



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



İNSANSIZ HAVA ARACI (İHA)
FOTOGRAFETRİSİ KULLANARAK
KÖYCEĞİZ KAMPÜSÜNÜN ZAMANSAL
ANALİZİ

Kubilay ÖNLÜEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Kubilay ÖNLÜEL tarafından hazırlanan “İnsansız Hava Aracı (İHA) Fotogrametrisi Kullanarak Köyceğiz Kampüsünün Zamansal Analizi” adlı tez çalışması .../.../... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Murat UYSAL

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Abdullah VARLIK

Üye

Doç. Dr. Hüseyin Zahit SELVİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Kubilay ÖNLÜEL

Tarih: 04.10.2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNSANSIZ HAVA ARACI (İHA) FOTOGRAMETRİSİ KULLANARAK KÖYCEĞİZ KAMPÜSÜNÜN ZAMANSAL ANALİZİ

Kubilay ÖNÜEL

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Abdullah VARLIK

2023, 101 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Abdullah VARLIK

Prof. Dr. Murat UYSAL

Doç. Dr. Hüseyin Zahit SELVİ

Yakın tarihte fotogrametrik yöntemlerin kullanımı ile yaşanan gelişmeler ışığında inşaat, madencilik ölçmeleri, ziraat ölçmeleri, arazi yapılarında yaşanan değişiklikler, doğal afetlerle alakalı öngörülebilirlik ölçümleri, yapısal deformasyonların izlenebilmesi ve tespiti gibi daha pek çok alanda atılımlar gerçekleşmiştir. Ağırlıklı olarak dijital kamera sistemlerinin gelişmesini takiben hava fotogrametrisi için kullanılan cihazların gelişimi de hız kazanmıştır. Yüksek çözünürlük ve çok bantlı kamera sistemlerinin hava fotogrametrisi cihazlarına entegre edilmesi ile birlikte bahsi geçen sektörler ciddi bir ivme kazanmıştır. Gelişen kamera sistemlerinin iç yöneltme parametreleri ile matematiksel modellemeler ölçme ve değerlendirme aşamasında doğruluk değerlerini arttırmaktadır. Sayısal ve termal kameralar kullanılarak deformasyon çalışmaları yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda yersel fotogrametri tekniği ya da hava fotogrametrisi tekniği kullanılmaktadır. Hava fotogrametrisi tekniği otonom veya yarı otonom sistemler olarak kullanılmaktadır. Kullanılan sistem üzerine entegre vaziyette sayısal ve termal kameralar ile Lidar aleti bulunabilmektedir. Teknolojik gelişmeleri takiben İHA fotogrametrisi ve uygulama alanları da hızla gelişim kaydetmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı gelişen hava fotogrametrisi yöntemleri ve bu yöntemler uygulanırken kullanılan ölçme aletlerinin gelişmelerini takiben yapı deformasyonu ölçmelerinde ortaya çıkabilecek olumlu olumsuz sonuçları gözlemlemektir. Amaç doğrultusunda seçilen alanda yer alan binaların keskin köşe noktalarının 3 boyutta koordinatları değerlendirme programı üzerinde okunarak tespit edilmiştir. Tespit edilen yıllara sari bu koordinat değerleri birbirleri ile karşılaştırılarak ortaya bir değerlendirme verisi çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: 3 Boyut , Fotogrametri, İHA, Lidar, Yüksek Çözünürlük

ABSTRACT

MS THESIS

TEMPORAL ANALYSIS OF KÖYCEĞİZ CAMPUS USING UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) PHOTOGRAMMETRY

Kubilay ÖNLÜEL

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE MAP
ENGINEERING**

Advisor: Dr. Öğr. Üyesi Abdullah VARLIK

2023, 101 Pages

Jury

Advisor Asist.Prof.Dr. Abdullah VARLIK

Prof.Dr.Murat UYSAL

Assoc.Prof.Dr.Hüseyin Zahit SELVİ

In the light of recent developments in the use of photogrammetric methods, breakthroughs have been made in many fields such as construction, mining surveys, agricultural surveys, changes in land structures, predictability measurements related to natural disasters, monitoring and detection of structural deformations. Following the development of mainly digital camera systems, the development of devices used for aerial photogrammetry has also accelerated. With the integration of high resolution and multispectral camera systems into aerial photogrammetry devices, the aforementioned sectors have gained significant momentum. Mathematical modelling with the internal orientation parameters of the developing camera systems increases the accuracy values in the measurement and evaluation phase. Deformation studies are carried out using digital and thermal cameras. Terrestrial photogrammetry technique or aerial photogrammetry technique is used in these studies. Aerial photogrammetry technique is used as autonomous or semi-autonomous systems. Digital and thermal cameras and Lidar device can be integrated on the system used. Following the technological developments, UAV photogrammetry and its application areas are developing rapidly.

The aim of this thesis is to observe the positive and negative results that may arise in building deformation measurements following the development of aerial photogrammetry methods and the development of measuring instruments used while applying these methods. For this purpose, the coordinates of the sharp corner points of the buildings in the selected area in 3 dimensions were determined by reading them on the evaluation programme. These coordinate values over the years were compared with each other and an evaluation data was obtained.

Keywords: 3D, Photogrammetry, UAV, Lidar, High Resolution

ÖNSÖZ

“İnsansız Hava Aracı (İHA) Fotogrametrisi Kullanarak Köyceğiz Kampüsünün Zamansal Analizi” adlı bu çalışma Necmettin Erbakan Üniversitesi Harita Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek Lisans Tez çalışmamın hazırlanması sürecinde desteğini eksik etmeyen aileme ve bilimsel danışmanlığını üstlenerek gerek konunun seçiminde gerekse hazırlanmasında ilgi ve desteğini eksik etmeyen sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Abdullah VARLIK 'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Kubilay ÖNLÜEL
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER.....	ix
ÇİZELGELER.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	6
3.1. İnsansız Hava Araçları (İHA) Teknolojisi	6
3.1.1. İHA Sınıfları	9
3.2. Fotogrametri	12
3.2.1. İHA Fotogrametrisi	12
3.2.2. Dijital Görüntü ve Özellikleri	13
3.2.3. Dijital Kamera Sistemleri	14
3.2.4. İHA Fotogrametrisi İş Akışı	16
3.2.5. İHA Fotogrametrisinde Doğruluk ve Hassasiyet.....	17
3.3. Mühendislik Yapılarında Deformasyon.....	19
3.3.1. Kalıcı Deformasyonlar.....	20
3.4. Deformasyon Analizi	23
3.4.1. S Dönüşümü Yöntemi ile Deformasyon Analizi	23
3.4.2. Fotogrametrik Deformasyon Ölçümü.....	24

4. UYGULAMA	29
4.1. Çalışma Alanı.....	29
4.2. Agisoft Metashape Professional Yazılımı Yardımı ile Fotogrametrik Dengeleme	30
4.2.1. Fotoğrafların Agisoft Metashape Professional Yazılımına Tanımlanması İşlemi	30
4.2.2. Fotoğrafların Hizalama İşlemi	31
4.2.3. Yer Kontrol Noktalarının (YKN) Programa Yüklenmesi.....	32
4.2.4. Yoğun Nokta Bulutu Üretimi (Build Dense Cloud)	33
4.2.5. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) (Build DEM) Üretimi.....	34
4.2.6. Ortomozaik (Build Orthomosaic) Üretimi.....	35
4.3. Nokta Bazlı Deformasyon Analizi	36
4.4. Değişim Tabanlı Deformasyon Analizi	70
4.5. İteratif Yöntem ile Deformasyon Analizi	73
4.5.1. 3 Boyutlu Deformasyonlar.....	75
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	83
KAYNAKLAR	85

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

I	: Birim Matris
G	: Normal Denklem Katsayıları Matrisi
x_{i0}, y_{i0}	: Yaklaşık Koordinat Değerleri
m_0	: Dengeleme Hassasiyeti
m_s	: Gerçek Nokta Hassasiyeti
ΔX	: X Yönünde Koordinat Farkı
ΔY	: Y Yönünde Koordinat Farkı
ΔZ	: Z Yönünde Koordinat Farkı
α	: X Yönünde Dönüklük
β	: Y Yönünde Dönüklük
γ	: Z Yönünde Dönüklük

Kısaltmalar

İHA	: İnsansız Hava Aracı
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
3B	: 3 Boyutlu
2.5B	: 2.5 Boyutlu
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GPS	: Global Positioning System (Uluslararası Konumlama Sistemi)
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
RTK	: Gerçek Zamanlı Kinematik Uydu Navigasyonu Tekniği
TIN	: Düzensiz Üçgen Ağı
YKN	: Yer Kontrol Noktası
YÖA	: Yer Örnekleme Aralığı
LİDAR	: Uzaktan Algılama Teknolojisi
ICP	: Yinelemeli En Yakın Nokta
MSE	: Tüm Noktalar Arasındaki Kare Hatası
IMU	: Panoramik Görüntü Çekimlerinde Kullanılan Bütünleşik Sistem
txt	: Yazı formatı

ŞEKİLLER

Şekil 3.1. Pervane Kanat Yapısına Sahip İHA.....	6
Şekil 3.2. İnsansız Hava Sistemlerinin Unsurlar.....	8
Şekil 3.3. İnsansız Hava Araçlarının Sivil Kullanım Alanları 1	10
Şekil 3.4. İnsansız Hava Araçlarının Sivil Kullanım Alanları 2	10
Şekil 3.5. Askeri Kullanıma Uygun İHA Örneği	11
Şekil 3.6. İlk Alınan Hava Fotoğrafı Örneği	13
Şekil 3.7. Metrik Kamera	15
Şekil 3.8. Metrik Olmayan Kamera.....	15
Şekil 3.9. İHA Fotogrametrisi İş Akışı.....	17
Şekil 3.10. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) Örneği	18
Şekil 3.11. Ortofoto Harita Örneği	18
Şekil 3.12. Deformasyonların Sınıflandırılması	19
Şekil 3.13. Çökme Hareketi.....	20
Şekil 3.14. Heyelan Örneği.....	21
Şekil 3.15. Korelasyon Algoritmasında Referans Ve Aranan Matris.....	26
Şekil 3.16. Hava Triyagülasyonu	26
Şekil 3.17. Işın Demetleri İle Blok Dengelemesi	27
Şekil 4.1. Agisoft Metashape Professional Yazılımı Arayüzü	30
Şekil 4.2. Uçuş Fotoğraflarının Tanımlanması.....	31
Şekil 4.3. Fotoğrafların Hizalanması	31
Şekil 4.4. Yer Kontrol Noktalarının Yazılıma Yüklenmesi	32
Şekil 4.5. Yer Kontrol Noktalarının Dağılımı	32
Şekil 4.6. Yoğun Nokta Bulutu Üretimi	33
Şekil 4.7. Çalışma Alanına Ait Yoğun Nokta Bulutu.....	33
Şekil 4.8. Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi	34
Şekil 4.9. Çalışma Alanına Ait Sayısal Yükseklik Görüntüsü	34
Şekil 4.10. Yoğun Nokta Bulutu Üretimi	35
Şekil 4.11. Çalışma Alanına Ait Orthomosaic Görüntüsü.....	35
Şekil 4.12. 19-20-21-22-23 Nolu Noktaların Konumları	37
Şekil 4.13. 31-32-33-34 Nolu Noktaların Konumları.....	37
Şekil 4.14. 31-32-33-34 Nolu Noktaların ΔX Koordinat Farkları Grafiği	38
Şekil 4.15. 31-32-33-34 Nolu Noktaların ΔY Koordinat Farkları Grafiği	39
Şekil 4.16. 31-32-33-34 Nolu Noktaların ΔZ Koordinat Farkları Grafiği	40
Şekil 4.17. 8-9-10-11 Nolu Noktaların Konumları.....	42

Şekil 4.18. 8-9-10-11 Nolu Noktaların ΔX Koordinat Farkları Grafiği	43
Şekil 4.19. 8-9-10-11 Nolu Noktaların ΔY Koordinat Farkları Grafiği	44
Şekil 4.20. 8-9-10-11 Nolu Noktaların ΔZ Koordinat Farkları Grafiği	45
Şekil 4.21. 16-17-18-24-25 Nolu Noktaların Konumları	46
Şekil 4.22. 16-17-18-24-25 Nolu Noktaların ΔX Koordinat Farkları Grafiği.....	47
Şekil 4.23. 16-17-18-24-25 Nolu Noktaların ΔY Koordinat Farkları Grafiği.....	48
Şekil 4.24. 16-17-18-24-25 Nolu Noktaların ΔZ Koordinat Farkları Grafiği	50
Şekil 4.25. 12-13-14-15 Nolu Noktaların Konumları.....	51
Şekil 4.26. 12-13-14-15 Nolu Noktaların ΔX Koordinat Farkları Grafiği	52
Şekil 4.27. 12-13-14-15 Nolu Noktaların ΔY Koordinat Farkları Grafiği	53
Şekil 4.28. 12-13-14-15 Nolu Noktaların ΔZ Koordinat Farkları Grafiği	54
Şekil 4.29. 5-6-7 Nolu Noktaların Konumları	55
Şekil 4.30. 5-6-7 Nolu Noktaların ΔX Koordinat Farkları Grafiği	56
Şekil 4.31. 5-6-7 Nolu Noktaların ΔY Koordinat Farkları Grafiği	57
Şekil 4.32. 5-6-7 Nolu Noktaların ΔZ Koordinat Farkları Grafiği.....	58
Şekil 4.33. 26-27-28-29-30 Nolu Noktaların Konumları	59
Şekil 4.34. 26-27-28-29-30 Nolu Noktaların ΔX Koordinat Farkları Grafiği.....	60
Şekil 4.35. 26-27-28-29-30 Nolu Noktaların ΔY Koordinat Farkları Grafiği.....	61
Şekil 4.36. 26-27-28-29-30 Nolu Noktaların ΔZ Koordinat Farkları Grafiği	63
Şekil 4.37. Tüm Noktalara Ait Konum Gösterimi.....	64
Şekil 4.38. 2014-2016 ΔX Koordinat Farkları Grafiği.....	65
Şekil 4.39. 2014-2016 ΔY Koordinat Farkları Grafiği.....	65
Şekil 4.40. 2014-2016 ΔZ Koordinat Farkları Grafiği	66
Şekil 4.41. 2014-2017 ΔX Koordinat Farkları Grafiği.....	66
Şekil 4.42. 2014-2017 ΔY Koordinat Farkları Grafiği.....	67
Şekil 4.43. 2014-2017 ΔZ Koordinat Farkları Grafiği	67
Şekil 4.44. 2014-2018 ΔX Koordinat Farkları Grafiği.....	68
Şekil 4.45. 2014-2018 ΔY Koordinat Farkları Grafiği.....	68
Şekil 4.46. 2014-2018 ΔZ Koordinat Farkları Grafiği	69
Şekil 4.47. 2014-2019 ΔX Koordinat Farkları Grafiği.....	69
Şekil 4.48. 2014-2019 ΔY Koordinat Farkları Grafiği.....	70
Şekil 4.49. 2014-2019 ΔZ Koordinat Farkları Grafiği	70
Şekil 4.50. CloudCompare Yazılımı Arayüzü.....	71
Şekil 4.51. 2014-2016 Nokta Bulutu Karşılaştırma	72
Şekil 4.52. 2014-2017 Nokta Bulutu Karşılaştırma	72

Şekil 4.53. 2014-2018 Nokta Bulutu Karşılaştırma	73
Şekil 4.54. 2014-2019 Nokta Bulutu Karşılaştırma	73
Şekil 4.55. 3B Nokta Kümesi	76
Şekil 4.56. Yinelemeli En Yakın Nokta (ICP) Algoritmasının Ana Hatları	77
Şekil 4.57. 2014 Tarihli Nokta Bulutundan Elde Edilen 3B Yüzey ve Ortofoto	78
Şekil 4.58. 2014-2016 3B deformasyon (10 m)	78
Şekil 4.59. 2014-2016 3B deformasyon (20 m)	79
Şekil 4.60. 2014-2016 3B deformasyon (40 m)	80
Şekil 4.61. 2014-2017 3B deformasyon (10 m)	80
Şekil 4.62. 2014-2017 3B deformasyon (20 m)	81
Şekil 4.63. 2014-2018 3B deformasyon (10 m)	82
Şekil 4.64. 2014-2019 3B deformasyon (10 m)	82
Şekil 4.65. 2014-2019 3B deformasyon (40 m)	83

ÇİZELGELER

Çizelge 3.1. İnsansız Hava Araçlarının Sivil Kullanım Alanları.....	9
Çizelge 4.1. Dji Phantom 3 Professional Özellikleri	29
Çizelge 4.2. Kamera Özellikleri	29
Çizelge 4.3. Kamera Kalibrasyon Raporu	29
Çizelge 4.4. M_0 (m), M_S (m) Tablosu	36
Çizelge 4.5. M_0 (m) Tablosu.....	36
Çizelge 4.6. 31-32-33-34 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔX Koordinat Farkları.....	38
Çizelge 4.7. 31-32-33-34 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔY Koordinat Farkları.....	39
Çizelge 4.8. 31-32-33-34 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔZ Koordinat Farkları	40
Çizelge 4.9. 8-9-10-11 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔX Koordinat Farkları.....	42
Çizelge 4.10. 8-9-10-11 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔY Koordinat Farkları.....	44
Çizelge 4.11. 8-9-10-11 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔZ Koordinat Farkları	45
Çizelge 4.12. 16-17-18-24-25 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔX Koordinat Farkları ..	47
Çizelge 4.13. 16-17-18-24-25 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔY Koordinat Farkları ..	48
Çizelge 4.14. 16-17-18-24-25 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔZ Koordinat Farkları...	49
Çizelge 4.15. 12-13-14-15 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔX Koordinat Farkları.....	52
Çizelge 4.16 12-13-14-15 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔY Koordinat Farkları.....	53
Çizelge 4.17. 12-13-14-15 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔZ Koordinat Farkları	54
Çizelge 4.18. 5-6-7 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔX Koordinat Farkları.....	56
Çizelge 4.19. 5-6-7 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔY Koordinat Farkları.....	57
Çizelge 4.20. 5-6-7 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔZ Koordinat Farkları	58
Çizelge 4.21. 26-27-28-29-30 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔX Koordinat Farkları ..	60
Çizelge 4.22. 26-27-28-29-30 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔY Koordinat Farkları ..	61
Çizelge 4.23. 26-27-28-29-30 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔZ Koordinat Farkları...	62

1. GİRİŞ

Yakın tarihte fotogrametrik yöntemlerin kullanımı ile yaşanan gelişmeler ışığında inşaat, madencilik ölçmeleri, ziraat ölçmeleri, arazi yapılarında yaşanan değişiklikler, doğal afetlerle alakalı öngörülebilirlik ölçümleri, yapısal deformasyonların izlenebilmesi ve tespiti gibi daha pek çok alanda atılımlar gerçekleşmiştir (Samad ve ark 2019, Yılmaz ve ark 2018). Ağırlıklı olarak dijital kamera sistemlerinin gelişmesini takiben hava fotogrametrisi için kullanılan cihazların gelişimi de hız kazanmıştır. Yüksek çözünürlük ve çok bantlı kamera sistemlerinin hava fotogrametrisi cihazlarına entegre edilmesi ile birlikte bahsi geçen sektörler ciddi bir ivme kazanmıştır (Kolláth ve ark 2020). Gelişen kamera sistemlerinin iç yöneltme parametreleri ile matematiksel modellemeler ölçme ve değerlendirme aşamasında doğruluk değerlerini arttırmaktadır (Chen ve Pan 2020). Sayısal ve termal kameralar kullanılarak deformasyon çalışmaları yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda yersel fotogrametri tekniği ya da hava fotogrametrisi tekniği kullanılmaktadır. Hava fotogrametrisi tekniği otonom veya yarı otonom sistemler olarak kullanılmaktadır. Kullanılan sistem üzerine entegre vaziyette sayısal ve termal kameralar ile Lidar aleti bulunabilmektedir (Eisenbeiss, 2009). Teknolojik gelişmeleri takiben İHA fotogrametrisi ve uygulama alanları da hızla gelişim kaydetmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı gelişen hava fotogrametrisi yöntemleri ve bu yöntemler uygulanırken kullanılan ölçme aletlerinin gelişmelerini takiben yapı deformasyonu ölçmelerinde zamansal değişim anlamında ortaya çıkabilecek olumlu olumsuz sonuçları gözlemlemektir. Amaç doğrultusunda seçilen alanda yer alan binaların keskin köşe noktalarının 3 boyutta koordinatları değerlendirme programı üzerinde okunarak tespit edilmiştir. Tespit edilen yıllara sari bu koordinat değerleri birbirleri ile karşılaştırılarak ortaya bir değerlendirme verisi çıkmıştır. Yapılan çalışmanın detayları ileriki safhalarda detaylı olarak ele alınacaktır.

Fotogrametrik yöntemle yapılan zamansal değişim çalışmaları çalışmaları çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Özellikle İHA Fotogrametrisinde yapılan atılımların ardından deprem analizi açısından önemli olan plaka hareketlerinin takibi, heyelan bölgelerinde yaşanan ve yaşanması muhtemel deformasyonların takibi için kullanıma geçmiştir (Niethammer vd., 2012; Hemmelder vd., 2018; Immerzeel vd., 2014). Niethammer vd., (2012) çalışma yaptıkları alana ait belli periyotlarda Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) oluşturmuşlar ve bu modeller arasında analiz yaparak deformasyon tespiti

yapmaya çalışmışlardır. Rau vd. (2011) heyelan tespiti için sabit kanat İHA kullanmış, Carvajal vd. (2011) çalışma yapılacak yollarda oluşacak heyelanları tespit etmek amacıyla dört kanatlı, üzerinde 12 megapiksel kamera bulunan kopter kullanmışlardır. Niethammer vd. (2011) yaptıkları çalışmada ortomozaik ve sayısal yükseklik modelini açık kaynak koda sahip bir yazılım ile oluşturarak heyelan bölgelerinde deformasyon analizini amaçlamışlardır. Köprü deformasyonlarının analizinde de fotogrametrik yöntemler kullanılmaktadır. Baly (2021) yaptığı çalışmada Haliç Köprüsünde deformasyon tespiti için yersel fotogrametri tekniği kullanmıştır. Yaptığı çalışma sonucunda kullanılan tekniğin sanat yapılarında verdiği sonuçların tatmin edici olduğundan bahsedilmiştir (Baly, 2021). 3B modelleme çalışmaları ve yersel lazer tarayıcılar kullanarak bina deformasyonlarının yapılması da fotogrametrik teknik kullanımına örnek verilebilir. Bina deformasyonu analizi konusunda Wang vd. (2010) yılında Photo Modeler ve Vision programları yardımı ile oluşturduğu 3B model üzerinden okunan koordinat değerlerini karşılaştırmıştır. Model üzerinde belirlenen noktalar ile arazide tesis edilen yer kontrol noktaları kullanılarak koordinat değerlerinin karşılaştırması yapılmıştır (Odumosu vd., 2020). Tarihi yapılarda gerçekleşmesi muhtemel nemlenme, yalıtım problemleri, rutubet sorunu ile alakalı termal ve sayısal kameralar bir arada kullanılarak deformasyon analizi yapılabilmektedir. Görüntü işleme teknikleri ile uygulamalar desteklenerek bahse konu sorunların tespitinde faydalı sonuçlar alındığı görülmüştür. Bu bağlamda Güler (2013) yaptığı çalışmada Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa Camii'nin deformasyon analizi yapılmış ve yapılan analizler neticesinde tarihi yapılardaki deformasyonların hızlı tespiti, ekonomik doğabilecek büyük çaplı zararların bertaraf edilmesi ve hassas deformasyon analizi yapılması konularında başarılı sonuçlar alındığı ortaya koyulmuştur (Güler., 2013).

Fotogrametrik yöntemler kullanılarak deformasyon analizi yapılabilecek alanlar ile bu alanlarda yapılan çalışmalardan örnekleriyle birlikte bahsedilmiştir. Bahsi geçen tüm bu çalışma alanlarında yapılan uygulamalarda sonuçların fotogrametri bilimini cazip hale getiren; hızlı olması, doğruluğun yüksek olması, hassas değerler içermesi gibi sebeplerden dolayı tatmin edici düzeyde olduğu görülmüştür. Sonuç çıktılarının uygulama yapılacak alanlarda çalışanlara, çalışma sahasında aranan doğruluğa ve doğruluk analizi yapacak ilgili personele fazlasıyla kolaylık sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Odumosu vd. 2020 yılında yapmış oldukları çalışmada Minna Federal Teknoloji Üniversitesi Çevre Teknolojisi Fakültesi binası üzerinde Kalman Filtreleme tekniği kullanarak konum tabanlı deformasyon tespitini amaçlamışlardır. Çalışma yapılan bina üzerinde tesis edilen YKN'ler ile birlikte iki noktanın birbiri ile farklı fotoğraflarda kesişmesi mantığına dayanan sayısal fotogrametri yöntemi kullanılmıştır. Tesis edilen YKN'lere ait koordinat değerleri totalstation cihazı yardımı ile elde edilmiştir. Elde edilen koordinatlar ilgili fotoğraf dengeleme programı yardımı ile dengelenerek ortaya çıkacak modelin koordinatlı hale gelmesi sağlanmıştır. YKN noktaları referans nokta olarak alınarak elde edilen diğer koordinatlar Kalman Filtreleme yöntemi ile analiz edilmiştir. Yapılan analiz neticesinde santimetre düzeyinde bir hassasiyet düzeyine ulaşıldığı tespit edilmiştir (Odumosu vd., 2020).

Yunus Kalkan ve Reha M. Alkan 2005 yılında yapmış oldukları çalışmada mühendislik yapılarında ortaya çıkması muhtemel deformasyonların tespiti konusunda yöntem şemasından bahsetmiş ve baraj deformasyonları konusunda yapılması gerekenlere değinmişlerdir. Baraj deformasyonları incelenirken beton kemer tipi barajlarda yatay yöndeki yer değiştirmeler, temel oturmaları, sızıntı, boşluk su basıncı, beton gerilmesi konularına dikkat edilmektedir. Dikkat edilen bu konularda yatayda yer değiştirme $\pm 1-1.5$ mm ve düşey yer değiştirme $\pm 1-1.5$ mm olarak değerlendirilir. Kaya Dolgu baraj tipinde ise yatay yer değiştirme, düşey yer değiştirme, boşluk suyu basıncı ve sızıntı konusu değerlendirilmelidir. İnşaat safhasında yatay yer değişimi 10 mm, düşey yer değişimi 5-10 mm, işletme safhasında yatay yer değişimi 5 mm, düşey yer değişimi 3-5 mm olarak değerlendirilmelidir (Kalkan ve Alkan, 2005).

Amini vd. 2008 yılında yaptıkları çalışmada bir uçak pervanesinde meydana gelen deformasyonları fotogrametri tekniği kullanarak ortaya çıkarmayı amaçlamışlardır. Yapılan çalışmada pervaneleri modellemek için yansıtıcı kullanarak parçalar üzerinde işaretleme yapılmıştır. Kamera kalibrasyonu aşamasında iki defa kalibrasyon yapılmış ve iki farklı model ortaya çıkarılmıştır. Ortaya çıkan modellerin karşılaştırması yapılarak deformasyon tayini hedeflenmiştir (Amini vd.,2008).

Fraser ve Gruendig 1985 yılında yaptıkları çalışmada Kanada Frenk Slide bölgesinde bulunan Kaplumbağa Dağı'nda 1903 yılında meydana gelen heyelanın ardından bölgeyi incelemeyi amaçlamışlardır. Çalışma alanında 19 adet YKN tesis

edilmiş ve bu noktalar 1982 ve 1983 yıllarında iki defa hava fotoğraflarında tüm noktalar görünecek şekilde görüntülenmiştir. Tesis edilen YKN noktaları iki yıl da yersel olarak ölçümleri yapılarak fotogrametrik dengelemeye tabi tutulmuştur. Görüntülemelerin ardından ileriki yıllarda başka bir çalışma için yapılan değerlendirmeler neticesinde 1982 yılında yapılan ilk ölçümlere ait verilerin santimetre altı hassasiyete ulaşmaya olanak tanıdığı sonucuna varılmıştır. Görüntü üzerinden yapılan koordinat ölçümleri Wild AC/1 cihazı ile monoskopik olarak gerçekleştirilmiştir. Nokta koordinatlarının dönüşümünde S-Transformasyon yöntemi kullanılmış ve 4 sabit nokta seçilerek bu noktalar üzerinden dönüşüm sağlanmıştır. Değerlendirmeler yapılırken her bir noktayı hareket etmesi muhtemel bir zemin üzerinde olduğu düşünülmüştür. Dönüşüm neticesinde yapılan karşılaştırmalarda 10 cm altında gerçekleşen deformasyonlar tespit edilmiştir (Fraser ve Gruendig, 1985).

Esra Güler 2013 yılında hazırlamış olduğu yüksek lisans tezinde tarihi yapılarda yalıtım sorunları, nem kaynaklı ortaya çıkan sorunların sayısal kameralar ile tespit edilemeyeceğini ancak termal kameralar ve sayısal kameraları birlikte kullanmanın bahse konu sorunların tespitinde bir yöntem olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Çalışma alanı olarak Azapkapı Sokullu Mehmet Paşa Camii seçilmiş ve çalışma neticesinde bahse konu alanda fayda sağlayacak sonuçların ortaya çıktığı gözlenmiştir (Güler, 2013).

Ekaso vd. 2020 yılında yaptıkları çalışmada GPS alıcısına sahip insansız hava aracı sistemlerinin çalışma prensiplerine değinmişlerdir. Çalışma sahasına tesis edilen YKN'ler yardımı ile fotoğraflar içerisine gömülen koordinat değerlerinin tespiti için GPS alıcısı bulunan bir insansız hava aracına ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan çalışmada RTK (Real-Time Kinematics) yöntemi ile sabit bir baz istasyonundan referans alınarak GPS alıcısından alınan koordinatlar işlenmektedir. İşlenen veriler çekimi gerçekleştirilen fotoğrafların içerisine gömülmektedir (Ekose vd 2020).

Erkaya vd. 2002 yılında yapmış oldukları çalışmalarında Dolmabahçe Sarayında deformasyon analizini amaçlamışlardır. Amaç doğrultusunda 1996,1997 ve 1998 yıllarında beş periyod olarak yapılan ölçümlerin değerlendirmesi yapılmıştır. Öncelikle Dolmabahçe Sarayı bahçesine 12 adet, Swiss Otel çevresine 6 adet olmak üzere toplam 18 adet referans noktası tesis edilmiştir. Tesis edilen noktalar ile bir ağ oluşturulmuştur. Oluşturulan ağ üzerinde dengeleme yapılarak sarayın cephelerinde yapılacak okumalar için referans oluşturulmuştur. Totalstation yardımı ile üç yıl ve beş periyod olarak

ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümler kendi arasında karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve sonuç veriler oluşturulmuştur (Erkaya vd., 2002)

Yavuz Gül 2019 yılında yapmış olduğu çalışmada maden sahalarında İHA Fotogrametrisi yöntemi ile elde edilen sonuç ürünlerini ve bu ürünlerin saha çalışmalarında sağladığı kolaylığı incelemiştir. İnceleme neticesinde sayısal arazi modeli, yoğun nokta bulutu ve yüksek hassasiyete sahip ortofoto görüntüsü kullanılarak maden kazılarının haritalarının oluşturulması, stoklama ve döküm sahalarının kübaj hesabı, dolgu miktarlarının tespitinin rahatlıkla ve hızlı ve doğru biçimde yapılabileceğini ortaya koymuşlardır (Gül, 2019).

Abdullah Varlık 2008 yılında yapmış olduğu çalışmada Matlab programı kullanarak parmak izi ve yüz tanıma özelliğine sahip sistem tasarımı yapmıştır. Yapılan tasarımı parmak izi tanıma için o günün şartlarında kullanılan uygulamalardan ayıran bir özellik olarak Affin dönüşümü kullanılarak veri karşılaştırması yapılmıştır. Sistemde yüz tanıma sistemi parmak izi tanınmasının ardından kişileri doğrulama amacıyla kullanılmıştır (Varlık,2008).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. İnsansız Hava Araçları (İHA) Teknolojisi

İnsansız Hava Araçları motorsuz ve pilotsuz olarak kalkış yapıp görev ifa edebilen hava araçları olarak tanımlanmaktadır. Bu sistemler uzaktan kontrol edilebilen, yarı otomatik, otomatik veya bunların bir kaçının birleşmesi sonucu oluşmaktadır. İHA sistemlerinin diğer hava araçlarından en büyük farklılığı fiziki olarak bir pilotunun olmamasıdır (Rawat ve Lawrance, 2014). İHA'lar oldukça uygun maliyetlere yüksek performans alınabilmesinden dolayı sivil ve askeri amaç ve uygulamaların yanı sıra birçok havacılık uygulamasında kullanılan en önemli teknolojilerden birisidir.

İHA sistemleri termal, spektral, kızılötesi, radar özelliğine sahip algılayıcılar gibi çeşitli sensörlere sahip cihazlarla bağlantılı bir şekilde çalışarak geceleri de görüntülü kayıt alabilmektedir. Gerçek zamanlı olarak yer istasyonuna veri aktarma özelliği sayesinde, yangın, hava durumu ve sel gibi önem arz eden bilgileri anlık olarak yer istasyonu ile paylaşabilmektedir. Üzerinde monte edilmiş vaziyette bulunan GPS konumlama sistemi ile hassas bir şekilde konumunu hesaplayıp yer istasyonuna aktaracağı verilere konum bilgisini de vermektedir. Bu şekilde çalışma prensibine sahip sistemlere tam otomatik navigasyon sistemleri denilmektedir. İHA'lar, uçaklarda bulunan "log" diye tabir edilen uçuş verileri detaylı bir şekilde kayıt altında tutan sisteme de sahiptir.



Şekil 3.1. Pervane Kanat Yapısına Sahip İHA (Yılmaz vd, (2018).

İHA sistemleri oldukça farklı sınıflara ayrılmaktadır. Mevcut durumda 2 gr ile 15 ton arasında değişen ağırlıkları ile bu platformlar pek çok açıdan fiziki pilot taşıyan uçak sistemlerine benzemektedirler. İHA'ları; havada göre yapan araç, yer kontrol sistemleri ve hava ile yer kontrol bütünleşik şekilde olarak genel manada üç ana unsurdan meydana gelmektedir.

Birçok teknolojik gelişmede olduğu gibi insansız hava araçlarının geliştirilmesi de askeri amaçlar için başlatılmıştır. İlk insansız hava aracının 1916 yılında uçuşulmasından sonra İHA'lar askeri amaçlar için kullanılmıştır. 1950'li yıllardan sonra ise insansız hava araçları sivil amaçlar için kullanılmaya başlanmıştır (Rango, A. vd., 2006). İHA'ların uzaktan algılama ve fotogrametri amacıyla kullanım alanlarını sınırlamak veya kısıtlamak mümkün değildir. Günümüzde birçok alanda İHA'lar kullanılabilir. Bu çalışmada İHA'ların kullanım alanları ile ilgili aşağıdaki alanlarda incelemeler yapılmıştır.

- **Büyük Ölçekli Harita Yapımı**

Küçük alanları içeren uygulamalar söz konusu olduğunda detayların iyi bir şekilde görüldüğü büyük ölçekli haritalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu alanlara yönelik büyük ölçekli sayısal haritalar insansız hava araçlarından elde edilen görüntülerin işlenmesi ile elde edilen ortofoto görüntüler üzerinde yapılan sayısallaştırmalar sonucu elde edilebilmektedir. İHA'lar kullanılarak, arkeolojik alanlar (Chiabrande, F., 2011), kentsel alanlar (Karakış, S., 2012), küçük adalar (Ying-cheng, L., vd., 2011) gibi birçok alanın büyük ölçekli haritaları yapılabilir.

- **Arkeolojik Alanların Belgelemesi**

İHA'ların en yoğun olarak kullanıldığı alanlardan birisi Arkeolojik alanlardır. Arkeolojik alanlar kazılar dolayısıyla hızlı değişen ve sürekli izlenmesi gereken alanlardır. Ayrıca bu alanların korunması ve gelecek nesillere aktarılması için belgelenmesi gerekmektedir. İHA'lar kullanılarak arkeolojik alanlarda kazılar izlenmesi (Sauerbier, M.,vd., 2010), bu alanların sayısal arazi ve sayısal yükseklik modellerinin üretilmesi (Eisenbiess, H.,vd. 2006; Hendrickx M., 2011; Chiabrande, A., 2011; Mozas-Calvache, A., vd. (2012)), arkeolojik alanların ortofoto görüntülerinin ve sayısal haritalarının üretilmesinde (Hendrickx, M., 2011; Chiabrande, A 2011; Mozas-Calvache, A., vd. 2012) insansız hava araçları sıklıkla kullanılmaktadır.

- **Orman Alanlarına Yönelik Uygulamalar**

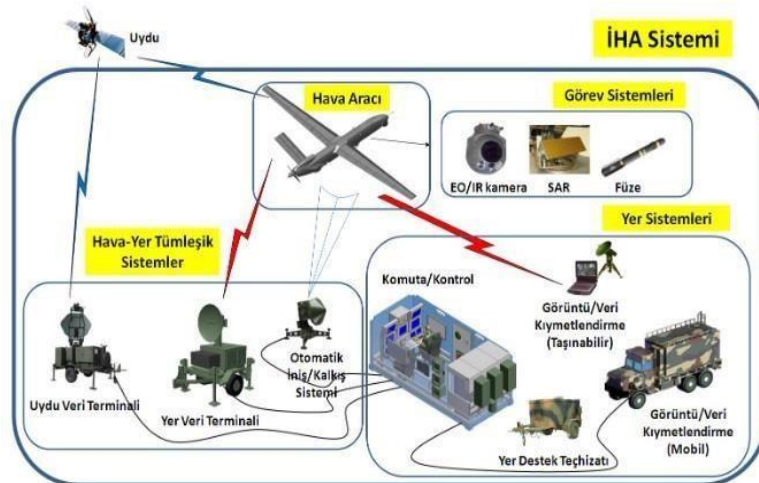
Orman alanları korunması gereken önemli doğal kaynaklardır. Bu alanlarda zararlı böceklerden dolayı meydana gelen değişimler, kaçak ağaç kesiminin önlenmesi (Horcher, A. ve Visser, R. J. M., 2004) gibi uygulamalarda İHA'lar büyük avantaj sağlamaktadır. Yine yangın sonrası yangın alanların ağaçlandırılmasının izlenmesi ve yönetilmesinde İHA'lar kullanılabilir. Ayrıca ormanlardaki ağaç karakterizasyonlarının belirlenmesinde de İHA'lar kullanılabilir (Dunford, R., 2009).

- **Tarımsal Uygulamalar**

İHA'lar kullanılarak tarımsal alanlara yönelik yapılan çalışmalar incelendiğinde yetiştirilen tarım ürününe göre farklı uygulamaların yapıldığı görülmektedir. Bunlar kahve tohumlarının olgunluklarının izlenmesi (. Herwitz, S. R., vd., 2003) farklı gübreler kullanılarak yetiştirilen kışlık buğday tarlalarının izlenmesi (Hunt, E. R., vd., 2010), pirinç alanlarının verimliliğinin ve toplam canlılık alanlarının belirlenmesi ve izlenmesi (Swan K. C. 2010) farklı algılayıcı sistemler ve İHA'lar kullanılarak üzüm bağlarının izlenmesi, sağlıklı ve hastalıklı alanların belirlenmesi (Turner, D. Vd., 2011) gibi farklı uygulamalar olarak karşımıza çıkmaktadır.

- **Afet Yönetimi**

İHA'ların üretilmesinde en büyük nedenlerden birisi hızlı bir afet yönetimi sisteminin geliştirilmesidir. Gerek doğal gerekse doğal olmayan nedenlerden dolayı meydana gelen afetlerde durumun hızlı bir şekilde haritalanması ve buna yönelik önlemlerin alınması açısından İHA'lar son derece önem arz etmektedir. Günümüzde İHA'lar kullanılarak afetlerle mücadele etmeye yönelik çalışmalar sıklıkla yapılmaktadır.



Şekil 3.2. İnsansız Hava Sistemlerinin Unsurları (Savunma Sanayii Müsteşarlığı, 2012)

3.1.1. İHA Sınıfları

İnsansız hava aracı sistemleri kullanıldıkları alanlar, kanatlarının özellikleri, ağırlık aralıkları, taşıdıkları faydalı yüklerin tipi ve çıkabildikleri irtifalar vb. özelliklerine göre birbirinden ayrılmaktadırlar.

Kullanıldıkları alanlara göre İHA sistemleri ikiye ayrılmaktadır:

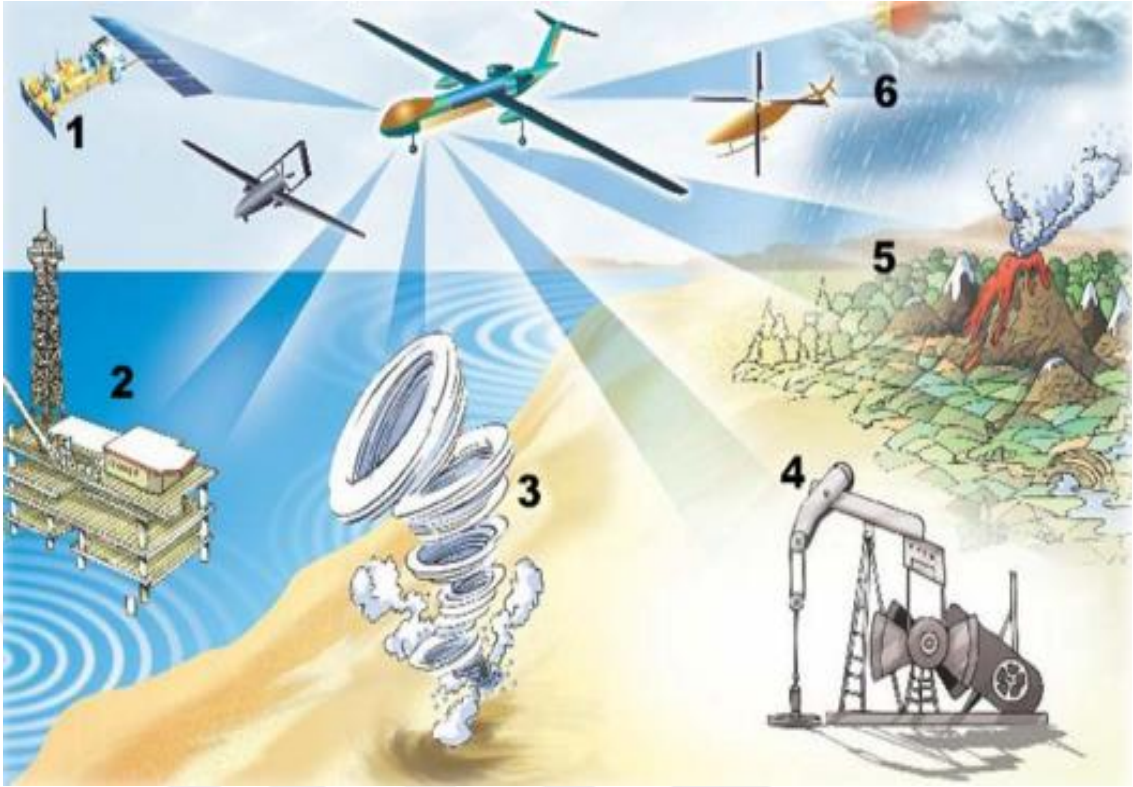
1. Sivil Kullanıma Sahip İHA Sistemleri
2. Askeri Kullanıma Sahip İHA Sistemleri

3.1.1.1. Sivil Kullanıma Sahip İHA Sistemleri

Sivil insansız hava aracı sistemlerinin kullanıldığı alanlar, askeri kullanımda olduğu gibi görüntü toplama yöntemi ile veri elde etme şeklindedir. Deprem alanları, petrol boru hatları, tarımsal üretim yapılan araziler gibi çeşitli çalışma sahalarında bu sistemler çözüm üretilmesi anlamında faydalı olacaktır. Anlık ve hızlı bir şekilde hava durumu analizi gereken hallerde, insanların temas etmesi halinde zarar verebilecek kimyasal, biyolojik, radyoaktif ve nükleer maddeler içeren alanlarda, afet hallerinde afetzedelere yardım ulaştırılması gibi konularda kullanılırken, mühendislik alanlarında da insansız hava araçları kullanılmaktadır (Akan vd.,2014).

Çizelge 3.1. İnsansız Hava Araçlarının Sivil Kullanım Alanları (Savunma Sanayii Müsteşarlığı,2011)

<i>ÇEVRESEL KULLANIMLARDA</i>	<i>ACİL DURUMLARDA</i>	<i>GÖZLEMSEL UYGULAMALARDA</i>
Atmosferik çalışmalar ¹	Sel felaketi gözlemeleme ⁸	Arazilerin haritalanması
Okyanusların gözlemlenmesi ²	Kasırğa-Fırtına gözlemeleme ⁶	Elektrik güç hatlarının gözlemlenmesi
Kasırğa-Fırtına oluşumunun araştırılması ³	Doğal afet operasyonlarının yürütülmesi ¹⁰	Balıkçılık gözlemleri ve izlenmesi
Jeolojik çalışmalar ⁴	Felaketlerin ardından durum değerlendirilmesi ¹¹	Kıyı sınır izlemesi
Volkanik bölgelerde faaliyet uyarıları ⁵	Arama ve kurtarma faaliyetleri ¹²	Uyuşturucu trafiği takibi
	Radyoaktif bölgelerin izlenmesi ¹⁴	Karayolu trafiğinin izlenmesi
	Yangınlarla etkin mücadele ¹³	Kanunların etkin uygulanması
	Depremlerin gözlemlenmesi ¹⁵	Orman yangınlarının hızlı tespiti
	Volkanların gözlemlenmesi ¹⁶	Hasat durum tespiti
	Yağ kaçağı gözlenmesi ⁷	Çevre durumunun izlenmesi
		Deniz güvenlik çalışmaları



Şekil 3.3. İnsansız Hava Araçlarının Sivil Kullanım Alanları 1 (Savunma Sanayii Müsteşarlığı,2012)



Şekil 3.4. İnsansız Hava Araçlarının Sivil Kullanım Alanları 2 (Savunma Sanayii Müsteşarlığı,2012)

3.1.1.2. Askeri Kullanıma Sahip İHA Sistemleri

İHA sistemleri ekonomik, güvenilir ve etkin çözümleri ile insanlı hava araçları, uydu sistemleri ve çeşitli yer sistemlerine üstünlük sağlamaktadır. Sağladığı bu üstünlükler neticesinde her geçen gün daha da çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. İHA sistemleri askeri olarak:

1. Keşif ve Gözetleme Desteği
2. Taarruz
3. Hedef Benzetme
4. Elektronik Harp
5. Özel Görevler olmak üzere beş ana başlıkta sıralanabilir.

Keşif ve Gözetleme Desteği, harp sahasındaki birliklerin anlık görüntü istihbaratı ihtiyacını gidermeye yönelik yapılan bir çalışma türüdür. Taarruz, keşif ve gözetleme görevlerini takiben sahada tehdit olarak görülen düşman unsurların imhasına yönelik bir çalışma türüdür. Hedef Benzetme, hedef uçak ve sahte uçak teknikleri ile düşman karşı İHA sistemlerinin yanıltılması veya meşgul edilerek taarruza geçilmesine yönelik yapılan bir çalışmadır. Elektronik Harp, düşman unsurlara ait radar veya haberleşme tertibatları dinlenerek elde edilen sinyallerin analizi ile istihbarat toplamak amaçlanmaktadır. Özel görevler ise, haberleşme desteği sağlama, mayın ve patlayıcı tespit etme, arama-kurtarma ve lojistik destek, kentsel harp, çoklu İHA görevi, kargo taşıma gibi görevleri ifade etmektedir (Savunma Sanayii Müsteşarlığı, 2012).



Şekil 3.5. Askeri Kullanıma Uygun İHA Örneği (Savunma Sanayii Müsteşarlığı, 2012)

3.2. Fotogrametri

Fotogrametri kelime olarak eski Yunan sözcüklerine dayanmakta olup, photos (ışık), grama (çizim) ve metron (ölçme) sözcüklerinin birleşiminden ortaya çıkmıştır. Fotogrametri fiziki temasa ihtiyaç duymaksızın ölçüm yapma ve yapılan bu ölçümleri değerlendirme çalışmaları ile nesne yüzeylerinin karakteristik özelliklerine dair bilgi edinilmesine yardımcı olan bir bilimsel alandır (Schenk, 2005).

Fotogrametri bilimi esas itibarıyla fotoğrafın keşfedilmesiyle birlikte başlamıştır. Çekilen fotoğrafın konumu göz önüne alınarak yersel ve hava fotogrametrisi olarak ikiye ayrılmaktadır. Yersel fotogrametri, yer yüzeyinden çekilen fotoğrafların değerlendirilmesiyle yapılan çalışmaları içermektedir. Hava fotogrametrisi ise fotoğrafın yerden belli bir yükseklikte fotoğraf çekimi yapılması ve belli yöntemlerle bu fotoğrafların değerlendirilmesiyle yapılan çalışmaları içermektedir. Hava fotogrametrisi motorlu uçakların yaygın olarak kullanılmaya başlaması ile önem kazanmıştır (Marangoz,2002).

Fotogrametri çalışmalarında temel amaç, yerden veya havadan çekilen fotoğrafların nesnelere olan konumunu belirlemektir. Fotogrametri biliminin yersel ya da havadan olmasına bakılmaksızın bir matematiksel modeli değişmemektedir. Kullanılan model, fotoğrafların üzerinde bulunan koordinatların ölçülmesi suretiyle arazi koordinatlarının hesabının yapılması için kullanılmaktadır. Fotogrametrik çalışmalarda ölçümü yapılacak nesnelerin yakınlık uzaklık durumları, fotoğraf çekimi için kullanılan kameranın mevcut durumu, elde edilmek istenen bilgi, uygulama yapılan alana ve yapılan çalışmanın amacına göre tek resim fotogrametrisi, çift resim fotogrametrisi, yakın resim fotogrametrisi, jeodezik fotogrametri gibi alanlara ayrılmaktadır (Avşar,2006).

3.2.1. İHA Fotogrametrisi

Fotogrametrik çalışmaların başlangıç zamanlarında fotoğraf çekimi yerden yapılırken teknolojik gelişmeleri takiben kanatlı uçaklar, hava balonları, kanatlı helikopter gibi çeşitli platformlarda fotoğraf çekimi yapılmakta iken, günümüzde gelişen insansız hava aracı sistemleri ile de fotoğraf çekimi yapılabilmektedir.

İHA fotogrametrisi belirli işlem adımlarının sırasıyla uygulanması ile hayata geçirilmektedir. Bu adımlar; uçuş yapılacağı alanla ilgili harita ölçeği baz alınarak bir uçuş planı hazırlanması, yapılan plan ile gerçekleştirilecek uçuşun hangi yönde olacağı, ne kadar şerit sayısında uçuş yapılacağı, konum bilgisi, fotoğraflara ait bindirme oranları, pozlama süresi ve pozlama aralığı, hava şartlarına bakılarak varsa rüzgar yönüne göre hava aracının rotası, hava aracının hızı, kullanılacak kamera ve kamera tipi

belirlenmektedir. Çalışma alanında tesis edilecek yer kontrol noktaları havadan çekilecek fotoğraflardan görülebilecek şekilde ve ölçüde tesis edilmelidir. Tesis edilen yer kontrol noktaları hassasiyeti yüksek jeodezik yöntemlerle ölçülür. Hava nirengisi göz önünde bulundurularak tesis edilecek yer kontrol noktalarının çalışma alanı üzerindeki dağılımı ve sıklığı belirlenir. Bu işlem adımları tamamlandıktan sonra yeni konum bilgilerini elde etmek amacıyla belirli programlar yardımı ile dengelenir ve çalışma alanına dair yüksek doğruluk mertebesinde sonuç ürünleri ortaya çıkarılır (Avşar,2006).



Şekil 3.6. İlk Alman Hava Fotoğrafı Örneği

3.2.2. Dijital Görüntü ve Özellikleri

Teknoloji alanında yaşanan gelişmeler ile birlikte fotogrametri ile optik kameraların entegrasyonu sayesinde yüksek çözünürlüğe sahip ve düşük distorsiyon değeri içeren görüntüler ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu görüntüler dijital görüntü olup dijital fotogrametrinin altlığını oluşturmaktadır. Dijital görüntüler stereo görüntülerin dönüştürülmesi ile elde edilip grafik işlemciye sahip bilgisayarlarla tüm yöneltme ve

değerlendirme işlemleri yapılmaktadır. Dijital görüntüler yüksek çözünürlüğe sahip sayısal kameralar ile doğrudan da elde edilebilir. Elde edilen dijital görüntünün çözünürlük olarak oldukça iyi olması görüntü üzerinde istenilen biçimde iyileştirme yapılmasına ve sayısal ortamda birçok rengin ortaya çıkarılmasını sağlamaktadır (Yıldız, 2010).

Dijital görüntülerin kullanımı belli avantajları da beraberinde getirmektedir.

- Dijital görüntüler hiçbir aracı sisteme gerek duymaksızın bilgisayar üzerinde görüntülenir ve ölçüm işlemleri gerçekleştirilebilir,
- Ölçüm yapılan sistemler sabit olup kalibrasyon yapılmasına gerek duyulmaz,
- Dijital görüntülerin işlenmesi için kullanılan teknikler fotogrametrik açıdan ölçme ve değerlendirme işlemlerinin otomatik yapılmasına olanak sağlar.

Maddeler halinde belirtilen bu hususlardan dolayı dijital fotogrametri kullanımı açısından farklı sektörlerde oldukça fazla bir talep söz konusudur.

3.2.3. Dijital Kamera Sistemleri

Fotogrametrik çalışmaların yapılabilmesi için görüntü alınması gerekmektedir. Görüntü alımı için kullanılan kameralara çekim kameraları denir, metrik ve metrik olmayan kameralar olarak ikiye ayrılırlar.

3.2.3.1. Metrik Kameralar

İç yöneltme parametreleri hesaplanmış kamera sistemleridir. Çekim anında poz süresi uzun olarak uygulanabilir, pozlaması daha yavaş, ayırma derecesi daha yüksek, taneciklerinde küçük emülsiyon bulunduran film ya da camlar kullanılmaktadır. Günümüzde üretilen kameraların odak uzaklığı, objeye olan uzaklık dikkate alınarak ayarlanabilmektedir.



Şekil 3.7. Metrik Kamera

3.2.3.2. Mertik Olmayan Kameralar

İç yöneltme parametreleri bilinmeyen ve aynı zamanda kameradan kameraya değişkenlik gösteren kamera sistemleridir. Dış yöneltme elemanları belirsiz ve birbiri ile farklılık gösteren sistemler olup analitik ve dijital yöntemlerde kullanımı sağlanmaktadır.

Günümüzde kullanılan fotogrametrik dengeleme yazılımları iç yöneltme parametrelerini kendileri hesaplayıp farklı görüntü alımları için farklı parametreler ortaya çıkarmaktadır. Bu kamera sistemlerini kullanmak maliyet açısından kullanıcılara avantaj sağlamaktadır.



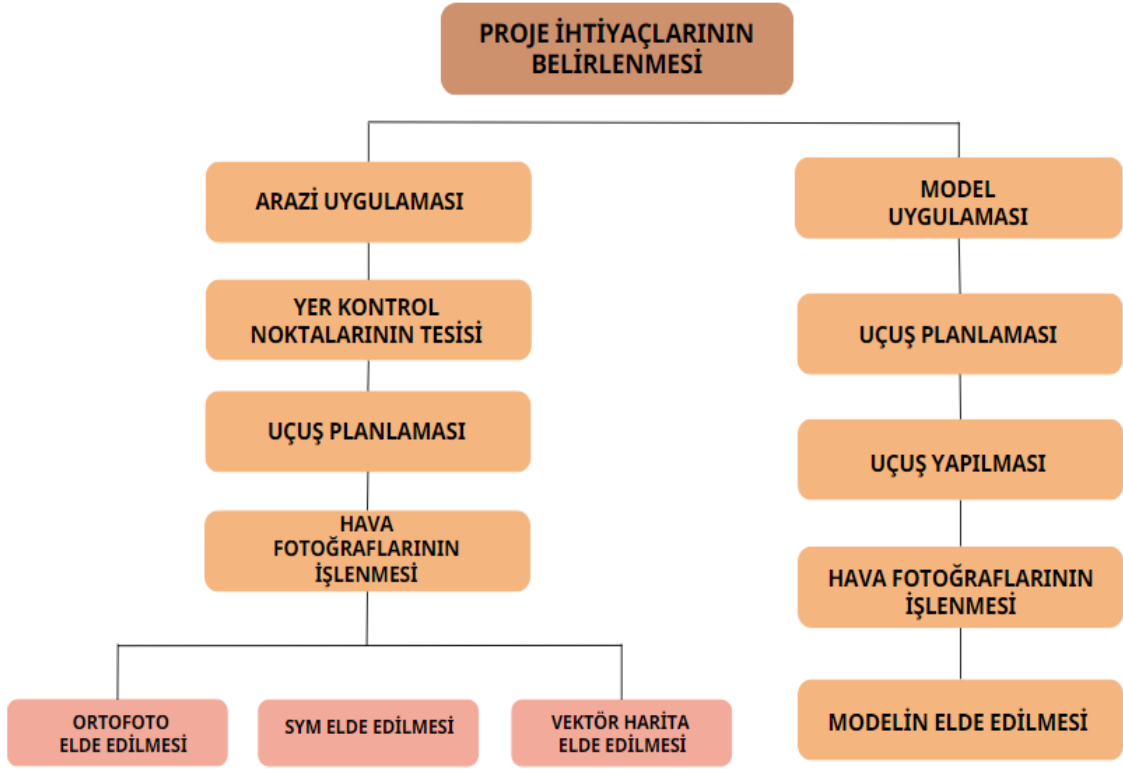
Şekil 3.8. Metrik Olmayan Kamera

3.2.4. İHA Fotogrametrisi İş Akışı

Hava fotogrametrisinde iş akışı aşağıda belirtilen maddeler şeklinde yapılmaktadır:

- Hava görüntüleri alınmadan önce koordinat hassasiyetini yakalayabilmek adına çalışma alanı üzerinde homojen dağılıma sahip YKN planlaması yapılmalı ve ardından bu noktalar arazide hava görüntüleri üzerinde görünür şekilde tesis edilmelidir.
- Sayısal ortamda kullanılacak hava aracına ait yazılımlar yardımı ile otomatik uçuş planı kolonlar ve bloklar ortaya koyulacak şekilde yapılmalıdır.
- Kinematik GNSS/IMU sistemine ait veriler fotogrametrik nirengi ve blok dengeleme işlemine dahil edilir.
- Dengeleme işlemi için kullanılan yazılıma; dilim orta meridyeni, dilim numarası, gerekli parametreler ve projeksiyon sistemi tanımlanır.
- Belirli uçuş yüksekliğinden elde edilen görüntü çiftleri ilgili yazılıma aktarılarak otomatik kalibrasyonu yapılır.
- Ölçümleri yapılan YKN'ler ve görüntülere ait bağlama noktaları yardımı ile dış yöneltme parametreleri hesaplanır, blok dengeleme işlemi tamamlanır ve stereo görüntüler oluşturulur.
- Stereo görüntüler yardımı ile ortofoto harita veya ortomozaik harita üzerimi yapılmış olur.

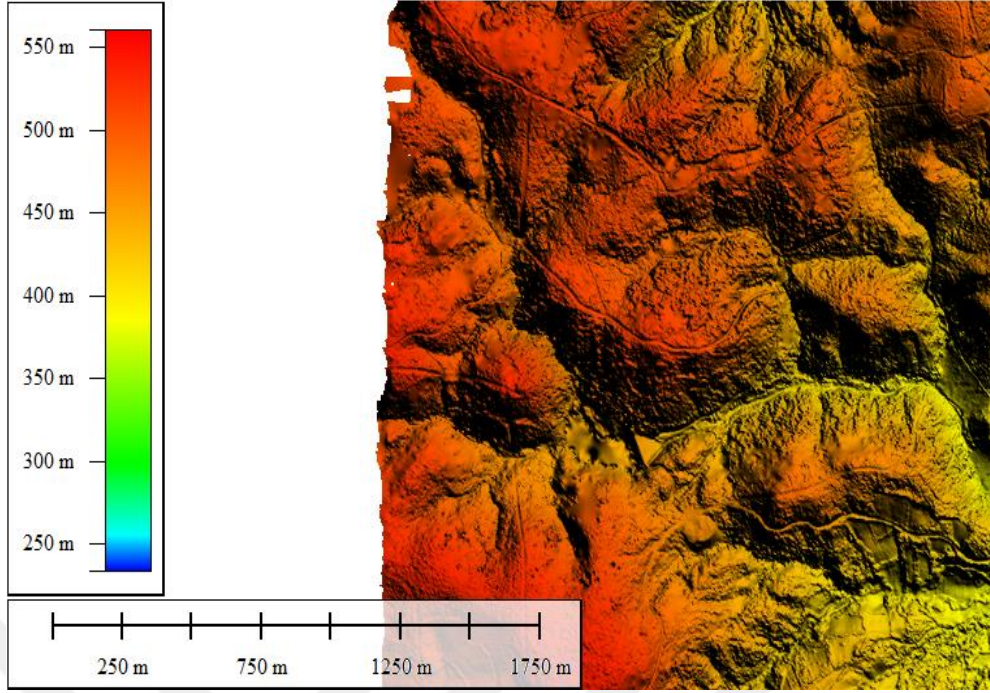
Üretilen ortofoto haritanın doğruluğu bir takım parametrelere bağlıdır. Bunlar; kamera odak uzaklığı, yer kontrol noktalarının görüntüler üzerinde işaretleme hassasiyeti, koordinatların doğruluğu, dengeleme hassasiyeti şeklinde ifade edilebilir (Özemir ve Uzar 2016, Öztürk ve Ark 2017, Egels 2001).



Şekil 3.9. İHA Fotogrametrisi İş Akışı

3.2.5. İHA Fotogrametrisinde Doğruluk ve Hassasiyet

İHA fotogrametrisi uygulamalarında konumsal doğruluğa etki eden pek çok detay bulunmaktadır. Bunlar; uçuş yapılan yükseklik, kullanılan kameraya ait parametreler ve ayarlar, hava koşulları, yapılan uçuş planlaması, arazide tesis edilen yer kontrol noktalarının dağılımı şeklinde ifade edilebilir. Bir pikselin yerde kapladığı alana yer örnekleme aralığı (YÖA) denilmektedir. YÖA konum doğruluğunu oldukça etkilemektedir. YÖA uçuş yapılan yüksekliğe ve odak uzaklığına göre değişiklik göstermektedir. YKN dağılımı da doğruluğu etkileyen bir diğer detaydır. Çalışma alanının topografik yapısına göre homojen bir biçimde tesis edilmeyen noktalar blok dengeleme esnasında doğruluğu oldukça etkilemektedir. Arazinin yükseklik farkı da göz önünde bulundurularak YKN tesisi yapılmalıdır. Kullanılan YKN'lerin yazılım yardımı ile görüntüler üzerinde işaretlenirken ne kadar hassas davranıldığı da bir diğer detaydır (Domingo ve ark., 2019; Marre ve ark., 2019; Stöcker ve ark., 2019).



Şekil 3.10. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) örneği



Şekil 3.11. Ortofoto Harita Örneği

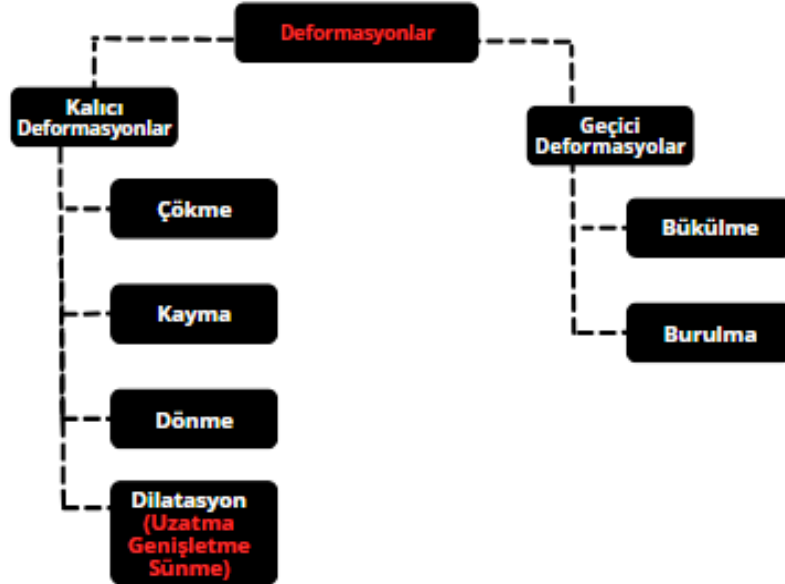
3.3. Mühendislik Yapılarında Deformasyon

Mühendislik yapılarında kalıcı ve geçici olarak ortaya çıkan şekilsel değişimlere deformasyon denilmektedir. Bu değişimlerin belirlenmesi amacıyla yapılan ölçümlere deformasyon ölçmeleri denilmektedir. Yapılan ölçümler sonucu ortaya çıkan verileri değerlendirip yorumlamaya da deformasyon analizi denilmektedir (İnal,1989).

Deformasyonları değişime göre fiziksel değişim açısından iki farklı gruba ayırmak mümkündür.

1. Cisimlere etki eden kuvvetlerin ortadan kalkmasıyla cisimlerin eski şeklini aldığı durumlarda ortaya çıkan deformasyonlara geçici deformasyon denilmektedir.
2. Cisimlere etki eden kuvvetlerin ortadan kalkmasıyla birlikte cisim eski haline dönmüyorsa bu durumda ortaya çıkan deformasyonlara kalıcı deformasyonlar denilmektedir (Bayata 2002).

Kalıcı deformasyonlar çökme, kayma, dönme, dilatasyon olarak ifade edilebilirken, geçici deformasyonlar bükülme, burulma olarak ifade edilebilirler.



Şekil 3.12. Deformasyonların Sınıflandırılması

3.3.1. Kalıcı Deformasyonlar

3.3.1.1. Çökme (Düşey Hareket)

Serbest zemini bulunmayan doğal zeminde, düşey biçimde ortaya çıkan hareketlere çökme adı verilir. Çeşitli kuvvetlerin etkisi ile zeminde ve zemin üzerindeki yapıda aşağı yönlü bir hareket ortaya çıkar ve buna oturma denilir. Bu tarz durumlarda yatay yönlü hareket az ortaya çıkar ya da hiç ortaya çıkmaz. Oturma hareketleri oldukça yavaş gerçekleşir.

Oturma hareketi ve çökme durumu büyük mühendislik yapılarında, yer altı doğal sularında, şebeke suyu hatlarında olabilmektedir. Çökme hareketleri incelenirken genellikle jeodezik yöntemler kullanılmaktadır (Yıldırım,2007).

Çökme hareketleri;

- Ani oturmalar: Kum zeminlere yük binmesi ile ortaya çıkar.
- Konsolidasyon: Killi zeminde ortaya çıkar. Başlangıç aşamasında oturma oranı fazla iken zamanla oturma oranı azalır ve durma noktasına gelir.
- Plastik Oturmalar: Kullanılan zeminin taşıma kapasitesinin üzerine çıkılmasıyla ortaya çıkar. Genel olarak konsolidasyon ile plastik oturmalar birbiri ile karıştırılır (İnal, 1989).



Şekil 3.13. Çökme Hareketi

3.3.1.2. Kayma (Yatay Öteleme)

Cisimlerin bir kuvvetin etki etmesiyle yatay doğrultuda yer değişikliğine kayma hareketi denir. Cisimlere uygulanan kuvvet sürtünme kuvvetinden fazla olduğu takdirde kayma hareketi ortaya çıkmaktadır (İnal, 1989).

Yer yüzeyinin kayması olarak tanımlanan heyelanlar, kaya, döküntü olarak tabir edilen yazar ve topraktan meydana gelen kütlelerin yerin çekim kuvveti ile buldukları alandan kopmak suretiyle yer değiştirmesidir. Sürtünme kuvvetinin kaybolması ile toplu bir kütle hareketi meydana gelir. Heyelanlarda kayan kütle içerisinde bulunan toprak, kaya ve döküntüler birbirleri ile etkileşim hali yaşarlar. Parçalanma ve bozulmalar nedeniyle toprak kaymaları heyelan olayından daha yüzeysel biçimde ortaya çıkmaktadır (Yıldırım,2007).

Heyelan olayını kolaylaştıran bir neden de yamaç altında bulunan sınır boyunca yol, tünel, baraj gibi yapılar nedeniyle yapılan kazıların eğimi değiştirmesidir. Maden ve taş ocaklarında yapay patlayıcı kullanılarak yapılan patlatmalar da heyelanın ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bu tarz patlamalar yüzeyde bulunan bileşenlerin denk duruşunu bozmaktadır (Öztürk,2001).



Şekil 3.14. Heyelan Örneği

3.3.1.3. Akma Hareketi

Yamaçlardaki döküntüler, gevşek formasyonda bulunan malzelerin ıslak ya da kuru olan zemindeki yer değişikliğine akma hareketi denir. Bu hareketin temel sebebi suyun kayma direncini düşürmesidir. Genel manada sağanak yağışlar esnasında ya da sonrasında meydana gelmektedir. Doğal sular, donmuş vaziyette bulunan alanların aniden erimesi gibi sebeplerle yamaçlarda bulunan malzemelerin harekete geçerek heyelan oluşmasına sebep olmaktadır. Kayalarda akma ise farklı sebeplere bağlı olmakla birlikte kaya çatlaklarının artmasını takiben yavaş bir biçimde ve belirli bir sürede gerçekleşir. Kayaların doğal formlarını kaybetmeleri ile birlikte de meydana gelebilir (Öztürk,2001).

3.3.1.4. Dönme Hareketi

Cisimlerin yatay düzlem boyunca düşey eksen etrafındaki hareketine yatay dönme, düşey düzlem boyunca yatay eksenindeki hareketine düşey dönme denilmektedir (Yıldırım,2007).

3.3.1.5. Sünme Hareketi

Beton zamanla deformasyona uğrayan bir malzeme türüdür. Yirmisekiz gün su içerisinde muhafaza edilen bir beton numunesi kurumaya bırakılmasının ardından kısılmaya başlar. Bu kısılmaya büzülme denilmektedir. Aynı numune su içerisinden alındıktan sonra sabit eksenli basınç altında durdurulur ise, boyundaki kısalma yüklenmeyen numuneye kıyasla daha fazla olacaktır. Bu ikisi arasında oluşan fark sünme etkisidir. Büzülme ve sünme artış hızı zamanla azalmaktadır. Beton numunesinin deformasyona uğraması önlenmediği sürece gerilme oluşmayacaktır. Ancak betonarme yapılarda durum daha farklıdır. Betonarme yapılarda kullanılan donatı çeliğinde büzülme veya sünme söz konusu olmadığı için kullanılab donatı betonda ortaya çıkacak deformasyonu engellemeye çalışacaktır. Yani hem betonda hemde donatıda gerilme meydana gelecektir (Yıldırım,2007).

Sünme ile ilgili deformasyonların en önemli sebepleri aşağıdaki gibidir.

- Yük uygulanan betonun yük aldığı andaki yaşı
- Beton karışımında bulunan su ve çimento oranı
- Ortamda bulunan nem ve ortamın ısısı
- Gerilme yüzeyi
- Zaman

3.3.1.6. Büzülme Hareketi

Betonda kullanılan çimento malzemesinin hidratasyonu için gerekli olan su miktarı, karışıma koyulan çimento ağırlığının yaklaşık olarak %25'i kadarına tekabül etmektedir. Bu oran böyle olmakla birlikte, işlenebilir bir beton yapısı elde etmek için bu oran %25'in oldukça üzerinde olmalıdır. Bundan sebep, beton karışımı kalıplara döküldükten sonra hidratasyon için gerekli olmayan su buharlaşmak suretiyle betondan ayrılmaktadır. Beton ile su buharlaşma yoluyla ayrışırken hacimsel bir küçülme meydana gelmektedir. Başka bir ifadeyle beton büzülür ve kısalır. Büzülme buharlaşmaya ve buharlaşma hızına bağlıdır. Ortamın sıcaklığı, nem, kalıbın açık yüzeyinin genişliği de büzülme etkilemektedir. Betonun nemli olması yanlış karışımdaki su çimento oranı oldukça önemlidir (Ersoy, Özcebe 1985).

3.4. Deformasyon Analizi

3.4.1. S Dönüşümü Yöntemi ile Deformasyon Analizi

Farklı zamanlarda ve değişik amaçlar doğrultusunda oluşturulan jeodezik kontrol ağlarına ait datumlar çeşitli nedenlerde farklılık göstermektedir. Oluşturulan ağların deformasyon analizlerinin yapılabilmesi için, duyarlılık karşılaştırması yapılabilmesi için karşılaştırma yapılacak parametrelerin aynı datumda olması gerekmektedir.

S transformasyonu kullanılarak yeniden bir dengeleme yapma gereksinimi olmadan bir datumda belirlenen bilinmeyen parametreleri başka bir datuma dönüştürmek mümkün olmaktadır. Ağ noktalarının tamamının veya bir kısmının küçültülmüş koordinat bilinmeyenlerinin kareleri toplamının minimum olması ($x^T x = \min$) koşulunu isteyen serbest dengeleme ile aynı mantıktadır. S transformasyonu, deformasyon analizi, ağların duyarlılık açısından birbirleri ile karşılaştırılması, kontrol ağlarının beklenen doğruluğu ortaya koyup koymadığı, koordinat bilinmeyenlerinin varyans-kovaryans matrisinin öngörülen ve ölçüt matrisi adı verilen yapay kovaryans matrisi ile karşılaştırılmasında kullanılır (Demirel, 1987).

3.4.1.1. S Transformasyonu

S transformasyonu uygulamalarında kullanılan dönüşüm matrisi,

$$S = I - G (B^T G)^{-1} B^T \quad (B = E \cdot G) \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır (Yıldırım,2007).

1 eşitliğinde **I** birim matristir. G matrisi ise, normal denklem katsayılar matrisi N'in d (defekt) sayıda özdeğere (k=0) karşılık özvektörler matrisidir. Defekt sayısı d=1 olan yükseklik ağlarında;

$$G T = [1 1 \dots\dots\dots 1] \quad (2)$$

defekt sayısı d= 4 olan p noktalı bir doğrultu ağında ; x_{i0}, y_{i0} (i =1..p) yaklaşık koordinat değerleri olmak üzere G matrisi için;

$$G^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \dots\dots\dots 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \dots\dots\dots 0 \\ -y_{10} & x_{10} & -y_{20} & x_{20} \dots\dots\dots -y_{p0} \\ x_{10} & y_{10} & x_{20} & y_{20} \dots\dots\dots y_{p0} \end{bmatrix} \begin{array}{l} \text{x yönünde öteleme} \\ \text{y yönünde öteleme} \\ \text{dönüklük} \\ \text{ölçek} \end{array} \quad (3)$$

yazılabilir. Doğrultu-kenar ağı ya da kenar ağlarında, ağın ölçeği belli olduğu için, G T matrisindeki son satır ortadan kalkar. GPS ağları için G matrisi için,

$$G^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \dots\dots\dots 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \dots\dots\dots 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \dots\dots\dots 1 \end{bmatrix} \begin{array}{l} \text{x yönünde öteleme} \\ \text{y yönünde öteleme} \\ \text{z yönünde öteleme} \end{array} \quad (4)$$

yazılabilir. (1) eşitliğinde datum seçici matris olarak isimlendirilen E matrisi, köşegeni üzerinde dağılımı belirleyen nokta koordinatlarına karşılık "1", ötekiler için "0" değerini içeren bir köşegen matristir. S transformasyonu ile herhangi bir i datumundaki dengeleme sonuçlanan j datumuna,

$$S_j = I - G (B_j^T G)^{-1} B_j^T \quad (5)$$

$$x_j = S_j \cdot x_i \quad (6)$$

$$Q_{xx}^j = S_j \cdot Q_{xx}^i \cdot (S_j^T) \quad (7)$$

eşitlikleriyle dönüştürülür (Demirel, 1987).

3.4.2. Fotogrametrik Deformasyon Ölçümü

Fotogrametrik ölçüm nesnelerin iki boyutta görüntüsünün elde edilmesi ile üç boyutlu bir analiz ve değerlendirme yapılması yöntemidir (Juregui ve ark 2003). Fotogrametri tekniği bir çekim aletinin en az farklı iki konumdan ya da en az iki farklı çekim aletinden elde edilen görüntüler yardımı ile mühendislik yapılarının yapısına uygun çok sayıda nokta kümesi kullanılarak üç boyutlu deformasyon analizi yapılmasına

imkan sağlamaktadır (Albert,2002). Bu yöntemin sağladığı en büyük özellik temassız bir biçimde veri toplanmasına olanak sağlamasıdır. Bu durum alet kurma durumunu ortadan kaldırır ve yöneltme hatalarının ortadan kalmasını sağlar.

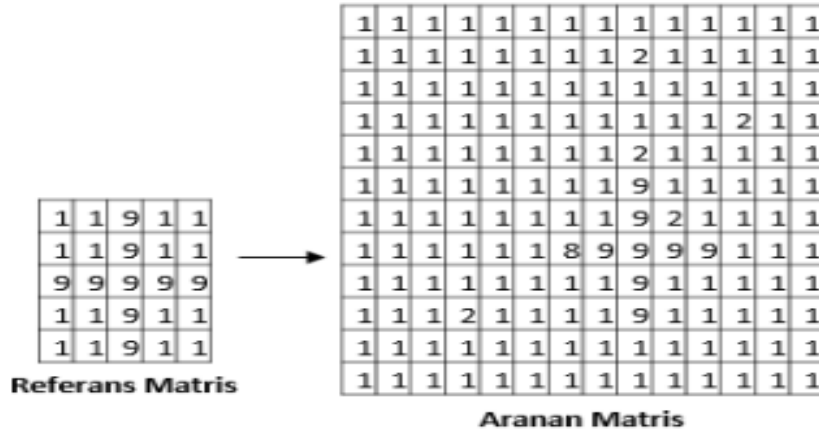
Fotogrametrik deformasyon tespiti çalışmaları yersel ya da hava fotogrametrisi teknikleri ile yapılabilir. Yersel fotogrametri yöntemi ile yapılacak ölçümlerde kullanılacak çekim aleti metrik kamera olmalıdır. Metrik kameralarda iç yöneltme elemanları (odak uzaklığı, asal nokta koordinatları ve distorsiyonlar) bilinmektedir. Hava fotogrametrisi yönteminde kullanılan kameralar ise metrik olmayan kameralar olup iç yöneltme parametreleri bilinmemektedir.

Fotogrametrik deformasyon çalışmaları, mühendislik yapılarında, tarihi ve kültürel yapıların belgelenmesi ve rölövelerinin çıkarılmasında, nokta bazlı deformasyon analizi çalışmalarında, değişim bazlı deformasyon analizi çalışmalarında, heyelan bölgelerinde ve daha pek çok alanda yapılmaktadır.

Fotogrametri tekniği kullanılarak yapılan deformasyon çalışmaları verilerin değerlendirilmesi aşamasına kadar yersel ya da hava fotogrametrisi işlem adımlarının birbir uygulanması ile başlanır. Hava fotogrametrisinde elde edilen sonuç ürünler ortofoto harita, sayısal yükseklik modeli ve dengelenmiş nokta bulutu verileri yardımı ile nokta bazlı deformasyon analizi ve görüntü bazlı deformasyon analizi yapılması mümkündür. Yapılan analizler fotogrametrik dengeleme programları yardımı ile hassas bir biçimde yapılarak sonuçların ne kadar anlamlı olduğu değerlendirilir.

3.4.2.1. Nokta Bazlı Deformasyon Analizi

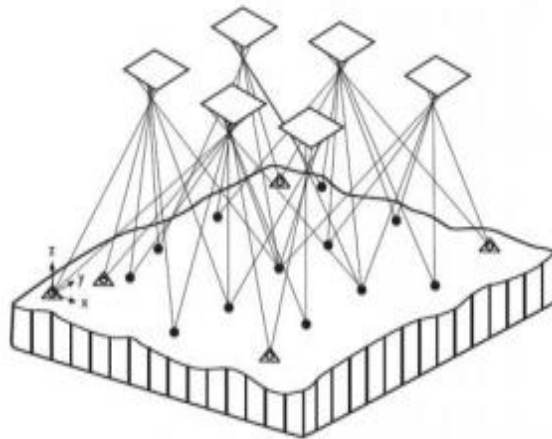
Fotogrametrik değerlendirme işleminin temelini görüntüler arasındaki benzerlik prensibi oluşturmaktadır. Maksimum benzerlik yani korelasyon yöntemi kullanılarak iki görüntü arasındaki benzer noktalar tespit edilerek birbiri ile eşleştirme yapılır. Farklı çekim noktalarından çekilmiş iki resim ve üzerindeki karşılık gelen resim parçalarının referans matris ve aranan matrise göre aranması korelasyon yöntemidir.



Şekil 3.15. Korelasyon algoritmasında referans ve aranan matris

Kullanılan bu algoritma ile karşılıklı yöneltme ve bağlama noktalarının belirlenmesi sağlanır. Bu yöntem her bir görüntüde bulunan pikselin eşlenmesidir. Tek yönlü bir piksel taraması yerine pikselin tüm komşu yönlerde eşlenmesi yapılmaktadır. “Semi- Global Matching” piksel eşleme yaklaşımı ile yüksek çözünürlüklü sayısal yüzey modeli üretiminde %80 boyuna ve %60 enine bindirme önerildiğini belirtmiştir (Yastıklı ve Bayraktar, 2014).

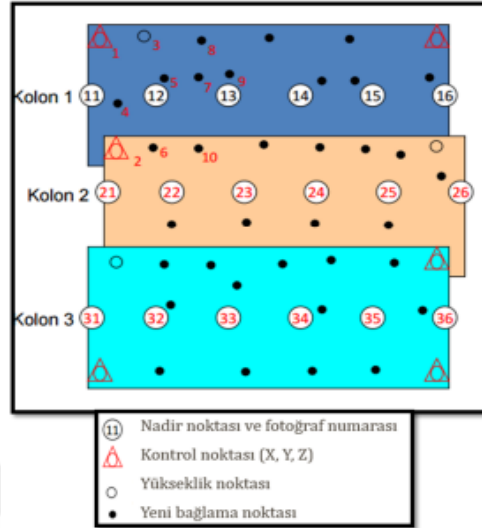
Fotogrametrik işlem adımlarından önemli bir diğer husus hava triyagülasyonudur. Fotogrametrik değerlendirmede her bir sterio model için en az 3 kontrol noktası gerekmektedir. Bu noktaları jeodezik olarak tesis etmek oldukça zor ve zaman alıcıdır. Jeodezik metotlarla üretilmesi gereken noktaların görüntüler üzerinden arazi koordinatlarının hesaplanmasına hava triyagülasyonu denilmektedir.



Şekil 3.16. Hava Triyagülasyonu

Hava triyagülasyonunda demet dengelemesi için otomatik olarak bağlama noktaları belirlenir. Bu sayede bütün fotoğraf ve stereo modellerin yöneltme

bilinmeyenleri ve her bir noktanın dengeli XYZ değerleri hesaplanır. Işın demetleri ile dengeleme, modele ilişkin ışınların sayısal yöneltme ile kesiştirilmesi ile modelde dış yöneltme elemanları ve yeni noktaların koordinatları hesaplanır. Ölçme resmi birim elemanıdır. Işın demetleri ile dengelemede blok ya da kolon kullanılır.



Şekil 3.17. Işın Demetleri İle Blok Dengelemesi

Yapılan dengelemeler neticesinde ortaya çıkan veriler yardımı ile analizi yapılacak noktaların farklı datumlarda olması sebebiyle s transformasyon yöntemi kullanılarak dönüşüm yapılır. Yapılan dönüşüm neticesinde ortaya çıkan dönüşüm parametreleri yardımı ile koordinat değerleri aynı datuma dönüştürülür. Artık ortak bir datumda olan verilerin birbirleri ile ya da kendi aralarında karşılaştırılması daha sağlıklı olacaktır.

3.4.2.2. Değişim Tabanlı Deformasyon Tespiti

Sayısal Yükseklik Modeli (Digital Elevation Model (DEM)), arazi yüzeyinin 3 boyutlu olarak tanımlayan ve arazinin yükseklik bilgilerini içeren bir sayısal modeldir. Yükseklik modelleri sıklıkla karıştırılan, iki farklı kavramla ifade edilmektedir. Bu çalışmada da karşılaştığımız bu kavramlar; Sayısal Yüzey Modeli (SYM, Digital Surface Model (DSM)) ve Sayısal Arazi Modeli (SAM, Digital Terrain Model (DTM))' dir. Sayısal Yüzey Modeli (SYM) tanımlayacak olursak; fiziksel yeryüzünün, belirli aralıklarla bölünerek ve tanımlanan düşey datum ile yükseklik değerlerini kapsayan bir sayısal-kartografik gösterimdir (Yılmaz, 2015). Höhle'nin 2009'ta belirttiği gibi insan yapısı detayları ve bitki örtüsünü kapsayan model Sayısal Yüzey Modeli'dir.

Sayısal Arazi Modeli ise yüzey modelinde olan detayların olmadığı çıplak yer yüzeyini belirtmektedir (Çam, 2013). Sayısal Yükseklik Modeli terimi, sayısal kartografik temsili olarak yeryüzünün düzenli gridler, üçgen ağlar ve düzensiz spot noktaları ve kırıklı çizgiler gibi formlarda gösterilmektedir. Sayısal Yükseklik Modeli grid ve üçgenleme olmak üzere iki farklı yöntemle oluşturulmaktadır (Köroğlu, 2006).

Yüzey modellerinde ilgili alan üzerinde veri noktalarının sonlu örneklem oluşumu sağlanır. Kullanılan tekniklerden grid yöntemi raster tabanlı enterpolasyon yöntemi ve üçgenleme yöntemi ise vektör tabanlı nirengi yöntemi olarak tanımlanabilir. Raster veride örneklenmiş veya enterpolasyon yükseklik değerleri ile eşit aralıklı, eşit büyüklükteki hücrelerden oluşan bir dikdörtgen dizinin oluşturulduğu düzenli bir ızgara olarak SYM yapılandırılır. Vektörü olarak ise, SYM bitişik bir ağ oluşturmak için kenarlarından bağlanan yükseklik değerleri ile düzensiz bulunan düğümler, bir dizi olarak inşa edilen üçgenlerin yönleriyle örtüşmeyerek Düzensiz Üçgen Ağ (TIN - Triangulated Irregular Network) ile oluşturulur. Üçgenleme yöntemi daha gelişmiş, daha karmaşık ve daha yaygın olarak kullanılır (Siriba, 2015). SYM üretiminde birçok farklı enterpolasyon yöntemi geliştirilmiştir. Ters mesafe, Kriging, Delaunay üçgenleme yöntemi, radyal bazlı fonksiyon, yerel polinom fonksiyonu gibi enterpolasyon yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemlerden en sık kullanılan ve bu çalışmada ki programlarında içeriğinde bulunan yöntem Delaunay üçgenleme yöntemi ve modellemeyi en az hata ile oluşturan kriging enterpolasyon yöntemi irdelenmiştir.

Oluşturulan sayısal yükseklik modellerinin ilgili yazılımlar yardımı ile birbirleri ile karşılaştırılması sonucunda çalışma sahasında yaşanan çökme, kayma gibi durumların tespiti yapılabilmektedir.

4. UYGULAMA

4.1.Çalışma Alanı

Bu çalışmada Köyceğiz Kampüsü çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bu çalışma kapsamında DJI Phantom 3 Professional ile uçuş gerçekleştirilmiştir. Bu uçuşun planlanması sırasında enine bindirme oranı %80, boyuna bindirme oranı %60, uçuş irtifası ise ortalama 90 metre olarak belirlenmiştir. Uçuş sonunda bölgeye ait 1556 adet görüntü elde edilmiştir. Uçuş alanında toplamda 43 adet Yer Kontrol Noktası (YKN) bulunmaktadır. Elde edilen bu görüntüler Agisoft Metashape Professional fotogrametrik değerlendirme yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.1. Dji Phantom 3 Professional Özellikleri

Ağırlık (Batarya ve Pervaneler Dahil)	1280 gr
Uzunluk	350mm
Yükselme Hızı	5 m/s
Alçalma Hızı	3 m/s
Maksimum Hızı	16 m/s (ATTI modunda)
Deniz Seviyesinden Maksimum Yükseklik (Rakım)	6000 m (19685 feet)
Uçuş Süresi	Yaklaşık 23 dakika
Uydu Konumlama Sistemi	GPS/GLONASS
Sabit Kalma Tutarlılığı (Hovering)	Dikey: ± 0.1 m (Vision Positioning çalışırken) Yatay: ± 1.5 m

Çizelge 4.2. Kamera Özellikleri

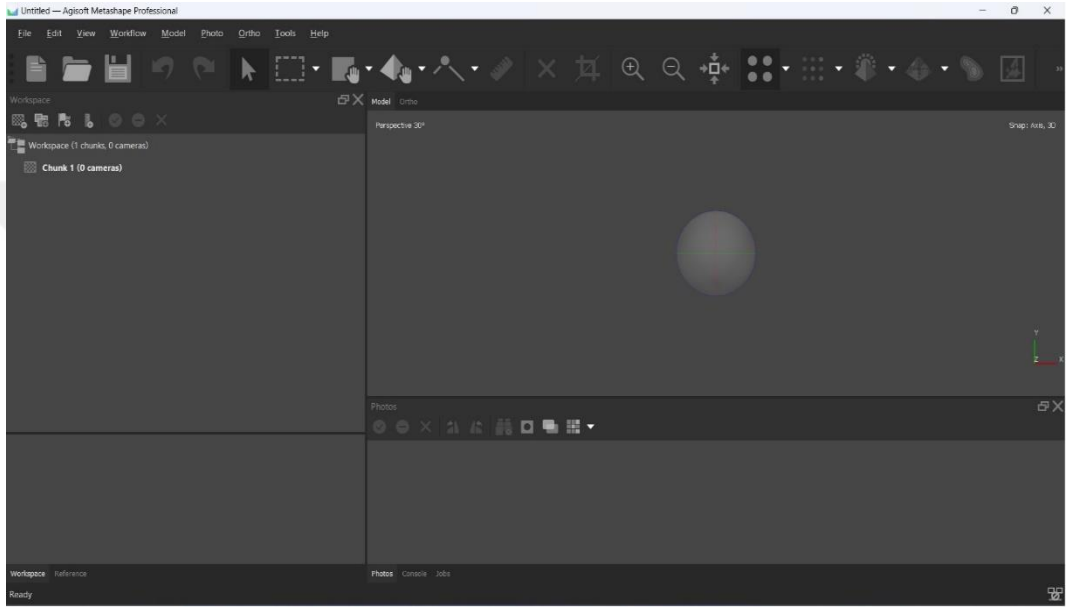
Sensör	1/2.3" CMOS Efektif Piksel: 12.4 M (Toplam Piksel: 12.76 M)
Lens	FOV 94° 20 mm (35 mm eşleniği) f/2.8 , odak ∞
ISO	100-3200 (video) 100-1600 (foto)
Elektronik Perde Hızı	8 - 1/8000 s
İmaj Boyutu	4000×3000
Foto	JPEG, DNG (RAW)

Çizelge 4.3. Kamera Kalibrasyon Raporu

Sensör Büyüklüğü		Pixel Büyüklüğü(mm)	
H	V	0.001562	0.00156192
4000	3000		
Parametreler			
C	3.6187		
XP	0.0148		
YP	-0.0077		
K1	1.57E-03		
K2	-1.23E-04		
K3	2.50E-06		
P1	-5.85E-05		
P2	1.80E-04		
B1	8.36E-04		
B2	-8.25E-04		

4.2. Agisoft Metashape Professional Yazılımı Yardımı ile Fotogrametrik Dengeleme

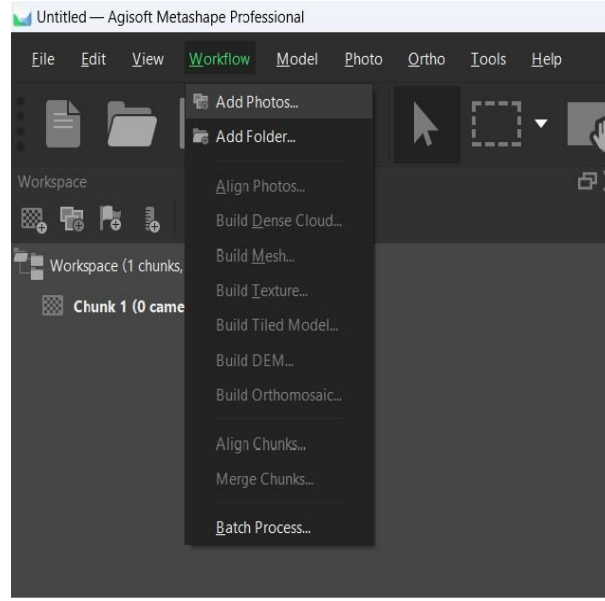
Agisoft Metashape Professional yazılımı sayısal ortamdaki görüntülerin fotogrametrik değerlendirmesine yarayan ve farklı alanlarda kullanılmak üzere 3B veri üretimi yapabilen ticari amaçlı bir yazılımdır. Tez çalışması kapsamında elde edilen görüntülerin işlenmesi amacıyla yazılım üzerinde izlenen işlem adımları başlıklar halinde sunulmuştur.



Şekil 4.1. Agisoft Metashape Professional Yazılımı Arayüzü

4.2.1. Fotoğrafların Agisoft Metashape Professional Yazılımına Tanımlanması İşlemi

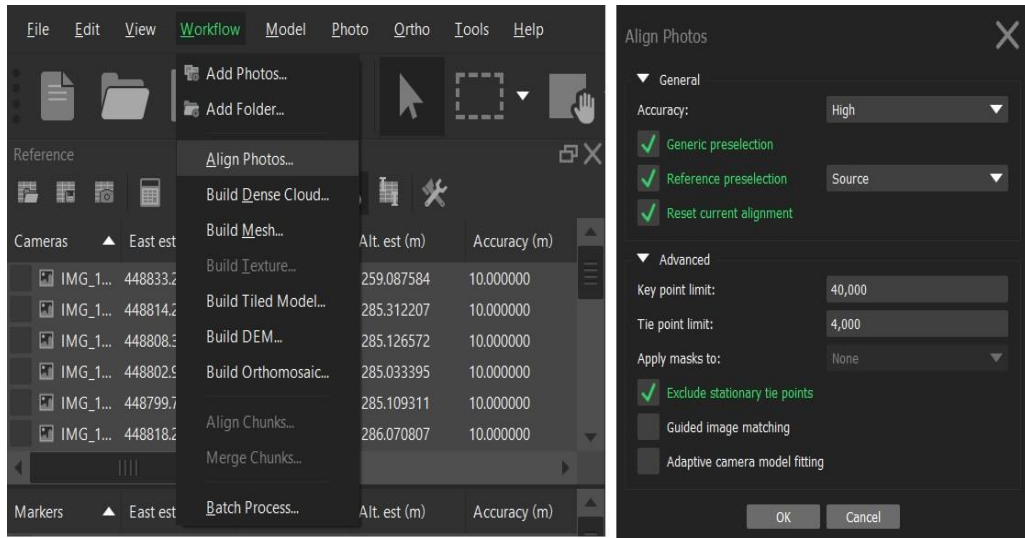
Fotoğraf tanımlaması yapılmaya başlamadan önce tüm işlem adımlarının saklanacağı bir klasör oluşturulmuştur. Oluşturulan klasör içerisine yeni proje dosyası ve uçuş neticesinde elde edilen fotoğraflar saklanmıştır. Yazılım içerisinde yer alan menüden “Workflows” sekmesinde “Add Photos” komutu kullanılarak elde edilen fotoğraflar seçilmek suretiyle yazılıma tanımlanır.



Şekil 4.2. Uçuş Fotoğraflarının Tanımlanması

4.2.2. Fotoğrafların Hizalama İşlemi

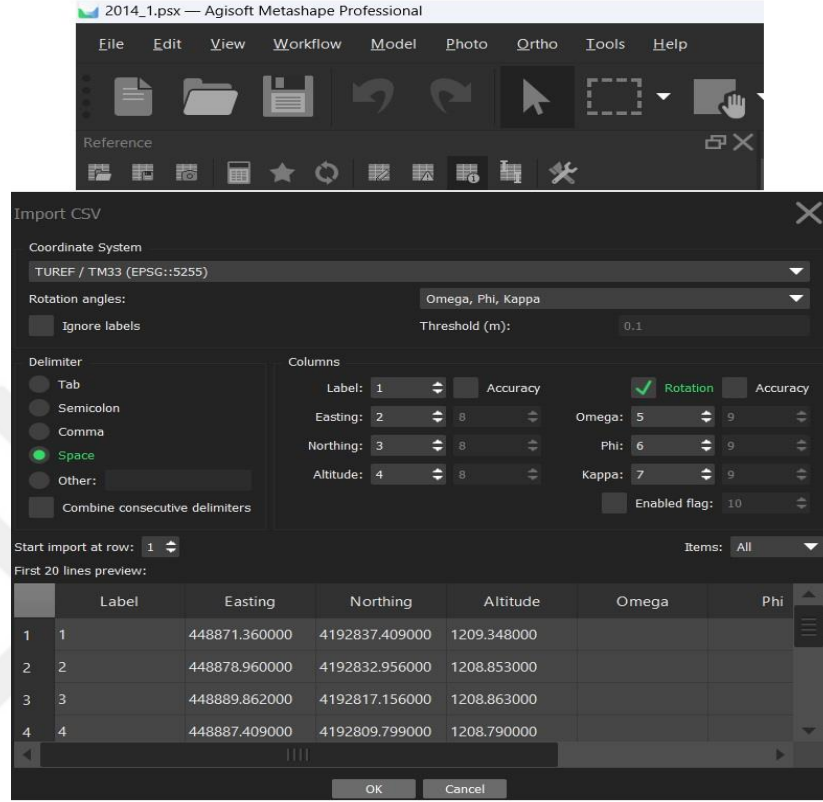
Yazılım içerisinde yer alan “Workflows” sekmesinde “Align Photos” komutu kullanılarak tanımlanan fotoğraflar birbirleri ile hizalanırlar. Hizalama işlemi uygulamak için kullanılan komut ile ayarlar penceresinde açılacaktır. Sonuç ürünün niteliği ve kullanım amacına yönelik doğruluk derecesi göz önüne alınarak uygulanacak eşleme yoğunluğu derecesi belirlenir. İlgili ayarlar penceresinde yoğunluk seviyesi “high” olarak belirlenmiştir. Eşleme yoğunluğunun artması ya da düşmesi seçilecek seçeneklerde bulunan düşük, orta ve yüksek tercihlerine bağlıdır. Düşük seviyeden yüksek seviyeye doğru gidildikçe üretilecek olan “tie point” yoğunluğu artış göstermektedir.



Şekil 4.3. Fotoğrafların Hizalanması

4.2.3. Yer Kontrol Noktalarının (YKN) Programa Yüklmesi

YKN'lerin yüklenmesi "Reference" sekmesinde bulunan "Import" seçeneği kullanılarak seçilen koordinat sistemine sahip olan .txt uzantılı YKN koordinatları seçilir ve "Aç" komutu yardımı ile yazılıma yüklenir.



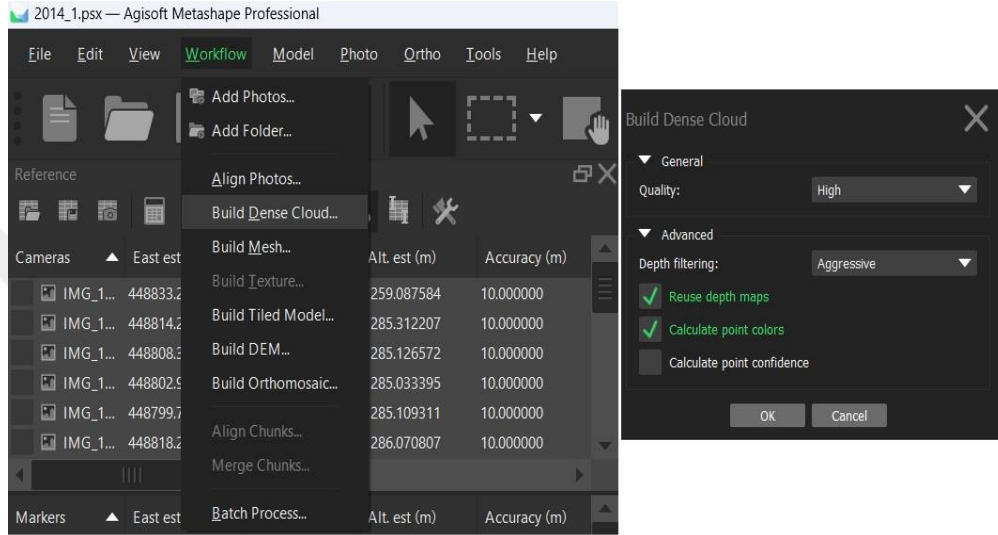
Şekil 4.4. Yer Kontrol Noktalarının Yazılıma Yüklmesi



Şekil 4.5. Yer Kontrol Noktalarının Dağılımı

4.2.4. Yoğun Nokta Bulutu Üretimi (Build Dense Cloud)

Yazılım içerisinde yer alan “Workflows” seçeneğinden “Build Dense Cloud” komutu kullanılarak eşlemesi (hizalama) yapılan fotoğraflar ile yoğun nokta bulutu üretimi gerçekleştirilir. İlgili komut seçildiğinde açılacak olan pencerede üretilecek nokta bulutu verisinin üretim parametreleri seçilir. Yapılacak çalışma kapsamında üretilecek nokta bulutu kalitesi yüksek seviye olacak şekilde belirlenmiştir.



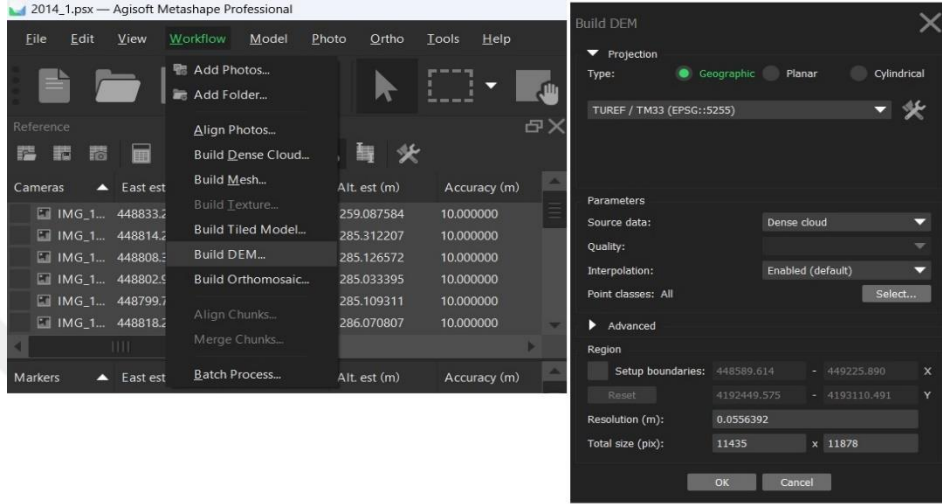
Şekil 4.6. Yoğun Nokta Bulutu Üretimi



Şekil 4.7. Çalışma Alanına Ait Yoğun Nokta Bulutu

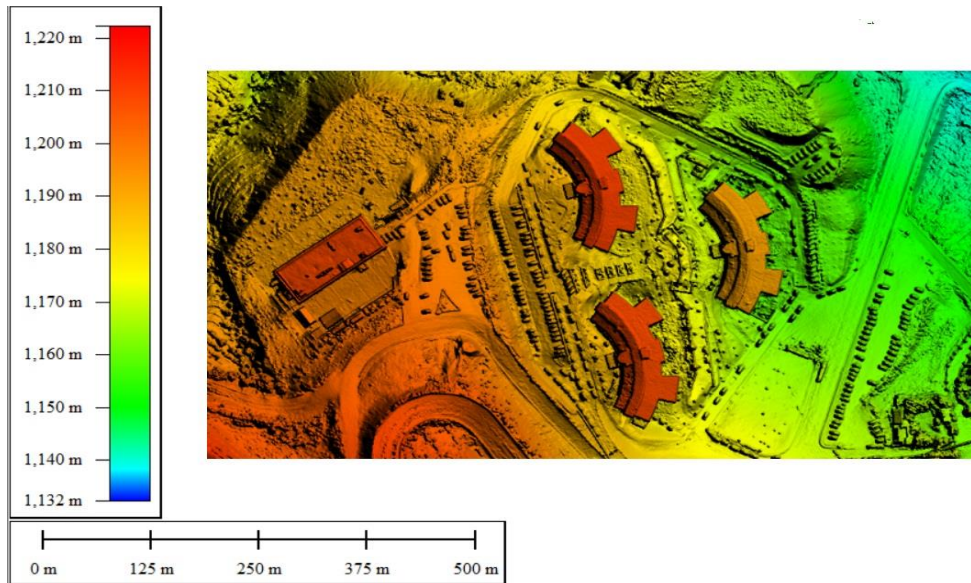
4.2.5. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) (Build DEM) Üretimi

Bir önceki safha olan yoğun nokta bulutu üretiminde ortaya çıkarılan veriler yardımı ile sayısal yükseklik modeli yazılım üzerinde oluşturulur. SYM verisi için “Workflows” sekmesinden “Build DEM” komutu kullanılır ve açılacak olan pencerede SYM üretim parametreleri seçilir.



Şekil 4.8. Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi

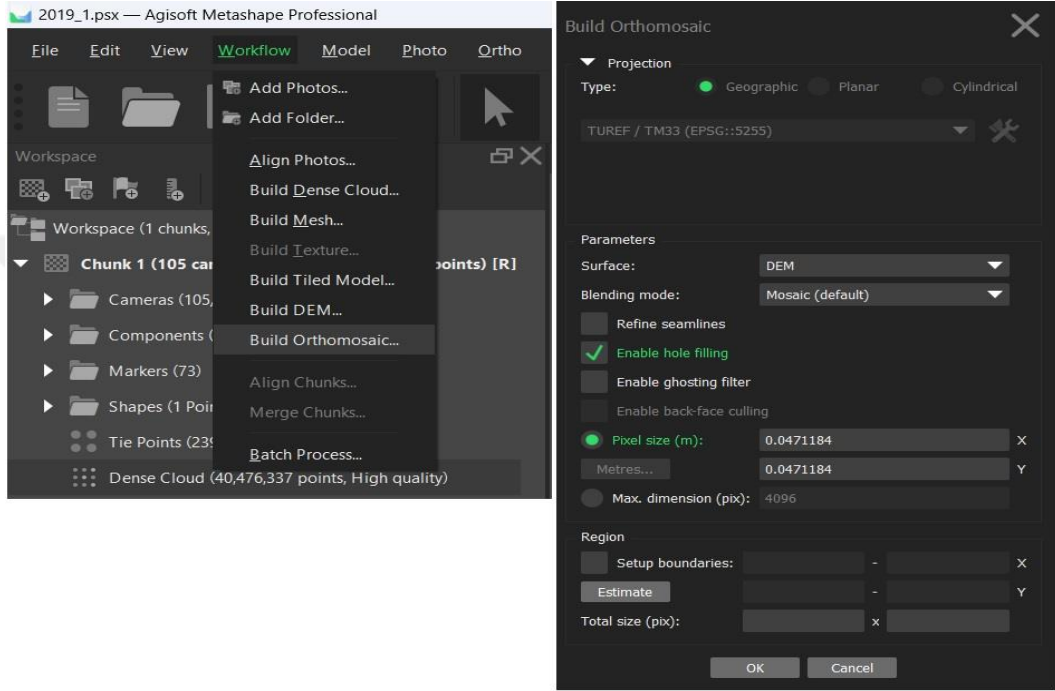
İletişim penceresinde parametre belirleme işlemi yapılmasının ardından SYM üretim işlemi başlatılır. İlgili alana ait SYM görüntüsü aşağıda gösterilmiştir. Üretilen SYM hassasiyeti **9.42 cm/piksel** olarak ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.9. Çalışma Alanına Ait Sayısal Yükseklik Görüntüsü

4.2.6. Ortomozaik (Build Orthomosaic) Üretimi

Ölçekleri aynı olan ve yan yana olacak şekilde sıralanmış ortofoto görüntülerin birleştirilmesi ile ortaya çıkan sonuç ürüne ortomozaik denilmektedir. (Nacar 2015; Saygılı 2019). Ortomozaik üretimi aşamasında “Workflows” sekmesinden “Build Orthomosaic” komutu seçilir ve açılan parametre penceresinden gerekli ayarlar yapılarak işlem başlatılır.



Şekil 4.10. Yoğun Nokta Bulutu Üretimi



Şekil 4.11. Çalışma Alanına Ait Orthomosaic Görüntüsü

Agisoft Metashape Professional yazılımı ile yapılan dengeleme sonuçlarına göre ortaya çıkan M_0 (dengeleme hassasiyeti) ve M_S (gerçek nokta hassasiyeti) değerleri aşağıda tabloda yer aldığı şekildedir.

Çizelge 4.4. M_0 (m), M_S (m) Tablosu

YILLAR	M_0 (m)	M_S (m)
2014	0,019154	0,062249
2016	0,021528	0,055219
2017	0,035141	0,051425
2018	0,007156	0,046533
2019	0,014970	0,043821

4.3. Nokta Bazlı Deformasyon Analizi

Elde edilen verilerin 2014, 2016, 2017, 2018 ve 2019 yıllarına ait koordinatlarının birbirleri ile karşılaştırması yapılacaktır. *Proje alanının üst kısmında yer alan otopark alanı ile binalar arasında bulunan yol üzerinde 20,21,22 ve 23 nolu noktalar ortak olarak değerlendirmeye tabi tutulmuştur.* Yapılan değerlendirme; elde edilen 2014 yılına ait verilerin 2016, 2017, 2018 ve 2019 yıllarına ait veriler arasındaki farklar göz önüne alınarak yapılmıştır. Helmert Benzerlik Dönüşümü ile 2014 yılına göre 5 ortak nokta üzerinden dönüşüm yapılmıştır. 19, 20, 21, 22 ve 23 nolu noktalar zemin üzerinde sabit olduğu düşünülerek ortak nokta olarak seçilmiştir. Benzerlik dönüşümü neticesinde ortaya çıkan M_0 değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

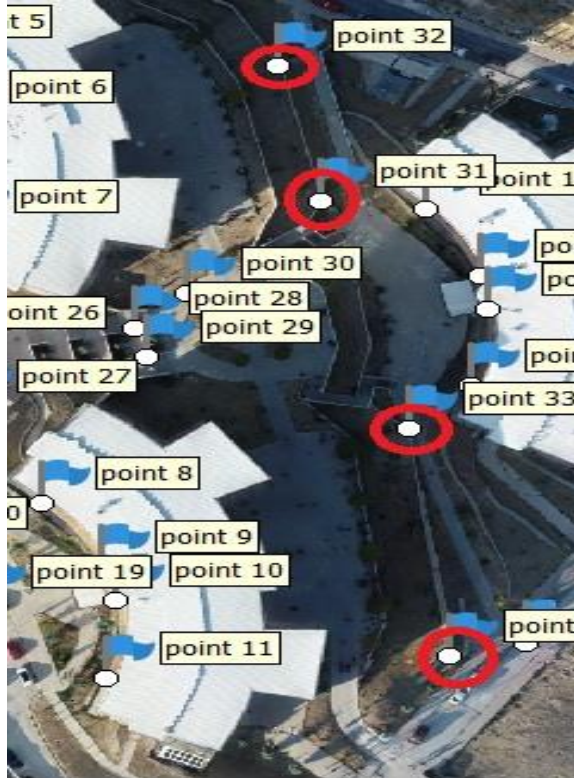
Çizelge 4.5. M_0 (m) Tablosu

YILLAR	M_0 (m)
2016	0.032109
2017	0.035922
2018	0.059632
2019	0.055984



Şekil 4.12. 19-20-21-22-23 Nolu Noktaların Konumları

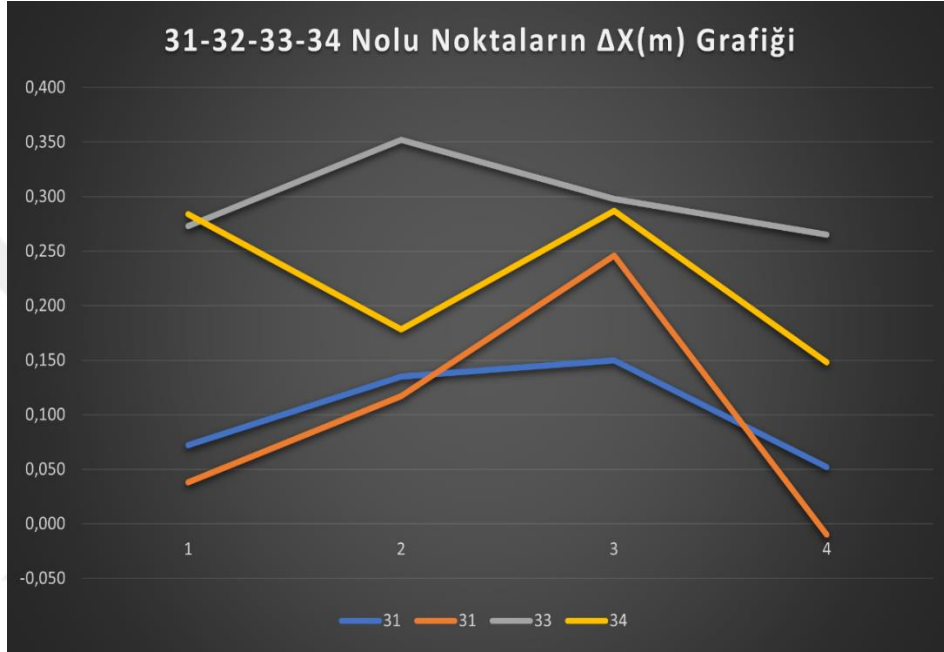
- Proje alanında yer alan üst kısımdaki iki adet fakülte binası ile alt kısımda yer alan bir adet fakülte binası arasında bulunan duvarlar üzerindeki 31, 32, 33 ve 34 nolu noktalar ortak olarak değerlendirmeye tabi tutulmuştur.



Şekil 4.13. 31-32-33-34 Nolu Noktaların Konumları

Çizelge 4.6. 31-32-33-34 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔX Koordinat Farkları

	$\Delta X(m)$	$\Delta X(m)$	$\Delta X(m)$	$\Delta X(m)$
	2014-2016 (1)	2014-2017 (2)	2014-2018 (3)	2014-2019 (4)
31	0,072	0,135	0,150	0,052
32	0,038	0,117	0,246	-0,010
33	0,273	0,352	0,298	0,265
34	0,284	0,178	0,287	0,148

**Şekil 4.14.** 31-32-33-34 Nolu Noktaların ΔX Koordinat Farkları Grafiği

2016 yılı verilerininin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 31 nolu nokta için +7,2 cm, 32 nolu nokta için +3,8 cm, 33 nolu nokta için +27,3 cm ve 34 nolu nokta için +28,4 cm olarak ortaya çıkmıştır.

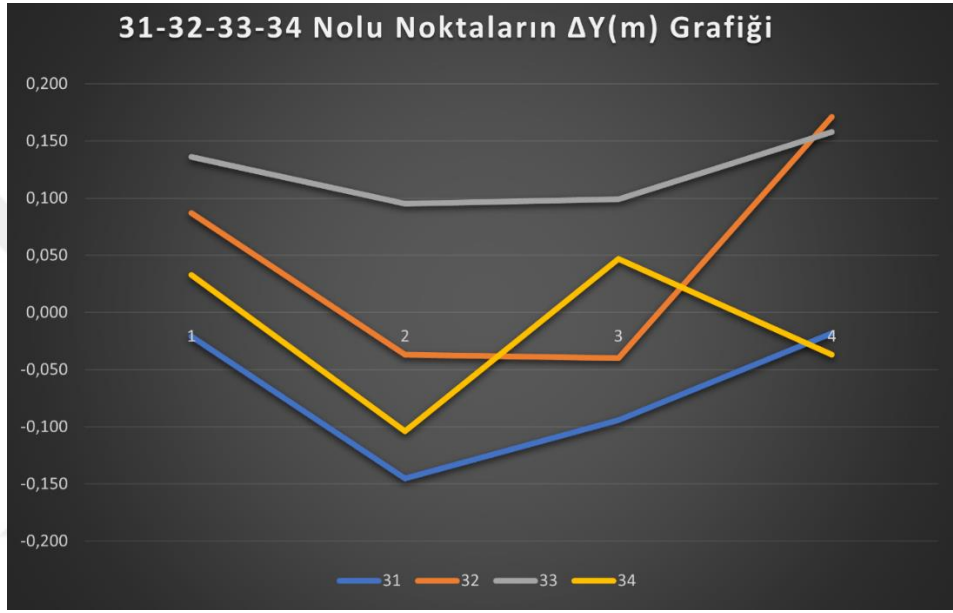
2017 yılı verilerininin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 31 nolu nokta için +13,5 cm, 32 nolu nokta için +11,7 cm, 33 nolu nokta için +35,2 cm ve 34 nolu nokta için +17,8 cm olarak ortaya çıkmıştır.

2018 yılı verilerininin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 31 nolu nokta için +15,0 cm, 32 nolu nokta için +24,6 cm, 33 nolu nokta için +29,8 cm ve 34 nolu nokta için +28,7 cm olarak ortaya çıkmıştır.

2019 yılı verilerininin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 31 nolu nokta için +5,2 cm, 32 nolu nokta için -1,0 cm, 33 nolu nokta için +26,5 cm ve 34 nolu nokta için +14,8 cm olarak ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.7. 31-32-33-34 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔY Koordinat Farkları

	$\Delta Y(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Y(m)$
	2014-2016 (1)	2014-2017 (2)	2014-2018 (3)	2014-2019 (4)
31	-0,021	-0,145	-0,094	-0,018
32	0,087	-0,037	-0,040	0,171
33	0,136	0,095	0,099	0,158
34	0,033	-0,104	0,047	-0,037

**Şekil 4.15.** 31-32-33-34 Nolu Noktaların ΔY Koordinat Farkları Grafiği

2016 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 31 nolu nokta için -2,1 cm, 32 nolu nokta için +8,7 cm, 33 nolu nokta için +13,6 cm ve 34 nolu nokta için +3,3 cm olarak ortaya çıkmıştır.

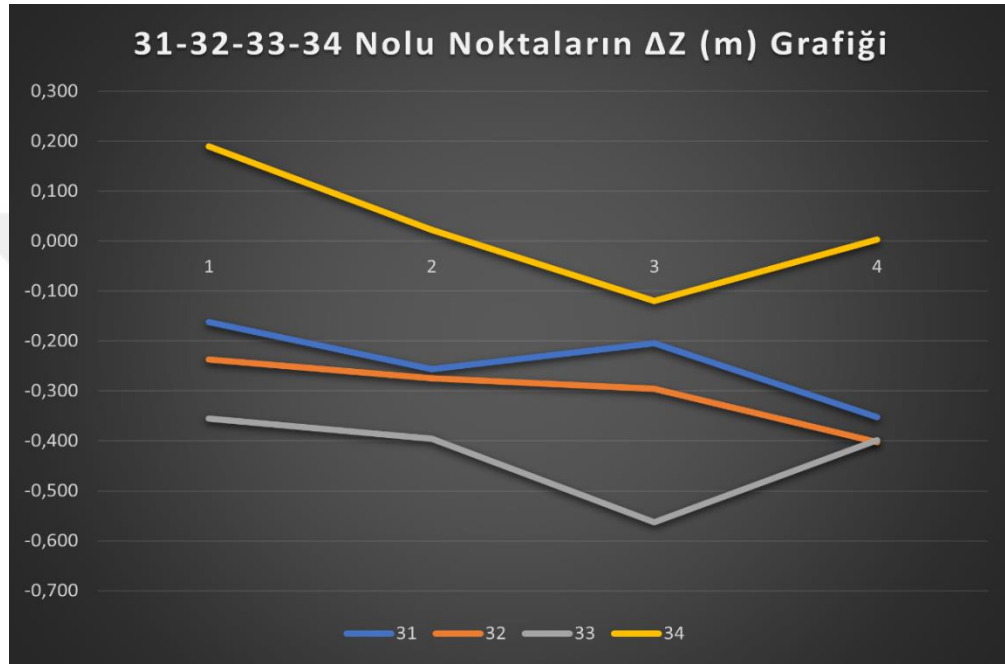
2017 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 31 nolu nokta için -14,5 cm, 32 nolu nokta için -3,7 cm, 33 nolu nokta için +9,5 cm ve 34 nolu nokta için -10,4 cm olarak ortaya çıkmıştır.

2018 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 31 nolu nokta için -9,4 cm, 32 nolu nokta için -4,0 cm, 33 nolu nokta için +9,9 cm ve 34 nolu nokta için +4,7 cm olarak ortaya çıkmıştır.

2019 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 31 nolu nokta için -1,8 cm, 32 nolu nokta için +17,1 cm, 33 nolu nokta için +15,8 cm ve 34 nolu nokta için -3,7 cm olarak ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.8. 31-32-33-34 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔZ Koordinat Farkları

	$\Delta Z(m)$	$\Delta Z(m)$	$\Delta Z(m)$	$\Delta Z(m)$
	2014-2016 (1)	2014-2017 (2)	2014-2018 (3)	2014-2019 (4)
31	-0,162	-0,256	-0,204	-0,352
32	-0,237	-0,275	-0,296	-0,402
33	-0,355	-0,396	-0,563	-0,399
34	0,190	0,022	-0,120	0,033

**Şekil 4.16.** 31-32-33-34 Nolu Noktaların ΔZ Koordinat Farkları Grafiği

2016 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 31 nolu nokta için -16,2 cm, 32 nolu nokta için -23,7 cm, 33 nolu nokta için -35,5 cm ve 34 nolu nokta için +19,0 cm olarak ortaya çıkmıştır.

2017 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 31 nolu nokta için -25,6 cm, 32 nolu nokta için -27,5 cm, 33 nolu nokta için -39,6 cm ve 34 nolu nokta için +2,2 cm olarak ortaya çıkmıştır.

2018 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 31 nolu nokta için -20,4 cm, 32 nolu nokta için -29,6 cm, 33 nolu nokta için -56,3 cm ve 34 nolu nokta için -12,0 cm olarak ortaya çıkmıştır.

2019 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 31 nolu nokta için -35,2 cm, 32 nolu nokta için -40,2 cm, 33 nolu nokta için -39,9 cm ve 34 nolu nokta için +3,3 cm olarak ortaya çıkmıştır.

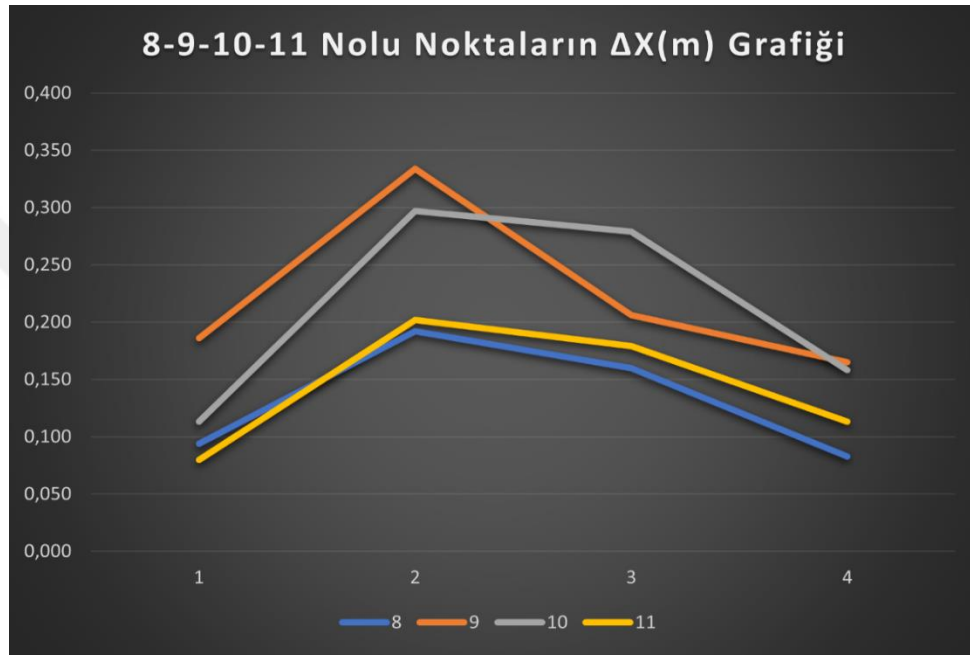
- ✓ 2014-2016 yılları arasında X yönünde ortalama +16 cm, Y yönünde ortalama +5 cm, Z yönünde ortalama -14 cm hareket gözlemlenmiştir.
- ✓ 2014-2017 yılları arasında X yönünde ortalama +19 cm, Y yönünde ortalama -4 cm, Z yönünde ortalama -22 cm hareket gözlemlenmiştir.
- ✓ 2014-2018 yılları arasında X yönünde ortalama +24 cm, Y yönünde ortalama +0,3 cm, Z yönünde ortalama -29 cm hareket gözlemlenmiştir.
- ✓ 2014-2019 yılları arasında X yönünde ortalama +11 cm, Y yönünde ortalama +6 cm, Z yönünde ortalama -28 cm hareket gözlemlenmiştir.
- Proje alanında yer alan üst kısımdaki iki adet fakülte binasından sağ tarafta bulunan binanın dış cephe çıkıntı kısmında işaretlenen 8, 9, 10 ve 11 nolu noktalar ortak olarak değerlendirilerek değerlendirilmiştir.



Şekil 4.17. 8-9-10-11 Nolu Noktaların Konumları

Çizelge 4.9. 8-9-10-11 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔX Koordinat Farkları

	$\Delta X(m)$	$\Delta X(m)$	$\Delta X(m)$	$\Delta X(m)$
	2014-2016 (1)	2014-2017 (2)	2014-2018 (3)	2014-2019 (4)
8	0,094	0,192	0,160	0,083
9	0,186	0,334	0,206	0,165
10	0,113	0,279	0,279	0,158
11	0,080	0,202	0,179	0,113

**Şekil 4.18.** 8-9-10-11 Nolu Noktaların ΔX Koordinat Farkları Grafiği

2016 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 8 nolu nokta için +9,4 cm, 9 nolu nokta için +18,6 cm, 10 nolu nokta için +11,3 cm ve 11 nolu nokta için +8,0 cm olarak ortaya çıkmıştır.

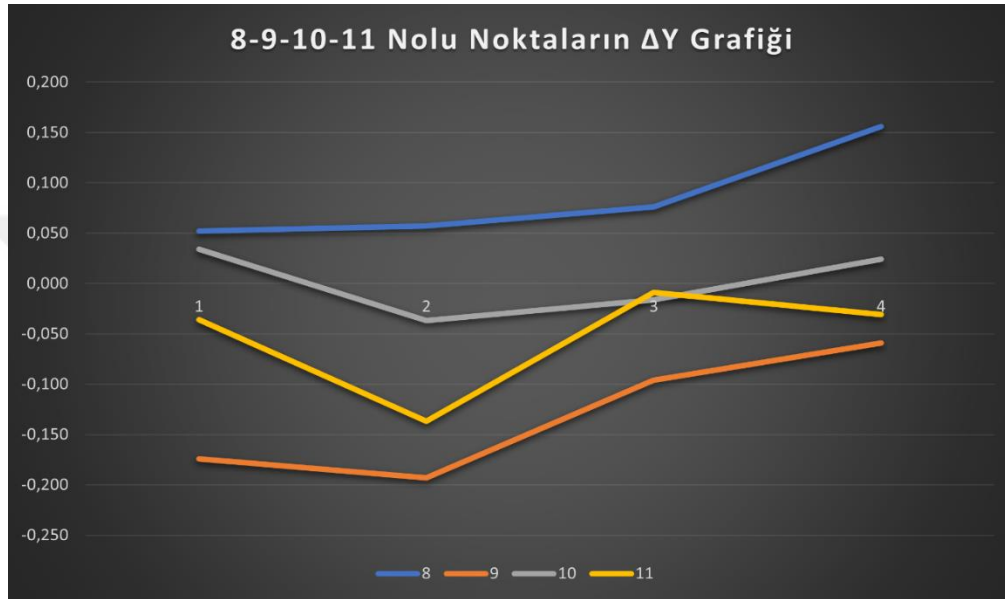
2017 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 8 nolu nokta için +19,2 cm, 9 nolu nokta için +33,4 cm, 10 nolu nokta için +29,7 cm ve 11 nolu nokta için +20,2 cm olarak ortaya çıkmıştır.

2018 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 8 nolu nokta için +16,0 cm, 9 nolu nokta için +20,6 cm, 10 nolu nokta için +27,9 cm ve 11 nolu nokta için +17,9 cm olarak ortaya çıkmıştır.

2019 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 8 nolu nokta için +8,3 cm, 9 nolu nokta için +16,5 cm, 10 nolu nokta için +15,8 cm ve 11 nolu nokta için +11,3 cm olarak ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.10. 8-9-10-11 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔY Koordinat Farkları

	$\Delta Y(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Y(m)$
	2014-2016 (1)	2014-2017 (2)	2014-2018 (3)	2014-2019 (4)
8	0,052	0,057	0,076	0,156
9	-0,174	-0,193	-0,096	-0,059
10	0,034	-0,037	-0,016	0,024
11	-0,036	-0,137	-0,009	-0,031

**Şekil 4.19.** 8-9-10-11 Nolu Noktaların ΔY Koordinat Farkları Grafiği

2016 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 8 nolu nokta için +5,2 cm, 9 nolu nokta için +17,4 cm, 10 nolu nokta için +3,4 cm ve 11 nolu nokta için -3,6 cm olarak ortaya çıkmıştır.

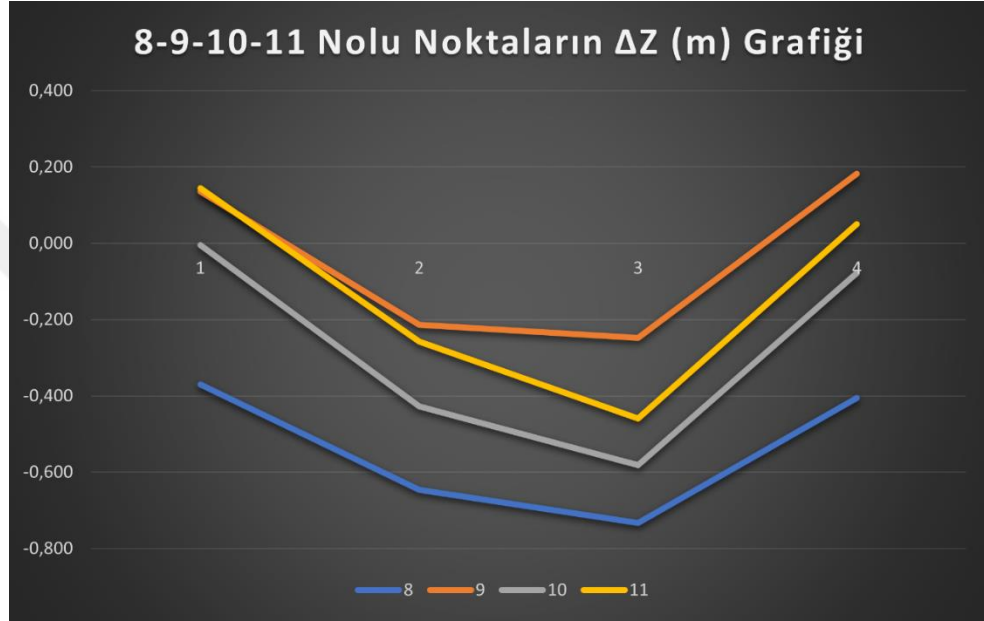
2017 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 8 nolu nokta için +5,7 cm, 9 nolu nokta için -19,3 cm, 10 nolu nokta için -3,7 cm ve 11 nolu nokta için -13,7 cm olarak ortaya çıkmıştır.

2018 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 8 nolu nokta için +7,6 cm, 9 nolu nokta için -9,6 cm, 10 nolu nokta için -1,6 cm ve 11 nolu nokta için -0,9 cm olarak ortaya çıkmıştır.

2019 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 8 nolu nokta için +15,6 cm, 9 nolu nokta için -5,9 cm, 10 nolu nokta için -2,4 cm ve 11 nolu nokta için -3,1 cm olarak ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.11. 8-9-10-11 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔZ Koordinat Farkları

	$\Delta Z(m)$	$\Delta Z(m)$	$\Delta Z(m)$	$\Delta Z(m)$
	2014-2016 (1)	2014-2017 (2)	2014-2018 (3)	2014-2019 (4)
8	-0,370	-0,646	-0,733	-0,405
9	0,136	-0,213	-0,248	0,182
10	-0,005	-0,428	-0,581	-0,078
11	0,144	-0,257	-0,459	0,050

**Şekil 4.20.** 8-9-10-11 Nolu Noktaların ΔZ Koordinat Farkları Grafiği

2016 yılı verilerininin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔZ değerlerinde ortaya çıkan sonuç 8 nolu nokta için -37,0 cm, 9 nolu nokta için +13,6 cm, 10 nolu nokta için -0,5 cm ve 11 nolu nokta için +14,4 cm olarak ortaya çıkmıştır.

2017 yılı verilerininin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔZ değerlerinde ortaya çıkan sonuç 8 nolu nokta için -64,6 cm, 9 nolu nokta için -21,3 cm, 10 nolu nokta için -42,8 cm ve 11 nolu nokta için -25,7 cm olarak ortaya çıkmıştır.

2018 yılı verilerininin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔZ değerlerinde ortaya çıkan sonuç 8 nolu nokta için -73,3 cm, 9 nolu nokta için -24,8 cm, 10 nolu nokta için -58,1 cm ve 11 nolu nokta için -45,9 cm olarak ortaya çıkmıştır.

2019 yılı verilerininin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔZ değerlerinde ortaya çıkan sonuç 8 nolu nokta için -40,5 cm, 9 nolu nokta için +18,2 cm, 10 nolu nokta için -7,8 cm ve 11 nolu nokta için +5,0 cm olarak ortaya çıkmıştır.

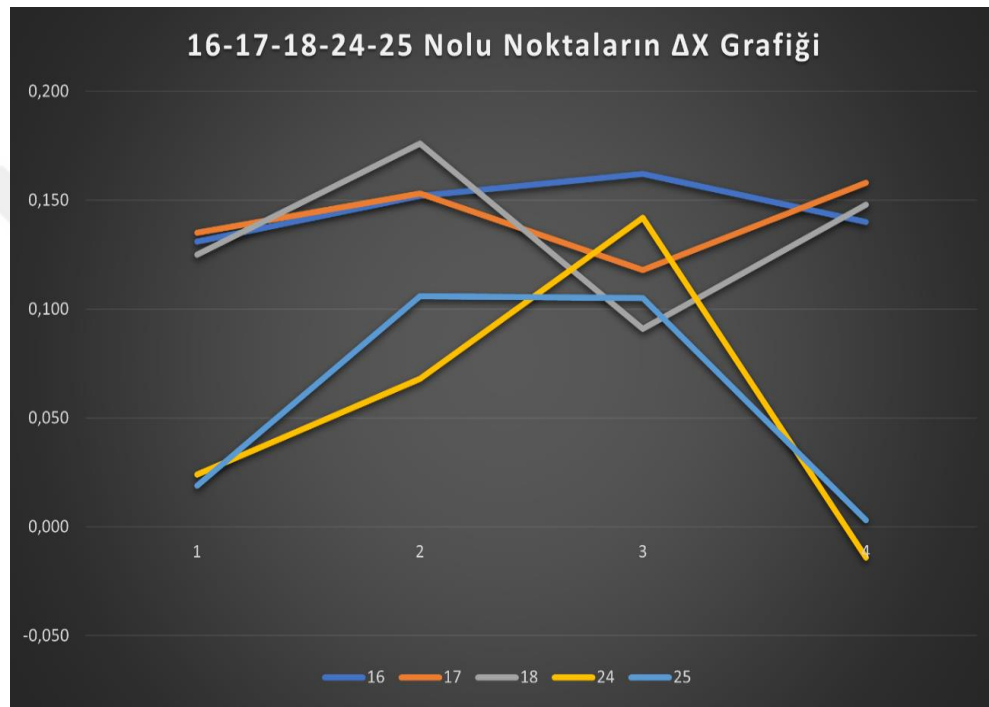
- ✓ 2014-2016 yılları arasında X yönünde ortalama +11 cm, Y yönünde ortalama +3 cm, Z yönünde ortalama -2 cm hareket gözlemlenmiştir.
- ✓ 2014-2017 yılları arasında X yönünde ortalama +25 cm, Y yönünde ortalama -7 cm, Z yönünde ortalama -38 cm hareket gözlemlenmiştir.
- ✓ 2014-2018 yılları arasında X yönünde ortalama +20 cm, Y yönünde ortalama -1 cm, Z yönünde ortalama -50 cm hareket gözlemlenmiştir.
- ✓ 2014-2019 yılları arasında X yönünde ortalama +12 cm, Y yönünde ortalama +2 cm, Z yönünde ortalama -6 cm hareket gözlemlenmiştir.
- Proje alanında yer alan fakülte binalarının çevresindeki yollarda işaretlemesi yapılan 16-17-18-24-25 nolu noktalar ortak olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4.21. 16-17-18-24-25 Nolu Noktaların Konumları

Çizelge 4.12. 16-17-18-24-25 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔX Koordinat Farkları

	$\Delta X(m)$	$\Delta X(m)$	$\Delta X(m)$	$\Delta X(m)$
	2014-2016 (1)	2014-2017 (2)	2014-2018 (3)	2014-2019 (4)
16	0,131	0,152	0,162	0,140
17	0,135	0,153	0,118	0,158
18	0,125	0,176	0,091	0,148
24	0,024	0,068	0,142	-0,014
25	0,019	0,106	0,105	0,003

**Şekil 4.22.** 16-17-18-24-25 Nolu Noktaların ΔX Koordinat Farkları Grafiği

2016 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 16 nolu nokta için +13,1 cm, 17 nolu nokta için +13,5 cm, 18 nolu nokta için +12,5 cm, 24 nolu nokta için +2,4 cm ve 25 nolu nokta için +1,9 olarak ortaya çıkmıştır.

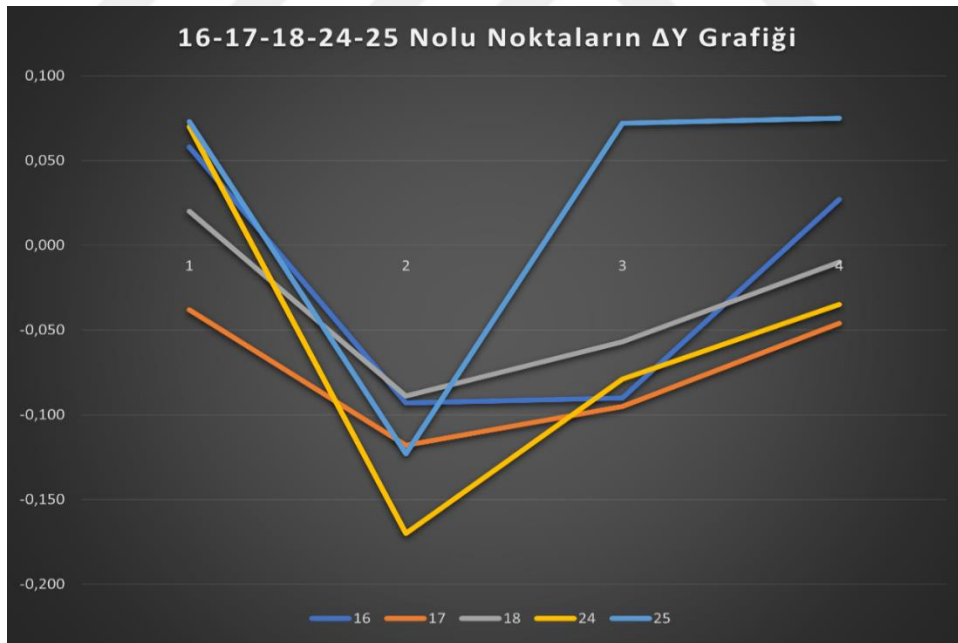
2017 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 16 nolu nokta için +15,2 cm, 17 nolu nokta için +15,3 cm, 18 nolu nokta için +17,6 cm, 24 nolu nokta için +6,8 cm ve 25 nolu nokta için +10,6 olarak ortaya çıkmıştır.

2018 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 16 nolu nokta için +16,2 cm, 17 nolu nokta için +11,8 cm, 18 nolu nokta için +9,1 cm, 24 nolu nokta için +14,2 cm ve 25 nolu nokta için +10,5 olarak ortaya çıkmıştır.

2019 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 16 nolu nokta için +14,0 cm, 17 nolu nokta için +15,8 cm, 18 nolu nokta için +14,8 cm, 24 nolu nokta için +14,2 cm ve 25 nolu nokta için +10,5 olarak ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.13. 16-17-18-24-25 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔY Koordinat Farkları

	$\Delta Y(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Y(m)$
	2014-2016 (1)	2014-2017 (2)	2014-2018 (3)	2014-2019 (4)
16	0,058	-0,093	-0,090	0,027
17	-0,038	-0,118	-0,095	-0,046
18	0,020	-0,089	-0,057	-0,010
24	0,070	-0,170	-0,079	-0,035
25	0,073	-0,123	0,072	0,075



Şekil 4.23. 16-17-18-24-25 Nolu Noktaların ΔY Koordinat Farkları Grafiği

2016 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 16 nolu nokta için +5,8 cm, 17 nolu nokta için -3,8 cm, 18 nolu nokta için +2,0 cm, 24 nolu nokta için +7,0 cm ve 25 nolu nokta için +7,3 olarak ortaya çıkmıştır.

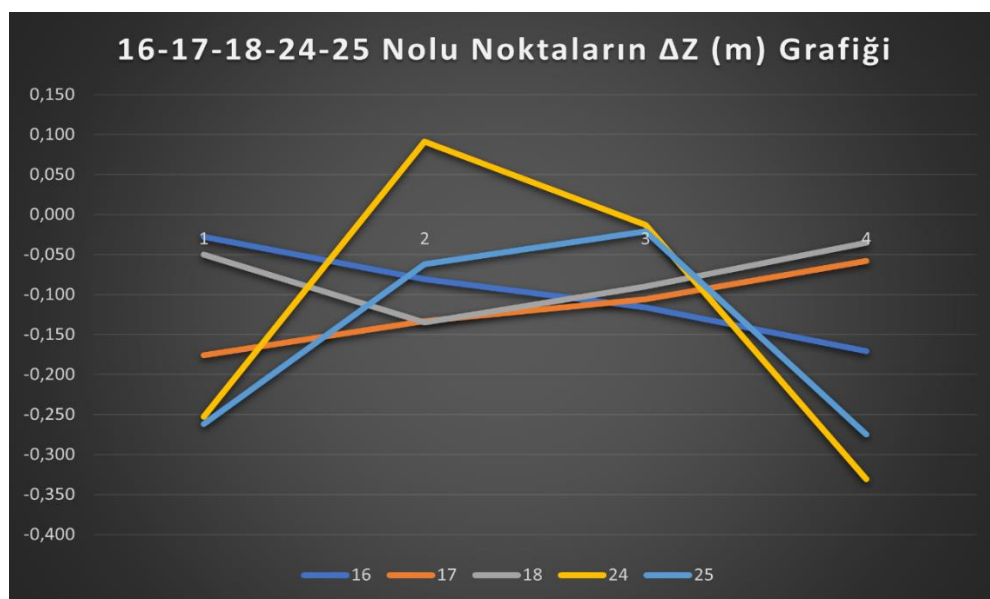
2017 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 16 nolu nokta için -9,3 cm, 17 nolu nokta için -11,8 cm, 18 nolu nokta için -8,9 cm, 24 nolu nokta için -17,0 cm ve 25 nolu nokta için -12,3 olarak ortaya çıkmıştır.

2018 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 16 nolu nokta için -9,0 cm, 17 nolu nokta için -9,5 cm, 18 nolu nokta için -5,7 cm, 24 nolu nokta için -7,9 cm ve 25 nolu nokta için +7,2 olarak ortaya çıkmıştır.

2019 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 16 nolu nokta için +2,7 cm, 17 nolu nokta için -4,6 cm, 18 nolu nokta için -1,0 cm, 24 nolu nokta için -3,5 cm ve 25 nolu nokta için +7,5 olarak ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.14. 16-17-18-24-25 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔZ Koordinat Farkları

	$\Delta Z(m)$	$\Delta Z(m)$	$\Delta Z(m)$	$\Delta Z(m)$
	2014-2016 (1)	2014-2017 (2)	2014-2018 (3)	2014-2019 (4)
16	-0,028	-0,081	-0,116	-0,171
17	-0,176	-0,133	-0,106	-0,058
18	-0,050	-0,135	-0,090	-0,035
24	-0,253	0,091	-0,013	-0,331
25	-0,262	-0,062	-0,021	-0,275



Şekil 4.24. 16-17-18-24-25 Nolu Noktaların ΔZ Koordinat Farkları Grafiği

2016 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 16 nolu nokta için -2,8 cm, 17 nolu nokta için -17,6 cm, 18 nolu nokta için -5,0 cm, 24 nolu nokta için -25,3 cm ve 25 nolu nokta için -26,2 olarak ortaya çıkmıştır.

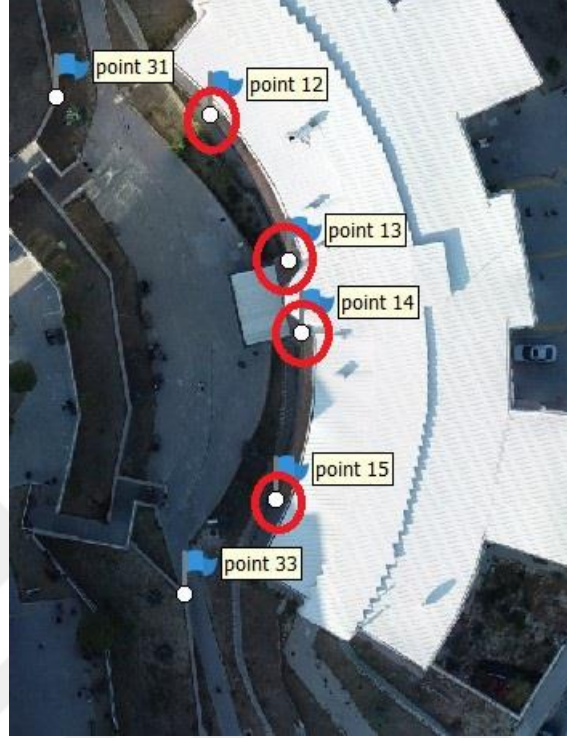
2017 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 16 nolu nokta için -8,1 cm, 17 nolu nokta için -13,3 cm, 18 nolu nokta için -13,5 cm, 24 nolu nokta için +9,1 cm ve 25 nolu nokta için -6,2 olarak ortaya çıkmıştır.

2018 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 16 nolu nokta için -11,6 cm, 17 nolu nokta için -10,6 cm, 18 nolu nokta için -9,0 cm, 24 nolu nokta için -1,3 cm ve 25 nolu nokta için -2,1 olarak ortaya çıkmıştır.

2019 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 16 nolu nokta için -17,1 cm, 17 nolu nokta için -5,8 cm, 18 nolu nokta için -3,5 cm, 24 nolu nokta için +3,1 cm ve 25 nolu nokta için -27,5 olarak ortaya çıkmıştır.

- ✓ 2014-2016 yılları arasında X yönünde ortalama +8 cm, Y yönünde ortalama +3 cm, Z yönünde ortalama -15 cm hareket gözlemlenmiştir.
- ✓ 2014-2017 yılları arasında X yönünde ortalama +13 cm, Y yönünde ortalama -11 cm, Z yönünde ortalama -6 cm hareket gözlemlenmiştir.
- ✓ 2014-2018 yılları arasında X yönünde ortalama +12 cm, Y yönünde ortalama -1 cm, Z yönünde ortalama -4 cm hareket gözlemlenmiştir.
- ✓ 2014-2019 yılları arasında X yönünde ortalama +8 cm, Y yönünde ortalama +1 cm, Z yönünde ortalama -17 cm hareket gözlemlenmiştir.

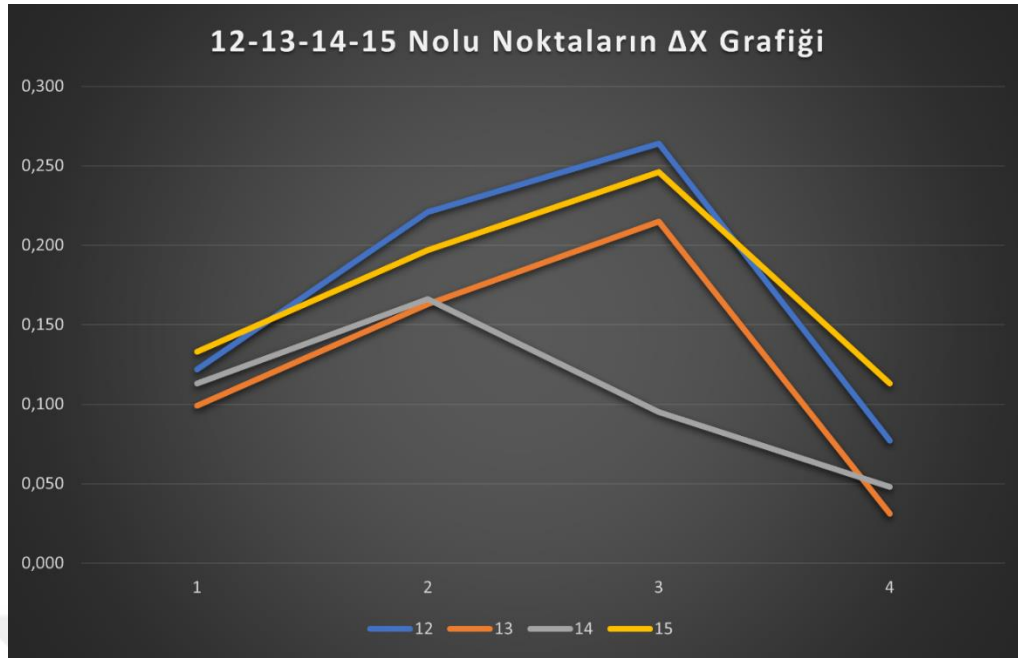
- Proje alanında yer alan fakülte binalarından alt kısımda tek olarak yer alan binanın dış cephesinde yer alan 12-13-14-15 nolu noktalar ortak olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4.25. 12-13-14-15 Nolu Noktaların Konumları

Çizelge 4.15. 12-13-14-15 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔX Koordinat Farkları

	$\Delta X(m)$	$\Delta X(m)$	$\Delta X(m)$	$\Delta X(m)$
	2014-2016 (1)	2014-2017 (2)	2014-2018 (3)	2014-2019 (4)
12	0,122	0,221	0,264	0,077
13	0,099	0,163	0,215	0,031
14	0,113	0,166	0,095	0,048
15	0,133	0,197	0,246	0,113



Şekil 4.26. 12-13-14-15 Nolu Noktaların ΔX Koordinat Farkları Grafiği

2016 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 12 nolu nokta için +12,2 cm, 13 nolu nokta için +9,9 cm, 14 nolu nokta için +11,3 cm ve 15 nolu nokta için +13,3 cm olarak ortaya çıkmıştır.

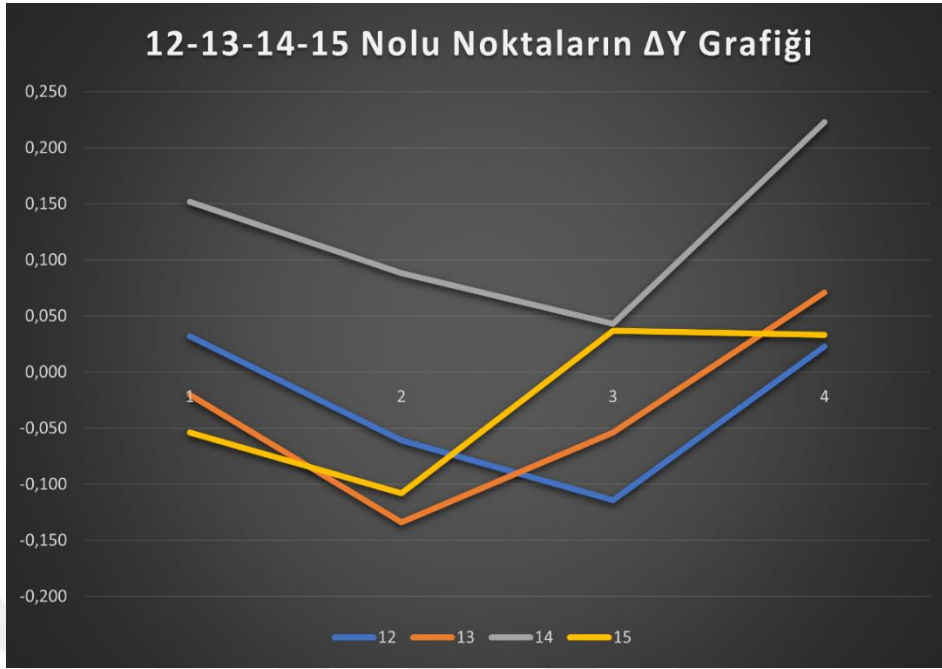
2017 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 12 nolu nokta için +22,1 cm, 13 nolu nokta için +16,3 cm, 14 nolu nokta için +16,6 cm ve 15 nolu nokta için +19,7 cm olarak ortaya çıkmıştır.

2018 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 12 nolu nokta için +26,4 cm, 13 nolu nokta için +21,5 cm, 14 nolu nokta için +9,5 cm ve 15 nolu nokta için +24,6 cm olarak ortaya çıkmıştır.

2019 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 12 nolu nokta için +7,7 cm, 13 nolu nokta için +3,1 cm, 14 nolu nokta için +4,8 cm ve 15 nolu nokta için +11,3 cm olarak ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.16 12-13-14-15 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔY Koordinat Farkları

	ΔY(m)	ΔY(m)	ΔY(m)	ΔY(m)
	2014-2016 (1)	2014-2017 (2)	2014-2018 (3)	2014-2019 (4)
12	0,032	-0,061	-0,114	0,023
13	-0,020	-0,134	-0,054	0,071
14	0,152	0,088	0,043	0,223
15	-0,054	-0,108	0,037	0,033



Şekil 4.27. 12-13-14-15 Nolu Noktaların ΔY Koordinat Farkları Grafiği

2016 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 12 nolu nokta için +3,2 cm, 13 nolu nokta için -2,0 cm, 14 nolu nokta için +15,2 cm ve 15 nolu nokta için -5,4 cm olarak ortaya çıkmıştır.

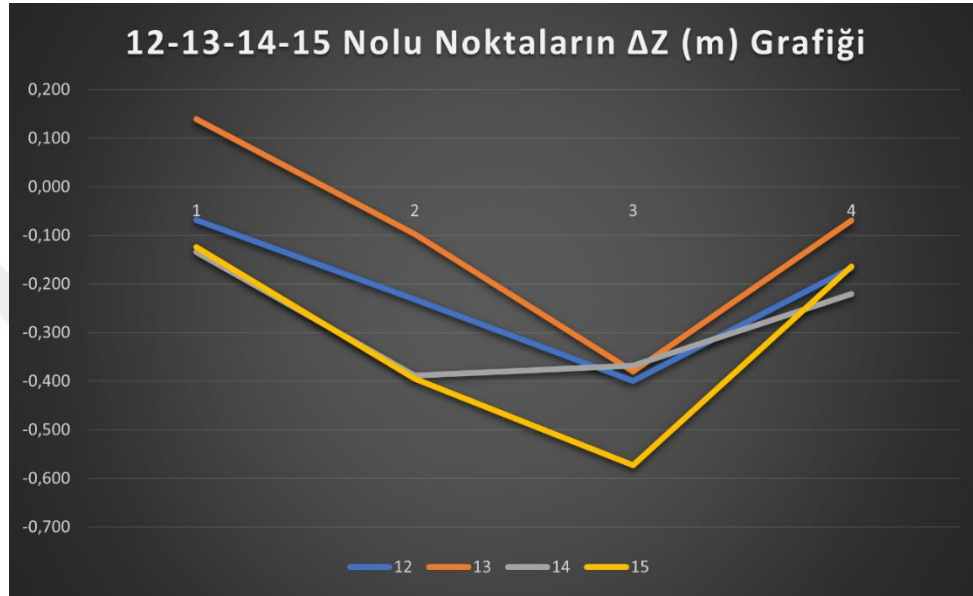
2017 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 12 nolu nokta için -6,1 cm, 13 nolu nokta için -13,4 cm, 14 nolu nokta için +8,8 cm ve 15 nolu nokta için -10,8 cm olarak ortaya çıkmıştır.

2018 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 12 nolu nokta için -11,4 cm, 13 nolu nokta için -5,4 cm, 14 nolu nokta için +4,3 cm ve 15 nolu nokta için +3,7 cm olarak ortaya çıkmıştır.

2019 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 12 nolu nokta için +2,3 cm, 13 nolu nokta için +7,1 cm, 14 nolu nokta için +22,3 cm ve 15 nolu nokta için +3,3 cm olarak ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.17. 12-13-14-15 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔZ Koordinat Farkları

	$\Delta Z(m)$	$\Delta Z(m)$	$\Delta Z(m)$	$\Delta Z(m)$
	2014-2016 (1)	2014-2017 (2)	2014-2018 (3)	2014-2019 (4)
12	-0,068	-0,232	-0,400	-0,167
13	0,139	-0,097	-0,380	-0,069
14	-0,134	-0,388	-0,368	-0,221
15	-0,124	-0,395	-0,573	-0,164

Şekil 4.28. 12-13-14-15 Nolu Noktaların ΔZ Koordinat Farkları Grafiği

2016 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 12 nolu nokta için -6,8 cm, 13 nolu nokta için +13,9 cm, 14 nolu nokta için -13,4 cm ve 15 nolu nokta için -12,4 cm olarak ortaya çıkmıştır.

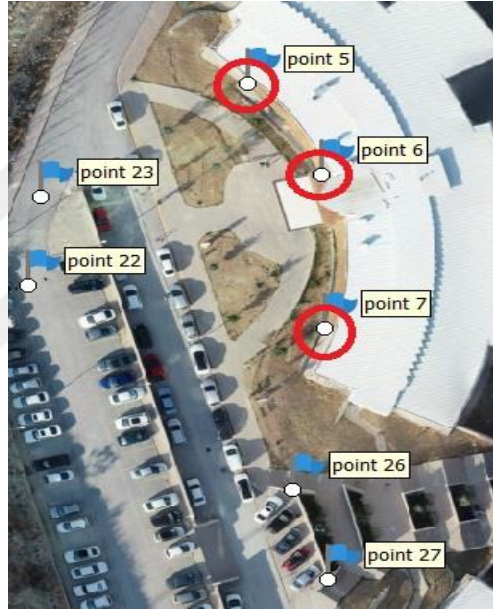
2017 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 12 nolu nokta için -23,2 cm, 13 nolu nokta için -9,7 cm, 14 nolu nokta için -38,8 cm ve 15 nolu nokta için -39,5 cm olarak ortaya çıkmıştır.

2018 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 12 nolu nokta için -40,0 cm, 13 nolu nokta için -38,0 cm, 14 nolu nokta için -36,8 cm ve 15 nolu nokta için -57,3 cm olarak ortaya çıkmıştır.

2019 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 12 nolu nokta için -16,7 cm, 13 nolu nokta için -6,9 cm, 14 nolu nokta için -22,1 cm ve 15 nolu nokta için -16,4 cm olarak ortaya çıkmıştır.

- ✓ 2014-2016 yılları arasında X yönünde ortalama +9 cm, Y yönünde ortalama +2 cm, Z yönünde ortalama -4 cm hareket gözlemlenmiştir.

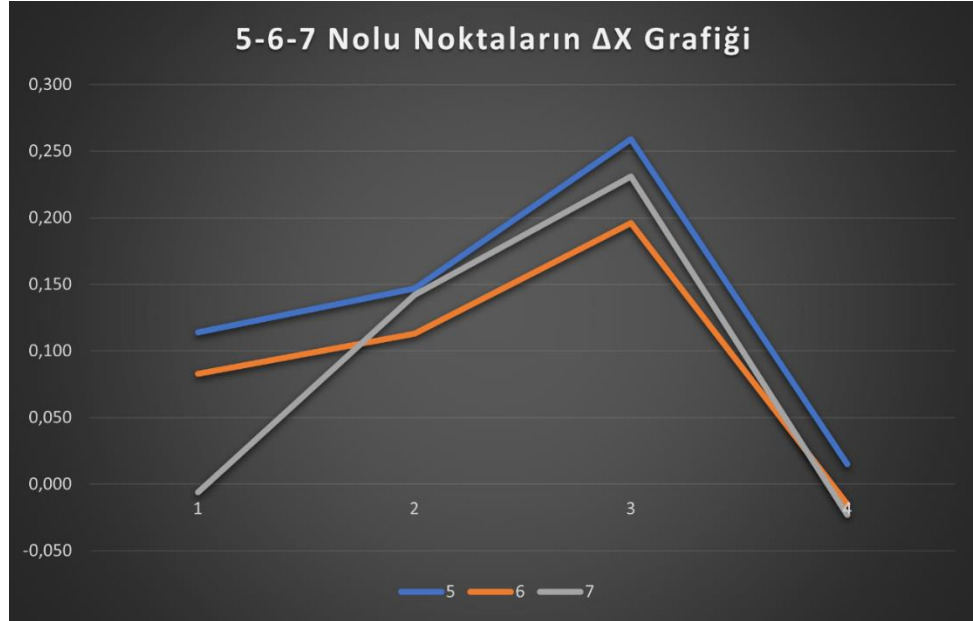
- ✓ 2014-2017 yılları arasında X yönünde ortalama +18 cm, Y yönünde ortalama -5 cm, Z yönünde ortalama -27 cm hareket gözlemlenmiştir.
 - ✓ 2014-2018 yılları arasında X yönünde ortalama +20 cm, Y yönünde ortalama -2 cm, Z yönünde ortalama -43 cm hareket gözlemlenmiştir.
 - ✓ 2014-2019 yılları arasında X yönünde ortalama +8 cm, Y yönünde ortalama +8 cm, Z yönünde ortalama -15 cm hareket gözlemlenmiştir.
- Proje alanında yer alan fakülte binalarından üst kısımda sol tarafında yer alan binanın dış cephesinde yer alan 5-6-7 nolu noktalar ortak olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4.29. 5-6-7 Nolu Noktaların Konumları

Çizelge 4.18. 5-6-7 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔX Koordinat Farkları

	$\Delta X(m)$	$\Delta X(m)$	$\Delta X(m)$	$\Delta X(m)$
	2014-2016 (1)	2014-2017 (2)	2014-2018 (3)	2014-2019 (4)
5	0,114	0,147	0,259	0,015
6	0,083	0,113	0,196	-0,015
7	-0,006	0,142	0,231	-0,023



Şekil 4.30. 5-6-7 Nolu Noktaların ΔX Koordinat Farkları Grafiği

2016 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 5 nolu nokta için +11,4 cm, 6 nolu nokta için +8,3 cm ve 7 nolu nokta için -0,6 cm olarak ortaya çıkmıştır.

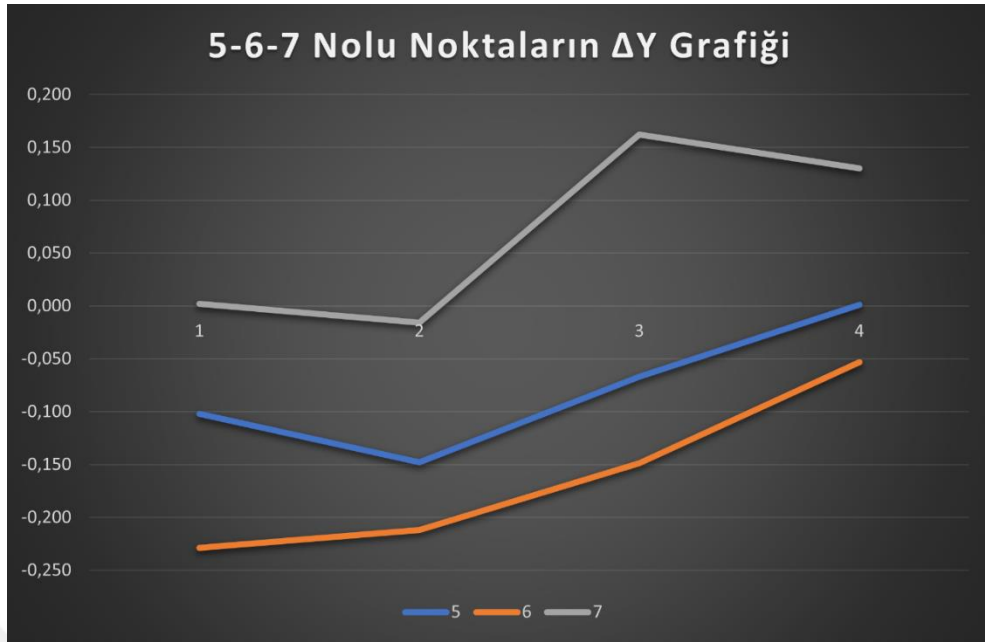
2017 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 5 nolu nokta için +14,7 cm, 6 nolu nokta için +11,3 cm ve 7 nolu nokta için +14,2 cm olarak ortaya çıkmıştır.

2018 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 5 nolu nokta için +25,9 cm, 6 nolu nokta için +19,6 cm ve 7 nolu nokta için +23,1 cm olarak ortaya çıkmıştır.

2019 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 5 nolu nokta için +1,5 cm, 6 nolu nokta için -1,5 cm ve 7 nolu nokta için -2,3 cm olarak ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.19. 5-6-7 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔY Koordinat Farkları

	ΔY(m)	ΔY(m)	ΔY(m)	ΔY(m)
	2014-2016 (1)	2014-2017 (2)	2014-2018 (3)	2014-2019 (4)
5	-0,102	-0,148	-0,067	0,001
6	-0,229	-0,212	-0,149	-0,053
7	0,002	-0,016	0,162	0,130



Şekil 4.31. 5-6-7 Nolu Noktaların ΔY Koordinat Farkları Grafiği

2016 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 5 nolu nokta için -10,2 cm, 6 nolu nokta için -22,9 cm ve 7 nolu nokta için -0,2 cm olarak ortaya çıkmıştır.

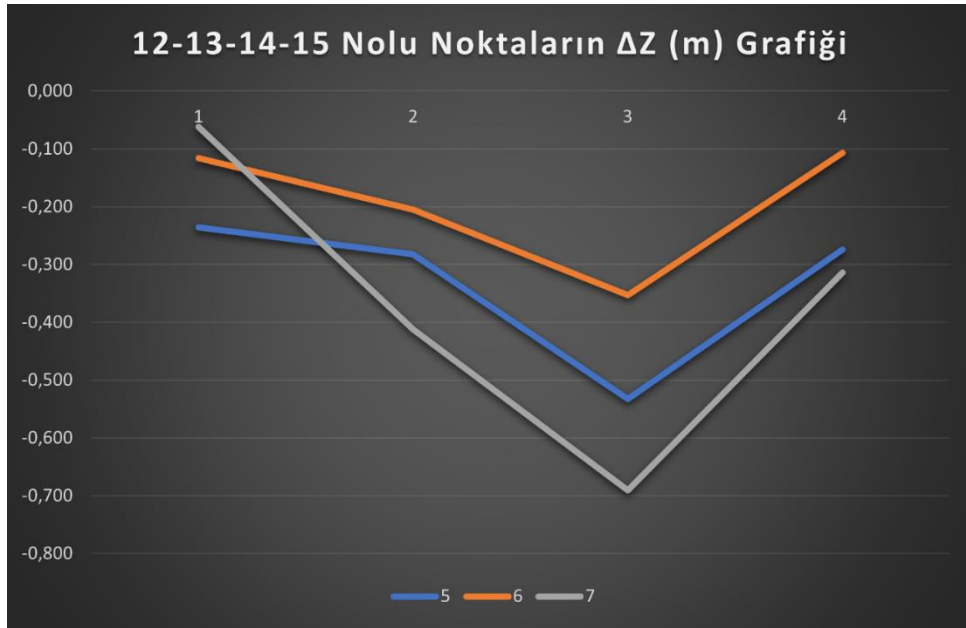
2017 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 5 nolu nokta için -14,4 cm, 6 nolu nokta için -21,2 cm ve 7 nolu nokta için -1,6 cm olarak ortaya çıkmıştır.

2018 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 5 nolu nokta için -6,7 cm, 6 nolu nokta için -14,9 cm ve 7 nolu nokta için +16,2 cm olarak ortaya çıkmıştır.

2019 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 5 nolu nokta için +0,1 cm, 6 nolu nokta için +5,3 cm ve 7 nolu nokta için +13,0 cm olarak ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.20. 5-6-7 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔZ Koordinat Farkları

	ΔZ(m)	ΔZ(m)	ΔZ(m)	ΔZ(m)
	2014-2016 (1)	2014-2017 (2)	2014-2018 (3)	2014-2019 (4)
5	-0,236	-0,282	-0,533	-0,274
6	-0,116	-0,205	-0,353	-0,107
7	-0,062	-0,412	-0,691	-0,314



Şekil 4.32. 5-6-7 Nolu Noktaların ΔZ Koordinat Farkları Grafiği

2016 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 5 nolu nokta için -23,6 cm, 6 nolu nokta için -11,6 cm ve 7 nolu nokta için -6,2 cm olarak ortaya çıkmıştır.

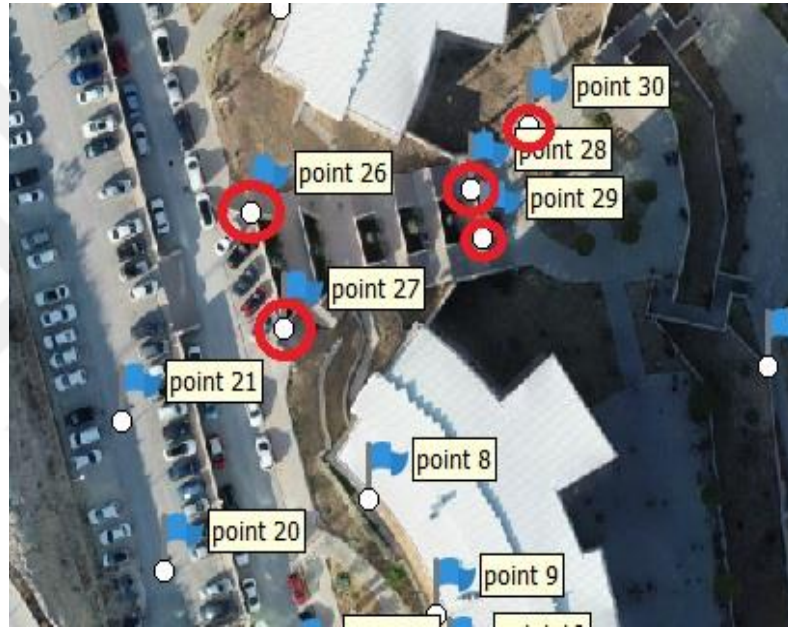
2017 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 5 nolu nokta için -28,2 cm, 6 nolu nokta için -20,5 cm ve 7 nolu nokta için -31,4 cm olarak ortaya çıkmıştır.

2018 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 5 nolu nokta için -53,3 cm, 6 nolu nokta için -10,7 cm ve 7 nolu nokta için -69,1 cm olarak ortaya çıkmıştır.

2019 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 5 nolu nokta için -27,4 cm, 6 nolu nokta için -35,3 cm ve 7 nolu nokta için -69,1 cm olarak ortaya çıkmıştır.

- ✓ 2014-2016 yılları arasında X yönünde ortalama +6 cm, Y yönünde ortalama +11 cm, Z yönünde ortalama -13 cm hareket gözlemlenmiştir.
- ✓ 2014-2017 yılları arasında X yönünde ortalama +13 cm, Y yönünde ortalama -12 cm, Z yönünde ortalama -30 cm hareket gözlemlenmiştir.

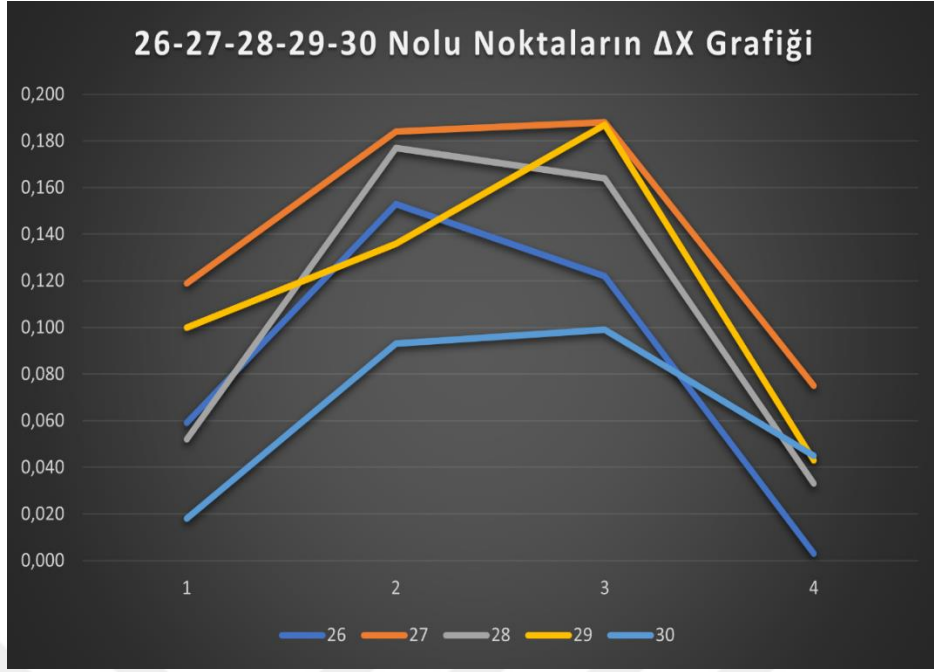
- ✓ 2014-2018 yılları arasında X yönünde ortalama +23 cm, Y yönünde ortalama -1 cm, Z yönünde ortalama -50 cm hareket gözlemlenmiştir.
- ✓ 2014-2019 yılları arasında X yönünde ortalama -1 cm, Y yönünde ortalama +2 cm, Z yönünde ortalama -23 cm hareket gözlemlenmiştir.
- Proje alanında yer alan fakülte binalarından üst kısımda yer alan iki binanın ortasında bulunan merdivenler üzerine işaretlenen 26-27-28-29-30 nolu noktalar ortak olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4.33. 26-27-28-29-30 Nolu Noktaların Konumları

Çizelge 4.21. 26-27-28-29-30 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔX Koordinat Farkları

	$\Delta X(m)$	$\Delta X(m)$	$\Delta X(m)$	$\Delta X(m)$
	2014-2016 (1)	2014-2017 (2)	2014-2018 (3)	2014-2019 (4)
26	0,059	0,153	0,122	0,003
27	0,119	0,184	0,188	0,075
28	0,052	0,177	0,164	0,033
29	0,100	0,136	0,187	0,043
30	0,018	0,093	0,099	0,045



Şekil 4.34. 26-27-28-29-30 Nolu Noktaların ΔX Koordinat Farkları Grafiği

2016 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 26 nolu nokta için +5,9 cm, 27 nolu nokta için +11,9 cm, 28 nolu nokta için +5,2 cm, 29 nolu nokta için +10,0 cm ve 30 nolu nokta için +1,8 olarak ortaya çıkmıştır.

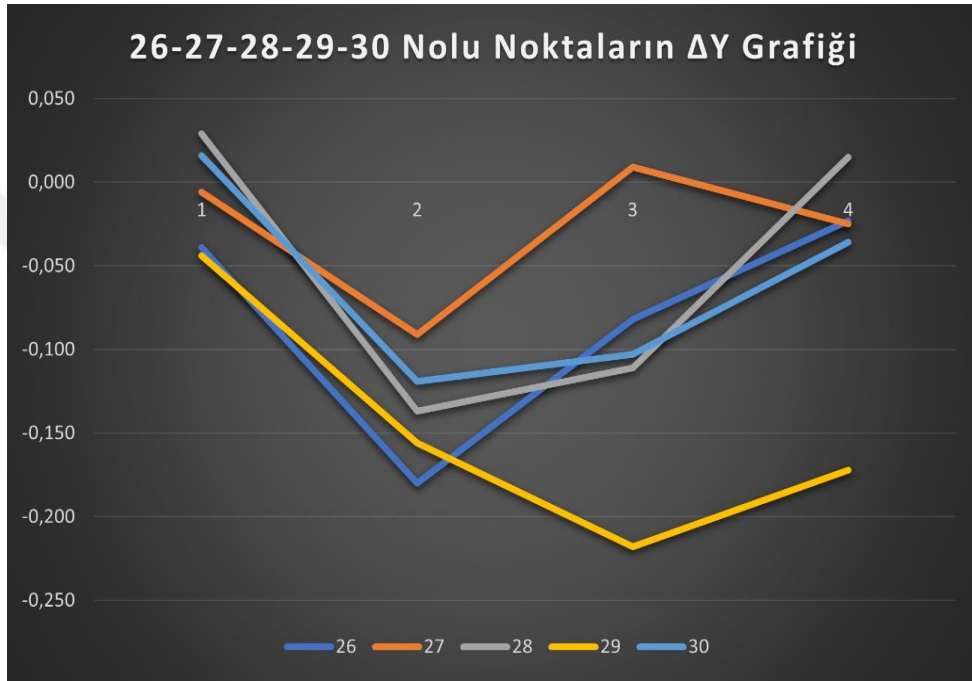
2017 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 26 nolu nokta için +15,3 cm, 27 nolu nokta için +18,4 cm, 28 nolu nokta için +17,7 cm, 29 nolu nokta için +13,6 cm ve 30 nolu nokta için +9,3 olarak ortaya çıkmıştır.

2018 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 26 nolu nokta için +12,2 cm, 27 nolu nokta için +18,8 cm, 28 nolu nokta için +16,4 cm, 29 nolu nokta için +18,7 cm ve 30 nolu nokta için +9,9 olarak ortaya çıkmıştır.

2019 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔX değerlerinde ortaya çıkan sonuç 26 nolu nokta için +0,3 cm, 27 nolu nokta için +7,5 cm, 28 nolu nokta için +3,3 cm, 29 nolu nokta için +4,3 cm ve 30 nolu nokta için +4,5 olarak ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.22. 26-27-28-29-30 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔY Koordinat Farkları

	$\Delta Y(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Y(m)$
	2014-2016 (1)	2014-2017 (2)	2014-2018 (3)	2014-2019 (4)
26	-0,039	-0,180	-0,082	-0,023
27	-0,006	-0,091	0,009	-0,025
28	0,029	-0,137	-0,111	0,015
29	-0,044	-0,156	-0,218	-0,172
30	0,016	-0,119	-0,103	-0,036

**Şekil 4.35.** 26-27-28-29-30 Nolu Noktaların ΔY Koordinat Farkları Grafiği

2016 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 26 nolu nokta için -3,9 cm, 27 nolu nokta için -0,6 cm, 28 nolu nokta için +2,9 cm, 29 nolu nokta için -4,4 cm ve 30 nolu nokta için +1,6 olarak ortaya çıkmıştır.

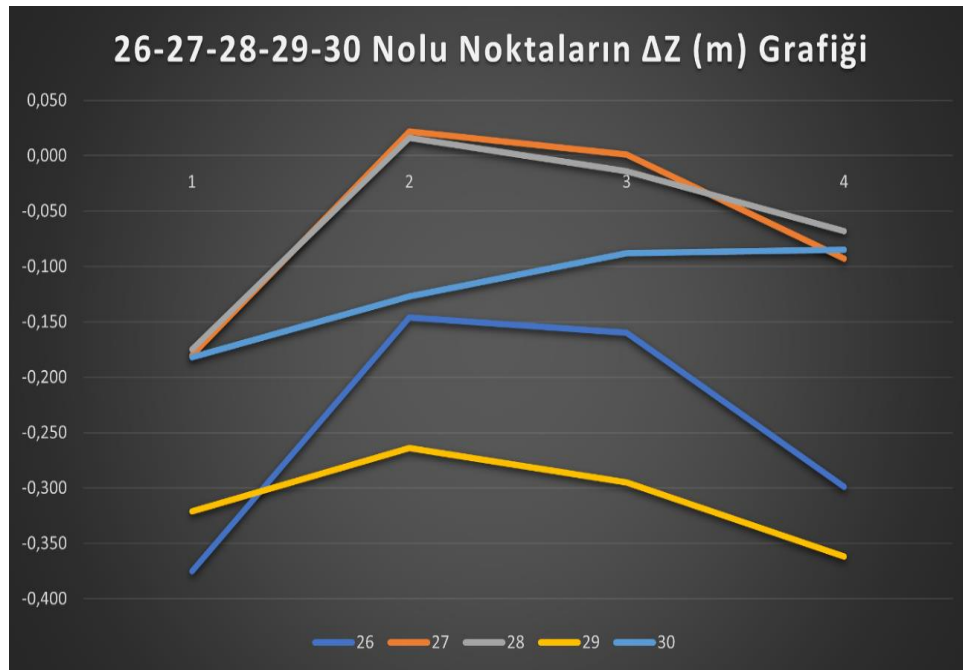
2017 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 26 nolu nokta için -18,0 cm, 27 nolu nokta için -9,1 cm, 28 nolu nokta için -13,7 cm, 29 nolu nokta için -15,6 cm ve 30 nolu nokta için -11,9 olarak ortaya çıkmıştır.

2018 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 26 nolu nokta için -8,2 cm, 27 nolu nokta için +0,9 cm, 28 nolu nokta için -11,1 cm, 29 nolu nokta için -21,8 cm ve 30 nolu nokta için -10,3 olarak ortaya çıkmıştır.

2019 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 26 nolu nokta için -2,3 cm, 27 nolu nokta için -2,5 cm, 28 nolu nokta için +1,5 cm, 29 nolu nokta için -17,2 cm ve 30 nolu nokta için -3,6 olarak ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.23. 26-27-28-29-30 Nolu Noktaların 2014 Yılına Göre ΔZ Koordinat Farkları

	$\Delta Z(m)$	$\Delta Z(m)$	$\Delta Z(m)$	$\Delta Z(m)$
	2014-2016 (1)	2014-2017 (2)	2014-2018 (3)	2014-2019 (4)
26	-0,375	-0,146	-0,160	-0,299
27	-0,180	0,022	0,001	-0,093
28	-0,175	0,016	-0,014	-0,068
29	-0,321	-0,264	-0,295	-0,362
30	-0,182	-0,127	-0,088	-0,085



Şekil 4.36. 26-27-28-29-30 Nolu Noktaların ΔZ Koordinat Farkları Grafiği

2016 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 26 nolu nokta için -37,5 cm, 27 nolu nokta için -18,0 cm, 28 nolu nokta için -17,5 cm, 29 nolu nokta için -32,1 cm ve 30 nolu nokta için -18,2 olarak ortaya çıkmıştır.

2017 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 26 nolu nokta için -14,6 cm, 27 nolu nokta için +2,2 cm, 28 nolu nokta için +1,6 cm, 29 nolu nokta için -26,4 cm ve 30 nolu nokta için -12,7 olarak ortaya çıkmıştır.

2018 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 26 nolu nokta için -16,0 cm, 27 nolu nokta için +0,1 cm, 28 nolu nokta için -1,4 cm, 29 nolu nokta için -29,5 cm ve 30 nolu nokta için -8,8 olarak ortaya çıkmıştır.

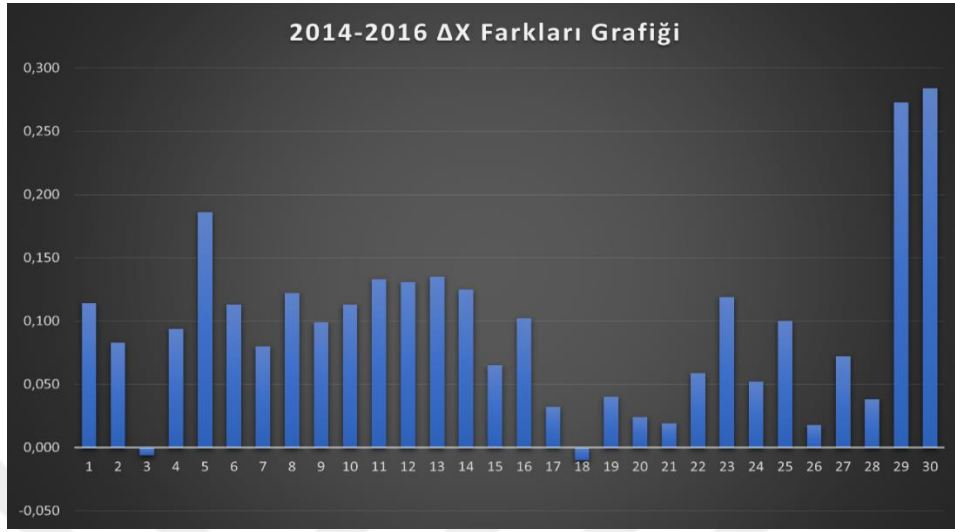
2019 yılı verilerinin 2014 yılı verileri ile karşılaştırması yapıldığında ΔY değerlerinde ortaya çıkan sonuç 26 nolu nokta için -29,9 cm, 27 nolu nokta için -9,3 cm, 28 nolu nokta için -6,8 cm, 29 nolu nokta için -36,2 cm ve 30 nolu nokta için -8,5 olarak ortaya çıkmıştır.

- ✓ 2014-2016 yılları arasında X yönünde ortalama +6 cm, Y yönünde ortalama -1 cm, Z yönünde ortalama -25 cm hareket gözlemlenmiştir.
- ✓ 2014-2017 yılları arasında X yönünde ortalama +15 cm, Y yönünde ortalama -14 cm, Z yönünde ortalama -9 cm hareket gözlemlenmiştir.
- ✓ 2014-2018 yılları arasında X yönünde ortalama +15 cm, Y yönünde ortalama -10 cm, Z yönünde ortalama -11 cm hareket gözlemlenmiştir.
- ✓ 2014-2019 yılları arasında X yönünde ortalama +4 cm, Y yönünde ortalama -5 cm, Z yönünde ortalama -18 cm hareket gözlemlenmiştir.



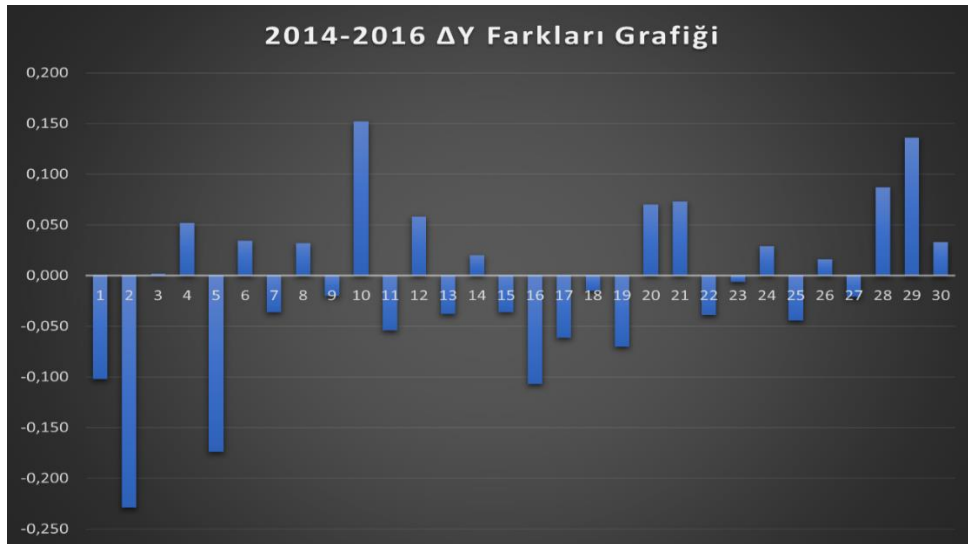
Şekil 4.37. Tüm Noktalara Ait Konum Gösterimi

Yukarıda değerlendirmesi yapılan tüm noktalara ait değişim grafikleri aşağıdaki gibi gösterilmektedir.



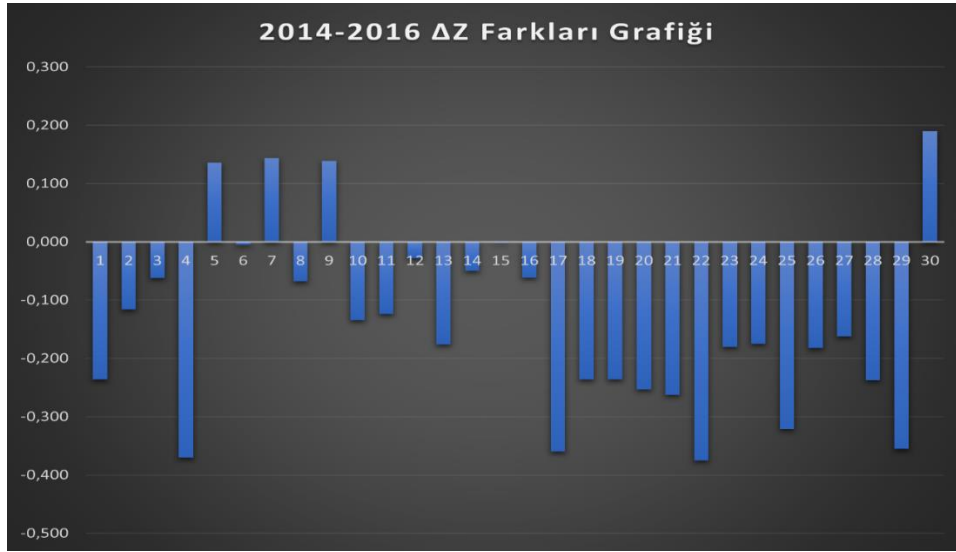
Şekil 4.38. 2014-2016 ΔX Koordinat Farkları Grafiği

Yukarıda şekil 4.37 de grafiği verilen 2014-2016 yılları arasındaki zamansal farklılık değerlendirildiğinde gelen manada X yönünde 27 adet noktada artı yönlü, 2 adet noktada eksi bir değişim olduğu gözlemlenmiştir.



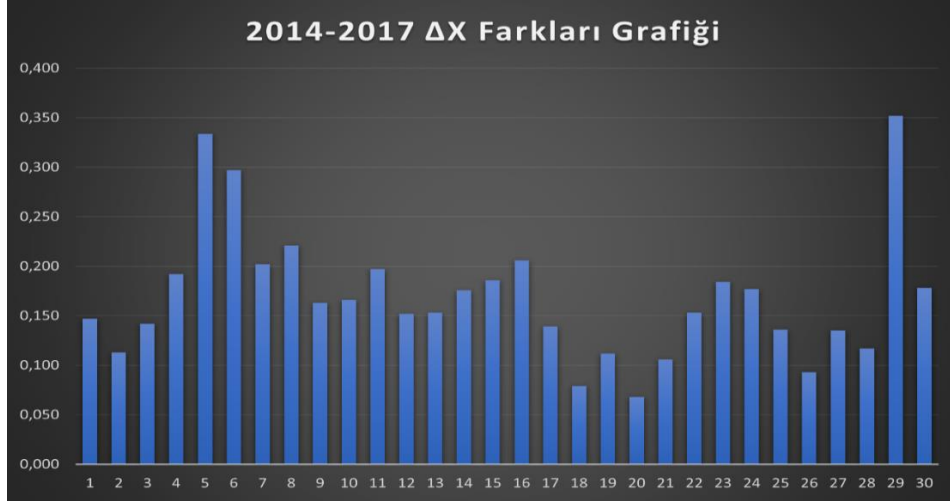
Şekil 4.39. 2014-2016 ΔY Koordinat Farkları Grafiği

Yukarıda şekil 4.38 de grafiği verilen 2014-2016 yılları arasındaki zamansal farklılık değerlendirildiğinde gelen manada Y yönünde 13 adet noktada artı yönlü, 16 adet noktada eksi yönlü bir değişim olduğu gözlemlenmiştir.



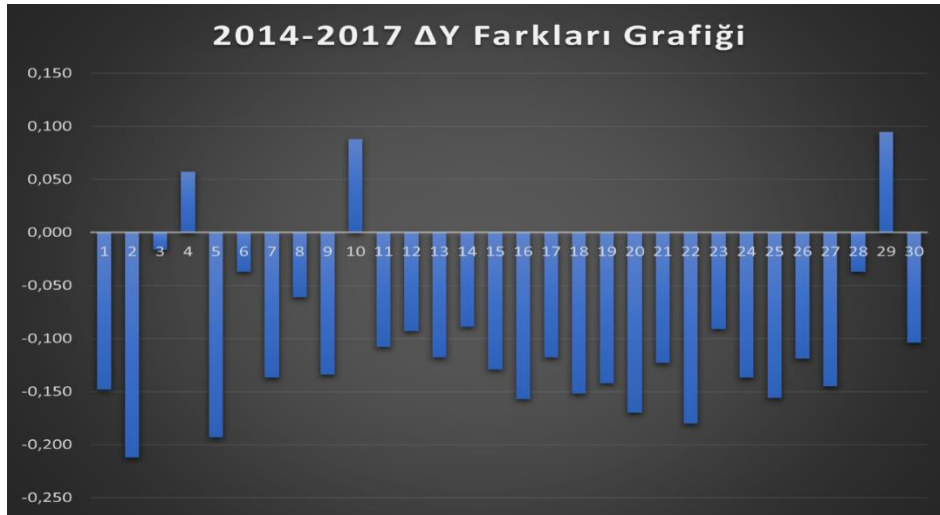
Şekil 4.40. 2014-2016 ΔZ Koordinat Farkları Grafiği

Yukarıda şekil 4.39 da grafiği verilen 2014-2016 yılları arasındaki zamansal farklılık değerlendirildiğinde gelen manada Z yönünde 4 adet noktada artı yönlü, 25 adet noktada eksi yönlü bir değişim olduğu gözlemlenmiştir.



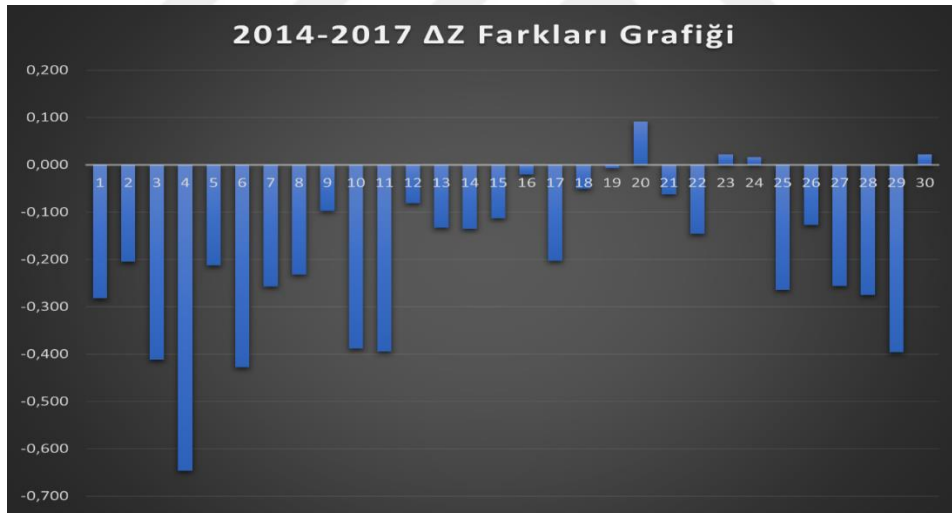
Şekil 4.41. 2014-2017 ΔX Koordinat Farkları Grafiği

Yukarıda şekil 4.40 da grafiği verilen 2014-2017 yılları arasındaki zamansal farklılık değerlendirildiğinde gelen manada X yönünde 29 adet noktanın tamamında artı yönlü bir değişim olduğu gözlemlenmiştir.



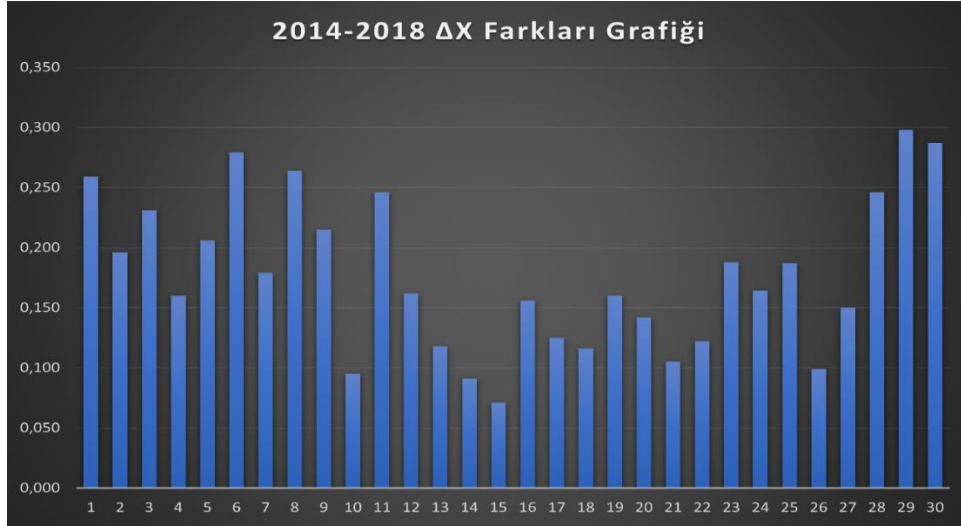
Şekil 4.42. 2014-2017 ΔY Koordinat Farkları Grafiği

Yukarıda şekil 4.41 de grafiği verilen 2014-2017 yılları arasındaki zamansal farklılık değerlendirildiğinde gelen manada Y yönünde 3 adet noktada artı yönlü, 26 adet noktada eksi yönlü bir değişim olduğu gözlemlenmiştir.



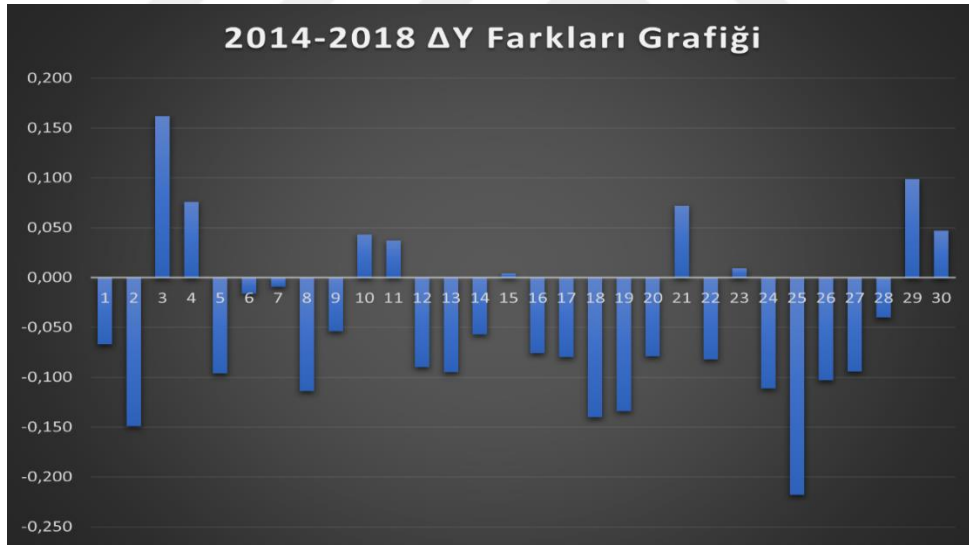
Şekil 4.43. 2014-2017 ΔZ Koordinat Farkları Grafiği

Yukarıda şekil 4.42 de grafiği verilen 2014-2017 yılları arasındaki zamansal farklılık değerlendirildiğinde gelen manada Z yönünde 4 adet noktanın tamamında artı yönlü, 25 noktanın eksi yönlü bir değişim olduğu gözlemlenmiştir.



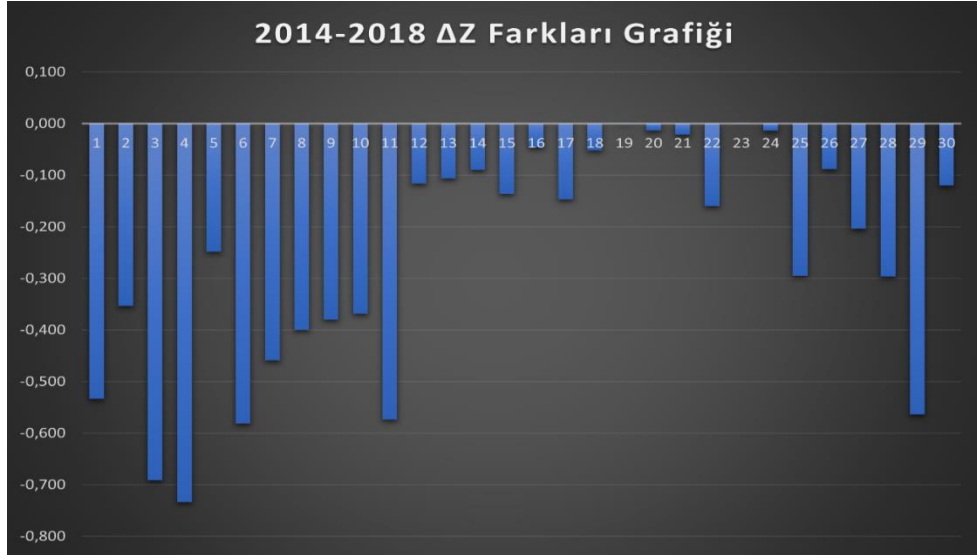
Şekil 4.44. 2014-2018 ΔX Koordinat Farkları Grafiği

Yukarıda şekil 4.43 de grafiği verilen 2014-2018 yılları arasındaki zamansal farklılık değerlendirildiğinde gelen manada X yönünde 29 adet noktanın tamamında artı yönlü bir değişim olduğu gözlemlenmiştir.



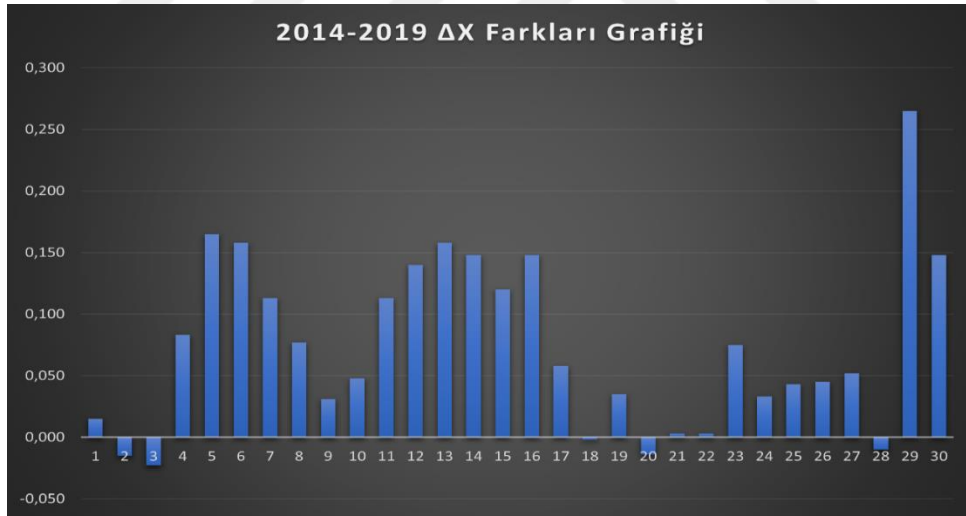
Şekil 4.45. 2014-2018 ΔY Koordinat Farkları Grafiği

Yukarıda şekil 4.44 de grafiği verilen 2014-2018 yılları arasındaki zamansal farklılık değerlendirildiğinde gelen manada Y yönünde 9 adet noktada artı yönlü, 20 adet noktada eksi yönlü bir değişim olduğu gözlemlenmiştir.



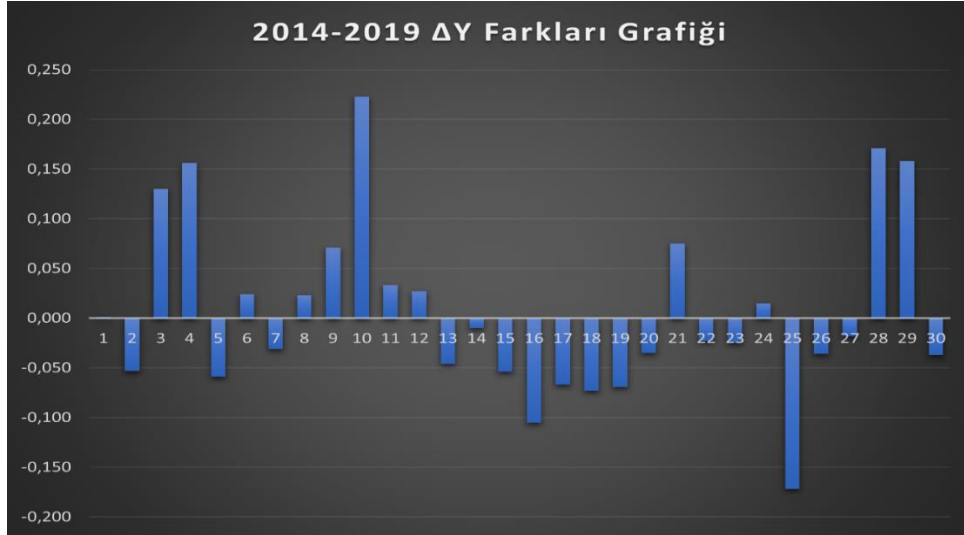
Şekil 4.46. 2014-2018 ΔZ Koordinat Farkları Grafiği

Yukarıda şekil 4.45 de grafiği verilen 2014-2018 yılları arasındaki zamansal farklılık değerlendirildiğinde gelen manada Z yönünde 29 adet noktanın tamamında eksi yönlü bir değişim olduğu gözlemlenmiştir.



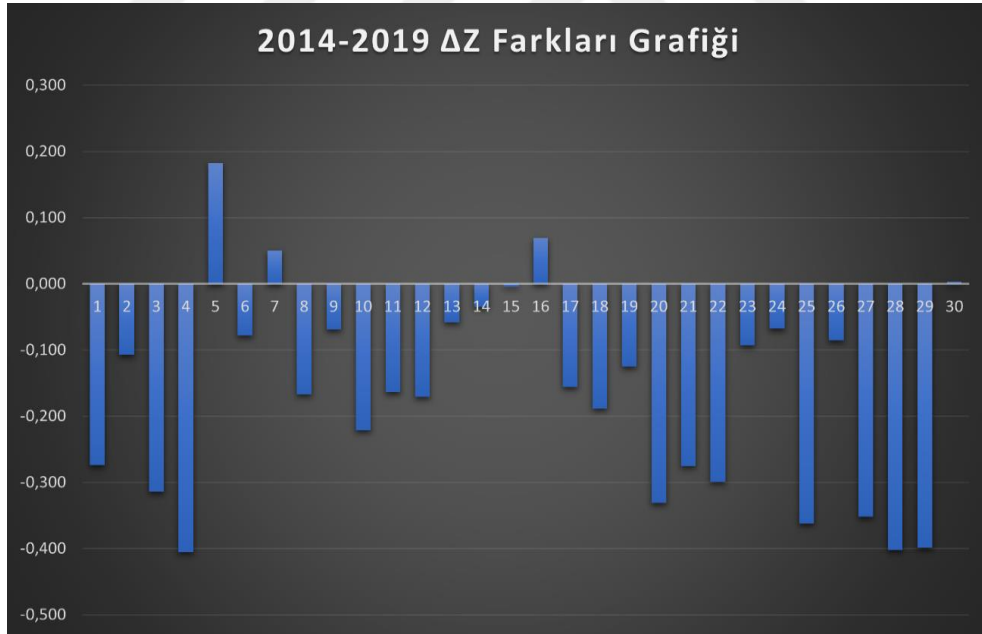
Şekil 4.47. 2014-2019 ΔX Koordinat Farkları Grafiği

Yukarıda şekil 4.46 da grafiği verilen 2014-2019 yılları arasındaki zamansal farklılık değerlendirildiğinde gelen manada X yönünde 24 adet noktada artı yönlü, 5 adet noktada eksi yönlü bir değişim olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.48. 2014-2019 ΔY Koordinat Farkları Grafiği

Yukarıda şekil 4.47 de grafiği verilen 2014-2019 yılları arasındaki zamansal farklılık değerlendirildiğinde gelen manada Y yönünde 12 adet noktada artı yönlü, 17 adet noktada eksi yönlü bir değişim olduğu gözlemlenmiştir.

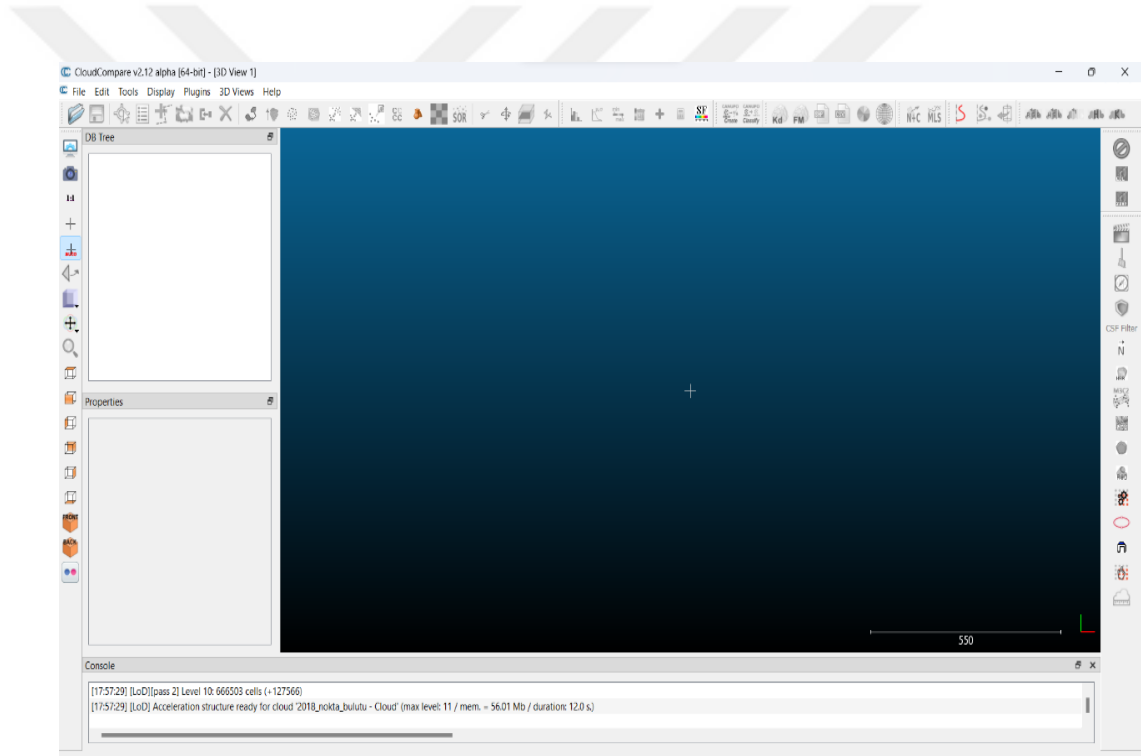


Şekil 4.49. 2014-2019 ΔZ Koordinat Farkları Grafiği

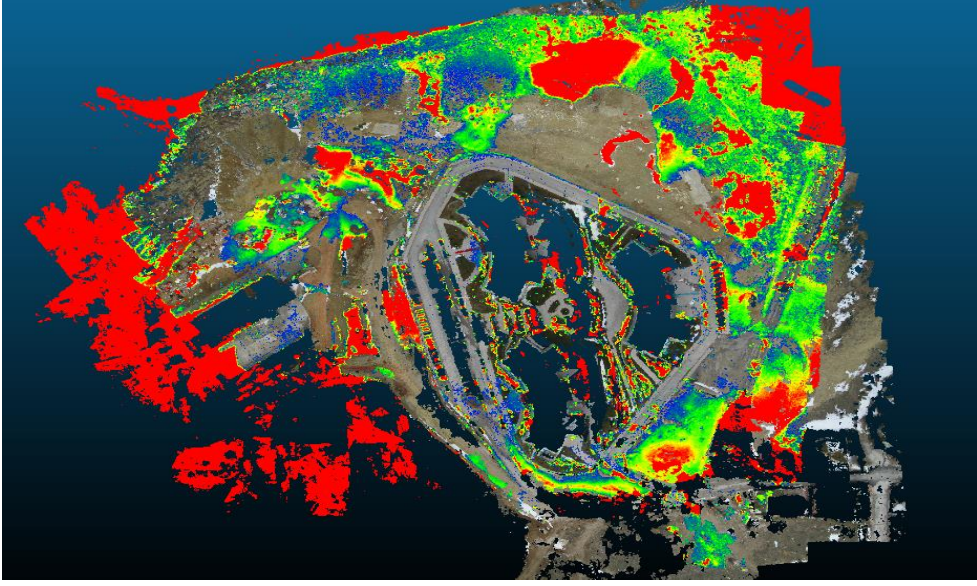
Yukarıda şekil 4.48 de grafiği verilen 2014-2019 yılları arasındaki zamansal farklılık değerlendirildiğinde gelen manada Z yönünde 3 adet noktada artı yönlü, 26 adet noktada eksi yönlü bir değişim olduğu gözlemlenmiştir.

4.4. Değişim Tabanlı Deformasyon Analizi

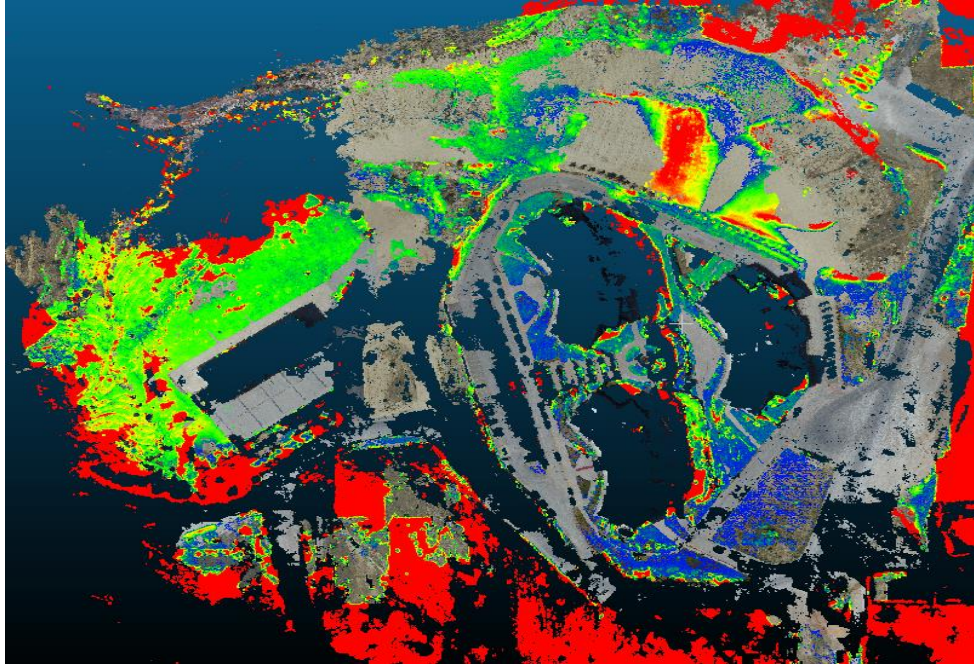
Agisoft Metashape Professional Yazılımı ile elde edilen 2014, 2016, 2017, 2018 ve 2019 yıllarına ait nokta bulutu verileri yukarıda bahsi geçtiği şekilde elde edilmiştir. Elde edilen veriler karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla sadece yer (ground) noktalarını içerecek şekilde program ara yüzünden ilgili işlemler yapılarak filtrelenmiştir. Filtreleme işleminin ardından CloudCompare yazılımı yardımı ile 2014-2016, 2016-2017, 2017-2018, 2018-2019 şeklinde birer yıl arayla karşılaştırılmıştır. Program ara yüzüne ait görseller ve karşılaştırma sonucunda ortaya çıkan renklendirilmiş nokta bulutu görselleri aşağıda yer almaktadır.



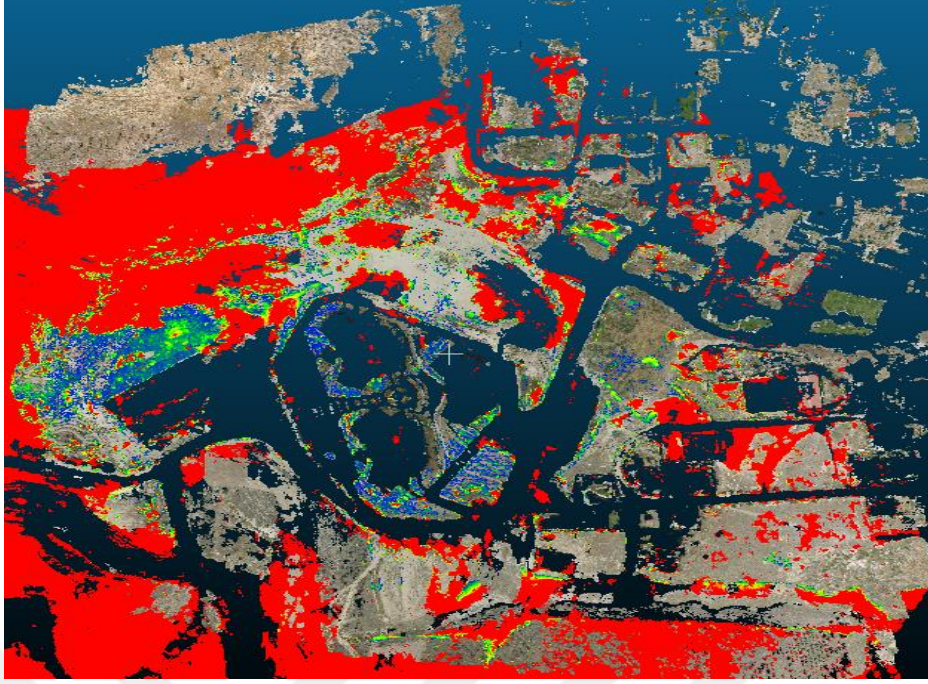
Şekil 4.50. CloudCompare Yazılımı Arayüzü



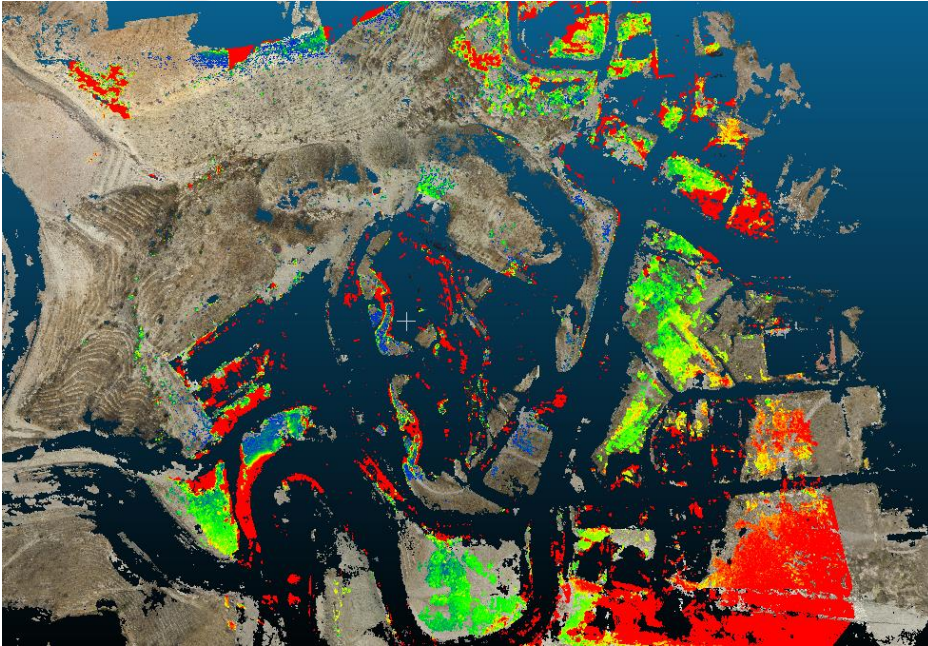
Şekil 4.51. 2014-2016 Nokta Bulutu Karşılaştırma



Şekil 4.52. 2014-2017 Nokta Bulutu Karşılaştırma



Şekil 4.53. 2014-2018 Nokta Bulutu Karşılaştırma



Şekil 4.54. 2014-2019 Nokta Bulutu Karşılaştırma

Yapılan karşılaştırmalar neticesinde mavi, yeşil ve kırmızı renk düzeninde ortaya çıkan karşılaştırma haritaları şekil 4.50, şekil 4.51, şekil 4.52, şekil 4.53 te gösterildiği gibidir. Kırmızıdan mavi renge doğru geldikçe değişimin yoğunluğu düşmektedir. Kırmızı ile gösterilen yerlerde değişim miktarı Z (Yükseklik) düzeyinde yüksek iken, mavi ve yeşil ile gösterilen yerlerde değişim miktarı Z (Yükseklik) düzeyinde daha

düşüktür. Çökme, kayma gibi hareketlerin ya da kazı dolgu işlemlerinin tespiti yapılırken bu yöntemden faydalanmak mümkündür.

4.5. İteratif Yöntem ile Deformasyon Analizi

İHA fotogrametrisi, topografik haritalama ve büyük ölçekli heyelan haritalaması için yaygın olarak kullanılmaktadır. Çoklu görüntülerden görüntü yoğun eşleştirmenin geliştirilmesi nedeniyle , İHA görüntüleri yüksek yoğunluklu 3B nokta bulutları oluşturabilir. 3B nokta bulutları yer yüzeyini temsil eder. İHA fotogrametrisi, 2.5B dijital yüzey modeli (DSM) ve 3B nokta bulutları üretebildiğinden İHA'lar geniş kapsamlı heyelan izlemede uygulama için büyük potansiyel göstermektedir.

Ancak çoğu çalışma, heyelan izlemede 3B yer değiştirme alanlarını türetmek için bir lazer tarayıcıdan alınan 3B nokta bulutlarını kullanır (Hinojosa-Corona vd, 2013). Hem lidar hem de görüntüden türetilen nokta bulutları karşılaştırılabilir olduğundan (Remondino ve diğerleri, 2014), görüntüden türetilen nokta bulutları, heyelan 3B yer değiştirme alanlarını çıkarmak için kullanılabilir. Bu çalışmanın amacı, büyük bir heyelan alanının çok zamanlı İHA görüntüsünden türetilmiş 3B nokta bulutlarından 3B yer değiştirme alanlarını tahmin etmektir. Topografik farklılaştırma, önce ve sonra elde edilen yüksek çözünürlüklü topografik verilerden 3 boyutlu yüzey yer değiştirmelerini tahmin etmek için kullanılan bir tekniktir

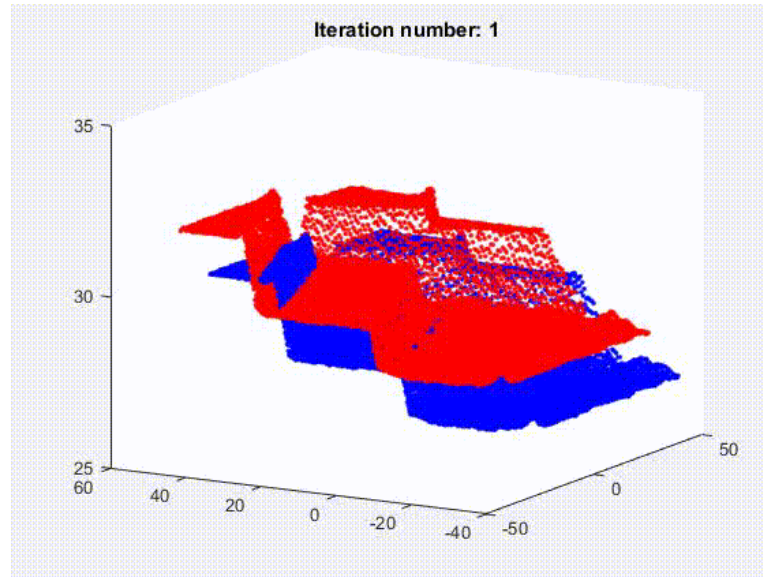
Türkiye, deprem, heyelan, kaya düşmesi, su baskını vb. doğal afetlerin sıkça meydana geldiği ülkelerin başında gelmektedir. Sık olarak meydana gelen afetler köprü, baraj, yol, bina, liman gibi mühendislik yapılarında ve bu yapıların çevresinde büyük zararlara ve çevrelerinde değişimlere yol açabilmekte, ayrıca topoğrafyada derin izler bırakabilmektedir. İnsan hayatını da riske sürükleyen bu tür afetlerin etkilerinin azaltılması ve ortadan kaldırılabilmesi için heyelan ve benzeri afetlerin meydana gelebileceği bölgelerdeki zemin hareketlerinin izlenmesi bir gerekliliktir. Bu konu, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği mesleğinin önemli bir çalışma alanını oluşturmuştur. Ölçme ve hesaplama tekniklerindeki gelişmeler, deformasyon izleme çalışmalarını, jeodezide önde gelen uygulamalardan biri konumuna getirmiştir.

İHA'lar ve dijital fotogrametrik kameraların son on yıldaki gelişimi ve yaygın kullanımı ile fotogrametrinin önemi artmış ve harita üretimi için daha uygun bir çözüm

haline gelmiştir. GNSS ölçü yöntemleri ile oluşturulan az miktarda ki yer kontrol noktaları ile doğrudan bağlantı kurarak veya İHA üzerinde bulunan RTK (Real Time Kinematic) GNSS sistemleri kullanılarak, yoğun yer örneklem noktaları kolaylıkla elde edilebilmektedir. Elde edilen yoğun nokta bulutları, eskiden yalnızca LİDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) ile elde edilebilmekteyken günümüzde İHA'ların kullanımı, yüksek doğrulukta ortofoto haritalar ve sayısal yüzey modeli yani DSM (Digital Surface Model) oluşturmaya imkân vermektedir. İHA'ların fotogrametrik potansiyeli yakın geçmişte çeşitli çalışmalarda değerlendirilmiştir. Bugünkü durumda birçok uygulamada da kullanılmaktadır. İHA Fotogrametrisi 2010 yılından sonra plaka hareketlerinin, büyük ölçekli heyelanların ve deformasyonların izlenmesi içinde kullanılmaya başlanılmıştır.

İHA fotogrametrisi ile bölge olası deformasyonlarda alansal olarak izlenebilmektedir. Deformasyon ölçülerinin değerlendirilmesinde her periyot ölçüleri birbirinden bağımsız olarak kendi içinde serbest ağ olarak dengelenir. Her periyot ölçülerinde ağı datum parametreleri dengeleme hesabı içinde belirlendiğinden datum parametreleri de hem ölçülerin hem de yaklaşık koordinatların bir fonksiyonu olur. Bu nedenle iki farklı periyot ölçüsünden elde edilen koordinatlar doğrudan doğruya birbiri ile karşılaştırılmaz. Periyotlar arasındaki datum birliği koordinat dönüşümü ile sağlanır.

Yinelemeli En Yakın Nokta (ICP) algoritması, üç adımı yineleyerek aynı nesneyi (bazen kaynak ve hedef bulutlar olarak da adlandırılır) örnekleyen iki karşılık gelen üç boyutlu nokta kümesini hizaya getirmeyi amaçlar (Şekil 4.55.). Kaynak buluttaki her nokta için hedef buluttaki en yakın nokta belirlenir. Eşleştirilmiş tüm noktalar arasındaki ortalama kare hatasını (MSE) en aza indiren hareketi (bir öteleme ve bir dönüşten oluşan bir katı cisim dönüşümü) hesaplıyoruz. Bu dönüşüm kaynak buluta uygulanır ve MSE güncellenir. Bu adımlar, MSE' de ki azalma belirli bir eşiğin altına düştüğünde belirlenen, en yakın nokta mesafelerinde yerel bir minimuma ulaşıncaya kadar tekrarlanır.



Şekil 4.55. 3B Nokta Kümesi

4.5.1. 3 Boyutlu Deformasyonlar

3 boyutlu sismik yüzey yer değiştirmeleri, Şekil 4.55'te gösterildiği gibi Yinelemeli En Yakın Nokta (ICP) algoritması kullanılarak öncesi ve sonrası yüksek çözünürlüklü topoğrafyadan hesaplanır (Besl ve McKay, 1992; Chen ve Medioni, 1992; Nissen ve diğerleri 2012). Bu algoritmada nokta bulutu topoğrafyası veri kümeleri pencerelenir. Her pencere için ICP algoritması, katı cisim dönüşümü kullanarak önceki nokta bulutunu sonra ki nokta bulutuyla yinelemeli olarak hizalar. Rijit cisim dönüşümü, deformasyonun bir yer değiştirme (veya öteleme) ve bir dönme ile iyi tanımlanabileceğini varsayar. Başka bir deyişle, bireysel pencere içindeki gerinim çok küçük olmalıdır. Hizalama için gerekli olan öncesi nokta bulutunun net yer değiştirmesi ve dönüşü, deformasyondur. Döndürmeleri ve yer değiştirmeleri matematiksel olarak tanımlamak için vektörler, matrisler ve matris çarpımı kullanılır. önceki nokta bulutuna bir döndürme ve öteleme uygulayabilir ve sonrası Dünya'nın topoğrafyasını tanımlayan bir nokta bulutu üretebiliriz. (1)

$$PC_{pre}^{deformed} = \begin{pmatrix} 1 & -\gamma & \beta \\ \gamma & 1 & -\alpha \\ -\beta & \alpha & 1 \end{pmatrix} PC_{pre} + \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{pmatrix}. \quad (1)$$

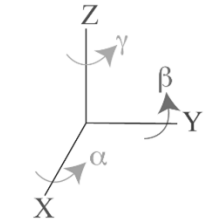
α , β ve γ , x, y ve z eksenleri etrafındaki dönüşlerdir ve t_x , t_y ve t_z , x, y ve z yönlerindeki ötelemelerdir. Dönme ve yer değiştirme genel olarak kısa ve öz bir şekilde şu şekilde tanımlanır. (2)

$$\begin{pmatrix} 1 & -\gamma & \beta & t_x \\ \gamma & 1 & -\alpha & t_y \\ -\beta & \alpha & 1 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

3 boyutlu deformasyonlar aşağıdaki gibi formülize (3) edilmektedir;

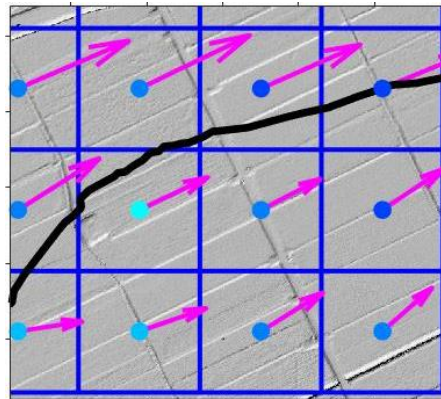
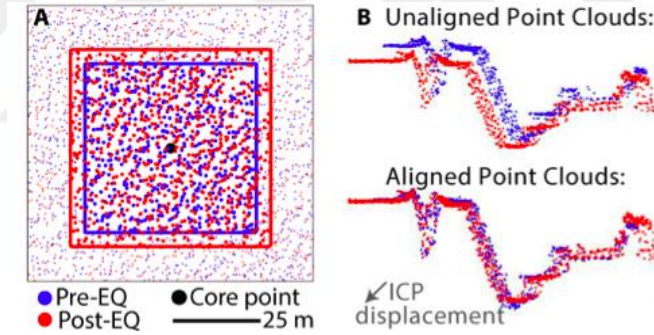
$$\text{Deformed point cloud} = \begin{pmatrix} 1 & -\gamma & \beta \\ \gamma & 1 & -\alpha \\ -\beta & \alpha & 1 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \text{Undeformed} \\ \text{point cloud} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}$$

Rotation
Translation

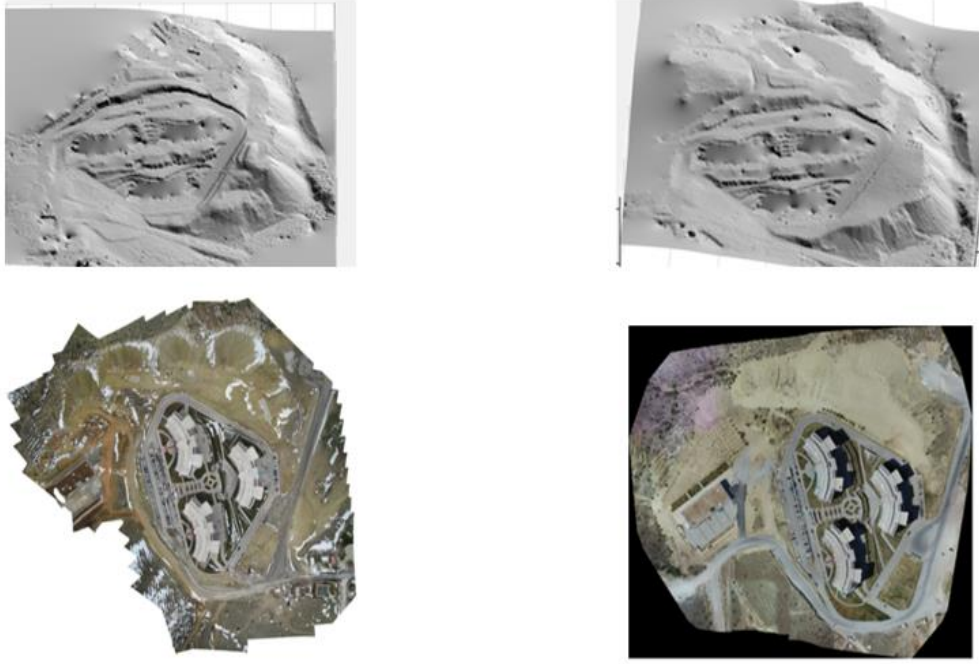


Coordinate system

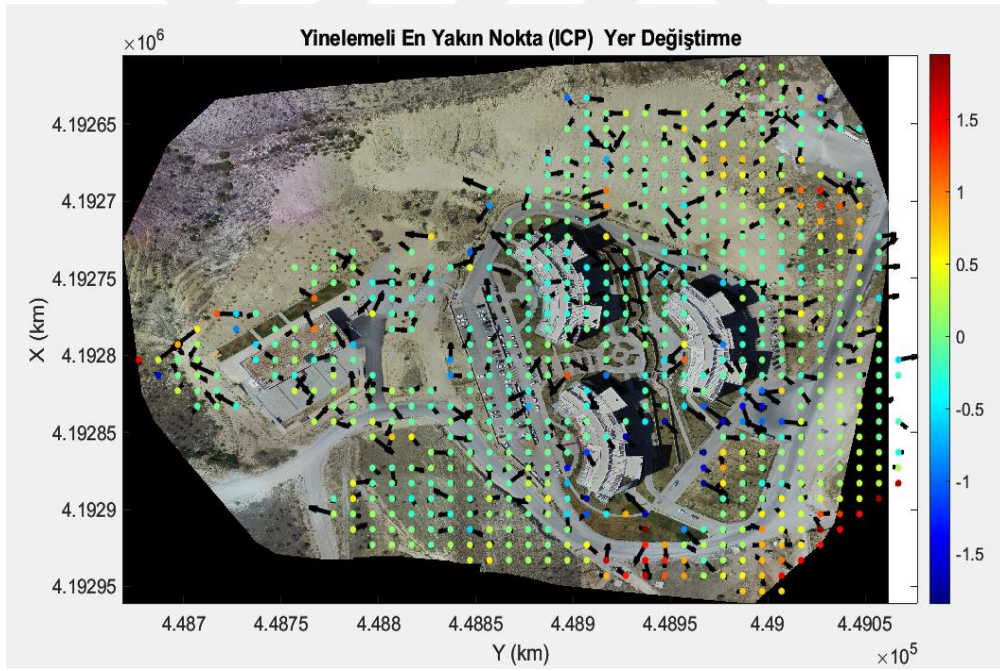
$$\varphi = \begin{pmatrix} 1 & -\gamma & \beta & t_x \\ \gamma & 1 & -\alpha & t_y \\ -\beta & \alpha & 1 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$



Şekil 4.56. Yinelemeli En Yakın Nokta (ICP) Algoritmasının Ana Hatları

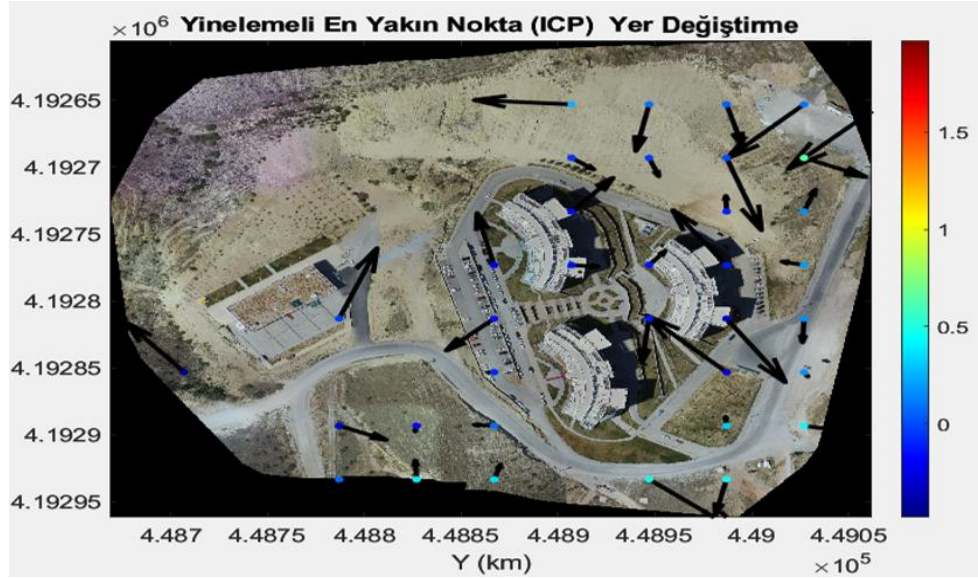


Şekil 4.57. 2014 Tarihli Nokta Bulutundan Elde Edilen 3B Yüzey ve Ortofoto



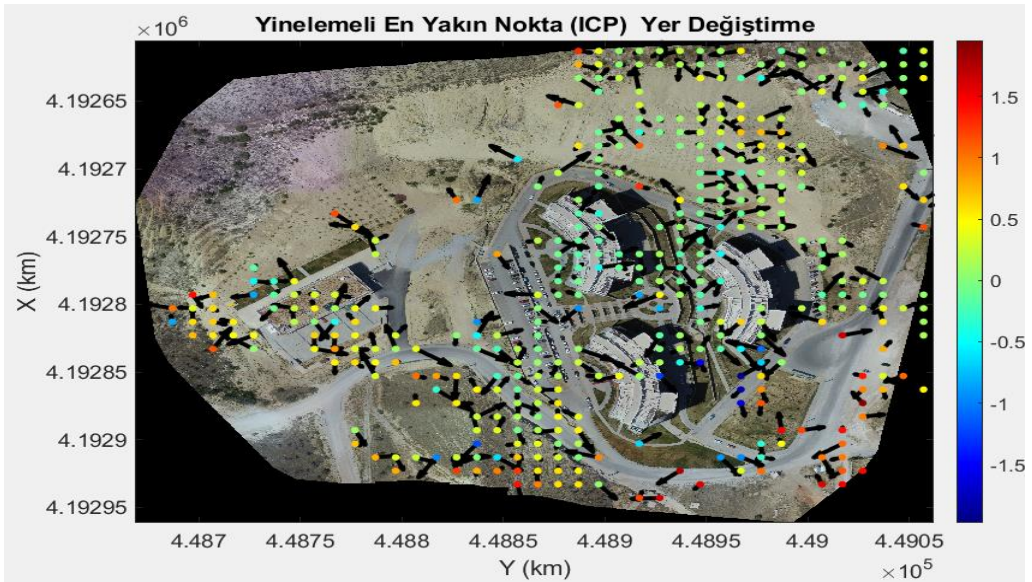
Şekil 4.58. 2014-2016 3B deformasyon (10 m)

Yukarıda şekil 4.57 de görseli verilen ve 10×10 grid aralığında analizi yapılan 2014-2016 yılları arasındaki zamansal değişim yönleri değerlendirildiğinde alansal anlamda her bir gridin içerisinde farklı yönlerde $\pm 1,5$ m aralığında hareketler olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin uygulama alanı içerisinde yer alan binaların köşe noktaları



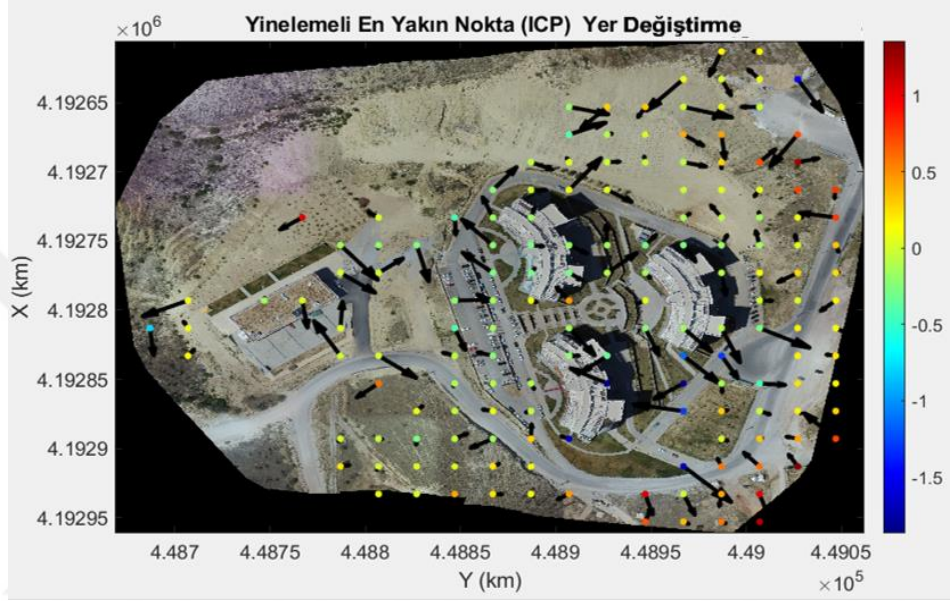
Şekil 4.60. 2014-2016 3B deformasyon (40 m)

Yukarıda şekil 4.59 da görseli verilen ve 40×40 grid aralığında analizi yapılan 2014-2016 yılları arasındaki zamansal değişim yönleri değerlendirildiğinde alansal anlamda hareket yönleri farklılık göstermektedir. Değişimler 0-1,5 m aralığındadır. Ok uzunlukları değişimin büyüklüğünü göstermemekle beraber yönünü tayin etmektedir. Hangi gridin hangi yöne hareket ettiği ve yukarıda değerlendirmesi yapılan diğer analizler ile de tutarlı olduğu görülmektedir.



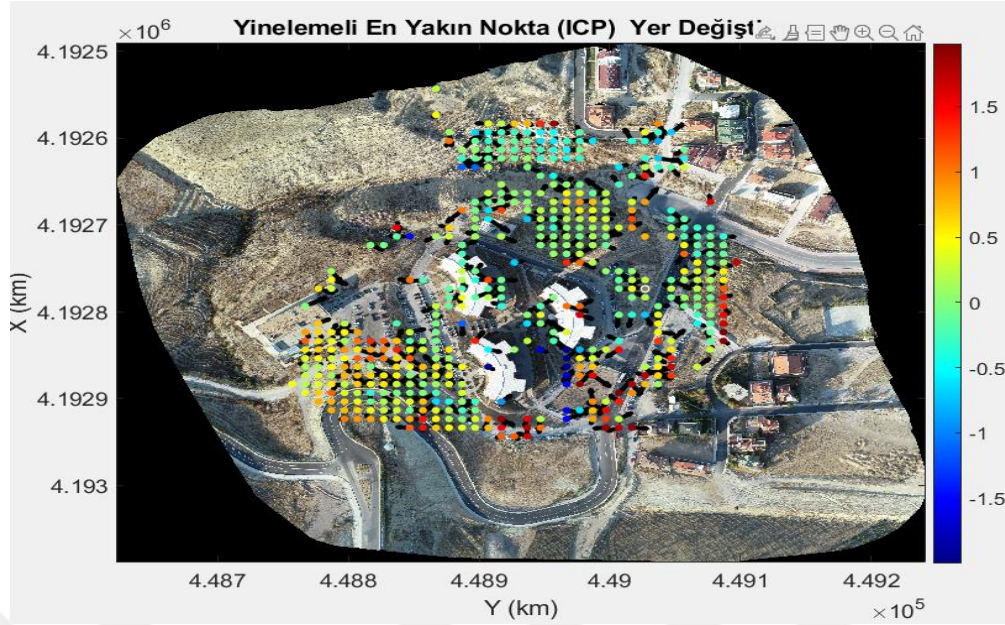
Şekil 4.61. 2014-2017 3B deformasyon (10 m)

Yukarıda şekil 4.60 da görseli verilen ve 10×10 grid aralığında analizi yapılan 2014-2017 yılları arasındaki zamansal değişim yönleri değerlendirildiğinde alansal anlamda gridler içerisinde farklı yönlere hareket eden alanlar olduğu gözlemlenmiştir. Değişimler $\pm 1,5$ m aralığındadır. 2014-2016 yıllarına ait 10×10 görseli ile karşılaştırıldığında ise aynı alanların yine 2017 yılında da aynı yöne doğru hareket ettiği gözlemlenmiştir.



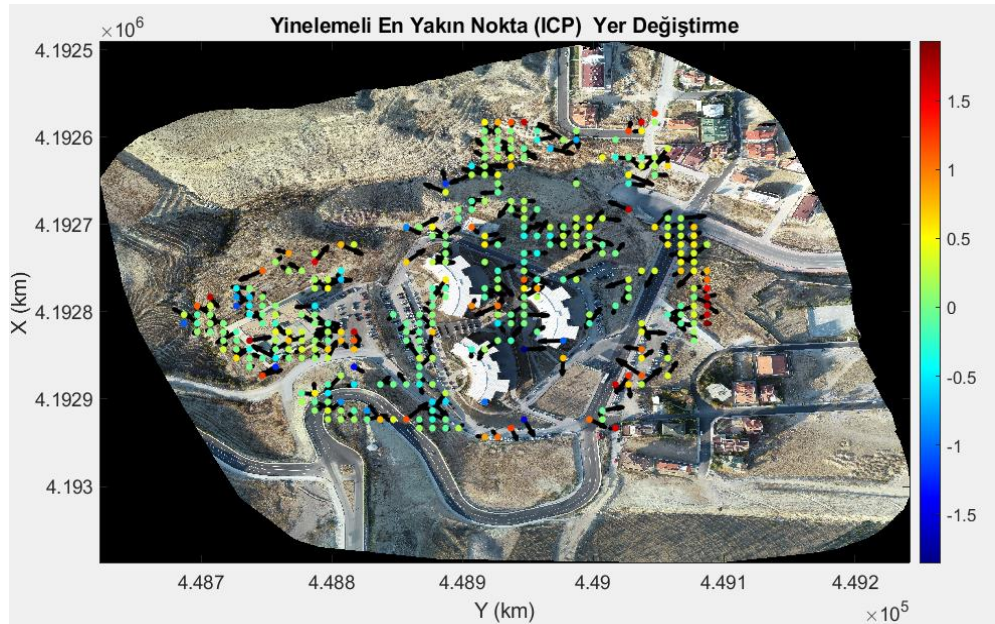
Şekil 4.62. 2014-2017 3B deformasyon (20 m)

Yukarıda şekil 4.61 da görseli verilen ve 20×20 grid aralığında analizi yapılan 2014-2017 yılları arasındaki zamansal değişim yönleri değerlendirildiğinde yukarıda değerlendirmesi yapılan görseller ile paralel sonuçlar verdiği görülmüştür. Değişimler $-1,5-1$ m aralığındadır. Gridler içerisinde farklı hareket yönleri bulunmaktadır. Bina köşelerinde farklı yönlerde hareketler olduğu tespit edilmiştir. Şev alanlarında aşağı yönlü bir hareket gözlemlenmiştir.

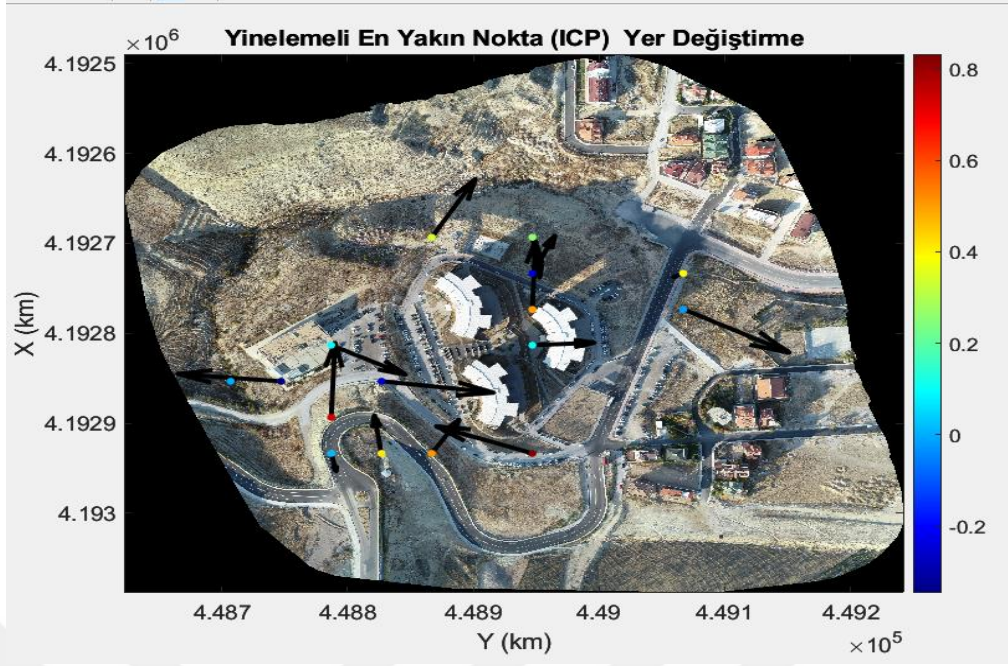


Şekil 4.63. 2014-2018 3B deformasyon (10 m)

Yukarıda şekil 4.62 de görseli verilen ve 10×10 grid aralığında analizi yapılan 2014-2018 yılları arasındaki zamansal değişim yönleri değerlendirildiğinde 2016 ve 2017 yıllarında yapılan alansal değişim analizi değerlendirmelerine paralel sonuçlar ortaya çıkmıştır. Değişimler -1,5-1 m aralığındadır.



Şekil 4.64. 2014-2019 3B deformasyon (10 m)



Şekil 4.65. 2014-2019 3B deformasyon (40 m)

Yukarıda şekil 4.63 ve şekil 4.64 de görselleri verilen ve 10×10 grid aralığında ve 40×40 analizi yapılan 2014-2019 yılları arasındaki zamansal değişim yönleri değerlendirildiğinde 2016,2017 ve 2018 yıllarına ait zamansal değişim görselleri ile paralel sonuçlar çıktığı görülmüş olup detaylar görseller üzerinde yer almaktadır. 2014-2019 yıllarında 10×10 grid aralığında değişimler $\pm 1,5$ m aralığında, 40×40 grid aralığında değişimler $-0,2-0,8$ m aralığındadır.

Yukarıda değerlendirmesi yapılan tüm görsellerde yer alan okların uzunlukları değişim miktarını ifade etmemektedir. Sadece değişimin yönünün doğru anlaşılması için boyutları büyük olarak kullanılmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mühendislik alanlarında son yıllarda ortaya çıkan gelişmeler sorunların çözümünde farklı sonuç ürünlerine yönelimi arttırmıştır. Fotogrametrik anlamda insansız hava araçlarının değerlendirme aracı olarak kullanılmaya başlanmasıyla birlikte çok farklı alanlarda sonuç ürünler elde edilmiştir. İnşaat, madencilik ölçmeleri, ziraat ölçmeleri, arazi yapılarında yaşanan değişiklikler, doğal afetlerle alakalı öngörülebilirlik ölçümleri, yapısal deformasyonların izlenebilmesi ve tespiti gibi daha pek çok alanda atılımlar gerçekleşmiştir.

İnsansız hava araçları ve fotogrametrik dengeleme yazılımlarının hızlı gelişimi sektörel anlamda birtakım kolaylıkları da beraberinde getirmiştir. Bu kolaylıkların başında hızlı sonuç ürün elde edilmesi, sonuç ürünlerde amaca yönelik yeterli hassasiyetin ortaya çıkması gelmektedir. Hızlı sonuç ürünlerin beraberinde yeterli donanıma sahip teknik personel ihtiyacını da ortaya çıkarması sektörün gelişimine katkı sağlamıştır.

Zamanla ortaya çıkan nokta ve alan hareketlerinin tespitinde dijital fotoğraflar yardımı ile üretilen nokta bulutu verileri kullanılarak olumlu sonuçlar elde edilebilmektedir. Ölçme aletlerinin gelişimi ve kullanılan yazılımlarda ortaya çıkan gelişmeler çalışmaların hassasiyetini arttırmıştır.

Yapmış olduğumuz çalışma göstermiştir ki İHA teknolojisi ve haritacılık alanında fotogrametrik ölçüm cihazları yardımı ile yapılacak zamansal değişim analizleri faydalı sonuçlar vermektedir. Noktasal anlamda değişimin yönünü ve miktarını tespit ederken alansal anlamda da iki farklı yöntem uygulanmış olumlu sonuçlar alınmıştır.

Çıkan sonuçlara göre 2014 yılı referans alınarak 2016, 2017, 2018 ve 2019 yılları ile nokta bazlı karşılaştırmada her yıl ortalama hareket yönünün benzerlik gösterdiği görülmüştür. 2014-2016 yıllarında X yönünde 2 noktanın eksi yönde 27 noktanın artı yönde hareket ettiği, Y yönünde 13 noktanın artı yönde, 16 noktanın eksi yönde hareket ettiği, Z yönünde 4 noktanın artı yönlü, 25 noktanın eksi yönlü hareket ettiği görülmüştür.

2014-2017 yıllarında X yönünde 29 noktanın tamamının artı yönde hareket ettiği, Y yönünde 3 noktanın artı yönde, 26 noktanın eksi yönde hareket ettiği, Z yönünde 4 noktanın artı yönlü, 25 noktanın eksi yönlü hareket ettiği görülmüştür.

2014-2018 yıllarında X yönünde 29 noktanın tamamının artı yönde hareket ettiği, Y yönünde 9 noktanın artı yönde, 20 noktanın eksi yönde hareket ettiği, Z yönünde 29 noktanın tamamının eksi yönde hareket ettiği görülmüştür.

2014-2019 yıllarında X yönünde 24 noktanın artı yönde, 5 noktanın eksi yönde hareket ettiği, Y yönünde 12 noktanın artı yönde, 17 noktanın eksi yönde hareket ettiği, Z yönünde 3 noktanın artı yönde, 26 adet noktanın eksi yönde hareket ettiği görülmüştür.

Alansal anlamda yapılan analizler neticesinde çalışma alanı içerisinde yer alan değişimin renklendirilmiş görselleri kullanılmış ve renk aralıklarına göre değişimin boyutu gösterilmiştir. Analizler dikkate alındığında her yıl aynı bölgelerde benzer değişimlerin ortaya çıktığı gözlemlenmiştir.

İteratif yöntemle yapılan alansal analiz neticesinde ise zamansal değişimin yönünü tespit etmek amaçlanmıştır. Yapılan analizler neticesinde çalışma alanının ayrı bölgelerinin farklı yönlere doğru hareket ettiği gözlemlenmiştir. Grid aralıkları farklı tercih edilerek oluşturulan görsellerde birbiri ile tutarlı olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmanın neticesinde nokta bazlı ve alan bazlı yapılan değerlendirmeler göstermiştir ki İHA teknolojisi ve fotogrametri iş birliği ile zamansal değişim analizi yapılabilmektedir. Çalışma standartlarını ve kullanılacak aletleri değiştirmeden yapılacak çalışmalar daha verimli sonuçlar ortaya çıkaracak olup oluşabilecek hata miktarını en aza indireceği öngörülebilir. Bunun yanı sıra kullanılacak olan yazılımların ve operatörün hassasiyeti de ortaya çıkacak sonuçları etkileyecektir.

KAYNAKLAR

Albert, J., Maas, H. G., Schade, A., Schwarz, W., 2002, Pilot studies on photogrammetric bridge deformation measurement, Proceedings of the 2nd IAG Commission IV Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering, 21–24 May, Berlin, Germany.

Avşar, E., 2006, Tarihi köprülerin Dijital Fotogrametri Tekniği Yardımıyla Modellenmesi (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Bayata, H. , 2002, GPS ile Deformasyon Analizi , GYTE, Yüksek Lisans Tezi, Gebze.

Chen, B., Pan, B., 2020, Camera calibration using synthetic random speckle pattern and digital image correlation. Opt Laser Eng, 126, 105919

Demirel, H. , 1987, S- Transformasyonu ile Deformasyon Analizi , Türkiye I. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 23-27 Şubat, Ankara.

Domingo, D., Ørka, HO., Næsset, E., Kachamba, D. & Gobakken, T. 2019, Effects of UAV Image Resolution, Camera Type, and Image Overlap on Accuracy of Biomass Predictions in a Tropical Woodland. Remote Sensing, 11(8):948.

Egels, Y., 2001, Digital photogrammetry, CRC Press, p.

Eisenbeiss, H. 2009, UAV Photogrammetry. Zurich: *Eidgenössische Technische Hochschule*.

Ekaso, D., Nex, F., Kerle N, 2020, Accuracy Assessment Of Real-Time Kinematics (RTK) Measurements On Unmanned Aerial Vehicles (UAV) For Direct Georeferencing, Wuhan University, Wuhan

Erkaya H., Hoşbaş, R. G., Gülal, V. E. 2002, Tarihi Yapılarda Deformasyon Ölçmeleri, Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, Konya

Ersoy, U., Özcebe, G. , 2004, Betonarme Kitabı . Ankara.

Fraser, C. S., Gruending L., 1985, The Analysis of Photogrammetric Deformation Measurements on Turtle Mountain, Division of Surveying Engineering The University of Calgary Calgary, Alberta T2N 1N4, Canada.

Gül, Y., 2019, Açık Maden İşletmelerinde İnsansız Hava Aracı (İHA) Uygulamaları, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Sivas.

Güler E, 2013, Tarihi Yapılarda Fotogrametrik Yöntemle Doku Deformasyonlarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Hemmelder, S., Marra, W., Markies, H., De Jong, S. M., 2018, Monitoring river morphology & bank erosion using UAV imagery–A case study of the river Buëch, Hautes-Alpes, France. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 73, 428-437.

Hinojosa-Corona, A., Nissen, E., Limon-Tirado, J. F., Arrowsmith, R., Krishnan, A., Saripalli, S., Oskin, M.E., Arregui, S.M., Teran, O.J., 2013, 3D deformation field from matching pre-to post-event aerial LiDAR point clouds, the 2010 El Mayor-Cucapah M7. 2 earthquake case. In: *AGU Spring Meeting Abstracts*, vol. 2013, pp. G31A-03.

Immerzeel, W.W., Kraaijenbrink, P.D.A., Shea, J.M., Shrestha, A.B., Pellicciotti, F., Bierkens, M.F.P., De Jong, S.M., 2014, High-resolution monitoring of Himalayan glacier dynamics using unmanned aerial vehicles. *Remote Sensing of Environment*, 150, 93-103.

İnal,C., 1989, Dengelemede Uyuşumsuz Ölçülerin Ayıklanması, *S.Ü.Müh.Mim.Fak.Dergisi*, 4,1,7-14.

Ja'uregui, D V., White, K. R., Woodward, C. B. and Leitch, K. R., 2003, Noncontact Photogrammetric Measurement of Vertical Bridge Deflection, *Journal of Bridge Engineering*, ASCE / Jul/Aug.

Kalkan ,Y., Alkan R. M., 2005, Mühendislik Yapılarında Deformasyon Ölçmeleri, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu 23-25 Kasım 2005, İTÜ – İstanbul.

Kolláth Z, Cool A, Jechow A, Kolláth K, Száz D, Tong KP, 2020, Introducing the Dark Sky Unit for multi-spectral measurement of the night sky quality with commercial digital cameras. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 107162.

Kolláth Z, Cool A, Jechow A, Kolláth K, Száz D, Tong KP, JoQS, Transfer R., 2020, Introducing the Dark Sky Unit for multi-spectral measurement of the night sky quality with commercial digital cameras. 107162.

Marangoz, A., 2002, Sayısal Kameralarla Tarihsel Yapıların Rölevelerinin Çıkarılması Olanakları (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Marre G, Holon F, Luqu, S, Boissery P & Deter J.,2019, Monitoring marine habitats with photogrammetry: a cost-effective, accurate, precise and high-resolution reconstruction method. *Frontiers in Marine Science*, 6, 276.

Nacar, F., 2015, Türkiye'deki Kadastro Yenileme Çalışmalarında Ortofoto ve Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntülerinin Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, T.C. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Niethammer, U., James, M.R., Rothmund, S., Travelletti, J., Joswig, M., 2012, UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results. *Engineering Geology*, 128, 2-11.

Niethammer, U., Rothmund, S., Schwaderer, U., Zeman, J., Joswig, M., 2011, Open source image-processing tools for low-cost UAV-based landslide investigations. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(1)/C22, 57-62.

Odumosu, J. O., Adeleke, O. O., Nnam, V. C., Avoseh, O. J. And Ogundeji, O. A., 2020, Stereophotogrammetry for 2-D building deformation monitoring using Kalman Filter, *Reports on Geodesy and Geoinformatics*, 2020, Vol. 110, pp. 1–7.

Özemir I, Uzar M., 2016, İHA İle Fotogrametrik Veri Üretimi. VI. UZAL-CBS Sempozyumu, 5-7.

Öztürk ,H., 2001, Çevre Jeolojisi Ders Notları, İ.Ü.

Öztürk O, Bilgilioğlu BB, Çelik MF, Bilgilioğlu SS, Raşit U., 2017, İnsansız Hava Aracı (İHA) Görüntüleri İle Ortofoto Üretiminde Yükseklik Ve Kamera Açısının Doğruluğa Etkisinin Araştırılması. *Geomatik*, 2, 3, 135-42.

Samad A. M., Kamarulzaman N., Hamdani M. A., Mastor T. A., Hashim K. A., 2013, The potential of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for civilian and mapping application. 2013 IEEE 3rd International Conference on System Engineering and Technology,313- 8.

Savunma Sanayii Müsteşarlığı, 2012) İHA Sistemleri Yol Haritası (2011-2030), Ankara.

Saygılı, B., 2019, İnsansız Hava Aracı İle Fotogrametrik Olarak Üretilen Verilerin Konum Doğruluklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.

Schenk T., 2005, Introduction to Photogrammetry, Autumn Quarter.

Sh. Amini ,A., Varshosaz M., Saadatseresht M., 2008, Deformation Determination Of Aircraft Parts By Photogrammetry, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B5. Beijing.

Stöcker C., Nex F., Koeva M., & Gerke M., 2019, UAV-based cadastral mapping: an assessment of the impact of flight parameters and ground truth measurements on the absolute accuracy of derived orthoimages. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences

Varlık A., 2008, Dijital Fotogrametri Teknikleri İle Kişi Tanıma, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi Ve Fotogrametri Anabilim Dalı, Konya.

Yastıklı N., Bayraktar H., 2014, Yoğun Görüntü Eşleme Algoritmaları ile Yüksek Çözünürlüklü Sayısal Yüzey Modeli Üretimi. 5. Uzaktan Algılama CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2014), 14-17 Ekim 2014, İstanbul.

Yıldırım, A.F., 2007, Mühendislik Yapılarının Deformasyon Analizinde GPS Ölçülerinin Kullanılabilirliği Modellenmesi (Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Konya.

Yıldız,F., 2010, Dijital (Sayısal) Fotogrametri Teknolojisi [Powerpoint sunum], Cebit Bilişim Zirvesi, İstanbul.

Yılmaz, H.M., Mutluoğlu Ö., Ulvi A., Yaman A., Bilgilioğlu., 2018, İnsansız Hava Aracı ile Ortofoto Üretimi ve Aksaray Üniversitesi Kampüsü Örneği, Aksaray.