır. Örneğin; dairesel objeleri bulmak için her bir blobun daireselliğini hesaplayabilir ve bunu görüntü üzerindeki dairesel objeler ile karşılaştırabiliriz.

Karesel veya dairesel blob sınırlandırıcılarının, minimum ve maksimum kutu boyutları girilerek ikili görüntü üzerinden bu boyutlar ile eşleşen blob taraması yapılır. Bu kutu boyutu ile aynı boyuta sahip nesnelere, ikili görüntü üzerinden tespit edilir. Sınırlandırıcı kutu boyutu ile aynı veya daha küçük boyutlarda obje tespit edilebilir. Bu objelerin boyutları 48 numaralı eşitliğinde belirlenir.

$$\text{Dairesellik} = \frac{\text{BLOB ÇEVRESİ}}{2\sqrt{\pi * \text{BLOB ALAN}}} \quad (48)$$

Objelerin blob sınırlandırıcılar ile tespiti sağlanan objelerin adet, alan ve dairesellik bilgileri Şekil 18’de gösterilmektedir.

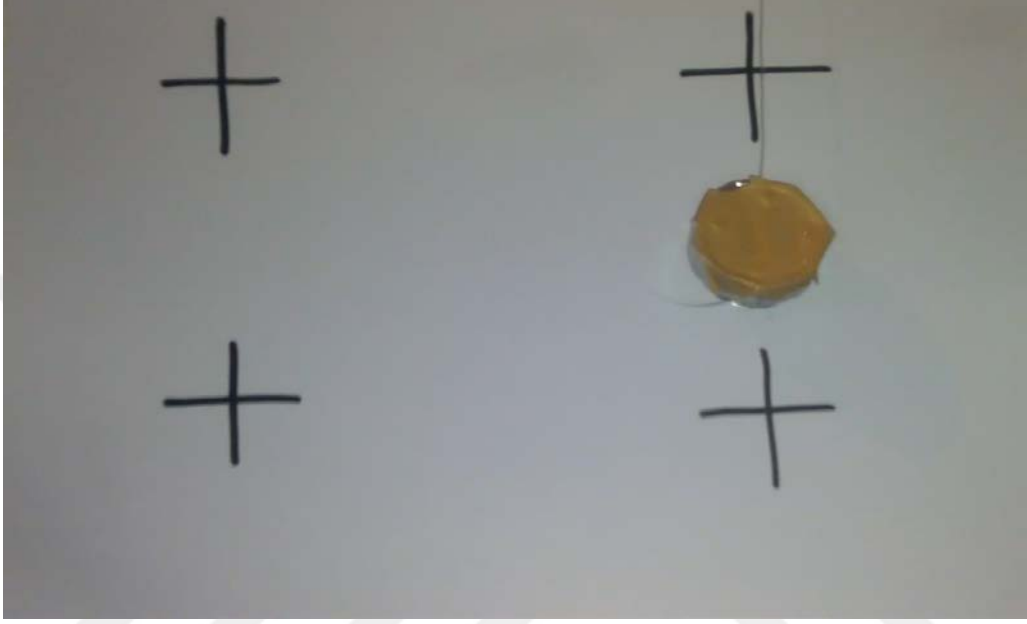
BLOB ADETİ	DAİRESELLİK	ALAN (PİKSEL)
1	0.31	6561
2	0.40	6544
3	0.98	890
4	0.97	6607
5	0.99	6730
6	0.52	6611
7	0.75	2073



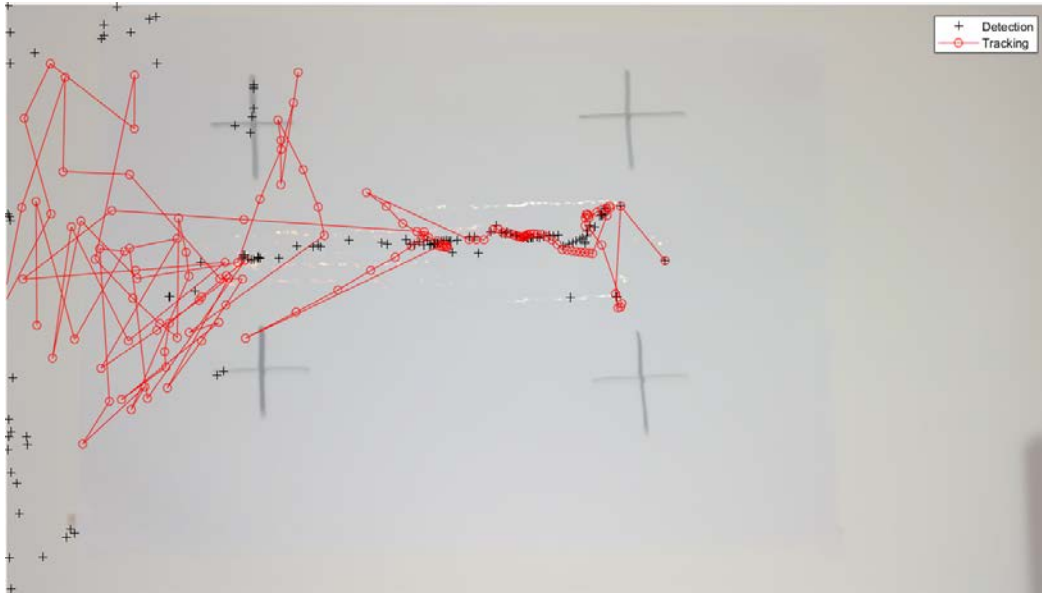
Şekil 18. Blob sınırlandırıcıları ile tespit edilen objelerin adet, alan ve dairesellik bilgisi (URL-2)

Kalman filtreleme, videoyu oluşturan her bir görüntünün birbirlerinden olan farklılıklarını tespit eder. Tespit, sabit kamera ile çekilen video görüntülerinde bulunan hareketli cisimlerin bulunmasını ifade eder. Buradaki problem, görüntü üzerinde tespiti yapılması istenmeyen hareketli objeler de yer alabileceği ihtimalinden dolayı bu filtreleme yöntemi, blob analiz yöntemi ile entegre çalıştırılır. Bu sayede görüntü üzerinde sınırlandırıcı alan oluşturularak tespiti yapılmak istenen hareketli objeye odaklanılmış olur. Örneğin Şekil 19’da gösterilen video kayıt örneğindeki objeyi sadece kalman filtresi

kullanarak takip işlemi gerçekleştirelim. Görüntü içerisindeki obje takibinde herhangi bir sınırlandırıcı kullanılmadığından program, video çekim anında oluşan kamera hareketleri nedeni ile görüntü üzerindeki her piksel farklılığı obje olarak nitelendirmiş ve hatalı obje takibi işlemine neden olmuştur. Sorunlu obje takibi Şekil 20’de gösterilmiştir.

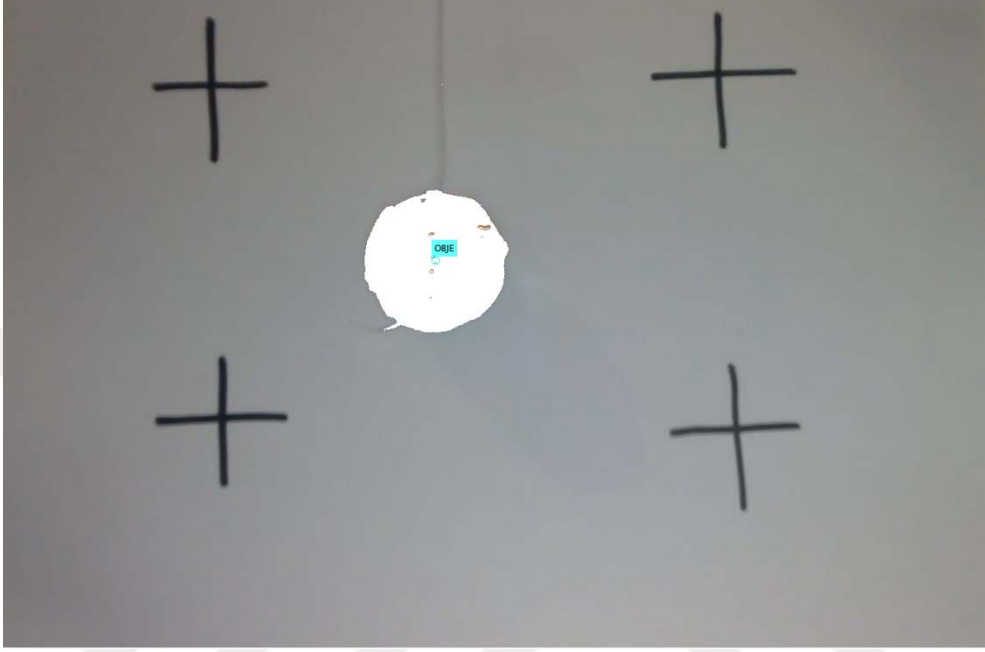


Şekil 19. Kalman filtresi ile takibi yapılacak obje görüntüsü



Şekil 20. Sadece kalman filtreleme ile obje takibi sonucu

Kalman filtrelemeye ek blob analiz ve blob sınırlandırıcılarının kullanımı ile Şekil 21’de görüntü üzerindeki obje tespiti sağlandı ve objenin hareket ettiği güzergâh Şekil 22’de gösterilmiştir.



Şekil 21. Kalman filtreleme ve blob analiz yöntemleri ile obje takibi

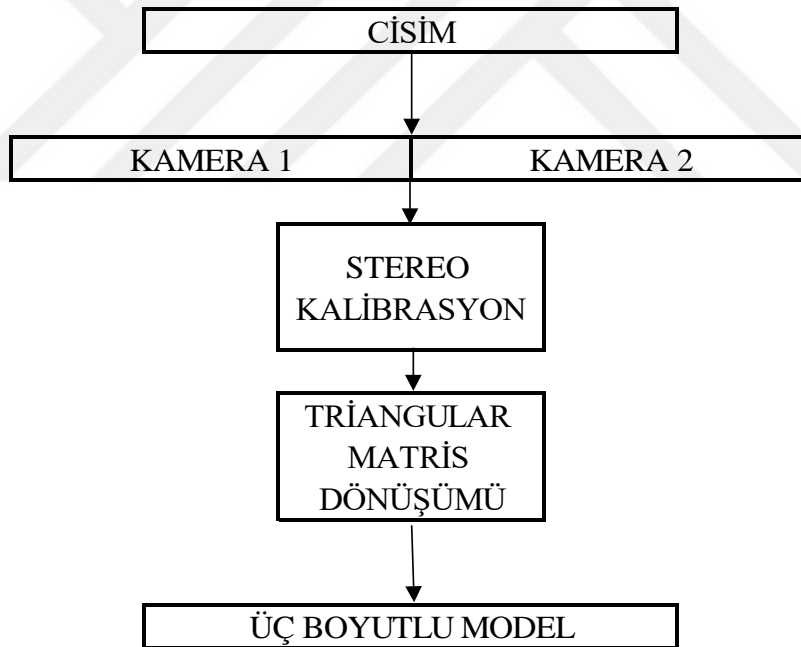


Şekil 22. Takibi sağlanan objenin izlediği yol

Bu çalışmada, aynı özellikli iki kamera kullanımı ile aynı nesneye eş zamanlı video kaydı alınarak nesnenin 3B koordinat bilgisinin elde edilmesi amaçlanmıştır. 3B koordinat bilgisinin elde edilmesinde kullanılan kamera, obje algılama, takip ve tanıma yöntemleri ile üçüncü boyut koordinat bilgisinin elde edilmesi için gereken triangular matris dönüşümü çalışmanın temelini ifade etmektedir.

## 2.1. Üç Boyutlu Obje Takibi İş Akışı

Sistem iki kamera ile kurulmuş olup, kamera sayısı arttırılabilir özelliktedir. Şekil 23'te gösterilen endüstriyel fotogrametrik uzman sistem işlem akışında önce kamera kalibrasyonunun yapılmasını ve numaralandırılmış her bir kameranın iç yöneltme ve distorsiyon değerlerinin önceden belirlenmesini gerektirmektedir.



Şekil 23. İş akış şeması

## 2.2. Ölçme Yönteminin Kurulumu

Fotogrametrik ölçme gelişen teknoloji ile birlikte günlük yaşantımızda yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle ölçüm yöntemi olarak cep telefonu kameralarının kullanılması ile yola çıkılarak hem konumuzla ilgili olmakla beraber hem de günümüzde kullanılan video

görüntülerinin fotogrametri alanında ölçüm yöntemi ile nasıl değerlendirildiğini görebilmektir.

Günümüz sanayisinde en önemli üretim yöntemi seri ve olanakların elverdiğince hatalardan arıtılmış üretilmektedir. Fabrika üretim şartları göz önüne alındığında video kaydı için kullanılacak kameranın, 3B koordinatlı obje (nesne) takibi için kullanılacak fotogrametrik ölçme hızı, veri işleme, değerlendirmesi ve ölçme doğruluğu açısından üretilen malın değerlendirilmesinde en uygun programın MATLAB programı olduğu yapılan araştırmalar sonucu keşfedilmiştir.

Dijital Endüstriyel Kontrol Sistemleri ilk yatırım maliyeti açısından çok pahalı olmalarına karşın, uzun süre kullanılabilirlikleri, üretimin kontrol ve hızını artırmaları açısından özellikle yüksek maliyetli imalat yapan sanayilerde (uçak motoru ve otomotiv sanayii gibi) tercih edilen sistemlerdir (Ergün, 2003). Dijital Fotogrametrinin üretim sektöründe geniş bir biçimde kullanılmasının en önemli nedeni, gerçek zaman veya gerçek zamana çok yakın (real time, near real time) üç boyutlu konum belirleme özelliğidir. Bu varsayımdan yola çıkılarak endüstriyel alandaki fotogrametrik kullanımını günümüz gelişen teknoloji ile yaygınlaşan mobese, güvenlik kameraları, TV ve cep telefonu kameraları aracılığı ile alınan çevrimiçi veya çevrimdışı video görüntüleri üzerinden takibi yapılmak istenen nesnenin belirlenip 3B koordinatının veya koordinatlarının çıkarımı, günlük yaşantımızda mevcut problemlere ışık tutacağı düşüncesiyle çalışmalara başlanmıştır. Bu koordinatların çıkarımı için MATLAB programı ve aynı özellikteki en az iki adet kamera ve kameraların kalibrasyonu işlemleri gerekmektedir.

Bu çalışmada iki adet aynı özellikli cep telefonu kamerası, bu kameralar ile çekilmiş video kayıtları ve MATLAB programı kullanılmıştır. 3B koordinat bilgisi elde edilmesi için gerekli sistem kurulumu;

- Kalibrasyonun alanı
- Kalibrasyonun matematik modeli
- Hesaplamalar
- Kalibrasyonun sonuçlarının sisteme entegrasyonu şeklinde tanımlanabilir.

Geliştirilen sistemler hem yazılım açısından hem de donanım açısından uzman sistemler olmalıdır. Geliştirilen yazılım ile ileriki zamanlarda ve günlük hayatlarda da kullanılabilir olacaktır. Günümüzde teknolojinin geldiği nokta ile kullandığımız cep telefonu kameralarından alınan video görüntülerinin, bilgisayar ortamında kullanılan programların ve

bilgisayarların donanımlarının gelişimi ile ev ortamında da yazılım ve donanım sistemleri geliştirilebilmektedir.

Bu çalışmada kullanılan donanımlar; dizüstü bilgisayar ve cep telefonu (Şekil 25), yazılımın geliştirildiği program ise MATLAB' tır.

Bu sistem temel olarak donanım ve yazılım sistemlerinden oluşmaktadır.

### **2.2.1. Donanım ve Yazılım**

Donanım ve yazılım esas olarak iki başlık altında incelenebilir.

- Yapı Bölümü
- Optik ve Elektronik Bölüm

#### **2.2.1.1. Yapı Bölümü**

Projede yapı bölümünde bilgisayar ve iki adet aynı özellikte cep telefonu kameraları dışında elektronik alet kullanılmamıştır. Bu işlem yalnızca iki aynı özellikteki fotoğraf makinesinden çekilen video görüntüsünde tek bir objenin hareketinin takip edilmesi işlemidir. Bu proje ayrıntılı olarak düşünüldüğünde dört veya daha fazla kameradan elde edilecek video görüntülerinin üzerinden hareketli obje takibi yapılabilmesine zemin oluşturmaktadır. Ancak çalışmaya başlamadan önce kameralardan çekilen görüntüler belirli düzeltilmelere tabii tutulmalıdırlar. Bu düzeltmeler, kameralardan elde edilen görüntülerin koordinatlarının her bir kameradan çekilen görüntü ile aynı değere sahip olabilmesi için kameraları kalibre işlemine tabii tutarak, kameraların iç yöneltme parametrelerinden doğan kusurları ortadan kaldırılır. Bu kusurlar, kameraların üretim bandında merceklerinde meydana gelen distorsiyonların çekilen görüntülerdeki oluşturduğu deformasyonları ifade etmektedir. Bu distorsiyonlar çapsal ve teğetsel olmak üzere ikiye ayrılır. Çapsal distorsiyon, ışının yönünün perspektif merkezden geçerken yön değiştirmesi ile oluşan distorsiyondur. Bunun nedeni; kameralardaki geniş açılı mercek veya üretim bandında mercekte meydana gelen problemlerdir. Çapsal distorsiyon, asal eksenenden uzaklaştıkça ortaya çıkar. Teğetsel distorsiyon, kameralardaki mercek sistemlerinin diziliminden meydana gelen görüntü deformasyonlarını ifade eder. Bu distorsiyon bilgileri, MATLAB programında yapılacak kalibrasyon işlemi ile çalışmanın ileriki aşamalarında elde edilmiştir.



Üç boyutlu koordinat, en az iki kameranın kullanılması ile elde edilebilir. Bunun nedeni, görüntü üzerinden obje veya objelerin bulunması, takip edilebilmeleri ve konumlarının yanında kameraya olan uzaklıkları veya objeye olan derinlik bilgileri elde edilebilmesi en az iki kamera ile mümkün olabilmektedir.

Bu çalışmada iki adet aynı özellikteki Huawei p9 lite model cep telefonu (Şekil 24) kameraları kullanıldı, kameralar objeye eşit uzaklıkta konumlandırıldı ve aynı anda video çekimine başlanıp durduruldu. Video çekim sürelerinin aynı olması görüntü eşleştirme ve objelerin çıkarım ve takibi işlemleri için önem arz etmektedir. Örneğin, çekimi yapılan 10 saniyelik video bünyesinde yaklaşık 220 adet görüntü (frame) barındırabilmektedir. Bu değer, kamera özelliklerine göre değişiklik gösterebilir. Görüntülerin eşleştirilmesi ve objelerin her iki video görüntüsü üzerinde konumlarının aynı olabilmesi için aynı zamanda video çekimine başlanması gereklidir. Aksi durumda obje eşleştirilmesinde problemler yaşanması kaçınılmaz olur.



Şekil 24. Huawei P9 Lite cep telefonu

Tablo 2. Kullanılan Kameraların Özellikleri

Huawei P9 Lite Cep Telefonu Kamerası	
Arayüz	USB 2.0
Sensör Teknolojisi	CCD (Sony)
Çözünürlük (h x v)	352 x 640
Çözünürlük Kategorisi/Pixel Sınıfı	XGA
Sensör Boyutu	1/3"
Shutter	Global
Pixel Büyüklüğü (µm.)	1.12
Lens	f/2.0
Megapiksel	13

### 2.2.1.2. Optik ve Elektronik Bölüm

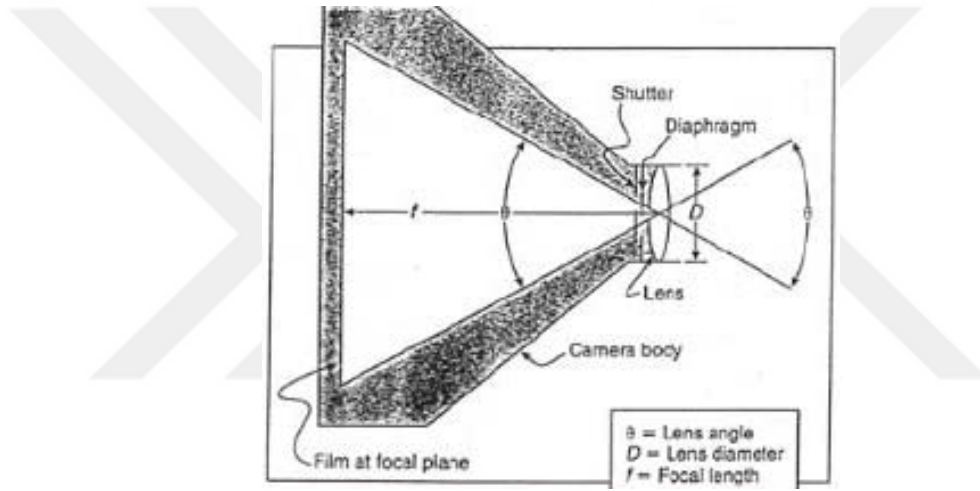
Optik ve elektronik bölüm, aynı özellikteki kameraların kalibrasyonu ile iç yöneltme parametrelerinin elde edilmesi işlemlerini ifade etmektedir.

#### 2.2.1.2.1. Kalibrasyon

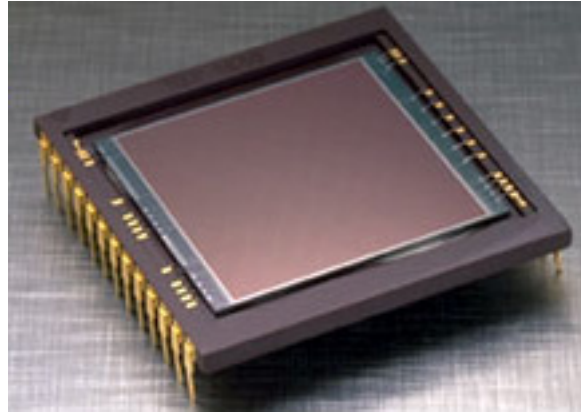
Fotogramride kamera kalibrasyonu görüntülerden 3B bilginin elde edilmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu işlem temel olarak kamera projeksiyon matrisinin bilinmeyen değerlerinin belirlenmesi için gereklidir. Bu değerler kameranın iç ve dış parametreleridir. Çalışmada gerçek arazi koordinatlarına ihtiyaç duyulmadığından yalnızca kamera iç parametrelerinin tespiti için bu yöntem kullanılmıştır. Ayrıca kalibrasyon, distorsiyon modellerinin katsayılarının belirlenebilmesi için gereklidir. Bu distorsiyon değerleri, üretim bandında kameranın merceklerinin yapısında veya merceklerin aynı düzleme yerleştirilmesinde meydana gelen hatalardan kaynaklı çekilen görüntülerdeki bozuklukları ifade eder. Bu değerlerin belirlenmesi ile çekilen görüntülere bu düzeltmeler uygulanarak görüntüler üzerindeki hataların giderilmesi hedeflenmektedir. Kalibrasyon işlemi yaygın olarak kalibrasyon levhasına (Şekil 29) farklı yönlerden ya da farklı açılardan görüntü alınması ve bu görüntülerin çeşitli bilgisayar programlarında değerlendirilmesi işlemidir. Kalibrasyon işlemi için gerekli referans noktaları; görüntülerin üzerinden seçilen ve (x,y)

resim koordinat bilgisine sahip noktalardır. Aynı zamanda bu noktalar kameranın projeksiyon matrisi tahmin etmek için kullanılır.

Kamerada, teleskop ve mikroskop gibi aletlerde kullanılan lensler, optik kırılma yoluyla görüntü oluşturmak için özel olarak tasarlanmıştır. En yaygın iki görüntü türü gerçek ve sanaldır. Merceğin arkasında gerçek bir görüntü oluşurken, önünde sanal bir görüntü oluşmaktadır (Şekil 25). Günümüz dijital kameralarında mercekten geçen görüntüyü fotoğraf makinelerinin içerisinde yer alan CCD çip (Şekil 26) üzerine düşürerek görüntülerin dijital ortamda saklanmasını sağlar. Bu görüntüler, fotoğraf makinesinin merceklerinde sorun var ise görüntü deformasyona uğrar. Bu deformasyon distorsiyon olarak adlandırılır.

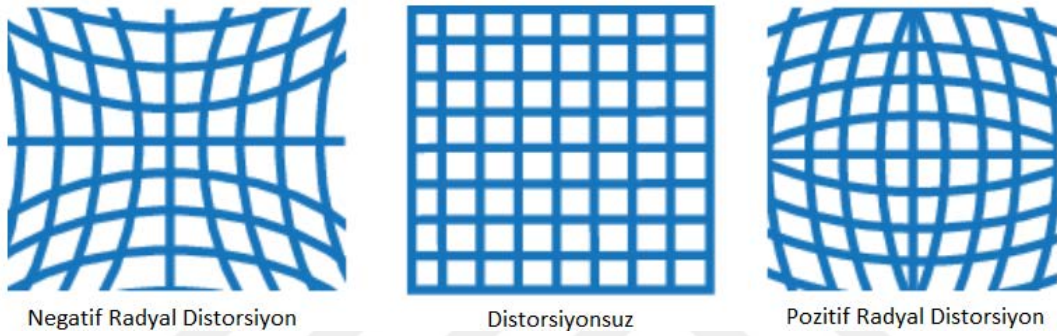


Şekil 25. Görüntünün, görüntü merkezine düşümünün gösterimi



Şekil 26. CCD çip

Distorsiyon, kamera üretim bandında merceklerinde meydana gelen bozuklukları ifade eder ve 3B konum bilgisi etkilenen önemli bir faktördür. Genel olarak mercekler düz bir ekseninde birbirlerine simetrik olarak yerleştirilir. Ancak, doksan derece açıdan düz çizgilere sahip görüntünün fotoğrafı çekildiğinde, fotoğraftaki çizgilerin eğri olarak gözükmesi merceklerde bozuklukların olduğunu gösterir ve bu bozuklu radyal distorsiyon ya da çapsal distorsiyon olarak adlandırılır. Çizgilerdeki bükülmeler görüntünün dışına doğru ise pozitif radyal distorsiyon, içine doğru ise negatif radyal distorsiyon olarak adlandırılmaktadır. Eğer çizgilerde herhangi bir bükülme yoksa görüntü, distorsiyonsuz görüntüdür (Şekil 27).



Şekil 27. Radyal distorsiyon

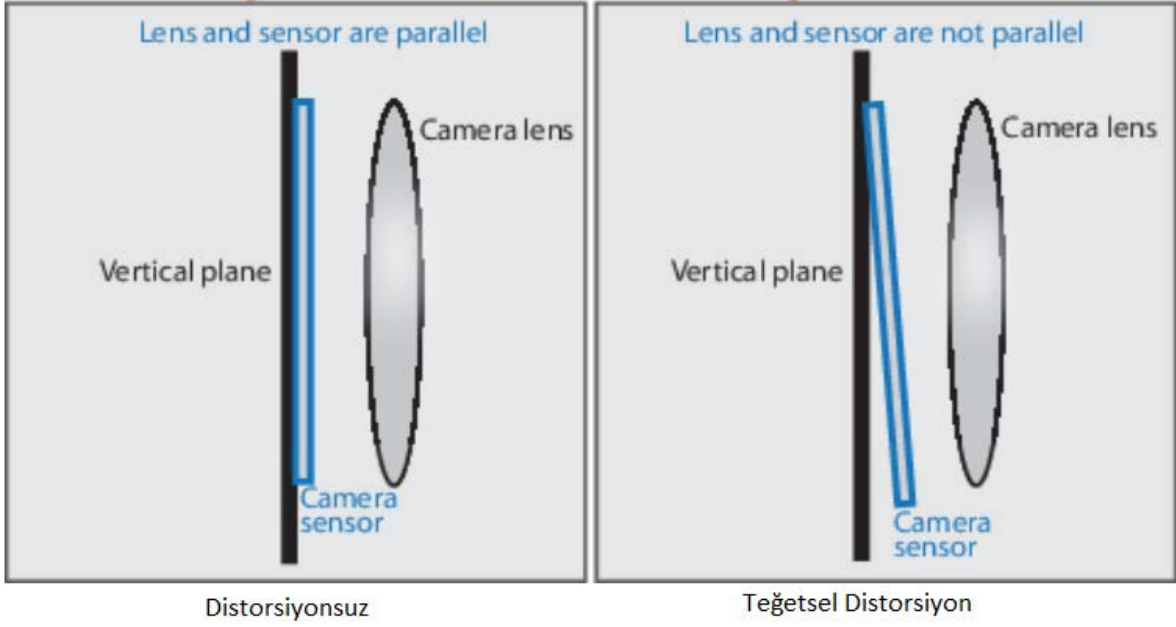
Radyal distorsiyonun giderilmesi için genellikle görüntünün optik merkezi olarak düşünülen ancak distorsiyon merkezi  $(c_x, c_y)$  ve merkezden yarıçapları düzelten, düz çizgiler düz kalacak şekilde radyal dönüşüm fonksiyonu:

$$x_{\text{distorsiyon}} = x(1 + k_1 * r^2 + k_2 * r^4 + k_3 * r^6) \quad (49)$$

$$y_{\text{distorsiyon}} = y(1 + k_1 * r^2 + k_2 * r^4 + k_3 * r^6) \quad (50)$$

$$r^2: x^2 + y^2$$

Teğetsel distorsiyon, kameralar üretim bandında merceklerin simetrik yerleştirilmemesi durumunda meydana gelen görüntü bozukluklarını ifade eder (Şekil 28).



Şekil 28. Teğetsel distorsiyon

Teğetsel distorsiyon denklem (50-51)'de verilen eşitlikler ile giderilir. Bu eşitlik:

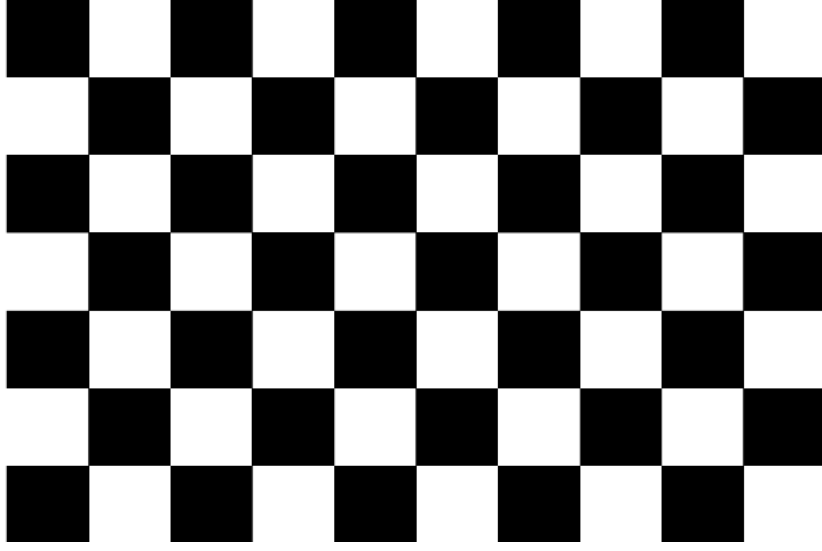
$$x_{\text{distorsiyon}} = x + [2 \cdot p_1 \cdot x \cdot y + p_2 \cdot (r^2 + 2 \cdot x^2)] \quad (51)$$

$$y_{\text{distorsiyon}} = y + [p_1 \cdot (r^2 + 2 \cdot y^2) + 2 \cdot p_2 \cdot x \cdot y] \quad (52)$$

$$r^2: x^2 + y^2$$

#### 2.2.1.2.2. Matlab Programında Kalibrasyon İşlemi

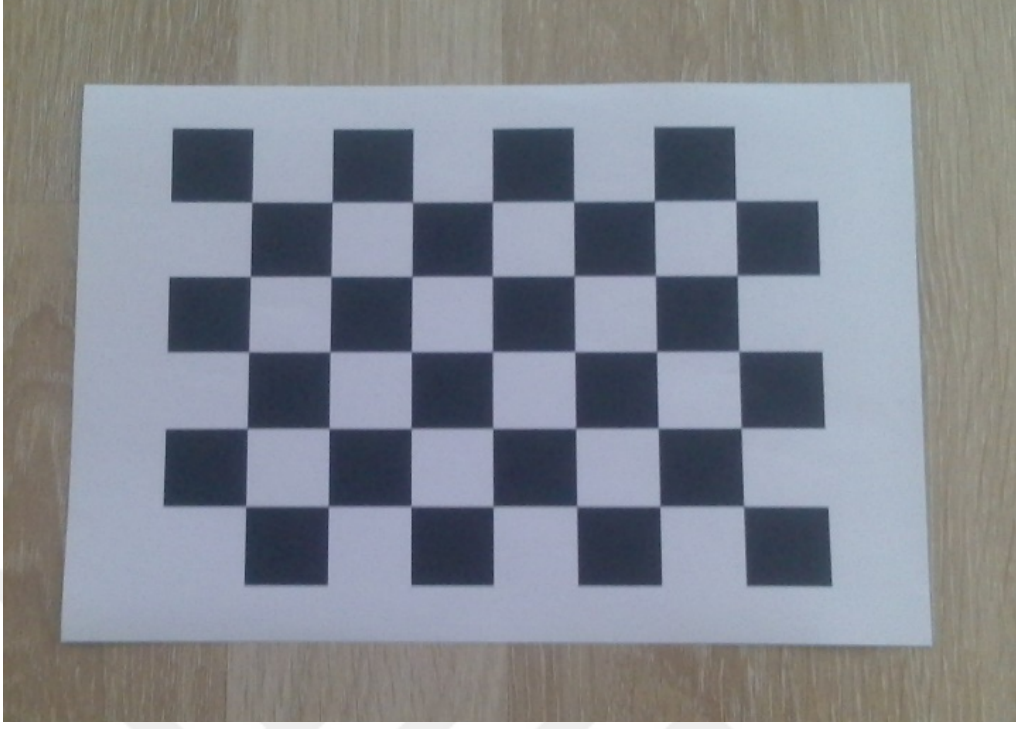
Matlab programında kamera kalibrasyonu için kullanılan düzenek yardımıyla kalibrasyon levhasına (Şekil 29) aynı özellikteki iki adet kamera ile görüntü alımı ve bu görüntülerin MATLAB programında değerlendirilerek kameraya ait bilgilerin çıkarılması ve değerlendirilmesi işlemidir. Bu işlem, kalibrasyon olarak da adlandırılabilir.



Şekil 29. Kalibrasyon levhası

Kalibrasyon, kamera ile çekilen görüntülerden obje çıkarılması, takibi ve konum tespitleri için kameraya ait iç yöneltme parametrelerinin ortaya çıkarılması işlemidir. Kamera parametrelerinin bilinmemesi durumunda obje takip, çıkarım ve konum bilgileri elde edilemeyeceğinden kalibrasyon işlemi önem arz etmektedir. Bu işlem, belirli bir kalibrasyon levhasına farklı açılardan görüntü alınarak elde edilen görüntülerin MATLAB programı içerisinde yer alan uygulamalar ile veya kalibrasyon işlemi için gerekli programlama kodları yazılarak mono veya stereo kamera kalibrasyonu olarak gerçekleştirilir. Kalibrasyon levhasının A4, A3 gibi farklı kâğıt üzerine basımı gerçekleştirilebilir. Ancak, kalibrasyon levhası üzerindeki siyah karelerin kenar uzunluklarının simetrik olması ve bu uzunlukların bilinmesi kalibrasyon işlemi önem arz etmektedir. Uzunluklar, kalibrasyon levhasının çıktısı alınan kâğıt üzerinden cetvel yardımı ile ölçülebilir. Uzunluklar, milimetre ölçüsünde MATLAB uygulamasında kalibrasyon uygulamalarında veya kalibrasyon için yazılan program kodlarında kullanılır.

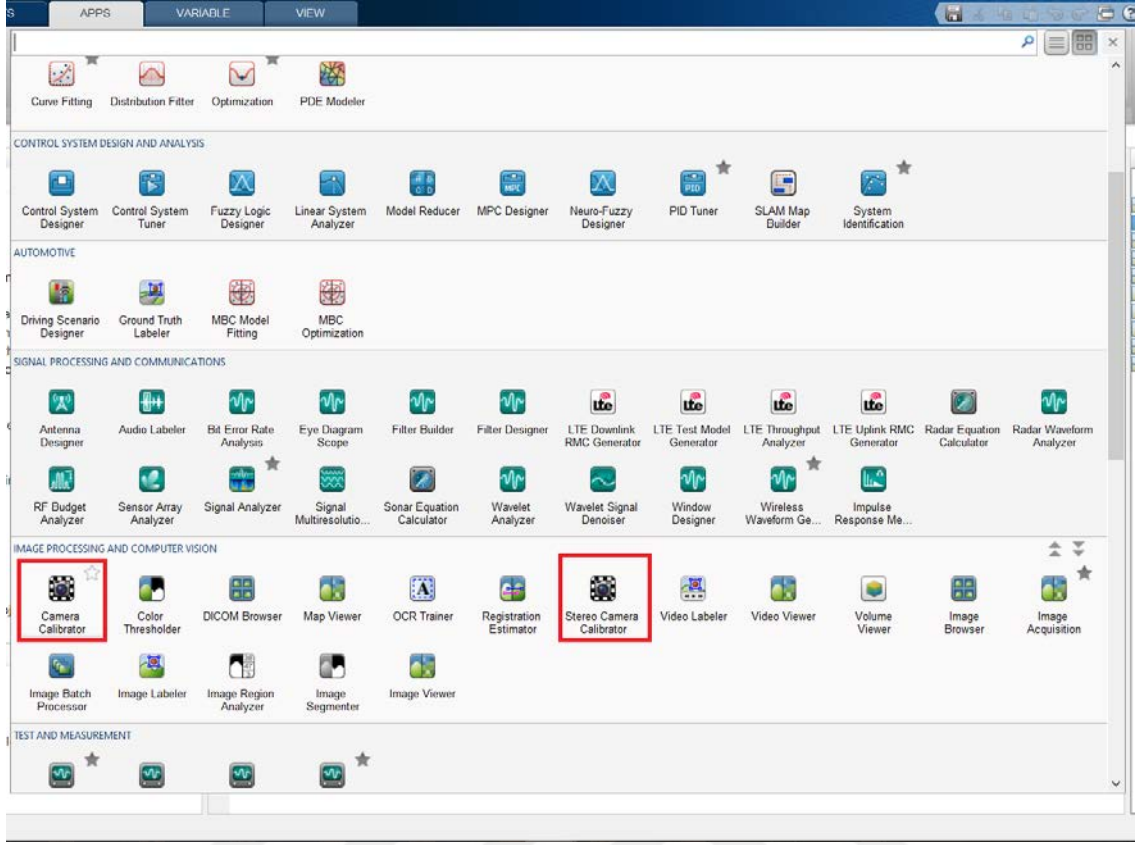
Bu projede kullanılan kalibrasyon levhası A4 kâğıdı boyutlarında ve üzerindeki her bir kare 25 milimetre en boy oranına sahip karesel şekillerden oluşmaktadır. Bu levha, yazıcı ile A4 kâğıt formatında basıldı ve kamera kalibrasyonu için iki aynı özellikli kamera ile aynı konumdan, farklı açılardan birkaç adet fotoğrafı çekilmiştir (Şekil 30). Fotoğraf adeti, kalibrasyon işleminin kaliteli sonucu için 10-20 adet görüntülerden oluşmalıdır.



Şekil 30. Kalibrasyon levhasına alınan görüntü örneği

Kamera kalibrasyonu işlemine; aynı özellikteki iki adet kamera ile kalibrasyon kağıdına farklı açılardan fotoğraf alınarak başlandı. Kalibrasyon işleminde dikkat edilmesi gereken husus, kameraların aynı açı, mesafe ve konumda kalibrasyon kâğıdına fotoğrafların alınmasıdır. Aksi takdirde stereo kalibrasyon işleminde iki ayrı kameradan alınan görüntüler arasında farklılık oluşacak, bu da kalibrasyonda yüksek oranda piksel farklılıklarına neden olacak ve üç boyutlu koordinat elde edilmesinde problem teşkil edecektir.

Kalibrasyon işlemi matlab programı içerisinde yer alan “MonoCamera Calibration” veya “StereoCamera Calibration” uygulamaları aracılığı ile yapılabilir (Şekil 31).



Şekil 31. MATLAB programı kalibrasyon uygulamaları

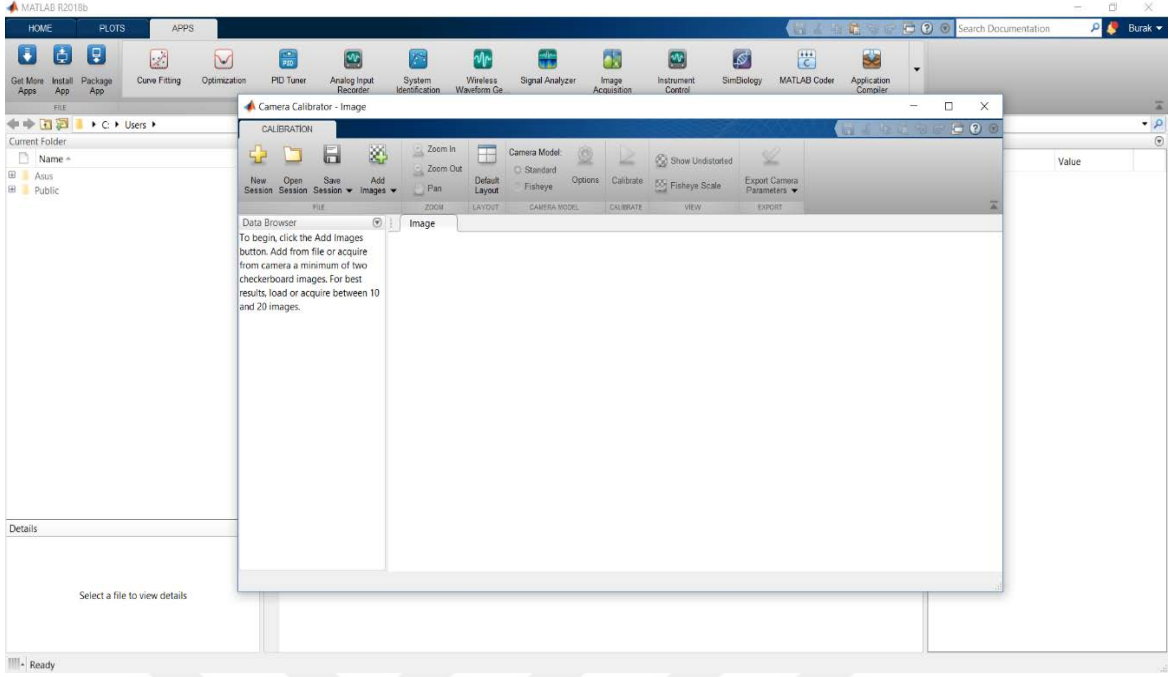
#### MonoCamera Calibration Modülü:

MATLAB programı içerisinde APS bölümünden “Camera Calibrator” (Şekil 31) seçilir. Bu APS, tek bir kameradan kalibrasyon levhasına alınan görüntülerin değerlendirilmesi ve kalibrasyon sonucunun elde edilmesini sağlar. Bu yöntem ile kalibrasyon, tek kameradan obje derinlik bilgisi elde edilecekse kullanılabilir. Ancak, bu yöntem ile elde edilen derinlik bilgisi ve görüntü üzerinden bulunan objenin konum bilgisinin kontrolü söz konusu olmadığından, elde edilen bilginin kesin sonuç ifade etmesi mümkün değildir. Bu nedenle, yapılan çalışmada hem derinlik hem konum bilgi doğruluğu hem de gerektiğinden görsel üç boyutlu bilginin elde edilmesinde stereo kamera kalibrasyon yöntemi tercih edildi.

#### Tek kamera kalibrasyon işlem adımları;

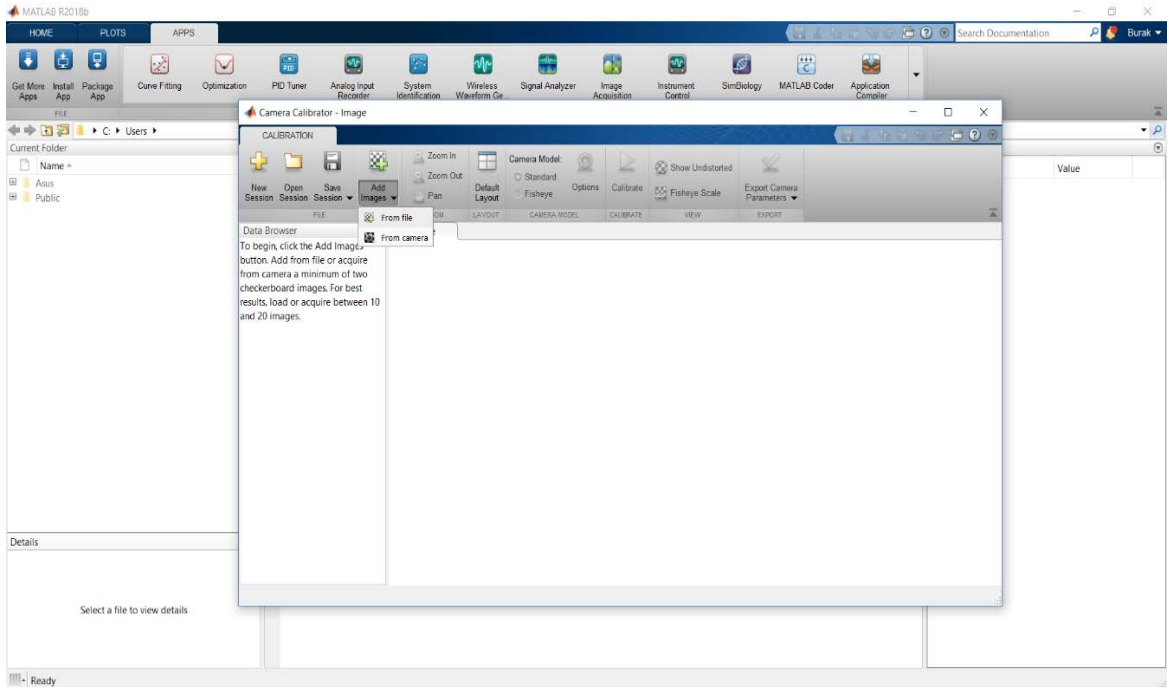
MATLAB programı içerisinde “Camera Calibrator” uygulamasının seçimi ve karşılaşılan menü görünümü Şekil 32 ’deki gibidir.





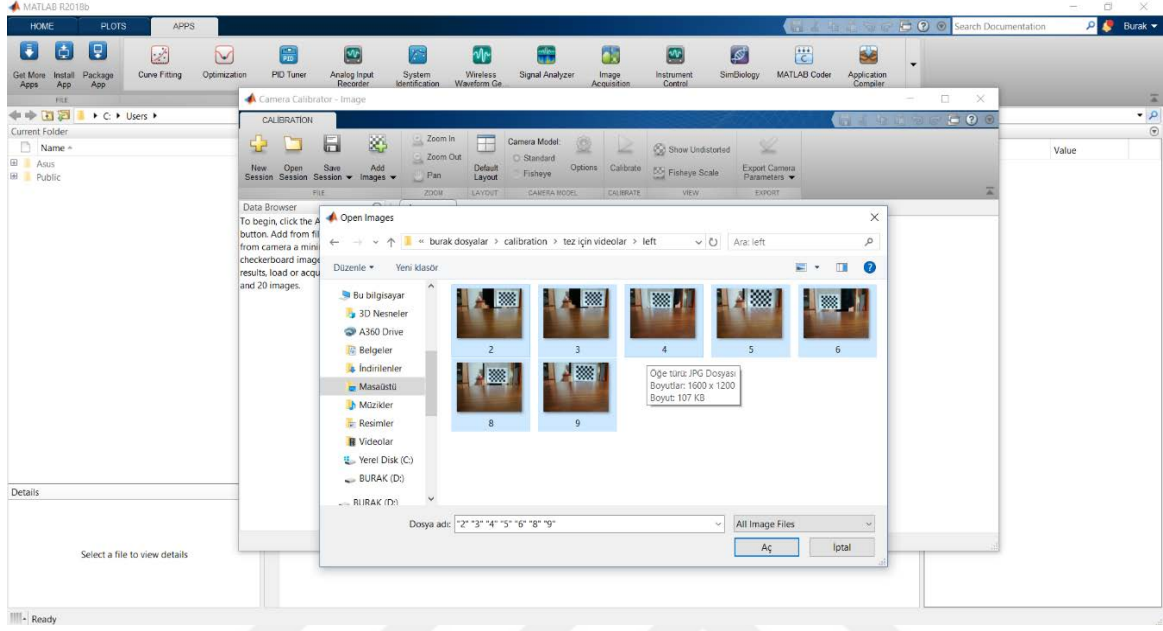
Şekil 32. MonoCamera kalibrasyon arayüz görünümü

Açılan arayüz üzerinden “add images” butonu tıklanarak kameradan veya bilgisayar içerisinde yer alan klasörden kalibrasyon levhasına çekilen görüntüler seçilir (Şekil 33).



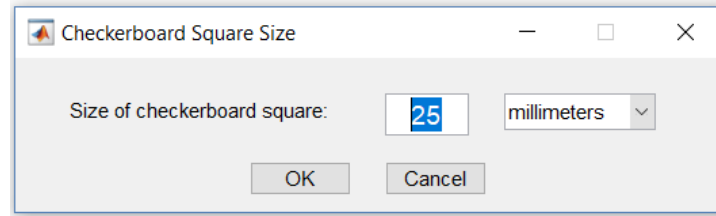
Şekil 33. MonoCamera kalibrasyon görüntü ekleme

Kalibrasyon levhasına kamera ile alınan görüntüler bilgisayar ortamından seçilir (Şekil 34).



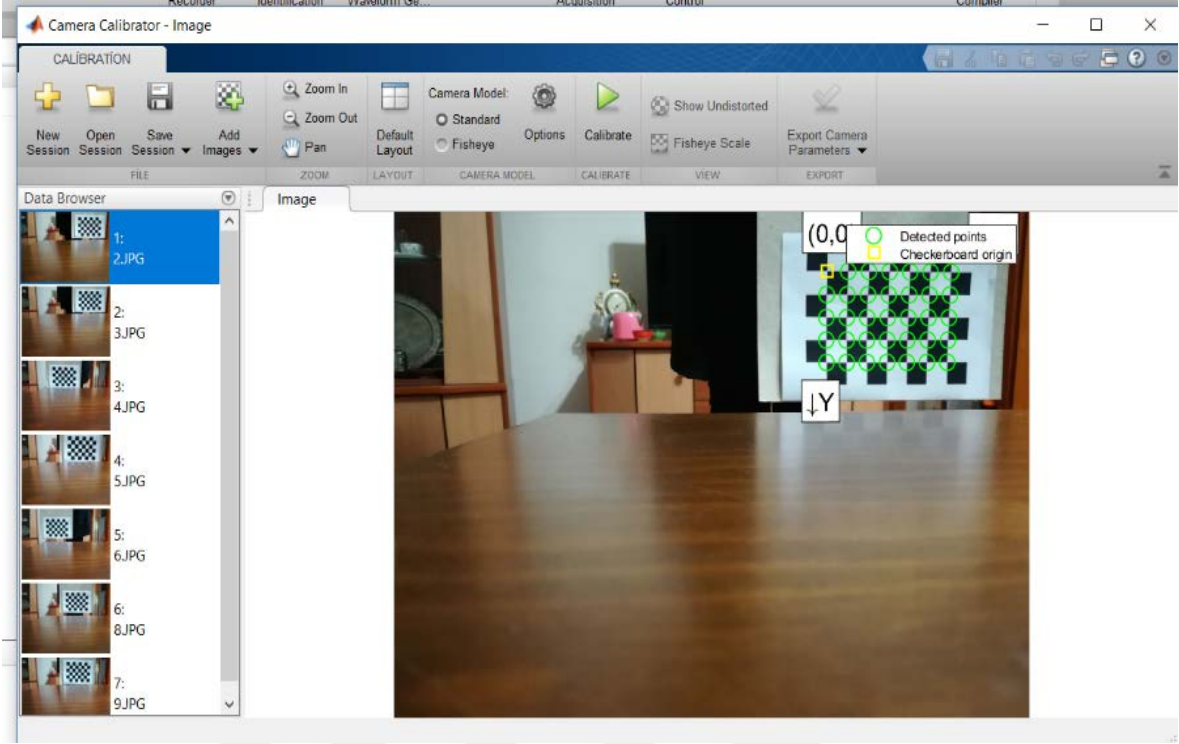
Şekil 34. StereoCamera kalibrasyon görüntü ekleme

Görüntülerin eklenmesinin ardından “Checkerboard Square Size” menüsü açılır. Bu menü, kalibrasyon levhasının üzerindeki siyah karelerin boyut bilgisini içerir. A4 kâğıt formatında levhanın basım işlemi gerçekleştirilirse bu karelerin boyutu 25 mm olacaktır (Şekil 35).



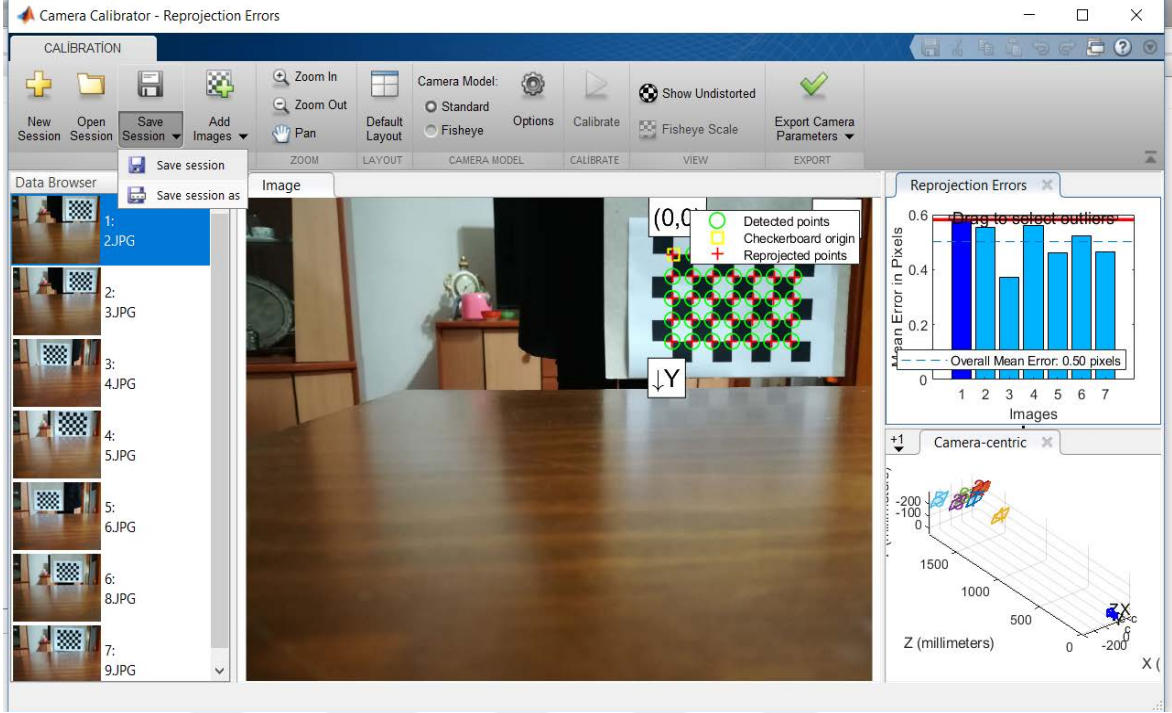
Şekil 35. Kalibrasyon levhası siyah kare boyut bilgisi (A4 kâğıt)

Tek kamera kalibrasyon uygulaması, kalibrasyon levhası üzerindeki karesel bilgilerin köşe noktalarını tespit eder (Şekil 36).



Şekil 36. Kalibrasyon levhasının köşe noktalarının tespiti

Şekil 36’da levhanın köşe noktalarının tespiti tamamlandığında “Calibrate” butonuna tıklanır. Program, eklenen görüntülere göre kameranın iç yöneltme parametrelerini elde etmek için kalibrasyon işlemlerini otomatik olarak gerçekleştirir. İşlem tamamlandığında “Overall Mean Error” değeri, kamera ve görüntülerin konumları program arayüzünde gösterilir. “Overall Mean Error” değeri 1.00 piksel değerinin altında ise yapılan kalibrasyon işlemi olumlu sonuçlanır (Şekil 37). Bu değer ne kadar düşük olursa objelerin konum ve objelere olan mesafe bilgisi daha hassas sonuç verecektir. Hassas sonuç için kalibrasyon levhasına yakından ve sabitlenmiş kamera ile görüntü alınır.



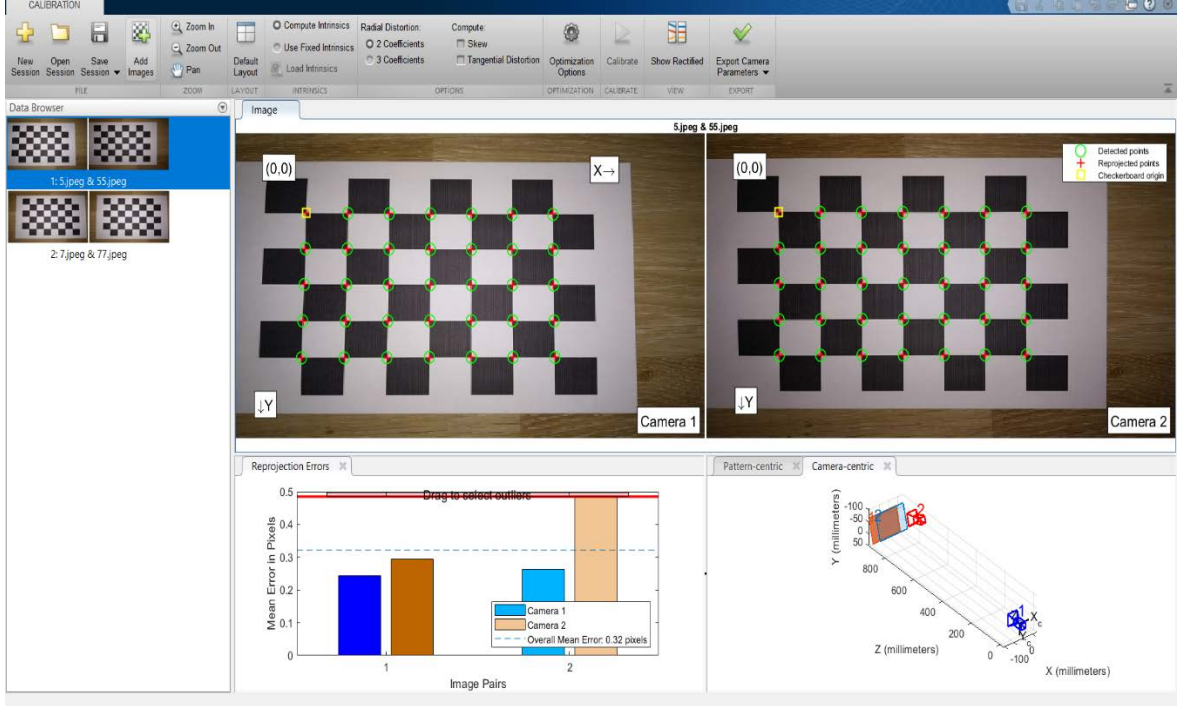
Şekil 37. Tek kamera kalibrasyon işlemi sonucu

#### StereoCamera Calibration Modülü:

Stereo kamera kalibrasyon işlemi için “MonoCamera Calibration” yöntemindeki işlem adımları “StereoCamera Calibrator” MATLAB APS için kullanılır. Stereo kamera kalibrasyon uygulamasında dikkat edilmesi gereken husus, sol ve sağ kameradan kalibrasyon levhasına alınan görüntülerin, aynı konum ve açıdan çekilmiş olması gereklidir. Aksi durumda, yapılan kalibrasyon işleminde overall mean error hatasının 1.00 piksel değerinin üzerinde çıkması kaçınılmaz olacaktır. Bu husus göz önünde bulundurularak, çalışmada gerekli olan stereo kamera kalibrasyonu tamamlandı (Şekil 38).

Kamera kalibrasyon işlemi tamamlandığında, projede kullanımına ihtiyaç duyulacak odak uzaklığı, distorsiyon, yatay ve düşey piksel adeti ve her bir pikselin uzunluk birimi gibi özellikler ortaya çıkarıldı. Elde edilen bu bilgiler, video görüntüsü üzerinden objeye ait derinlik ve konum bilgilerinin ortaya çıkarılmasında kullanıldı.

Çalışmada, aynı özellikli iki adet kamera ile üç boyutlu koordinat bilgisi elde edileceğinden, MATLAB programı içerisinde yer alan “Stereo Calibration” uygulaması kullanılarak kameraya ait parametreler ortaya çıkarılır. Kalibrasyon sonucu elde edilen ortalama hata 0.32 pikseldi. Ortalama hata, 1.00 piksel değerinin altında olması neticesinde üç boyutlu obje takibi için yeterli nitelik taşımaktadır.



Şekil 38. Stereo kamera kalibrasyon sonucu

Kamera parametrelerinde, kameraya ait görüntü boyutu, radyal distorsiyon, teğet distorsiyon, odak uzaklık, ortalama projeksiyon hatası, iç yönlme parametreleri (Şekil 39), dönüklük matrisi (Şekil 40) ve karakter boyut bilgisi elde edilir. Bu bilgiler, çekilen görüntüdeki distorsiyonların giderilmesinde ve üç boyutlu koordinat bilgisi elde edilmesinde kullanılacaktır.

	KAMERA 1	KAMERA 2
İç yönlme Parametreleri =	$\begin{pmatrix} 2012.237 & 0 & 0 \\ 0 & 1547.87 & 0 \\ 342.5033 & 207.5211 & 1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 375.528 & 0 & 0 \\ 0 & 275.4412 & 0 \\ 415.76 & 141.1977 & 1 \end{pmatrix}$

Şekil 39. İç yönlme parametreleri

$$D = \begin{pmatrix} 0.9998042 & 0.0044737 & -0.0192757 \\ 0.0012494 & 0.9578930 & 0.2871228 \\ 0.0197486 & -0.2870907 & 0.9576998 \end{pmatrix}$$

Şekil 40. Dönüklük Matrisi

Elde edilen parametreler, aynı özellikte olmalarına rağmen, her iki kamera arasında fabrika üretim safhasında kullanılan mercekler, lensler gibi farklılık gösterebilecek elementler içerdiğinden her iki kamera için kamera parametreleri elde edilir (Şekil 41).

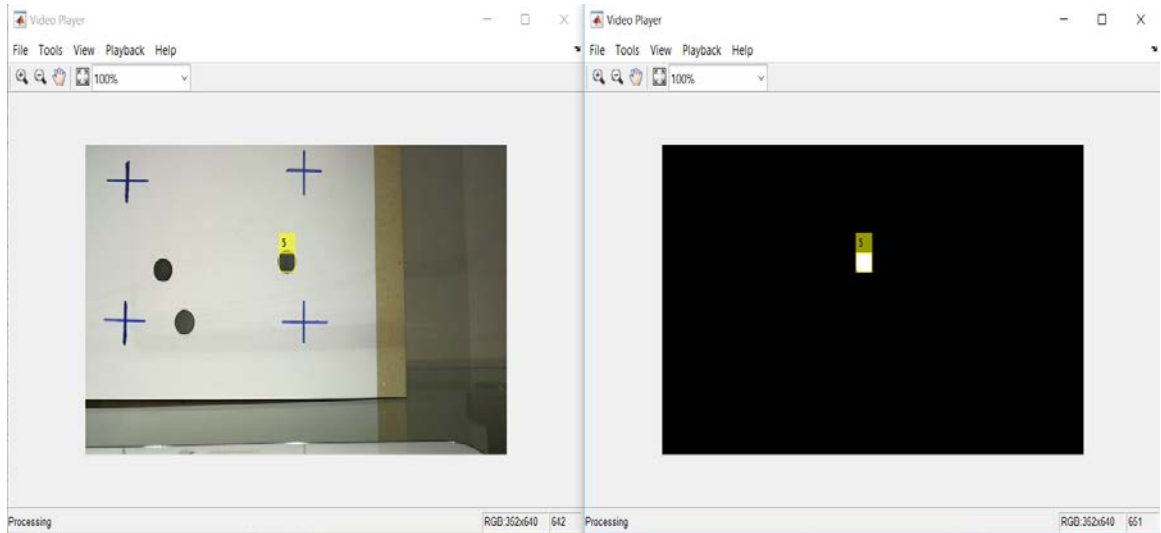
	KAMERA 1	KAMERA 2
Obje boyut bilgisi =	milimetre	
imagesize =	[352,640]	[352,640]
radyal distorsiyon =	[1.417340, -28.728403]	[0.030005, -0.012453]
Teğetsel Distorsiyon =	[0,0]	[0,0]
Odak Uzaklığı =	[2.012237, 1.54787]	[3.755280, 2.754412]
Principal Point =	[3.425032, 2.075211]	[4.157599, 1.411976]
Ortalama karesel hata =	0.321210543	

Şekil 41. Kamera parametreleri

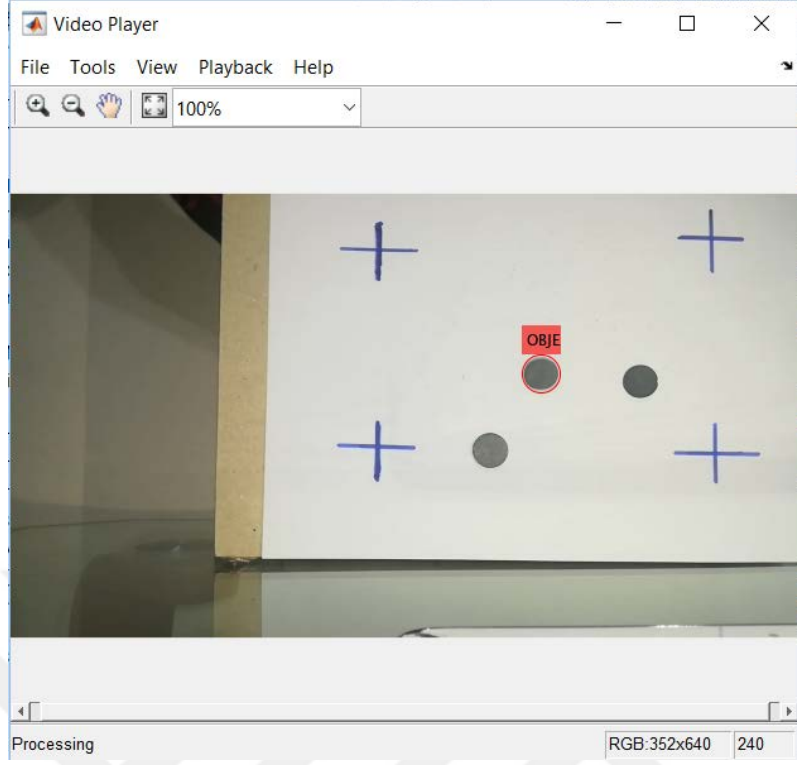
### 3. BULGULAR VE İRDELEME

Yazılım işlemleri MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir. Program yazımına başlanmadan önce yazılımda kullanılmak üzere video görüntüsü çekildi. Görüntü çekildiğinde görüntüye ait resim koordinatları “x, y” bilinmektedir. Ancak, objelerin kamera ile uzaklıklarının tespiti için kameraların iç yöneltme parametrelerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu parametreler için MATLAB programı içerisinde yer alan kalibrasyon uygulamaları, zamandan kazanç ve programın iş yükünün az olması için tercih edildi.

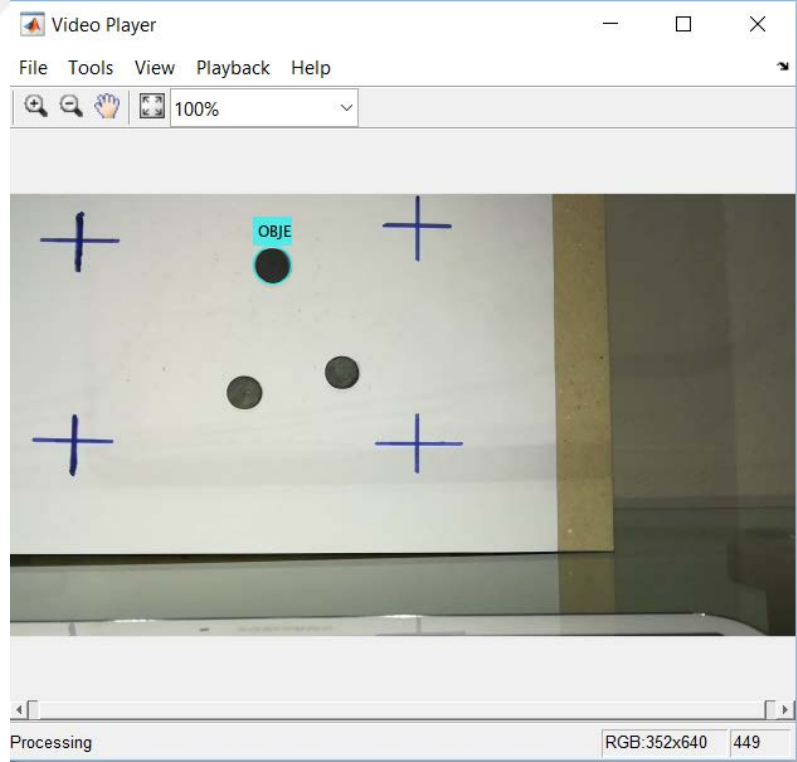
İki adet aynı özellikte çekilen video görüntülerinden x ve y resim koordinat bilgilerine sahip video görüntüleri elde edildi. Resim koordinatları, fotoğrafı veya videosu çekilen bir yerin, bilgisayar ortamında o yere ait bir objenin resim içerisindeki aynı objeye karşılık gelen pikselin konumunu olarak ifade edilmektedir. Bu konum, Kalman filtreleme, blob analiz ve obje tanıma ve algılama algoritmaları yardımıyla video görüntüleri üzerinden “t” anındaki obje konum bilgileri elde edildi (Şekil 42, 43 ve 44). Buradaki “t” ifadesi, kaydı alınan video görüntülerinin herhangi bir andaki zaman bilgisini içermektedir. Örneğin, çekilen video kaydının toplam süresi 01:13 (bir dakika, on üç saniye),  $t = 00:00 - 01:13$  herhangi bir değerdir. Konum, “t” süresi içerisinde hareket eden objelerin, süre sonuna kadar görüntü üzerinde gerçekleştirdiği harekete ait toplam resim koordinat bilgisidir. Bu aşamada, objelere ait sadece x ve y yatay resim koordinat bilgileri elde edildi.



Şekil 42. Blob analiz ve kalman filtreleme obje takibi



Şekil 43. Sol kameradan alınan video kaydı üzerinden obje takibi



Şekil 44. Sağ kameradan alınan video kaydı üzerinden obje takibi



Bu programda kolinearite koşulu, kamera dış yöneltme parametreleri eksiktir. Ancak bu örnek, objenin üç boyutlu takibi açısından örnek teşkil etmektedir. Kolinearite koşulu matematik teriminde eş doğrusallık anlamına gelmektedir. Bu koşula göre, cisim uzayındaki noktaları gösteren ışınlar resim çekme makinesinin izdüşüm merkezinden gerçek resim düzlemine bir doğru boyunca izdüşürülür. Bu şekilde oluşturulan görüntüler, yeniden inşa probleminin çözümünü iki adımda gerçekleştirir (Aytaç, 1988).

İlk adımda, çalışmanın başlangıcında video çekimi yapan cep telefonu kamerası MATLAB programı ile kalibre edilerek kameraya ait iç yöneltme parametreleri çıkarıldı. Bu parametreler, kameranın odak uzaklığı, çapsal (Radyal) ve teğetsel distorsiyon, çözünürlük ve gerçek dünyanın resim üzerinde gösterilen ölçü birimi milimetre cinsinden tespit edildi.

Yatay, düşey ve derinlik bilgisinin elde edilmesinde, kalman filtreleme ve blob analiz yöntemleri ile görüntü üzerinden obje veya objelere ait resim koordinatları yatay, düşey bilgisi ve çalışmada tercih edilen dairesel objelerin çap bilgileri elde edilir (Şekil 45).

Sol Kameradan Çekilen  
Görüntüdeki Objelerdeki Koordinatları

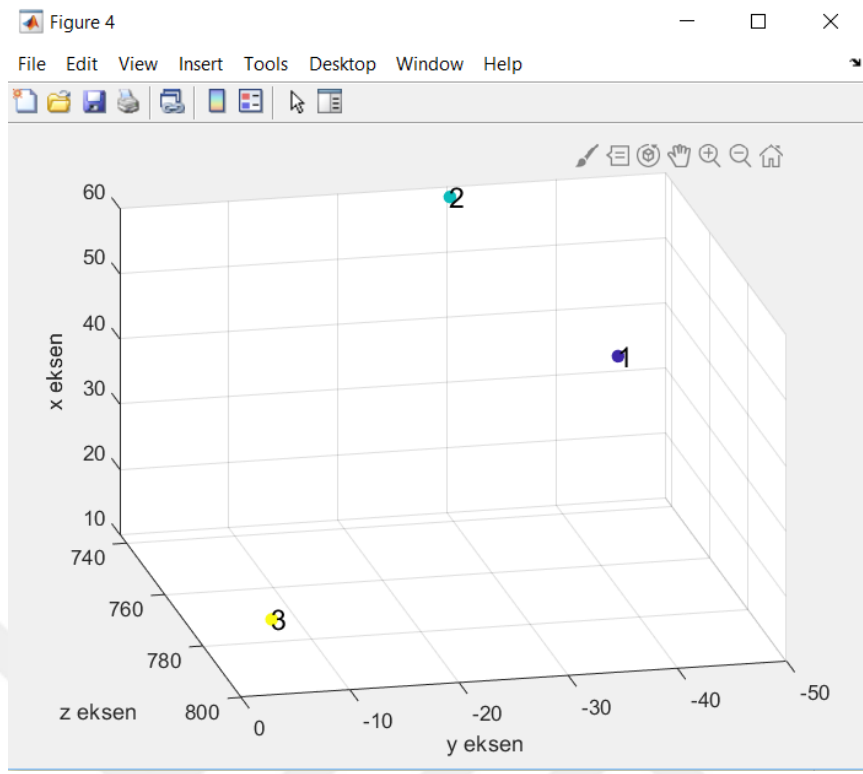
x	y	çap
444,305	120,073	13,15016
504,621	147,876	13,37507
387,355	202,899	13,94878

Sağ Kameradan Çekilen  
Görüntüdeki Objelerdeki Koordinatları

x	y	çap
154,476	193,033	14,197469
272,981	136,878	13,4134956
212,316	108,397	13,4194277

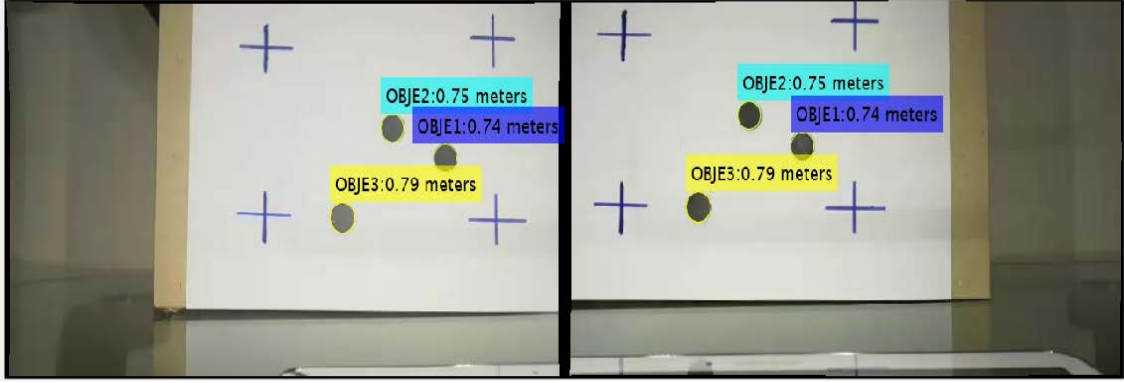
Şekil 45. Sağ ve sol kameradan çekilen görüntülerde aynı objelere ait koordinat ve boyut bilgileri

Bu çalışmada video üzerinden obje koordinatları, dış yöneltme parametreleri kullanılmaksızın resmin, kamera iç yönelme parametrelerine göre derinlik (z), kamera konumuna göre yatay (x, y) koordinatları elde edildi. Bu değerler, distorsiyondan arındırılmış görüntü üzerinden gerekli program kod ve algoritmalar kullanılarak yatay koordinatları tespit edilen objelerin, MATLAB programı içerisinde yer alan triangular matris dönüşüm modeli aracılığıyla, kamera parametreleri ve obje yatay koordinat dönüşümü yapılarak üç boyutlu koordinat bilgisi elde edildi (Şekil 46).



Şekil 46. Objelerin üç boyutlu uzayda gösterimi

Aynı özellikteki kameralar ile çekilen video üzerinden, gerekli düzeltme ve dönüşüm parametreleri uygulamalarının ardından objelerin kameraya göre uzaklıkları, obje derinlik bilgisi elde edildi (Şekil 47). Kameralar ve düzenek arasındaki mesafe ölçülerek 77 cm olarak bulunmuştur. Matlab programında elde edilen sonucun doğruluğu, bu ölçü bilgisi ile teyit edilebilmektedir. Ancak, doğruluğun 2-3 cm farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Bu farklılığın, objelerin hareket ettirilmeye çalışıldığında oluşan levha deformasyonlarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Elde edilen konum ve mesafe bilgileri, örnek teşkil etmesi açısından aynı zamanda aynı konumda bulunan video görüntüleri tercih edilerek gösterilmiştir.



Şekil 47. Kamera ile objeler arası mesafe (“z” derinlik)

Program, üç boyutlu koordinat bilgisi elde edilmesinde katkı sağlamış, koordinat bilgisi sanal üç boyutlu uzayı temsil etmiştir. Bu temsil, dış yöneltme parametrelerinin katkısı veya günümüz video kameralarında mevcut GPS sayesinde gerçek koordinat bilgileri ile üç boyutlu koordinat bilgisi elde edilebilecektir.

3B koordinat sistemi özet olarak objelerin, kameralara olan konumları olarak tanımlanabilir. Derinlik (z) bilgisi ise, resim koordinatlarını, kalibrasyon sonucu elde edilen kamera parametreleri arasında triangular matris dönüşümü uygulanarak elde edildiğinden bu bilgi kamera ile obje(ler) arasında gerçek mesafe bilgisini ifade etmektedir. Şekil 48’deki “z” bilgisi milimetre cinsinden mesafe bilgisi içermektedir.

x	y	z
37.3512	-43.522	748.905
58.3993	-30.266	736.605
16.8888	-4.826	788.482

Şekil 48. Üç boyutlu koordinat bilgileri

#### 4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasıyla

MATLAB ortamında hem video kameralardan veri aktarımı hem de üç boyutlu olarak fotogrametrik dış yöneltme çalışmasını yapabilen bir ara yüz çalışması yapıldı. Bu sayede video görüntülerinin üç boyutlu eşleştirilebilme aşamaları gösterildi.

Geliştirilen bu MATLAB ara yüz modülünün avantajları;

- Ara yüz MATLAB ortamında oluşturulduğundan çok rahat incelenip geliştirilebilir. Programlama projelerinde kaynak kod C ve C++ gibi dillerde yazılır. Bu diller yüksek seviye diller ailesinden olmasına rağmen hazırlanan bir projenin modüler yani fonksiyonlara ayrılmış bir yapıya sahip olması ve her fonksiyonun dökümente edilmesi projenin geliştirilebilir olması açısından önem arz etmektedir. Geliştirilebilir projenin iki önemli özelliğinden birincisi modüler yapıda olmasıdır. Mesela iki sayıyı toplayan bir kod yazıldıysa ve bu kod proje içerisinde birçok defa kullanılacaksa bu kod yapısını fonksiyon haline getirmemiz gereklidir. Çünkü birçok satırdan oluşan bir yapının anlaşılması güçleşir. Fonksiyon şeklinde yazıldığında ise işlem açıkça anlaşılır ismiyle çağrıldığından hem kod karmaşası giderilir hem de kod anlaşılır hale gelir. Projenin dökümente edilmesi ise her fonksiyonun işlevinin başlıklar halinde özetlenmesi ve fonksiyonlar içerisinde anlaşılır değişken isimlendirmesi ile beraber yapılan işlemlerin açıklama satırlarıyla izah edilmesidir. Bu da projenin asıl yazarından sonra geliştirmeye açık olmasını sağlayan diğer önemli faktördür. İşte MATLAB bu saydığımız hususlarda özellikle matematiksel işlemlerle, bize sunduğu fonksiyonlarla hem bizi ek programlama maliyetinden kurtarır hem de kodun modüler halde anlaşılabilir ve geliştirilebilir olmasını sağlar.

- Bu ara yüz görsel ve kolay anlaşılabilir yapıdadır. Arayüzdeki nesnelere ve düğme grupları sezgisel seviyededir. Yani ne yapılması gerektiğini arayüzü inceleyen biri hızlıca kavrayabilir. Kullanıcının yapabileceği muhtemel hatalar da gerek ara yüz davranışlarıyla gerekse de uyarı mesajlarıyla kullanıcıya bildirilir. Yapılan işlemlerin sonuçları anında görsel olarak kullanıcıya yansıtılır. Böylece kullanıcı yaptıklarının doğruluğunu test edebilir.

MATLAB programının dezavantajları ise;

- MATLAB ortamının yapısından dolayı, C ve C++ gibi hız konusunda etkin bir platformda yazılmış profesyonel yazılımlara göre performans farkı görülebilir. Çünkü bu C ve C++ dilleri daha önce de belirttiğimiz gibi anlaşılma, kodlanma ve geliştirilebilir olma noktasında gerçekten MATLAB'dan çok daha fazla emek ister ama aynı zamanda bu dezavantajlarıyla ters orantılı olarak hız olarak çok etkin yazılımlar üretirler. Çünkü yapılan her işlem ve yazılan her kod hız noktasında optimize edilmiştir ve optimize kod yazmak mümkündür. Bu da gayet tabii olarak hız olarak etkin yazılım olarak karşımıza çıkar.

- MATLAB programının büyük veri kümelerinde hız noktasında performansı incelenmemiştir. Yapılan projeler özellikle dışarıdan veri alımını ve işlenmesini sağlıyorsa işlenen veri miktarının projenin performansını etkileyebileceği noktası gözden kaçırılmamalıdır. Dolayısıyla belirli bir miktara kadar hızlı çalışan proje belirli bir noktadan sonra performans kayıpları yaşayabilir. Bu tarz durumlarda yazılımın optimum veri yoğunluğunu tespit etmek veya verileri gruplandırmak ya da projeye performans noktasında güncelleme yapılması akılcı olan çözümlerdir.

Resim ölçme sistemleriyle fotogrametri sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışmayla MATLAB ortamında geliştirilen ara yüzler yardımıyla fotogrametride kullanılan ölçme sistemleri için donanımsal ve yazılımsal bir entegrasyon çalışması yapılmıştır. Geliştirilen MATLAB ara yüzleri yardımıyla endüstriyel video kamera görüntüleri kendi orijinal ara yüzleri olmaksızın MATLAB ortamında görüntü alınması ve alınan bu görüntülerin fotogrametrik olarak yöneltilmesi sağlanmıştır. Böylece donanımsal bir entegrasyon MATLAB kaynak kodlarıyla sağlanmıştır. Elde edilen bu görüntülerin fotogrametrik yöneltilmesinin uzaysal geriden kestirme (fotogrametri bağıntıları) MATLAB ara yüzünde bağımsız olarak yapılabilmesi ve üç boyutlu cisim koordinatlarına ait sayısal yüzey modelinin bilgisayar ortamında görselleştirilmesi çalışması yapılarak yazılımsal entegrasyonu sağlanmaktadır.

Objelerin tanımı, görüntü üzerinden çıkarımı ve takibi; insan gözünün çalışma prensibi ile aynı olmasına rağmen, insan gözünün algılayamadığı veya dikkatsizlik sonucu oluşabilecek kazaların önlenmesi ve insanların hayatlarını kolaylaştırabilmesi amacı taşımıştır.

## 5. KAYNAKLAR

- Albertz, J. ve Wiedemann A., 1995. Acquisition of cad data from existing buildings photogrammetry. Computing in civil and building engineering, Eds: Peter Jan Pahl Heinrich Werner, Rotterdam & Brookfield: A.A.Balkema: 859-866.
- Alizadeh, P., 2015. A thesis Submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Applied Sciences (MASc) in Natural Resources Engineering, Kanada.
- Akman, H., 2015. Çelik içerisindeki metal olmayan kalıntıların görüntü işleme yöntemleriyle otomatik olarak tespit edilmesi ve sınıflandırılması, Kırıkkale.
- Aydilek, S., 2003. Dental porselenlerde tekrarlanan fırınlama işleminin boyutsal stabilite üzerine etkisinin dijital fotogrametri yöntemi ile incelenmesi, Selçun Üniversitesi Doktora Tezi, Konya.
- Berberler, Z. N. ve Berberler, M. E., 2018. El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt: 5, No: 1, 2018 (1-10), Reducing The Space And Time Complexity By The Use of Triangular Matrices.
- Cavallaro, A., Steiger, O. ve Ebrahimi, T., 2005. Tracking video objects in cluttered background, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 15, no. 4, pp. 575-584.
- Ergün, B., 2003. Yakın Resim Fotogrametrisinde Mikrofotogrametrik Uzman Sistem Tasarımı, Tesisi ve Kalibrasyonu, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.
- Ergün, B. ve Şahin, C., 2009. Mikrofotogrametrik Endüstriyel Uzman Sistem Tesisi ve Kalibrasyonu, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Bilimsel Araştırma Projesi Bitirme Raporu, Gebze.
- ERSÖZ, F. E., 2007. Lazer Mesafe Ölçüm Sistemli Otonom Robotlarda Kalman Filtresi Tabanlı Eşzamanlı Lokalizasyon ve Haritalama, İstanbul.
- Firouzi, H. and Najjaran, H., 2010. Real-time monocular vision-based object tracking with object distance and motion estimation, IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp. 987-992, 6-9 July.
- Güçlü, A., 2012. Gerçek Zamanlı Video Görüntülerinden İnsan Hareketlerinin Tanınması ve Yorumlanması, İstanbul.
- Hakan, T., 2009. Detection and Classification of Objects and Texture, İstanbul.
- Haykin, S., 2001. Kalman Filtering and Neural Networks. Wiley. New York.

- Kançura, A., 2010. Yakın Resim Fotogrametrisinde Matlab Arayüz Çalışması Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze.
- Karşlı, F., 2015. Dijital Fotogrametri.pdf ders içeriği, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Kocaman, E., 1988. Yersel Fotogrametride Normal Durumda Yer Kontrol Noktalarının Dağılımının İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Li, L., Deng, Z-Q., Li, B. and Wu, X., 2013. Fast vision-based pose estimation iterative algorithm, Optik – International Journal for Light and Electron Optics, vol. 124, no. 12, pp. 1116-1121.
- Longoria, R. G., 2011. [www.me.utexas.edu/~longoria/me344/lab5/Basic\\_Vision\\_with\\_LabVIEW.pdf](http://www.me.utexas.edu/~longoria/me344/lab5/Basic_Vision_with_LabVIEW.pdf) içerisinden Basic Vision with Lab VIEW [PowerPoint slayt].
- Manjunath, B. S, and Ma, W., 1996. Texture Features for browsing and retrieval of image data,” IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 18, no. 8, pp. 837-842.
- Mikhail, E. M., Bethel J. S., McGlone J. C., 2001. Introduction to Modern Photogrammetry, John Wiley & Sons Inc., USA.
- Moeslund, T. B., 2012. Introduction to Video and Image Processing Building Real Systems and Applications, Springer, Danimarka.
- Ramadhan, S. O., 2017. Traffic Sign Detection and Recognition, Thesis.
- Tao, Z. Changku, S. and Shan, C., 2007. Monocular vision measurement system for the position and orientation of remote object, International Symposium on Photo electronic Detection and Imaging, vol. 6623.
- Wan, E. ve Merwe, R., 2000. The Unscented Kalman Filter for Nonlinear Estimation. Oregon Graduate Institute of Science & Technology.
- Yilmaz, A. Javed, O. ve Shah, M., 2006. Object Tracking: A Survey,” ACM Journal of computing Surveys, vol. 38, no. 4, pp. 1-45.
- Yıldız, F., 2010. Dijital(sayısal) Fotogrametri Teknolojisi, Cebit Bilişim Zirvesi, Selçuk Üniversitesi, İstanbul.
- Zarchan, P. ve Musoff, H., 2005. Fundamentals of Kalman Filtering: a practical approach. American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- URL-1, [www.ualberta.ca/~ccwj/teaching/image/morph/Figs/PNG/connectivity.png](http://www.ualberta.ca/~ccwj/teaching/image/morph/Figs/PNG/connectivity.png),18 Haziran 2015.
- URL-2, <http://what-when-how.com/introduction-to-video-and-image-processing/blobanalysis-introduction-to-video-and-image-processing-part-1/>

## ÖZGEÇMİŞ

Burak TOKDEMİR, Ortahisar/TRABZON'da 1990 yılında doğdu. İlk öğretimini aynı ilçe Dumlupınar İlköğretim Okulunda 2001 yılında, Orta Öğretimini Mimar Sinan İlköğretim okulunda 2004 yılında tamamladıktan sonra, Lise eğitimini de yine aynı ilçede bulunan Yunus Emre Lisesi'nde 2007 yılında tamamladı. 2013 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümünden mezun olduktan sonra 2014 yılında Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Fotogrametri bilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2014-2015 yıllarında Teknokent'te YASUTO Mühendislik firması kurup yağmur suyu toplama üzerine proje üretimi gerçekleştirdik. 2015-2016 yılında URRA İnşaat Şirketi'nde yaya üst geçit projelerinin Harita Mühendisi görevinde çalıştı, 2016-2017 yılında Cengiz İnşaat Şantiyesi Trabzon-Gümüşhane yolu projesinde, 2017-2018 yıllarında Mak-İş İnşaat şirketi Trabzon Kaşüstü yol projesinde, aynı zamanda Avrasya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde öğretim görevlisi olarak Fotogrametri dersi verdi. 2018 yılında MAPA İnşaat Trabzon Kanuni Bulvarı projesinde aktif olarak çalışmaya devam etmektedir.