

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FOTOGRAMETRİK YÖNTEMLE ÜÇ BOYUTLU GEMİ MODELLEME VE  
PROJE VERİLERİ İLE KARŞILAŞTIRMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Harita Mühendisi Altan TEPEGÖZ**

**HAZİRAN 2019  
TRABZON**



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

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FOTOGRAMETRİK YÖNTEMLE ÜÇ BOYUTLU GEMİ MODELLEME VE  
PROJE VERİLERİ İLE KARŞILAŞTIRMA**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**

**"Harita Yüksek Mühendisi"**

**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  
Altan TEPEGÖZ Tarafından Hazırlanan**

**FOTOGRAMETRİK YÖNTEMLE ÜÇ BOYUTLU GEMİ MODELLEME VE PROJE  
VERİLERİ İLE KARŞILAŞTIRMA**

**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

Yüksek lisans tez danışmanlığımı üstlenerek çalışmalarım boyunca ilgi ve alakasını esirgemeyerek özverili ve fedakâr davranan kıymetli hocam sayın Prof. Dr. Fevzi KARSLI'ya teşekkür eder, şükranlarımı sunarım.

Arazi çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Harita Mühendisi Ömer CANÖZÜ'ne teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Öğrenciliğim boyunca geçen yıllar içinde yardımlarına başvurduğum değerli meslektaşlarıma ve bölüm çalışanlarına teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca desteğini hiçbir zaman esirgemeyen eşim Burçin TEPEGÖZ'e, teşekkürlerimi, oğlum Deniz Efe TEPEGÖZ ve kızım Derin TEPEGÖZ'e sonsuz sevgilerimi sunarım.

Altan TEPEGÖZ  
Trabzon 2019

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Fotogrametrik Yöntemle Üç Boyutlu Gemi Modelleme ve Proje Verileri İle Karşılaştırma” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Fevzi KARSLI‘ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, 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. 17/06/2019

Altan TEPEGÖZ

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VIII
SUMMARY .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Temel Kavramlar.....	2
1.2.1. Fotogrametrinin Sınıflandırılması .....	3
1.2.2. Sayısal (Dijital) Fotogrametri.....	4
1.2.3. Dijital (Sayısal) Fotogrametride Kullanılan Koordinat Sistemleri.....	5
1.2.3.1. Piksel Koordinat Sistemi .....	5
1.2.3.2. Resim Koordinat Sistemi.....	6
1.2.3.3. Arazi Koordinat Sistemi .....	6
1.2.4. Dijital (Sayısal) Fotogrametrinin İşlem Adımları .....	7
1.2.5. Yöneltilmeler .....	7
1.2.5.1. İç Yöneltilme .....	8
1.2.5.2. Dış Yöneltilme .....	9
1.2.5.2.1. Karşılıklı Yöneltilme (Relative Orientation).....	10
1.2.5.2.2. Mutlak Yöneltilme (Absolute Orientation).....	11
1.2.6. Doğrusallık (Collinearity) Koşulu .....	12
1.2.7. Dönüklük Matrisinin Elemanlarının Belirlenmesi .....	16
1.2.8. Eş Düzlemlik Eşitliği (Coplanarity Equation).....	17
1.2.9. Işın Demetleri İle Fotogrametrik Nirengi.....	18
1.2.10. Yersel Fotogrametri.....	19
1.2.10.1. Yersel Fotogrametride Fotoğraf Alımı .....	20
1.2.10.1.1. Normal Alım.....	22

1.2.10.1.2. Dönük Alim .....	22
1.2.10.1.3. Konvergent (Eğik) Alim.....	24
1.2.11. Kamera Kalibrasyonu .....	24
1.2.12. Nokta Bulutu Üretimi .....	25
1.3. Eğri Uydurma .....	26
1.3.1. En Küçük Kareler Yöntemi .....	28
1.3.2. Lineer Denklem Uydurma .....	28
1.3.3. Uyumun Kontrolü.....	30
1.3.4. Polinom Fonksiyonlari (K-Dereceden) .....	31
1.3.5. Matris Yöntemi İle Eğri Uydurma .....	32
1.2.2. Yüzey Enterpolasyonu.....	33
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	35
2.1. Çalışma İş Akışı.....	35
2.2. Uygulama Objesi .....	36
2.3. Kullanılan Kamera.....	36
2.4. Kontrol Noktalarının Tesis Ve Ölçüsü .....	37
2.5. Fotoğrafların Çekilmesi.....	40
2.6. Uygulama Objesi Nokta Verilerinin Oluşturulması .....	42
2.7. Karşılaştırma İşlemlerinin Yapılması.....	44
2.7.1. Yüzey Karşılaştırmaları .....	44
2.7.1.1. Yüzey_1 Karşılaştırılması .....	45
2.7.1.2. Yüzey_2 Karşılaştırılması .....	47
2.7.1.3. Yüzey_3 Karşılaştırılması .....	50
2.7.1.4. Yüzey_4 Karşılaştırılması .....	52
2.7.2. Ayrıt Karşılaştırmaları.....	54
2.7.2.1. Ayrıt_1 Karşılaştırması .....	55
2.7.2.2. Ayrıt_2 Karşılaştırması .....	57
2.7.2.3. Ayrıt_3 Karşılaştırması .....	59
2.7.2.4. Ayrıt_4 Karşılaştırması .....	62
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	64
3.1. Yüzey_1 İçin Elde Edilen Bulgular.....	64
3.2. Yüzey_2 İçin Elde Edilen Bulgular.....	65
3.3. Yüzey_3 İçin Elde Edilen Bulgular.....	66

3.4.	Yüzey_4 İçin Elde Edilen Bulgular.....	66
3.5.	Ayrit_1 İçin Elde Edilen Bulgular.....	67
3.6.	Ayrit_2 İçin Elde Edilen Bulgular.....	68
3.7.	Ayrit_3 İçin Elde Edilen Bulgular.....	68
3.8.	Ayrit_4 İçin Elde Edilen Bulgular.....	69
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	70
5.	KAYNAKLAR.....	73

ÖZGEÇMİŞ





Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

FOTOGRAMETRİK YÖNTEMLE ÜÇ BOYUTLU GEMİ MODELLEME ve PROJE  
VERİLERİ İLE KARŞILAŞTIRMA

Altan TEPEGÖZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Fevzi KARSLI  
2019, 75 Sayfa

Son zamanlarda yersel fotogrametri yöntemi üç boyutlu modelleme çalışmalarında artarak uygulanmaktadır. Özellikle teknolojinin gelişmesi ile sayısal fotoğraflar üretilerek oluşturulan üç boyutlu modellerin elde edilmesi mühendislik problemlerinin çözümlenmesinde etkili ekonomik ve verimli yöntemleri ortaya çıkarmıştır. Endüstri ve sanayi alanında kalite kontrolün sağlanması ve üretimde kullanılan malzemenin optimum şekilde kullanılarak ekonomik şekilde ürüne dönüştürülmesi ve yüksek doğrulukta belirlenmesi mühendislik problemlerinden bir tanesidir. Bu çalışmada, yapım aşamasında ki bir balıkçı teknesi yersel fotogrametrik yöntemlere göre mevcut durumunun tespit edilmesi ve ardından imalata esas teşkil eden proje ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. İmalat öncesi proje verilerinin imalat aşamasındaki mevcut durum ile karşılaştırılması yüzey ve ayrıt olarak iki gruba ayrılarak gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırmalarda proje verilerinin ve mevcut durumun ayrıt ve yüzeylerini temsil eden matematiksel fonksiyonlar hesaplanarak fonksiyon katsayıları karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada uygulanan yersel fotogrametrik yöntemin gemi inşaat alanlarının kurulmasında, gemi yapımındaki makine ve parçaların montajında, üretim sonrası kalite kontrol ölçmelerinde yüksek doğruluk ile kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yerel Fotogrametri, Eğri Uydurma, Sayısal Yüzey Modeli, Stereo Model

Master Thesis

SUMMARY

PHOTOGRAPHIC METHOD AND COMPARISON WITH THREE DIMENSIONAL  
SHIP MODELING AND PROJECT INFORMATION

Altan TEPEGÖZ

Karadeniz Technical University  
The graduate school of natural and applied sciences  
Geomatics engineering department  
Supervisor: Prof. Dr. Fevzi KARSLI  
2019, 75 Pages

Recently, terrestrial photogrammetry method is increasingly applied in three dimensional modeling studies. Especially with the development of technology, obtaining three dimensional models created by producing digital photographs has resulted in effective economic and efficient methods for solving engineering problems. Ensuring quality control in the industry and industry and converting the material used in production to the product in an economic manner and determining it with high accuracy is one of the engineering problems. In this study, it is aimed to determine the current situation of a fishing vessel under construction according to terrestrial photogrammetric methods and then to compare with the project which is the basis of production. The comparison of the pre-production project data with the current situation in the manufacturing stage was carried out by dividing the surface and edge into two groups. In the comparisons, mathematical functions representing the details and surfaces of the project data and current situation were calculated and function coefficients were compared.

In this study, it was concluded that the terrestrial photogrammetric method can be used with high accuracy in the construction of shipbuilding areas, in the assembly of machinery and parts in shipbuilding, and in post-production quality control measurements.

**Key Words:** Terrestrial Photogrammetry, Curve Fitting, Digital Surface Model, Stereo Model

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1. Fotogrametrinin tarihsel gelişimi .....	3
Şekil 2. Sayısal görüntünün temel yapısı .....	5
Şekil 3. Piksel Koordinat Sistemi .....	5
Şekil 4. Resim Koordinat Sistemi .....	6
Şekil 5. Arazi Koordinat Sistemi .....	7
Şekil 6. Yöneltilme işlem adımları .....	8
Şekil 7. İç Yöneltilme Parametreleri.....	9
Şekil 8. Piksel ve Resim Koordinat Sistemi .....	9
Şekil 9. Arazi noktasına ilişkin eşlenik ışınların çakıştırılması (Altan, 1974) .....	10
Şekil 10. Mutlak Yönlendirme İşlemini Koordinat Sistemlerinde Gösterimi .....	12
Şekil 11. Resim ve Cisim Koordinat Sistemleri Arasındaki Temel Bağlıntılar .....	13
Şekil 12. Eş düzlemlilik (Coplanarity) koşulu.....	17
Şekil 13. Farklı fotoğraflardaki eşlenik ışınlar (Ölçücüoğlu, 2019).....	18
Şekil 14. Yersel fotogrametri de fotoğraf alımı (6, 2019).....	21
Şekil 15. Normal alım (8, 2019).....	22
Şekil 16. Dönük ve eğik alım (8, 2019).....	23
Şekil 17. Konvergent Alım (8, 2019) .....	24
Şekil 18. Radyal distorsiyonun görüntüye etkileri .....	25
Şekil 19. Gerçek Değer İle Tahmini Değer Arasındaki Farklar .....	28
Şekil 20 Uygulama İş Akışı.....	35
Şekil 21. Ölçüm yapılan geminin önden görünüşü.....	36
Şekil 22. Tesis edilen kontrol ve poligon noktalarının şematik görüntüsü .....	39
Şekil 23. Obje üzerine tesis edilen PhotoModeler'a ait hedef nokta.....	40
Şekil 24. Çekilen fotoğraf örneği .....	41
Şekil 25. Oluşturulan stereomodel ve fotoğraf çekim noktaları .....	41
Şekil 26. Ölçeklendirilmiş nokta bulutu geometrisi .....	42
Şekil 27. İmalat projesi ve mevcut durum .....	43
Şekil 28. Seçilen Referans Noktaları ve Ayrıtlar .....	44
Şekil 29. Yüzey_1 .....	45

Şekil 30. Yüzey_1 Mevcut Durum görüntüsü .....	46
Şekil 31. Yüzey_1 Proje Durum görüntüsü.....	46
Şekil 32. Yüzey_2 .....	47
Şekil 33. Yüzey_2 mevcut durum görüntüsü .....	48
Şekil 34. Yüzey_2 Proje Durum görüntüsü.....	49
Şekil 35. Yüzey_3 Görüntüsü.....	50
Şekil 36. Yüzey_3 mevcut durum görüntüsü .....	51
Şekil 37. Yüzey_3 proje durum görüntüsü.....	51
Şekil 38. Yüzey_4 görüntüsü .....	52
Şekil 39. Yüzey_4 mevcut durum görüntüsü .....	53
Şekil 40. Yüzey_4 proje durum görüntüsü.....	53
Şekil 41. Bir ve iki numaralı ayırıt görüntüsü .....	55
Şekil 42. Ayırıt_1 mevcut durum görüntüsü .....	56
Şekil 43. Ayırıt_1 proje durum görüntüsü.....	56
Şekil 44. Ayırıt_1 mevcut durum proje durum karşılaştırılması .....	56
Şekil 45. Ayırıt_2 mevcut durum görüntüsü .....	58
Şekil 46. Ayırıt_2 proje durum görüntüsü.....	58
Şekil 47. Ayırıt_2 mevcut durum proje durum karşılaştırılması .....	58
Şekil 48. Ayırıt_3 ve ayırıt_4 .....	59
Şekil 49. Ayırıt_3 mevcut durum görüntüsü .....	60
Şekil 50. Ayırıt_3 proje durum görüntüsü.....	60
Şekil 51. Ayırıt_3 mevcut durum proje durum karşılaştırılması .....	61
Şekil 52. Ayırıt_4 mevcut durum görüntüsü .....	62
Şekil 53. Ayırıt_4 proje durum görüntüsü.....	62
Şekil 54. Ayırıt_4 mevcut durum proje durum karşılaştırılması .....	63

## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1. Hız ve durma Mesafesi.....	29
Tablo 2. Kamera kalibrasyon parametreleri .....	37
Tablo 3. Tesis edilen kontrol noktalarının ölçülen koordinatları .....	38
Tablo 4. Yüzey_1 polinom katsayıları ve farkları.....	47
Tablo 5. İki numaralı yüzeyin polinom katsayıları ve farkları .....	49
Tablo 6. Yüzey_3 polinom katsayıları ve farkları.....	51
Tablo 7. Yüzey_4 polinom katsayıları ve farkları.....	54
Tablo 8. Ayırıt_1 polinom katsayıları ve farkları.....	57
Tablo 9. Ayırıt_2 polinom katsayıları ve farkları.....	59
Tablo 10. Ayırıt_3 polinom katsayıları ve farkları.....	61
Tablo 11. Ayırıt_4 polinom katsayıları ve farkları.....	63
Tablo 12. Yüzey_1 fonksiyon katsayıları farkları ve karesel ortalama hataları.....	64
Tablo 13. Yüzey_2 uyum fonksiyon katsayıları farkları ve karesel ortalama hataları.....	65
Tablo 14. Yüzey_3 uyum fonksiyon katsayıları farkları ve karesel ortalama hataları.....	66
Tablo 15. Yüzey_4 uyum fonksiyon katsayıları farkları ve karesel ortalama hataları.....	67
Tablo 16. Ayırıt_1 uyum fonksiyon katsayıları farkları ve karesel ortalama hataları.....	67
Tablo 17. Ayırıt_2 uyum fonksiyon katsayıları farkları ve karesel ortalama hataları.....	68
Tablo 18. Ayırıt_3 uyum fonksiyon katsayıları farkları ve karesel ortalama hataları.....	69
Tablo 19. Ayırıt_4 uyum fonksiyon katsayıları farkları ve karesel ortalama hataları.....	69

## SEMBOLLER DİZİNİ

ISPRS	: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing
RMSE	: Kareysel Ortalama Hata
SST	: $y_i$ Değeri ile $y$ nin Ortalamasının Farklarının Kareleri Toplamı
SSE	: Tahmini Noktalardaki Hataların Kareleri Toplamı
G	: Görüntü Matrisi
D	: Dönme Matrisi
P1, P2	: Teğetsel Distorsiyon Katsayıları
K1, K2, K3	: Radyal Distorsiyon Katsayıları
$p_y$	: Düşey Paralaks
$\lambda$	: Ölçek Faktörü
$(X_0, Y_0, Z_0)$	: İzdüşüm Merkezi Koordinatları
$(x_0, y_0)$	: Fotoğrafın Asal Noktasının Koordinatları
$\omega$	: x Eksenini Etrafındaki Dönme Açısı
$\varphi$	: y Eksenini Etrafındaki Dönme Açısı
$\gamma$	: z Eksenini Etrafındaki Dönme Açısı
c	: Kamera Odak Uzaklığı
B	: İki İzdüşüm Merkezi Arasındaki Baz Uzunluğu
$U_j, U_k$	: Arazi ve İzdüşüm Merkezleri Arasını Temsil Eden Vektörler
e	: Gerçek Değer İle Tahmini Değer Arasındaki Fark
$R^2$	: R-Square (Uyum Fonksiyonunun Kalite Göstergesi)
$a_1, a_2, \dots, a_k$	: Uyum Fonksiyonunun Katsayıları

# 1. GENEL BİLGİLER

## 1.1. Giriş

Temel Mühendislik dallarından biri olan harita mühendisliği birçok mühendislik disipliniyle ilişkilidir. Harita mühendisliği disiplini yeryüzünün geometrisini belirlemede en önde gösterilen mühendislik disiplindir. Yeryüzü üzerinde var olan tüm objelerin boyutlarının belirlenmesinde ve bu objelerin birbirleriyle olan geometrik ilişkilerinin kurulmasında da önemli bir rol oynamaktadır. Bu nokta da imalatı yapılacak büyük boyuttaki yapıların geometrik boyutlarının kabul edilebilir doğrulukta tespit edilmesi ve geometriyi oluşturan nesnelerin birbirleriyle olan konumsal ve geometrik ilişkilerin belirlenmesi endüstriyel imalat süreçlerinin en önemli sorunlarından biridir.

Bu bağlamda endüstri ve sanayi alanında kalite kontrolün sağlanması ve üretimde kullanılan malzemenin optimum şekilde kullanılarak ekonomik şekilde ürüne dönüştürülmesi çok yüksek doğrulukta belirlenmesi boyutsal ölçmelerle doğrudan ilişkilidir.

Endüstrinin önemli alanlarından gemi inşaat sektöründe boyut belirleme ölçmelerinin önemi büyüktür. Örneğin, gemi inşaat alanlarının kurulmasında, gemi yapımındaki makine ve parçaların montajında, tasarım ve prototip çalışmalarında, üretim işlemleri sırasında, bağımsız olarak üretilen parçaların birleştirilmesinde, üretim sonrası kalite kontrol ölçmelerinde boyut belirleme ölçmelerinin önemi büyüktür. Bu çerçevede yapılacak ölçmeler bize şu faydaları sağlayacaktır.

- Tasarım ile üretim arasında uyumun sağlanarak üretimin her aşamasında yapılan kontroller ile üretim sürecinin hatalardan arındırılması,
- Birden fazla parçadan oluşan ürünlerin üretim ve birleştirilmesi sırasında meydana gelebilecek sorunları en aza indirilmesi
  - Üretim sürecinde zamandan ve ekonomiden kazanç sağlanması
  - Üretimin hızlı ve güvenli bir şekilde kontrol edilmesi
  - Üretimde kullanılan makinelerin üretim koşullarının iyileştirilmesi ve gerekli kontrollerinin yapılması
- Onarım işlemlerinde zamandan ve maliyetten tasarruf edilmesi şeklinde örnekler verebilir.

Bahse konu boyut belirleme işlemlerinin yapılabilmesi için harita mühendisleri tarafından ölçme sistemleri oluşturulmalı ve uygun ölçme teknikleri ile ölçümler yapılmalıdır. Örneğin yüksek çözünürlüklü kameralar, fotogrametride kullanılan yazılımlar, yersel jeodezik total stationlar, lazer tarayıcılar bu sistemlerin kurulmasındaki önemli ekipmanlar arasındadır. Bu çerçevede yapılan çalışmada, yapım aşamasında ki bir balıkçı teknesinin yersel fotogrametrik yöntemlere göre fotoğrafları çekilip objenin nokta bulutu üretilmiştir. Bu yöntemle mevcut durumu tespit edilen tekne imalata esas projesi ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma işlemleri yüzey ve ayırıt olarak iki grup da ele alınmıştır. İmalat durumdaki objeye ait ayırıt ve yüzeyleri temsil eden uyum fonksiyonları ve katsayıları belirlenerek imalat proje verileri ile karşılaştırılmıştır. Böylelikle uygulanan yersel fotogrametri yönteminin endüstriyel tesislerde imalat durumunun proje verileri ile uyumu ve kalite kontrolünün sağlanması yönündeki etkililiği ve verimliliği ortaya konulması amaçlanmıştır.

## **1.2. Temel Kavramlar**

Fotogrametri sözcüğü, eski Yunanca'da ışık anlamına gelen "photos", çizgi anlamına gelen "gramma" ve ölçme anlamına gelen "metron" kelimelerinin birleşmesiyle elde edilmiştir (Marangoz, 2000). Buna göre ışık yardımı ile çizerek ölçme anlamına gelmektedir. Fotogrametri tekniği ile 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 ya da plan biçimine dönüştürülebilir. Objelerin geometrik ve radyometrik parametrelerini fotoğraflar yardımıyla elde etmektir (2, 2019).

Nesnelerin ve arazinin geometrik özellikleri nesnelere doğrudan temas olmadan fotogrametri yöntemi ile elde edilebilir. Bu yöntemle sayısal hale getirilmeye çalışılan bir veya birden fazla nesnenin nesneyi görebilecek bir konumdan kamera ve benzeri aletleri ile yersel ve hava çekimleri sayesinde alınan bindirmeli fotoğrafların ayıklanması, değerlendirilmesi ve çözümlenmesi ile sonuca varılan ve istenilen sonuç ürünleri üretmeye, üretilen bu ürünler üzerinde sayısal oynanabilirlik kazandırılabilen bir yöntemdir.

En genel anlamıyla fotogrametri ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing)'in tanımına göre ; "fotoğrafik görüntülerin ve elektromanyetik enerjinin

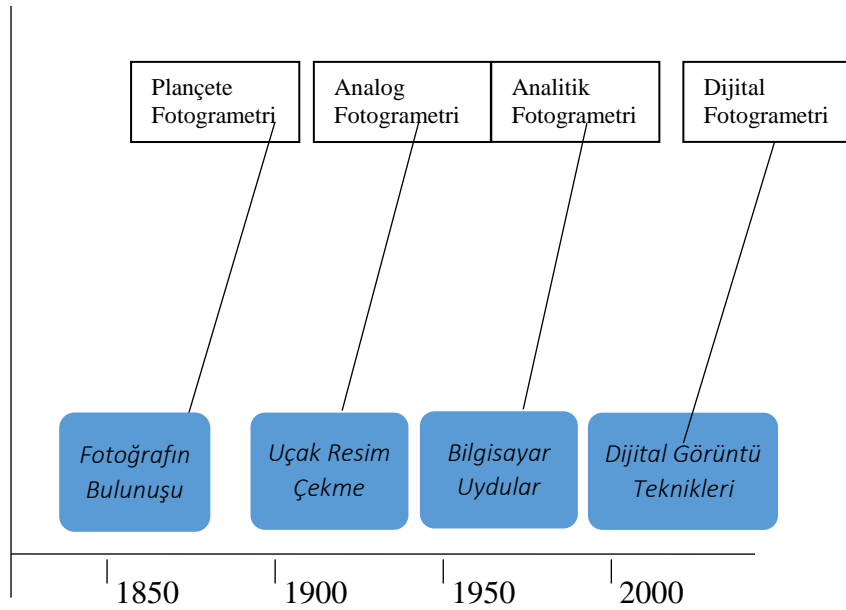


kayıt, ölçme ve yorumlanması sonucu fiziksel cisimler ve bunların çevresine ilişkin bilgileri oluşturan ve bu bilgilerin analizini yapan bir bilim dalıdır” (1, 2019).

### 1.2.1. Fotogrametrinin Sınıflandırılması

Fotogrametri, obje büyüklüğü, fotoğraf çekim noktasının konumu ve değerlendirme yöntemlerine göre sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma aşağıda verilmiştir.

- a) **Obje büyüklüğüne göre**
  - Mikro fotogrametri
  - Makro fotogrametri
- b) **Fotoğraf çekim noktasının konumuna göre**
  - Hava fotogrametrisi
  - Yer ve yersel fotogrametri
- c) **Değerlendirme yöntemine göre**
  - Plançete (Grafik) Fotogrametrisi
  - Analog fotogrametri
  - Analitik fotogrametri
  - Sayısal (dijital) fotogrametri



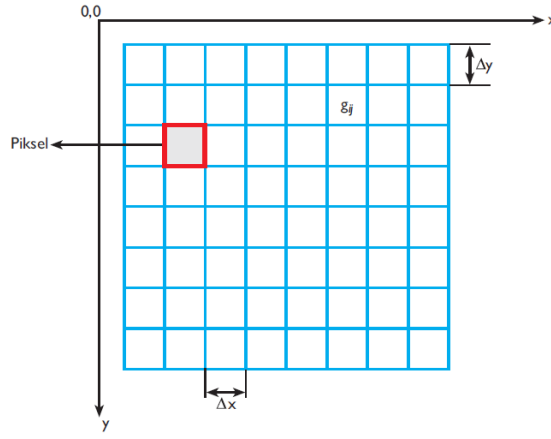
Şekil 1. Fotogrametrinin tarihsel gelişimi

### 1.2.2. Sayısal (Dijital) Fotogrametri

Sayısal fotogrametri, cisimlere ait ikili (stereo) görüntü ortamından üç boyutlu bilgi sağlayan, sayısal resimler veya sayısal görüntü ile çalışan bir fotogrametri bilimidir. Girdi olarak sayısal görüntüleri kullanan, sorgulamalı veya yarı otomatik yöntemlerle tüm fotogrametrik görevleri yerine getirebilen yazılım ve donanımlardan oluşur. Resimlerin bilgisayarda depolanmasını ve işlenmesini esas alır. Sayısal resimler, metrik kameralarla çekilmiş analog resimlerin (hard copy), tarayıcılarla sayısal hale getirilmesi ile elde edilir. Sayısal görüntü, ya direkt olarak sayısal kameralarla veya analog çıktı veren video kamera görüntülerinin video sayısallaştırıcılarla (frame grabber) sayısal hale getirilmesi ile elde edilir (3, 2018).

Sayısal fotogrametri yöntemi ile değerlendirme yöntemi, nesnenin büyüklüğü, konumu, kullanım amacı, ölçüm hassasiyeti gibi birçok özelliğe bağlı olarak belirlenebilir. Projenin amacına göre sayısal ortofoto, sayısal yükseklik modelleri, nesnelerin üç boyutlu yüzey modelleri sonuç ürünleri olarak söylenilebilir. Sayısal fotogrametri yöntemi ile sonuç ürünlerin üretiminde kullanılan yöntemler, sayısal tek fotoğraf değerlendirmesi, stereo değerlendirme, sayısal ortofoto ve stereo görüş olmadan birden fazla fotoğraf yardımıyla değerlendirme yöntemleri olarak sıralanabilir (Yastıklı, 2005).

Sayısal bir görüntü, sürekli bir görüntü fonksiyonu üzerinden eşit aralıklarla x-ekseni boyunca N adet örnek ve y-ekseni boyunca M adet örnek alınarak oluşturulabilir. İki boyutlu yatayda N ve düşeyde M örnekten oluşan toplam  $N \times M$  sonlu örnek değeri ile analog bir görüntü yaklaşık olarak ifade edilebilir. Böylelikle analog görüntü fonksiyonu örneklenmiş olur ve düzgün örnekleme, analog görüntüden hem yatay hem de düşey yönde eşit aralıklarla örnek alınarak oluşturulur. Oluşan dijital (sayısal) görüntü aslında N satır ve M sütundan oluşan bir matristir. Yukarıda da belirttiğimiz gibi alınan örnekler sayısal görüntünün en küçük birimi pikseldir. Sayısal görüntü  $g_{ij}$  elemanlı iki boyutlu G matrisinden oluşur. Sütun ve satır sayıları (i, j) piksel merkezinin koordinatlarını,  $g_{ij}$  elemanının sayısal değeri de gri düzeyini ifade eder.



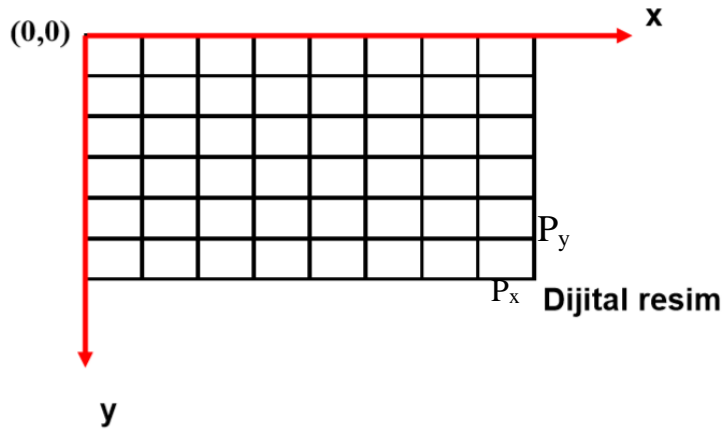
Şekil 2. Sayısal görüntünün temel yapısı

Sayısal fotogrametri, sayısal kameralarla elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntülerin doğrudan kullanılması, yöneltme, stereo görüş ve stereo değerlendirme çalışmalarının bilgisayar ortamında yapılabilmesi ve en önemlisi üretilen ürünlerin sayısal olması nedeni ile günümüzde tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir.

### 1.2.3. Dijital (Sayısal) Fotogrametride Kullanılan Koordinat Sistemleri

#### 1.2.3.1. Piksel Koordinat Sistemi

Sayısal olarak elde edilen resimlerin koordinatlarının ilk olarak ölçüldüğü koordinat sistemidir ve iki boyutlu bir sistemdir. Fotoğraflar dijital kameralar veya tarayıcılarla elde edilir.

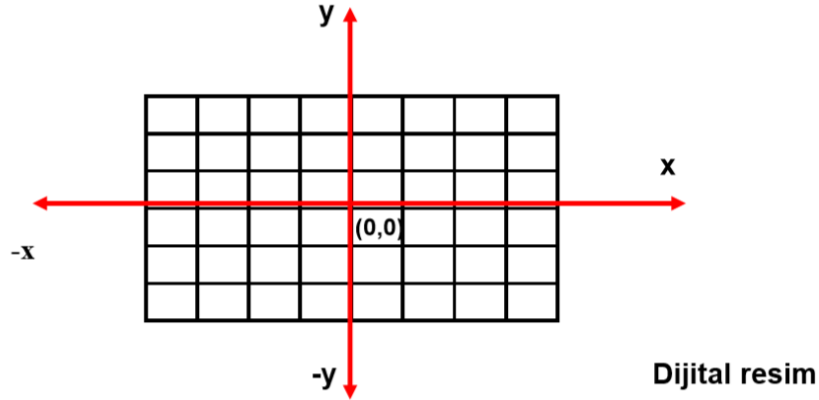


Şekil 3. Piksel Koordinat Sistemi

Koordinat sisteminin başlangıç noktası dijital görüntünün sol üst köşesidir. Koordinat sisteminin en küçük birimi pikseldir. Dolayısıyla  $M \times N$  çözünürlüklü bir resim için piksel koordinat sisteminde oluşan eksenler  $M$  tane yatay,  $N$  tane dikey olmak üzere  $M \times N$  adet piksel vardır ve bu pikseller o resmin boyutlarını oluşturur. Her pikselin renk değeri elde edilir ve bu pikseller koordinatlandırılır.

### 1.2.3.2. Resim Koordinat Sistemi

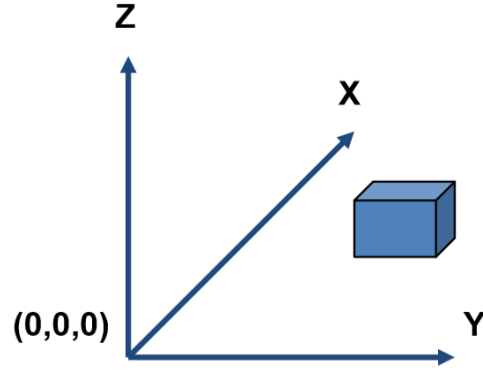
Resim orta nokta bulucuları ile tespit edilmiş olan birbirine dik eksenlerden oluşan koordinat sistemidir. Bilgisayar üzerinde resim üzerinden alınan her bir koordinat ilk olarak piksel koordinatıdır. Dijital olarak yapılan iç yönlendirme sonunda elde edilen yine iki boyutlu koordinat sistemi ise resim koordinat sistemi olarak adlandırılır. Piksel olarak ölçülen koordinatlar transformasyon ile bu koordinat sistemine dönüştürülür. Bu konu iç yönlendirme başlığı altında anlatılacaktır. Ölçek olarak 1/1 ölçeğinde koordinatlar elde edilir. Bu dönüşüm sonrasında distorsiyon parametreleri de hesaplanabilir (Ergün, 2019).



Şekil 4. Resim Koordinat Sistemi

### 1.2.3.3. Arazi Koordinat Sistemi

Üç boyutlu ölçme işlemlerinin yapıldığı koordinat sistemidir. Dijital olarak yapılan dış yönlendirme sonrası elde edilen ve fotogrametrik olarak çalışılan cisimler üzerinde tesis edilmiş üç boyutlu sonuç (uzay) koordinat sistemidir (Ergün, 2019).



Şekil 5. Arazi Koordinat Sistemi

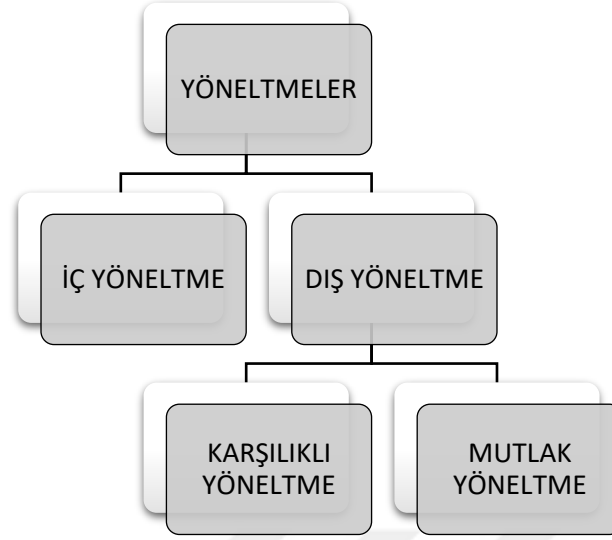
#### 1.2.4. Dijital (Sayısal) Fotogrametrinin İşlem Adımları

Dijital (Sayısal) Fotogrametrinin işlem adımları aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- Resim Çekimi Planı
- Kamera Kalibrasyonu
- Resim Çekimi
- Jeodezik Koordinatlandırma
- İç Yönelme
- Dış Yönelme
- Ölçme ve Değerlendirme

#### 1.2.5. Yönelmeler

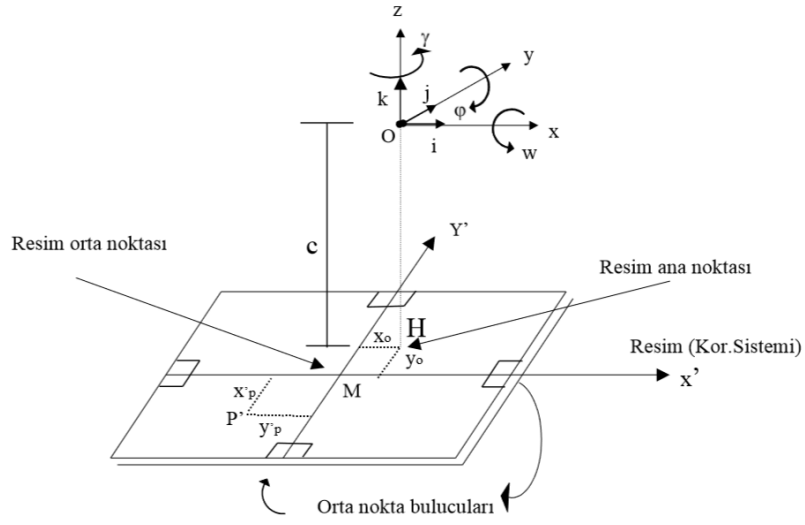
Fotoğrafların, fotoğraf çekim anındaki konumlarının yeniden elde edilmesi işlemine yönelme denir (Marangoz, 2000). Aslında yönelme işlemi için koordinat sistemleri (fotoğraf koordinat sistemi, piksel koordinat sistemi ve arazi koordinat sistemi) arasındaki dönüşüm problemidir denilebilir. İç ve dış yönelme olmak üzere iki adımda gerçekleştirilir.



Şekil 6. Yönelme işlem adımları

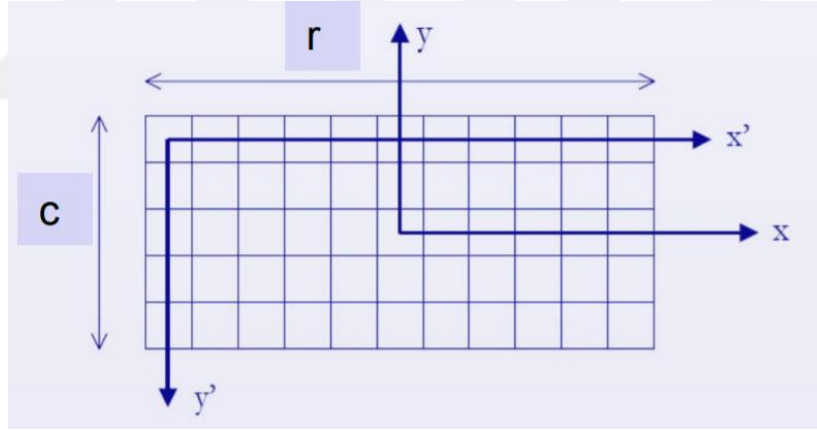
#### 1.2.5.1. İç Yönelme

İç yönelme, izdüşüm merkezine göre resim noktalarının konumunu esas alarak cisim uzayındaki ışınların aralarındaki açısal bağıntıyı göstermektedir. Bu sayede resim, koordinat sistemine göre izdüşüm merkezinin konumu yönelmenin geometrik elemanlarıyla ifade edilmektedir (Mırdan, 2018). İç yönelme, piksel koordinat sisteminden resim koordinat sistemine geçilmesi işlemidir. Üç tane iç yönelme bilinmeyeni vardır. Bunlar, fotoğraf asal noktasının koordinatları  $(x_0, y_0)$  ve kamera odak uzaklığıdır  $(c)$ . Fotoğraf asal noktasının koordinatlarının, odak uzaklığının ve mercek distorsiyon değerlerinin sisteme girilmesi ile çekim anındaki durum bilgisayar ortamında yeniden oluşturulur (Kılıç, 2011). İç yönelme elemanları çekim anındaki durumu sayısal hale getirebilmek için ve çekim resimlerinin üzerinden işlem yapılabilmesi için önceden tanımlanması gerekli olan bilinmeyenlerdir. Bu bilinmeyenleri tanımladığımızda sanal olarak fotoğrafı koordinat istemine taşımış oluruz. İç yönelme ile resim çekim anındaki ışın demeti yeniden oluşur (Ergün, 2019).



Şekil 7. İç Yönelme Parametreleri

Şekil 7’de görüldüğü üzere iç yönelme elemanları, resim ana noktası H’nin orta noktaya göre konumu ve iz düşüm merkezinin resim düzlemine olan uzaklığıdır.



Şekil 8. Piksel ve Resim Koordinat Sistemi

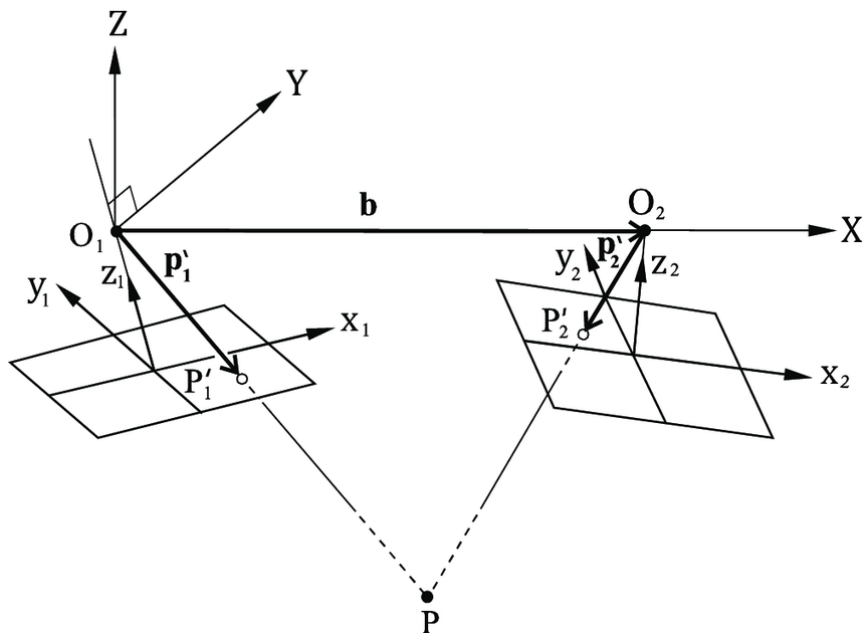
### 1.2.5.2. Dış Yönelme

Sayısal fotogrametride yönelme işleminin son adımını oluşturan dış yönelme işlemi fotogrametrik triyngülasyon olarak adlandırılan bütünlük bir çalışmadır. Dış yönelme obje koordinat sistemi ile fotoğraf koordinat sistemi arasındaki dönüşüm parametrelerinin belirlenmesi olarak tanımlanır (Kılıç, 2011). Dış yönelme bilinmeyenleri; izdüşüm merkezi koordinatları ( $X_0, Y_0, Z_0$ ) ve fotoğraf koordinat sistemi ile arazi koordinat sistemi arasındaki

dönüklükler ( $\omega$ ,  $\phi$ ,  $\kappa$ )'den oluşmaktadır. Dış yöneltme sayesinde resim koordinatlarından arazi koordinatlarına geçiş yapılır. Yani iç yöneltme ile koordinat sistemi tanımlanan, bildirmeli iki resim önce karşılıklı yönlendirilerek birbiriyle eşleştirilir ve bilinmeyenlerin 5 tanesi çözülür ardından bir ölçeksiz model oluşur. Bu modeli ölçeklendirme ve dolayısıyla gerçek ölçülerine taşıma işlemi de mutlak yönlendirmedir. Dış yöneltme, karşılıklı ve mutlak yöneltme olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilir.

### 1.2.5.2.1. Karşılıklı Yöneltme (Relative orientation)

Resimlerin çekim sırasındaki konumlarına yani paralakslarının yok edilerek eşlenik ışınların kesiştirilmesi suretiyle ışın demetlerinin ve araziye benzer bir modelin elde edilmesi için yapılan işlemlere denir. Karşılıklı yöneltme ile fotoğrafın eğiklikleri ve dönüklükleri giderilir ve fotoğrafların birbirine göre çekildikleri konuma gelir yani arazinin ya da nesnenin 3 boyutlu modeli elde edilmesine rağmen ölçek ve paralellik konusunda problemler barındırır. Çekim sırasında kamera dönüklük ve eğiklikleri ölçülememekte ancak sonradan paralaksları yardımı ile bunları hesaplamak mümkün olmaktadır. Karşılıklı yöneltmede çekim durumunun tam tersi oluşturulduğundan objenin tam benzeri elde olan model elde edilmiş olur. Resimlerin çekim sırasındaki konumuna getirilmeleri kendi eksenleri etrafında döndürülerek veya kaydırılarak sağlanır.



Şekil 9. Arazi noktasına ilişkin eşlenik ışınların çakıştırılması (Altan, 1974)



Bu işlemlerdeki amaç homolog ışınları yani aynı arazi noktasına ait izdüşüm ışınlarını çakıştırılmasıdır. Homolog ışınların kesişmesi sonucu resimler birbirine nazaran çekildikleri konuma gelirler. Bu ışınların kesişmesini sağlamak demek o noktadaki yatay ve düşey paralaksı gidermek demektir.

y-paralaksı: Aynı noktaya ait “y” ordinat farklarına düşey paralaks ( $p_y$ ) denir. (y; fotoğraf koordinat sistemine göre düşey bileşen). Aynı noktaya ait “y” farkları giderilerek, düşey paralaks ortadan kaldırılmalıdır. Stereo modelin oluşması için modelde düşey paralaks olmamalıdır (Kılıç, 2011).

Bu işlemin yapılması için fotoğraflarda ölçülen bağlama noktalarının Von Gruber noktaları yakınında seçilmesi gerekir (Altıntaş,2014). Karşılıklı yöneltme sırasında kontrol noktalarına gerek yoktur. Çünkü kontrol noktaları 3 boyutlu afin dönüşümün de araziye koordinat sistemleri arasındaki bilinmeyenleri çözerken gereklidir. Bildirmeli fotoğrafların eşlenik ışınlarının y paralaksı giderilerek birleşmesi ölçeksiz bir modeli temsil eder.

Von Gruber: Modelde standart nokta olarak 6 nokta seçilir. Bu noktaların seçimi Von Gruber tarafından yapılmıştır. Bu nedenle bu noktalara Von Gruber noktaları denir.

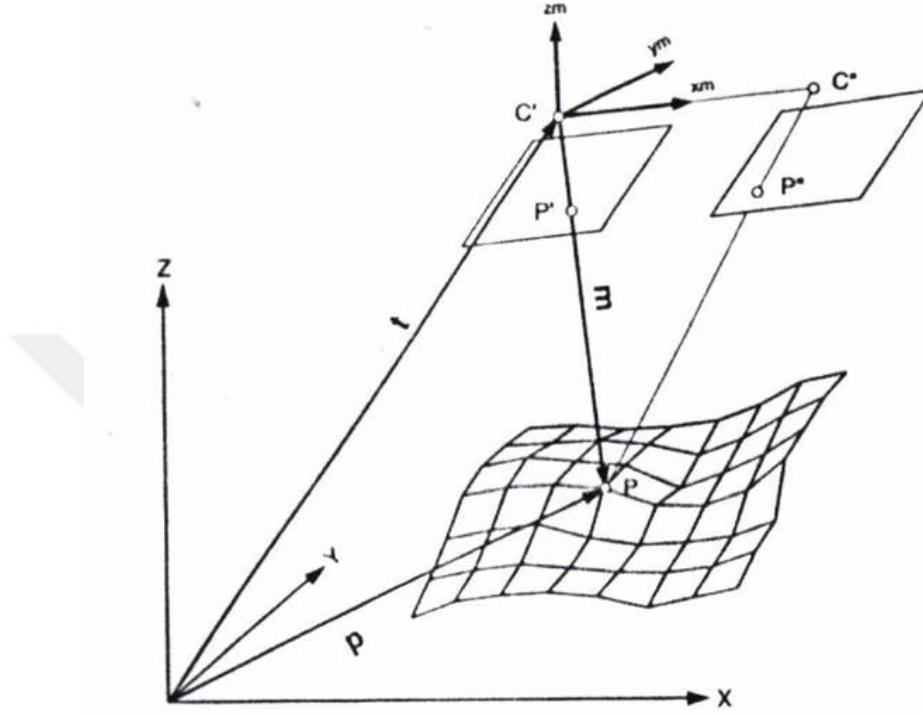
Karşılıklı yöneltmede 5 yöneltme bilinmeyeni vardır. Bu nedenle bu noktaların 5 tanesi kullanılır. 6. Noktada da kontrol yapılır. Bu noktaların yerleri model üzerinde kesin olarak belirli değildir. Karşılıklı yöneltmeler bu Gruber noktaların kullanılarak yapılır.

#### **1.2.5.2.2. Mutlak Yöneltme (Absolute Orientation)**

Mutlak yöneltmede izdüşüm merkezi koordinatları ( $X_o, Y_o, Z_o$ ), modeldeki dönüklükler ( $K, \Phi, \Omega$ ) ve ölçek faktörü ( $\lambda$ )'ndan oluşan yedi adet bilinmeyen çözülür. Mutlak yöneltmede X, Y ve Z koordinatları bilinen kontrol noktaları kullanılır. Mutlak Yöneltme ile fotoğraf koordinat sistemi ve belirlenen nesne (obje) uzayı koordinat sistemi (Arazi Koordinat Sistemi) arasındaki bağlantı sağlanır. Mutlak Yöneltme yapılabilmesi için model alanına uygun dağılmış en az üç kontrol noktasına ihtiyaç vardır. Bu noktaların arazi koordinatları ya jeodezik ya da çoğunlukla fotogrametrik nirengi yöntemi ile daha önce belirlenmektedir. Bu kontrol noktalarının her iki sistemdeki koordinatları kullanılarak bir üç boyutlu benzerlik dönüşümü yapılır. Böylece modelin mutlak yöneltmesi yapılmış olur (Sesli, 2006).

Sayısal fotogrametri de görüntü işleme ve görüntü analiz tekniklerinin kullanımı ile yöneltme aşamaları otomatik olarak yapılabilir. Karşılıklı yöneltme ve mutlak yöneltme aynı aşamada tamamlanabilmektedir (Altan, 1974).

Karşılıklı yöneltme sonucu elde edilen üç boyutlu modelin ölçeklendirilmesi ve belirli bir jeodezik referans sistemine göre konumlandırılması gerekmektedir. Belirlenen Model Ölçeğine ve Baza (b) bağlı olarak düzeltme getirilir (Sesli, 2006).

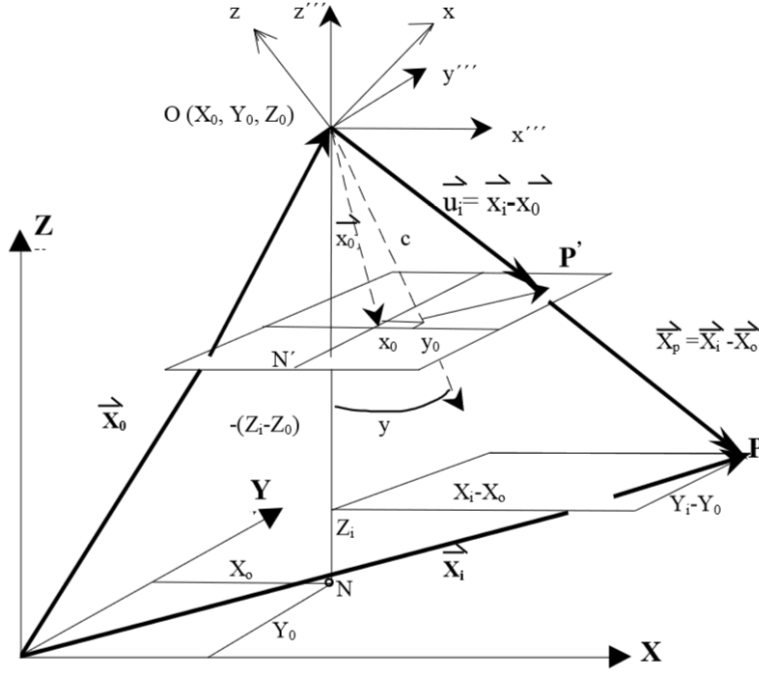


Şekil 10. Mutlak Yönlendirme İşlemini Koordinat Sistemlerinde Gösterimi

### 1.2.6. Doğrusallık (Collinearity) Koşulu

Fotogrametrik işlemlerde her bir ışını tanılamak için iki Doğrusallık eşitliği kullanılarak bütün ışınların tam bir matematik modeli oluşturulabilir. Bu eşitliklerde cisim uzayı noktalarının koordinatları, görüntünün alındığı dış kameranın yöneltme elemanları ve konumunun koordinatları, ayrıca kameranın iç yöneltme elemanları parametre olarak; noktanın görüntü koordinatları ise gözlemler olarak ele alınır.

Fotogrametrik izdüşüm genel anlamda projektif izdüşümler, içinde merkezi izdüşüm bağıntıları olan kolinearite (eş doğrusallık) ve koplenearete (eş düzlemlilik) koşullarını oluşturan lineer bağıntılar kullanılır (Ergün, 2019).



Şekil 11. Resim ve Cisim Koordinat Sistemleri Arasındaki Temel Bağlıntılar

Fotogrametrik izdüşümün tanımı gereği  $P_i$ ,  $P_{ve}$  O noktaları bir doğru (izdüşüm doğrusu, ışık ışını) üzerinde bulunması gerekmektedir (kolinearite, doğrusallık koşulu). Bu da

$$\vec{X}_{0i} = \vec{X}_i - \vec{X}_0 = \lambda_i \vec{U}_i \quad (1)$$

Şeklinde tanımlanır.

Burada  $\lambda_i$  ölçek katsayısıdır.  $\vec{U}_i$  vektörü  $\vec{X}_i - \vec{X}_0$  vektör farkına eşit olup  $(x''', y''', z''')$  sisteminde gösterimi için dönüşüm yapılması gerekir. Bu dönüşüm;

$$\vec{U}_i = D. (\vec{X}_i - \vec{X}_0) \quad (2)$$

şeklinde gösterilir. Yukarıdaki dönüşüm bileşenlerine ayrılarak yazılırsa;

$$\begin{bmatrix} x''' \\ y''' \\ z''' \end{bmatrix} = D \begin{bmatrix} x_i - x_0 \\ y_i - y_0 \\ c \end{bmatrix} \quad (3)$$

elde edilir. Bu eşitlik kolinearite koşulunda yerine konulursa

$$\vec{X}_{0i} = \vec{X}_i - \vec{X}_0 = \lambda_i \vec{U}_i \quad (4)$$

veya bileşenlerine ayrılarak yazılırsa

$$\begin{bmatrix} X_i - X_0 \\ Y_i - Y_0 \\ Z_i - Z_0 \end{bmatrix} = \lambda_i D \begin{bmatrix} x_i - x_0 \\ y_i - y_0 \\ c \end{bmatrix} \quad (5)$$

şeklinde gösterilir.

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1^T \\ A_2^T \\ A_3^T \end{bmatrix} \quad (6)$$

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

$$X_i - X_0 = \lambda_i A_1^T \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ -c \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$Y_i - Y_0 = \lambda_i A_2^T \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ -c \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$Z_i - Z_0 = \lambda_i A_3^T \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ -c \end{bmatrix} \quad (9)$$

ve ölçek çarpanının yok edilmesi ile

$$\frac{X_i - X_0}{Z_i - Z_0} = \frac{a_{11}x_i + a_{12}y_i - a_{13}c}{a_{31}x_i + a_{32}y_i - a_{33}c} \quad (10)$$

temel bağıntısı elde edilir. Bu bağıntı genel biçimi ile

$$\vec{X}_i - \vec{X}_0 = \lambda_i D(x_i - x_0) \quad (11)$$

Bu bağıntıda da  $x_0=y_0=0$  olduğu kabul edilerek

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ -c \end{bmatrix} = \frac{1}{\lambda_i} D^T \begin{bmatrix} X_i - X_0 \\ Y_i - Y_0 \\ Z_i - Z_0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Buradan  $\lambda_i$  elimine edilerek

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

$$y_i = -c \frac{a_{12}(X_i - X_0) + a_{22}(Y_i - Y_0) + a_{32}(Z_i - Z_0)}{a_{13}(X_i - X_0) + a_{23}(Y_i - Y_0) + a_{33}(Z_i - Z_0)} \quad (14)$$

elde edilir.

Eşitlikler doğrusal olmadıklarından en küçük kareler çözümünün de kullanılmadan önce doğrusallaştırılmış olmalıdır. Doğrusallaştırma işlemleri tüm bilinmeyenlere göre tek tek kısmi türev alınarak elde edilir.

Doğrusallık şartına göre yapılacak dengelemenin özelliği, dengelemenin başlangıcın da bilinmeyenlerin yaklaşık değerlerinin bilinmesi gerekir. Matematik model, fonksiyonel ve stokastik model olarak ele alınabilir. Gerçek bir fiziksel olayı deterministik ifadelerle tanımlayan yöntemlere fonksiyonel model denir. Fonksiyonel model de, optik izdüşüm sırasında ki fiziksel olaylar merkezi izdüşüm kuralları ile ifade edilir. Distorsiyon, film deformasyonu, ışık kırılması vb. merkezi izdüşüme göre meydana gelebilecek sapmaların tümü bu model içerisinde de yer alabilir. Stokastik model ise, fonksiyonel modelin her bir elemanına stokastik bir özelliği bağlaması ile ilgilidir. Sonuçta önemli olan fonksiyonel ve stokastik modelin beraberce fiziksel olayları arzu edilen prezisyon derecesinde tanımlanmalarıdır. Bu durumda fonksiyonel modelin hangi elemanlarının normal dağılıma sahip olduğu, hangilerinin sabit veya serbest bilinmeyen olarak alındığı belirtilmelidir (Altan, 1974).

Doğrusallık eşitlikleri esas alan demet dengelemesinin en büyük özelliklerinden birisi, matematik modelin kolayca genişletilebilme olanağı sayesinde ek parametreler, yardımcı ölçmeler ve ölçme değerleri ile çeşitli parametreler dengeleme hesabına girebilmektedir.

### 1.2.7. Dönüklük Matrisinin Elemanlarının Belirlenmesi

Resim koordinat sistemi (x, y ve z ) yerel (cisim) koordinat sistemi ne (X, Y ve Z) dolayısıyla (x''', y''' ve z''') yardımcı sisteme dönük durumdadır. Bu durumda (x''', y''' ve z''') sistemi üç aşamada döndürülerek eğik olan (x, y ve z) sistemine dönüştürülecektir. Bu dönüşüm her iki sistemin merkezinin de izdüşüm merkezinde olduğu yani  $x_0=y_0=z_0=x'''=y'''=z'''=0$  olduğu kabul edilmiştir.

**Birinci Dönüklük:** x''' –ekseni etrafında dönmesi (x'', y'' ve z'') sistemine geçiş

$$\begin{bmatrix} x''' \\ y''' \\ z''' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & -\sin \omega \\ 0 & \sin \omega & \cos \omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \end{bmatrix} = D_{\omega}^T \begin{bmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \end{bmatrix} \quad (15)$$

**İkinci Dönüklük:** y'' eksen etrafında (x', y' ve z') sistemine geçiş

$$\begin{bmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = D_{\varphi}^T \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} \quad (16)$$

**Üçüncü Dönüklük:** z' eksen etrafında dönmesi (x, y ve z) sistemine geçiş

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = D_{\gamma}^T \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (17)$$

**Genel Dönüklük:** (x''', y''' ve z''') sisteminden (x, y ve z) sistemine geçiş

$$D^T = D_{\omega}^T D_{\varphi}^T D_{\gamma}^T \quad (18)$$

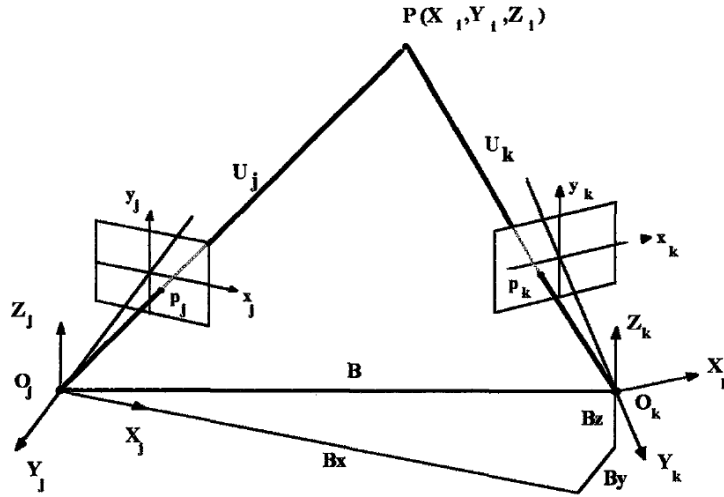
$$D^T = \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \gamma & -\cos \varphi \sin \gamma & \sin \varphi \\ \sin \omega \sin \varphi \cos \gamma + \cos \omega \sin \gamma & -\sin \omega \sin \varphi \sin \gamma + \cos \omega \cos \gamma & -\sin \omega \cos \varphi \\ -\cos \omega \sin \varphi \cos \gamma + \sin \omega \sin \gamma & \cos \omega \sin \varphi \sin \gamma + \sin \omega \cos \gamma & \cos \varphi \sin \varphi \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$= \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \quad (20)$$

elde edilir.

### 1.2.8. Eş Düzlemlik Eşitliği (Coplanarity Equation)

Doğrusallık eşitliği her bir fotoğrafın ayrı ayrı yöneltmesi ile ilgili olmasına karşın, en azından bir çift fotoğrafın olmasını gerektiren fotogrametrinin önemli bir diğer eşitliği eş düzlemlik eşitliğidir. Bu eşitlik birden fazla fotoğrafta yer alan aynı noktanın cisim noktasından her bir görüntüye giden görüntü ışınlarının bir düzlem içerisinde yer aldığı görüşüne dayanır. Bir stereo model düşünüldüğünde iki görüntü noktası, iki izdüşüm merkezi ve cisim noktasının hepsi bir düzlem içerisinde ve eş düzlemlik eşitliğinde matematik olarak ifade edilir.

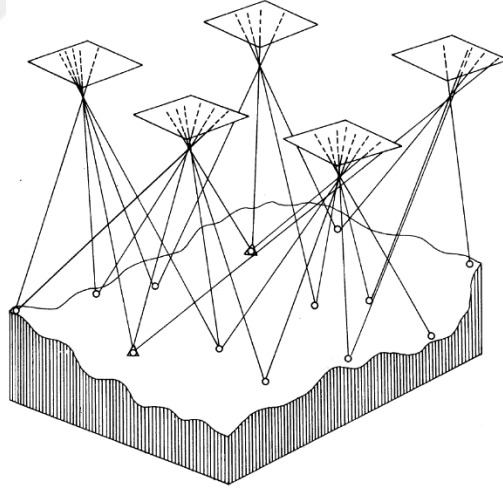


Şekil 12. Eş düzlemlik (Coplanarity) koşulu

Şekil 12'e göre eş düzlemlik şartının geometrisi iki izdüşüm merkezi arasında ki B baz vektörüne ve aynı cisim noktası için iki cisim ışın vektörleri  $U_j$  ve  $U'_k$  dan belirlenebilir.

### 1.2.9. Işın Demetleri ile Fotogrametrik Nirengi

Işın demetleri ile dengelemenin özü yerde bulunan bir nokta, izdüşüm merkezi ve bu noktanın resim üzerinde ki görüntüsü bir doğru üzerinde olması prensibidir. Bu nedenle resimde görülen her noktanın bir izdüşüm ışını vardır. Yerde bulunan bir nokta birçok resimde bulunacağından bunu temsil edebilecek birçok ışın söz konusudur. Bu noktaların uzayda konumları izdüşüm ışınlarının arazide bir noktada kesişmeleri ile bulunur. Yerde bulunan tüm noktaların uzayda ki konumları bu şekilde belirlenirken, mevcut kontrol noktaları ile de araziye en iyi uyumu sağlayacak şekilde tüm ışınların oluşturduğu demetler bir bütün olarak dengelenir. Bu yaklaşım ile fotogrametrik nirengi bir evrede bitirilir (Ölçücüoğlu, 2019).



Şekil 13. Farklı fotoğraflardaki eşlenik ışınlar (Ölçücüoğlu, 2019)



Genel olarak ışın demetleri dengelemesi;

- Işın demetleri ile dengelemede blok ya da kolon kullanılır.
- Fotoğraflar en az %60, kolonlar ise %20 bindirmeli olmalıdır.
- Direk olarak resim koordinatları ile arazi koordinatları arasında ilişki kurulur ve yeni (pass, havai nirengi) noktaların koordinatları hesaplanır.
- Tek bir fotoğraf bu dengelemenin temel elemanıdır.
- Bütün fotoğraflar için dış yöneltme parametreleri hesaplanır.
- Giriş verisi pass ve kontrol noktalarının resim koordinatlarıdır.
- Çözüm için en küçük kareler dengelemesi uygulanır.

### 1.2.10. Yersel Fotogrametri

Fotogrametrinin ilk uygulamaları yersel fotogrametri alanında olmuştur. Fotoğrafın bulunuşundan kısa bir süre sonra 1858 yılında Alman Meydenbauer, fotoğrafın nesnel içeriğini ölçme tekniği ile bütünleştirerek, yıkılan bir kilisenin eldeki mevcut fotoğraflara göre onarımını gerçekleştirmiştir. Aynı zamanda fotogrametrinin de ilk kurucularından sayılan Meydenbauer kültür yapıtlarının belgeleneceği bir merkezi örgüte duyulan ihtiyacı daha o zamanlar görmüş ve büyük çabalarla 1883 yılında Berlin’de ilk ulusal fotogrametrik dokümantasyon merkezini (Prusya Resim Örgütü) kurmuştur (Yılmaz, Karabörk ve Yakar, 2000).

Bilgisayar teknolojisi ve sayısal görüntü işleme tekniklerindeki gelişmeler, yersel fotogrametrinin özellikle endüstride ve tersine mühendislik uygulamaları gibi alanlarda uygulama imkânlarını arttırmıştır. Bu yöntem mimarlık, mühendislik, madencilik uygulamaları, kriminal incelemeler, tıp ve endüstri gibi farklı kullanım alanlarına sahiptir. (Yılmaz, Karabörk ve Yakar, 2000) Aynı zamanda yersel fotogrametri tarihi ve kültürel mirasın korunması ve yenileme çalışmalarında başarıyla kullanılmaktadır.

Yersel fotogrametri yakın ve uzak mesafeli alanlarda üç boyutlu çizimlerin yapılmasını sağlayan bir yöntemdir. Farklı odak uzaklıklarındaki kameralar ve özel yazılımlar kullanılarak, gerekli yöneltmeler yapılır ve fotoğraf yüzeyinden üç boyutlu modeller üretilir. Bu yöntem ile modelleri oluşturulan nesnelerin üç boyutlu konum bilgileri elde edilmektedir. (Şanoğlu, Zeybek ve Karauğuz, 2013).

Veri toplama ve ölçüm süresinin kısa olması yersel fotogrametrinin en önemli özelliğidir. Fotogrametrik ölçümler sonucu elde edilen verilerin arşivlenmesiyle her an ölçüm yapma zorunluluğu ortadan kalkmaktadır. Gerekli olan bilgilere arşivlenen verilerden ulaşılır. Yersel fotogrametri bu yüzden sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir. (Şanoğlu , Zeybek ve Karauğuz, 2013).

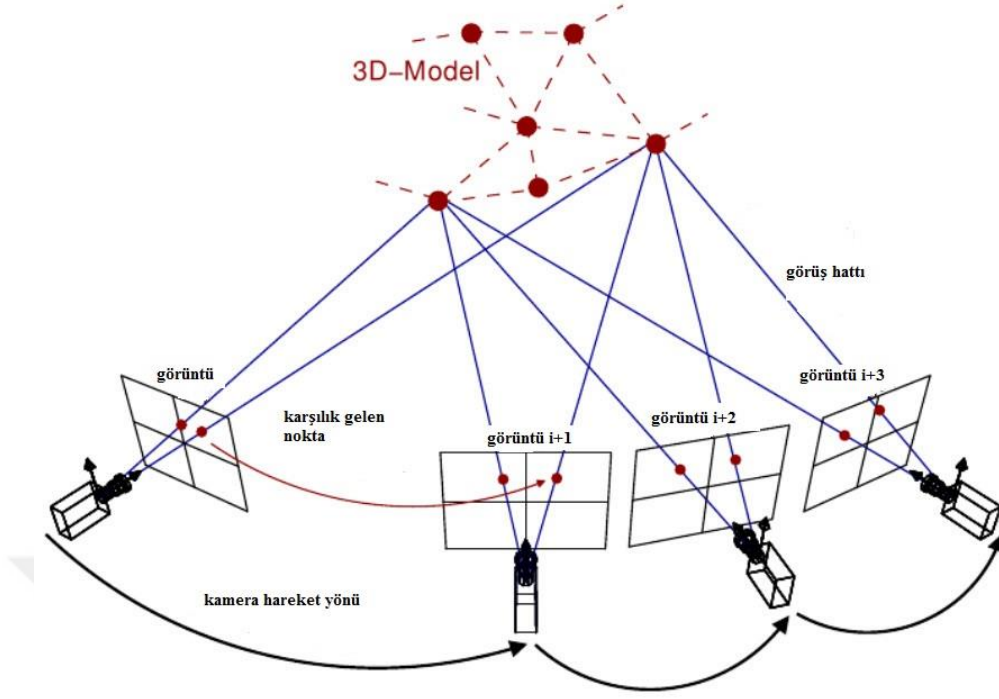
Yersel fotogrametri tanımlarda da verildiği gibi genelde yer ölçümleri ile model üretimi yapılmasının sağlayan bir yöntem olmakla birlikte belirli mesafe dışında kullanılması pek efektif olmayabilir yapılan çekimlerin kaliteli olması dolayısıyla nesnenin 3 boyutlu modelinin oluşturulmasındaki doğruluk derecesinin artıracaktır.

#### **1.2.10.1. Yersel Fotogrametride Fotoğraf Alımı**

Bir objenin üç boyutlu (stereoskopik) görüntüsünün oluşturulabilmesi için, iki ayrı noktadan birbiri üzerine %60-70 oranında örtülü olarak çekilmiş iki fotoğrafa ihtiyaç vardır. Bu şekilde gözle stereoskopik görme işlemi taklit edilmiştir. İki ayrı noktadan bir objenin resmini çekmek demek, o objenin iki değişik açı ve doğrultudan görülmesi demektir. Bu iki görüntünün her biri, herhangi bir yöntemle ayrı bir göze sunularak objenin üç boyutlu görüntüsü elde edilmektedir (Gürbüz, 2006). Resim çekimi fotogrametri de bilgilerin toplanması işlemi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca fotogrametrik yöntemle elde edilecek verilerin tamamına yakın bir kısmı resimlerden elde edilmektedir. Resimlerin kalitesi, özellikle diferansiyel yataylamada (ortofoto) elde edilecek bilgilerin doğruluğunu ve görüntülerin kalitesini doğrudan etkilemektedir (Gürbüz, 2006).

Yersel fotogrametri de fotoğraf alımı, alım eksenlerinin birbirlerine olan durumuna ve çekim bazına göre üç şekilde yapılır. Bunlar normal alım, dönük alım ve konvergent alımdır. Bu yöntemlerden en fazla uygulanan normal alımdır.

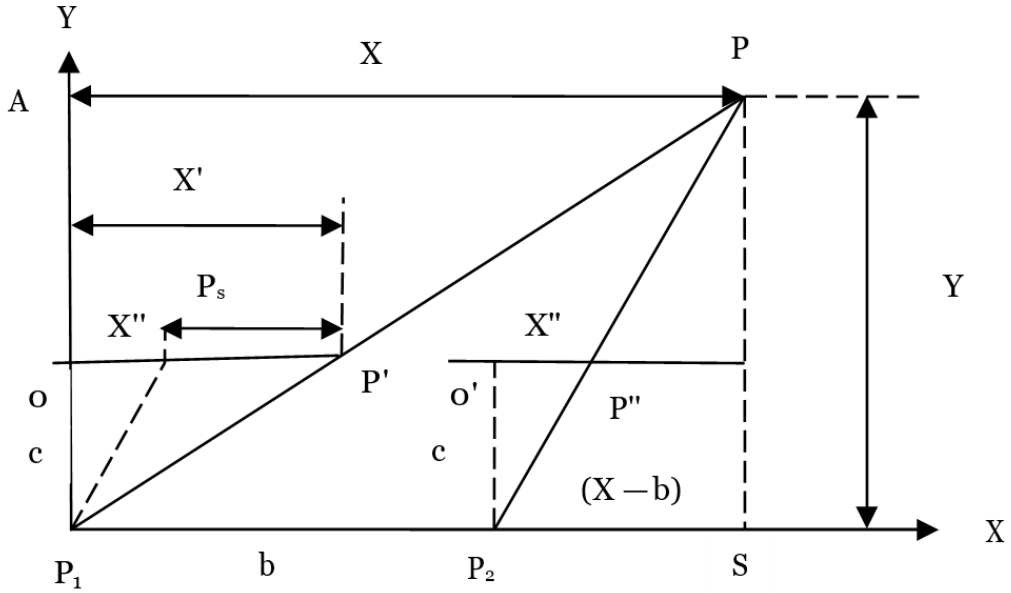
Yersel fotogrametri yöntemi ile üç boyutlu model elde etmek için iki farklı noktadan yapılan fotoğraf çekimi Şekil 14'de gösterilmiştir.



Şekil 14. Yersel fotogrametri de fotoğraf alımı (6, 2019)

### 1.2.10.1.1. Normal Alım

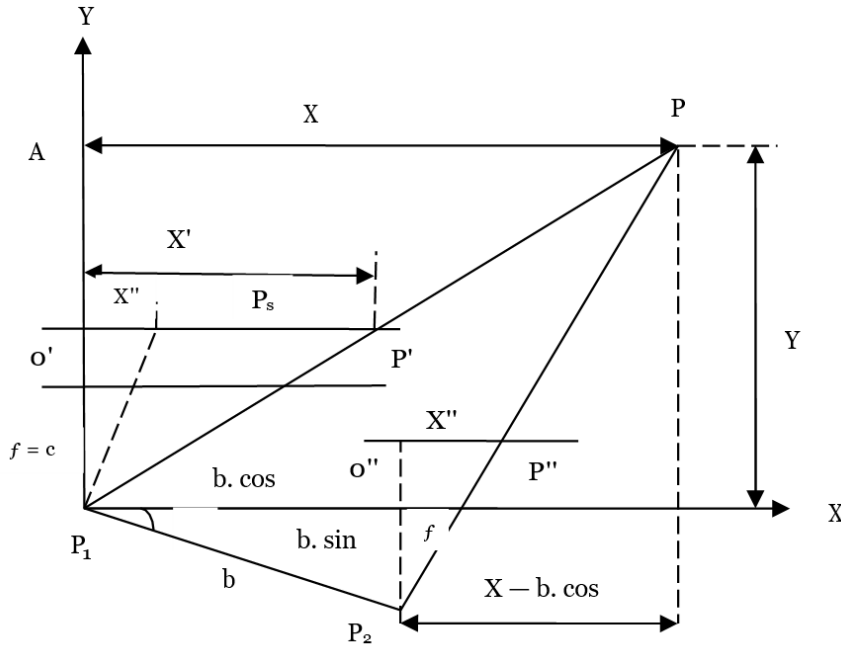
Yersel fotogrametri de ki normal alımda, fotoğraf çekim ekseni fotoğraf çekim bazına diktir. Fotoğraf çekimi ve değerlendirilmesi diğer alımlara göre daha kolaydır (8, 2019).



Şekil 15. Normal alım (8, 2019)

### 1.2.10.1.2. Dönük Alım

Bu çekim durumunda, resim düzlemlerinden biri baza göre belirli bir  $\varphi$  açısı kadar döndürülerek stereoskopik görüş olanağı artırılır (8, 2019).



Şekil 16. Dönük ve eğik alım (8, 2019)

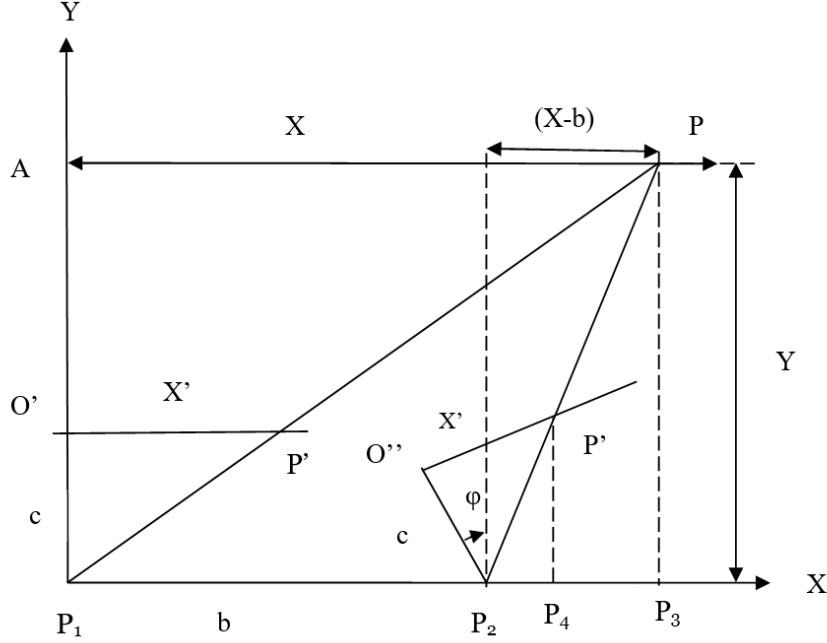
Eğik çekilmiş resimlerin görüntüleri, eğiklik açısıyla orantılı olarak eğilmiştir. Değerlendirmede elde edilen modelde aynı şekilde eğik olacaktır. Bu eğiklik, mekanik değerlendirme aletinde kullanılan eğim hesaplayıcılar (düzelticiler) ile giderilir.

Bir resim, aynı zamanda hem eğik hem de dönük olarak çekilebilmektedir. Bu eğikliklerin ve dönüklüğün resim koordinatları üzerindeki etkileri, resau kare ağı noktaları yardımıyla giderilmektedir. Her resim için bu noktalar kullanılarak 'ışın demetleri ile blok dengeleme' uygulanmakta ve elde edilen düzeltme parametreleri resim koordinatlarına eş zamanlı olarak uygulanmaktadır. Böylece resim eğikliklerinden ve dönüklüğünden ileri gelen etkiler sayısal olarak giderilebilmektedir (Gürbüz, 2006).

Merkezsel izdüşüm geometrisi gereğince, eğik çekilen resimdeki minare benzeri yüksek detaylara ait görüntülerin eğik olması, bunların diferansiyel yataylanmasında, ancak sayısal değerlendirme sistemlerindeki bu eğikliği gideren özel yazılımlar yardımıyla yapılabilmektedir (Gürbüz, 2006).

### 1.2.10.1.3. Konvergent (Eğik) Alım

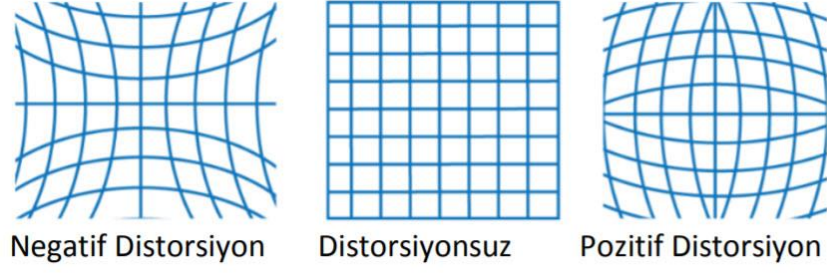
Yersel fotogrametri de daha geniş stereoskopik görüş olanağı için iki resim düzlemi birbirlerine göre döndürülmüştür. Bu durumda çekilmiş resimlerin değerlendirilmesinde özel yapıda aletler kullanılır (8, 2019).



Şekil 17. Konvergent Alım (8, 2019)

### 1.2.11. Kamera Kalibrasyonu

İki boyutlu görüntülerden üç boyutlu model elde etmek için gerekli koşulların sağlanması gerekir. Kamera kalibrasyon işlemi kameranın iç yönlendirme elemanlarının belirlenmesi işlemidir. İç yönlendirme parametreleri kamere odak uzaklığı, resim orta noktası koordinatları ve distorsiyon parametreleridir. Distorsiyon kameraların merceklerinin izdüşümdeki fiziksel etkilerine denir. Kamera kalibrasyonu ile distorsiyonun resim düzlemine olan etkisi belirlenir (Taşdemir, Ürkmez, Yakar ve İnal, 2009). Distorsiyon parametreleri radyal ve teğetsel olarak ikiye ayrılmaktadır. Radyal distorsiyon mercekten kaynaklı açısal büyütme sonucu merceğe farklı açılarla gelen ışınların, izdüşüm düzlemi önünde veya arkasında odaklanmasıyla meydana gelen görüntü ötelenmesidir. (Özdemir, Duran, 2017). Radyal distorsiyonun konumsal etkisi fazla olduğundan yüksek doğrulukla modellenmesi gerekir. Radyal distorsiyonun etkisi şekil(18) de gösterilmektedir.



Şekil 18. Radyal distorsiyonun görüntüye etkileri

Radyal distorsiyonun görüntü üzerine etkisi (21) eşitliğinde ifade edilmektedir. (21) eşitliğinde  $\delta_r$  öteleme miktarını  $K_n$  radyal distorsiyon katsayılarını ifade etmektedir.

$$\delta_r = K_1 r^3 + K_2 r^5 + K_3 r^7 \quad (21)$$

(21) eşitliğindeki  $r$   $r^2 = \xi^2 + \eta^2$  şeklinde hesaplanmaktadır.

Teğetsel distorsiyon lens sistemini oluşturan merceklerin ve görüntü algılayıcı sensör merkezlerinin çakışık olmamasıdır. Teğetsel distorsiyonun matematiksel ifadesi (22) eşitliğinde gösterilmiştir.  $P_n$  teğetsel distorsiyon parametresidir.

$$\delta_{\xi_{tan}} = P_1(r^2 + 2\xi^2) + 2P_2 \xi\eta \quad (22)$$

$$\delta_{\eta_{tan}} = P_2(r^2 + 2\eta^2) + 2P_1 \xi\eta \quad (23)$$

(22,23) eşitliklerinde  $(\xi, \eta)$  resim koordinat sistemini ifade etmektedir.

### 1.2.12. Nokta Bulutu Üretimi

Teknolojinin gelişmesi ile kullanılan dijital kameralar ile yüksek doğrulukta ve çözünürlükte veriler elde edilmekte ve veriler birçok mühendislik probleminin çözümünde ve alt yapısında kullanılmaktadır. Genel olarak dijital fotogrametri olarak adlandırılan bu yöntemde kuşkusuz en önemli sonuç ürün nokta bulutudur. Tez kapsamında yapılan

çalışmada temel veri alt yapısını nokta bulutu oluşturmaktadır. Fotogrametrik işlem adımlarının çoğu görüntü eşlemeye bağlıdır. Nokta bulutu kullandığımız görüntüleri eşleştirme yöntemi ile PhotoModeler programında oluşturulmuştur. Yazılımlardaki nokta bulutu oluşturma işlemi DIM (Yoğun Görüntü Eşleştirme-Dense Image Matching) prensibine dayanmaktadır.

Yoğun görüntü eşleştirme için Semi-Global Matching algoritması kullanılır. SGM görüntüleri piksel bazında eşleştirerek, eşleşen her bir piksele 3B koordinat değeri üretebilme imkânı sunmaktadır (Hirschmüller, 2012). Bu yaklaşım görüntü eşleme penceresi yerine piksele komşu tüm pikselleri kullanarak eşleme yapar (Haala, 2011). SGM yaklaşımı ile oluşturulan “global cost” fonksiyonu en düşük seviyeye indirilmeye çalışılmaktadır. Bu fonksiyon ile her eşleme arasındaki farklılıklar ölçülerek eşleştirmenin kalitesi belirlenir ve eşleşen pikseller arasındaki farklılıkların ölçülmesi yoluyla radyometrik farkların ve pürüzlerin modellenmesi amaçlanır. “global cost” fonksiyonu (24) nolu eşitlik ile hesaplanmaktadır. Verilen bağlantı tüm pikseller ( $p$ ) üzerindeki hata değerlerini ( $C$ ) toplar. En küçük hatalar  $P_1$  ile en büyük hatalar  $P_2$  ile ifade edilir.

$$E(D) = \sum_p (C(p, D_p) + \sum_{q \in N_p} P_1 T[|D_p - D_q| = 1] + \sum_{q \in N_p} P_2 T[|D_p - D_q| > 1]) \quad (24)$$

şeklinde ifade edilir (Hirschmüller, 2012).

### 1.3. Eğri Uydurma

Bilimin sanattan farkı; olayların (deneylerin) gözlenebilir ve tekrar edilebilir olmasıdır. Bundan dolayı bilimsel gerçeklerin ispatı için deneyler veya gözlemler yapılır. Deneylerden elde edilen sonuçların giriş değerleri (bağımsız değişkenler) ve bu giriş değerlerine karşılık gelen çıkış değerleri vardır. Bu çıkış değerlerine bağımlı değişken de denebilir (Sönmez, 2008).

Bu giriş ve çıkış değerleri arasında sürekli bir fonksiyon ile nasıl tanımlanacağı bu bölümde ele alınacaktır.

Tablo 1 de deney sonucunda elde edilen x ve y noktalarını göstermektedir. Eğer bu noktalar bir sürekli bir fonksiyon ile ifade edilmesi istenirse; bu verilen noktaların mümkün olduğunca yanından geçen sürekli bir fonksiyon ile ifade etme işlemine eğri uydurma denir.



Eğri uydurma işleminde, deney sonuçlarına uydurulacak eğrinin formatı önceden tahmin edilemiyor olabilir. Yani kullanılacak formatlar: doğrusal, ikinci ve nc dereceden polinomlar, üstlü veya logaritmik den biri veya başka bir formatta olabilir.

$$y = a + bx \quad (25)$$

$$y = a + bx + cx^2 \quad (26)$$

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 \quad (27)$$

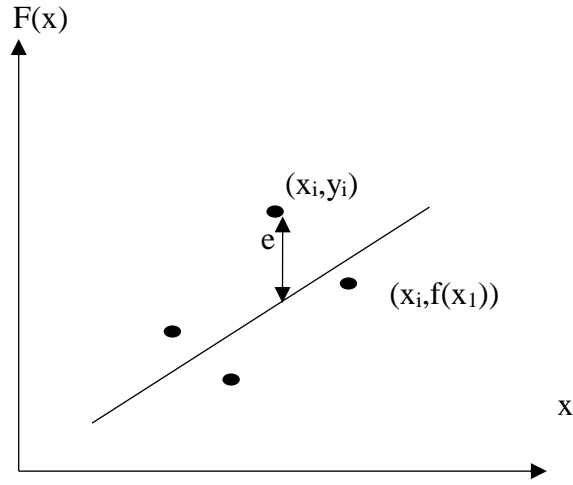
$$y = ae^{bx} \quad (28)$$

$$y = ax^b \quad (29)$$

$$y = a + b \ln(x) \quad (30)$$

25, 26, 27, 28, 29 ve 30 nolu formüllerde verilen fonksiyonlardan hangisi daha iyi sonuç vereceği bilinmediğinden fonksiyonlardan biri seçilir ve daha sonra  $R^2$  uyumu gözlenir.  $R^2$  olarak kullanılacak değer gözlem sonuçları ile tahmin edilen değer arasındaki ilişkiyi gösterir. Buna göre kullanılan fonksiyon ve deney sonucu hakkında yorum yapılabilir. Bu uyum kontrolü başlığı altında anlatılacaktır.

Eğri uydurma işleminde genellikle iki farklı metot kullanılır. Bunlar; en kk kareler metodu ve matris metodudur. Burada ilk önce en kk kareler metodu daha sonra matris zm metodu üzerinde durulacaktır (Sönmez, 2008).



Şekil 19. Gerçek Değer İle Tahmini Değer Arasındaki Farklar

### 1.3.1. En Küçük Kareler Yöntemi

En çok kullanılan yöntemlerden en küçük kareler metodunda bağımlı değişkenler ile tahmin edilen değerler arasındaki farkın diğer bir ifade ile hatalarının kareleri toplamının en küçük olması ilkesine dayanır. Bu yöntemde farklı tip deki fonksiyon kullanarak veriye uygun olanı seçilip eğri uydurma için kullanılır. Mühendislik problemlerinin birçoğu üs, üstel, logaritmik, polinom fonksiyonlar ile modellenebilir (Sönmez, 2008).

### 1.3.2. Lineer Denklem Uydurma

Uygulama olarak bir aracın aynı ortamda farklı hızlarda ki durma mesafesi ile ilgili deney gözlemlerine bağlı olarak veri seti elde edilmiş olsun. Burada amaç aracın hızı ve durma mesafesi arasında bir bağıntı bulunması amaçlanmış olsun. Veriler değerlendirilecek olursa hız bağımsız değişken durma mesafesi bağımlı değişken olur. Aşağıdaki örnek olarak hız ve durma mesafesi ilişkin bir tablo 1 oluşturulmuştur.

Tablo 1. Hız ve durma Mesafesi

no	Hız (x <sub>i</sub> )	Durma mesafesi (y <sub>i</sub> )
1	20	12.1
2	45	22.6
3	60	36.1
4	75	52.5
5	90	71.9
6	120	119.4

Hıza bağlı olarak durma mesafesi arasında bir doğrusal ilişki olduğunu varsayılırsa denklem yazılabilir. Buradaki a ve b birer katsayıdır ve eğri uydurmanın amacı hatanın en küçük olması için a ve b katsayılarını bulunmalıdır. Tablo 1’de verilen hız y<sub>i</sub> değerleri ile uyum fonksiyonu F(x<sub>i</sub>) kullanılarak bulunan değer arasındaki fark hata miktarını verir. Bu matematiksel olarak ;

$$e_i = f(x_i) - y_i = (a + bx_i) - y_i \quad (31)$$

Eğer tüm noktadaki hataların karelerin toplanması bulmak istenirse kullanılabilir.

$$SSE = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (a + bx_i - y_i)^2 \quad (32)$$

(x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub>) deney sonuçlarıdır ve sabittir. (27) eşitliğinde a ve b ise değişkendir ve aranan değerdir. Hataların kareleri toplamını minimum yapmak için SSE’deki a ve b değişkenlerine göre türevleri alınarak sıfıra eşitlenirler. Bu matematiksel olarak;

$$\frac{\partial SSE}{\partial a} = \sum_{i=1}^n 2[(a + bx_i) - y_i] = 0 \quad (33)$$

$$\frac{\partial SSE}{\partial b} = \sum_{i=1}^n 2[(a + bx_i) - y_i]x_i = 0 \quad (34)$$

şeklindedir. Gerekli sadeleştirmeler yapılarak matris formatına geçilirse sonuç matris aşağıdaki şekilde yazılır.

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n y x_i \end{bmatrix} \quad (35)$$

Değişkenler  $a$  ve  $b$  matris işlemleri kullanılarak hesaplanabilir. Daha sonra  $F(x) = a + bx$  şeklinde bir denklem elde edilir. Bu denklem en küçük kareler metodu kullanılarak hız  $x$  değişkeni ile durma mesafesi arasındaki ilişkiyi sürekli doğrusal bir fonksiyon ile tanımlamış olur (Sönmez, 2008).

### 1.3.3. Uyumun Kontrolü

Eğri uydurma işlemi yapıldıktan sonra bulunan eğrinin bu noktaları ne kadar temsil ettiğini belirlemek amacı ile uyumu kontrol edilmelidir. Bunun için genellikle hataların kareleri toplamı kontrol edilir. Yani hataların toplamları karesi SSE terimi uydurulan eğrinin kalitesinin göstergesidir. Yani bu terim ne kadar küçükse hatalar o kadar küçük olacaktır. Bunun yerine  $R^2$  göstergesi daha yaygın olarak kullanılır.  $R^2$  göstergesi matematiksel olarak;

$$R^2 = 1 - \left( \frac{SSE}{SST} \right) \quad (36)$$

biçiminde (eşitliğiyle) ifade edilir.

Bu denklemdeki SST,  $y_i$  değeri ile  $y$  nin ortalamasının  $\left( \frac{\sum y_i}{n} \right)$  farklarının kareleri toplamıdır.

$$SST = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (a + bx_i - \bar{y})^2 \quad (37)$$

ile gösterilir. Burada  $R^2$ 'nin boyutsuz olduğu ve değeri 0 ile 1 arasında değiştiği gözlemlenir. Dikkat edilirse  $R^2$ 'nin değerinin 1 olması için SSE değerinin sıfır olması yani hataların sıfır olmasını gerektirir. Yani  $R^2$ 'nin değerinin 1 yaklaşmasının anlamı; hataların karelerin küçük olduğu ve uydurulan eğri ile verilen noktaların iyi bir uyumda olduğunu göstergesidir (Sönmez, 2008).

### 1.3.4. Polinom Fonksiyonları (K-Dereceden)

En küçük kareler metodu birinci dereeden polinomlar (doğrusal fonksiyonlar) için değil aynı zamanda yüksek dereceden polinomlar için de kullanılabilir. K dereceden bir eğri uyduruluyorsa k+1 dereceden bir doğrusal denklem takımı çözülmelidir. Ayrıca dikkat edilmesi gereken nokta kullanılacak polinomun derecesi her zaman için verilen noktaların sayısında bir eksik olmalıdır. Yani n adet nokta varsa, uydurulacak eğrinin derecesi k her zaman  $k \leq n-1$  olmalıdır.

n. dereceden bir polinoma verilen bir grup noktalar uydurulmak isteniyorsa,

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_kx^k \quad (38)$$

gibi bir polinom yazılabilir. En küçük kareler metodunun tanımından hataların minimum olması için hataların karelerin türevleri alınır ve sifıra eşitlenirse aşağıdaki denklem (35, 36, 37 ve 38) takımları kolayca bulunabilir.

$$a_0 \sum_{i=1}^n 1 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^1 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^2 + \dots + a_k \sum_{i=1}^n x_i^k = \sum_{i=1}^n y_i \quad (39)$$

$$a_0 \sum_{i=1}^n x_i^1 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^3 + \dots + a_k \sum_{i=1}^n x_i^{k+1} = \sum_{i=1}^n y_i x_i \quad (40)$$

$$a_0 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^4 + \dots + a_k \sum_{i=1}^n x_i^{k+2} = \sum_{i=1}^n y_i x_i^2 \quad (41)$$

.....

.....

.....

$$a_0 \sum_{i=1}^n x_i^k + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^{k+1} + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^{k+2} + \dots + a_k \sum_{i=1}^n x_i^{k+k} = \sum_{i=1}^n y_i x_i^k \quad (42)$$

Bu denklemler matris formatında yazılırsa,

$$\begin{bmatrix}
 n & \sum_{i=1}^n x_i^1 & \sum_{i=1}^n x_i^k \\
 \sum_{i=1}^n x_i^1 & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^{k+1} \\
 \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^{k+2} \\
 \dots & \dots & \dots \\
 \dots & \dots & \dots \\
 \sum_{i=1}^n x_i^{k+1} & \sum_{i=1}^n x_i^{k+2} & \sum_{i=1}^n x_i^{k+k}
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 a_0 \\
 a_1 \\
 a_2 \\
 \dots \\
 \dots \\
 a_k
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 \sum_{i=1}^n y_i \\
 \sum_{i=1}^n y_i x_i \\
 \sum_{i=1}^n y_i x_i^2 \\
 \dots \\
 \dots \\
 \sum_{i=1}^n y_i x_i^k
 \end{bmatrix}
 \quad (43)$$

eşitliği elde edilir. Sonuç olarak  $k+1$  tane bilinmeyen  $(a_0, a_1, a_2, \dots, a_k)$  vardır. Bu denklem takımının birçok çözüm metodu vardır. Bilinmeyen  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_{\{k\}}$ 'lar denklem takımlarının çözüm metotlarından biri kullanılarak çözümlenebilir.

Bir önceki doğrusal eğri uydurma kısmı polinom eğri uydurmanın bir özel durumudur. Yani sadece iki bilinmeyen için üstteki denklem yazılırsa bu ile aynı olduğu görülür. Eğer üç bilinmeyen için yazılırsa bu durumda da 2. Dereceden bir eğri için işlem yapılmış olacaktır (Sönmez, 2008).

### 1.3.5. Matris Yöntemi İle Eğri Uydurma

Matris yöntemleri kullanarak eğri uydurma ile en küçük kareler metodu kullanarak eğri uydurma aynı sonuçları verir. Fakat matris metodu daha pratik olduğu için seçilebilir. Örnek olması bakımından bir seri  $(x_{\{i\}}, y_{\{i\}})$  noktaları verilmiş olsun. Bu noktalar kullanarak bir doğru denklemi elde edilmesi isteniyor ise bu takdirde istenen fonksiyon  $F(x) = a + bx$  olacaktır. Başlangıç olarak verilen noktalar  $F(x)$  fonksiyonunda yerine konursa aşağıdaki denklem elde edilir.

$$y_1 = a + bx_1 \quad (44)$$

$$y_2 = a + bx_2 \quad (45)$$

$$y_3 = a + bx_3 \quad (46)$$

.....

$$y_n = a + bx_n \quad (47)$$

Bu denklem takımları matris formatında,

$$[Y] = [A]\{x\} \quad (48)$$

biçiminde yazılır. Yukarıdaki denklemdeki tek bilinmeyen [c] kolon matrisidir. Eğer [A] matrisi kare matris olsa idi [c] kolon matrisi kolayca hesaplanabilirdi ki bu durumda hesaplanamaz. Bundan dolayı [c] kolon matrisini hesaplamak için her iki tarafını [A] matrisinin tranpozesi ile çarpılırsa, matematiksel olarak;

$$[y] = [A][C] \quad (49)$$

$$[A]^T [y] = [A]^T [A][C] \quad (50)$$

$$\begin{bmatrix} \sum y \\ \sum xy \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n & \sum x \\ \sum x & \sum x^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \quad (51)$$

denklemleri elde edilir (Sönmez, 2008)

### 1.2.2. Yüzey Enterpolasyonu

Birçok mühendislik probleminde bir yüzey üzerinde interpolasyon yapma zorunluluğu doğar. İki değişkene bağlı bir polinomsal fonksiyon;

$$z = f(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 + a_6x^3 + a_7x^2y + a_8xy^2 + a_9x^3y + a_{10}x^2y^2 + a_{11}x^3y^2 \quad (52)$$

şeklinde yazılabilir.

Böyle bir fonksiyon bir yüzeyi tanımlar. Bazen bağımsız değişken sayısı, örneğin zaman değişkeninin ilavesiyle daha fazla olabilir ve fonksiyon daha da karmaşıklaşabilir. Bu durumda karmaşıklıktan kurtulmak için her bir değişken ayrı ayrı ele alınabilir. Örneğin yukarıdaki fonksiyon  $y = sb$  olarak alınır;

$$z_{y=sb} = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_2x^3 \quad (53)$$

şeklini alır (Yükselen, 2019)





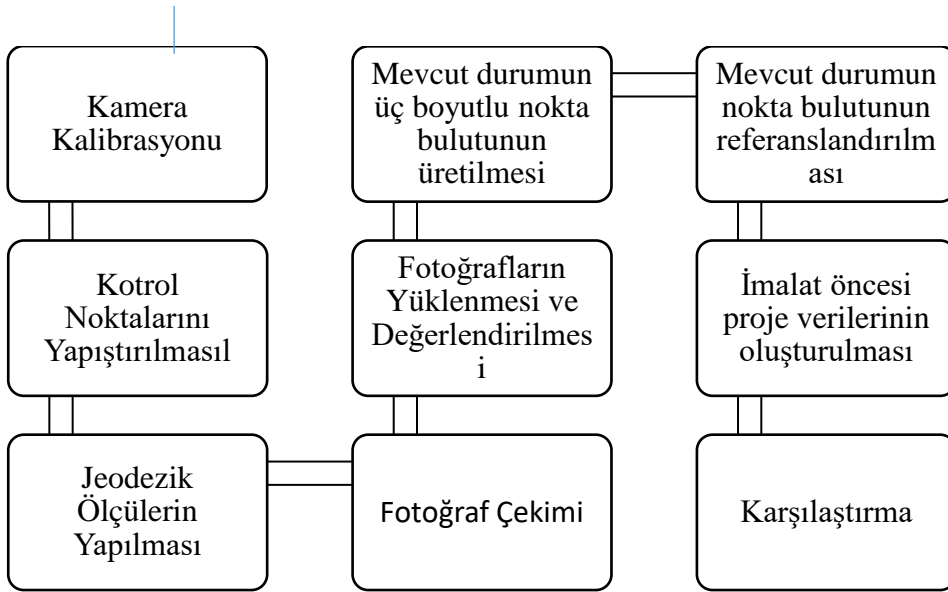
## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada yapım aşamasında ki bir balıkçı teknesi yersel fotogrametrik yöntemlere göre, Nikon D7000 isimli fotoğraf makinesi ile çekilen fotoğrafların Photo Modeler programında değerlendirilmesi ve nokta bulutu üretilmesi ile mevcut durumunun tespit edilmesi ve ardından imalata esas teşkil eden proje ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada kamera kalibrasyonu ve imalat aşamasındaki geminin üç boyutlu nokta bulutu verilerinin oluşturulması PhotoModeler programında yapılmıştır. İmalata esas teşkil eden proje verileri AutoCad ortamında imalatı gerçekleştiren firmadan elde edilmiştir.

İmalat öncesi proje verilerinin imalat aşamasındaki mevcut durum ile karşılaştırılması yüzey ve ayırt olarak iki gruba ayrılarak gerçekleştirilmiştir. Yüzeylerin ve ayırtların karşılaştırılması Matlab programında “Curve Fitting Tool” algoritmaları ve AutoCad Civil3D programı kullanılarak yapılmıştır. Karşılaştırmalarda proje verilerinin ve mevcut durumun ayırt ve yüzeylerini temsil eden matematiksel fonksiyonlar hesaplanarak fonksiyon katsayıları karşılaştırılmıştır.

### 2.1.Çalışma İş Akışı

Uygulama iş akışı sırasıyla;



Şekil 20. Uygulama İş Akışı

## 2.2. Uygulama Objesi

Bu çalışmada Trabzon ili, Sürmene ilçesi, Çebi Tersanesinde imal edilen 20 m boyunda 8.40 m eninde bir balıkçı teknesidir. Dış kaplaması 7mm kalınlığında 3701 kalite Ereğli sacından imal edilmiştir. 150 ton balık alma ve 12 Knot hız yapma kapasitesine sahiptir. Şekil 20’ de balıkçı teknesinin önden görünüşü gösterilmektedir.



Şekil 21. Ölçüm yapılan geminin önden görünüşü

## 2.3. Kullanılan Kamera

Çalışmada Nikon D7000 fotoğraf makinesi kullanılmıştır. Kullanılan bu kameranın iç yöneltme elemanları ve distorsiyon hataları PhotoModeler programında hesaplanmıştır. PhotoModeler yazılımı kalibrasyon işlemini tek kağıt ve çoklu kağıt olmak üzere iki yöntemle sunmaktadır. Yapılan çalışmada tek kağıt kalibrasyon yöntemi uygulanmıştır ve A0 boyutunda (841x1189 mm) kağıt kullanılmıştır. Kullanılan A0 boyutundaki test alanında 100 adet kontrol noktası bulunmaktadır. Kalibrasyon test alanının eşit mesafelerde 3 farklı kamera açısıyla 12 adet fotoğrafı çekilerek PhotoModeler programında kamera iç yöneltme elemanları hesaplanmıştır. İlgili kameranın hesaplanan kalibrasyon parametreleri tablo 2 ‘ de gösterilmiştir.

Tablo 2. Kamera kalibrasyon parametreleri

Odak uzaklığı (kamera sabiti, c)	18.3325 mm
Görüntü Boyutu	23.9987×15.8961 mm
Asal nokta ( $x_0, y_0$ )	11.9972 - 8.0181 mm
K1	$1.667e^{-004}$
K2	$-5.505e^{-008}$
K3	0.000
P1	$-4.078e^{-005}$
P2	$-5.357e^{-005}$

K1, K2, K3 : Radyal Distorsiyon katsayılarını

P1, P2 : Teğetsel Distorsiyon katsayılarını ifade etmektedir.

#### 2.4. Kontrol Noktalarının Tesis ve Ölçüsü

Gemi konumunun üç boyutlu, ölçekli ve sayısal olarak tespit edilmesi için öncelikle PhotoModeler programına ait marker'lar homojen bir şekilde gemi yüzeyine tesis edilmiştir. Kullanılan Marker 'lar PhotoModeler programına tanımlı hedef noktalarıdır. Hedef noktalarına ait bir örnek Şekil 22' de gösterilmiştir. Bu marker'ların kullanılmasındaki amaç markerları jeodezik yöntemle yersel koordinat sisteminde konumlandırıp PhotoModeler'da oluşturulacak nokta bulutunun koordinat sistemi arasında ilişkiyi sağlayarak objenin ölçekli sayısal modelini oluşturmaktır.

Gemi yüzeyine 28 adet marker homojen olarak tesis edilmiştir. Tesis edilen noktalar reflektörsüz ölçüm özelliğine sahip Total Station ile ölçülerek yersel koordinat sisteminde konumlandırılmıştır. Tesis edilen poligon ve obje üzerindeki kontrol noktalarının şematik görüntüsü Şekil 21' de gösterilmiştir.

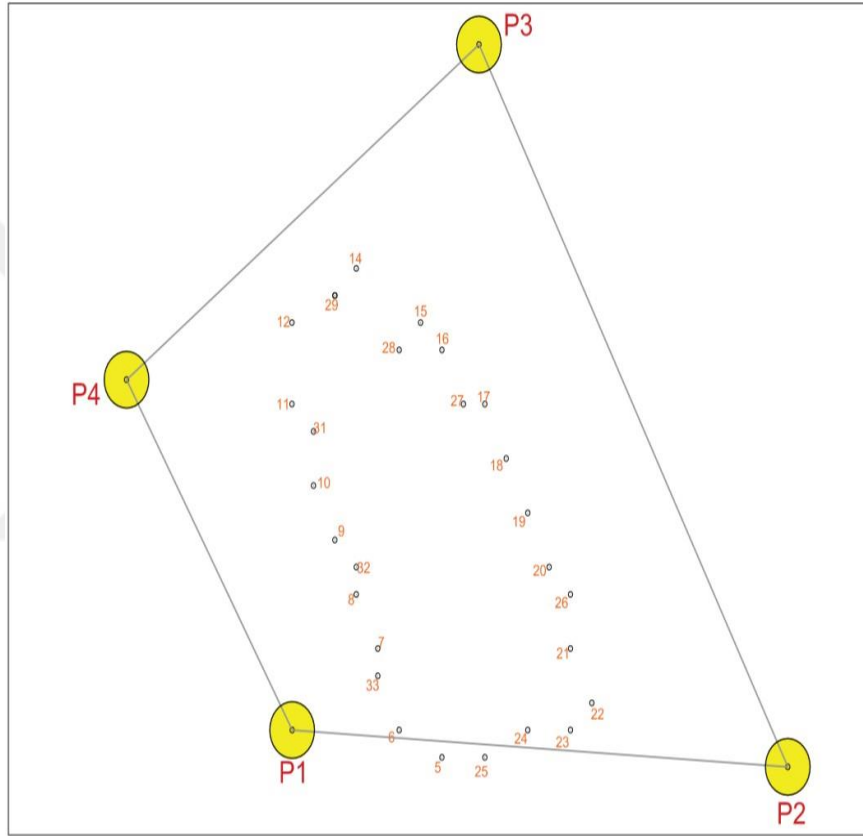
Ölçülen marker'ların rastgele oluşturulan koordinat sisteminde ölçülen koordinatları ve kullandığımız poligon noktalarının koordinatları Tablo 3' de gösterilmiştir.

Tablo 3. Tesis edilen kontrol noktalarının ölçülen koordinatları

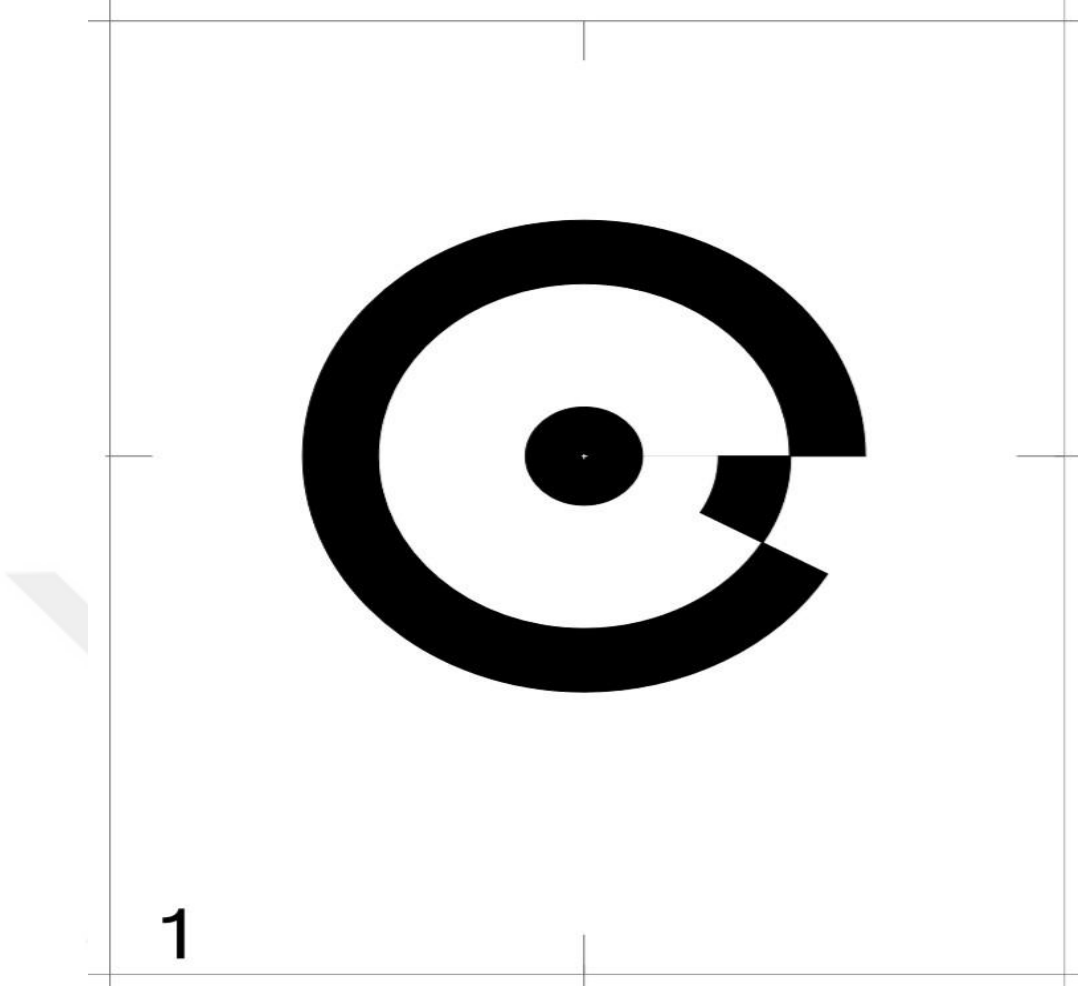
<b>Nakta No</b>	<b>X (m)</b>	<b>Y (m)</b>	<b>Z (m)</b>
<b>P2</b>	23.1400	-1.3500	100.0370
<b>5</b>	7.3390	-1.3640	104.0510
<b>6</b>	5.9740	0.8460	103.8940
<b>7</b>	4.1910	3.8640	103.8200
<b>33</b>	4.8490	2.8570	102.8430
<b>32</b>	3.1590	6.1590	102.6220
<b>8</b>	3.1910	5.7600	103.8160
<b>9</b>	2.2540	7.6760	103.9100
<b>10</b>	1.2020	9.8240	104.7340
<b>P1</b>	0.0050	0.0000	100.0040
<b>23</b>	13.9100	0.6160	104.0090
<b>24</b>	11.8230	-0.6090	104.0500
<b>25</b>	9.4480	-1.9160	103.9400
<b>21</b>	13.7950	3.9600	103.8380
<b>22</b>	14.7690	1.9760	103.9650
<b>26</b>	13.1580	5.0020	102.6600
<b>20</b>	12.6560	6.1750	103.7000
<b>19</b>	11.5210	8.2250	103.6270
<b>P3</b>	8.7290	25.2470	100.0340
<b>18</b>	10.2100	10.3360	103.7300
<b>17</b>	9.1000	12.2430	104.4210
<b>27</b>	8.4270	12.3150	102.8340
<b>16</b>	7.4700	14.2590	104.7250
<b>15</b>	6.4300	15.3070	105.0230
<b>28</b>	5.2540	14.8790	102.8460
<b>29</b>	2.4620	16.3410	102.7490
<b>14</b>	3.9820	17.0100	105.4560
<b>13</b>	2.2270	16.7840	105.4580

Tablo 3. Devamı

<b>P4</b>	-7.7290	12.8990	100.0050
<b>12</b>	0.5190	15.2140	105.4910
<b>11</b>	0.6370	12.1690	105.0170
<b>31</b>	1.6280	11.2710	103.1420



Şekil 22. Tesis edilen kontrol ve poligon noktalarının şematik görüntüsü



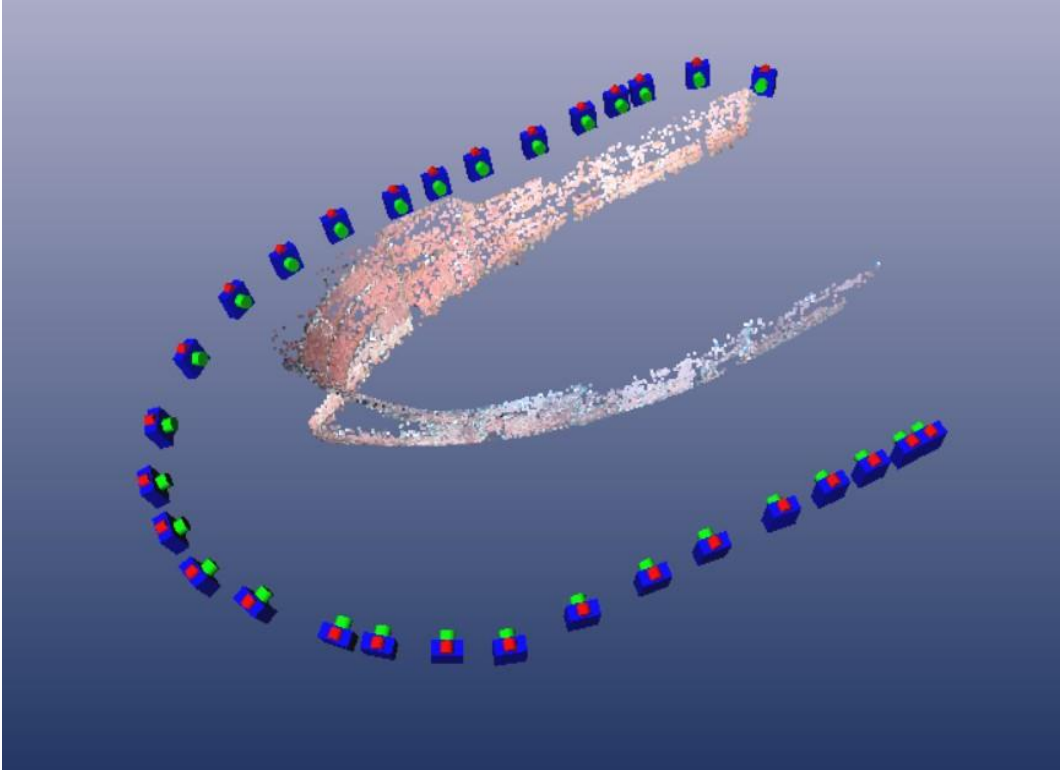
Şekil 23. Obje üzerine tesis edilen PhotoModeler'a ait hedef nokta

## 2.5. Fotoğrafların Çekilmesi

Fotoğraflar en az %70 oranında bindirme yapılarak konvergent alım yöntemine göre, belirli bir uzaklıkta ve çekim yüzeyi ile kamera yüzeyi birbirine paralel olacak şekilde çekilmiştir. Çekilen resimlerde hem gölge olmamasına hem de çok parlak yansımalar olmamasına dikkat edilmiştir. Kalibrasyonda kullanılan optik lens değeri ayarlanmak suretiyle fotoğraflar çekilmiştir. Yüzeylerdeki dönme noktalarının olduğu yerlerde bindirme oranı ve çekilen fotoğraf sayısı arttırılmıştır. Çekilen fotoğraflara ilişkin örnekler şekil 23'de verilmektedir. Fotoğraf çekim işleminin ardından görüntüler PhotoModeler programına aktarılarak programa ait görüntü eşleme algoritmaları ile eşleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Görüntü eşleme işleminin ardından ilk olarak düşük yoğunluklu nokta bulutu oluşturulmuştur. Oluşturulan stereo model ve nokta bulutu Şekil 24' de gösterilmiştir.



Şekil 24. Çekilen fotoğraf örneği



Şekil 25. Oluşturulan stereomodel ve fotoğraf çekim noktaları

## 2.6. Uygulama Objesi Nokta Verilerinin Oluşturulması

Fotoğraf çekim işlemleri yapıldıktan sonra PhotoModeler Scanner programı kullanılarak nokta bulutu üretimi gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada photomodeler programında programa ait maker'lar ile çekilen fotoğraf çiftlerinin eşleştirme işlemi yapılarak karşılıklı yöneltme işlemi yapıldı. Bu işlemin sonunda ölçeksiz model oluşturularak transformasyon için gereken fotoğraf çekim noktası koordinatları, x, y ve z eksenlerindeki dönüklükler hesaplandı. Bu aşamadan sonra objenin farklı lokasyonları için nokta yoğunlukları artırıldı. Örneğin geminin sancak, burun, iskele kısımlarında fotoğraf kalitesine göre farklı yoğunlukta nokta verisi elde edildi. Ancak bu farklılık obje geometrisi değerlendirmede engel teşkil edecek derecede farklılık saptanmamıştır. Bu aşamada PhotoModelerda hesaplanan maksimum rasidual değeri 2,82 piksel olarak hesaplandı.

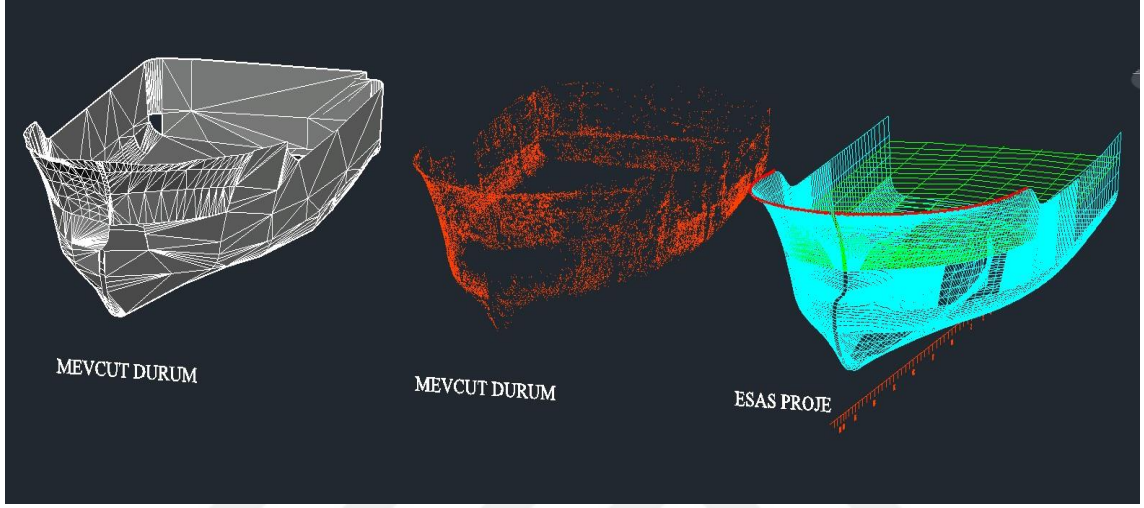
Bu noktada oluşturulan stereomodel ve buna bağılı olarak üretilen ölçeksiz nokta bulutu geometrisini ölçeklendirmek ve arazi koordinat sistemine dönüştürmek için kontrol noktalarının arazi koordinatlarını photomodeler programında kullanarak uygulama objesine ait geometrinin ölçeklendirme işlemi tamamlandı. Diğer bir ifade ile arazi koordinat sistemine geçiş sağlandı.



Şekil 26. Ölçeklendirilmiş nokta bulutu geometrisi



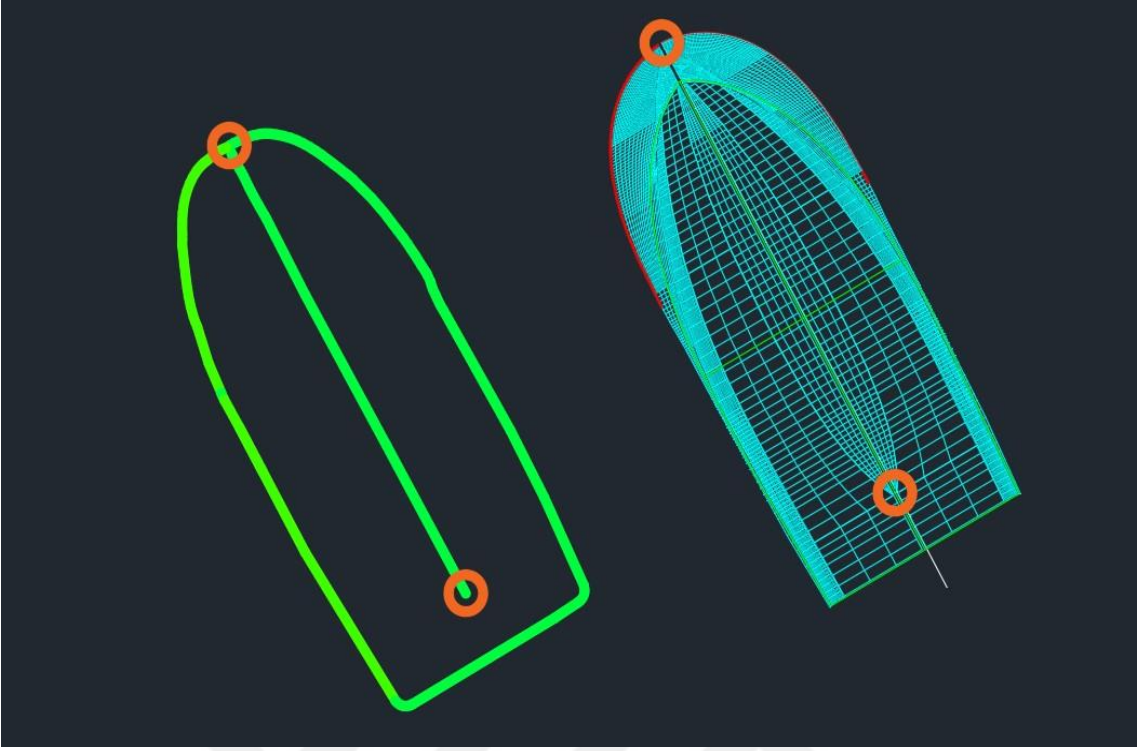
Uygulama objesinin imalata esas proje verileri Autocad ortamında imalatı gerçekleştiren firmadan elde edilerek esas proje ve mevcut durum Autocad ortamında bir araya getirildi. Geminin esas proje verileri çizgi ve yüzeylerden oluştuğu için projedeki yüzey geometrisinden nokta verisi elde edildi. Bu işlem Autocad Civil 3D programında yapıldı.



Şekil 27. İmalat projesi ve mevcut durum

İmalat projesi ile mevcut durumu karşılaştırmak için öncelikle hangi yüzeylerin ve ayrıtların karşılaştırılmasına karar verildi. Yüzeyleri seçerken yüzey derinliğinin değişkenliğinin daha fazla olduğu yerlerin seçilmesine özen gösterilmiştir.

Proje üzerinde dört farklı yüzey alanı ve dört adet ayrıtlar seçilerek Autocad Civil 3d programında projedeki 4 farklı yüzeye ait nokta verisi elde edildi. Mevcut durum verileri ile proje verilerinin aynı koordinat sisteminde karşılaştırılması işlemi Autocad Civil 3d programında projeler üzerinde referans noktaları ve ayrıtlar seçilip dönüklükler giderilerek karşılaştırma işlemi gerçekleştirildi. Seçilen referans noktaları ve ayrıtlar şekil 27’de gösterilmiştir.



Şekil 28. Seçilen Referans Noktaları ve Ayrıtlar

## 2.7. Karşılaştırma İşlemlerinin Yapılması

Karşılaştırma işlemleri yüzey ve ayrıtlar olmak üzere iki grupta incelenmiştir. Yüzeyler yüzey geometrisinin en çok değişkenlik gösterdiği bölgelere göre seçilmiştir. Ayrıtlar ise objeyi bir bütün olarak yorumlayabileceğimiz şekilde seçilmiştir.

### 2.7.1. Yüzey Karşılaştırmaları

Karşılaştırma işlemleri için MATLAB yazılımı kullanılmıştır. Matlab Curve Fitting Toolbox'ı ile eğri ve yüzey uydurma algoritmaları kullanılarak yüzey ve ayrıtların karşılaştırması yapılmıştır. Bu uygulama modülünde yüzeyleri ve ayrıtlara ait koordinat verilerini temsil eden polinom fonksiyonlar elde edilip mevcut durum ile proje arasındaki polinom fonksiyonların bilinmeyenlerinin katsayıları arasındaki farklar tespit edilmiştir.

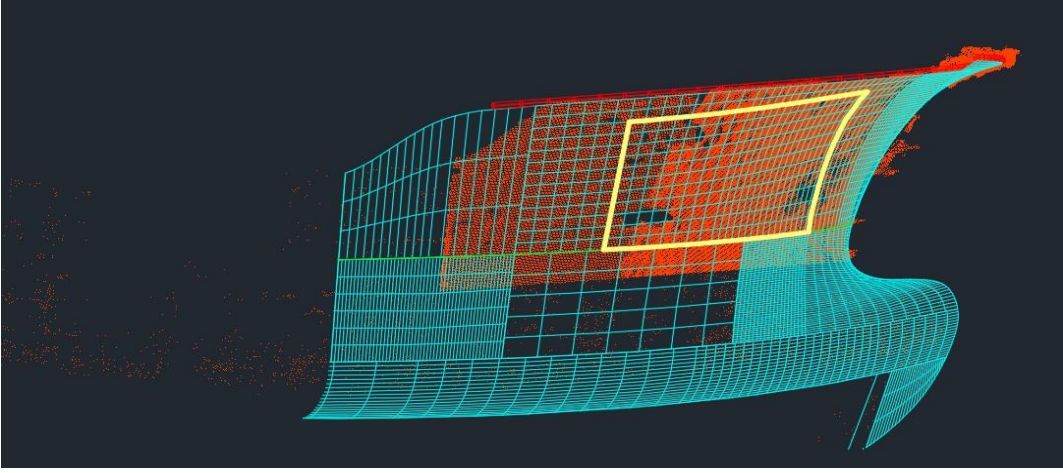
Karşılaştırma işlemlerinde ve tabloda gösterilen bilgilerden SSE uyum fonksiyonu ve koordinat verileri arasındaki hatalarının kareleri toplamı ifade etmektedir. **Rsquare** ise

$$R^2 = 1 - \left( \frac{SSE}{SST} \right)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

### 2.7.1.1. Yüzey\_1 Karşılaştırılması

1 numaralı yüzey geminin sancak tarafında burun bölgesine yakın bir bölgedir. Bu bölge obje yüzeyinin değişken olduğu bir bölge olması seçim yapmamızda etkili olmuştur. Şekil 28’de bir numaralı yüzey\_1 alanı gösterilmiştir.



Şekil 29. Yüzey\_1

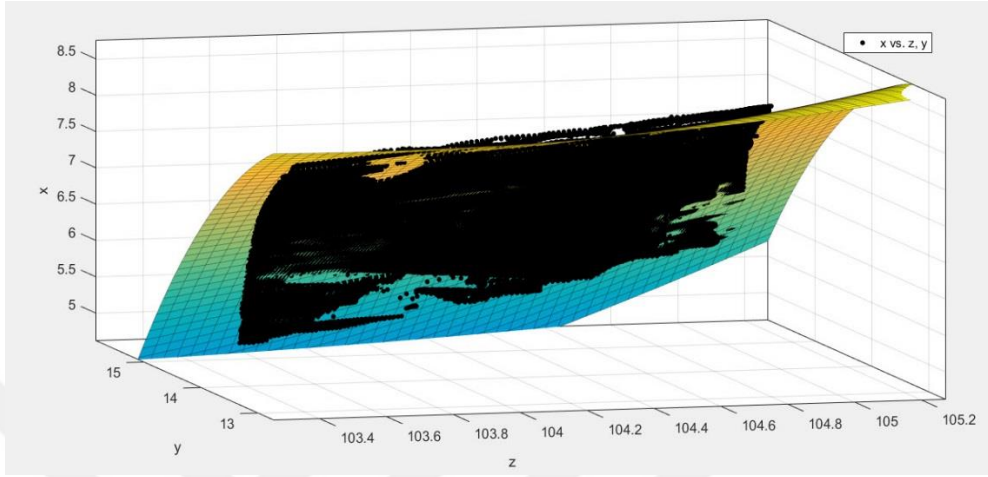
Objenin bu bölümünde elde koordinat verilerini Matlab programında değerlendirilerek,  $R^2$  değerinin 1’e en yakın olacak şekilde kontrolünü yapılarak değişken sayısı tespit edilerek yüzeyi temsil eden en uygun fonksiyon belirlenmiştir. Aşağıda yüzeyi temsil eden en uygun fonksiyon gösterilmiştir.

$$f(x, y) = p_{00} + p_{10}x + p_{01}y + p_{20}x^2 + p_{11}xy + p_{20}y^2 \quad (54)$$

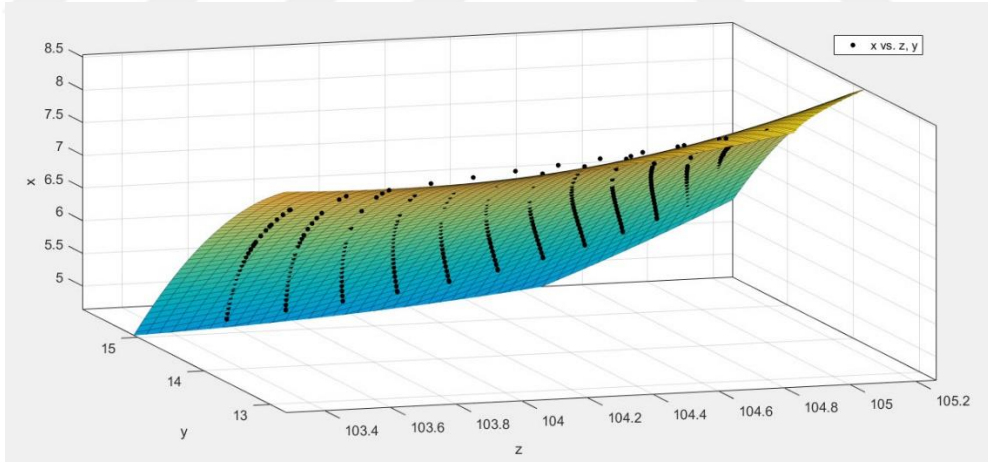
şeklindedir.

Seçili alan için elde ettiğimiz mevcut durum ve proje nokta verilerini matlab ortamında değerlendirerek yukarıda belirttiğimiz yüzeyi temsil eden fonksiyon katsayıları, uyum

fonksiyonu ve koordinat verileri arasındaki hatalarının kareleri toplamı tespit edilmiştir. Tablo 4’de bir numaralı yüzeyin polinom katsayıları ve farkları , şekil 30 ve 31 ‘da yüzey\_1 in imalat durumu ve imalata esas projeksi grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 30. Yüzey\_1 Mevcut Durum görüntüsü



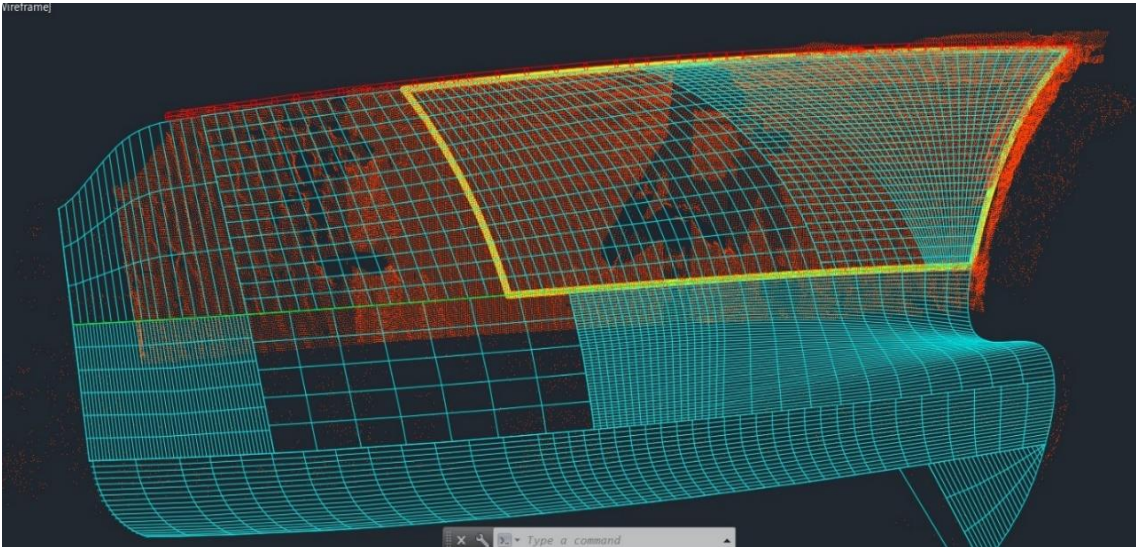
Şekil 31. Yüzey\_1 Proje Durum görüntüsü

Tablo 4. Yüzey\_1 polinom katsayıları ve farkları

Polinom Katsayıları	Mevcut Durum	Proje	Fark
$p_{00}$	6.792	6.391	<b>0.401</b>
$p_{10}$	0.4466	0.5914	<b>-0.145</b>
$p_{01}$	-0.9732	-0.991	<b>0.018</b>
$p_{20}$	0.04092	0.0995	<b>-0.059</b>
$p_{11}$	0.1204	0.1147	<b>0.06</b>
$p_{02}$	-0.1435	-0.1277	<b>-0.016</b>
$R^2$	<b>0.9959</b>	<b>0.9958</b>	<b>0,0001</b>
SSE	<b>106.2</b>	<b>1.609</b>	

### 2.7.1.2. Yüzey\_2 Karşılaştırılması

Bu bölümünde 1 numaralı yüzeyde olduğu gibi objenin sancak tarafı burun bölümünde bir bölüm seçildi. Özellikle burun bölgesinin seçilmesinin sebebi bu kısımlarda yüzeyin değişkenlik göstermesiydi. Çalışmanın amacı imalatın proje verileri ile paralel devam edip etmediğinin araştırılması olduğundan bu bölgelerde yapılabilecek hata oranının fazla olduğu düşünüldü. Aşağıdaki şekilde iki numaralı yüzey alanı gösterilmiştir.



Şekil 32. Yüzey\_2

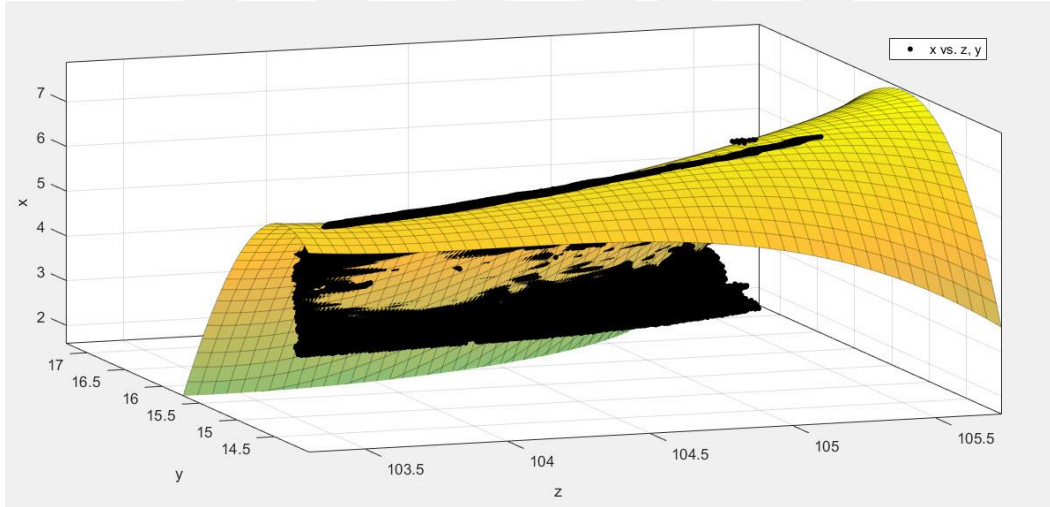


R-square değeri 1 e en yakın olacak şekilde yüzeyi temsil eden en uygun fonksiyon derecesi ve değişken sayıları tespit edildi. Yüzeyin temsil eden en uygun polinom fonksiyon,

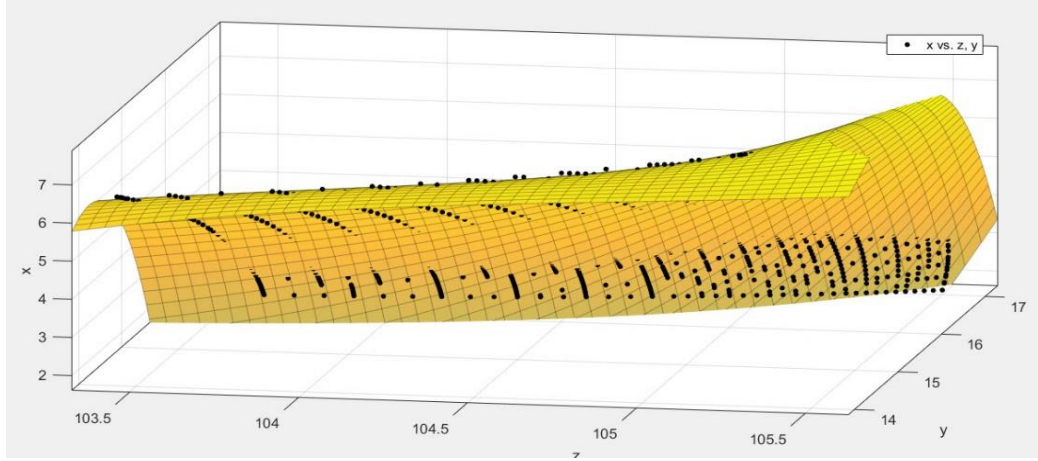
$$f(x, y) = p_{00} + p_{10}x + p_{01}y + p_{20}x^2 + p_{11}xy + p_{02}y^2 + p_{30}x^3 + p_{21}x^2y + p_{12}xy^2 + p_{03}y^3 \quad (55)$$

Şeklindedir.

Seçili alan için elde ettiğimiz koordinat verilerinin değerlendirilmesi sonucunda temsili fonksiyon değişkenleri, uyum fonksiyonu ve koordinat verileri arasındaki hataların kareleri toplamı tespit edildi. Tablo 5' de iki numaralı yüzeyin polinom katsayıları ve farkları, şekil 33 ve şekil 34'de yüzey\_2 nin mevcut durumu ile proje verileri grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 33. Yüzey\_2 mevcut durum görüntüsü



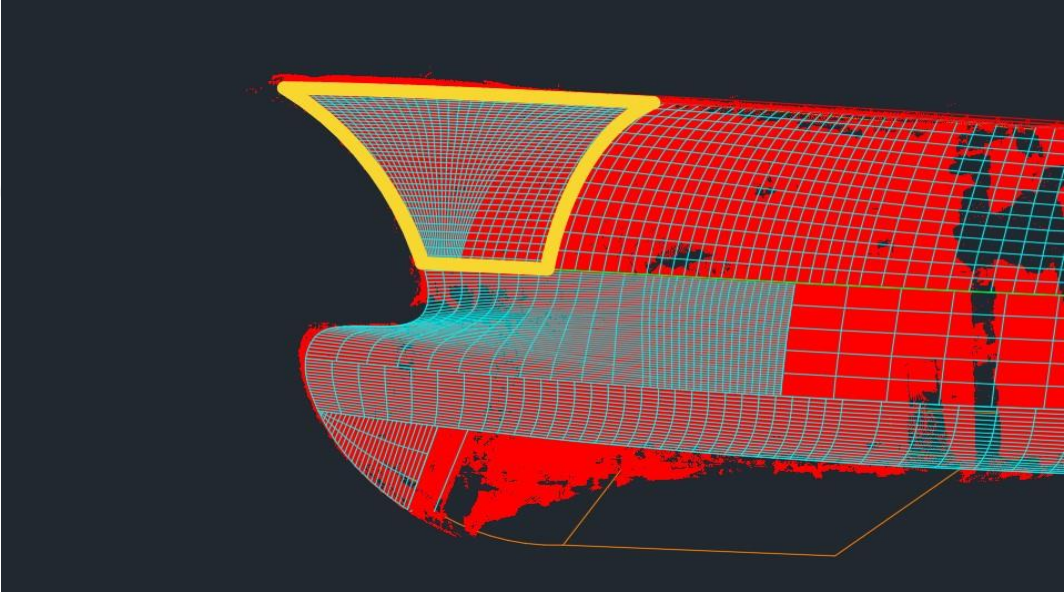
Şekil 34. Yüzey\_2 Proje Durum görüntüsü

Tablo 5. İki numaralı yüzeyin polinom katsayıları ve farkları

<b>Polinom Katsayıları</b>	<b>Mevcut Durum</b>	<b>Proje</b>	<b>Fark</b>
$p_{00}$	3.979	3.99	<b>-0,011</b>
$p_{10}$	2	2.087	<b>-0,087</b>
$p_{01}$	-3.102	-3.113	<b>0,011</b>
$p_{20}$	0.1403	0.3299	<b>-0,1896</b>
$p_{11}$	0.9067	1.283	<b>-0,3763</b>
$p_{02}$	-0.4732	-0.9376	<b>0.4644</b>
$p_{30}$	-0.08205	0.02366	<b>-0,1057</b>
$p_{21}$	0.1809	0.1342	<b>0,0467</b>
$p_{12}$	-0.01117	0.2269	<b>-0,2381</b>
$p_{03}$	0.1783	-0.06819	<b>0,2465</b>
$R^2$	0.8711	0.8798	<b>-0,0087</b>
<b>SSE</b>	<b><math>2.881e^{04}</math></b>	<b>274.8</b>	

### 2.7.1.3. Yüzey\_3 Karşılaştırılması

Üç numaralı yüzey olarak geminin iskele tarafı burun bölgesi seçildi. Bu yüzey içinde yukarıdaki yüzeyler gibi değişkenliğin yoğun olduğu bir yüzey olarak değerlendirilebilir. Bu nedenle objenin bu bölümlerinde hatalı imalat yapılma olasılığı çok yüksektir. Aşağıdaki şekilde üç numaralı yüzey alanı gösterilmiştir.



Şekil 35. Yüzey\_3 Görüntüsü

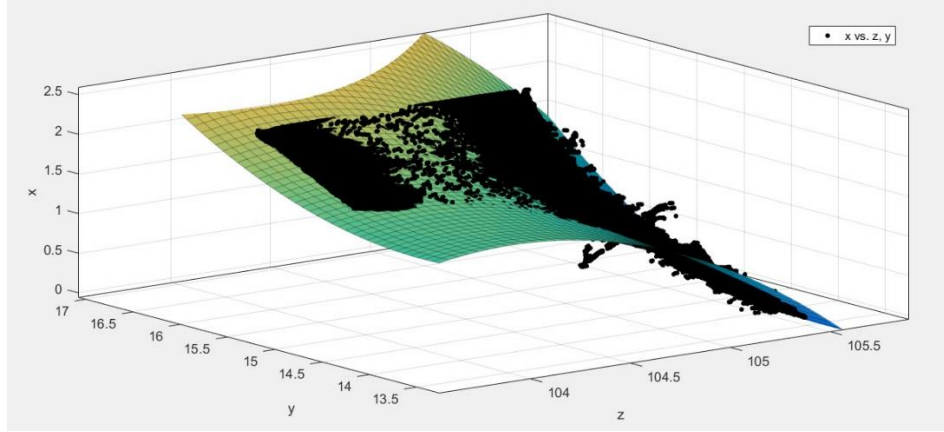
Yüzeyi temsil eden polinom uyum fonksiyonu

$$f(x, y) = p_{00} + p_{10}x + p_{01}y + p_{20}x^2 + p_{11}xy + p_{02}y^2 \quad (56)$$

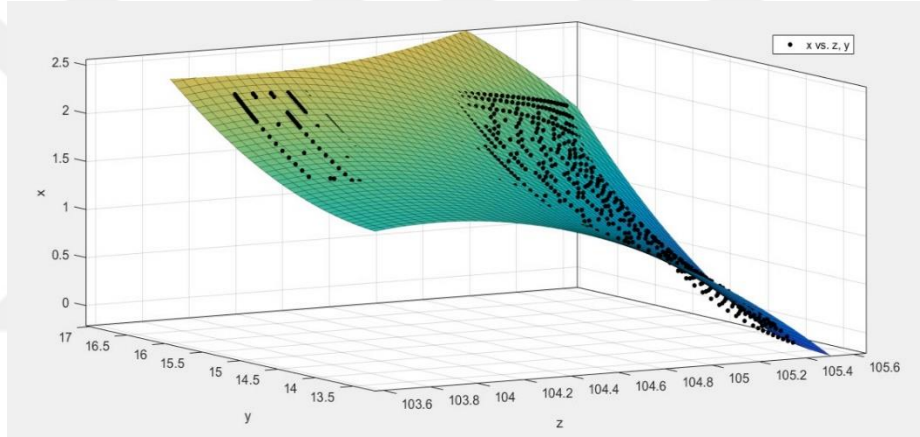
şeklindedir.

Seçili alan için elde ettiğimiz koordinat verilerinin değerlendirilmesi sonucunda temsili fonksiyon değişkenleri, uyum fonksiyonu ve koordinat verileri arasındaki hataların kareleri toplamı tespit edildi. Tablo 6' da 3 numaralı yüzeyin polinom katsayıları ve farkları, şekil 36 ve 37 'da yüzey\_3 ün imalat durum verileri ve proje verileri grafik olarak gösterilmiştir.





Şekil 36. Yüzey\_3 mevcut durum görüntüsü



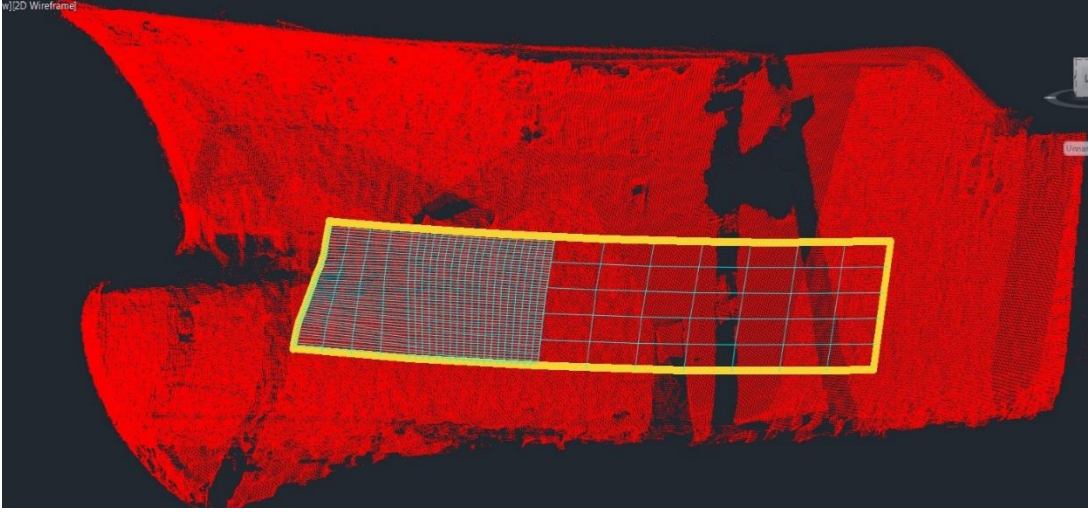
Şekil 37. Yüzey\_3 proje durum görüntüsü

Tablo 6. Yüzey\_3 polinom katsayıları ve farkları

Polinom Katsayıları	Mevcut Durum	Proje	Fark
$P_{00}$	1.377	1.511	<b>-0.134</b>
$P_{10}$	-0.6901	-0.6847	<b>-0.0054</b>
$P_{01}$	0.3837	0.4763	<b>-0.0926</b>
$P_{20}$	-0.1594	-0.182	<b>0.0226</b>
$P_{11}$	0.001924	0.005559	<b>-0.003635</b>
$P_{02}$	0.07917	0.08131	<b>-0.00214</b>
$R^2$	<b>0.9865</b>	<b>0.9924</b>	<b>-0,0059</b>
SSE	<b>790</b>	<b>2.663</b>	

#### 2.7.1.4. Yüzey\_4 Karşılaştırılması

Dört numaralı yüzey olarak geminin sancak tarafında yüzey değişkenliğinin en çok olan bölge seçildi. Bu yüzey aşağıdaki şekilde de görüleceği üzere üst den bakıldığında burğu şeklinde bir görünüme sahip olduğu söylenebilir. Şekil 38’de yüzey\_4 alanı gösterilmiştir.



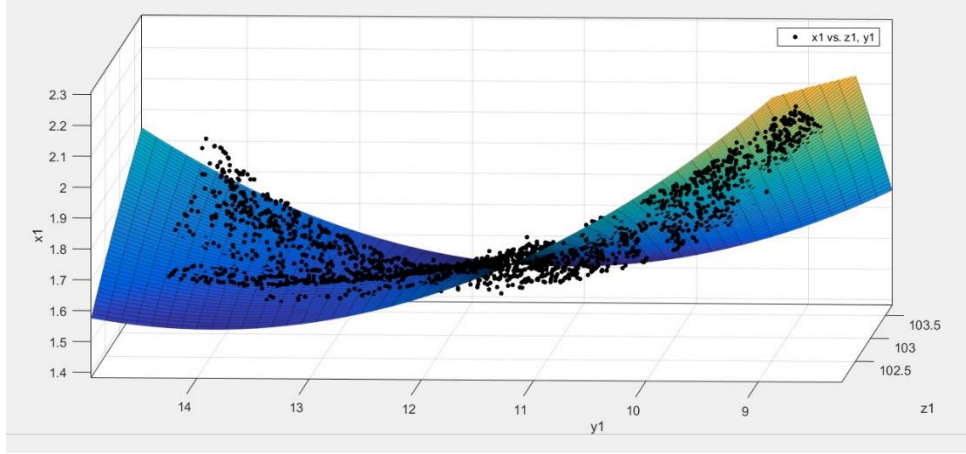
Şekil 38. Yüzey\_4 görüntüsü

Yüzeyi temsil eden uyum fonksiyonu R-square kontrolleri yapılarak yani bu değer 1 e en yakın olacak şekilde tespit edildi. Fonksiyon

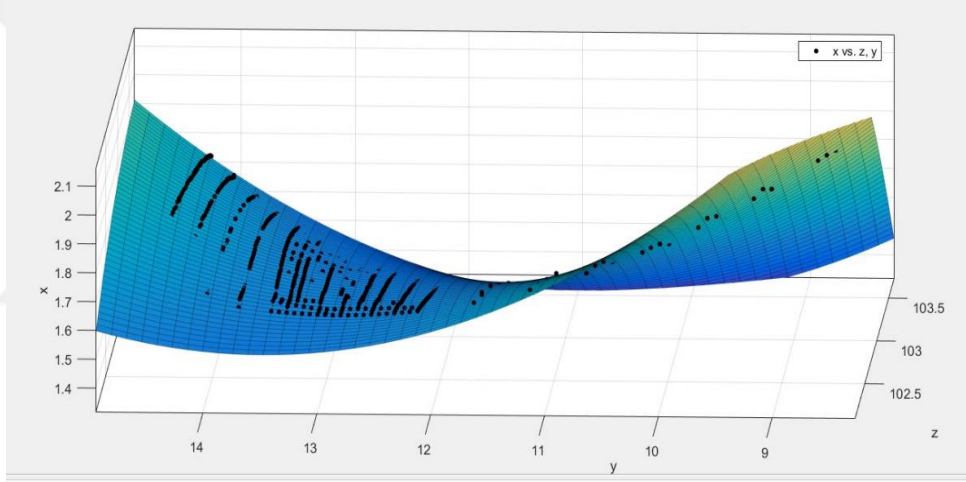
$$f(x, y) = p_{00} + p_{10}x + p_{01}y + p_{20}x^2 + p_{11}xy + p_{02}y^2 \quad (57)$$

şeklindedir.

Seçili alan için elde ettiğimiz koordinat verilerinin değerlendirilmesi sonucunda temsili fonksiyon değişkenleri, uyum fonksiyonu ve koordinat verileri arasındaki hataların kareleri toplamı tespit edildi. Tablo 7’de yüzey\_4 ün polinom katsayıları ve farkları, şekil 39 ve 40 ‘da yüzey\_4 ün imalata esas proje verileri imalat durum verileri grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 39. Yüzey\_4 mevcut durum görüntüsü



Şekil 40. Yüzey\_4 proje durum görüntüsü

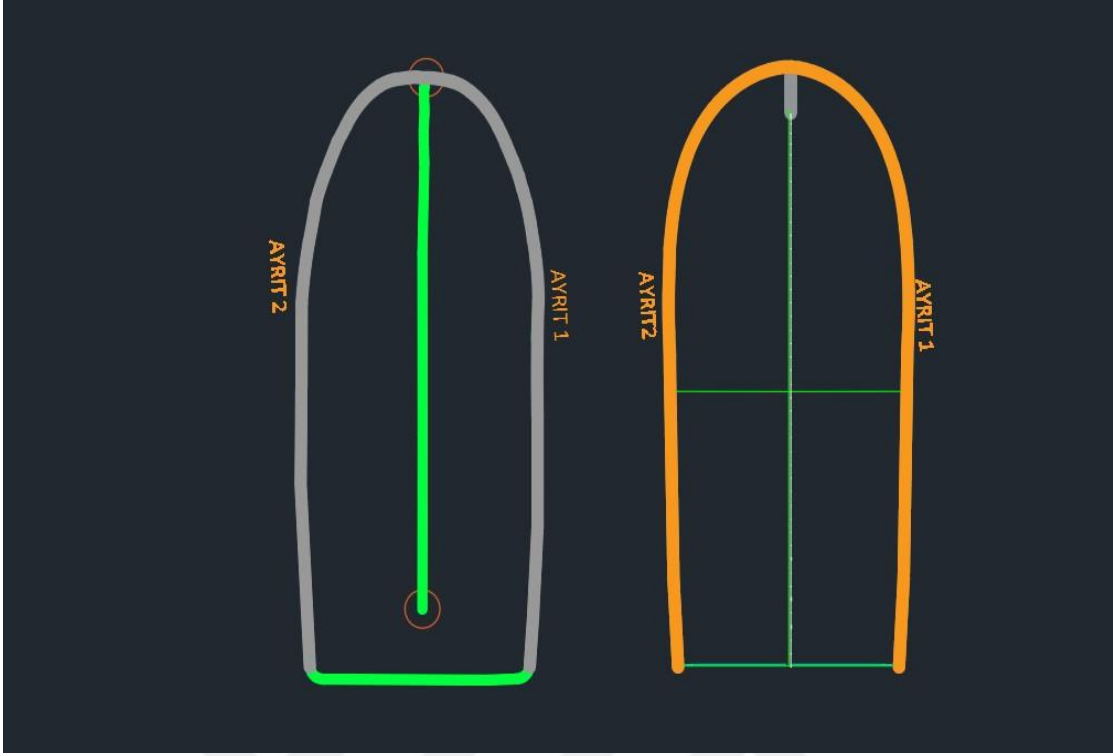
Tablo 7. Yüzey\_4 polinom katsayıları ve farkları

<b>Polinom Katsayıları</b>	<b>Mevcut Durum</b>	<b>Proje</b>	<b>Fark</b>
$p_{00}$	1.609	1.542	<b>0.067</b>
$p_{10}$	-0.03454	-0.02809	<b>-0.00645</b>
$p_{01}$	-0.07143	0.07955	<b>-0.15098</b>
$p_{20}$	-0.003152	-0.01346	<b>0.010308</b>
$p_{11}$	0.06146	0.05171	<b>0.00975</b>
$p_{02}$	0.08885	0.04483	<b>0.04402</b>
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0.9443</b>	<b>0.9388</b>	<b>0,0055</b>
<b>SSE</b>	<b>3.934</b>	<b>0.5481</b>	

### 2.7.2. Ayırıt Karşılaştırmaları

Ayırıt karşılaştırma işlemi ile obje yüzeyinin dış hatlarının imalata esas projeye uygun olup olmadığının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Karşılaştırma işlemleri için objeye ait dört adet ayırıt seçilmiştir. İlk iki ayırıt aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi objeye plan düzleminde bakıldığında objenin sol ve sağ tarafını temsil ettiği görülmektedir.

Ayırıt karşılaştırma işlemleri yüzey işlemlerinde yaptığımız gibi yüksek seviye programlama dili MATLAB kullanılmıştır. Matlab Curve Fitting Toolbox'ı ile ayırıt karşılaştırması yapılmıştır. Aşağıdaki şekilde karşılaştırılacak iki ayırıt gösterilmiştir.



Şekil 41. Bir ve iki numaralı ayırıt görüntüsü

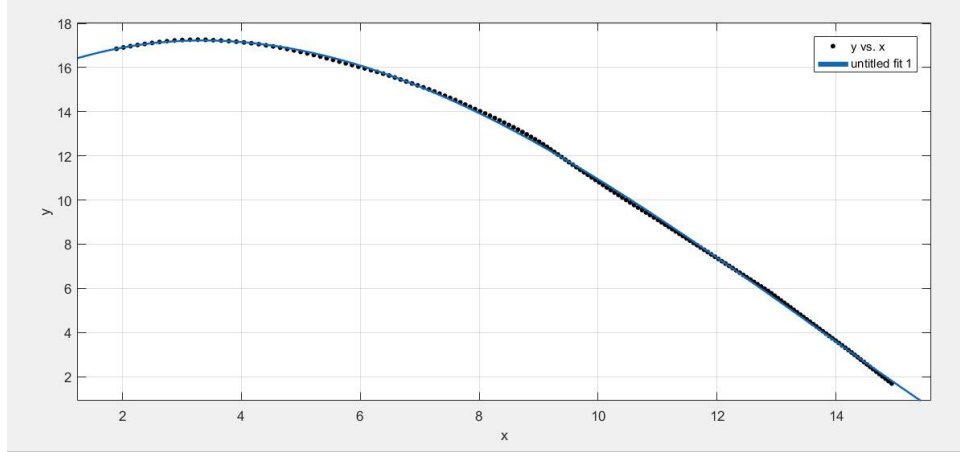
### 2.7.2.1. Ayırıt\_1 Karşılaştırması

Ayırıtı temsil eden uyum fonksiyonu R-Square kontrolleri yapılarak yüzey karşılaştırma bölümünde de bahsettiğimiz gibi 1 e en yakın olacak şekilde tespit edildi. Bu çerçevede ayırıtı temsil eden uyum fonksiyonu;

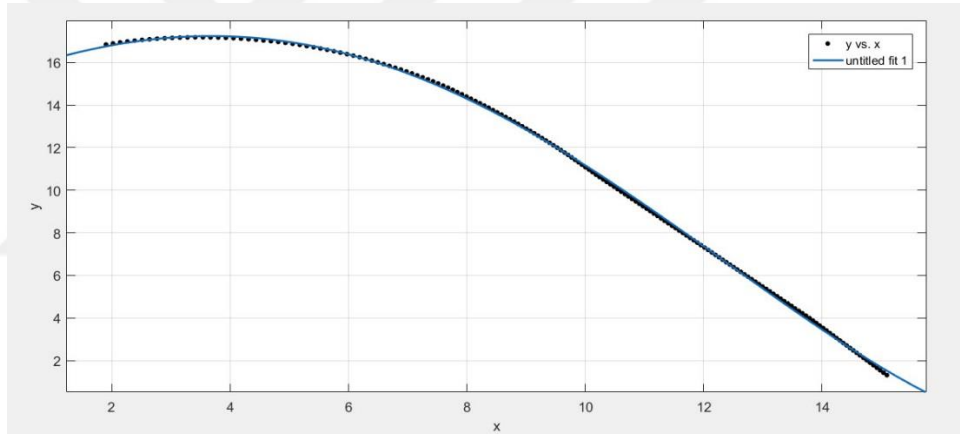
$$f(x) = p_1x^4 + p_2x^3 + p_3x^2 + p_4x + p_5 \quad (58)$$

şeklindedir.

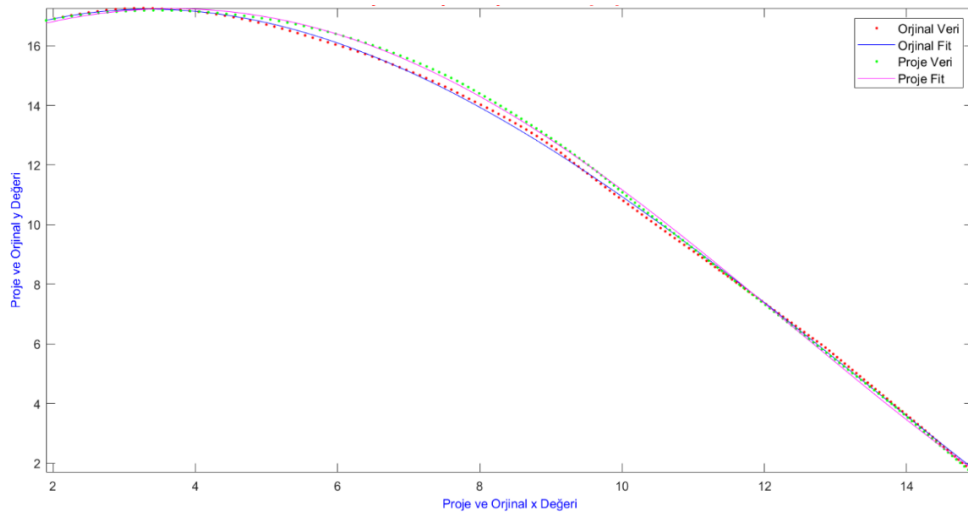
Ayırıtı\_1 için yapılan ölçümlerle mevcut durum için 171 adet ve imalat projesin den de 171 adet koordinat verisi elde edilmiştir. Ardından bu koordinat verilerinden yukarıda belirttiğimiz fonksiyonun katsayıları Matlab ortamında hesaplanmıştır. Seçili ayırıt için elde ettiğimiz koordinat verilerinin değerlendirilmesi sonucunda temsili fonksiyon değişkenleri, uyum fonksiyonu ve koordinat verileri arasındaki hataların kareleri toplamı tespit edildi. Tablo 8’de 1 numaralı ayırıtın polinom katsayıları ve farkları, şekil 42 ve 43’de ayırıt\_1’ in karşılaştırmalı proje ve imalat verileri grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 42. Ayrıt\_1 mevcut durum görüntüsü



Şekil 43. Ayrıt\_1 proje durum görüntüsü



Şekil 44. Ayrıt\_1 mevcut durum proje durum karşılaştırılması

Tablo 8. Ayrıt\_1 polinom katsayıları ve farkları

<b>Polinom Katsayıları</b>	<b>Mevcut Durum</b>	<b>Proje</b>	<b>Fark</b>
<b><math>P_1</math></b>	0.01265	0.08183	<b>-0,06918</b>
<b><math>P_2</math></b>	0.2893	0.4289	<b>-0,1396</b>
<b><math>P_3</math></b>	-1.033	-1.293	<b>0,26</b>
<b><math>P_4</math></b>	-5.802	-6.157	<b>0,355</b>
<b><math>P_5</math></b>	11.66	11.92	<b>-0,26</b>
<b><math>R^2</math></b>	<b>0,9997</b>	<b>0,9997</b>	<b>0</b>
<b>SSE</b>	<b>1.065</b>	<b>1.161</b>	

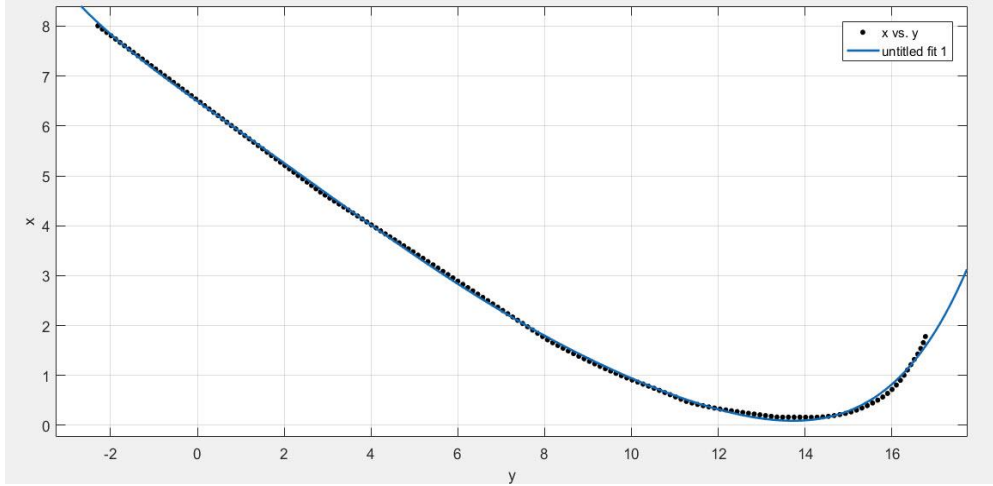
### 2.7.2.2. Ayrıt\_2 Karşılaştırması

Ayrıtı\_2 için yapılan ölçümlerden mevcut durum için 172 adet ve imalat projesinin de 172 adet koordinat verisi elde edilmiştir. Ardından bu koordinat verilerinden ayrıtı en doğru şekilde temsil eden fonksiyonun katsayıları Matlab ortamında hesaplanmıştır.

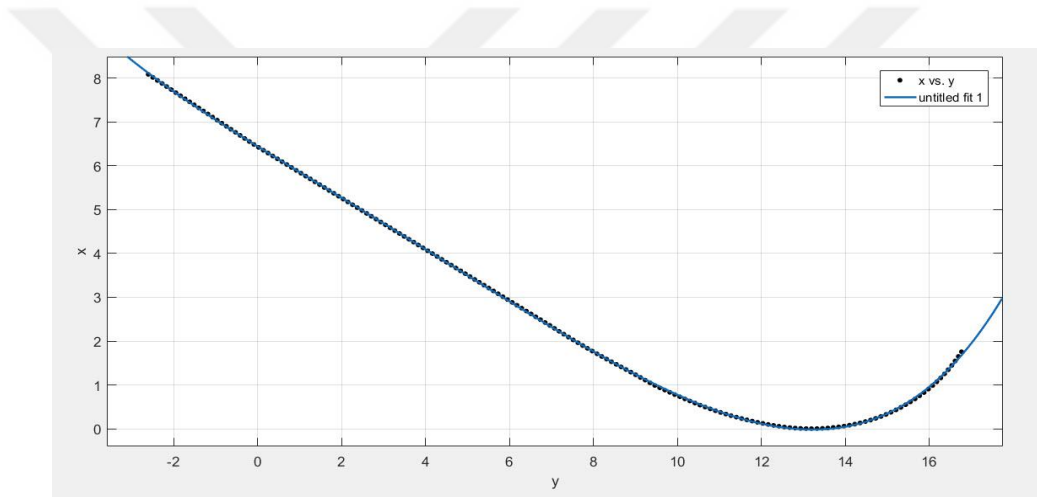
Ayrıtı temsil eden fonksiyon,

$$f(x) = p_1x^6 + p_2x^5 + p_3x^4 + p_4x^3 + p_5x^2 + p_6x + p_7 \quad (59)$$

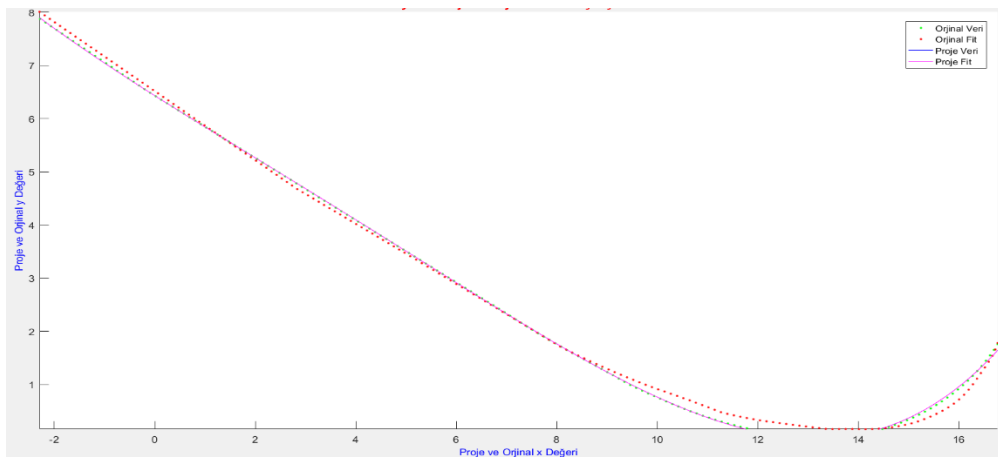
şeklinindedir. Tablo 9’da iki numaralı ayrıtının polinom katsayıları ve farkları, şekil 45 ve 46’de ayrıt\_2 ‘nin imalat durumu ve proje verilerine göre hazırlanan grafikler gösterilmiştir.



Şekil 45. Ayrıt\_2 mevcut durum görüntüsü



Şekil 46. Ayrıt\_2 proje durum görüntüsü



Şekil 47. Ayrıt\_2 mevcut durum proje durum karşılaştırılması

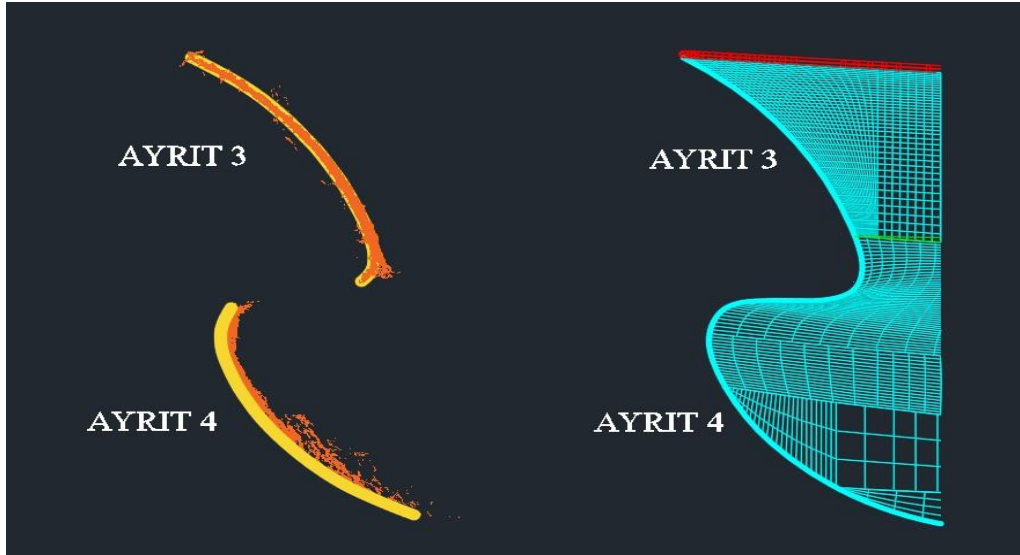


Tablo 9. Ayrit\_2 polinom katsayıları ve farkları

Polinom Katsayıları	Mevcut Durum	Proje	Fark
$p_1$	0.06964	0.01126	<b>0,05838</b>
$p_2$	0.05716	0.01458	<b>0,04258</b>
$p_3$	-0.1295	0.1523	<b>-0,2818</b>
$p_4$	0.1482	0.422	<b>-0,2738</b>
$p_5$	0.6929	0.3595	<b>0,3334</b>
$p_6$	-2.955	-3.277	<b>0,322</b>
$p_7$	2.304	2.326	<b>-0,022</b>
$R^2$	<b>0,9996</b>	<b>1</b>	<b>-0,0004</b>
SSE	<b>0.3772</b>	<b>0.04214</b>	

### 2.7.2.3. Ayrit\_3 Karşılaştırması

Ayritı 3 için yapılan ölçümlerden mevcut durum için 101 adet ve imalat projesin den de 101 adet koordinat verisi elde edilmiştir. Şekil 48’de ayrit\_3 ve ayrit\_4 gösterilmiştir.

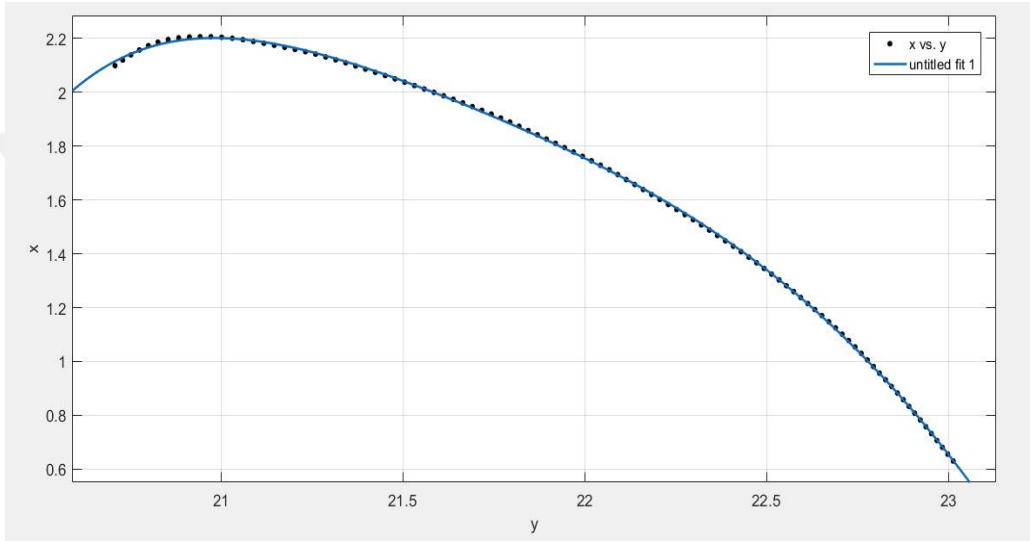


Şekil 48. Ayrit\_3 ve ayrit\_4

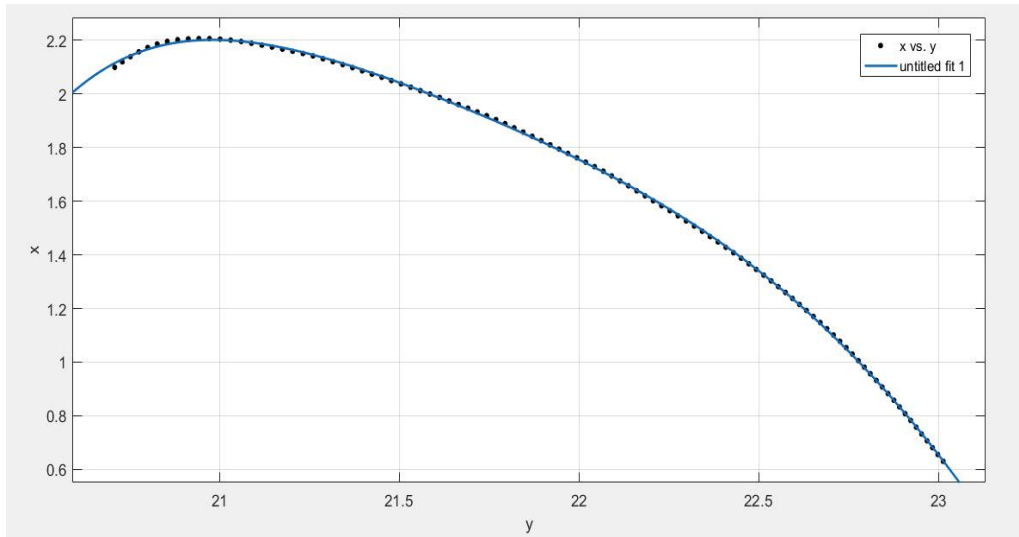
Ayrıt\_3 ü temsil eden fonksiyon,

$$f(x) = p_1x^5 + p_2x^4 + p_3x^3 + p_4x^2 + p_5x + p_6 \quad (60)$$

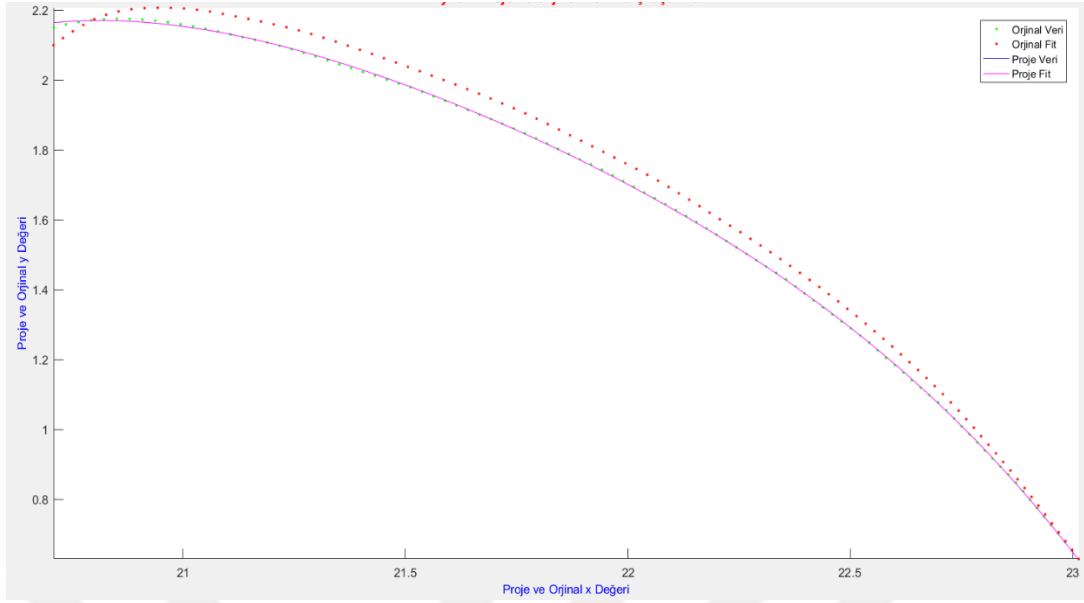
şeklindedir. Tablo 10'da ayrıt\_3'ün polinom katsayıları ve farkları, şekil 49 ve 50'de ayrıt\_3 ün imalat durum verileri ve proje verilerinden elde edilen grafikler gösterilmiştir.



Şekil 49. Ayrıt\_3 mevcut durum görüntüsü



Şekil 50. Ayrıt\_3 proje durum görüntüsü



Şekil 51. Ayrıt\_3 mevcut durum proje durum karşılaştırılması

Tablo 10. Ayrıt\_3 polinom katsayıları ve farkları

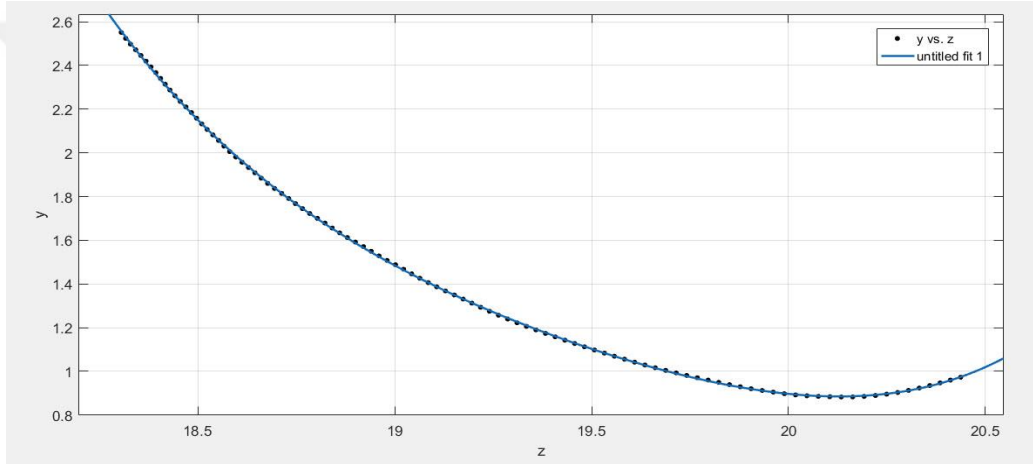
<b>Polinom Katsayıları</b>	<b>Mevcut Durum</b>	<b>Proje</b>	<b>Fark</b>
$p_1$	0.008942	0.003609	<b>0,00533</b>
$p_2$	-0.02375	-0.0121	<b>-0,02254</b>
$p_3$	-0.05192	-0.03371	<b>-0,01821</b>
$p_4$	-0.1058	-0.1113	<b>0,0055</b>
$p_5$	-0.4538	-0.448	<b>-0,0058</b>
$p_6$	1.77	1.717	<b>0,053</b>
$R^2$	<b>0,9999</b>	<b>1</b>	<b>-0,0001</b>
<b>SSE</b>	<b>0.001952</b>		

#### 2.7.2.4. Ayrıt\_4 Karşılaştırması

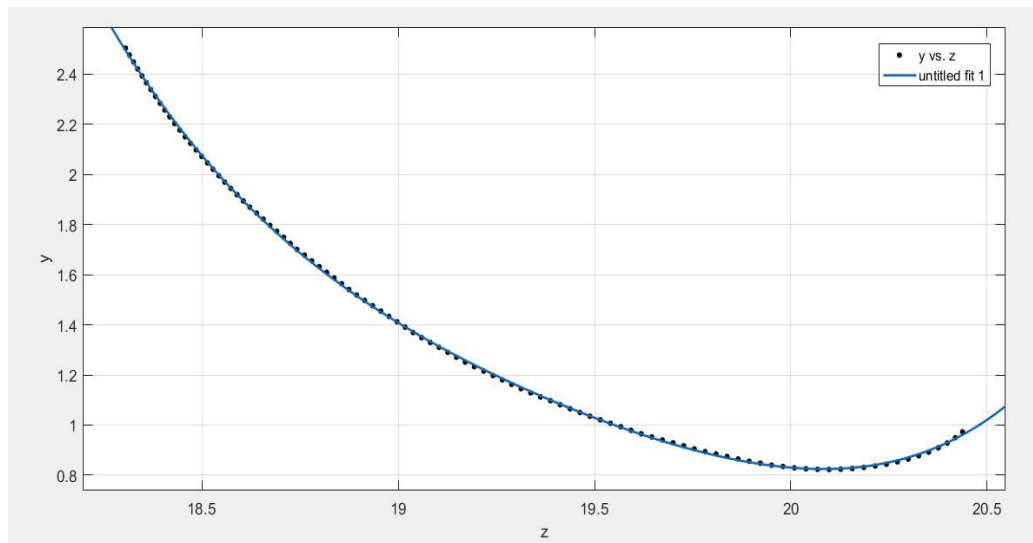
Ayrıtı\_4 için yapılan ölçümlerden mevcut durum için 101 adet ve imalat projesinin de 101 adet koordinat verisi elde edilmiştir. Ayrıtı temsil eden fonksiyon,

$$f(x) = p_1x^4 + p_2x^3 + p_3x^2 + p_4x + p_5 \quad (61)$$

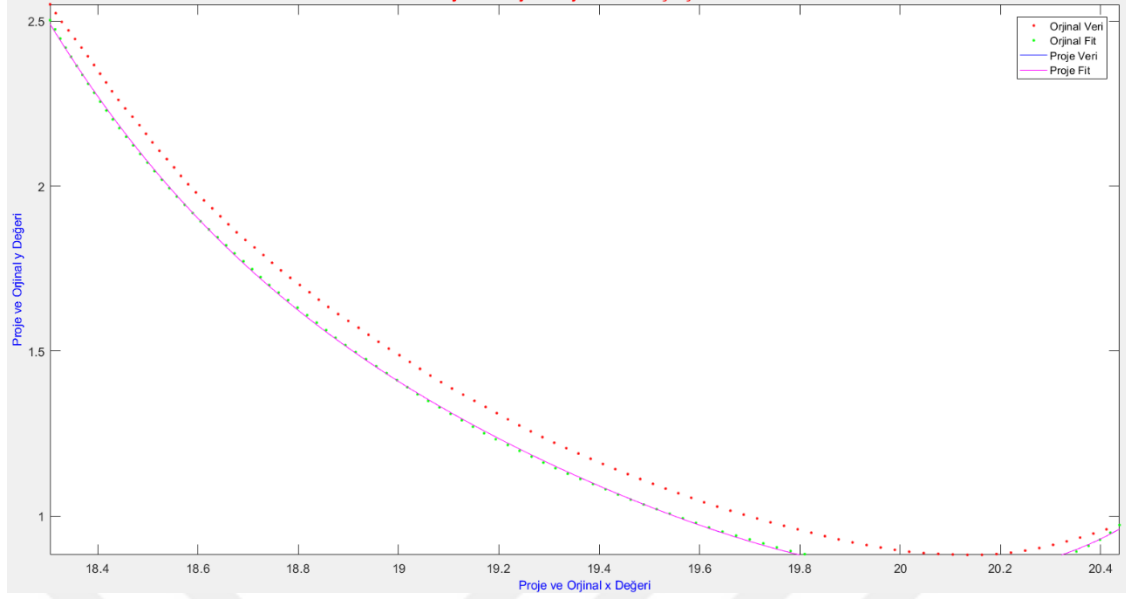
şeklindedir. Tablo 11’ de Ayrıt\_4’ün polinom katsayıları ve farkları, şekil 52 ve 53’ da ayrıt\_4’n imalat durumu ve imalata esas proje verileri grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 52. Ayrıt\_4 mevcut durum görüntüsü



Şekil 53. Ayrıt\_4 proje durum görüntüsü



Şekil 54. Ayırıt\_4 mevcut durum proje durum karşılaştırılması

Tablo 11. Ayırıt\_4 polinom katsayıları ve farkları

Polinom	Mevcut Durum	Proje	Fark
$p_1$	0.02896	0.04112	<b>-0,01216</b>
$p_2$	-0.04374	-0.05155	<b>0,00781</b>
$p_3$	0.1502	0.1555	<b>-0,0053</b>
$p_4$	-0.4984	-0.5133	<b>0,0149</b>
$p_5$	1.297	1.225	<b>0,072</b>
$R^2$	<b>1</b>	<b>0.9999</b>	<b>0,0001</b>
SSE	<b>0.0009706</b>	<b>0.002713</b>	

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Uygulama objesinin dört farklı yüzeyi ve dört farklı ayırıtı karşılaştırılarak elde edilen uyum fonksiyonlarının katsayıları yapılan çalışmalar bölümünde gösterilmiştir. Bu bölümde imalat esnasındaki durumun ve proje verilerine göre hesaplanan uyum fonksiyon katsayıları arasındaki farklar ve uyum fonksiyonlarının karesel ortalama hataları incelenecektir. Tablolarda gösterilen **RMSE** karesel ortalama hata anlamındadır.

$$\text{Karesel ortalama hata} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (SSE)^2}$$

Şeklinde hesaplanmıştır.

Yüzey ve ayırıtı ayrı başlıklar altında ele alacak olursak elde edilen bulgular şu şekilde sıralayabiliriz.

#### 3.1. Yüzey\_1 İçin Elde Edilen Bulgular

Yapılan ölçümler ile imalat durumu için 38135 adet ve proje verilerinden ise 552 adet koordinat verisi elde edilmiştir. İmalat ve proje verileri için elde edilen uyum fonksiyon katsayıları farkları ve karesel ortalama hataları Tablo 12’de gösterilmiştir.

Tablo 12. Yüzey\_1 fonksiyon katsayıları farkları ve karesel ortalama hataları

<b>Polinom Katsayıları</b>	<b>Mevcut Durum</b>	<b>Proje</b>	<b>Fark</b>
<b><math>p_{00}</math></b>	6.792	6.391	<b>0.401</b>
<b><math>p_{10}</math></b>	0.4466	0.5914	<b>-0.145</b>
<b><math>p_{01}</math></b>	-0.9732	-0.991	<b>0.018</b>
<b><math>p_{20}</math></b>	0.04092	0.0995	<b>-0.059</b>
<b><math>p_{11}</math></b>	0.1204	0.1147	<b>0.06</b>
<b><math>p_{02}</math></b>	-0.1435	-0.1277	<b>-0.016</b>

Tablo 12. Devamı

<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0.9959</b>	<b>0.9958</b>	<b>0,0001</b>
<b>SSE</b>	<b>106.2</b>	<b>1.609</b>	
<b>RMSE</b>	<b>0.05277</b>	<b>0.05429</b>	

### 3.2. Yüzey\_2 İçin Elde Edilen Bulgular

Yapılan ölçümler ile imalat durumu için 116509 adet ve proje verilerinden ise 1063 adet koordinat verisi elde edilmiştir. İmalat ve proje verileri için elde edilen uyum fonksiyon katsayıları farkları ve karesel ortalama hataları Tablo 13’de gösterilmiştir.

Tablo 13. Yüzey\_2 uyum fonksiyon katsayıları farkları ve karesel ortalama hataları

<b>Polinom Katsayıları</b>	<b>Mevcut Durum</b>	<b>Proje</b>	<b>Fark</b>
<b><i>p</i><sub>00</sub></b>	3.979	3.99	<b>-0,011</b>
<b><i>p</i><sub>10</sub></b>	2	2.087	<b>-0,087</b>
<b><i>p</i><sub>01</sub></b>	-3.102	-3.113	<b>0,011</b>
<b><i>p</i><sub>20</sub></b>	0.1403	0.3299	<b>-0,1896</b>
<b><i>p</i><sub>11</sub></b>	0.9067	1.283	<b>-0,3763</b>
<b><i>p</i><sub>02</sub></b>	-0.4732	-0.9376	<b>0.4644</b>
<b><i>p</i><sub>30</sub></b>	-0.08205	0.02366	<b>-0,1057</b>
<b><i>p</i><sub>21</sub></b>	0.1809	0.1342	<b>0,0467</b>
<b><i>p</i><sub>12</sub></b>	-0.01117	0.2269	<b>-0,2381</b>
<b><i>p</i><sub>03</sub></b>	0.1783	-0.06819	<b>0,2465</b>
<b>R<sup>2</sup></b>	0.8711	0.8798	<b>-0,0087</b>
<b>SSE</b>	<b>2.881e<sup>04</sup></b>	<b>274.8</b>	
<b>RMSE</b>	<b>0,4973</b>	<b>0,5109</b>	

### 3.3. Yüzey\_3 İçin Elde Edilen Bulgular

Yapılan ölçümler ile imalat durumu için 161378 adet ve proje verilerinden ise 799 adet koordinat verisi elde edilmiştir. İmalat ve proje verileri için elde edilen uyum fonksiyon katsayıları farkları ve karesel ortalama hataları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 14. Yüzey\_3 uyum fonksiyon katsayıları farkları ve karesel ortalama hataları

<b>Polinom Katsayıları</b>	<b>Mevcut Durum</b>	<b>Proje</b>	<b>Fark</b>
$P_{00}$	1.377	1.511	<b>-0.134</b>
$P_{10}$	-0.6901	-0.6847	<b>-0.0054</b>
$P_{01}$	0.3837	0.4763	<b>-0.0926</b>
$P_{20}$	-0.1594	-0.182	<b>0.0226</b>
$P_{11}$	0.001924	0.005559	<b>-0.003635</b>
$P_{02}$	0.07917	0.08131	<b>-0.00214</b>
$R^2$	0.9865	0.9924	<b>-0,0059</b>
<b>SSE</b>	<b>790</b>	<b>2.663</b>	
<b>RMSE</b>	<b>0,06997</b>	<b>0,05795</b>	

### 3.4. Yüzey\_4 İçin Elde Edilen Bulgular

Yapılan ölçümler ile imalat durumu için 134161 adet ve proje verilerinden ise 718 adet koordinat verisi elde edilmiştir. İmalat ve proje verileri için elde edilen uyum fonksiyon katsayıları farkları ve karesel ortalama hataları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.



Tablo 15. Yüzey\_4 uyum fonksiyon katsayıları farkları ve karesel ortalama hataları

<b>Polinom Katsayıları</b>	<b>Mevcut Durum</b>	<b>Proje</b>	<b>Fark</b>
$p_{00}$	1.609	1.542	<b>0.067</b>
$p_{10}$	-0.03454	-0.02809	<b>-0.00645</b>
$p_{01}$	-0.07143	0.07955	<b>-0.15098</b>
$p_{20}$	-0.003152	-0.01346	<b>0.010308</b>
$p_{11}$	0.06146	0.05171	<b>0.00975</b>
$p_{02}$	0.08885	0.04483	<b>0.04402</b>
$R^2$	0.9443	0.9388	<b>0,0055</b>
<b>SSE</b>	<b>3.934</b>	<b>0.5481</b>	
<b>RMSE</b>	<b>0.03834</b>	<b>0.02775</b>	

### 3.5. Ayırıt\_1 İçin Elde Edilen Bulgular

Yapılan fotogrametrik ölçümler sonucunda 1 numaralı ayırıt için 172 adet koordinat verisi ve proje verilerinden de 171 adet koordinat verisi elde edilmiştir. İmalat ve proje verileri için elde edilen uyum fonksiyon katsayıları farkları ve karesel ortalama hataları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 16. Ayırıt\_1 uyum fonksiyon katsayıları farkları ve karesel ortalama hataları

<b>Polinom</b>	<b>Mevcut</b>	<b>Proje</b>	<b>Fark</b>
$P_1$	0.01265	0.08183	<b>-0,06918</b>
$P_2$	0.2893	0.4289	<b>-0,1396</b>
$P_3$	-1.033	-1.293	<b>0,26</b>
$P_4$	-5.802	-6.157	<b>0,355</b>
$P_5$	11.66	11.92	<b>-0,26</b>
$R^2$	0.9997	0,9997	<b>0</b>
<b>SSE</b>	<b>1.065</b>	<b>1.161</b>	
<b>RMSE</b>	<b>0.07986</b>	<b>0.08363</b>	

### 3.6. Ayırıt\_2 İçin Elde Edilen Bulgular

Yapılan fotogrametrik ölçümler sonucunda 2 numaralı ayırıt için 172 adet koordinat verisi değerlendirilmiş ve proje verilerinden de 171 adet koordinat verisi elde edilmiştir. İmalat ve proje verileri için elde edilen uyum fonksiyon katsayıları farkları ve karesel ortalama hataları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 17. Ayırıt\_2 uyum fonksiyon katsayıları farkları ve karesel ortalama hataları

<b>Polinom Katsayıları</b>	<b>Mevcut Durum</b>	<b>Proje</b>	<b>Fark</b>
<b><math>p_1</math></b>	0.06964	0.01126	<b>0,05838</b>
<b><math>p_2</math></b>	0.05716	0.01458	<b>0,04258</b>
<b><math>p_3</math></b>	-0.1295	0.1523	<b>-0,2818</b>
<b><math>p_4</math></b>	0.1482	0.422	<b>-0,2738</b>
<b><math>p_5</math></b>	0.6929	0.3595	<b>0,3334</b>
<b><math>p_6</math></b>	-2.955	-3.277	<b>0,322</b>
<b><math>p_7</math></b>	2.304	2.326	<b>-0,022</b>
<b><math>R^2</math></b>	0,9996	1	<b>-0,0004</b>
<b>SSE</b>	0.3772	0.04214	
<b>RMSE</b>	0.04781	0.01603	

### 3.7. Ayırıt\_3 İçin Elde Edilen Bulgular

Yapılan fotogrametrik ölçümler sonucunda 3 numaralı ayırıt için 101 adet koordinat verisi değerlendirilmiş ve proje verilerinden de 101 adet koordinat verisi elde edilmiştir. İmalat ve proje verileri için elde edilen uyum fonksiyon katsayıları farkları ve karesel ortalama hataları aşağıdaki Tablo 18'de gösterilmiştir.

Tablo 18. Ayırıt\_3 uyum fonksiyon katsayıları farkları ve karesel ortalama hataları

<b>Polinom Katsayıları</b>	<b>Mevcut Durum</b>	<b>Proje</b>	<b>Fark</b>
$p_1$	0.008942	0.003609	<b>0,00533</b>
$p_2$	-0.02375	-0.0121	<b>-0,02254</b>
$p_3$	-0.05192	-0.03371	<b>-0,01821</b>
$p_4$	-0.1058	-0.1113	<b>0,0055</b>
$p_5$	-0.4538	-0.448	<b>-0,0058</b>
$p_6$	1.77	1.717	<b>0,053</b>
$R^2$	0,9999	1	<b>-0,0001</b>
<b>SSE</b>	0.001952	0.0005839	
<b>RMSE</b>	0.004533	0.002479	

### 3.8. Ayırıt\_4 İçin Elde Edilen Bulgular

Yapılan fotogrametrik ölçümler sonucunda 4 numaralı ayırıt için 101 adet koordinat verisi değerlendirilmiş ve proje verilerinden de 101 adet koordinat verisi elde edilmiştir. İmalat ve proje verileri için elde edilen uyum fonksiyon katsayıları farkları ve karesel ortalama hataları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 19. Ayırıt\_4 uyum fonksiyon katsayıları farkları ve karesel ortalama hataları

<b>Polinom</b>	<b>Mevcut Durum</b>	<b>Proje</b>	<b>Fark</b>
$p_1$	0.02896	0.04112	<b>-0,01216</b>
$p_2$	-0.04374	-0.05155	<b>0,00781</b>
$p_3$	0.1502	0.1555	<b>-0,0053</b>
$p_4$	-0.4984	-0.5133	<b>0,0149</b>
$p_5$	1.297	1.225	<b>0,072</b>
$R^2$	1	0.9999	<b>0,0001</b>
<b>SSE</b>	0.0009706	0.002713	
<b>RMSE</b>	0.00318	0.005235	

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yersel fotogrametri yöntemi kullanarak tersanede yapımı devam eden imalat aşamasındaki bir balıkçı teknesinin üç boyutlu modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan model imalata esas proje ile karşılaştırılmıştır. Uygulamada obje üzerinde dört farklı yüzey ve dört farklı ayrıt karşılaştırması hedeflenmiştir. Belirttiğimiz dört farklı yüzey ve ayrıtı en uygun temsil eden fonksiyonlar belirlenmiş ve bu fonksiyonlar geminin esas proje ve üretim sürecindeki durumu için oluşturulmuştur. Oluşturulan polinomların katsayıları karşılaştırılmıştır.

Uygulama sonucunda elde edilen bulgular doğrultusunda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır;

- Yüzey 1 için İmalat ve proje koordinat verilerine göre üretilen uyum fonksiyonlarının  $R^2$  değerleri sırasıyla 0,9959 ve 0,9958 olarak karesel ortalama hata değerleri sırasıyla 0.05277 ve 0.05429 olarak hesaplanmıştır. Uyum fonksiyon katsayılarına bakıldığında en yüksek fark  $p_{00}$  katsayısında 0.401 olarak tespit edilmiştir.
- Yüzey 2 için İmalat ve proje koordinat verilerine göre üretilen uyum fonksiyonlarının  $R^2$  değerleri sırasıyla 0.8711 ve 0.8798 olarak, karesel ortalama hata değerleri sırasıyla 0,4973 ve 0,5109 olarak hesaplanmıştır. Uyum fonksiyon katsayılarına bakıldığında en yüksek fark  $p_{02}$  katsayısında 0.4644 olarak tespit edilmiştir. Yüzey 2 in imalat verileri ile proje verileri arasında anlamlı bir fark olmadığı tespit görülmektedir. Ancak  $R^2$  uyumunu bakıldığında uyum fonksiyonlarının verileri temsil etme oranının yüzey 1 den daha düşük olduğu tespit edilmiştir.
- Yüzey 3 için İmalat ve proje koordinat verilerine göre üretilen uyum fonksiyonlarının  $R^2$  değerleri sırasıyla 0.9865 ve 0.9924 olarak, karesel ortalama hata değerleri sırasıyla 0,06997 ve 0,05795 olarak hesaplanmıştır. Uyum fonksiyon katsayılarına bakıldığında en yüksek fark  $p_{00}$  katsayısında -0.134 olarak tespit edilmiştir.
- Yüzey 4 için İmalat ve proje koordinat verilerine göre üretilen uyum fonksiyonlarının  $R^2$  değerleri sırasıyla 0.9443 ve 0.9388 olarak, karesel ortalama hata değerleri sırasıyla 0.03834 ve 0.02775 olarak hesaplanmıştır. Uyum fonksiyon katsayılarına bakıldığında en yüksek fark  $p_{01}$  katsayısında -0.15098 olarak tespit edilmiştir.

- Ayrıt 1 için İmalat ve proje koordinat verilerine göre üretilen uyum fonksiyonlarının  $R^2$  değerleri sırasıyla 0.9997 ve 0,9997 olarak, karesel ortalama hata değerleri sırasıyla 0.07986 ve 0.08363 olarak hesaplanmıştır. Uyum fonksiyon katsayılarına bakıldığında en yüksek farklar  $p_4$  katsayısında 0.355,  $p_3$  katsayısında 0.26 ,  $p_5$  katsayısında -0.26 olarak tespit edilmiştir.
- Ayrıt 2 için İmalat ve proje koordinat verilerine göre üretilen uyum fonksiyonlarının  $R^2$  değerleri sırasıyla 0,9996 ve 1 olarak, karesel ortalama hata değerleri sırasıyla 0.04781 ve 0.01603 olarak hesaplanmıştır. Uyum fonksiyon katsayılarına bakıldığında en yüksek farklar  $p_3$  katsayısında -0,2818,  $p_4$  katsayısında -0,2738  $p_5$  katsayısında 0.3334,  $p_6$  katsayısında 0.322 olarak tespit edilmiştir.
- Ayrıt 3 için İmalat ve proje koordinat verilerine göre üretilen uyum fonksiyonlarının  $R^2$  değerleri sırasıyla 0,9999 ve 1 olarak, karesel ortalama hata değerleri sırasıyla 0.004533 ve 0.002479 olarak hesaplanmıştır. Uyum fonksiyon katsayılarına bakıldığında en yüksek fark  $p_6$  katsayısında 0.053 olarak tespit edilmiştir.
- Ayrıt 4 için İmalat ve proje koordinat verilerine göre üretilen uyum fonksiyonlarının  $R^2$  değerleri sırasıyla 1 ve 0.9999 olarak, karesel ortalama hata değerleri sırasıyla 0.00318 ve 0.005235 olarak hesaplanmıştır. Uyum fonksiyon katsayılarına bakıldığında en yüksek fark  $p_5$  katsayısında 0.072 olarak tespit edilmiştir.
- Uygulanan fotogrametrik yöntem de yapının fotoğraf çekimine uygun bir alanda olması gerekmektedir. Diğer bir ifade ile fotoğraf çekiminde eğik alımdan kaçınmak için yapının etrafının belirli bir mesafeye kadar boş olması gerekmektedir. Gelecek de kullanılacak kameralar ve stereo modeli oluşturan programların gelişmesi ile bu sorun ortadan kalkacaktır.
- Endüstriyel imalatlarda; yapının üretim platformlarında sabit koordinatı bilinen yer kontrol noktaları tesis edilmesi, sabit kamera platformlarının geliştirilmesi fotogrametrik yöntemin kullanılmasında ve kontrolünde kolaylık sağlayacaktır.
- Uygulanan fotogrametrik ölçüm yöntemi ve bu yöntemle elde edilen verilerin çalışmada belirttiğimiz matematik model ile değerlendirilerek imalat aşamasındaki yapının mevcut durumu yüksek doğruluk ile tespit edilebilir.

- Uygulanan bu yöntem ile gemi inşaat alanlarının kurulması, gemi yapımındaki makine ve parçaların montajında, tasarım ve protatip çalışmalarında, üretim işlemleri sırasında, bağımsız olarak üretilen parçaların birleştirilmesinde, üretim sonrası kalite kontrol ölçmelerinde yüksek doğruluk ile kullanılabilir. Bu çerçevede üretim sürecinde zaman ve ekonomik olarak kazanç sağlanılabilir.
- Günümüzde ve gelecek de özellikle sadece gemi inşaat alanında değil, endüstriyel tasarım ve imalatlarında da, teknolojinin gelişimine paralel olarak yüksek çözünürlüklü kameralar kullanılması ile sonuç ürünlerin doğruluğu artırılacak ve daha gerçekçi üç boyutlu modeller üretilecektir.



## 5. KAYNAKLAR

- Altan, M.O., 1974. Stereo-ve Mono-Komparatörlerin Blok Triyagülasyonunda ki Rolü ve Kadastro Fotogrametrisine Uygulama, Doktora Tezi, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi.
- Altıntaş, P.,2014. Yersel Fotogrametrinin Tersine Mühendislik Uygulamalarında Kullanımı, Bitirme Çalışması, Y.T.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi
- Ergün, B., Sayısal Fotogrametri Ders Notları, Gebze Üniversitesi  
[http://abl.gtu.edu.tr/hebe/AbIDrive/74611106/w/Storage/106\\_2010\\_2\\_521\\_74611106/Downloads/jfm-521sayisal-fotogrametri-dersiders-notlar.pdf](http://abl.gtu.edu.tr/hebe/AbIDrive/74611106/w/Storage/106_2010_2_521_74611106/Downloads/jfm-521sayisal-fotogrametri-dersiders-notlar.pdf) 15 Mayıs 2019
- Çayıroğlu, İ., Görüntü İşleme Ders Notları  
[http://www.ibrahimcayiroglu.com/Dokumanlar/GoruntuIsleme/Goruntu\\_Isleme\\_Ders\\_Notlari-1.Hafta.pdf](http://www.ibrahimcayiroglu.com/Dokumanlar/GoruntuIsleme/Goruntu_Isleme_Ders_Notlari-1.Hafta.pdf) 15 Mayıs 2019
- Gürbüz, H., 2006. Genel Fotogrametri 1, Ankara
- Haala, N., 2011. Multiray Photogrammetry and Dense Image Matching, Photogrammetric Week' 11, September, Stuttgart
- Hirschmüller, H., 2012. Memory Efficient Semi-Global Matching, XXII. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume 1-3, September, Melbourne.
- Hirschmüller, H., 2011. Semi-Global Matching-Motivation, Developments and Applications, Photogrammetric Week' 11, September, Stuttgart.
- Kılıç, F., 2011. Fotogrametri Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Marangoz, A., 2000. Düşük Çözünürlüklü Sayısal Kameralar Üzerine Bir İnceleme, Yüksek Lisans Semineri, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mırdan, O., F., 2018. İç ve Dış Mekanların Nokta Bulutlarının Birleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
- Ölçücüoğlu, N., Işın Demetleri ile Blok Dengeleme  
<https://www.hgk.msb.gov.tr/images/dergi/makaleler/c2be0c8ff270743.pdf>  
15 Mayıs 2019
- Sesli, F., A., 2006. Sayısal Fotogrametri ile Kıyı Alanlarındaki Değişimin İzlenmesi, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 14

Şanoğlu İ., Zeybek M. ve Karauğuz G., 2013. Photogrammetric Survey and 3D Modeling of Ivriz Rock Relief in Late Hittite Era, Mediterranean Archaeology and Archaeometry, 13 (2):147-157.

Sönmez, M., Sayısal Analiz Ders Notları.

<http://www.kocaelimakine.com/wp-content/uploads/2011/10/sayisal-analiz-ders-notlari-mustafa-sonmez.pdf> 15 Mayıs 2019

Yastıklı, N., 2005. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı Mart - Nisan , Ankara

Yılmaz, H.M., Karabörk, H. ve Yakar, M., 2000. Yersel Fotogrametrinin Kullanım Alanları, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1,11,18-28.

Yükselen, M., A., HM504 Uygulamalı Sayısal Yöntemler Ders Notları

<https://web.itu.edu.tr/yukselen/HM504/02%20E%f0ri%20uydurma%20ve%20int erpolasyon.pdf> 15 Mayıs 2019

URL-1, <http://harita.gumushane.edu.tr/tr/sayfa/anabilim-dallar%C4%B1/fotogrametri-abd>. 15 Mayıs 2019

URL-2 [http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/ormanamenajmani\\_137d4.pdf](http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/ormanamenajmani_137d4.pdf). 15 Mayıs 2019

URL-3 <https://slideplayer.biz.tr/slide/13020549/YerFotogrametrisi/Doç.Dr.Eminnur Ayhan/2014>. 15 Mayıs 2019

URL-4 <https://docplayer.biz.tr/1939862-2-fotogrametri-2-1-fotogrametrinin-siniflandirilmesi-fotogrametri-genel-olarak-asagidaki-sekilde-siniflandirilir.html>. 15 Mayıs 2019

URL-5 [https://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/9GHG\\_367\\_ek.pdf](https://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/9GHG_367_ek.pdf) 15 Mayıs 2019

URL-6 [https://www.researchgate.net/figure/Structure-from-Motion-SfM-photogrammetric-principle-Source-Theia-sfmorg-2016\\_fig3\\_303824023](https://www.researchgate.net/figure/Structure-from-Motion-SfM-photogrammetric-principle-Source-Theia-sfmorg-2016_fig3_303824023). 15 Mayıs 2019

URL-7 <http://www.programmersought.com/article/5593383746/>. 15 Mayıs 2019

URL-8 [http://aves.ktu.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=31&USER=3766\(KTÜ Ders Notları\Doç. Dr. Eminnur AYHAN\Yer Fotogrametrisi\)](http://aves.ktu.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=31&USER=3766(KTÜ Ders Notları\Doç. Dr. Eminnur AYHAN\Yer Fotogrametrisi)). 15 Mayıs 2019



## ÖZGEÇMİŞ

Altan TEPEGÖZ, 1979 Yılında Trabzon' da doğdu. İlk ve orta eğitimini Trabzon Kurtuluş İlkokulu, Trabzon Kanuni Ortaokulu ve Trabzon Fatih Süper Lisesinde tamamladı. 1998 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliğini kazanarak lisans eğitimini 2002 yılında tamamladı. Aynı yıl askerlik görevinin tamamladı.

2004 yılından itibaren özel sektörde yol, köprü, endüstriyel tesis inşaatı, kalite kontrol mühendisi işlerinde iki buçuk yıl boyunca görev yaptı. 2006 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Yapı İşleri Daire başkanlığı Proje üretim Merkezine atanarak 11 yıl boyunca saha mühendisliği, mimari çizim ve kontrol mühendisliği görevlerinde bulundu.

2016 yılında T.C. Hazine ve Maliye Bakanlığı'nın yapmış olduğu iç denetçilik sınavını kazanarak İç Denetçi unvanı aldı. 2017 yılında Giresun Üniversitesi İç Denetim Birimine atandı. Halen Giresun Üniversitesi İç Denetim Biriminde iç denetçi olarak görev yapmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.