



**T.C.
CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNSANSIZ HAVA ARACI FOTOGRAMETRİSİ İLE ALANSAL
DEFORMASYONLARIN İZLENEBİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

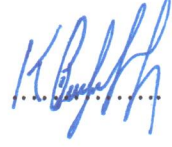
**Burak Can KARA
(20169249006)**

**Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU**

**SİVAS
ARALIK 2018**

Burak Can KARA' nın hazırladığı ve “**İNSANSIZ HAVA ARACI FOTOGRAMETRİSİ İLE ALANSAL DEFORMASYONLARIN İZLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI' nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı **Doç. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU**
Cumhuriyet Üniversitesi



Jüri Üyesi **Doç. Dr. Tekin SUSAM**
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi



Jüri Üyesi **Dr. Öğr. Üyesi Yavuz GÜL**
Cumhuriyet Üniversitesi



Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. İsmail ÇELİK
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.



Bu tez çalışması 02.03.2017 tarih ve 2017-587-2/1 nolu “**İnsansız Hava Aracı (İHA) İle Açık Maden İşletmelerinde Yüksek Çözünürlüklü Sayısal Arazi Modelleri, Hâlihazır Haritalarının Yapımı Ve Alansal Deformasyonların İzlenmesi İçin "Minegeop" Yazılımının Geliştirilmesi**” adlı KOSGEB projesi ve Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Döner Sermaye İşletmesi üzerinden yapılan “**Fimar, Emmioğlu ve Alternatif Mermer A.Ş.’ye Ait Amasya Mermer Ocağı Döküm Sahası Şevlerinde Deformasyonların Jeodezik Yöntemle İzlenmesi ve Değerlendirilmesi**” adlı proje kapsamında desteklenmiştir.



Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Burak Can KARA, 2018



Rahmetli babam Davut KARA'ya...

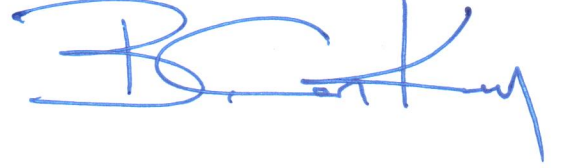
ETİK

Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

20.12.2018

Burak Can KARA



ÖZET

İNSANSIZ HAVA ARACI FOTOGRAMETRİSİ İLE ALANSAL DEFORMASYONLARIN İZLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Burak Can KARA

Yüksek Lisans Tezi

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU

2018, 113 + xviii Sayfa

Günümüzde heyelan hareketlerinin izlenmesinde birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden en yaygın olanları GNSS (Global Navigation Satellite System) ve InSAR (Interferometric Synthetic-Aperture Radar) yöntemleridir. Fakat bu iki yöntemde kendi içerisinde dezavantajları bulunmaktadır. GNSS yöntemi ile deformasyonlar nokta temelli ölçülürken, InSAR yönteminde ise deformasyonlar sadece LOS (Uydu Bakış Doğrultusu) yönünde tek boyutta ölçülmektedir. 3 boyutlu deformasyonların jeodezik olarak izlenmesinde yeni yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tez çalışmasında İnsansız Hava Aracı(İHA) Fotogrametrisi ile 3 boyutlu alansal deformasyonların belirlenmesi konusunda çözüm aranmıştır. Bu bağlamda çalışma alanını kapsayacak şekilde 46 adet plakadan oluşan İHA deformasyon ağı oluşturulmuş ve 3 periyot uçuş gerçekleştirilmiştir. Bu uçuşlar sonucunda oluşturulan ortofoto haritaları ve sayısal yükseklik modelleri(SYM) sayesinde, sahaya yerleştirilen özel plakalar geliştirilen yazılım ile otomatik olarak tespit edilmiş ve her bir İHA noktasının 3 boyutlu koordinatları elde edilmiştir. Elde edilen bu koordinatlardan noktalara ait hız değerleri kalman filtreleme tekniği ile tespit edilmiş, 3 periyota ait GNSS ve İHA konum grafikleri oluşturulmuş ve üretilen enterpole haritalardan deformasyonlar yorumlanmıştır. Sonuçlar eşlenik olarak yapılan hızlı statik GNSS ölçüleri ile kıyaslanmış ve sağa(n), yukarı(e), yükseklik(up) bileşenlerinde sırasıyla ortalama 0.9218, 0.7504, 0.8743 korelasyon değerleri elde edilmiştir. Netice itibari ile İHA fotogrametrisi yöntemi kullanılarak 3 boyutlu alansal deformasyonların izlenebilirliği araştırılmış, bir algoritma geliştirilerek yapılan uygulama sonuçları ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: İnsansız Hava Araçları, Fotogrametri, Deformasyon

ABSTRACT

THE INVESTIGATION OF TRACEABILITY OF 3D SPATIAL DEFORMATIONS BY UNMANNED AERIAL VEHICLE PHOTOGRAMMETRY

Burak Can KARA

Master of Science Thesis

Department of Geomatics Engineering

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU

2018, 113 + xviii Pages

Today, many methods are used in the monitoring of mass movements. The most common of these methods are GNSS (Global Navigation Satellite System) and InSAR (Interferometric Synthetic-Aperture Radar) methods. However, these two methods have their own disadvantages. While deformations are measured by GNSS method in point based method, deformations are measured in one dimension only in the direction of LOS (Satellite View Direction) in InSAR method. Geodetic monitoring of 3D deformations requires new methods. In this study, a solution was searched for determination of 3D spatial deformations by UAV(Unmanned Aerial Vehicle) photogrammetry. In this thesis, a UAV deformation network consisting of 46 plates was formed to cover the study area and 3 periodic flights were conducted. Thanks to orthophoto maps and digital elevation models created as a result of these flights; The special plates placed on the field were determined automatically by the developed algorithm and 3 dimensional coordinates were obtained. From these obtained coordinates, velocity values of the points were determined by kalman filtering technique, repetition graphs were created and maps of enterpole were formed and deformations were interpreted. The results were compared with the rapid static GNSS measurements performed in conjugate and the correlation values of 0.9218, 0.7504, 0.8743 were obtained in n, e, up components, respectively. As a result, the traceability of 3D spatial deformations has been investigated by using UAV photogrammetry method, an algorithm has been developed and the results are demonstrated.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle, Photogrammetry, Deformation

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU'na çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması süresince bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Doç. Dr. Fatih POYRAZ'a ve Dr. Öğretim Üyesi Yavuz GÜL'e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Donanım, yazılım ve arşiv desteğinden dolayı Geomine Ar-Ge Mühendislik Danışmanlık Yazılım Ltd. Şti. ile şirket çalışanı Mehmet Akif ŞAHİN'e ayrıca şirket stajyeri Erdemcan HASTAOĞLU'na teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresi boyunca her türlü desteği benden esirgemeyen eşim Elif KARA'ya, annem Sevilay KARA'ya ve bu süreçte yanımda olan tüm herkese sonsuz şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
TEŞEKKÜR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER DİZİNİ	xv
KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç Ve Kapsam	2
1.2 Önceki Çalışmalar.....	4
2. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI (İHA)	6
2.1 Tarihçe	7
2.2 İha'ların Sınıflandırılması.....	11
2.2.1 Kullanım Alanlarına Göre İHA'lar.....	12
2.2.1.1 Sivil Sistemler.....	12
2.2.1.2 Askeri Sistemler.....	16
2.2.2 Kanat sistemlerine göre İHA'lar.....	16
2.2.2.1 Sabit kanatlı	17
2.2.2.2 Döner kanatlı	18
2.2.2.3 Hibrit kanatlı ve diğerleri.....	19
2.2.3 Ağırlıklarına ve uçuş irtifalarına göre İHA'lar.....	19
2.2.4 Yakıt türlerine göre İHA'lar	20
3. İHA FOTOGRAMETRİSİ	21
3.1 Kısa Tarihi.....	21
3.2 Temelleri Ve İş Akışı.....	22
3.2.1 Yer kontrol noktalarının tesisi	22
3.2.2 Uçuş planlaması.....	22
3.2.3 Hava fotoğraflarının işlenmesi	24
4. KİNEMATİK DEFORMASYON MODELLERİ	27
4.1 Kalman Filtreleme Yöntemi.....	27
5. GELİŞTİRİLEN ALGORİTMA ve ÇALIŞMA PRENSİPLERİ	31
5.1 Algoritma Çalışma Prensipleri.....	32
5.1.1 Deformasyon plakalarının otomatik tespiti	32
5.1.2 Deformasyon plakalarının koordinatlandırılması.....	38
5.1.3 Hız değerleri ile enterpolasyon haritaları üretilmesi	39
5.1.3.1 Biharmonik spline enterpolasyonu	39
5.1.3.2 Doğal komşuluk enterpolasyonu	40
5.1.4 GNSS ve İHA konum fark grafikleri.....	41
6. UYGULAMA	48
6.1 Amaç	48
6.2 Kapsam.....	48
6.3 Çalışma Sahası	48
6.3.1 Çalışma sahası genel özellikleri	50
6.4 Arazi Ve Büro Çalışmaları.....	51

6.4.1 Plakaların tasarımı ve tesisi	51
6.4.2 GNSS ölçümleri ve İHA uçuşları	52
6.4.2.2 İha uçuşları.....	57
6.4.3 Ortofoto harita ve SYM'lerin üretilmesi	59
6.5 Geliştirilen Yazılım İle Ortofotolar Ve Sym'lerden Deformasyon Tespiti	67
6.6 Geliştirilen Yazılım Ve Gnsş İle Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması	75
6.6.1 İHA fotogrametrisi koordinat değerleri ve GNSS ile karşılaştırılması ..	75
6.6.2 Hız değerlerinin ve enterpolasyon haritalarının karşılaştırılması.....	87
6.6.3 D.35 Plakası'nın Değerlendirilmesi	102
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	104
KAYNAKÇA	107
ÖZGEÇMİŞ	112



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1	Tarih Boyunca Kullanılan İsimler.....	7
Şekil 2.2	İnsansız Bombalı Balon, 1848	8
Şekil 2.3	Erken İnsansız Hava Uçağı (Usaf Müzesi).....	10
Şekil 2.4	İnsansız Hava Aracı Bileşenleri	12
Şekil 2.5	İha Sivil Kullanım Alanları (Savunma Sanayii Müşteşarlığı, 2011)	13
Şekil 2.6	İha Sivil Kullanım Alanları (Savunma Sanayii Müşteşarlığı, 2011)	14
Şekil 2.7	Döner Kanatlı (Sol) - Sabit Kanatlı (Sağ).....	16
Şekil 2.8	Sabit Kanatlı İHA'lar (Blyenburg, 2006).....	17
Şekil 2.9	Döner Kanatlı İHA'lar (Blyenburg, 2006).....	18
Şekil 3.1	İha Fotogrametrisi İşlem Adımları (Gültekin Vd., 2016)	22
Şekil 3.2	Yer Kontrol Noktası (Https://Harita.Gov.Tr).....	23
Şekil 3.3	Doğrusallık Koşulu (Kraus, 2007)	25
Şekil 4.1	Kalman Filtresi İş Akış Diyagramı (Bayrak 2003).....	30
Şekil 5.1	Deformasyon İzleme Plakası(Üstten Görünüş).....	32
Şekil 5.2	Deformasyon İzleme Plakası(Yandan Görünüş).....	33
Şekil 5.3	Deformasyon Plakalarının Arazi Dağılımının Temsili Gösterimi	34
Şekil 5.4	Yaklaşık Koordinatlardan Hesaplanan Tarama Alanı.....	35
Şekil 5.5	Mavi Pikseller İçin Tarama Alanı	36
Şekil 5.6	Turuncu Ve Pembe Pikseller İçin Tarama Alanı	37
Şekil 5.7	Pembe Piksel Beyaz Tarama Alanı	38
Şekil 5.8	Turuncu Piksel Beyaz Tarama Alanı	38
Şekil 5.9	Delaunay Üçgeni	41
Şekil 5.10	Voronoi Diyagramı	41
Şekil 5.11	Def. Yaz. Algoritması Diyagramı	42
Şekil 5.12	Def. Yaz. Algoritması Diyagramı	43
Şekil 5.13	Def. Yaz. Algoritması Diyagramı	44
Şekil 5.14	Def. Yaz. Algoritması Diyagramı	45
Şekil 5.15	Def. Yaz. Algoritması Diyagramı	46
Şekil 5.16	Def. Yaz. Algoritması Diyagramı	47
Şekil 6.1	Deformasyon Takip Yazılımı Örnek Görüntü	48
Şekil 6.2	Tez Çalışma Alanı Yer Gösteri Haritası	49
Şekil 6.3	Çalışma Sahasından Görüntüler.....	50
Şekil 6.4	Deformasyon Plakası Üretim Aşaması	51
Şekil 6.5	Deformasyon Plakaları Üst Yüzey Tasarımı.....	52
Şekil 6.6	Deformasyon Plakalarının Tesisi(Gül Vd., 2018)	53
Şekil 6.7	Deformasyon Plakalarında Yapılmış Olan Gnsş Ölçümleri	54
Şekil 6.8	Deformasyon Plakaları Ve Dağılımları.....	57
Şekil 6.9	Kullanılan İha Ve Donanımlarına Ait Görüntüler	58
Şekil 6.10	Uçuş Planlaması	58
Şekil 6.11	İha Uçuş Anı	59
Şekil 6.12	%80 Boyuna Ve %60 Enine Bindirmeli Kolonlar	63
Şekil 6.13	Arazi Üzerindeki Bir Noktanın Temsil Edildiğı Fotoğraflar	63

Şekil 6.14	Araziye Ait Nokta Bulutu Ve 3d Model	63
Şekil 6.15	Periyot 1(P.1) Ortofoto Haritası Ve Sym.....	64
Şekil 6.16	Periyot 2(P.2) Ortofoto Haritası Ve Sym.....	65
Şekil 6.17	Periyot 3(P.3) Ortofoto Haritası Ve Sym.....	66
Şekil 6.18	Plaka Koordinat Onay Penceresi.....	70
Şekil 6.19	Plakaların Kullanıcı Onay Ekranında Gösterilmesine Ait Örnekler	71
Şekil 6.20	Otomatik Olarak Tespit Edilen Plakaların Haritadaki Konumları (P1) .	72
Şekil 6.21	Otomatik Olarak Tespit Edilen Plakaların Haritadaki Konumları (P.2)	73
Şekil 6.22	Otomatik Olarak Tespit Edilen Plakaların Haritadaki Konumları (P.3)	74
Şekil 6.23	D.1-5 Plakaları 3 Periyota Ait Gnss Ve İha Konum Fark Grafikleri	80
Şekil 6.24	D.6-10 Plakaları 3 Periyota Ait Gnss Ve İha Konum Fark Grafikleri ...	81
Şekil 6.25	D.11-15 Plakaları 3 Periyota Ait Gnss Ve İha Konum Fark Grafikleri .	82
Şekil 6.26	D.16-20 Plakaları 3 Periyota Ait Gnss Ve İha Konum Fark Grafikleri .	83
Şekil 6.27	D.21-25 Plakaları 3 Periyota Ait Gnss Ve İha Konum Fark Grafikleri .	84
Şekil 6.28	D.26-30 Plakaları 3 Periyota Ait Gnss Ve İha Konum Fark Grafikleri .	85
Şekil 6.29	D.31-34 Plakaları 3 Periyota Ait Gnss Ve İha Konum Fark Grafikleri .	86
Şekil 6.30	Biharmonik Spline Enterpolasyonu(V4) Ve Korelasyon Değerleri – N Bileşeni.....	96
Şekil 6.31	Biharmonik Spline Enterpolasyonu(V4) Ve Korelasyon Değerleri – E Bileşeni.....	97
Şekil 6.32	Biharmonik Spline Enterpolasyonu(V4) Ve Korelasyon Değerleri – Up Bileşeni.....	98
Şekil 6.33	Doğal Komşuluk Enterpolasyonu Ve Korelasyon Değerleri –N Bileşeni.....	99
Şekil 6.34	Doğal Komşuluk Enterpolasyonu Ve Korelasyon Değerleri -E Bileşeni.....	100
Şekil 6.35	Doğal Komşuluk Enterpolasyonu Ve Korelasyon Değerleri –Up Bileşeni.....	101
Şekil 6.36	D.35 Nok. Ait 3 Periyot Gnss Ve İha Konum Ve Konum Fark Grafikleri	102
Şekil 6.37	D.35 Noktasına Ait Kayma Haritası	103

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1	İha Sivil Kullanım Alanları (Savunma Sanayii Müşteşarlığı, 2011)	13
Çizelge 2.2	İha Sivil Kullanım Alanları (Savunma Sanayii Müşteşarlığı, 2011)	14
Çizelge 2.3	İha Kullanım Alanları	15
Çizelge 2.4	İha Sınıflandırma Örneği (Blyenburg, 2006)	19
Çizelge 2.5	Nato İha Sınıflandırması (Dalamagkidis, 2015)	20
Çizelge 6.1	Hızlı Statik Gnss Ölçüleri (Gül Vd., 2018)	55
Çizelge 6.2	Pix4d Yazılımında Kullanılan Proses Parametreleri	60
Çizelge 6.3	Gnss Ve İha Konum Fark Çizelgesi (P.1)	77
Çizelge 6.4	Gnss Ve İha Konum Fark Çizelgesi (P.2)	78
Çizelge 6.5	Gnss Ve İha Konum Fark Çizelgesi (P.3)	79
Çizelge 6.6	Gnss İle Elde Edilen Hız Değerleri ($V > 20$ Mm/Ay Olanlar)	87
Çizelge 6.7	İha Fotogrametrisi İle Elde Edilen Hız Değerleri	88
Çizelge 6.8	Gnss Ve İha Hız Değerlerine Ait Rmse Ve Vaf İndisleri	90
Çizelge 6.9	Gnss Ve İha Hız Değerlerinin Eşit Kabul Edilip, Edilemeyeceğine Dair Değerlendirmeler	92
Çizelge 6.10	Enterpolasyon Haritaları Korelasyon Sonuçları	94
Çizelge 6.11	D35 Nok. Ait Koordinat Farkları Ve Periyodik Konum Değişimleri	103

SİMGELER DİZİNİ

$\%p$	Boyuna Bindirme Oranı
$\%q$	Enine Bindirme Oranı
a	Kolonlar Arası Mesafe
A_{k+1}	Katsayılar Matrisi
a_{xj}, a_{yj}, a_{zj}	J Noktasının X,Y,Z Koordinat İvme Değerleri
B, b	Baz Mesafesi
c	İzdüşümü Merkezi
f	Odak Uzaklığı
f_{GNSS}	GNSS Ölçü Serbestlik Derecesi
$f_{İHA}$	İHA Ölçü Serbestlik Derecesi
F_m	Modelin Kapladığı Alan
H_0	Sıfır Hipotezi
H_K	Karşıt Hipotezi
I	Birim Matrisi
I_{k+J}	(t+1) Anındaki Ölçüler
i	Ölçülen Nokta Sayısı
m_b	Ölçek Faktörü
n	Ölçülen Nokta Sayısı
P	Cisim Noktası
P'	Fotoğraf Noktası
$Q_{\hat{Y}\hat{Y},k}$	(tk) Anında Durum Vek. Ait Kovaryans Matrisi
$Q_{ww,k}$	(tk) Anında Bozucu Etki İvmesi Kovaryans Matrisi
S	Fotoğraf Örneklem Mesafesi
S'	Yeryüzündeki Cismin Fotoğraftaki Uzunluğu
S_{gi}^2	İHA ve GNSS Ortak Varyans
S_{GNSS}^2	GNSS Varyans
$S_{İHA}^2$	İHA Varyans
S_x	Yatay Doğruluk
$S_x(\text{ölç})$	Ölçülen Yatay Doğruluk
$S_{k+1,k}^2$	(tk+1) ve (tk) Periyotları Arası Gürültü Vektörü
S_z	Düşey Doğruluk
$T_{k+1,k}$	Prediksiyon Matrisi
V_i^{GNSS}	GNSS ile Ölçülen Noktaların Hızları
$V_i^{İHA}$	İHA ile Ölçülen Noktaların Hızları
V_{xj}, V_{yj}, V_{zj}	J Noktasının X,Y,Z Koordinat Hız Değerleri
$v_{1,k+1}$	Düzeltilme Değeri
$X'Y'Z'$	Cisim Uzayı
$X_j^{(k+1)}, Y_j^{(k+1)}, Z_j^{(k+1)}$	J Noktasının (tk+1). Periyot Koordinat Değerleri
$X_j^{(k)}, Y_j^{(k)}, Z_j^{(k)}$	J Noktasının (tk). Periyot Koordinat Değerleri
\hat{Y}_k	(tk) Anındaki Durum Vektörü

\hat{Y}_{k+1}

\bar{Y}_{k+1}

w

$\xi\eta\zeta$

ω, φ, κ

(tk+1) Anındaki Durum Vektörü

(tk+1) Anındaki Durum Vektörü

(tk+1) ve (tk) Periyotları Arası Gürültü Vektörü

Fotoğraf Uzayı

Dönüklük Açı Fonksiyonları



KISALTMALAR DİZİNİ

3D	3 Dimension (Boyut)
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
CORS	Cross-Origin Resource Sharing
GCP	Ground Control Points
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GSD	Ground Sample Distance
IMU	Inertial Measurement Unit
INSAR	Interferometric Synthetic Aperture Radar
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
İHA	İnsansız Hava Aracı
İUS	İnsansız Uçak Sistemleri
KBRN	Kimyasal, Biyolojik, Radyoaktif, Nükleer
KYM	Kırmızı, Yeşil, Mavi
LOS	Line Of Sight
MİUS	Muharip İnsansız Uçak Sistemleri
RGB	Red, Green, Blue
RMSE	Root Mean Square Error
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TL	Türk Lirası
TUSAGA	Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı
USD	United States Dollar
VAF	Variance Account For
YKN	Yer Kontrol Noktası

1. GİRİŞ

“Yer kayması olarak da bilinen heyelanlar, kütle hareketleri arasında en etkili olanı ve en sık görülenidir. Yamaç dengesinin bozulması sonucu, yerçekiminin de etkisiyle arazinin bir bölümünün (kayaların, ufalanmış taşların, toprağın ve büyük ölçüde tabakaların) yamaç eğimi doğrultusunda hareket ederek şekil ve yer değiştirmesi olarak tanımlanabilir.” (Öztürk, 2002)

Ülkemiz iklim özellikleri, coğrafi yapısı ve morfolojik yapısı gibi etmenlerden dolayı doğal afetlerle karşılaşmaktadır. Bu doğal afetler can kayıplarına ve büyük ekonomik zararlara sebep olmaktadır. Afet İşleri Genel Müdürlüğü verilerine göre, geçtiğimiz elli yıllık(1961-2011) süreç içerisinde sadece heyelanlardan kaynaklanan maddi zararın ülke ekonomisine maliyeti 4.5 Milyar TL’dir. Bu maliyet sadece kaybedilen ve tekrar inşaa edilen yapılar için geçerlidir. Bunun yanı sıra yeni yerleşim yeri belirlemek, geçici iskan, arazi çalışmaları gibi maliyeti yüksek çalışmalar yapılmakta; zaman ve iş gücü kaybı gibi kayıp ve giderler de olmaktadır. (Demir, 2011)

“1958-2000 yılları arasındaki dönemde, Türkiye’de olmuş veya muhtemel heyelanlardan 4250 yerleşim birimi etkilenmiş ve bu olaylar sonucunda 197 kişi hayatını kaybetmiştir.” (Ergünay, 2007)

Bunların yanı sıra maden işletmelerinde de can ve mal kayıplarının olduğu kazalar meydana gelmiştir. Bu kazalara örnek olarak: 2001 yılında Kangal Kömür işletmesi döküm sahasında, 2013 yılında Afşin/Elbistan çöllolar sahasında ve 2016 yılında Siirt/Şirvan Maden Köyü açık bakır maden işletmelerinde meydana gelen heyelanlar gösterilebilir.

Görüldüğü üzere heyelanların sebep olduğu zararlar oldukça büyüktür. Bu zararların engellenmesi için olası heyelan bölgelerinin önceden tespit edilmesi ve heyelan tehlikesinin oluşup oluşmayacağıın izlenmesi gereklidir. Heyelan bölgelerinin izlenmesi için heyelan yüzeyinin periyodik olarak ölçülmesi ve bu yüzeyin üç boyutta doğru konumlandırılması gereklidir. Bu çalışmalar farklı şekillerde yapılmaktadır. Fakat genelde Küresel Konumlandırma Sistemi(GPS) ile tekrarlanan kampanyalar şeklinde ölçümler yapılarak gerçekleştirilmektedir. (Gili vd., 2000; Malet vd., 2000).

Günümüzde kütleli hareketlerin(heyelan, erezyon vb.) izlenmesinde Uzay radar görüntüleri de oldukça sık kullanılmaktadır. Uzay radar görüntülerinin değerlendirilmesi ile elde edilen yıllık hız değerleri tek boyutlu olup, kullanıcılara sadece uydu bakış doğrultusu -LOS (line of sight)- yönünde bilgi sunmaktadır. Fakat bilindiği üzere kütle hareketleri yapısına bağlı olarak üç boyutlu; kuzey-güney, doğu-batı ve yükseklik bileşenleri yönlerinde farklı büyüklüklerde gerçekleşebilmektedir. Bu yüzden uzay radar görüntüleri değerlendirilerek elde edilen LOS yönündeki tek boyutlu hız değerleri çalışma alanına ait kütle hareketlerinin incelenmesi için yeterli olmayabilir. Bir bölgenin yapısını hassas olarak belirleyebilmek için o bölgede oldukça fazla üç boyutlu hız bilgisine sahip jeodezik noktaya ihtiyaç vardır. Günümüzde kullanılan yöntemlerden birisi olan GNSS teknolojisi ise üç boyutlu hız bilgisini doğrudan üretmesine karşın, nokta sayısı ile doğru orantılı olarak maliyet ve zamandaki artış nedeniyle bunu yeterince destekleyememektedir. Diğer bir yöntem olan InSAR(Interferometric Synthetic Aperture Radar) tekniğinde ise nokta sayısı fazla olmasına karşın, ürettiği tek boyutlu hız verisi ile bunu yeterince karşılayamamaktadır. İHA fotogrametrisi üç boyutlu hız bilgisine sahip jeodezik noktaların üretilmesi açısından ve nokta sayısı yeterliliği bakımından ihtiyaçları karşılayabilecek düzeyde bir yöntemdir. Bu sebeple bu konuda araştırmaların yapılması ve deformasyonların izlenmesi konusunda İHA fotogrametrisinin kullanılabilirliğinin araştırılması ve artırılması önemlidir.

1.1 Amaç ve Kapsam

Tezin amacı, İHA kullanılarak fotogrametrik yöntem ile kütle hareketlerinin üç boyutlu izlenebilirliğinin araştırılması ve yukarıda konu edilen can ile mal kayıplarının önüne geçebilecek bir yöntem geliştirilmesidir. Bu amaç doğrultusunda İHA fotogrametrisi yöntemi ile deformasyonların izlenebilmesi için, piksel veya nokta bulutu tabanlı olup Kalman Filtreleme Tekniği'ne dayanan bir algoritma geliştirilmesi hedeflenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen üç boyutlu deformasyon miktarları ile hassas GNSS ölçüm sonuçlarından elde edilen üç boyutlu deformasyon miktarlarının karşılaştırılması ve böylelikle yeni geliştirilen yöntemin başarısının test edilmesi amaçlanmaktadır. Bunların yanı sıra İHA ve GNSS sonuçları birlikte yorumlanarak bu iki yöntemin entegre kullanımı ile ilgili çıkarımlar yapılması da ayrıca hedeflenmektedir. Bu kapsamda yapılan çalışmalarda tasarım detayları 5. Bölüm'de anlatılmış olan özel plakalar, çalışma sahasına belirli aralıklarla ve saha topoğrafyasına uygun olarak tesis

edilmiştir. Tesis edilen plakalar, geliştirilen algoritmanın güvenilirliğinin test edilebilmesi amacıyla periyodik olarak GNSS yöntemiyle -hızlı statik- ölçülmüştür. Bu ölçümlere eş zamanlı olarak sahada İHA uçuşları yapılmış ve PIX4D yazılımı kullanılarak İHA verilerinin değerlendirilmesi sonucu; nokta bulutları, ortofoto haritalar ve SYM'ler elde edilmiştir. Elde edilen ortofoto haritalardan ve SYM'lerden faydalanılarak alana ait yer değiştirmelerin, geliştirilen algoritma yardımı ile tespit edilmesi hedeflenmiştir. Bu işlem için tasarlanan algoritma, çok paradigmatlı bir sayısal hesaplama yazılımı ve dördüncü nesil bir programlama dili olan MATLAB kullanılarak yazılım haline dönüştürülmüştür. Çalışma sahasına belirli bir düzene göre tesis edilmiş özel tasarımı plakalar, geliştirilen bu yazılım sayesinde otomatik olarak ortofoto haritalardan tespit edilmiş ve üç boyutlu koordinatları belirlenmiştir. Belirlenen bu koordinatlar Kalman Filtreleme Yöntemi ile değerlendirilmiş ve noktalara ait hareket trendleri elde edilmiştir. Ayrıca Kalman Filtreleme Tekniği sonucunda elde edilen hız değerlerinden enterpolasyon haritaları oluşturulmuş ve alansal deformasyonlar yorumlanmıştır. Bu elde edilen sonuçlar neticesinde alana ait deformasyonlar belirlenmiş ve büyüklükleri değerlendirilmiştir.

Alansal deformasyonların izlenmesi konusunda İHA fotogrametrisi öneren bu tez aşağıdaki varsayımlara dayalıdır:

- Alansal deformasyonların piksel veya nokta bulutu tabanlı, Kalman Filtreleme Tekniği'ne dayanan bir yöntem ile İHA fotogrametrisi kullanılarak izlenmesi mümkün olabilir.
- Deformasyonların izlenmesinde İHA kullanımı, can ve mal güvenliğini riske atabilecek yersel ölçü yöntemlerini elimine edebilir.
- Deformasyonların izlenmesinde İHA kullanımı diğer yöntemlere göre proje maliyetini düşürebilir.
- Deformasyonların izlenmesinde İHA kullanımı hızlı ve kapsamlı olup, deformasyonların zamanında yorumlanması ve önlem alınması konusunda diğer yöntemlere göre daha etkili sonuçlar verebilir.
- Her seferinde sahanın tamamını gözle yada GNSS noktaları ile izlemek oldukça zor olduğundan İHA fotogrametrisi, izleme noktaları dışındaki alanlarda da olası anomalilerin belirlenmesine imkân sağlayabilir.

1.2 Önceki Çalışmalar

İHA'lar günümüzde birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Bu alanlardan biri de deformasyonlardır. Rau vd. (2011), heyelan tespiti ve bitki endeksleri hesaplamasını gerçekleştirmek için sabit kanatlı bir platform kullanmışlardır. Niethammer vd. (2011), açık kaynaklı bir yazılım kullanarak orto-mozaiik ve SYM'lerin oluşturulması ve bu veriler ile heyelanların izlenmesi konulu bir araştırma gerçekleştirmiştir. Yine Niethammer vd. (2012) İHA ile elde edilen yüksek çözünürlüklü SYM ve ortofotolar kullanarak mostra vermiş yüzey kırıklarını belirlemeye çalışmıştır. Bunun yanısıra InSAR tekniği ile İHA verilerini birlikte kullanmışlardır. Bu çalışmalarda İHA yöntemi ile elde edilen yüksek çözünürlükteki SYM'ler InSAR prosesleri için altlık olarak kullanılmıştır. Carvajal vd. (2011), yol güzergâhlarında heyelanların karakterize edilmesi için 12 Mpx'lik bir kamera taşıyan dört motorlu bir kopter kullanmışlardır. Deffontaines v.d.'de (2016) yaptıkları çalışmada Doğu Tayvan'da İHA kullanılarak üretilen yüksek çözünürlüklü SYM'leri SAR interferometrisi ile birleştirerek LOS yönündeki aktif deformasyonları belirlemişlerdir. Bir diğer çalışma da Matthias Nauman (2014) Rostock, Markgrafenheide (Almanya) ve çevresindeki bölgede bulunan bir alanda çalışmalarını gerçekleştirmiş ve bölgede belirli periyotlarda İHA ile yükseklik modelleri üreterek bunların farklarını karşılaştırmıştır. Shi vd. (2011), altyapı izleme uygulamalarını hedefleyen İHA tabanlı görüntü çiftlerinden, büyük deformasyonlara uğrayan cisimlerin tespiti üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Yine özellikle İHA fotogrametrisi 2010 yılından sonra plaka hareketlerinin izlenmesi içinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmalarda genelde çalışma sahasına ait periyodik SYM'ler oluşturularak, aralarındaki farklar belirlenmek suretiyle deformasyonların tespiti üzerinde çalışılmıştır. Deffontaines vd.'de (2016) yapısal aktif tektonik geometrilerinin deşifre edilmesi amacıyla yerel aktif tektonik kilit alanlarda, yüksek çözünürlüklü SYM elde etmek için İHA'ları kullanmışlardır. Mostra veren aktif deformasyonlar mevcut GPS verileri, PALSAR interferometrisi ve İHA verileri ile birlikte yorumlanmıştır. Başka bir çalışmadaysa Haiyu Lin, (2016) yersel veya uydu bazlı uzaktan algılamadaki heyelan izleme yöntemlerinin kusurlarının üstesinden gelebilmek için Çin'deki Three Gorges Rezervuarı'ndaki dik bir eğime sahip olan Qinglingou yamacını izlemek amacıyla İHA tabanlı uzaktan algılama yöntemi kullanmıştır. Bu yöntem ile üretilen nokta bulutlarını karşılaştırarak deformasyonları tespit etmeye çalışmıştır. Niethammer vd., (2008) düşük maliyetli bir İHA sistemi kullanarak süper-sauze çamur kaymasının Mayıs 2007 ve Ekim 2008

tarihleri arasında 2,7m ile 55.4 m arasında değişen deplasmanlar içerdiğini tespit etmişlerdir. Yine Niethammer vd., (2012) süper-sauze çamur kayması için daha detaylı olarak çalışmalar yapmış ve İHA ile değerli heyelan verileri üretilebileceğini fakat daha yüksek doğruluklar için iyileştirmeler gerektiğini vurgulamışlardır. Shi, Juan Wang vd., (2012) İHA ile üretilmiş yüksek çözünürlüklü görüntülerin fotogrametrik sebeplerden dolayı yaşadığı bozulmaları elimine edebilmek amacıyla deformasyon takibinde piksel tabanlı yaklaşımlar yerine nesne tabanlı yaklaşımlar önermişlerdir. Eker vd., (2018) Gallenzerkogel heyelanının (Aşağı Avusturya) İHA temelli gözlemini üç periyot olacak şekilde gerçekleştirmişlerdir. Verilerden elde edilen yüksek özünürlüklü SYM'ler, ortofotolar ve nokta bulutları ile heyelan alanında deformasyon haritalarını üretmişlerdir. Peppia vd., (2017) İHA'lar ile heyelan takibini sağlamak için yüksek özünürlüklü SYM'ler ve ortomozaikler üretmişler, alanın morfolojik özelleriklerinin deformasyon analizine sağlayabileceği ek katkıları araştırmışlardır. Peterman, (2015) Kuzeybatı Slovenya'nın batısındaki Karavanke Dağları'ndaki Koroska Bela köyünün yukarisındaki Potoska Planina heyelanının hareketlerini izlemek amacıyla yılda iki kez İHA ölçümleri gerçekleştirmiştir. Bölgede varlığı bilinen ve yılda 10 cm'den fazla kaymanın olduğu bilimsel çalışmalarla ortaya konulan hareketin, İHA ile de analizini ve takibini yapmıştır. Mokhtar vd., (2014) İHA ile izledikleri heyelan hareketinde SYM alanı ve 3D yüzey analizinden elde edilen hacimsel değişikliklerden alanın izlenmesine odaklanmışlardır. Turner vd., (2015) İHA kullanılarak elde edilen yüksek çözünürlüklü fotoğraflardan zaman serisi oluşturulması için 4 yılda 7 kez ölçüm yapmışlar ve bu çalışma ile bir heyelan dinamiğinin nispeten uzun bir zaman dizisi boyunca izlenebilirliğini ortaya koyar bir algoritma önermişlerdir.

2. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI (İHA)

Dönemin teknolojisine bağlı olarak farklı tanımlar ve isimler altında anlamlandırılan İHA'lar:

“İçinde pilotu ve yolcusu olmayan, sadece amaca uygun ekipman (video kamera, fotoğraf makinesi, GNSS, lazer tarama cihazı, vb.) taşıyan, uzaktan kumandalı ve/veya otomatik olarak görevini icra edebilen bir çeşit uçaktır.” (Kahveci & Can, 2017)

“Kendi güç sistemi olan, ölümcül olan ve olmayan faydalı yük taşıyan, otomatik olarak veya uzaktan komuta sistemi ile uçurulan pilotsuz hava araçlarına insansız hava aracı denmektedir.” (Akyürek, 2012)

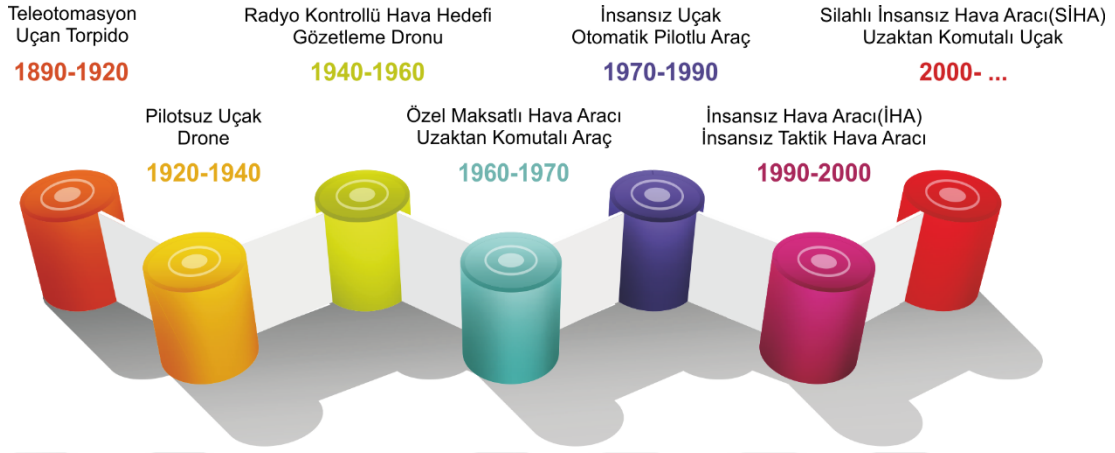
“Kendisini kullanan insanı taşımayan, kaldırma kuvveti oluşturmak için aerodinamik¹ kuvvetleri kullanan, kendi başına uçabilen veya uzaktan kumanda edilebilen, sarf edilebilir veya yeniden kullanılabilir ve öldürücü veya öldürücü olmayan faydalı yük taşıyabilen motorlu hava aracıdır.” (Savunma Sanayii Müsteşarlığı, 2011)

Bu tanımlardan yola çıkarak diyebiliriz ki: Çeşitli enerji kaynaklarını(elektrik vb.) ve ihtiyacı olan donanımları kullanarak havalanan; bir yer kontrolcüsü/istasyonu tarafından anlık olarak yönlendirilebilen yada önceden verilen bir görevi otonom olarak yerine getirebilen; askeri yahut sivil kullanım için gerekli araçları(yük) üzerinde taşıyabilen; bu araçlara belirli komutları iletebilen(hedefe mühimmat bırakma, fotoğraf çekimi vb.); havada sabit kalabilme, dönebilme, alçalabilme ve yükselebilme gibi özellikleri olabilen; gerektiğinde de istenilen konuma tekrar iniş yapabilen; üzerinde sürücüsü ve yolcusu olmayan hava araçlarına İHA denilmektedir.

Bir çok farklı tanımı olabilen İHA'ların tarihsel gelişim süreci içerisinde farklı farklı isimlendirmeleri de yapılmıştır. İHA'lar 1990'lı yılların başından itibaren “İnsansız Hava Aracı” şeklinde isimlendirilmeye başlanmıştır. Türkiye’de, operatif ve daha üst seviyedeki sistemler “İnsansız Uçak Sistemleri (İUS)” şeklinde, silahlı olanlar ise “Muharip İnsansız Uçak Sistemleri (MİUS)” şeklinde isimlendirilmişlerdir. Daha alt seviyedeki sistemler için ise “İnsansız Hava Aracı” tabiri kullanılmaktadır. (Terkan, 2015) .

¹ Hareket hâlinde olan bir cisim üzerinde havanın yarattığı etkiyi inceleyen bilim. (hava devinimi) (fizik) (TDK, 2018)

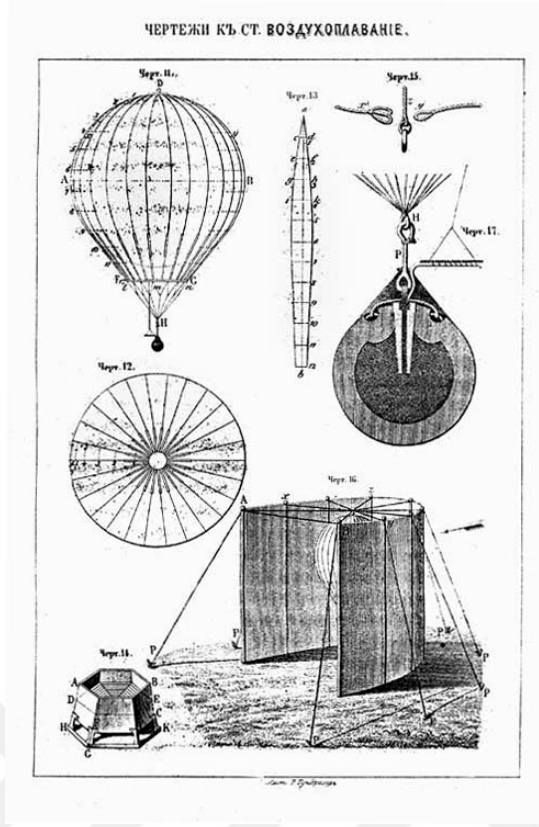
Dünya çapında bugüne kadar kullanılan terimlerin kronolojik sıralaması (Newcome, 2004) şekil-1’de sunulmuştur.



Şekil 2.1 Tarih Boyunca Kullanılan İsimler

2.1 Tarihçe

İnsansız hava araçlarının tarihi epey eskiye dayanmaktadır. İlk insansız hava aracını kullanan kişi Çinli General Zhude Liang(180-234) idi. Fakat bunlar çok basit, ışık saçan, ufak kağıt balonlardı (Jarnot, 2012). Yapı ve mantık olarak modern İHA’lardan farklı olsalar bile insansız balonlar da insansız hava araçları sınıfına dahil edilebilmektedir. Gerçek manada insansız balonların askeri amaçlı kullanımı Amerika’da 1793 yılına dayanmakta olup, bu balonlar iç savaşta sadece keşif amaçlı olarak kullanılmıştır. Silahlı ilk insansız hava aracı ise 22 Ağustos 1849 yılında Avusturyalılar’ın, içinde zaman fitilli bombalar bulunan 200 pilotsuz balonu(Şekil.2) Venedik şehrine göndermesi hava saldırısında ilk İHA kullanımı olarak kayıtlara geçmiştir. Bunun dışında Viyana kentinden Presse’nin aktardığına göre üretim halinde ki 23 fit çapındaki büyük beş balon rüzgar uygun hale geldiğinde Venedik semalarına gönderilmiş, tam şehrin üzerine geldiğinde büyük bir batarya ve yalıtılmış bakır tel sayesinde ateşlenmiş ve bu bombalar yere düştüğünde patlamışlardır. Fakat balonların bir bölümünün hedefler üzerinde patlarken bir bölümünün de rüzgârın etkisiyle geri dönüp Avusturya hatlarında patladığı da bilinmektedir. (Monash Üniversitesi, 2003).



Şekil 2.2 İnsansız Bombalı Balon, 1848

Bugün bildiğimiz insansız hava araçlarına tam olarak benzemesede aynı amaçla görev yapan ilk İHA 19. yüzyıl sonlarında New York’lu bir mucid olan Charles Perley tarafından geliştirildi. Zamanlamalı bir bomba bırakma mekanizmasına sahip balon, birliklerin üzerine gönderilerek belli bir zaman sonra bombayı hedefine bırakabilme kabiliyetine sahipti. Bugün “Gezici Mühimmat” olarak adlandırılan İsrail yapımı Harpy ve muadili uçakların atası sayılabilen bu uçağın otonom uçuş özelliği ve düşmanı tanımak için kullanacağı sensörlerinin olmaması onu günümüzün gezici mühimmat uçaklarından ayıran özellikleridir. Aynı tarihlerde William Eddy, yine bir mekanizma ile fotoğraf çekilmesini sağlayan bir uçurtma geliştirdi. Bu uçurtma Amerikan-İspanyol savaşlarında yüzlerce fotoğraf çekerek önemli bir başarıya imza attı. İlk insansız keşif/gözlem aracı olabileceği iddia edilebilen bu araç; kamera kalitelerinin çok yüksek olmaması, pilotlu uçakların pilotlarının daha net ve kesin gözlem yapabilmeleri sebebiyle o günlerde tarihe gömüldü (Uyar, 2010). Yine bu gelişmeler yaşanırken aynı zaman diliminde 19. Yüzyıl sonlarına doğru İngilizler de bu konuda çalışmalarını ortaya koymuşlardır. Savunma Sanayi Müştaşarlığı’nın yayınlamış olduğu *Türkiye İnsansız Hava Aracı Sistemleri Yol Haritası (2011-2030)* isimli eserde bu konu şöyle geçmektedir.

1883'te İngiliz Archibald, bir uçurtmaya anometre (rüzgar/hava hızını ölçen alet) iliştirip, meteorolojik ölçümler yapmıştır. Amerikan Hispanik savaşlarında, yine uçurtmaya yerleştirilmiş fotoğraf makineleriyle ilkel İHA istibarat uygulamaları gerçekleştirilmiştir. (Savunma Sanayii Müsteşarlığı, 2011).

Birbiriyle alakasız teknolojik gelişmeler birbirlerinin katalizörü olabilmektedir. İnsansız hava araçlarında da durum böyle olmuştur. Wright Brothers'ın 1903'teki uçuşundan önce ünlü elektrik mucidi Nicola Tesla, 1890'ların sonunda uçan bir klavuzlu bomba olarak uzaktan kumandalı bir uçak fikrini desteklemiştir. 1898'de "telautomation" olarak isimlendirilen ve dünyanın ilk uzaktan kontrol edilebilen su altı torpidoları ile ilgili çalışmaları Tesla'nın desteklediği klavuzlu uçan bomba fikrine model olmuştur. Tesla'nın frekans ayırma çalışmalarına devam etmesi ve ilk modern telsiz icat etmesi bir başka mucit olan Elmer Sperry'nin ilk gyrocontrol sistemini geliştirmesine olanak sağlamıştır. Çalışmalarında torpidolar üzerine yoğunlaşırken, ağır ve önemli yüklerin yönlendirilerek daha yavaş hareket ettiğini fark eden Sperry hava alanındaki boşluğu da düşünerek bu alanda çalışmalarını sürdürmeye karar vermiştir. İlk ciddi çalışmalar 1916'da Elmer Sperry'nin ABD deniz kuvvetlerine ait Curtiss uçağının gyro-stabil uçuşunu göstermesiyle başlamıştır. 1918 yılında Sperry ABD Donanması için küçük, hafif, pilotsuz bir şekilde yaklaşık 1 km uçabilen; herhangi bir hedefe yönelebilen ve taşıdığı savaş başlığını hedefin yakınlarında patlatabilen bir İHA tasarlamıştır. Çalışmalar sonucunda istikrarlı bir şekilde uçabilen, belirlenen hedefe yönlenebilen ve istenilen yer ve zamanda hedefine üzerinde ki bomba ile dalabilen Curtis N-9 isimli İHA(Şekil 3) geliştirilmiştir. (Jarnot, 2012; Savunma Sanayii Müsteşarlığı, 2011; Shaw, 2014)

Bu sırada ilk "otonomi" kavramı, ABD'li Charless Kattering tarafından geliştirilmiş olup kumandaları önceden ayarlanabilen ve bu sayede hedef üzerine geldiğinde kendiliğinden dalışa geçebilen "Kattering Bug" isimli uçağın 1918 yılındaki ilk uçuşuyla ortaya çıkmıştır. İlk "uzaktan kumanda" kavramının temeli ise Elmer Sperry'nin oğlu Lawrance tarafından geliştirilen ve radyo dalgalarıyla kumanda edilebilen Messenger'in 1920'de uçuşuyla atılmıştır (Savunma Sanayii Müsteşarlığı, 2011).



Şekil 2.3 Erken İnsansız Hava Uçağı (USAF Müzesi)

Bu yıllardan sonra 1939 yılına kadar olan dönemde hava araçlarının savaşlarda ki önemi anlaşılmiş ve hava savunma silahlarının geliştirilmesi üzerinde durulmuştur. Gelişen hava savunma silahları insanlı uçaklarda meydana gelebilecek kayıpları artırdığı için içerisinde insan bulunmayan sahte uçaklar düşman savunma sistemini oyalamak amacıyla üretilmiştir. Bu da İHA'ların daha hızlı gelişim göstermesine sebebiyet vermiştir. MQM-33, 1933 yılında sahte uçakların ilk ve en çok bilinen örneği olarak ortaya çıkmış ve yaklaşık 48.000 adet üretilerek 2. Dünya savaşı boyunca ABD tarafından kullanılmıştır (Jarnot, 2012; Terkan, 2015).

1940'lı yıllarda ABD donanması ile hava kuvvetleri, bomba taşıyan ve ilk defa üzerinde kamerası bulunan İHA'ların seri üretimini yapmıştır. Düşük çözünürlüklü bir kameraya sahip olmasına rağmen bu, İHA'ların kullanımı açısından kayda değer bir gelişme olmuştur (Zaloga, 2008) 'den (Terkan, 2015).

2. Dünya Savaşı sırasında Hitler'in emriyle sivillere karşı kullanılmak amacıyla geliştirilen ve V-1 ismi verilen uçan bombalar, 408 knot'a kadar hız yapabilme ve aynı zamanda üzerinde taşıdığı 900 kg'lık bombayı istenilen zamanda bırakabilme özelliğine sahipti. İngiltere'ye karşı kullanılan ve birçok insanın ölümüne yol açan bu araçlar, ilk insansız bombardıman uçağı unvanını elde etmiştir (Akyürek, 2012). Bu dönemden sonra radar haritalamanın ve radyo navigasyonun gelişmesi, İHA'ların hedefe kadar ve hedeften geriye otonom olarak yeterli doğrulukta uçabilmesi ilerlemelerini beraberinde

getirdi. Bu dönemde keşif amaçlı ve yem amaçlı İHA'lar üretildi (Zaloga, 2008; Jarnot, 2012'den Terkan, 2015).

İHA'lar askeri alanda elde ettiği başarılar sonrasında sivil havacılıkta da aktif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Düşük maliyetli olması ve insansız uçabilme özelliği ile çalışma alanlarının zor olduğu bölgelerde başta “iş güvenliği ve sağlığı” açısından olmak üzere, ekonomik açıdan da birçok fayda sağlamaktadır. İHA'ların sivil havacılıkta; petrol hatlarını, demiryolu hatlarını, yüksek yapıları kontrolde; zirai ilaçlamada; ürün rekoltesini tespitite; deprem anında ve benzeri birsürü alanda kullanımı mümkündür (Ekşi, 2013). Modern insansız hava araçlarının kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu yaygın kullanım İHA'lar üzerinde yapılan çalışmaların daha da hızlanması ve mikro boyutlardan makro boyutlara varıncaya kadar silahlı veya silahsız İHA'ların üretiminin yaygınlaşmasına sebebiyet vermiştir.

Bilinen en iyi İHA cihazları çok ağır ve pahalı sensörlere sahip oldukları için sivil kullanım için uygun olmasa da, artık mevcut durumda bir kişi tarafından taşınacak kadar hafif ve maliyet/fayda oranı oldukça yüksek birçok İHA bulunmaktadır. Bu küçük İHA'ların çoğu fotogrametrik uygulamalarda kullanılmakta ve özellikle kamera, GPS, IMU, radyo bağlantısı ve küçük bir bilgisayar işlemcisi ile donatılmaktadır. Bu ufak İHA'ların çoğunun fiyatı 5000 ila 60.000 USD (Amerikan Doları) arasındadır. Ağırlıkları ise genellikle 0.5 ila 3.5 kg arasındadır. Bu cihazlar haritacılık, madencilik, tarım, çevre izleme ve yönetimi, şehircilik, koruma gibi çeşitli uygulamalarda halen kullanılmaktadır (Barry ve Coakley, 2013). İHA'ların fotogrametri alanında kullanımı ve gelişim süreci Bölüm 3'te detaylıca anlatılmıştır.

Öte yandan İHA'ların askeri ve sivil kullanım açısından işlevselliğinin artmasına yönelik çalışmalar ve gelişmeler günümüzde de hızla devam etmektedir.

2.2 İHA'ların Sınıflandırılması

İHA'lar; kullanım alanlarına, kanat sistemlerine, ağırlıklarına, faydalı yük tiplerine ve yükseldikleri irtifalar gibi birçok özelliğine göre sınıflara ayrılabilir. Bu sınıflar İHA'ları oluşturan sistemlerin(Şekil 2.4) farklılık gösteren özelliklerinin getirdiği gruplamalar olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 2.4 İnsansız Hava Aracı Bileşenleri

2.2.1 Kullanım alanlarına göre İHA'lar

Kullanım alanlarına göre İHA'lar iki sınıfa ayrılmaktadır.

2.2.1.1 Sivil sistemler

Sivil İHA sistemleri de askeri uygulamalara benzer olarak görüntü toplama üzerine kurulmuştur. Bu görüntülerin kullanılan alana göre yorumlanması onları kıymetlendirmektedir. Kalabalık şehir hayatında çevre olaylarının izlenmesi ve tehditlerin belirlenmesi çalışmalarında, afetlerde sivil savunma desteğinde ve buna benzer bir çok alanda İHA sistemlerinden faydalanılabilmektedir. Hızlı hava takibi gerektiren durumlar, insanların temas etmesinin tehlikeli olduğu maddelerin² bulunduğu alanlar ve insanların ulaşamayacağı yerlerde mahsur kalanlara gönderilebilecek yardım paketlerine kadar bir çok sivil alanda hizmet veren insansız hava araçları mühendislik uygulamalarında da sıklıkla kullanılmaktadır (AKAN vd., 2014; Haser, 2010).

Genel olarak İHA'ların sivil kullanım alanları Çizelge 2.1'de görüleceği üzere şöyle sıralanmıştır:

² Kimyasal, biyolojik, radyoaktif, nükleer maddeler.

Çizelge 2.1 İHA Sivil Kullanım Alanları (Savunma Sanayii Müştaşarlığı, 2011)

1	Atmosfer Araştırması
2	Okyanus Gözlemleri
3	Kasırğa Oluşumu ve Araştırılması
4	Jeolojik Araştırmalar
5	Volkan Çalışmaları ve Patlama Uyarıları
6	Hava Durumu Tahmini

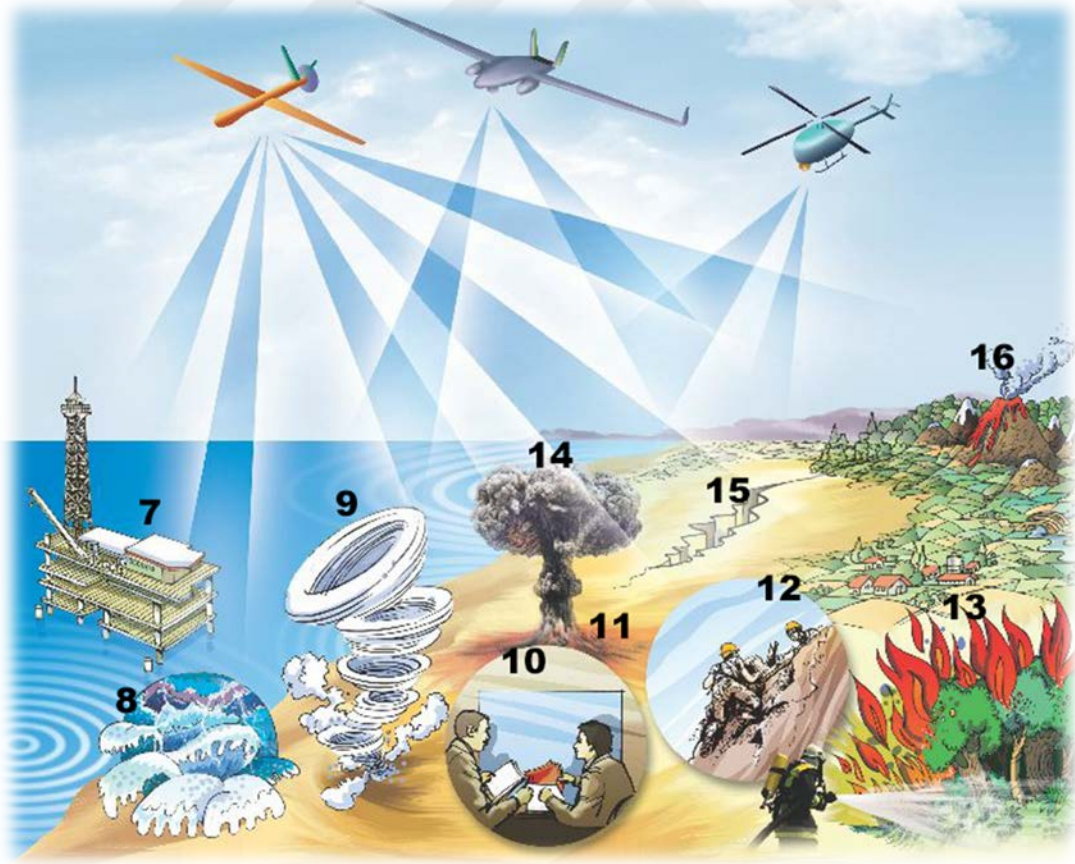


Şekil 2.5 İHA Sivil Kullanım Alanları (Savunma Sanayii Müştaşarlığı, 2011)

Yukarıda verilen bilim ve mühendislik uygulamalarının(Çizelge 2.1) yanı sıra insansız hava araçları doğal afetler ve insan kaynaklı oluşabilecek her türlü tehlikeli durumun öncesinde, bu durum gerçekleşiyorken ve sonrasında da etkin bir şekilde kullanılabilir. Bu durumlara birkaç örnek aşağıda verilmiştir.(Çizelge 2.2)

Çizelge 2.2 İHA Sivil Kullanım Alanları (Savunma Sanayii Müsteşarlığı, 2011)

7	Yağ Kaçağı Gözleme
8	Sel İzleme
9	Kasırğa İzleme
10	Afet Operasyon Yönetimi
11	Felaket Durum Değerlendirmesi
12	Arama Kurtarma
13	Yangınla Mücadele
14	Nükleer Radyasyon Gözleme
15	Deprem Gözleme
16	Volkan Gözleme



Şekil 2.6 İHA Sivil Kullanım Alanları (Savunma Sanayii Müsteşarlığı, 2011)

İHA'ların Sivil Havacılık alanında kullanımı ile ilgili birbirinden farklı sınıflandırmalar yapılmıştır. Haser (2010) ise İHA'ların kullanıldığı sivil alanları şu başlıklar altında toplamıştır:(Çizelge 2.3)

Çizelge 2.3 İHA Kullanım Alanları

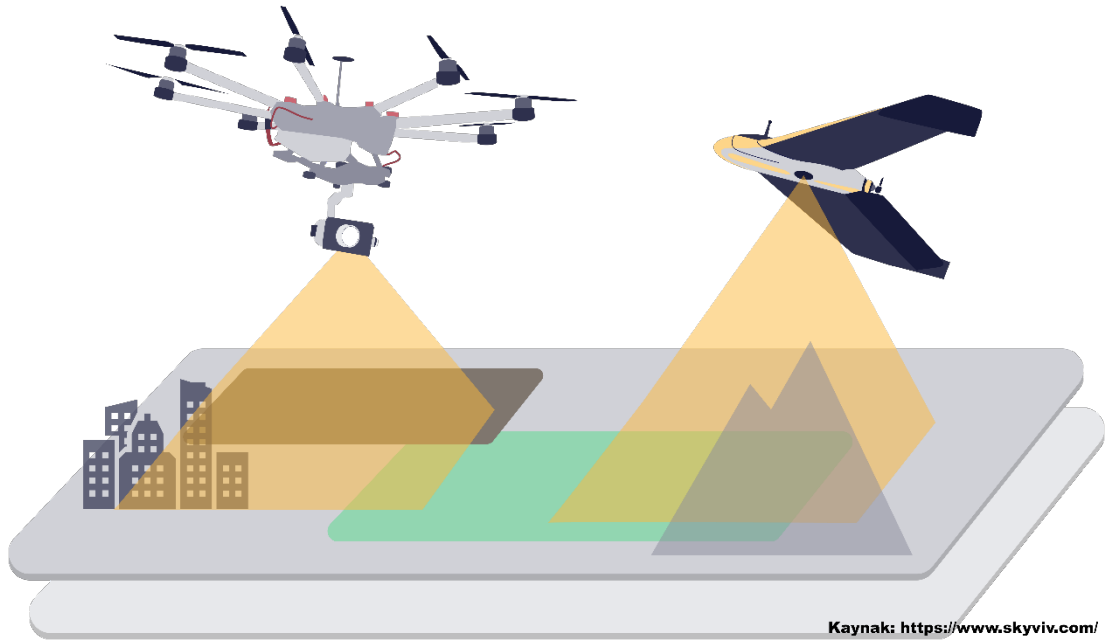
Sivil Taşımacılık	
Keşif/Gözetleme	<ul style="list-style-type: none"> Sel İzleme Deniz Karakol Kasırğa İzleme Volkanik İzleme Orman Yangını Tespiti Yağ Kaçağı Gözlemleme Deprem İzleme Yasal İzlemeler Sahil Gözetleme <ul style="list-style-type: none"> Uluslararası Sınır Devriyesi Uyuşturucu Trafik Kontrolü Çevresel Gözetleme Nükleer ve Zehirli Gaz Radyasyonu İzleme Ekin ve Harman İzleme Yüksek Doğruluklu Arazi Haritalama Boru Hattı İzleme
Uydu Görevlerini Bütünleyicilik	<ul style="list-style-type: none"> Haberleşme Desteği Seyrüsefer Desteği Röle Servisi
Acil Durumlar	<ul style="list-style-type: none"> Arama-Kurtarma Yangınla Mücadele Afet Durum Farkındalığı Afet Operasyon Yönetimi
Bilimsel/Arazi İzleme	<ul style="list-style-type: none"> Jeolojik Araştırmalar Toprak Kayması Tahmini Hava Durumu Tahmini Atmosferik Araştırma Okyanus Gözetlemeleri Kasırğa Oluşum İncelemesi Volkanik Çalışmalar

2.2.1.2 Askeri sistemler

İnsansız hava araçlarının gelişimine bakıldığında askeri alanda yapılan çalışmalar ağırlık teşkil etmektedir. Askeri amaçlı İHA sistemleri ilk olarak insan hayatını zararlardan korumayı, ikincil olarak da maddi kayıpları en aza indirmeyi amaçlayan sistemlerdir. Askeri İHA Sistemleri istihbarat, gözetleme ve keşif gibi görevleri temel edinmektedir. Bu görevler için görsel/ısı algılayıcılar; sabit/hareketli görüntü kaydeden, radar taklidi yapan, KBRN(kimyasal, biyolojik, radyoaktif, nükleer) verisi algılayabilen ve çok çeşitli veri toplayabilen faydalı yükler kullanılmaktadır. Faydalı yükler birbirinden farklı özelliklere sahip olsalar da; görevin tanımlanması, görev teknolojileri, hava platformları ve uçuş profilleri gibi tasarlanma aşamasından üretim aşamasına giden süreçteki benzerlikleri İHA sistemlerini bir aile içerisinde değerlendirmeyi gerektirmektedir. Askeri sistemler şu ana başlıklar altında toplanabilir: Keşif/gözetleme desteği görevleri, taarruz görevleri, hedef benzetimi görevleri, elektronik harp görevi, özel görevler (Haser, 2010).

2.2.2 Kanat sistemlerine göre İHA'lar

Kanat sistemlerine göre İHA'lar temel iki gruba(Şekil 2.7) ayrılabilir. Bu sistemler İHA'nın manevra ve uçuş kabiliyetinden tutun da uçuş süresine ve yapabileceği görevlere kadar birçok konuyu etkilemektedir.



Şekil 2.7 Döner Kanatlı (Sol) - Sabit Kanatlı (Sağ)

2.2.2.1 Sabit kanatlı

Tek motorlu, ikiz motorlu, itici motorlu, çekici motorlu, tek kanat, çift kanat (Şekil 2.8) gibi bir çok alt kategoriye ayrılan (Blyenburg, 2006) sabit kanatlı İHA'lar belirli kanat açıklıkları bulunan ve fırlatma rampaları yardımıyla havalanabilen İHA'lardır. Bu fırlatma rampaları İHA'nın niceliğine göre bir insanın aracı eliyle fırlatması olayı, bir düzenek yardımı ile fırlatılması olayı veya bir otoyolda, pistte, herhangi uygun bir alanda itici motorları yardımıyla hızlanması ve havalanması şeklinde olabilir. Sabit kanatlı İHA'lar çeşitli avantajlar sundukları gibi dezavantajlara da sahiptirler. En önemli avantajları uçuş sürelerinin ve hızlarının fazla olmasıyken, en önemli dezavantajları ise havadaki hareket kabiliyetleridir. Döner kanatlı İHA'lara göre daha uzun süre havada kalabilirlerken, onlar kadar manevra kabiliyetine sahip olamayabilirler. Sabit kanatlı İHA'ların bir çoğu gövdeleri üzerine iniş yapmaktadırlar. Eğer bir iniş takımı yoksa, (Şekil 2.8-Colugo) bu durum sabit kanatlı İHA'lar için oldukça zararlı bir duruma dönüşebilmektedir. Bu yüzden sabit kanatlı İHA'ların iniş yapmadan önce havada yakalanması veya yumuşak zeminlere iniş yapması sağlanmalıdır. Bu da bir çok durumda dezavantaj olarak ortaya çıkmaktadır.

Aşağıda bazı farklı sabit kanat sistemlerine sahip İHA örneklerine yer verilmiştir.

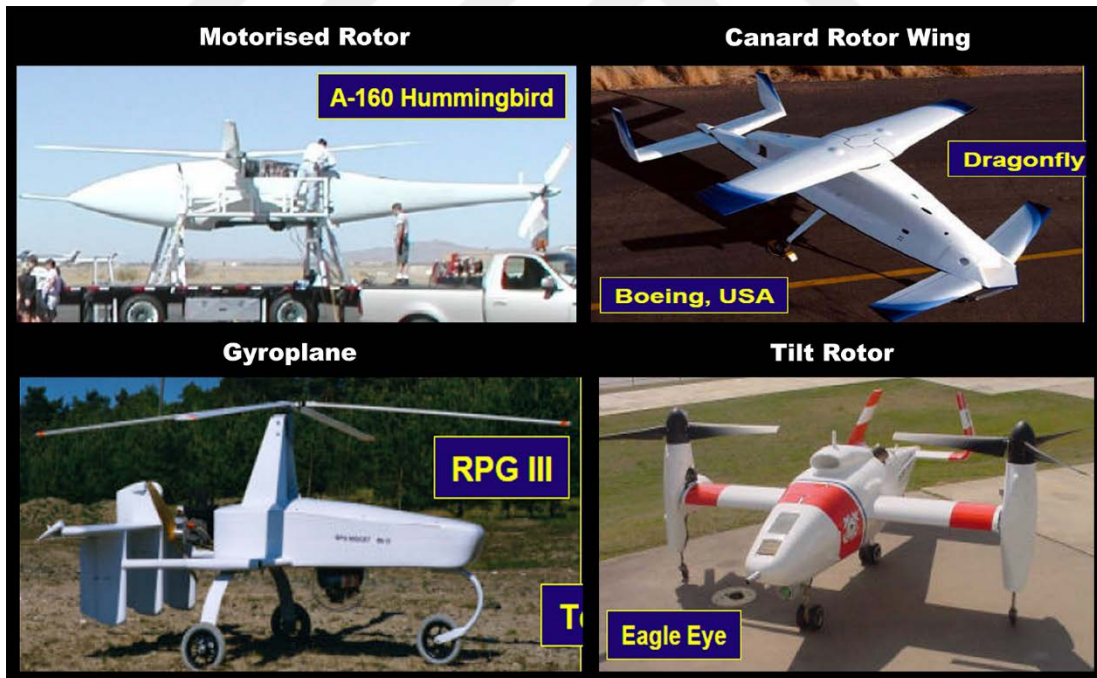


Şekil 2.8 Sabit Kanatlı İHA'lar (Blyenburg, 2006)

2.2.2.2 Döner kanatlı

Döner kanatlı insansız hava araçlarına(Şekil 2.9) genel olarak kopter denilmektedir. Bu İHA'lar pervane sayılarına göre quad(4 kol), hexa(6 kol), octa(8 kol) kopter olarak ayrılırken; Blyenburg'un (2006) belirttiği gibi "Motorised Rotor, Gyroplane, Canard Rotor Wing, Pendular Rotor, Shrouded Rotor, Tilt Rotor" olmak üzere kanat dönüş sistemlerine göre de alt kategorilere ayrılmaktadırlar. Bu tarz İHA'lar dik bir açıyla buldukları yerden kalkış yaparlar ve havada sabit durabilme, alçalıp yükselebilmeye, sağa ve sola dönebilme, ileri ve geri gidebilme gibi manevra yeteneklerine sahiptirler. İniş yapması istendiğinde buldukları konuma da dik bir açıyla iniş yapabilmektedirler. Bu hareket kabiliyetleri de döner kanatlı insansız hava araçlarının en büyük avantajlarından biridir. Bu tarz İHA'lar kullandıkları uçuş sisteminden kaynaklı olarak yalnızca güç tüketerek havada kalabilirler. Hareket kabiliyetlerinin aksine bu onlara uçuş süresi açısından bir dezavantaj getirmektedir. Sabit kanatlı İHA'lar gibi süzülme hareketi yapamadıkları için uçuş süreleri sabit kanatlı İHA'lara göre daha az olmaktadır.

Aşağıda bazı farklı döner kanat sistemlerine sahip İHA örneklerine yer verilmiştir.



Şekil 2.9 Döner Kanatlı İHA'lar (Blyenburg, 2006)

2.2.2.3 Hibrit kanatlı ve diğerleri

Hibrit kanatlı İHA'lar sabit kanatlı ve döner kanatlı sistemlerin bir birleşimi olarak birbirlerinin dezavantajlarını, avantaja dönüştürmek amacıyla tasarlanmış İHA'lardır. Diğer kanat sistemlerine bakacak olursak yine (Blyenburg, 2006) şöyle sıralamıştır: "Motorized Para-Foil, Lighter-than-Air, Flapping Wing, Optionally Piloted"

2.2.3 Ağırlıklarına ve uçuş irtifalarına göre İHA'lar

İHA'lar ağırlıklarına göre bir çok farklı kategoride sınıflandırılmıştır. Farklı ülkeler ve kuruluşlar, farklı sınıflandırmalar yapabilmektedir. Bu bölümde sunulan farklı öneriler tablolar şeklinde gösterilmiştir.

Çizelge 2.4 İHA Sınıflandırma Örneği (Blyenburg, 2006)

Sınıf	Ağırlık (kg)	Menzil (km)	Uçuş Yüksekliği (m)
TEMEL			
Mikro	<5	<10	<250
Mini	<20/25/30/150 ³	<10	<150/250/300
TAKTİKSEL			
Yakın Menzil (CR)	25-150	10-30	3000
Kısa Menzil (SR)	50-250	30-70	3000
Orta Menzil (MR)	150-500	70-200	5000
Orta Menzil Dayanıklılık (MRE)	500-1500	>500	8000
Alçak İrtifa Derin Nüfus (LADP)	250-2500	>250	50-9000
Alçak İrtifa Yüksek Dayanıklılık (LALE)	15-25	>500	3000
Orta İrtifa Yüksek Dayanıklılık (MALE)	1000-1500	>500	3000
STRATEJİK			
Yüksek İrtifa Yüksek Dayanıklılık (HALE)	2500-5000	>2000	20000
Stratosferik (Strato)	>2500	>2000	20000
Exo-Stratosferik (EXO)	Belirsiz	Belirsiz	30500
ÖZEL GÖREVLER			
İnsansız Savaş	>1000	1500	12000
Öldürücü (LET)	Belirsiz	300	4000
Yem (DEC)	150-250	0-500	50-5000

³ Ulusal Yasal Kısıtlamalara Göre Değişir.

Çizelge 2.5 NATO İHA Sınıflandırması (Dalamagkidis, 2015)

Kategori	Ağırlık (kg)	Menzil (km)	Uçuş Yüksekliği (ft)
SINIF 1 (<150 kg)			
Küçük	>20	50	<5000
Mini	2-20	25	<3000
Mikro	<2	5	<200
SINIF 2 (150-600 kg)			
Taktiksel	-	200	10000
SINIF 3 (>600 kg)			
Askeri Mücadele	-	Limitsiz	<65000
HALE	-	Limitsiz	<65000
MALE	-	Limitsiz	45000

Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'nün mevzuatında ise dört sınıfa göre sınıflandırılmaktadır: (SHGM, -)

- İHA0: Azami kalkış ağırlığı 500 gr (dâhil) – 25 kg aralığında olan İHA'lar,
- İHA1: Azami kalkış ağırlığı 4 kg (dâhil) – 25 kg aralığında olan İHA'lar,
- İHA2: Azami kalkış ağırlığı 25 kg (dâhil) – 150 kg aralığında olan İHA'lar,
- İHA3: Azami kalkış ağırlığı 150 kg (dâhil) ve daha fazla olan İHA'lar.

2.2.4 Yakıt türlerine göre İHA'lar

İHA'lar kalkış, havada kalış ve geri dönüş gibi faaliyetlerini gerçekleştirmek için çeşitli enerji kaynaklarını kullanmaktadır. Bunları (Blyenburg, 2006) şöyle sıralamıştır: İki zamanlı(gaz ve petrol), elektrik, petrol, AvGaz, solar/elektrik, dizel.

3. İHA FOTOGRAMETRİSİ

İHA fotogrametrisi düzenekleri; uzaktan kumandalı, yarı otonom veya otonom olarak çalışan, pilotu olmayan fotogrametrik ölçüm platformlarıdır. Platform; küçük veya orta boy bir video kamera, termal kamera, kızılötesi kamera veya Lidar ile donatılmıştır. İHA'lar uygulanan sensörlerin konumunu yerel veya küresel bir koordinat sisteminde kaydedilmesini ve izlenmesini sağlar. Bu nedenle İHA Fotogrametrisi yeni bir fotogrametrik ölçüm aracı olarak anlaşılabilir. (Eisenbeiss, 2009)

3.1 Kısa Tarihi

Hava fotoğrafları ilk olarak insanlı bir balon yardımı ile 1858 yılında Paris'te Gaspard Tournachon tarafından çekildikten sonra yıllar içerisinde insanlı balonlar ile model balonlar birleştirilmiştir. Balonlara paralel olarak uçurtma, güvercin, roketler gibi araçlarda kullanılmıştır. İlk defa insansız olarak ve fotogrametrik amaçlı sabit kanatlı hava araçları 1979'da kullanılmıştır. Sabit kanatlı insansız hava aracı ile yapılan ilk uygulama, 150 m yükseklikten ve 11 m/s hızında uçabilen manuel kontrollü insansız hava aracı ile yapılmıştır. Döner kanatlı ilk insansız hava aracını da Wester Ebbinghaus fotogrametri de 1980 yılında kullanmıştır. (Eisenbeiss, 2009)

1984 yılında Wanzke, üç boyutlu fotogrametrik belgelemede kullanmak için zeplin önerdi. Bu zeplin GEFA-Flug şirketi tarafından tasarlandı ve üretildi. K.L. Bussemeyer tarafından yapıldı. Pakistan'daki 5000 yıllık kasabanın mimari bilgilerini elde etmek için kullanıldı (Wanzke, 1984'den Erdoğan, 2016).

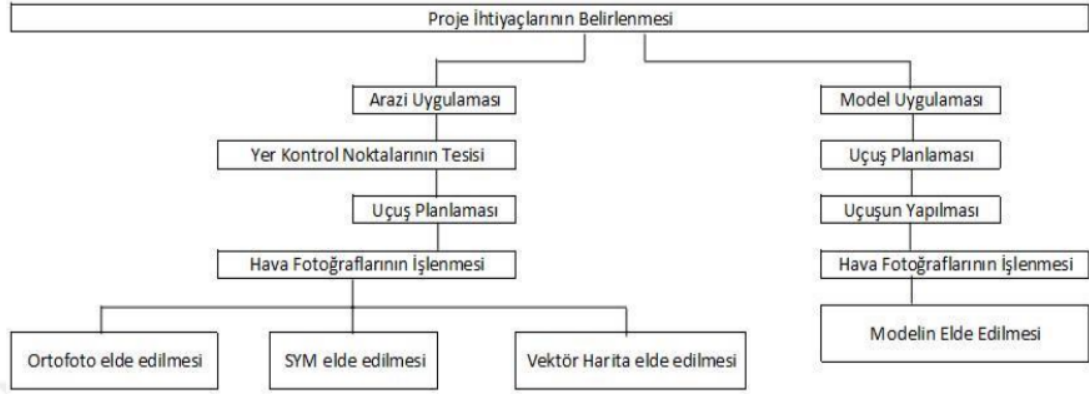
Miyatsuka (1996) bir arkeolojik çalışma için model helikopter kullandı. Üzerinde 6Mpixels ile Kodak DCS 460 model bir video kamera bulunmaktaydı.

1998 yılında Tokmakidis bir inşaatın ve çalışan makinelerin takibi için üzerinde Hasselblad bir kamera bulunan ve elle kontrol edilen bir model helikopter kullanmıştır. (Eisenbeiss, 2009)

Bu gelişmeler ışığında 2000'li yıllarda ve sonrasında geniş formatlı kameraların gelişmesi ve bu kameralara uyumlu platformların yaygın kullanılmaya başlanmasıyla, fotogrametrik yöntem ile harita üretiminde platform uçakların kullanılması yaygınlaşmıştır. (Ayyıldız ve Özmüş, 2015)

3.2 Temelleri ve İş Akışı

İHA ile fotogrametri çalışması yapılabilmesi ve sonuçlandırılabilmesi için temel işlem adımları şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.1 İHA Fotogrametrisi İşlem Adımları (Gültekin vd., 2016)

3.2.1 Yer kontrol noktalarının tesisi

İHA ile fotogrametri çalışması yapmadan önce arazi topoğrafyası göz önünde bulundurularak yer kontrol noktaları (Şekil 3.2) tesis edilmektedir. Yapılacak çalışmanın amacına göre sonuç üründe istenilen doğruluk oranı ne ise yer kontrol noktalarının ölçüm tekniği de buna uygun olarak belirlenmektedir. Bu yer kontrol noktaları, fotoğraf değerlendirme aşamasında jeodezik-fotoğraf koordinatları arası geçiş için mutlak yöneltme elemanlarının belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu sayede uzaydaki yeri ve ölçeği bilinmeyen model, gerçekteki konumu ile konumlandırılmış olmaktadır.

3.2.2 Uçuş planlaması

İHA fotogrametrisinde uçuş planlaması; herhangi bir uçuş planlama yazılımı kullanılarak, yapılacak olan çalışmanın gereksinimlerini karşılayacak şekilde İHA'nın uçuş doğrultularının, kalkış-iniş noktalarının, uçuş hızı ve yüksekliğinin, fotoğraf çekim vb. yöntemlerinin İHA oto pilotuna gönderilmek üzere belirlenmesidir. İHA ile uçuş planlaması yapılırken amaca bağlı olarak kamera görüş açısı, bindirme oranları, ve uçuş tipinde değişiklikler olmaktadır. Bir arazi eğer engebeli değilse bindirme oranları azaltılabilir ve kamera bakışı yere dik bir şekilde konumlandırılabilir.



Şekil 3.2 Yer Kontrol Noktası (<https://harita.gov.tr>)

Engebenin çok olduğu dağlık kesimlerde ise yatay ve düşey doğruluğun sağlanabilmesi için kamera açıları ve bindirme oranları değişiklik göstermektedir. Böyle bir alanda çalışma yapmak istenildiğinde uçuş doğrultusunu alanın enine ve boyuna olacak şekilde yapmamız ve bindirme oranlarını artırmamız SYM doğruluğumuz açısından önemli bir etmen olmaktadır. Ayrıca çember uçuş planı olarak adlandırılan ve bir tek objeyi(bina vb.) modellemek amacıyla kullanılan uçuş planları da mevcuttur. Bu uçuş planında uçuş kamera açısı 45 derece olacak şekilde, modeli çıkarılacak cisim etrafında genelde İHA, çember çizecek şekilde planlanmaktadır. Uçuş planlaması ile ilintili bazı hesaplamalar şöyledir:

Ölçek Faktörü “ m_b ” uçuş yüksekliği “ H_g ” ve kamera odak uzaklığı “ f ” ile tanımlanmaktadır (Kraus, 2007):

$$m_b = \frac{H_g}{f} \quad (3.1)$$

Fotoğrafın bir kenarının yer yüzünde karşılık geldiği mesafe “ S ” veya tam tersi olarak yer yüzündeki bir alanın fotoğraftaki tekabül ettiği uzunluk olan “ S' ” veya “ s' ” ise (Kraus, 2007):

$$S = \frac{S' \times H_g}{f} \quad (3.2)$$

Çekilen iki resmin arasındaki baz mesafesi olarak belirtilen mesafe “ B ” veya “ b ” ise $p\%$ boyuna, dikine bindirme oranı ise (Kraus, 2007):

$$B = S(1 - \frac{p}{100}) \quad (3.3)$$

Komşu iki kolon arasındaki mesafe “ a “ enine bindirme oranı q% ise (Kraus, 2007):

$$a = S(1 - \frac{q}{100}) \quad (3.4)$$

Modelin kapladığı alan “Fm” ise (Kraus, 2007):

$$F_m = S^2 - S \times B \quad (3.5)$$

Yatayda “ s_x ” ve düşeyde “ s_z “ beklenen doğruluk değerleri ise ölçülen değer(piksel) “ s_{x(ölç)} “ olduğunda (Kraus, 2007):

$$s_x = s_{x(ölç)} \times p_x \quad (3.6)$$

$$s_z = s_x \times \frac{H_g}{b} \quad (3.7)$$

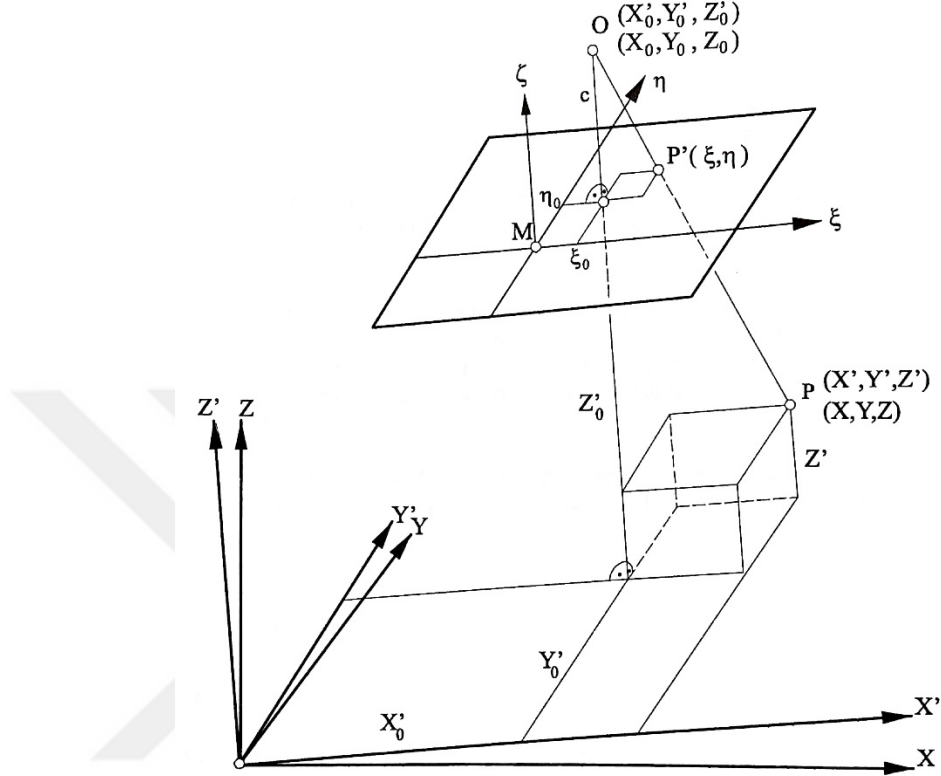
3.2.3 Hava fotoğraflarının işlenmesi

İHA fotogrametrisinde blok dengeleme yöntemlerinden faydalanılmaktadır. Konumsal blok dengelemesi, uzaysal blok dengelemesi, demet dengelemesi, GPS ve İMU destekli hava triyantasyonu gibi yöntemler mevcuttur. Bunlar arasında en sık kullanılan yöntemlerden biri demet dengelemesidir. Işın demetleriyle dengeleme olarak da bilinen yöntem en az %60 boyuna bindirme oranı ve %20 enine bindirme oranına sahip şeritvari yada blok yapısındaki fotoğraflar ile kullanılmaktadır. Fotoğraf koordinatları ve izdişüm merkezleri birer uzaysal ışın demetini tanımlamaktadır. Işın demetleri iç yöneltme ile tekrar simüle edilir ve fotoğrafı oluşturan, fotoğraf çekimi sırasında objektiften geçen, ışınlar küçültülmüş veya büyütülmüş olarak ışın demeti oluşturacak biçimde yeniden elde edilir. Dış yöneltme parametreleri ise tüm fotoğraflar için aynı anda belirlenir. Bunun için ortak noktalara ihtiyaç vardır. (Kraus, 2007; Ergün, 2018)

İHA fotogrametrisi değerlendirme yazılımları bu noktaları genellikle “key points” anahtar nokta ve “tie points” bağlantı noktası olarak tanımlamaktadırlar. Anahtar, yani bağlantı noktaları birden çok fotoğrafta ortak olarak bulunmaktadırlar.

Anahtar noktaların fotoğraf koordinatları bilinmektedir. Bunların yanı sıra yer koordinatları ve fotoğraf koordinatları bilinen noktalar bulunmaktadır. Bunlar GCP(Ground Control Points) yada YKN(Yer Kontrol Noktası) dediğimiz noktalardır. Bu noktalar ışın demeti dış yöneltme parametrelerinin belirlenmesi için kullanılmaktadır.

Dengeleme işlemi temel prensibi şöyledir: Işın demetleri anahtar noktalarında olabildiğince iyi şekilde kesişinceye ve kontrol noktalarıyla olabildiğince iyi çakışınca kadar ötelenir(X_0, Y_0, Z_0) ve döndürülür(ω, φ, κ) olarak gösterilir. (Kraus, 2007)



Şekil 3.3 Doğrusallık Koşulu (Kraus, 2007)

Fotoğraf çekim anında cisim noktası P, fotoğraf noktası P' ve fotoğraf çekim merkezi O tek bir çizgi üzerindedir. Bu doğrusallık ilişkileri, X'Y'Z'-Cisim sisteminde $\xi\eta\zeta$ -fotoğraf koordinat sistemine(tüm fotoğraf noktaları için $\zeta=0$ ve (Kraus, 2007)

$$\frac{\xi - \xi_0}{c} = \frac{X' - X'_0}{Z'_0 - Z'} \quad (3.8)$$

$$\frac{\eta - \eta_0}{c} = \frac{Y' - Y'_0}{Z'_0 - Z'} \quad (3.9)$$

İzdüşüm merkezi için $\zeta=c$) paralel, oluşan ve karşılık gelen uzaysal olarak dönük orijinal XYZ – cisim sisteminde, takip eden iki bağlantı ile ifade edilebilir. Fotoğraf koordinatlarına göre iki denklemin çözümü: (Kraus, 2007)

$$\xi = \xi_0 - c \frac{X' - X'_0}{Z'_0 - Z'} \quad (3.10)$$

$$\eta = \eta_0 - c \frac{Y' - Y'_0}{Z'_0 - Z'} \quad (3.11)$$

Cisim noktasının X' koordinatları ve fotoğraf çekim merkezinin X' i yerine X koordinatları, örneğin orijinal cisim koordinat sisteminin X_0 'ı, konulabilir. $X'Y'Z'$ -Sistemi XYZ -Sistemine göre uzaysal olarak dönüktür; bu nedenle (Kraus, 2007)

$$X = R x R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

denklemini geçerlidir.

$$\begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X' - X'_0 \\ Y' - Y'_0 \\ Z' - Z'_0 \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

3.10 ve 3.11'nolu denklemlerde daha önce soldan $R^T=R^{-1}$ ile çarpılan 3.13'nolu denklemi kullanıldığında aranan fotoğraf ve cisim koordinatları arasındaki aşağıdaki denklemler elde edilir. (Kraus, 2007)

$$\xi = \xi_0 - c \frac{r_{11}(X-X_0)+r_{21}(Y-Y_0)+r_{31}(Z-Z_0)}{r_{13}(X-X_0)+r_{23}(Y-Y_0)+r_{33}(Z-Z_0)} = \xi_0 - c \frac{Z_x}{N} \quad (3.14)$$

$$\eta = \eta_0 - c \frac{r_{12}(X-X_0)+r_{22}(Y-Y_0)+r_{32}(Z-Z_0)}{r_{13}(X-X_0)+r_{23}(Y-Y_0)+r_{33}(Z-Z_0)} = \eta_0 - c \frac{Z_y}{N} \quad (3.15)$$

$X'Y'Z'$ -Sistemi $\xi\eta\zeta$ -fotoğraf sistemine paralel olduğundan r_{ik} elemanları:

Fotoğraf ve cisim koordinat sistemi arasındaki a 'nın cosinüs değeri

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(xX) & \cos(yX) & \cos(zX) \\ \cos(xY) & \cos(yY) & \cos(zY) \\ \cos(xZ) & \cos(yZ) & \cos(zZ) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

Cisim koordinat sistemi ile karşılaştırıldığında resim çekim anında ω, φ, κ açı fonksiyonları

$$R\omega\varphi\kappa = \begin{bmatrix} \cos\varphi\cos\kappa & -\cos\varphi\sin\kappa & \sin\varphi \\ \cos\omega\sin\kappa + \sin\omega\sin\varphi\cos\kappa & \cos\omega\cos\kappa - \sin\omega\sin\varphi\sin\kappa & -\sin\omega\cos\varphi \\ \sin\omega\sin\kappa - \cos\omega\sin\varphi\cos\kappa & \sin\omega\cos\kappa + \cos\omega\sin\varphi\sin\kappa & \cos\omega\cos\varphi \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

denkleminde gösterildiği gibi olmaktadır.

Bu işlemlerden sonra nokta bulutu oluşturulması ve buna bağlı olarak da SYM, ortomosaic gibi ürünler oluşturulmaktadır.

4. KİNEMATİK DEFORMASYON MODELLERİ

Deformasyon, bir varlığın mevcut durumunda zamana ve dış etmenlere bağlı olarak değişimler göstermesidir. Bu değişimlerin ölçülmesi büyük önem taşımaktadır. Mühendislik yapılarının kontrolü, yatay ve düşey yöndeki yer kabuğu hareketleri, heyelan hareketleri gibi deformasyon analizine ilişkin konular mühendislik jeodezisinin temel konuları arasınında yer almıştır. Varlıkların fiziksel ve konumsal değişimleri bu analizler yardımıyla belirlenmekte ve yorumlanmaktadır. Deformasyonlar statik ve kinematik olmak üzere iki yöntemle izlenmektedir. Fakat artık günümüzde genelde kinematik deformasyon modelleri kullanılmaktadır. Kinematik deformasyon modellerinde konum değişiklikleri zamanın bir fonksiyonu olarak verilmektedir. Bu modellerde etki kuvvetleri göz ardı edilerek zamana ve konuma dayalı değerlendirmeler yapılmaktadır. Kinematik modeller, nokta hızları ve ivmelerini zamana bağlı olarak incelemektedir. Kinematik Tek Nokta Modeli ve Kalman Filtreleme Yöntemi olarak iki adet modelden söz edilebilir. (Doğanalp, 2005) Bu çalışmada da kullanılan Kalman Filtreleme Yöntemi Bölüm 4.1’de açıklanmıştır.

4.1 Kalman Filtreleme Yöntemi

Kalman Filtreleme Yöntemi statik, kinematik ve dinamik hareketleri inceler. Düzgün ve düzgün olmayan hareketleri, ölçü periyodu az sayıda dahi olsa belirleyebilmesi bu yöntemin farklı ve olumlu yanıdır. Kalman Filtreleme Yöntemi’nde amaç önceki periyottaki ölçülerden faydalanarak bir sonraki ölçüyü tahmin etmeye çalışmaktır (Bayrak, 2003). Kalman Filtre Tekniği, rastgele hatalar içeren dinamik bir sisteme uygulanan en uygun parametre kestirim işlemidir (Doğan, 2002).

Kalman Filtreleme Yöntemi, t_i-1 periyodun da bilinen hareket parametrelerinde oluşan durum vektörü bilgileri ve t_i periyodun da yapılmış ölçüler yardımıyla güncel durum vektörünün tahmininde kullanılır. 3 boyutlu ağlar için konum, hız ve ivmeden oluşan hareket modeli Eşitlik 4.1 de verilmiştir.

$$\begin{aligned} X_j^{(k+1)} &= X_j^{(k)} + (t_{k+1} - t_k)v_{xj} + \frac{1}{2}(t_{k+1} - t_k)^2 a_{xj} \\ Y_j^{(k+1)} &= Y_j^{(k)} + (t_{k+1} - t_k)v_{yj} + \frac{1}{2}(t_{k+1} - t_k)^2 a_{yj} \\ Z_j^{(k+1)} &= Z_j^{(k)} + (t_{k+1} - t_k)v_{zj} + \frac{1}{2}(t_{k+1} - t_k)^2 a_{zj} \end{aligned} \quad (4.1)$$

$X_j^{(k+1)}, Y_j^{(k+1)}, Z_j^{(k+1)}$: j noktasının (tk+1). Periyot koordinat değeri,

$X_j^{(k)}, Y_j^{(k)}, Z_j^{(k)}$: j noktasının (tk). Periyot koordinat değeri,

v_{xj}, v_{yj}, v_{zj} : j noktasının X,Y,Z koordinat hız değerleri, a_{xj}, a_{yj}, a_{zj} : j noktasının X,Y,Z koordinat ivme değerleri, $k = 1,2,\dots,i$ (i: ölçülen periyot sayısı), $j = 1,2,\dots,n$ (n: ölçülen nokta sayısı).(Hastaoğlu K, 2015)

Kalman Filtrelme Yöntemi üç temel aşamadan oluşmaktadır. Bunlar prediksyon (prediction), süzme (filtering) ve yumuşatma (smoothing) olarak belirtilmektedir. (Cross, 1990). Nokta hareket parametrelerini Kalman Filtreleme Yöntemi'yle belirleyebilmek için Eşitlik 4.1'deki denklemlerin zamana göre birinci türevi alınarak hız, hız denklemlerinin ikinci türevleri alınarak ivme denklemleri oluşturulur. Eşitlik 3.2 ve 3.3' de bu denklemlere ait matris formu verilmektedir.

$$\bar{Y}_{k+1} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ v_x \\ v_y \\ v_z \\ a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix}_{k+1} = \begin{bmatrix} I & I(t_{k+1}-t_k) & I \frac{(t_{k+1}-t_k)^2}{2} \\ 0 & I & I(t_{k+1}-t_k) \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix}_{k+1,k} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ v_x \\ v_y \\ v_z \\ a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix}_k \quad (4.2)$$

$$\bar{Y}_{k+1} = T_{k+1,k} \hat{Y}_k \quad (4.3)$$

\bar{Y}_{k+1} : (tk+1) anındaki durum vektörü, \hat{Y}_k : (tk) anındaki durum vektörü $T_{k+1,k}$: prediksyon matrisi ve I : Birim matrisidir. Eşitlik 4.3 temel Kalman Filtreleme eşitliğidir. (tk+1) ve (tk) periyotları arasındaki sabit bozucu ivme w olmak üzere prediksyon denkleminde bulunan sistem gürültüleri Eşitlik 4.3'deki $T_{k+1,k}$ matrisinin son sütunundaki terimlerden oluşan S gürültü vektörü olarak düşünülür. Bunun sonucunda prediksyon matrisi ve kovaryans matrisi aşağıdaki gibi olur.

$$\bar{Y}_{k+1} = T_{k+1,k} \hat{Y}_k + S_{k+1,k} w_k \quad (4.4)$$

$$Q_{\bar{Y},k+1} = T_{k+1,k} Q_{\hat{Y},k} T_{k+1,k}^T + S_{k+1,k} Q_{ww,k} S_{k+1,k}^T \quad (4.5)$$

$$S_{k+1,k}^T = \begin{bmatrix} I \frac{(t_{k+1} - t_k)^2}{2} & I(t_{k+1} - t_k) & I \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

$$Q_{ww,k-1} = 4(t_k - t_{k-1})^{-4} Q_{SS,k-1} \quad (4.7)$$

$S_{k+1,k}^T$: (tk+1) ve (tk) periyotları arasındaki gürültü vektörü,

$Q_{\hat{Y}\hat{Y},k}$: (tk) anında durum vektörüne ait kovaryans matrisi,

$Q_{ww,k}$: (tk) anında bozucu etki ivmesinin kovaryans matrisi.

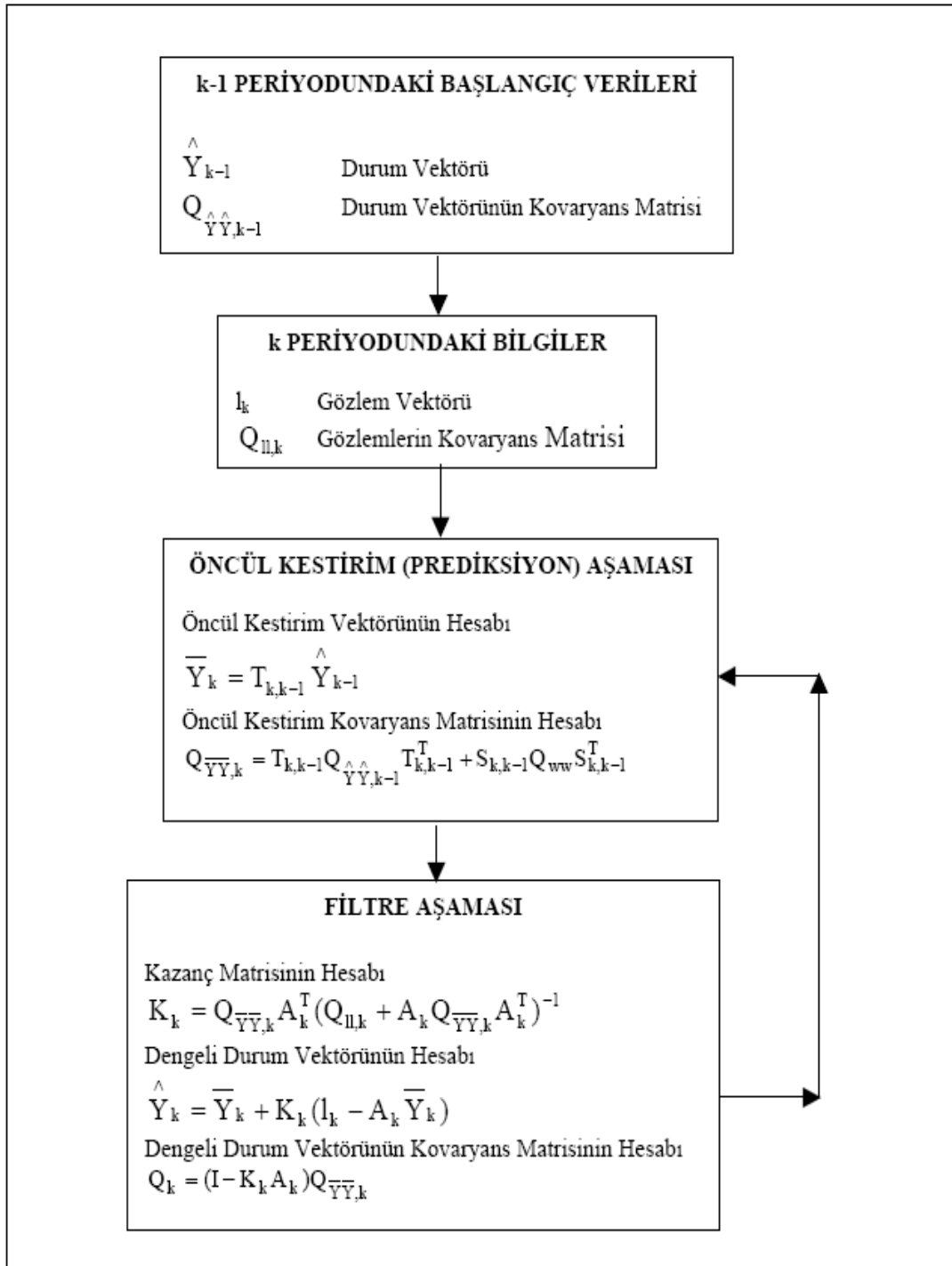
Bozucu etkilerin ivme vektörü w belirsizdir ve kural olarak ölçülemez. Bu nedenle pseudo gözlem vektörü $w = 0$ olarak alınabilir (Bayrak 2009). k+1 periyodunda yapılmış olan ölçülere ait düzeltme denklemi Eşitlik 4.8'de verilmektedir.

$$l_{k+1} + v_{l,k+1} = A_{k+1} \hat{Y}_{k+1} \quad (4.8)$$

Burada l_{k+1} : (tk+1) anındaki ölçüler. $v_{l,k+1}$: düzeltme değerleri, A_{k+1} : Katsayılar matrisi ve \hat{Y}_{k+1} : (tk+1) anındaki durum vektörüdür. Eşitlik 4.4 ve Eşitlik 4.8 birleştirilerek filtre aşamasının fonksiyonel ve stokastik modeli aşağıdaki gibi oluşturulur. (Bayrak, 2009; Yalcinkaya ve Bayrak, 2005).

$$\begin{bmatrix} \bar{Y}_{k+1} \\ l_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I \\ A_{k+1} \end{bmatrix} \hat{Y}_{k+1} - \begin{bmatrix} v_{Y,k+1} \\ v_{l,k+1} \end{bmatrix} ; \quad Q_i = \begin{bmatrix} Q_{\bar{Y}\bar{Y},k+1} & 0 \\ 0 & Q_{ll,k+1} \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

Model çözülerek hareket parametreleri ve onlara ait kovaryans matrisleri hesaplanır. Şekil 4.1'de Kalman Filtresi iş akış şeması verilmektedir.



Şekil 4.1 Kalman Filtresi İş Akış Diyagramı (Bayrak 2003)

5. GELİŞTİRİLEN ALGORİTMA VE ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

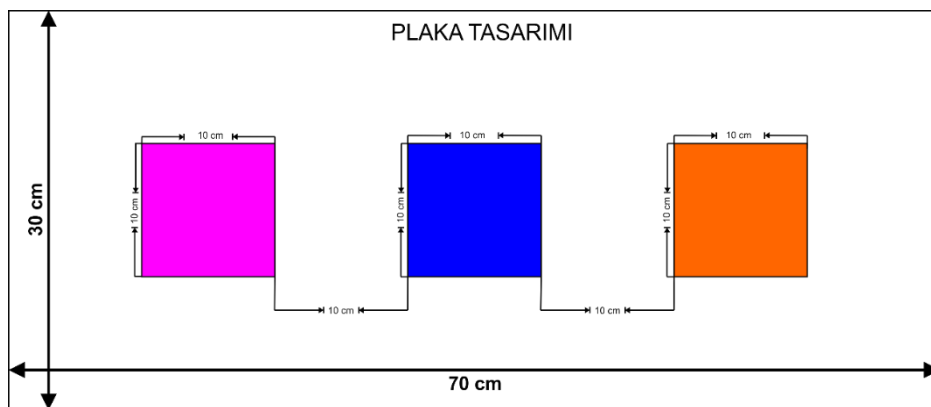
Günümüzde heyelan hareketlerinin izlenmesinde birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan uzay radar görüntülerinin değerlendirilmesi ile elde edilen yıllık hız değerleri tek boyutta olup, kullanıcılara sadece uydu bakış doğrultusu yönünde bilgi vermektedir. Bir diğer yöntem olan GNSS teknolojisi, üç boyutlu hız bilgisini doğrudan üretmesine karşın nokta sayısına doğru orantılı olarak maliyet ve zamandaki artış nedeniyle dezavantajlar oluşturmaktadır. Bir heyelanın takibi için üç boyutlu hız bilgisine sahip jeodezik nokta sayısı ne kadar fazla olursa değerlendirmelerin o kadar hassas sonuçlar vereceği bilinmektedir. Bu yüzden takip edilmek istenen alana oldukça fazla jeodezik nokta tesis edilmesi yararlı olmaktadır. Bu bilgiler ışığında çok sayıda üç boyutlu hız bilgisine sahip nokta üretmek, bu noktalar üretilirken zaman ve maliyeti optimize etmek, aynı zamanda da iş güvenliğini sağlamak gerekliliği ön plana çıkmaktadır. Tüm bu şartları sağlayacağı düşünülen ve bu tez çalışması ile sonuçları incelenen İHA fotogrametrisi yöntemi ile deformasyon takibi konusunda bir algoritma geliştirilmiştir. Bölüm 5.1’de detayları anlatılan bu algoritma, kısaca periyodik olarak İHA fotogrametrisi ile üretilen ortofoto haritalardan ve SYM’lerden faydalanarak deformasyon takibine imkan sağlamaktadır. Özel olarak tasarlanmış ve çalışma sahasına kütle hareketlerini takip etmeye imkân verecek bir düzende yerleştirilmiş plakalar ve bu plakaların her periyotta üretilen ortofoto haritalardan geliştirilen yazılım yardımı ile otomatik olarak tespit edilip jeodezik olarak koordinatlandırılması ve bu üç boyutlu hız bilgisine sahip noktaların Kalman Filtreleme Tekniği ile değerlendirilmesi sonucunda bölge ile ilgili kütle hareketlerinin tespitine olanak sağlanmaktadır. Kütle hareketleri izlenmek istenen alanda tek bir sefere mahsus olmak üzere özel olarak tasarlanmış plakaların tesis edilmesi ve daha sonraki periyotlarda yalnızca İHA uçuşları yapılması sonucu klasik GNSS Yöntemi ile deformasyon takibinde yapılması gereken periyodik GNSS ölçümlerinden muaf olunmak istenmiştir. Bu muafiyet ile zaman, maliyet ve iş güvenliği açısından büyük oranda fayda devşirilmiştir. Bu da zaman ve maliyet endişesini aşarak yukarıda da bahsedildiği üzere daha doğru sonuçlar alınmasına fayda sağlaması açısından nokta sayılarının tereddütsüz artırılabilmesine olanak sağlamaktadır.

5.1 Algoritma Çalışma Prensipleri

İnsansız hava araçları ile üretilen ortofoto haritalardan ve SYM'lerden deformasyon takibi yapmak üzere tasarlanmış olan bu algoritmanın akışı şu şekildedir: Öncelikle fotogrametrik değerlendirme yazılımları ile üretilen ortofoto ve SYM'ler alınmaktadır. Daha sonra eğer varsa, algoritmaya tarama aşamasında önsel bilgi vermek adına sahaya yerleştirilmiş -Bölüm 5.1.1 de detayları aktarılabilecek olan- özel tasarımı plakaların yaklaşık koordinatları verilmektedir. Bu aşamadan sonra ortofoto ve SYM okunmakta eğer yaklaşık koordinatları verilmişse deformasyon plakalarının olduğu bölgelerde daha önceden kullanıcı tarafından belirlenebilen büyüklüklerde alanlar oluşturularak, plakaları tespit etmek adına tarama yapılmaya başlanmaktadır. Eğer yaklaşık koordinatlar verilmemişse arazinin tamamı sıralı şekilde taranarak plakaların tespiti yapılmaya çalışılmaktadır. Tespit edilen cisimler, çeşitli kriterlerden geçirilerek değerlendirilmekte ve gerçekten deformasyon plakası olduğuna kanaat getirilen cisimlerin üç boyutlu jeodezik koordinatları oluşturulmakta ve kayıt edilmektedir. Kayıt edilen koordinatlar Kalman Filtreleme Tekniği kullanılarak değerlendirilmekte ve deformasyon noktaları için üç boyutlu hız bilgisine ulaşılmaktadır. Bu aşamadan sonra enterpolasyon haritaları oluşturulmakta ve üç periyota ait GNSS ve İHA konum grafikleri çizdirilmektedir. Daha sonra sonuçlar değerlendirilerek alan ile ilgili kütle hareketleri yorumlanabilmektedir.

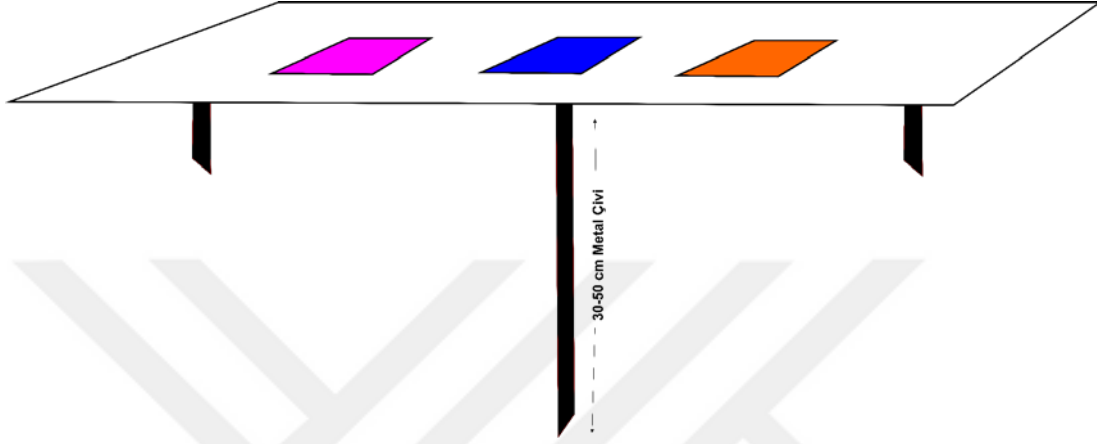
5.1.1 Deformasyon plakalarının otomatik tespiti

Deformasyon plakaları çalışma sahasına yerleştirilmek üzere tasarlanmış, zemine metal çivi ile sabitlenmiş, üzerinde çeşitli RGB değerlerine sahip renkleri barındıran metal malzemedendir.



Şekil 5.1 Deformasyon İzleme Plakası(Üstten Görünüş)

Deformasyon plakalarının yüzeyi 30 cm eninde ve 70 cm boyunda beyaz bir zemin ve bu beyaz zemin üzerine yerleştirilen, RGB değerleri çalışma alanının özelliklerine (toprak rengi, cisim renkleri vb.) göre aykırı olacak şekilde belirlenen, bir kenarı 10 cm uzunluğunda üç adet kareden oluşmaktadır. Kullanılan malzeme çeşitli dış etmenlerden (yağmur, rüzgar, güneş vb.) etkilenmeyecek şekilde dizayn edilmiştir. Plakanın alt kısmında ise zemine sabitlenmesine olanak sağlayan metal çiviler mevcuttur.

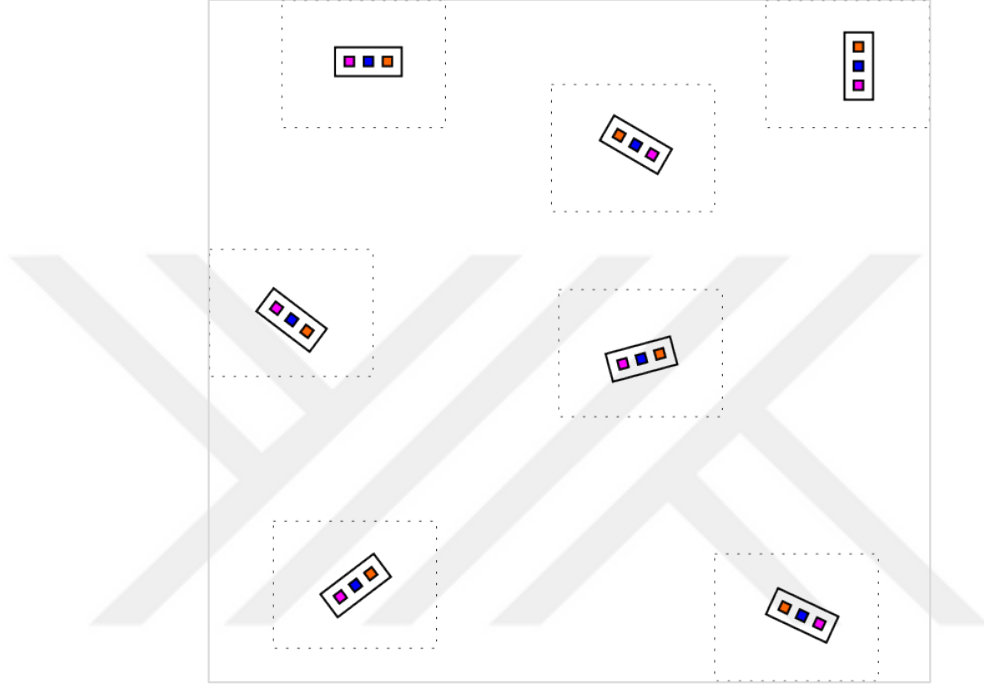


Şekil 5.2 Deformasyon İzleme Plakası (Yandan Görünüş)

Bu çivilerden büyük olanı plakanın tam orta noktasına denk gelmekte ve plakayı zemine sabitlemektedir. Plakanın kendi ekseni etrafında dönmesini engelleyen sağda ve solda bulunan iki adet de ufak çivi bulunmaktadır. Tanımı yapılan bu plakalar, sahaya deformasyonu takip etmemize olanak sağlayacak şekilde yerleştirilmektedir. Tek bir sefere mahsus olmak üzere sahaya yeteri miktarda yerleştirilmiş olan bu plakalar algoritma tarafından otomatik olarak tespit edilecek ve her periyotta kullanıcıya üç boyutlu konum bilgisi sağlanmasına olanak tanıyacaktır. Otomatik tespit işlemi aşağıda izah edildiği şekliyle gerçekleşmektedir:

Öncelikle alana ait ortofoto analiz edilmekte ve eğer varsa yaklaşık plaka konumlarında kullanıcıların belirlediği büyüklükte bir alan taranmak üzere işaretlenmektedir. Şekil 5.3’de temsili bir çizimi görüldüğü üzere alana dağılmış plakaların yaklaşık konumları kullanılarak plakalar etrafında bir tarama alanı belirlenmektedir. Burada kullanılan değerler alanda beklediğimiz maksimum deformasyon miktarına (1cm, 10cm, 1m, 3m, 10m gibi beklenen yer değiştirme miktarı) göre seçilmektedir. Bunun sebebi alanda plaka tesisi aşaması hariç yersel konum belirlemeye dönük hiçbir ölçü yapılmayacak olmasıdır. Bu değeri (tarama alanı) kullanıcı parametre olarak programa tanımlamaktadır. Eğer

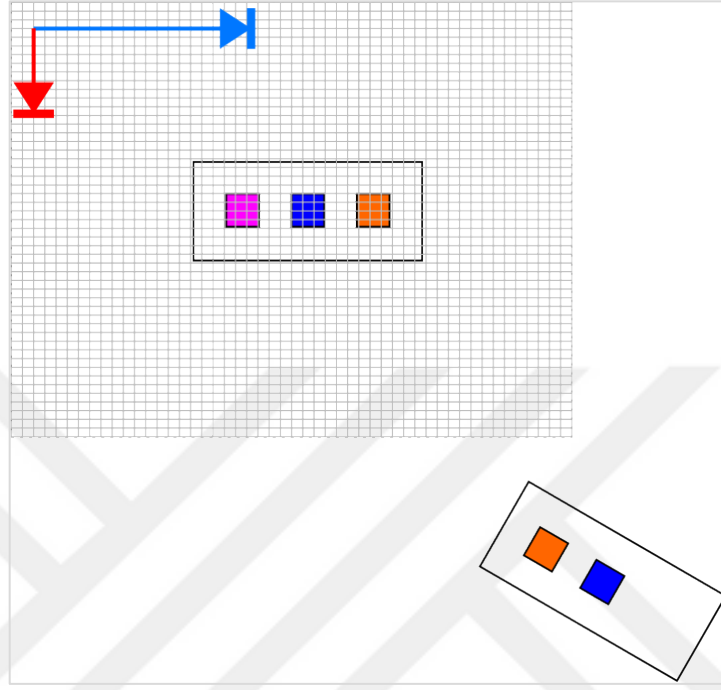
işaretlenecek olan alan deformasyon miktarından az olursa plaka taranan alan dışına kadar kaymış olacağından noktamız tespit edilemeyecektir. Böyle bir durumdan şüpheleniliyorsa veya tesis anında yaklaşık koordinatlar elde edilmemişse, serbest plaka taraması yaptırılabilir veya programın tarama alanını aşama aşama genişletmesi istenilebilmektedir. Bu yöntemin yaklaşık koordinat sağlanan yöntemle göre tek farklılığı zaman ve sistem donanımı gereksinimleri açısından daha fazlasına ihtiyaç duymasındır.



Şekil 5.3 Deformasyon Plakalarının Arazi Dağılımının Temsili Gösterimi

Eğer herhangi bir önsel konum bilgisi verilmemişse algoritma tüm alanı tarayacak ve plaka bölgelerini kendisi tespit etmeye çalışacaktır. Algoritma plaka tarama alanı bölgesinde tüm pikselleri sütun ve satır yönünde(Şekil 5.4) taramaktadır. Bu tarama esnasında ilk önce deformasyon plakasının orta noktasına konumlandırılmış mavi renk tespit edilmek istenmektedir. Tespit edilen her mavi piksel, piksel koordinatlarıyla birlikte kaydedilmektedir. Alanda tespit edilen her mavi piksel plakayı temsil etmeyebilir. Bunun sebebi alanda bulunan ve plaka ile aynı RGB değer aralığına sahip başka cisimlerin de olma olasılığıdır. Teorikte belirlenen plaka RGB değeri, çevresel etmenler ve İHA ile fotoğrafıma aşamasında meydana gelen ışık yansımaları gibi etmenlerden dolayı her plakada çeşitlilik gösterebilmektedir. Bu da filtreleme yaparken RGB değer aralığının büyütülmesi gerekliliğini ortaya çıkarmakta ve başka cisimlerin de tespit edilmeye çalışılan mavi piksel değer aralığının içerisine girmesine sebep olabilmektedir.

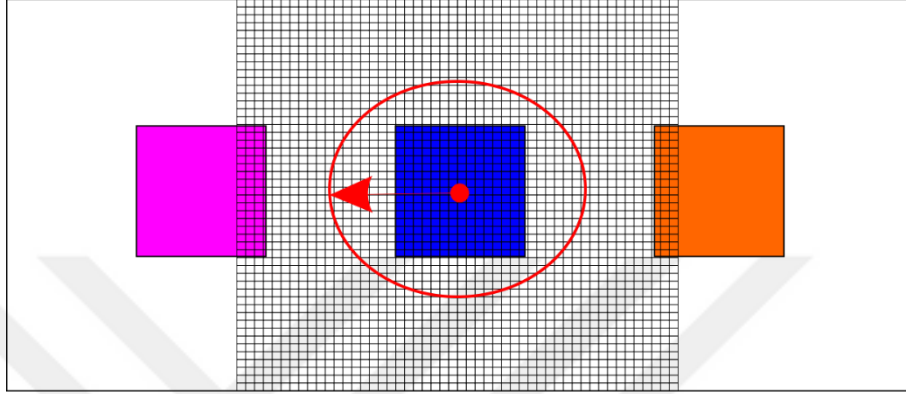
Kullanıcı tarafından parametre olarak tanımlanan aralığa dahil olup da kaydedilen tüm mavi pikseller ilk etapta deformasyon plakalarına ait olarak kabul edilmemekte ve daha farklı filtrelerden geçirilerek istenmeyen mavi gruplar seçimin dışında bırakılmaktadır. Bu süreç şöyle işlemektedir:



Şekil 5.4 Yaklaşık Koordinatlardan Hesaplanan Tarama Alanı

Tarama alanı içerisinde bulunan tüm mavi pikseller öncelikle gruplandırılmak üzere gruplandırma algoritmasına gönderilmektedir. Burada birbirlerine olan uzaklıkları baz alınarak pikseller gruplara ayrılmaktadır. Kullanıcı tarafından belirlenen bu mesafenin plaka dizaynına uygun olması beklenmekte olup mevcut tasarım için 15 cm olarak belirlenmiştir. Bunun sebebi ise mavi plakalarımızın kenar uzunluğunun 10 cm olması ve bu mavi kare içerisindeki piksellerin birbirlerine uzaklıklarının en fazla 15 cm mesafede olabileceğidir. Bu işlemden sonra eğer istenilirse oluşan grupların sayılarına göre filtreleme yapılabilmektedir. Çünkü alan içerisinde mavi renk aralığına giren bir başka cisim de bulunabilmektedir. Bu durumda bu cisimlerin ayıklanması gerekmektedir. Bunun ilk aşaması grup sayılarını baz almak olacaktır. Örneğin, yer örneklem mesafesi 2cm/piksel olan bir ortofoto harita üzerinde mevcut plaka dizaynına göre plaka içerisindeki mavi piksel grubunu oluşturacak piksellerin maksimum sayısı $(10cm/2cm)^2=25$ adet olabilmektedir. Bu durumda eleman sayısı sapma miktarları da (Şekil 5.5, kırmızı elips ile sınırlandırılmış alan) göz önünde bulundurularak 40 adet ve

üzeri veya 15 adet ve altı olan grupların silinmesi plakanın sağlıklı tespitinde bir aşama olarak algoritma tarafından kullanılabilir. Tüm bu filtreleme aşamalarından sonra mevcut durumda plaka ortasına konumlandırılmış mavi piksellerimizi temsil etme iddiasında olan gruplar ele alınarak, her bir grubun orta noktası belirlenmektedir. Bir sonraki filtreleme aşamasında orta noktaları bilinen grupların etrafında beyaz renk olup olmadığı araştırılacaktır.(Şekil 5.5)



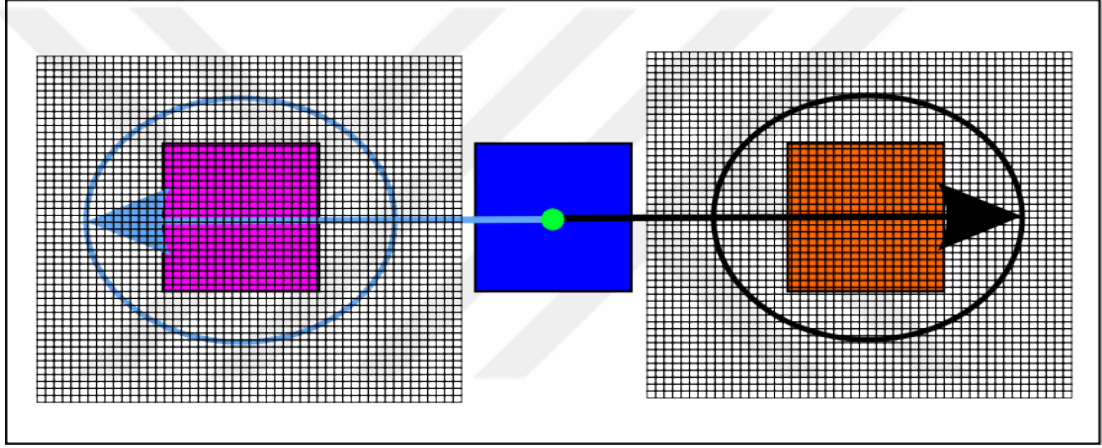
Şekil 5.5 Mavi Pikseller İçin Tarama Alanı

Bu sayede plaka dışında olan fakat filtrelerden geçerek bu aşamaya gelen istenmeyen mavi pikseller bir kez daha elimine edilmiş olacaktır. Şekil 5.5’de görüldüğü üzere mavi rengimiz etrafında olması gereken beyaz pikseller, taralı alanla ifade edilmiştir. Fakat burada alanın çok geniş tutulmaması gerektiği unutulmamalıdır. Alanın genişlemesi plaka etrafında bulunan olası mavi renk içeren cisimlerin de filtreden geçmesine olanak sağlayabilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken bir başka detay ise İHA uçuşları sırasında yapılacak olan fotoğraf çekimleri sonucunda veya dış etmenlerden dolayı renklerde meydana gelebilecek bozulmalar, yayılmalar, genişlemelerdir. Kırmızı çember ile gösterilen alan mavi rengin yayılma gösterebileceği alan olarak işaretlenmiş ve beyaz tarama işlemi için belirlenen sınırlar bu alanın dışına çıkılacak şekilde ayarlanmıştır. Belirlenen grup orta noktalarının etrafında taranan beyaz miktarları da plaka dizaynına göre ayarlanmaktadır. Burada da etrafında gereğinden fazla veya az sayıda beyaz piksel bulunan gruplar elimine edilmiştir. Yani gelinen aşamada yapılan filtreleme işlemlerini özetleyecek olursak;

- Önsel konumlar dikkate alınarak taranacak alanlar işaretlenmiştir.

- Taranan önsel konumlarda bulunan mavi pikseller, birbirlerine olan mesafelerine göre gruplara ayrılmıştır.
- Ayrılan bu gruplar eleman sayılarına göre elimine edilmiştir.
- Mevcutta kalan grupların orta noktaları tespit edilerek etrafında belirli bir miktarda beyaz piksel bulunan gruplar seçilerek ayrılmıştır.

Tüm bu işlemler sonucu mevcut durumda elimizde kalan mavi grup orta noktaları istenilen sonucu vermeyebilmektedir. Çünkü doğada bu şartları sağlayacak birçok alan olabilmekte bu durumda mevcut noktalarımızın, plaka ortasına konumlandırılmış olduğumuz mavi pikseller olduklarına tam olarak karar vermemiz adına birkaç filtrelemeden daha geçirilmesi gerekmektedir.

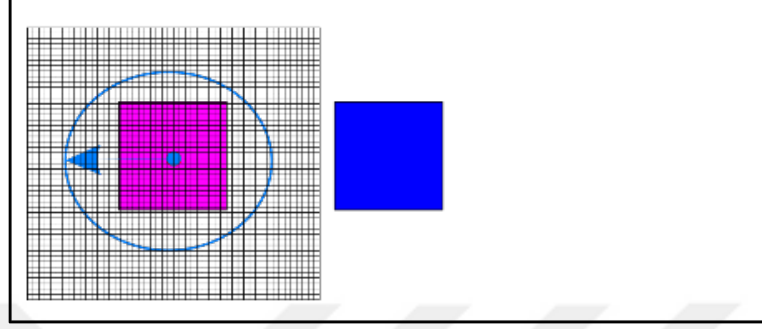


Şekil 5.6 Turuncu ve Pembe Pikseller İçin Tarama Alanı

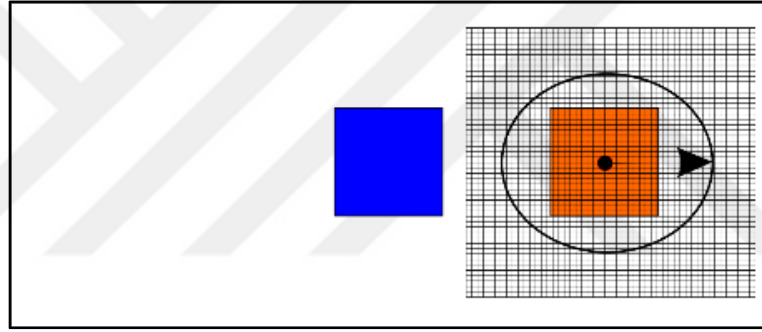
Plaka üzerine yerleştirilmiş olan pembe ve turuncu kareler yukarıda bahsedilen filtrelerden geçtikten sonra elimizde kalan mavi piksellerin plakaya ait olup olmadığının tam olarak tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Kalan mavi piksellerin Şekil 5.6'da görüldüğü üzere sağında ve solunda belirli alanlar içerisinde pembe ve turuncu renk analizleri yapılmakta, şartları sağlayan mavi pikseller tutulmaktadır. Fakat dış etmenlerden dolayı pembe ve turuncu renkleri de geniş bir RGB aralığında karşımıza çıkabilmektedir. Bu sebepten mavi etrafında bulunan pembe ve turuncu renklerin de bazı şartları sağlaması gerekmektedir. Bu şartlar şu şekildedir:

- Bulunan mavi piksellere mesafesi uygun olmalıdır. Çok yakın veya çok uzakta kalan pembe veya turuncu pikseller plakamızı temsil etmeyecektir.

- Bu pembe ve turuncu piksellerin daha önce mavi piksellerde olduğu gibi etrafında belirli sayıda ve mesafede beyaz pikseller bulunmalıdır. Bu pikseller çok uzak olmamakla birlikte sayıları da çok fazla olmamalıdır. Plaka tasarımı bunu belirleyecektir. Şekil 5.7’de pembe ve Şekil 5.8’de turuncu etrafında beyaz piksellerin tarandığı alanlar gösterilmiştir:



Şekil 5.7 Pembe Piksel Beyaz Tarama Alanı



Şekil 5.8 Turuncu Piksel Beyaz Tarama Alanı

5.1.2 Deformasyon plakalarının koordinatlandırılması

Yapılan tüm bu filtrelemeler sonucunda elimizde kalan mavi pikseller artık fotoğraf koordinatlarından coğrafi koordinatlara geçirilmektedir. Bu işlem ortofoto harita köşe koordinatlarına, tespit edilen pikselin koordinatlarının piksel kenar uzunluğu(veya GSD) ile çarpımının eklenilmesi veya çıkartılması ile hesaplanmaktadır. İki boyutlu konumsal bilgileri fotoğraf piksel koordinatları ve ortofoto harita üzerinde ki karşılıklarından alınırken, yükseklik değerleri ise SYM’den dahil edilmektedir. Son olarak eğer talep edilirse kullanıcıya bulunan noktalar gösterilmekte ve görsel olarak kendisinin seçmek istediği kısmı seçebilmesine(Şekil 6.8) izin verilmektedir. Tüm bu anlatılanların detaylı ve uygulamalı gösterimi Bölüm 6’da uygulama kısmında verilmiştir.

5.1.3 Hız değerleri ile enterpolasyon haritaları üretilmesi

Plaka tespiti ve koordinatlandırılması aşamasından sonra elde edilen periyodik üç boyutlu konum bilgileri Bölüm 4.1’de anlatılmış olan Kalman Filtreleme Tekniği yardımıyla değerlendirilmekte ve her bir noktanın üç boyutlu hız bilgileri elde edilmektedir. Hız bilgileri kullanılarak alansal deformasyonların yorumlanmasını kolaylaştırması açısından enterpolasyon haritaları çizdirilmektedir. Yer bilimlari açısından değerlendirildiğinde araziye tam olarak modellemek mümkün olmamaktadır. Çünkü araziye tam olarak modelleyebilmek için sonsuz sayıda nokta gerekmektedir. Sonsuz sayıda ölçüm yapmak ise pratikte olanaklı değildir. Bu yüzden enterpolasyon yöntemleri ile dayanak noktaları kullanılarak diğer noktaların değerleri hesaplanır. Bu sayede yüzey modellenmeye çalışılır.

Geliştirilmiş olan algoritma kapsamında varsayılan olarak Biharmonik Spline Enterpolasyonu(V4) ve Doğal Komşuluk Enterpolasyonu yöntemleri tanımlanmıştır. Bu yöntemlerin detayları Bölüm 5.1.3.1 ve Bölüm 5.1.3.2’de açıklanmaktadır. Bunun yanı sıra kullanıcı tarafından diğer enterpolasyon yöntemleri de tercih edilebileceği için bu uygulama kapsamında korelasyon değerlerini kıyaslamak adına diğer yöntemler olan Nearest, Cubic ve Linear enterpolasyon yöntemlerinden de korelasyon değerleri hesaplanarak Çizelge 6.9’da verilmiştir.

5.1.3.1 Biharmonik spline enterpolasyonu

Biharmonik Spline Enterpolasyonu, düzensiz aralıklı iki boyutlu veri noktalarının bir enterpolasyonudur. (<http://www.fon.hum.uva.nl>)

Bu enterpolasyon yönteminde veri kümesinin tamamı için tek bir fonksiyon uyumlamak yerine veri kümesi gruplara ayrılmakta ve her bir veri aralığı için uygun fonksiyon uygulanmaktadır. Bu sayede düşük dereceli bir fonksiyon ile ifade edilemeyecek değişimler veya yüksek dereceli bir fonksiyon ile uyuşmayacak değişimler tutarlı bir şekilde ifade edilmiş olmaktadır. (Baştürk, 2018)

Enterpolasyon yüzeyi, her bir veri noktasında ortalanmış Green fonksiyonların doğrusal bir kombinasyonudur. Green fonksiyonların genlikleri doğrusal bir denklem sistemi çözülerek bulunmaktadır.

Yüzey $s(x)$ olarak ifade edilir.

$$S_{(x)} = \sum_j 1^n w_j g(x, x_j) \quad (5.1)$$

n , veri noktalarının sayısı olmak üzere $x_j = (x_j, y_j)$ j noktaları, $g(x, x_i)$ Green's Fonksiyonu ve w_j ise j noktalarının ağırlıklarıdır. Ağırlıklar(w_j), veri noktalarının (n) $S(x)$ yüzeyiyle ne kadar uyduğuna bağlı olarak belirlenmektedir.

$$S(x) = \sum_{j=1}^n w_j g(x_i, x_j), i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (5.2)$$

Bu sayede w_j için $n \times n$ boyutunda bir doğrusal denklem elde edilmiş olmaktadır.

d boyut olmak üzere 2, 3 ... m boyutunda veriler için Green Fonksiyonu ise;

$$d=1 \text{ için: } g(x_i, x_j) = |x_i - x_j|^3 \quad (5.3)$$

$$d=2 \text{ için: } g(x_i, x_j) = |x_i - x_j|^2 (\ln|x_i - x_j| - 1) \quad (5.4)$$

$$d=3 \text{ için: } g(x_i, x_j) = |x_i - x_j|^3 \quad (5.5)$$

$$d=4 \text{ için: } g(x_i, x_j) = \ln|x_i - x_j| \quad (5.6)$$

$$d=5 \text{ için: } g(x_i, x_j) = |x_i - x_j|^{-1} \quad (5.7)$$

$$d=6 \text{ için: } g(x_i, x_j) = |x_i - x_j|^{-2} \quad (5.8)$$

$$d=m \text{ için: } g(x_i, x_j) = |x_i - x_j|^{4-m} \quad (5.9) \text{ olarak}$$

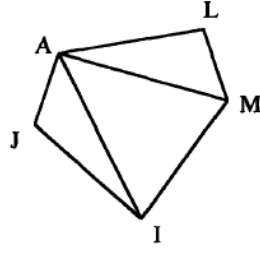
tanımlanmaktadır. (Sandwell, 1987)

5.1.3.2 Doğal komşuluk enterpolasyonu

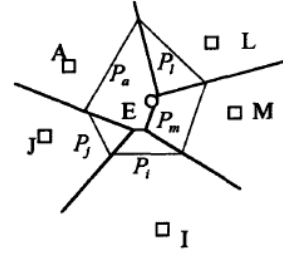
"Düzlemdeki bir nokta kümesi, "oluşacak üçgenlerin çevrel çemberleri içerisinde başka bir nokta bulunmasın" koşuluna göre üçgenlenirse elde edilecek üçgenleme Delaunay üçgenlemesidir. Oluşan her üçgen bir Delaunay üçgenidir.(Şekil 5.9) Bir üçgen kenarını oluşturan iki nokta birbirinin doğal komşusudur. Bir noktanın doğal komşuları kullanılarak, o noktanın doğal komşu koordinatları hesaplanabilir." (Yanalak, 1997)

Bir noktanın değeri belirlenmek istediğinde dayanak noktaları üçgenlenir ve Voronoi diyagramı çizilir. Enterpolasyon noktası ile komşu dayanak noktalarını birleştiren doğru parçalarının kenar orta dikmeleri yardımıyla enterpolasyon noktasının Voronoi Diyagramı(Şekil 5.10) oluşturulur. Belirlenen bu çokgen ile daha önceden belirlenen

Voronoi çokgenlerinin kesişim alanları enterpolasyon noktasının doğal komşu koordinatlarını verir. (Köroğlu, 2006)



Şekil 5.9 Delaunay Üçgeni
(Yanalak, 1997)



Şekil 5.10 Voronoi Diyagramı
(Yanalak, 1997)

Şekil 5.10'da gösterilmiş olan P_a , P_i , P_m , P_l ve P_j alanları E noktasının doğal komşu koordinatlarını gösterir. Enterpolasyon noktasına ait Z_0 değeri, kendine komşu olan noktaların Z_i değerlerinin ağırlıklı ortalamasıyla bulunur. Ağırlık olarak doğal komşu değerleri kullanılır,

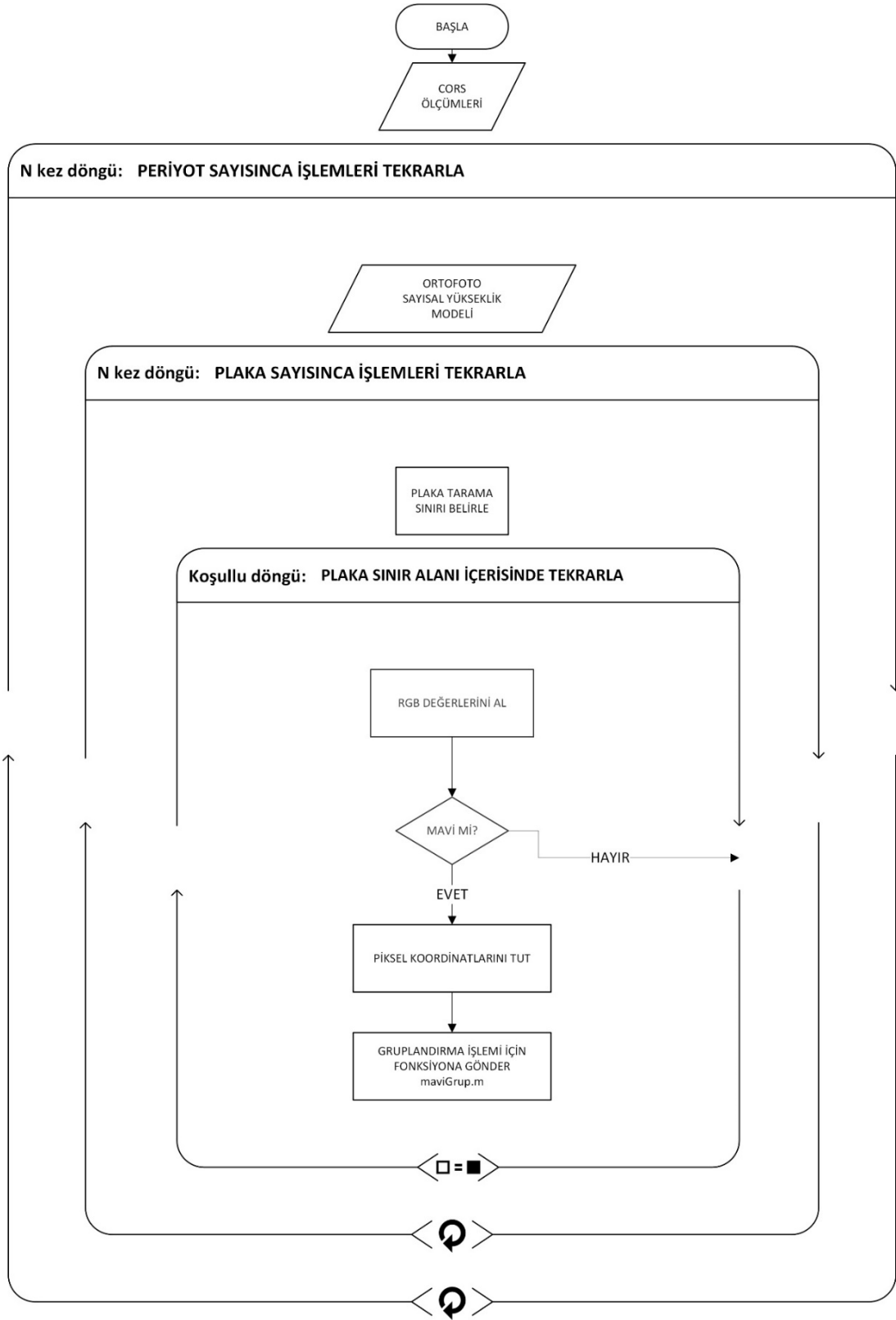
$$Z_0 = P_a Z_A + P_i Z_L + P_m Z_M + P_l Z_i + P_j Z_j \quad (5.10)$$

Bu komşu değerlerin ağırlaklandırılmış ortalamaları ile enterpolasyon değeri hesaplanır. (Yanalak, 1997)

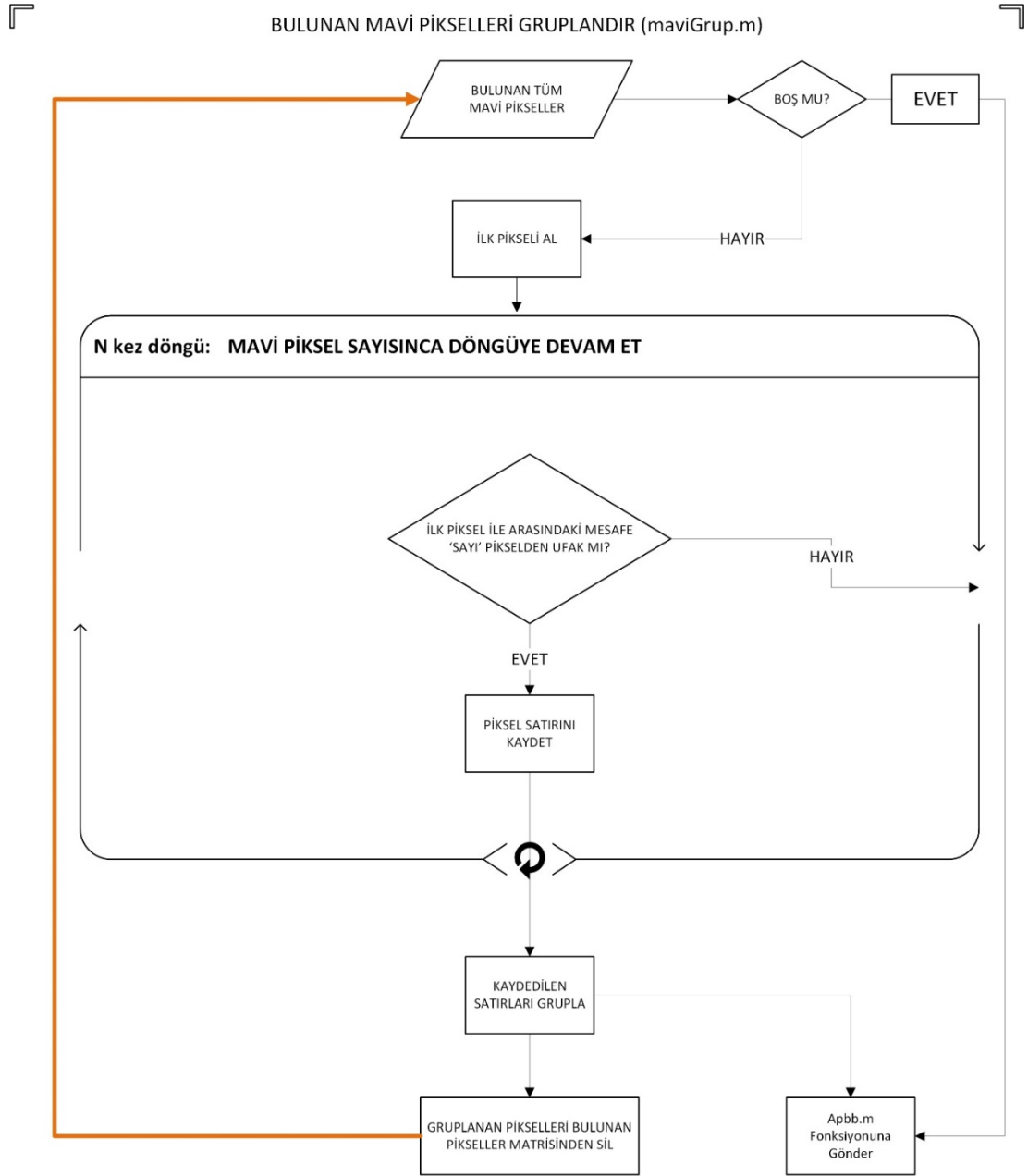
5.1.4 GNSS ve İHA konum fark grafikleri

Bir jeodezik noktanın Yukarı(-n), Sağa(-e) ve Yükseklik(-up) değerlerinin gösterildiği grafiklere **konum grafikleri** denir. Konum grafikleri noktanın konumsal olarak zamanla uğradığı değişimi göstermek için kullanılmaktadır. Geliştirilmiş olan yazılım ile GNSS ve İHA Fotogrametrisi verilerinin konumlarını ve birbirleri arasındaki farkları gösteren GNSS ve İHA konum grafikleri gösterilebilmektedir. Bu grafikler GNSS ve İHA noktalarının zamana göre değişimlerini ve birbirlerine göre farklarını görebilmemiz ve kütle hareketleri hakkında yorum yapabilmemiz adına fayda sağlamaktadır.

Bölüm 5'de yazılı olarak detaylandırılan algoritmanın bölümlerine ait diyagramlar Şekil 5.11 - ... - Şekil 5.16'de sunulmuştur.

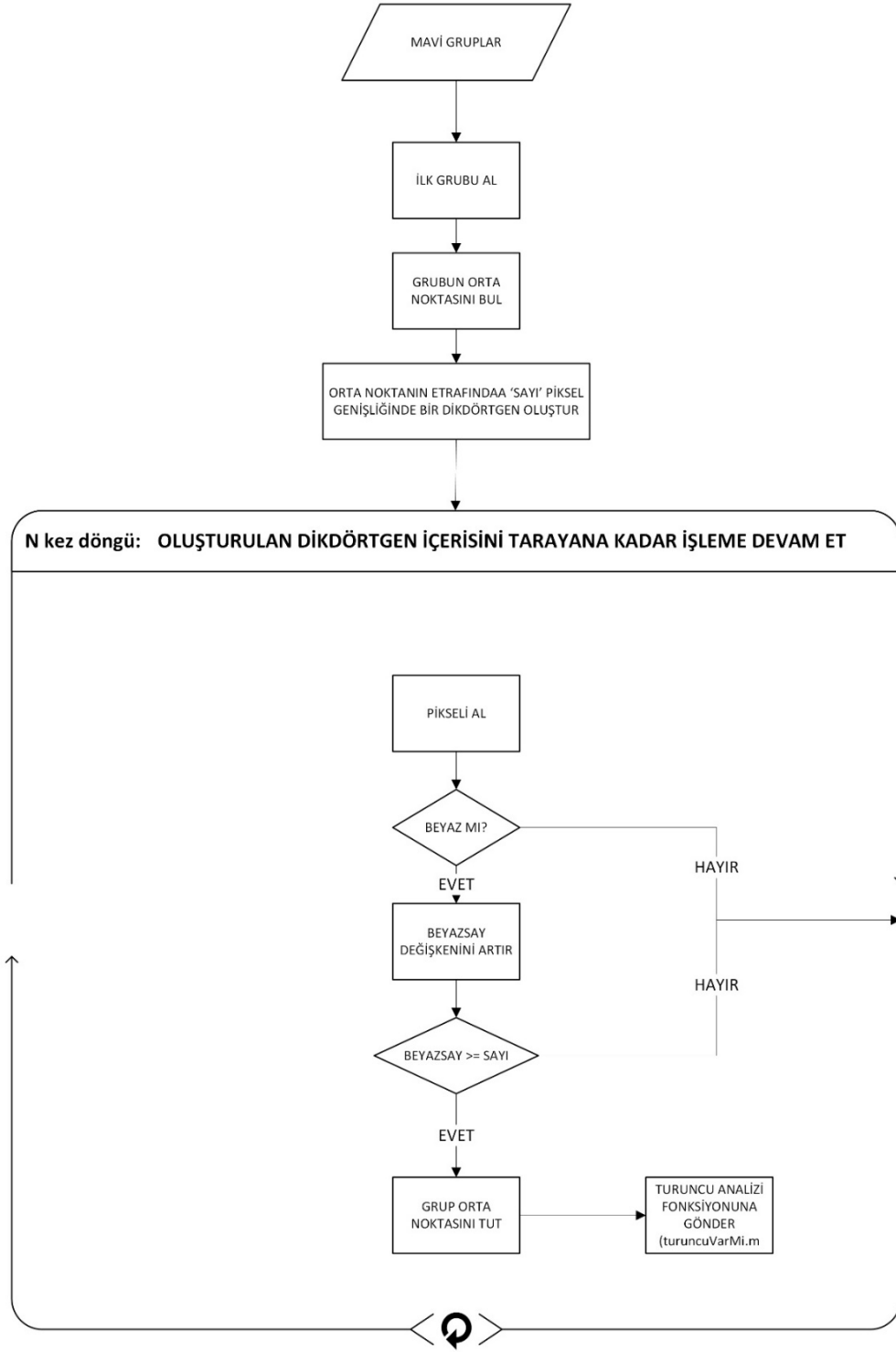


Şekil 5.11 Def. Yaz. Algoritması Diyagramı



Şekil 5.12 Def. Yaz. Algoritması Diyagramı

ARKA PLANI BEYAZ RENK OLAN GRUPLARI ARA (Apbm.m)



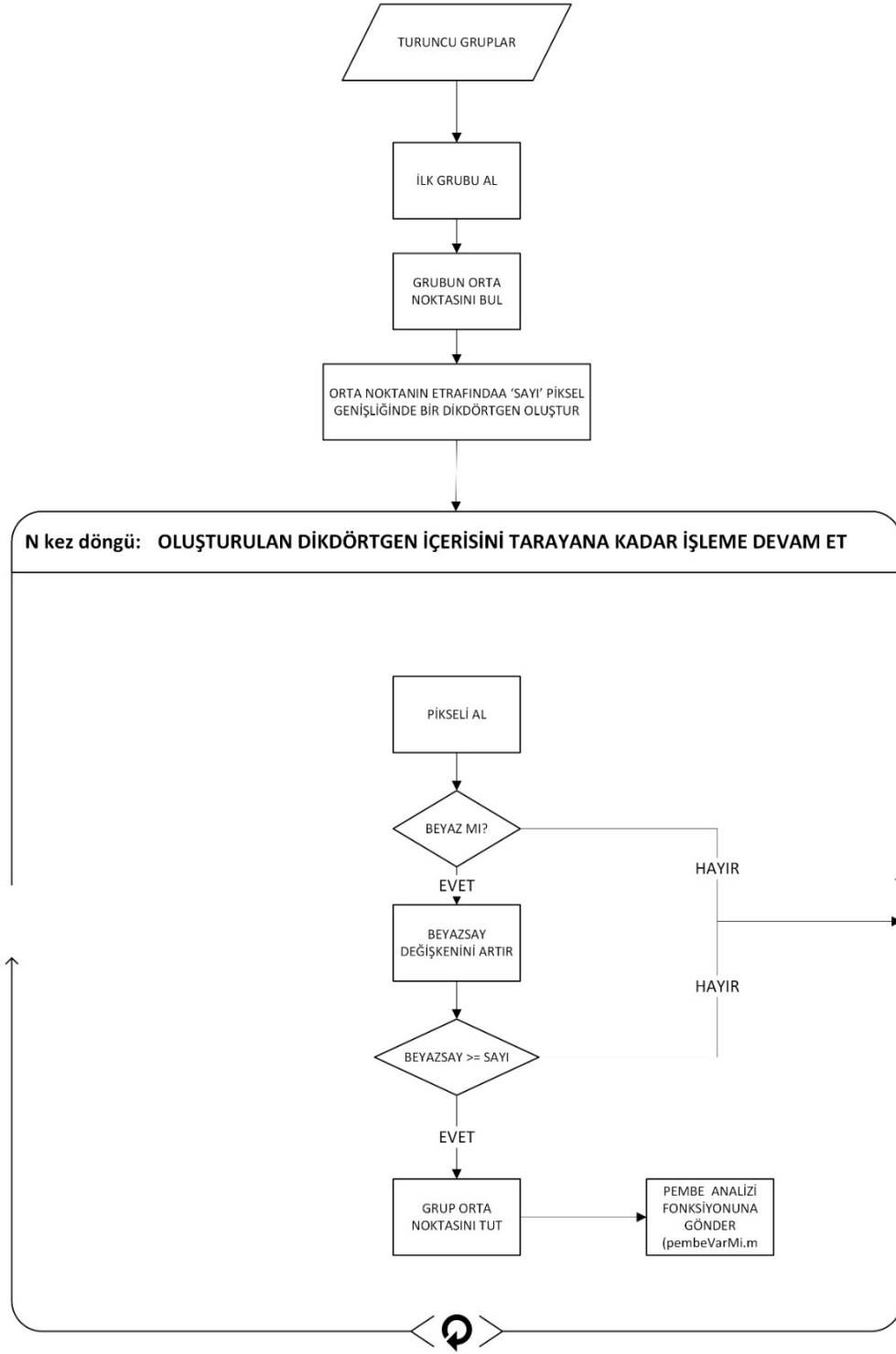
Şekil 5.13 Def. Yaz. Algoritması Diyagramı

ETRAFINDA TURUNCU OLAN MAVİ ORTA NOKTALARI (turuncuVarMi.m)



Şekil 5.14 Def. Yaz. Algoritması Diyagramı

ARKA PLANI BEYAZ RENK OLAN TURUNCU GRUPLARI AYIKLA (Apbt.m)



Şekil 5.15 Def. Yaz. Algoritması Diyagramı

ETRAFINDA PEMBE OLAN MAVİ ORTA NOKTALARI (pembeVarMi.m)



Şekil 5.16 Def. Yaz. Algoritması Diyagramı

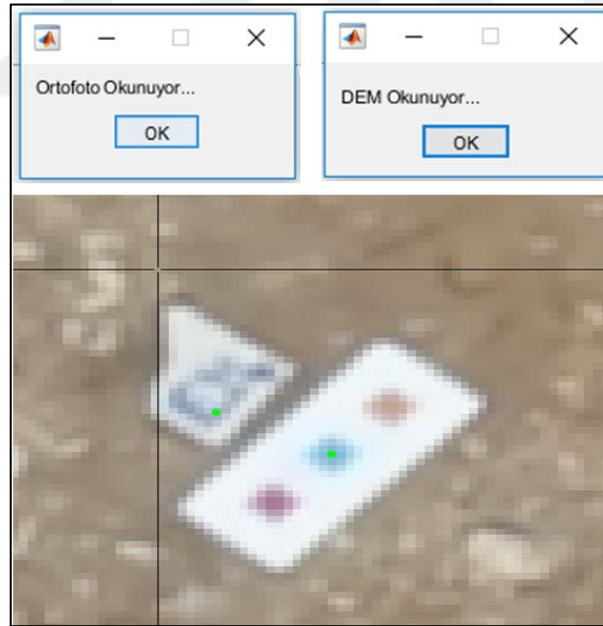
6. UYGULAMA

6.1 Amaç

Olası deformasyon sahalarında İHA Fotogrametrisi yöntemiyle elde edilen ortofoto ve SYM'ler kullanılarak, bu tez çalışması kapsamında geliştirilmiş olan algoritma ve yazılım yardımıyla deformasyonların tespitinin mümkün kılınması amacıyla bir yöntem geliştirilmiştir. Bu uygulama ile geliştirilen yöntem somutlaştırılmış ve test edilmiştir.

6.2 Kapsam

Hazırlanan algoritmanın bir uygulamaya tabi tutulabilmesi için seçilen bir programlama dili ile yazılım haline getirilmesi gerekmektedir. Bu uygulamada, geliştirilen algoritmanın MATLAB dili kullanılarak yazılım haline getirilmesine karar verilmiştir. MATLAB çok örneklemlili bir sayısal hesaplama yazılımıdır. Dördüncü nesil bir programlama dili olan MATLAB, MathWorks firması tarafından geliştirilmiştir. Bu tez kapsamında geliştirilmiş olan ve uygulama esnasında detaylandırılacak olan yazılımdan örnek bir görüntü aşağıda sunulmuştur.(Şekil 6.1)

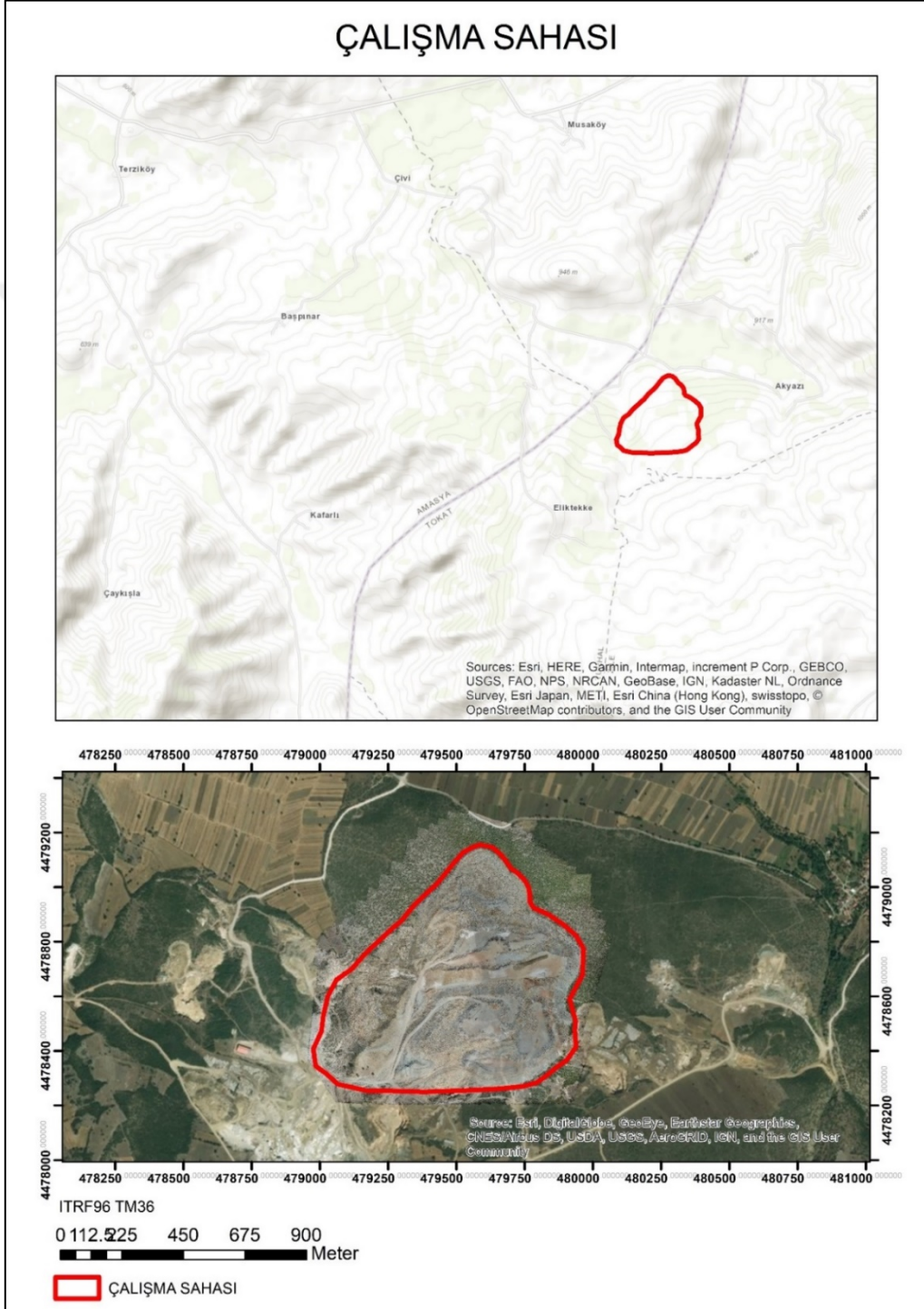


Şekil 6.1 Deformasyon Takip Yazılımı Örnek Görüntü

6.3 Çalışma Sahası

Dr. Öğretim Üyesi Yavuz GÜL'ün yürütücülüğünü üstlendiği ve araştırmacılar arasında tez danışmanı Doç. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU ve çalışma ekibinde Geomatik

Mühendisi Burak Can KARA'nın da bulunduğu "Fimar, Emmioğlu ve Alternatif Mermer A.Ş.'ye ait Amasya Mermer Ocağı Döküm Sahası Şevlerinde Deformasyonların Jeodezik Yöntemle İzlenmesi ve Değerlendirilmesi" isimli Cumhuriyet Üniversitesi Döner Sermaye İşletmesi projesi tez çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışma alanı Yer Bulduru Haritası, Şekil 6.2'de verilmiştir:



Şekil 6.2 Tez Çalışma Alanı Yer Gösteri Haritası

6.3.1 Çalışma sahası genel özellikleri

Çalışma sahası Amasya ili Eliktekte köyü mevkiinde olan bir mermer açık işletmesi döküm sahasıdır. Döküm sahası üç farklı firma tarafından dökümler kendi ruhsat alanlarında olmak üzere, sınırları bitişik alanlara yapılmaktadır. Yaklaşık 70 hektarlık bir alanı kapsamakta olan saha, yaklaşık 800 metre genişliğinde ve 900 metre uzunluğundadır. Çalışma sahasında ki en büyük yükseklik farkı 145 metre olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.3 Çalışma Sahasından Görüntüler

6.4 Arazi ve Büro Çalışmaları

Çalışma sahasında meydana gelen deformasyonların izlenmesi amacıyla, döküm sahası üzerinde 46 adet ve saha dışında 3 adet olmak üzere, toplam 49 adet noktadan oluşan bir İHA deformasyon ağı oluşturulmuştur. Deformasyon ağı tesisinde deformasyon plakaları kullanılmıştır. Bu plakalar bir önceki bölümde(Bölüm 5) tasarımı detayları verilmiş olan; 70 cm uzunluk, 30 cm genişlikte, üzerlerinde özel olarak seçilmiş renkler bulunan ve 50 santimetrelik bir sabitleme çivisiyle zemine sabitlenebilen özel tasarımlı plakalardır. Tesis edilen plakalar uçuş zamanlarına eşlenik olarak “Fimar, Emmioğlu ve Alternatif Mermer A.Ş.’ye Ait Amasya Mermer Ocağı Döküm Sahası Şevlerinde Deformasyonların Jeodezik Yöntemle İzlenmesi ve Değerlendirilmesi” adlı proje kapsamında hızlı statik GNSS yöntemi ile ölçülmüştür. Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen ve deformasyon plakalarını otomatik olarak tespit edip üç boyutlu olarak koordinatlandırabilen yazılım çalışmasının sonuçları, yapılan GNSS ölçümleri ile doğrulama amaçlı karşılaştırılmıştır.

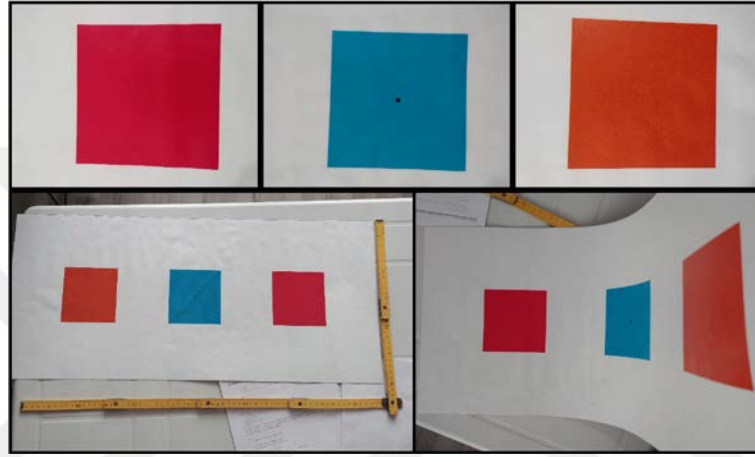
6.4.1 Plakaların tasarımı ve tesisi

Deformasyon plakaları, ortofoto haritalar ile SYM’lerden faydalanarak deformasyonların tespitini sağlamak amacıyla ortaya konulan algoritmanın gereksinimleri göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Plakalar 70 cm uzunluğunda ve 30 cm genişliğinde metal bir plakadan oluşmaktadır. Bu metal plaka, zemine sabitlenmesi ve kütle hareketleri harici etmenlerden etkilenmemesi için 50 cm uzunluğunda bir çivi ile birleştirilecek şekilde imal ettirilmiştir.(Şekil 6.4)



Şekil 6.4 Deformasyon Plakası Üretim Aşaması

Üretilen plakalar üzerine arazinin genel renk değerlerine aykırı olacak şekilde belirlenmiş ve RGB değerleri **R:185 G:15 B:47** olan pembe renkli, **R:80 G:159 B:203** olan mavi renkli ve **R:213 G:122 B:57** olan turuncu renkli kareler yerleştirilmiştir. Her bir karenin boyutları bir kenarı 10 cm olacak şekilde belirlenmiştir. Burada seçilen uzunluk, yapılması planlanan İHA uçuşlarındaki GSD(Yer Örneklem Aralığı) göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Daha sonra dış etmenlerden(güneş, yağmur vb.) etkilenmeyecek bir malzemedan üretilen ve plaka yüzeylerine yapıştırılacak olan yapışkan kağıtların üretimleri gerçekleştirilmiştir. (Şekil 6.5)



Şekil 6.5 Deformasyon Plakaları Üst Yüzey Tasarımı

Hazırlanan plakalar sahada öngörülen deformasyon noktalarına tesis edilmiştir.(Şekil 6.6) Bu noktaların dağılımları, saha topografyası göz önüne alınarak, her kademeyi temsil edecek ve yaklaşık homojen olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Noktalar sahada bulunan düz ve yersel ölçümlere de imkan sağlayacak lokasyonlara yerleştirilmiş, orta bölgede bulunan 50 cm'lik sabitleme çivisine ek olarak uç noktalardan da dönmesini engelleyecek şekilde çivilerle sabitlenmiştir. Sabitlenen plakalara sudan etkilenmeyecek renkli kağıtlar yapıştırılmıştır.

6.4.2 GNSS ölçümleri ve İHA uçuşları

“Fimar, Emmioğlu ve Alternatif Mermer A.Ş.’ye Ait Amasya Mermer Ocağı Döküm Sahası Şevlerinde Deformasyonların Jeodezik Yöntemle İzlenmesi ve Değerlendirilmesi” projesi kapsamında 12-13 Temmuz, 26-27 Temmuz ve 01-02 Eylül 2018 tarihlerinde ikişer gün tekrarlı olmak üzere toplam üç periyot GNSS gözlemi gerçekleştirilmiştir ve aşağıda (Bölüm 6.4.2.1) detayları anlatılan şekilde değerlendirmeleri yapılmıştır:



Şekil 6.6 Deformasyon Plakalarının Tesisi(Gül vd., 2018)

Yapılan GNSS ölçüleriyle eş zamanlı olarak üç periyot İHA uçuşu da gerçekleştirilmiştir. GNSS ölçümleri aynı zamanda, bu tez çalışması kapsamında geliştirilmiş olan ve İHA Fotogrametrisi sonucu üretilen ortofoto ve SYM'lerden otomatik olarak deformasyon plakalarının üç boyutlu koordinatlarını ve hızlarını tespit edebilen yazılımın sonuçlarıyla da kıyaslanmıştır.

GNSS ölçümlerinde Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'ne ait 3 adet Leica GS15, 6 adet Trimble 5600 marka GNSS alıcısı ve GEOMINE Ar-Ge Mühendislik Danışmanlık Yazılım Ltd. Şti.'ne ait 2 adet Ashtech Z-Max, 1 adet Satlab SL600 marka GNSS alıcısı olmak üzere toplam 12 adet GNSS alıcı seti kullanılmıştır. Çalışma sahasında GNSS noktaları arası baz uzunlukları 5 km'den küçük olduğu için GNSS ölçümleri(Şekil 6.7) hızlı statik yöntemle gerçekleştirilmiştir. GNSS ölçümleri kontrol amaçlı 2 gün tekrarlı yapılmıştır. Döküm sahası içerisinde bulunan 46 adet obje noktası için en az yarımşar saat ölçü gerçekleştirilmiş olup döküm sahası dışında bulunan 3 adet sabit noktada ise yaklaşık 10 saat gözlem gerçekleştirilmiştir. (Gül vd., 2018)



Şekil 6.7 Deformasyon Plakalarında Yapılmış Olan GNSS Ölçümleri

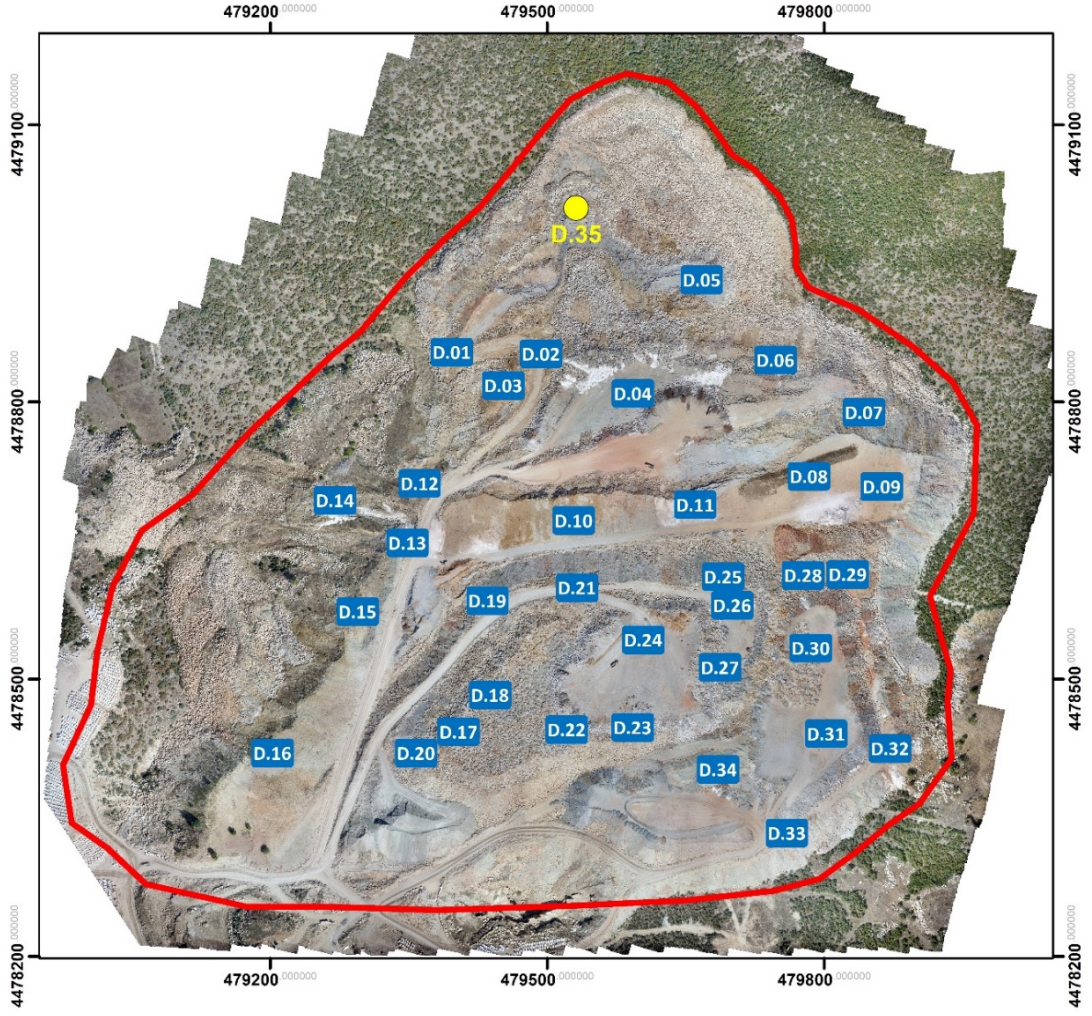
GNSS ölçülerinin değerlendirilmesinde ilk olarak TUSAGA Aktif noktaları olan AMA1,CORU,TOK1 nolu noktalara dayalı olarak deformasyon sahası dışında bulunan 3 adet GNSS noktası(SBT1, SBT2, SBT3) BERNESE 5.2 yazılımı kullanılarak değerlendirilmiş ve bu 3 noktaya ilişkin ITRF96 datumunda ölçü epok koordinat değerleri elde edilmiştir. Daha sonra döküm sahası içerisinde bulunan 46 adet nokta, döküm sahası dışında bulunan 3 adet sabit GNSS noktasına dayalı olarak değerlendirilmiş ve bu noktalara ilişkin ölçü epok koordinat değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte her periyotta 2 gün tekrarlı hızlı statik ölçülere ek olarak kaba hata elimine etmek amacı ile 46 adet obje noktasında GNSS CORS yöntemi ile TUSAGA-Aktif sistemine bağlı CORS ölçüleri gerçekleştirilmiştir. (Gül vd., 2018)

Bu 46 adet noktadan 34 tanesi İHA fotogrametrisi ile deformasyon izlemeye yönelik olarak kullanılmış ve 10-12 adet nokta ise fotogrametrik değerlendirme sırasında yer kontrol noktası olarak kullanılarak deformasyon değerlendirmeleri için kullanılmayarak dışarıda bırakılmıştır. Kullanılan deformasyon plakalarının hassas GNSS sonuçları Çizelge 6.1, dağılımları ise Şekil 6.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 Hızlı Statik GNSS Ölçüleri (Gül vd., 2018)

Nokta No	1. Periyot (P1) 12-13 Temmuz 2018			2. Periyot (P2) 26-27 Temmuz 2018			3. Periyot (P3) 01-02 Eylül 2018		
	Sağa	Yukarı	Yük.	Sağa	Yukarı	Yük.	Sağa	Yukarı	Yük.
D.01	479396.804	4478854.171	960.480	479396.795	4478854.175	960.472	479396.790	4478854.187	960.466
D.02	479493.515	4478852.340	973.733	479493.508	4478852.361	973.722	479493.510	4478852.395	973.713
D.03	479452.629	4478818.026	977.618	479452.624	4478818.049	977.613	479452.625	4478818.068	977.609
D.04	479593.068	4478809.431	986.411	479593.067	4478809.453	986.401	479593.074	4478809.542	986.369
D.05	479667.584	4478932.435	954.429	479667.582	4478932.450	954.414	479667.586	4478932.485	954.409
D.06	479747.682	4478845.600	973.907	479747.688	4478845.605	973.901	479747.685	4478845.619	973.880
D.07	479843.401	4478788.979	990.731	479843.395	4478788.975	990.730	479843.401	4478788.984	990.724
D.08	479783.650	4478719.632	1012.368	479783.647	4478719.626	1012.358	479783.644	4478719.630	1012.362
D.09	479862.537	4478708.683	1012.580	479862.540	4478708.682	1012.575	479862.537	4478708.678	1012.567
D.10	479528.836	4478671.812	1010.523	479528.828	4478671.812	1010.522	479528.830	4478671.819	1010.518
D.11	479660.551	4478688.987	1012.418	479660.547	4478688.983	1012.424	479660.552	4478688.985	1012.421
D.12	479362.013	4478712.116	995.676	479362.009	4478712.104	995.665	479362.021	4478712.123	995.654
D.13	479348.830	4478647.714	1005.257	479348.826	4478647.714	1005.264	479348.827	4478647.718	1005.257
D.14	479270.305	4478693.589	966.581	479270.305	4478693.595	966.580	479270.305	4478693.592	966.574
D.15	479294.761	4478573.248	995.720	479294.762	4478573.259	995.717	479294.766	4478573.252	995.719
D.16	479202.605	4478419.925	989.385	479202.601	4478419.920	989.390	479202.603	4478419.926	989.373
D.17	479402.872	4478443.174	1040.320	479402.875	4478443.166	1040.307	479402.880	4478443.164	1040.294
D.18	479438.397	4478482.962	1040.730	479438.393	4478482.963	1040.728	479438.394	4478482.964	1040.705
D.19	479435.510	4478585.017	1025.824	479435.504	4478585.026	1025.813	479435.498	4478585.025	1025.801
D.20	479358.235	4478419.913	1026.180	479358.233	4478419.920	1026.176	479358.234	4478419.916	1026.161
D.21	479532.622	4478599.025	1037.201	479532.618	4478599.023	1037.194	479532.613	4478599.024	1037.177
D.22	479521.313	4478445.327	1040.595	479521.313	4478445.331	1040.582	479521.329	4478445.337	1040.530

Nokta No	1. Periyot (P1) 12-13 Temmuz 2018			2. Periyot (P2) 26-27 Temmuz 2018			3. Periyot (P3) 01-02 Eylül 2018		
	Sağa	Yukarı	Yük.	Sağa	Yukarı	Yük.	Sağa	Yukarı	Yük.
D.23	479592.795	4478447.743	1041.432	479592.796	4478447.746	1041.412	479592.772	4478447.759	1041.281
D.24	479604.283	4478542.508	1049.504	479604.262	4478542.499	1049.454	479604.248	4478542.475	1049.385
D.25	479690.800	4478603.419	1039.178	479690.794	4478603.416	1039.162	479690.792	4478603.418	1039.135
D.26	479700.572	4478579.956	1039.823	479700.572	4478579.941	1039.823	479700.569	4478579.944	1039.803
D.27	479687.464	4478512.810	1040.706	479687.452	4478512.810	1040.682	479687.435	4478512.795	1040.625
D.28	479777.439	4478612.453	1030.532	479777.433	4478612.440	1030.517	479777.435	4478612.443	1030.503
D.29	479825.890	4478613.486	1030.191	479825.890	4478613.485	1030.175	479825.895	4478613.490	1030.166
D.30	479785.788	4478533.795	1046.501	479785.789	4478533.801	1046.476	479785.787	4478533.787	1046.429
D.31	479802.388	4478440.956	1045.903	479802.407	4478440.959	1045.883	479802.457	4478440.901	1045.750
D.32	479871.586	4478424.902	1032.178	479871.586	4478424.907	1032.170	479871.591	4478424.910	1032.153
D.33	479759.779	4478333.406	1031.044	479759.776	4478333.409	1031.035	479759.777	4478333.409	1031.020
D.34	479685.268	4478402.187	1042.220	479685.261	4478402.166	1042.190	479685.240	4478402.155	1042.161
D.35	479531,6	4479010,2	938,0	479531,6	4479013,3	937,0	479531,6	4479013,4	937,0



Şekil 6.8 Deformasyon Plakaları ve Dağılımları

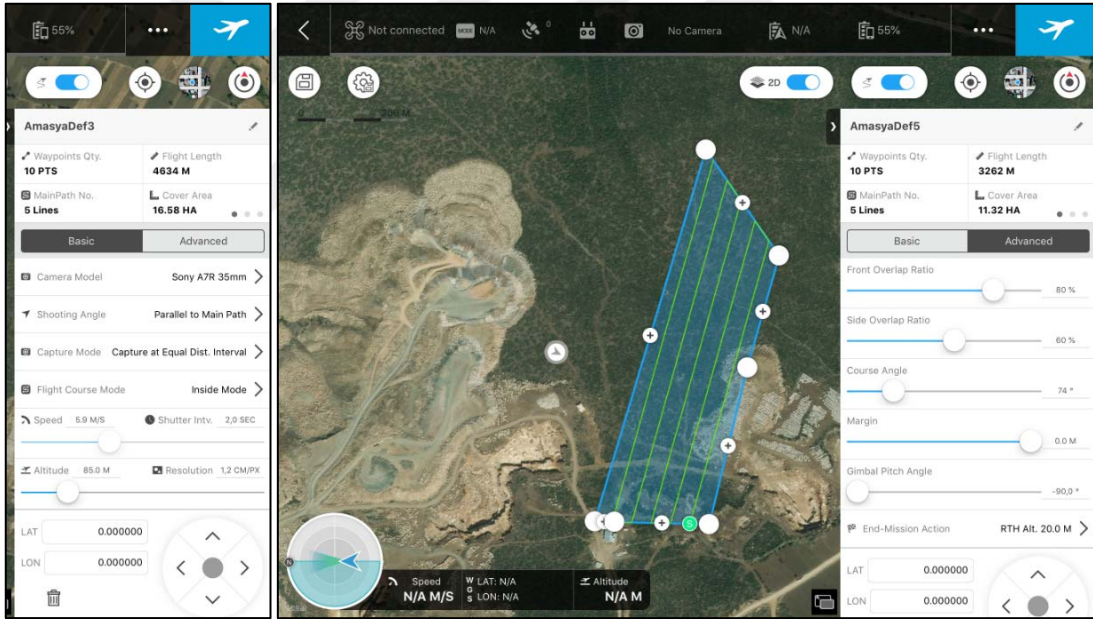
6.4.2.1 İha uçuşları

Çalışma sahasına yerleştirilen deformasyon plakalarından sonra İnsansız Hava Aracı (İHA) ile döküm sahasını kapsayacak şekilde uçuşlar gerçekleştirilmiştir. Bu uçuşlar GEOMINE Ar-Ge Mühendislik Danışmanlık Yazılım Ltd.Şti pilotu olan Geomatik Mühendisi Burak Can KARA tarafından yapılmıştır. Uçuşlarda DJI Matrice 600 Pro marka hegzakopter, Ronin MX Gimbal ve Sony A7R marka kamera kullanılmıştır.(Şekil 6.9)



Şekil 6.9 Kullanılan İHA ve Donanımlarına Ait Görüntüler

Uçuşlar 85 metre yükseklikten %80 boyuna %60 enine bindirme oranlarında yapılmıştır. Yer örnekleme aralığı 1.2 cm/piksel ve uçuş hızı 5.9 m/s olarak ayarlanmıştır.(Şekil 6.10) Uçuşlar aydınlanmanın en uygun olduğu zaman aralığı olan saat 10:00 ile 14:00 saatleri arasında yapılmıştır.



Şekil 6.10 Uçuş Planlaması

Yukarıdaki görselde çalışma alanının bir kısmına ait uçuş planı gösterilmiştir. Uçuş planları DJI firmasının geliştirmiş olduğu “DJI Ground Station Pro” isimli uçuş planlama yazılımı ile yapılmıştır. Tüm çalışma alanı bu şartlar altında beş uçuş yapıldığında fotoğraflanabilmekte ve bu beş uçuşun sonunda toplamda 1800 civarı fotoğraf çekilmektedir. Şekil 6.11’de uçuş anına ait görseller gösterilmiştir:



Şekil 6.11 İHA Uçuş Anı

6.4.3 Ortofoto harita ve SYM'lerin üretilmesi

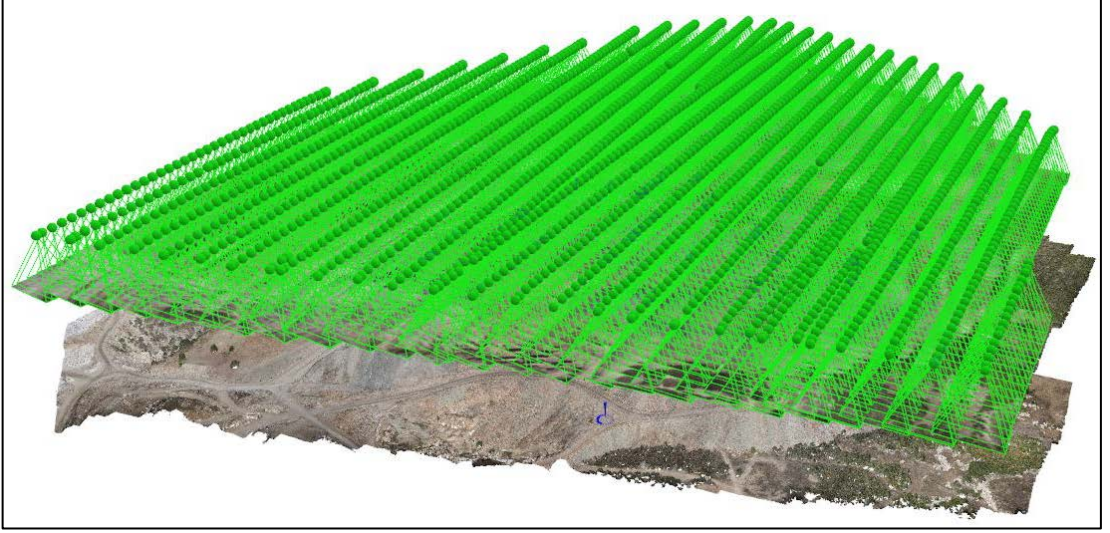
Yapılan uçuşlar sonrasında elde edilen fotoğrafların değerlendirilmesi ve İHA Fotogrametrisi sonuç ürünlerinin elde edilebilmesi için GEOMINE şirketine ait lisanslı PIX4D Mapper yazılımı kullanılmıştır. PIX4D Mapper programında kullanılan proses seçenekleri Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2 Pix4D Yazılımında Kullanılan Proses Parametreleri

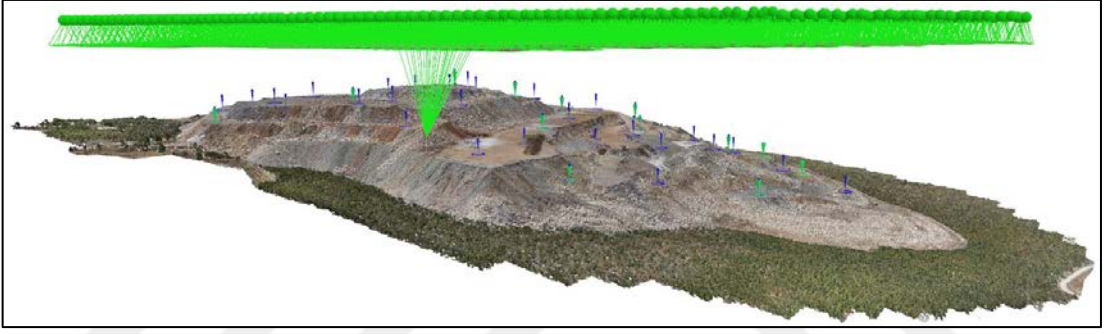
GEOLOCATION DETAILS					
GCP Name	AccuracyXY/Z [m]	Error X[m]	Error Y[m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]
YKN – 1 (3D)	0.005/ 0.010	-0.003	0.010	0.012	0.183
YKN – 2 (3D)	0.005/ 0.010	0.009	-0.005	-0.013	0.143
YKN – 3 (3D)	0.005/ 0.010	-0.010	0.018	0.017	0.143
YKN – 4 (3D)	0.005/ 0.010	0.004	-0.001	0.004	0.214
YKN – 5 (3D)	0.005/ 0.010	-0.009	0.010	-0.011	0.142
YKN – 6 (3D)	0.005/ 0.010	-0.006	0.004	-0.010	0.130
YKN – 7 (3D)	0.005/ 0.010	0.012	-0.017	0.001	0.252
YKN – 8 (3D)	0.005/ 0.010	0.005	-0.013	-0.010	0.271
YKN – 9 (3D)	0.005/ 0.010	-0.004	-0.019	0.006	0.244
YKN – 10 (3D)	0.005/ 0.010	0.007	0.010	0.000	0.174
YKN – 11 (3D)	0.005/ 0.010	-0.004	0.002	-0.014	0.254
YKN – 12 (3D)	0.005/ 0.010	0.002	0.006	0.007	0.265
Mean [m]		0.000281	0.000366	-0.000874	
Sigma [m]		0.006865	0.011252	0.009899	
RMS Error [m]		0.006871	0.011258	0.009938	
System Information					
Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i9-7900X CPU @ 3.30GHz RAM: 64GB GPU: NVIDIA GeForce GTX1080 Ti (Driver: 24.21.13.9907)				
Operating System	Windows 10 Enterprise, 64-bit				
Coordinate Systems					
Ground Control Point (GCP) Coordinate System			ITRF96 / TM36		
Output Coordinate System			ITRF96 / TM36		

Processing Options	
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes
Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
DSM and Orthomosaic Resolution	2 [cm/pixel]
DSMFilters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: yes Google Maps Tiles and KML: yes

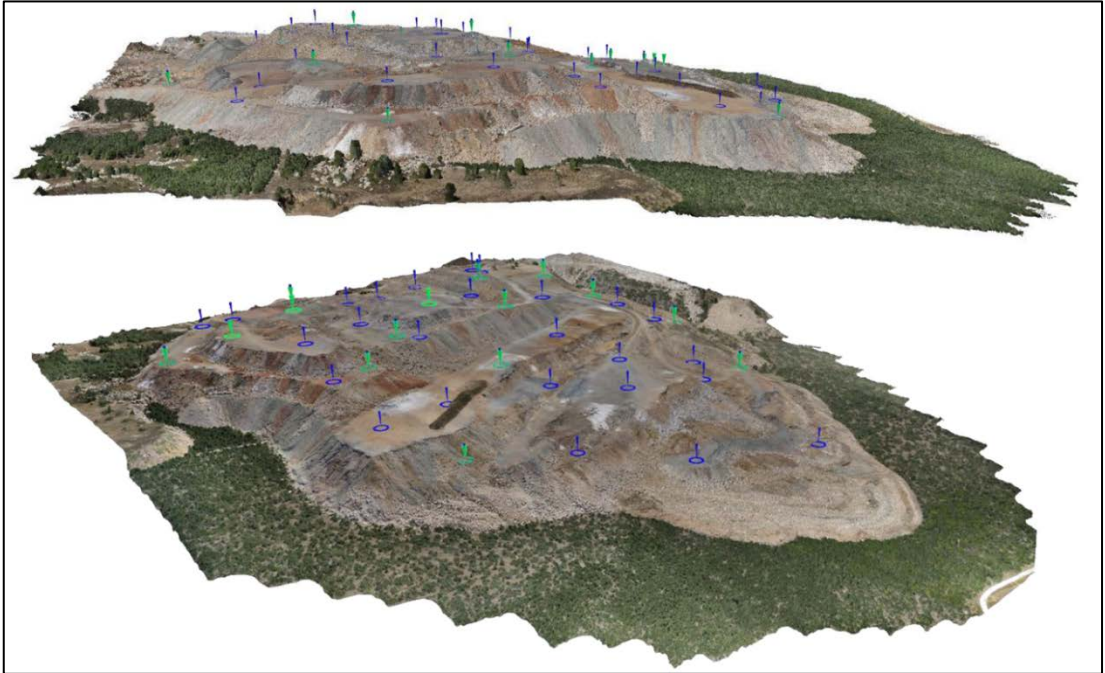
Yer Kontrol noktası ölçümleri hızlı statik yöntemi ile yapıldığı için **Accuracy XY/Z [m]** - **0.005/0.010** olarak programa tanımlanmıştır. Bu işlem program için yersel ölçülerin güvenilirliğini tanımlanmaktadır. Bu kısımda Pix4D programına tanımlanan doğruluk değerleri, YKN noktalarının ölçümünde kullanılmış olan yersel ölçü yönteminin güvenilirliğine -hata payına- göre belirlenmektedir. Yani, yersel ölçü yöntemimizin bize sağladığı hassasiyet ne ise Pix4D programına da o tanımlanmalıdır. *Advanced: Matching Image Pairs* seçeneği fotoğraflar eşleştirilirken kullanılacak yöntemleri belirlemektedir. Burada yapılan uçuş otonom olarak yapılmış kolonlardan meydana geldiği için *Aerial Grid or Corridor* seçeneği tercih edilmiştir. *Advanced: Matching Strategy, Use Geometrically Verified Matching* seçeneği aktif edilmemiştir. Bu seçenek eşleşme oranını artıracak ve eşleşmeyi iyileştirecektir. Fakat yapmış olduğumuz çalışmada herhangi bir eşleşme sorunu yaşanmadığı için bu seçenek pasif olarak bırakılmıştır. Diğer seçenekler Çizelge 6.2’de verildiği üzere varsayılan değerler değiştirilmeden kullanılmıştır. Bindirme oranları %80 boyuna ve %60 enine olacak şekilde toplam 1825 adet fotoğraf %100 eşleşme oranıyla değerlendirilmiştir. Şekil 6.12’de bindirmeli olarak çekilen fotoğrafların konumları gösterilmiştir. Şekil 6.13’de ise arazi üzerindeki bir noktanın birden fazla fotoğrafla temsil edildiği görülmektedir. Bu durum özellikle yükseklik farkı çok olan bölgelerde doğruluğu artırmaktadır. Aynı zamanda Şekil 6.14’de verilmiş olan nokta bulutlarının ve arazi modellerinin de daha kaliteli olarak üretilmesini sağlamaktadır.



Şekil 6.12 %80 Boyuna ve %60 Enine Bindirmeli Kolonlar

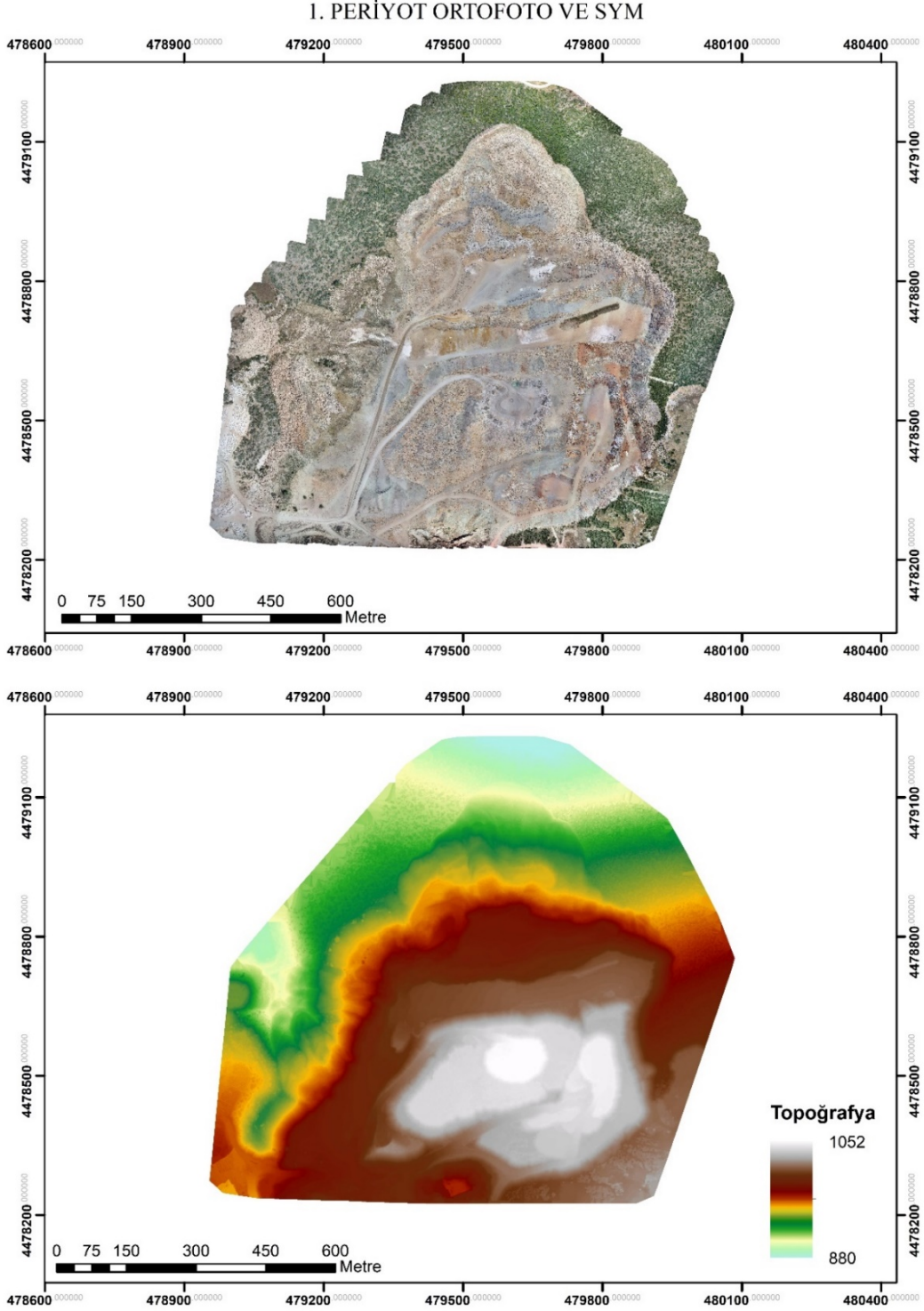


Şekil 6.13 Arazi üzerindeki Bir Noktanın Temsil Edildiği Fotoğraflar



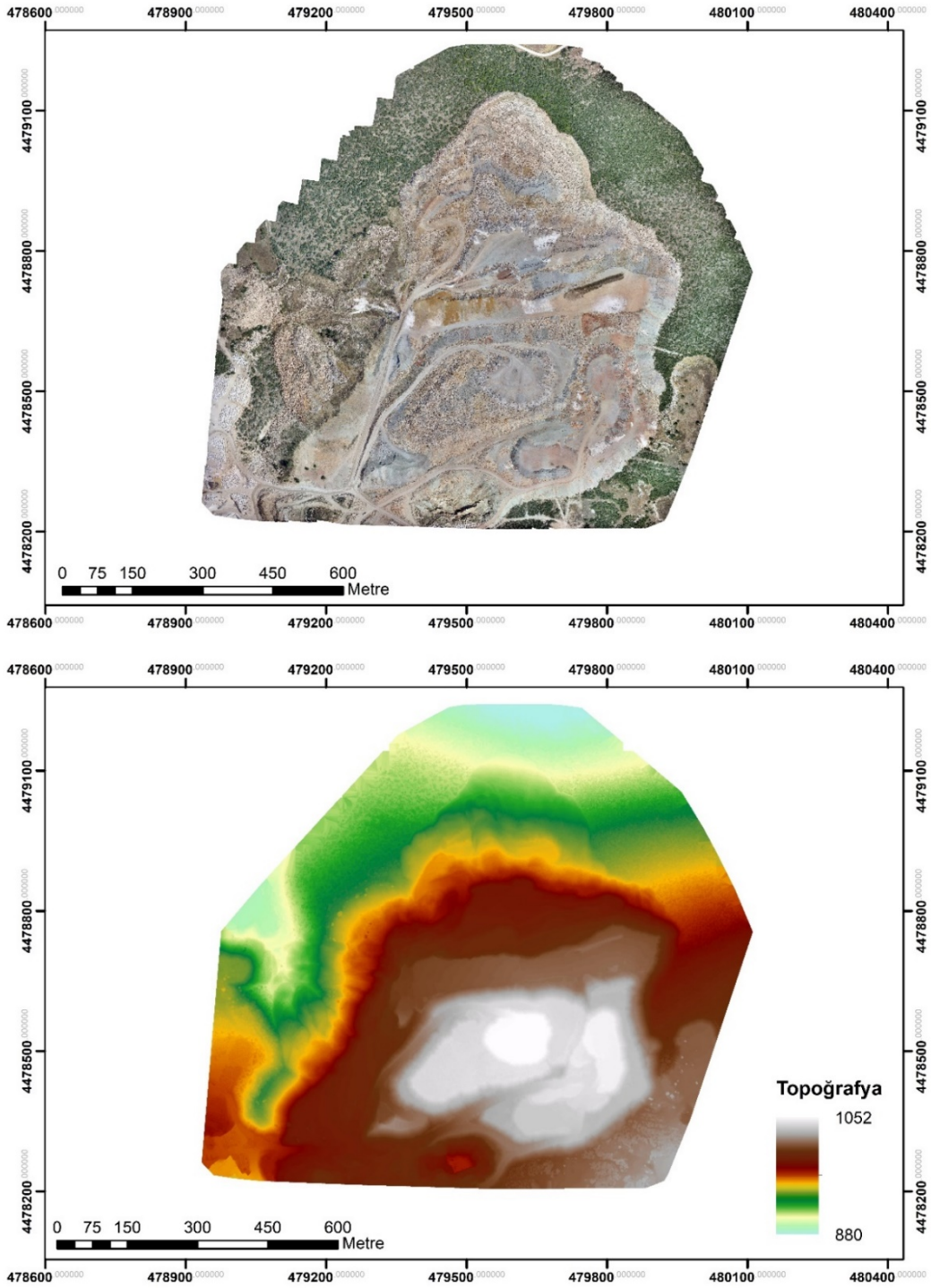
Şekil 6.14 Araziye Ait Nokta Bulutu ve 3D Model

Sonuç olarak Pix4D programı aracılığıyla üretilmiş olan ve deformasyonların izlenmesi için kullanılacak ortofoto haritalar ve SYM'ler Periyot 1, 2 ve 3 için ayrı ayrı hazırlanarak Şekil 6.15, Şekil 6.16 ve Şekil 6.17'de verilmiştir:



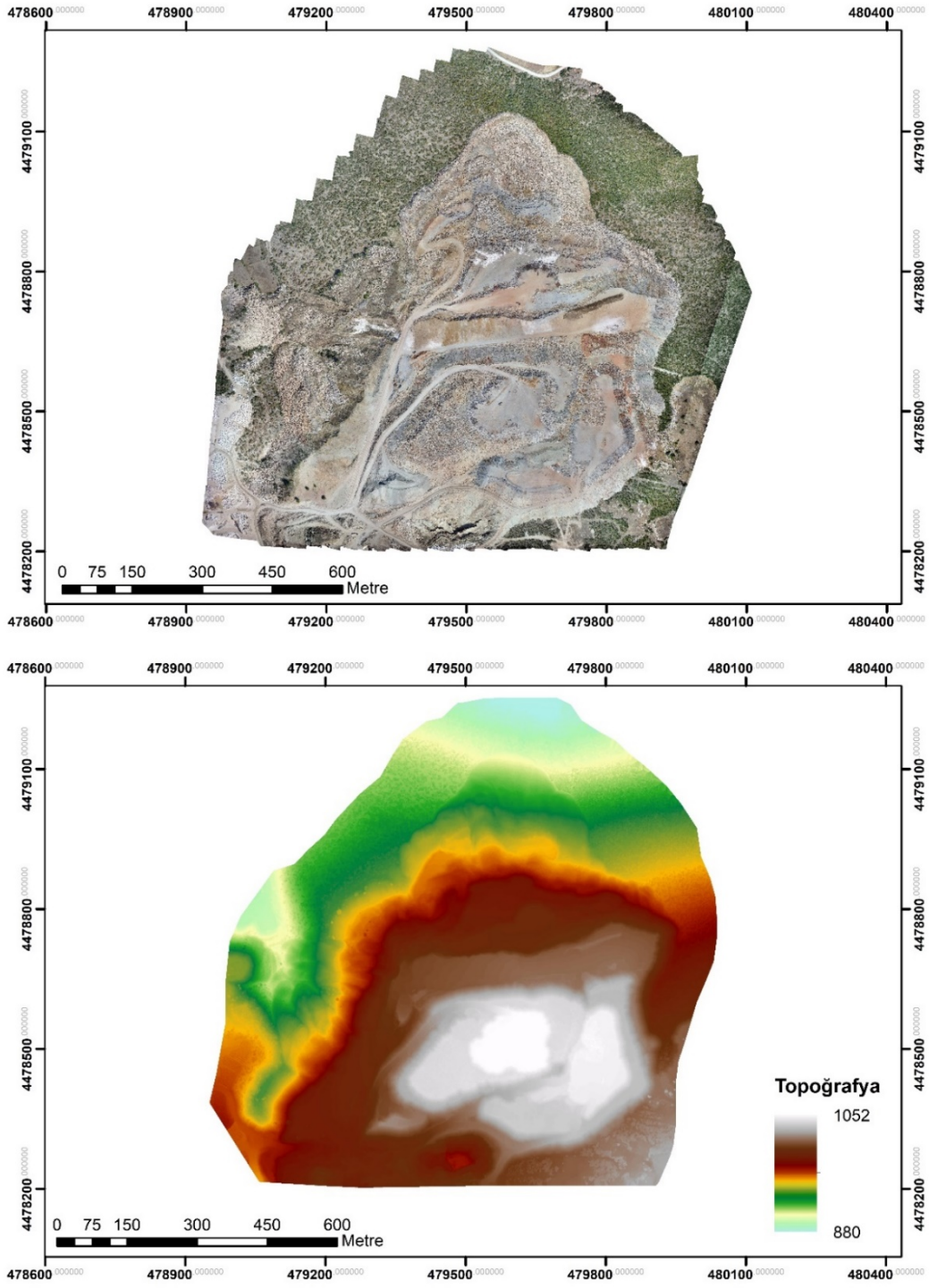
Şekil 6.15 Periyot 1(P.1) Ortofoto haritası ve SYM

2. PERİYOT ORTOFOTO VE SYM



Şekil 6.16 Periyot 2(P.2) Ortofoto haritası ve SYM

3. PERİYOT ORTOFOTO VE SYM



Şekil 6.17 Periyot 3(P.3) Ortofoto haritası ve SYM

6.5 Geliştirilen Yazılım ile Ortofotolar ve SYM'lerden Deformasyon Tespiti

Üretilmiş olan ortofoto haritalar ve SYM'ler, detayları ve çalışma prensipleri Bölüm 5'de anlatılmış olan deformasyon analizi yazılımında değerlendirilmiştir. Pix4D sonuç ürünleri doğruluk değerlerini yatayda 1-2 GSD, düşeyde 1-3 GSD (Pix4D, 2018) olarak belirtmektedir. Girdi ürünleri olan Ortofoto ve SYM'nin GSD(Yer Örnekleme Mesafesi) değeri 2 cm/piksel olduğundan dolayı bu çalışmada beklenen doğruluk yatayda 2-4 cm ile düşeyde 2-6 cm arasında değişmektedir. GSD değeri bir pikselin bir kenar uzunluğunun yeryüzünde ne kadarlık bir uzunluğu temsil ettiğini gösterir bir değerdir. Örneğin GSD değeri 2cm/piksel olan bir ortofoto haritadaki her bir piksel kenarı yeryüzündeki 2 cm'lik bir uzunluğu ifade etmektedir.

Bu uygulama örneğinde mavi renk (tasarlanan plakalar ve üretilen ortofotolar dikkate alınarak) RGB(KYM) değer aralıkları kırmızı için 28-178 aralığında, yeşil için 141-214 aralığında ve mavi için ise 186-240 değer aralığında tercih edilmiş ve programa **parametre**(değişken, kullanıcı tarafından girilen değer) olarak tanımlanmıştır. Mavi renk aralığının ortofoto üretimi sonrası renklerde meydana gelen deformasyonlardan dolayı geniş bir aralıkta alınması uygun görülmüştür.

$$\text{" if } (R \leq 178 \ \&\& \ R \geq 28) \ \&\& \ (G \leq 214 \ \&\& \ G \geq 141) \ \&\& \ (B \leq 240 \ \&\& \ B \geq 186) \text{ " (1)}$$

1 No'lu kod bloğunda da görüldüğü üzere piksel değerleri belirtilen aralıklarda ise ($28 \leq R(\text{Kırmızı}) \leq 178$), ($141 \leq G(\text{Yeşil}) \leq 214$), ($186 \leq B(\text{Mavi}) \leq 240$) bu pikseller mavi renkli pikseller olarak kaydedilmektedir. Daha sonra bu mavi piksellerin gruplandırılması aşamasında ise mesafe kıstası programa **parametre** olarak tanımlanmış ve değeri 5 piksel olarak belirlenmiştir. Bu mesafe farkı, plaka orta noktasını çevreleyen mavi rengin bir kenarının 10 cm olması ve GSD değerinin 2cm/piksel olması nedeniyle seçilmiştir. Aşağıda bu değer nasıl hesaplandığı ve kod bloğunda(2) nasıl kullanıldığı gösterilmiştir.

$$\frac{10 \text{ cm}}{2 \frac{\text{cm}}{\text{piksel}}} = 5 \text{ piksel} \quad \text{" if } M_{\text{mesafeFarki}} \leq 5 \text{ " (2)}$$

Gruplandırma işlemi, birbirine olan mesafe farkı 5 piksel ve daha az olan piksellerin tek bir piksel olarak kaydedilmesine yaramaktadır. Bu piksellerin orta noktası yeni oluşan pikselin orta noktası kabul edilmektedir. Böylelikle mavi pikseller bir araya toplanarak bir diğer filtreye gönderilmek üzere hazırlanmaktadır.

Bir sonraki işlem adımında ise 3 No'lu kod bloğunda görüldüğü üzere oluşan gruplardan eleman sayısı 40 ve üzeri olan gruplar silinmiştir. Şekil 5.1' de detayları anlatılmış olan plaka tasarımında görüleceği üzere mavi renk ile boyanan karenin bir kenarının uzunluğu 10 cm'dir. GSD değeri 2 cm/piksel olan bir ortofoto haritada 10 cm'lik bir kareyi ifade edebilmek için 25 adet piksele ihtiyaç vardır. Bu durumda 1-2 piksellik(2-4 cm) bir sapmayı da göz önünde bulundurursak (yani mavi renkli karenin bir kenarı 10-14 cm arasında bir değer olarak kabul edilirse) $(10/2)^2 \leq X=40 \leq (14/2)^2$ değeri programa **parametre** olarak tanımlanmak için uygun olmaktadır. Bu aralıkta bulunan tüm değerler kabul edilebilir değerler olması sebebiyle 40 değeri aralıkta kalan değerler içerisinde rastlantısal olarak seçilmiş ve programa parametre olarak tanımlanmıştır.

“ *if size32(1,1)>=40* ” (3)

Elenen büyük gruplar sonrası kalan gruplar için birkaç kontrol filtresi daha yapılmaktadır. Bunlardan birisi olan ve mavi renkleri çevreleyen beyaz pikselleri kontrol eden kısımdır. Bulunan mavi piksellerin 5 piksel sol, yukarı, sağ ve aşağısı olacak şekilde oluşturulan bir kare alan içerisinde beyaz pikseller taranmaktadır. 5 piksel mesafe değeri programa **parametre** olarak tanımlanmıştır.

```
noktaSolSutun=fix(M_TumOrtX(1,i)-(0.10/plakainfo.PixelScale(1,1)));
noktaUstSatir =fix(M_TumOrtY(1,i)-(0.10/plakainfo.PixelScale(1,1)));
noktaSagSutun=fix(M_TumOrtX(1,i)+(0.10/plakainfo.PixelScale(1,1)));
noktaAltSatir=fix(M_TumOrtY(1,i)+(0.10/plakainfo.PixelScale(1,1)));
```

Burada “M_TumOrtX ve M_TumOrtY” değişkenlerinde kontrol edilecek piksellerin fotoğraf koordinatlarını tutulmaktadır. “plakainfo.PixelScale” değişkeninde ise girdi olarak kullanılmış ortofoto haritaların gsd değeri ifade edilmektedir. Bu durumda $0.10 m / 0.02(m/ piksel)$ formülü ile belirlenen sınırlar sayesinde noktanın 5'er piksel etrafı taranarak 25 adet, RGB değerleri 190'dan büyük olan beyaz nokta bulunması kaidesiyle taranan mavi noktalar kabul görmüştür. Burada beyaz piksellerin renk değerlerini temsil eden 190 değeri ve beyaz piksellerin adedini temsil eden 25 değeri programa **parametre** olarak girilmiştir. 4 No'lu kod bloğunda kullanımı gösterilmiştir.

“*if (M_R>=190) && (M_G>=190) && (M_B>=190)*”

“*if maviBeyazSay==25 && bre==0*” (4)

Bu aşamaya kadar olan filtrelerden geçerek gelebilen mavi noktalar etrafında turuncu ve pembe noktaların varlığı araştırılmıştır. Kalan mavi piksellerin 13 piksel etrafında turuncu piksel olup olmadığı kontrol edilmiştir. Burada 13 piksel değeri yine plaka tasarımına binaen hesaplanmıştır ve programa **parametre** olarak girilmiştir. Aranılan turuncu piksellerin renk değerleri RGB(KYM); kırmızı 166-244 arasında, yeşil 112-246 arasında ve mavi ise 112-246 değerleri arasında seçilmiştir. Bu değerler yine **parametre** olarak programa girilmiş ve değerlerin seçilmesinde plaka tasarımında kullanılan turuncu renk ve üretilen ortofoto renk değerleri göz önünde bulundurulmuştur. 5 No'lu kod bloğunda bu filtrenin kullanımı gösterilmiştir.

$$\text{“ if}(M_R \leq 244 \ \&\& \ M_R \geq 166) \ \&\& \ (M_G \leq 246 \ \&\& \ M_G \geq 112) \ \&\& \ (M_B \leq 246 \ \&\& \ M_B \geq 64) \text{” (5)}$$

Bu seçilen renk değerleri kıstaslarına uyan turuncu noktaların (yine mavi plakalarda olduğu gibi) etrafında beyaz renk taraması yapılmıştır. Eğer bir mavi pikselin 13 piksel etrafında bir alanda, yukarıda ki renk değerlerine uygun olan 10 adet turuncu piksel ve bu turuncu pikseller etrafında da belirlenen miktarda(20 adet) beyaz renk varsa, bu mavi nokta bir sonraki filtreleme için gönderilmektedir. Bu değerler bu uygulama için zikredilmiş olmakla birlikte programa **parametre** olarak tanımlanmıştır. Şartları sağlamayan noktalar elenmiştir.

Bu aşamadan sonra kalan mavi pikseller bir kez daha elenmektedir. Bu amaçla turuncu kıstasına benzer bir şekilde pembe kıstasına göre değerlendirilmektedir. Burada kullanılan pembe noktalara ait RGB(KYM) değerleri; kırmızı 135-240 arasında, yeşil 52-240 arasında ve mavi ise 102-250 değerleri arasında seçilmiştir. Değerlerin seçilmesinde plaka tasarımında kullanılan pembe renk ve üretilen ortofoto renk değerleri göz önünde bulundurulmuştur. 6 No'lu kod bloğunda kullanımı gösterilmiştir.

$$\text{“ if}(M_R \leq 240 \ \&\& \ M_R \geq 135) \ \&\& \ (M_G \leq 240 \ \&\& \ M_G \geq 52) \ \&\& \ (M_B \leq 250 \ \&\& \ M_B \geq 102) \text{” (6)}$$

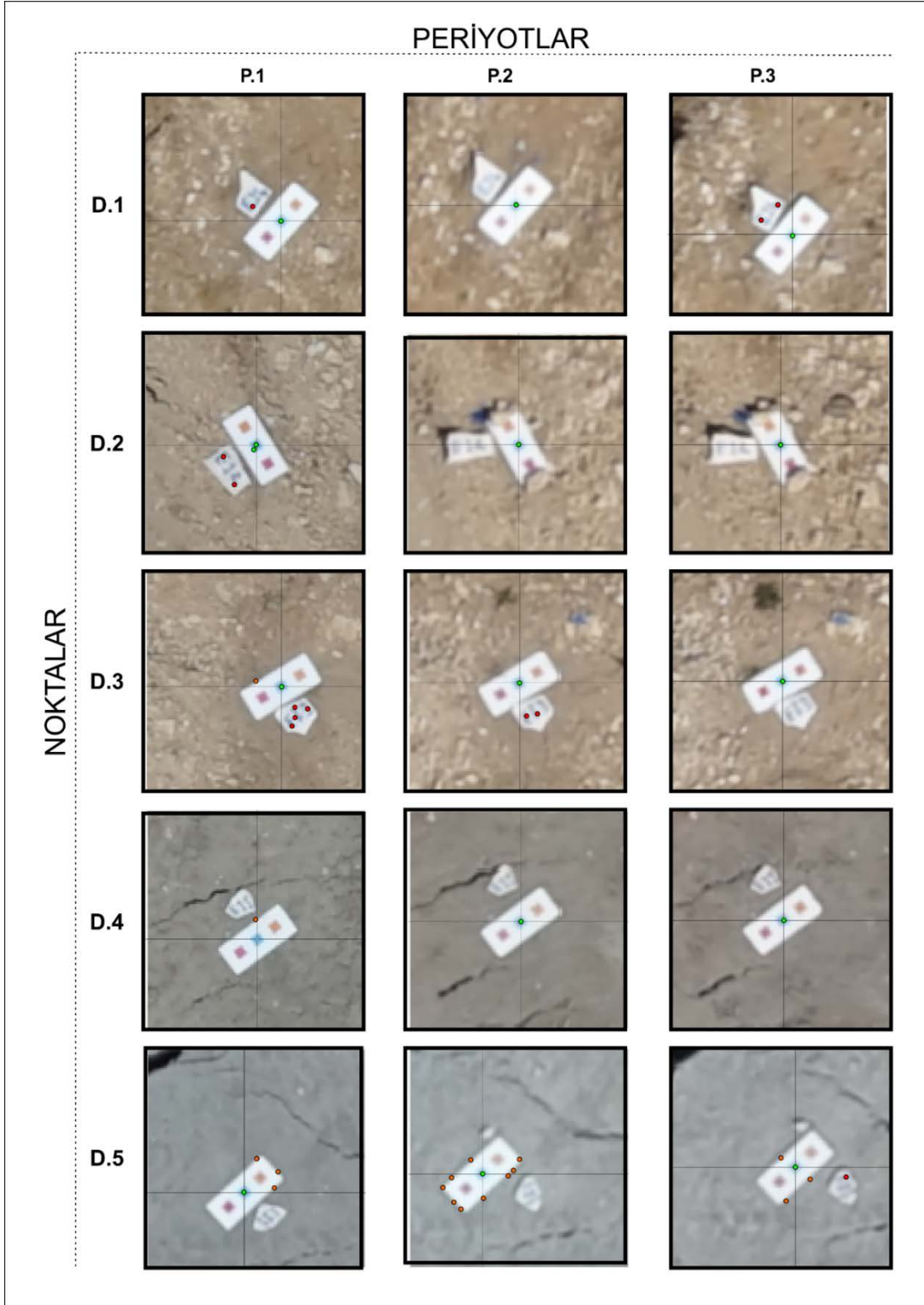
Yine turuncu kareler de olduğu gibi bir mavi pikselin 13 piksel etrafında bir alanda yukarıda ki renk değerlerine uygun olan 10 adet pembe piksel ve bu pembe pikseller etrafında da belirlenen miktarda(20 adet) beyaz renk varsa, bu mavi nokta artık plaka orta noktası olarak kabul edilmiştir. Bu değerler yine bu çalışma için hesaplanan değerler olup değerler **parametre** olarak programa girilmiştir.

Daha sonrasında bulunan plakalar ve belirlenen orta nokta koordinatları görsel olarak kullanıcıya gösterilmiş ve onaylanması istenmiştir.(Şekil 6.18)

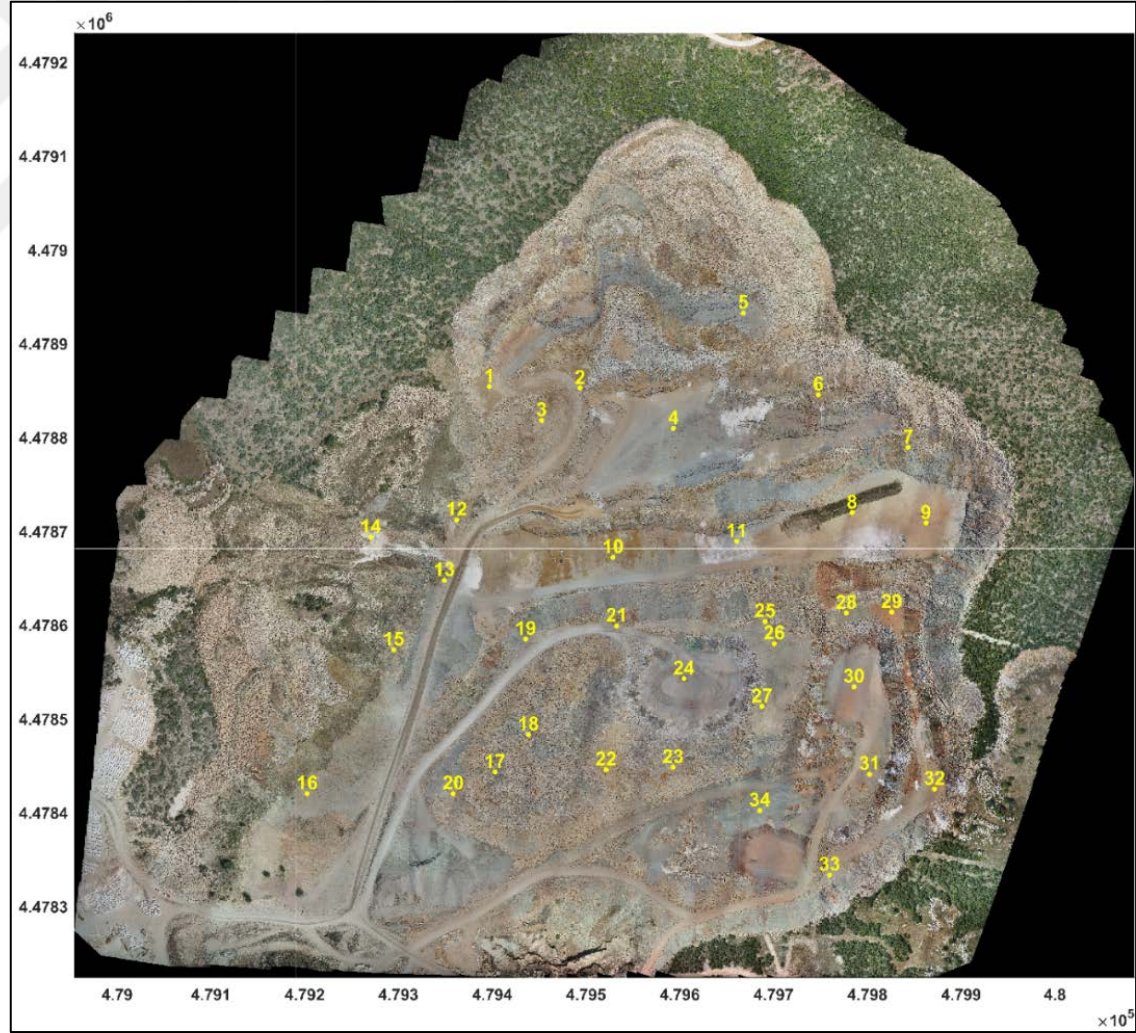


Şekil 6.18 Plaka Koordinat Onay Penceresi

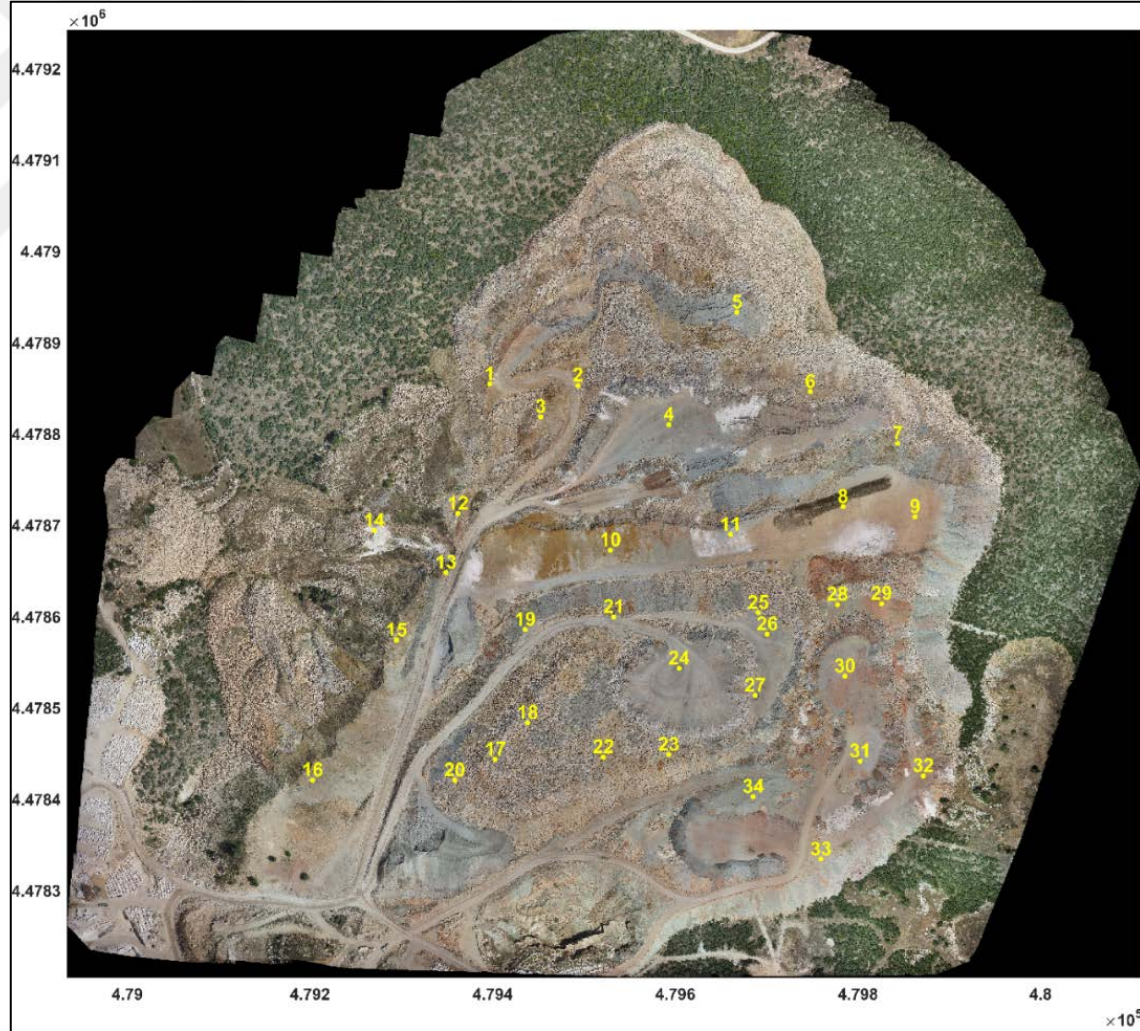
Kullanıcı tarafından kontrol edilen(Şekil 6.19) ve onaylanan plakalar yazılım tarafından ortofoto haritalar üzerinde gösterilmiştir.(Şekil 6.20, Şekil 6.21 ve Şekil 6.22). Bu noktaların konumları ve konum farkları (Çizelge 6.3, Çizelge 6.4 ve Çizelge 6.5) ile yazılım tarafından çizdirilen konum fark grafikleri (Şekil 6.23, ... , Şekil 6.29) kullanıcıya sunulmuştur. Son olarak ise yazılım tarafından, alansal olarak deformasyon yorumlamalarına yardımcı olması amacıyla, aylık hız değerleri hesaplanmıştır. Bu hız değerleri GNSS hız değerleri ile kıyaslanmış ve istatistiksel testler sonucunda Bölüm 6.6.2’de çeşitli değerlendirmeler yapılmıştır. Ayrıca geliştirilen yazılım yardımıyla hız miktarlarına bağlı olarak çeşitli enterpole haritaları üretilmiş ve kolerasyonları hesaplanmıştır. (Şekil 6.39, ... , Şekil 6.42)



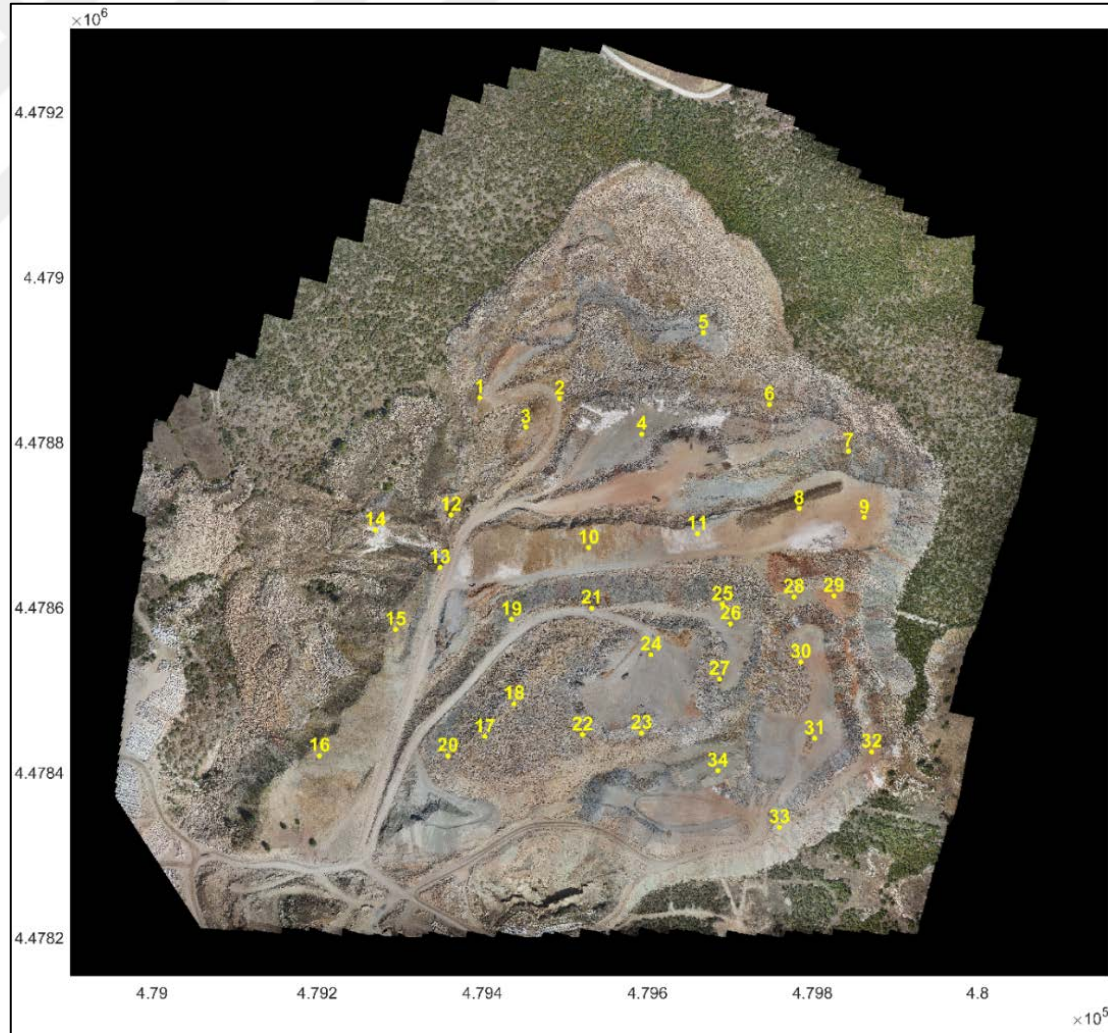
Şekil 6.19 Plakaların Kullanıcı Onay Ekranında Gösterilmesine Ait Örnekler



Şekil 6.20 Otomatik Olarak Tespit Edilen Plakaların Haritadaki Konumları (P1)



Şekil 6.21 Otomatik Olarak Tespit Edilen Plakaların Haritadaki Konumları (P.2)



Şekil 6.22 Otomatik Olarak Tespit Edilen Plakaların Haritadaki Konumları (P.3)

6.6 Geliştirilen Yazılım ve GNSS ile Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

Yapılan bu uygulama sayesinde, geliştirilmiş olan yazılım kullanılarak elde edilen değerler ile “Fimar, Emmioğlu ve Alternatif Mermer A.Ş.’ye Ait Amasya Mermer Ocağı Döküm Sahası Şevlerinde Deformasyonların Jeodezik Yöntemle İzlenmesi ve Değerlendirilmesi” adlı proje kapsamında yapılmış olan GNSS ölçülerinden elde edilmiş değerler kıyaslanmış ve geliştirilen yazılımın güvenilirliği somutlaştırılmaya çalışılmıştır.

6.6.1 İHA fotogrametrisi koordinat değerleri ve GNSS ile karşılaştırılması

İHA Fotogrametrisi kullanılarak çalışma sahasına ait periyodik ortofotolar ve SYM’ler elde edilmiştir. Bu ortofoto ve SYM’ler kullanılarak bu tez kapsamında geliştirilen yazılım yardımıyla otomatik olarak tespit edilen, deformasyon plakalarının üç boyutlu koordinatları belirlenmiştir. Bu belirlenen koordinatlar GNSS sonuçları ile kıyaslanmıştır.

1. Periyot’a ait sonuçlar Çizelge 6.3’de gösterilmiştir. Bölüm 6.5’de belirtildiği üzere beklenen hata değerleri olan; yatayda 2-4cm ile düşeyde 2-6 cm hata değerlerinin üzerine çıkmış D12, D13, D17, D22 ve D30 noktalarıdır. Toplamda beş adet olan bu noktalar Çizelge 6.3’de kırmızı ile işaretlenmiştir. İşaretlenen beş adet noktanın iki tanesi (D17 ve D22) “Yukarı” değerinde sırasıyla GNSS değerlerine göre -5.1 cm ve -5.8 cm sapma gösterirken üç tanesi (D12,D13 ve D30) “Yükseklik” değerinde sırasıyla -8.7cm, -7.2cm ve -8.4cm sapma göstermiştir. “Sağa” değerlerinde ise sapma miktarı beklenen sınırı aşan nokta bulunamamıştır.

2. Periyot’a ait sonuçlar Çizelge 6.4’de gösterilmiştir. Bölüm 6.5’de belirtildiği üzere beklenen hata değerleri olan; yatayda 2-4cm ile düşeyde 2-6 cm hata değerlerinin üzerine çıkmış D8, D12, D13, D17, D18, D29, D30 ve D32 noktalarıdır. Toplamda sekiz adet olan bu noktalar Çizelge 6.4’de kırmızı ile işaretlenmiştir. İşaretlenen sekiz adet noktanın üç tanesi (D17, D18 ve D32) “Yukarı” değerinde sırasıyla GNSS değerlerine göre -6.4cm, -5.6cm ve 5.8cm sapma gösterirken beş tanesi (D8, D12, D13, D29 ve D30) “Yükseklik” değerinde sırasıyla -7.4cm, -9.9cm, -7.0cm, -8.3cm ve -7.5cm sapma göstermiştir. “Sağa” değerlerinde ise sapma miktarı beklenen sınırı aşan nokta bulunamamıştır.

3. Periyot’a ait sonuçlar Çizelge 6.5’de gösterilmiştir. Bölüm 6.5’de belirtildiği üzere beklenen hata değerleri olan; yatayda 2-4cm ile düşeyde 2-6cm hata değerlerinin değerlerinin üzerine çıkmış nokta tespit edilememiştir.

Bu sonuçlar doğrultusunda İHA fotogrametrisi ile GNSS değerleri kıyas edildiğinde 34(Plaka Sayısı) x 3(Yukarı,Sağa ve Yükseklik Bileşenleri) x 3(Periyot Sayısı) = 306 bileşenden 1. Periyot, beş ve 2. Periyot, sekiz adet olmak üzere toplam onüç adet bileşen sapma göstermiş ve yazılım sonuçları ile GNSS sonuçları arasında **%4.25**'lik bir sapma oranı elde edilirken **%95.75**'lik bir uyum elde edilmiştir. Tüm bu konum farkları Şekil 6.23 - ... - 6.29'de grafikler halinde de sunulmuştur.

Ayrıca; **D35** isimli noktada 1. Periyot koordinatları(479531.575, 4479010.125, 938.044) ve 2. Periyot koordinatları(479531.540, 4479013.336, 936.990) arasında diğer deformasyon plakalarına nazaran çok büyük hareket tespit edildiği için Bölüm 6.6.4' de ayrıca incelenmesine karar verilmiştir.



Çizelge 6.3 GNSS ve İHA Konum Fark Çizelgesi (P.1)

N.No	I. Periyot						PROGRAM-GNSS		
	GNSS			PROGRAM			FARKLAR (cm)		
	Yukarı	Sağa	Yükseklik	Yukarı	Sağa	Yükseklik	Yukarı	Sağa	Yükseklik
D1	4478854.171	479396.804	960.480	4478854.169	479396.796	960.509	0.3	0.8	-2.9
D2	4478852.340	479493.515	973.733	4478852.328	479493.513	973.727	1.2	0.2	0.5
D3	4478818.026	479452.629	977.618	4478818.024	479452.621	977.627	0.2	0.8	-0.9
D4	4478809.431	479593.068	986.411	4478809.424	479593.057	986.415	0.7	1.1	-0.4
D5	4478932.435	479667.584	954.429	4478932.430	479667.591	954.410	0.5	-0.8	1.9
D6	4478845.600	479747.682	973.907	4478845.598	479747.682	973.857	0.2	0.0	5.0
D7	4478788.979	479843.401	990.731	4478788.983	479843.396	990.740	-0.4	0.5	-0.8
D8	4478719.632	479783.650	1012.368	4478719.638	479783.647	1012.399	-0.6	0.3	-3.1
D9	4478708.683	479862.537	1012.580	4478708.695	479862.544	1012.604	-1.2	-0.7	-2.4
D10	4478671.812	479528.836	1010.523	4478671.823	479528.820	1010.481	-1.1	1.5	4.2
D11	4478688.987	479660.551	1012.418	4478688.990	479660.549	1012.413	-0.4	0.1	0.5
D12	4478712.116	479362.013	995.676	4478712.115	479362.008	995.763	0.1	0.6	-8.7
D13	4478647.714	479348.830	1005.257	4478647.713	479348.804	1005.329	0.0	2.6	-7.2
D14	4478693.589	479270.305	966.581	4478693.591	479270.290	966.582	-0.1	1.4	-0.1
D15	4478573.248	479294.761	995.720	4478573.258	479294.757	995.727	-0.9	0.5	-0.6
D16	4478419.925	479202.605	989.385	4478419.927	479202.603	989.387	-0.1	0.1	-0.2
D17	4478443.174	479402.872	1040.320	4478443.225	479402.876	1040.312	-5.1	-0.5	0.8
D18	4478482.962	479438.397	1040.730	4478482.963	479438.383	1040.734	-0.2	1.5	-0.4
D19	4478585.017	479435.510	1025.824	4478585.017	479435.503	1025.815	0.0	0.7	0.9
D20	4478419.913	479358.235	1026.180	4478419.945	479358.254	1026.151	-3.2	-1.9	2.9
D21	4478599.025	479532.622	1037.201	4478599.036	479532.607	1037.211	-1.0	1.5	-1.0
D22	4478445.327	479521.313	1040.595	4478445.385	479521.296	1040.602	-5.8	1.7	-0.7
D23	4478447.743	479592.795	1041.432	4478447.791	479592.787	1041.467	-4.7	0.8	-3.5
D24	4478542.508	479604.283	1049.504	4478542.549	479604.251	1049.552	-4.1	3.2	-4.8
D25	4478603.419	479690.800	1039.178	4478603.426	479690.786	1039.191	-0.8	1.4	-1.3
D26	4478579.956	479700.572	1039.823	4478579.969	479700.565	1039.821	-1.4	0.7	0.2
D27	4478512.810	479687.464	1040.706	4478512.829	479687.467	1040.719	-2.0	-0.3	-1.3
D28	4478612.453	479777.439	1030.532	4478612.451	479777.433	1030.542	0.2	0.6	-1.0
D29	4478613.486	479825.890	1030.191	4478613.498	479825.884	1030.245	-1.2	0.6	-5.4
D30	4478533.795	479785.788	1046.501	4478533.818	479785.764	1046.585	-2.3	2.3	-8.4
D31	4478440.956	479802.388	1045.903	4478440.984	479802.366	1045.963	-2.8	2.2	-6.0
D32	4478424.902	479871.586	1032.178	4478424.906	479871.584	1032.180	-0.4	0.2	-0.2
D33	4478333.406	479759.779	1031.044	4478333.387	479759.775	1031.068	1.9	0.4	-2.4
D34	4478402.187	479685.268	1042.220	4478402.218	479685.262	1042.283	-3.1	0.6	-6.4

İşaretlenmiş hücreler beklenen değeri,yatayda: 4cm düşeyde: 6cm, aşan değerlerdir.

Çizelge 6.4 GNSS ve İHA Konum Fark Çizelgesi (P.2)

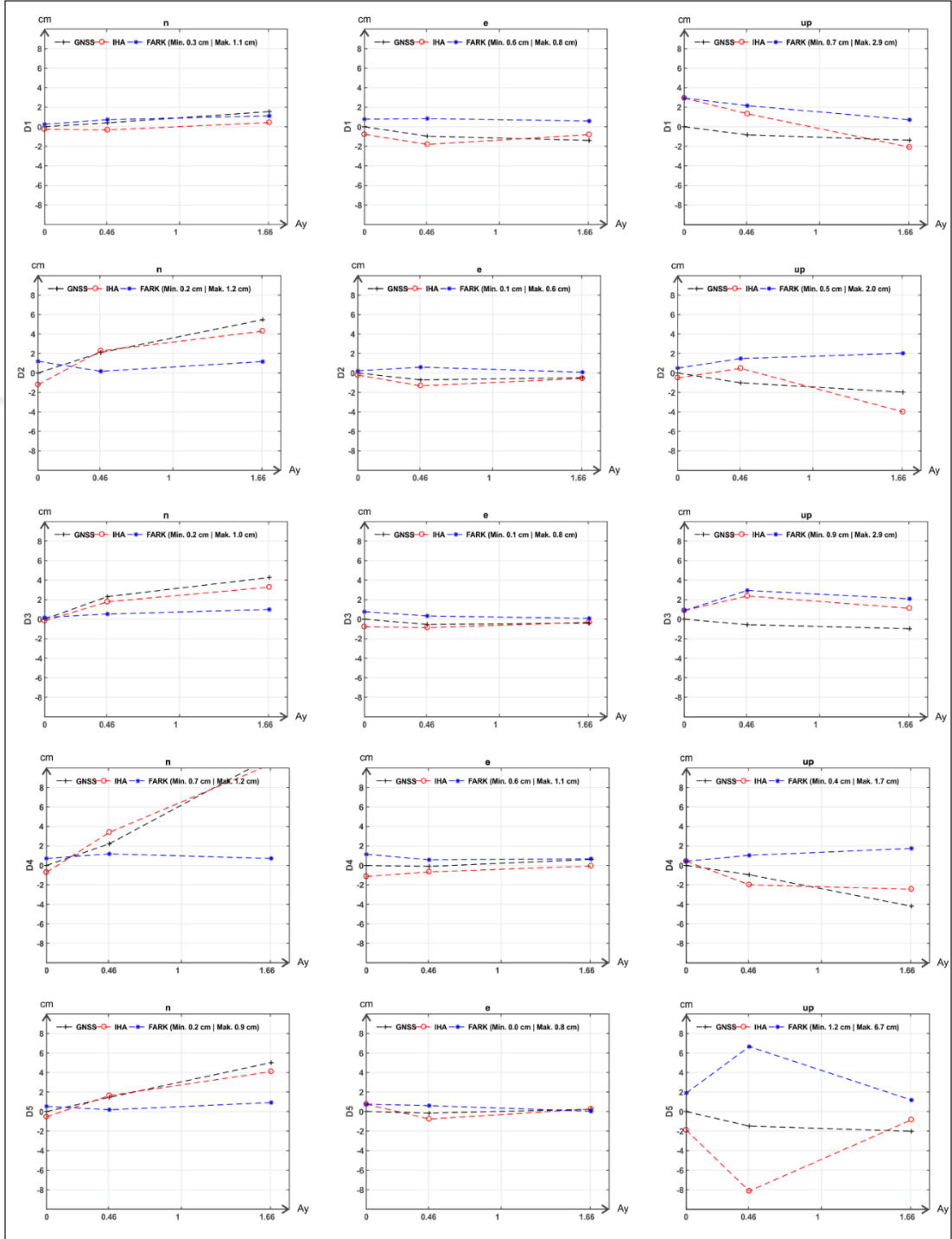
N.No	2. Periyot						PROGRAM-GNSS		
	GNSS			PROGRAM			FARKLAR (cm)		
	Yukarı	Sağa	Yükseklik	Yukarı	Sağa	Yükseklik	Yukarı	Sağa	Yükseklik
D1	4478854.175	479396.795	960.472	4478854.168	479396.786	960.493	0.7	0.8	-2.2
D2	4478852.361	479493.508	973.722	4478852.363	479493.502	973.737	-0.2	0.6	-1.5
D3	4478818.049	479452.624	977.613	4478818.043	479452.620	977.642	0.5	0.3	-2.9
D4	4478809.453	479593.067	986.401	4478809.465	479593.062	986.391	-1.2	0.6	1.0
D5	4478932.450	479667.582	954.414	4478932.451	479667.576	954.348	-0.2	0.6	6.7
D6	4478845.605	479747.688	973.901	4478845.611	479747.692	973.865	-0.6	-0.4	3.6
D7	4478788.975	479843.395	990.730	4478788.982	479843.427	990.761	-0.6	-3.2	-3.1
D8	4478719.626	479783.647	1012.358	4478719.630	479783.647	1012.432	-0.3	-0.1	-7.4
D9	4478708.682	479862.540	1012.575	4478708.687	479862.549	1012.641	-0.5	-0.9	-6.6
D10	4478671.812	479528.828	1010.522	4478671.831	479528.816	1010.466	-1.9	1.2	5.5
D11	4478688.983	479660.547	1012.424	4478688.991	479660.543	1012.430	-0.9	0.5	-0.6
D12	4478712.104	479362.009	995.665	4478712.110	479362.005	995.764	-0.5	0.4	-9.9
D13	4478647.714	479348.826	1005.264	4478647.730	479348.828	1005.334	-1.6	-0.3	-7.0
D14	4478693.595	479270.305	966.580	4478693.560	479270.310	966.556	3.5	-0.5	2.4
D15	4478573.259	479294.762	995.717	4478573.258	479294.772	995.715	0.2	-1.0	0.2
D16	4478419.920	479202.601	989.390	4478419.929	479202.602	989.371	-0.9	-0.1	1.9
D17	4478443.166	479402.875	1040.307	4478443.230	479402.881	1040.338	-6.4	-0.6	-3.1
D18	4478482.963	479438.393	1040.728	4478483.019	479438.391	1040.721	-5.6	0.2	0.7
D19	4478585.026	479435.504	1025.813	4478585.041	479435.503	1025.854	-1.5	0.1	-4.1
D20	4478419.920	479358.233	1026.176	4478419.950	479358.241	1026.147	-3.0	-0.8	2.8
D21	4478599.023	479532.618	1037.194	4478599.045	479532.597	1037.210	-2.2	2.1	-1.6
D22	4478445.331	479521.313	1040.582	4478445.360	479521.290	1040.566	-2.9	2.2	1.6
D23	4478447.746	479592.796	1041.412	4478447.781	479592.787	1041.411	-3.5	0.9	0.1
D24	4478542.499	479604.262	1049.454	4478542.537	479604.239	1049.484	-3.8	2.3	-3.0
D25	4478603.416	479690.794	1039.162	4478603.443	479690.776	1039.203	-2.7	1.8	-4.1
D26	4478579.941	479700.572	1039.823	4478579.968	479700.561	1039.820	-2.7	1.1	0.2
D27	4478512.810	479687.452	1040.682	4478512.819	479687.439	1040.683	-0.9	1.3	-0.1
D28	4478612.440	479777.433	1030.517	4478612.447	479777.431	1030.558	-0.6	0.2	-4.1
D29	4478613.485	479825.890	1030.175	4478613.489	479825.888	1030.259	-0.4	0.2	-8.3
D30	4478533.801	479785.789	1046.476	4478533.805	479785.782	1046.552	-0.4	0.8	-7.5
D31	4478440.959	479802.407	1045.883	4478440.947	479802.395	1045.917	1.3	1.2	-3.3
D32	4478424.907	479871.586	1032.170	4478424.848	479871.589	1032.161	5.8	-0.3	0.9
D33	4478333.409	479759.776	1031.035	4478333.366	479759.756	1030.994	4.3	1.9	4.1
D34	4478402.166	479685.261	1042.190	4478402.170	479685.245	1042.232	-0.4	1.6	-4.2

İşaretlenmiş hücreler beklenen değeri,yatayda: 4cm düşeyde: 6cm, aşan değerlerdir.

Çizelge 6.5 GNSS ve İHA Konum Fark Çizelgesi (P.3)

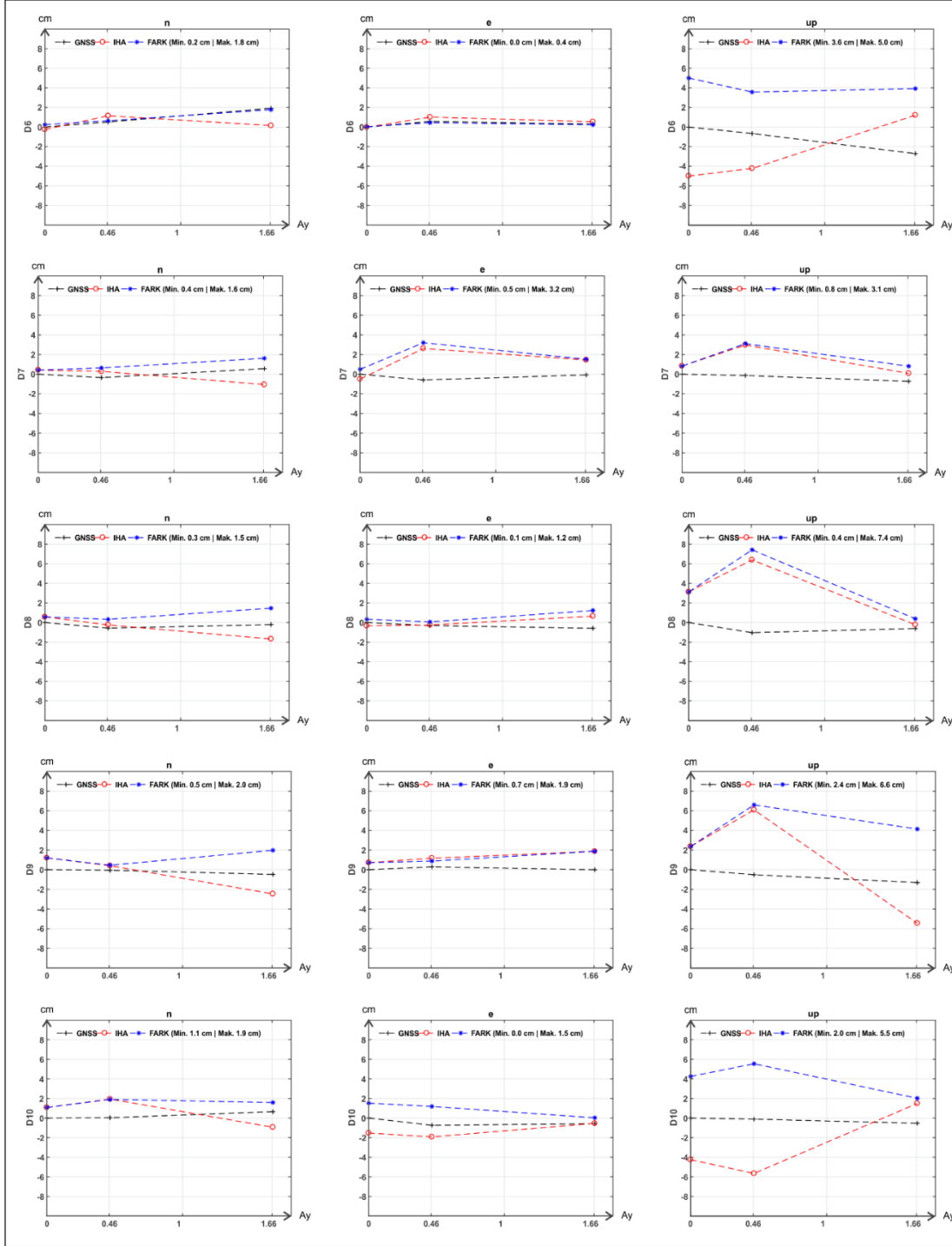
N.No	3. Periyot						PROGRAM-GNSS		
	GNSS			PROGRAM			FARKLAR (cm)		
	Yukarı	Sağa	Yükseklik	Yukarı	Sağa	Yükseklik	Yukarı	Sağa	Yükseklik
D1	4478854.187	479396.790	960.466	4478854.175	479396.796	960.459	1.1	-0.6	0.7
D2	4478852.395	479493.510	973.713	4478852.383	479493.510	973.693	1.2	0.1	2.0
D3	4478818.068	479452.625	977.609	4478818.058	479452.626	977.630	1.0	-0.1	-2.1
D4	4478809.542	479593.074	986.369	4478809.535	479593.068	986.386	0.7	0.7	-1.7
D5	4478932.485	479667.586	954.409	4478932.476	479667.586	954.421	0.9	0.0	-1.2
D6	4478845.619	479747.685	973.880	4478845.602	479747.687	973.919	1.8	-0.2	-3.9
D7	4478788.984	479843.401	990.724	4478788.968	479843.416	990.732	1.6	-1.5	-0.8
D8	4478719.630	479783.644	1012.362	4478719.615	479783.656	1012.366	1.5	-1.2	-0.4
D9	4478708.678	479862.537	1012.567	4478708.658	479862.556	1012.526	2.0	-1.9	4.1
D10	4478671.819	479528.830	1010.518	4478671.803	479528.830	1010.538	1.6	0.0	-2.0
D11	4478688.985	479660.552	1012.421	4478688.971	479660.556	1012.428	1.5	-0.4	-0.7
D12	4478712.123	479362.021	995.654	4478712.115	479362.034	995.664	0.8	-1.3	-1.0
D13	4478647.718	479348.827	1005.257	4478647.697	479348.835	1005.248	2.1	-0.8	0.9
D14	4478693.592	479270.305	966.574	4478693.598	479270.333	966.625	-0.5	-2.7	-5.2
D15	4478573.252	479294.766	995.719	4478573.245	479294.776	995.746	0.7	-1.0	-2.7
D16	4478419.926	479202.603	989.373	4478419.925	479202.613	989.392	0.1	-1.0	-1.9
D17	4478443.164	479402.880	1040.294	4478443.154	479402.893	1040.276	1.0	-1.2	1.7
D18	4478482.964	479438.394	1040.705	4478482.949	479438.399	1040.688	1.5	-0.5	1.7
D19	4478585.025	479435.498	1025.801	4478585.015	479435.509	1025.796	1.0	-1.2	0.4
D20	4478419.916	479358.234	1026.161	4478419.904	479358.242	1026.160	1.2	-0.9	0.1
D21	4478599.024	479532.613	1037.177	4478599.014	479532.618	1037.193	1.0	-0.5	-1.6
D22	4478445.337	479521.329	1040.530	4478445.329	479521.345	1040.540	0.8	-1.5	-1.0
D23	4478447.759	479592.772	1041.281	4478447.745	479592.788	1041.279	1.3	-1.6	0.2
D24	4478542.475	479604.248	1049.385	4478542.465	479604.256	1049.375	1.0	-0.8	0.9
D25	4478603.418	479690.792	1039.135	4478603.409	479690.784	1039.134	0.9	0.8	0.1
D26	4478579.944	479700.569	1039.803	4478579.938	479700.567	1039.795	0.6	0.1	0.8
D27	4478512.795	479687.435	1040.625	4478512.785	479687.439	1040.642	1.0	-0.4	-1.7
D28	4478612.443	479777.435	1030.503	4478612.431	479777.436	1030.518	1.1	-0.1	-1.5
D29	4478613.490	479825.895	1030.166	4478613.468	479825.909	1030.148	2.2	-1.4	1.8
D30	4478533.787	479785.787	1046.429	4478533.761	479785.805	1046.440	2.6	-1.8	-1.2
D31	4478440.901	479802.457	1045.750	4478440.869	479802.465	1045.738	3.2	-0.9	1.2
D32	4478424.910	479871.591	1032.153	4478424.916	479871.584	1032.161	-0.6	0.7	-0.9
D33	4478333.409	479759.777	1031.020	4478333.408	479759.794	1031.080	0.2	-1.7	-6.0
D34	4478402.155	479685.240	1042.161	4478402.148	479685.246	1042.193	0.7	-0.6	-3.2

3 PERİYOTA AİT GNSS VE İHA KONUM FARK GRAFİKLERİ



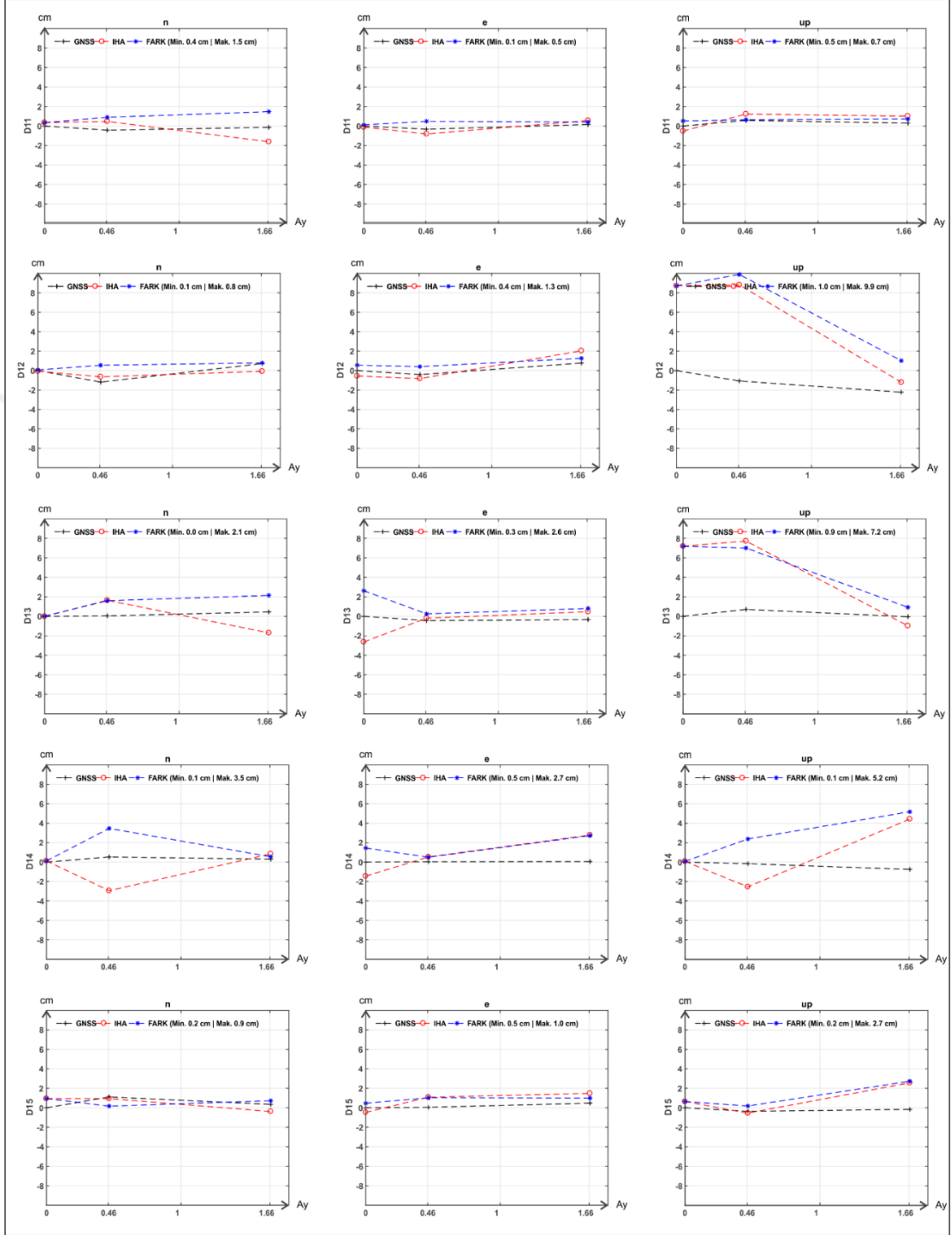
Şekil 6.23 D.1-5 Plakaları 3 periyota ait GNSS ve İHA konum fark grafikleri

3 PERİYOTA AİT GNSS VE İHA KONUM FARK GRAFİKLERİ



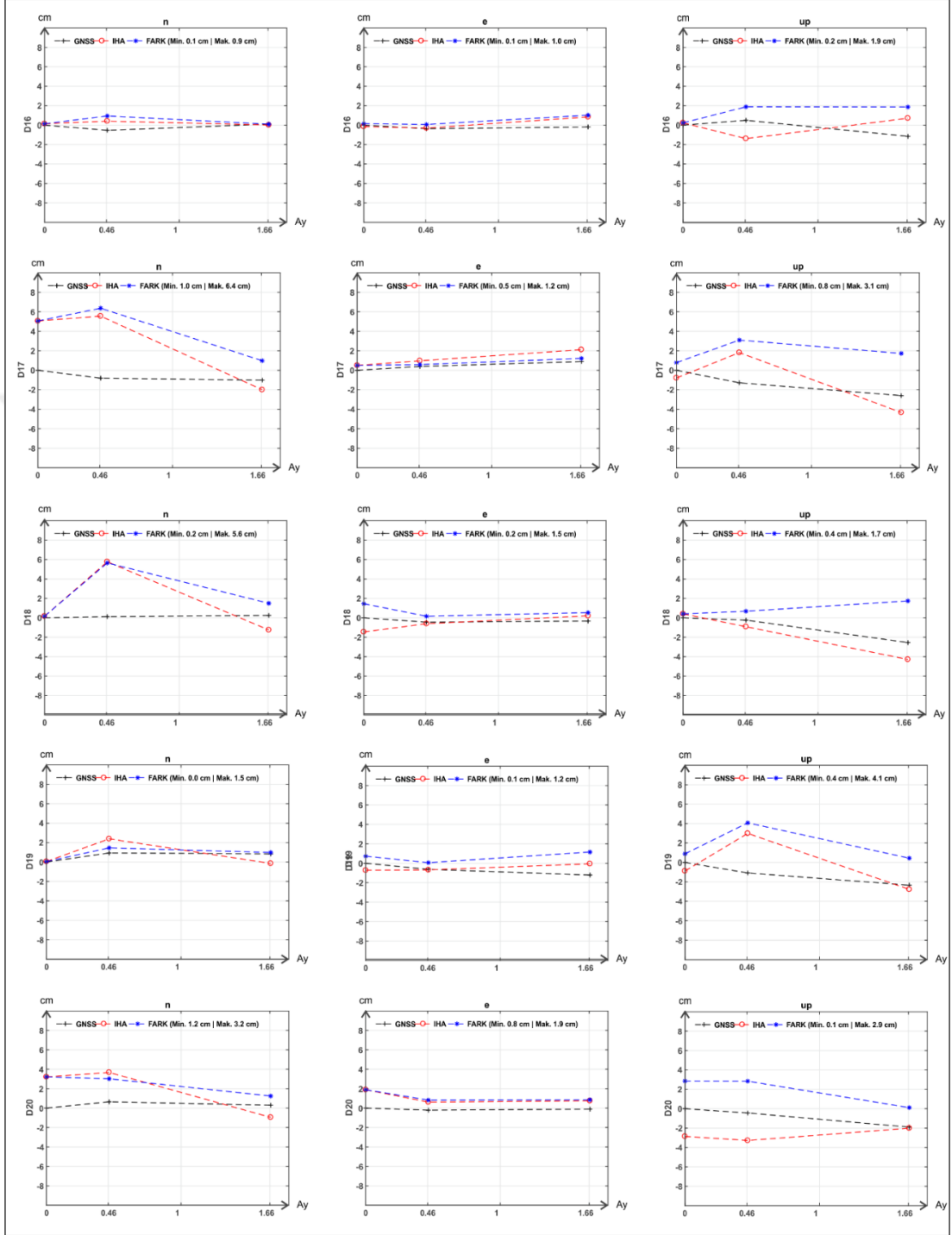
Şekil 6.24 D.6-10 Plakaları 3 periyota ait GNSS ve İHA konum fark grafikleri

3 PERİYOTA AİT GNSS VE İHA KONUM FARK GRAFİKLERİ



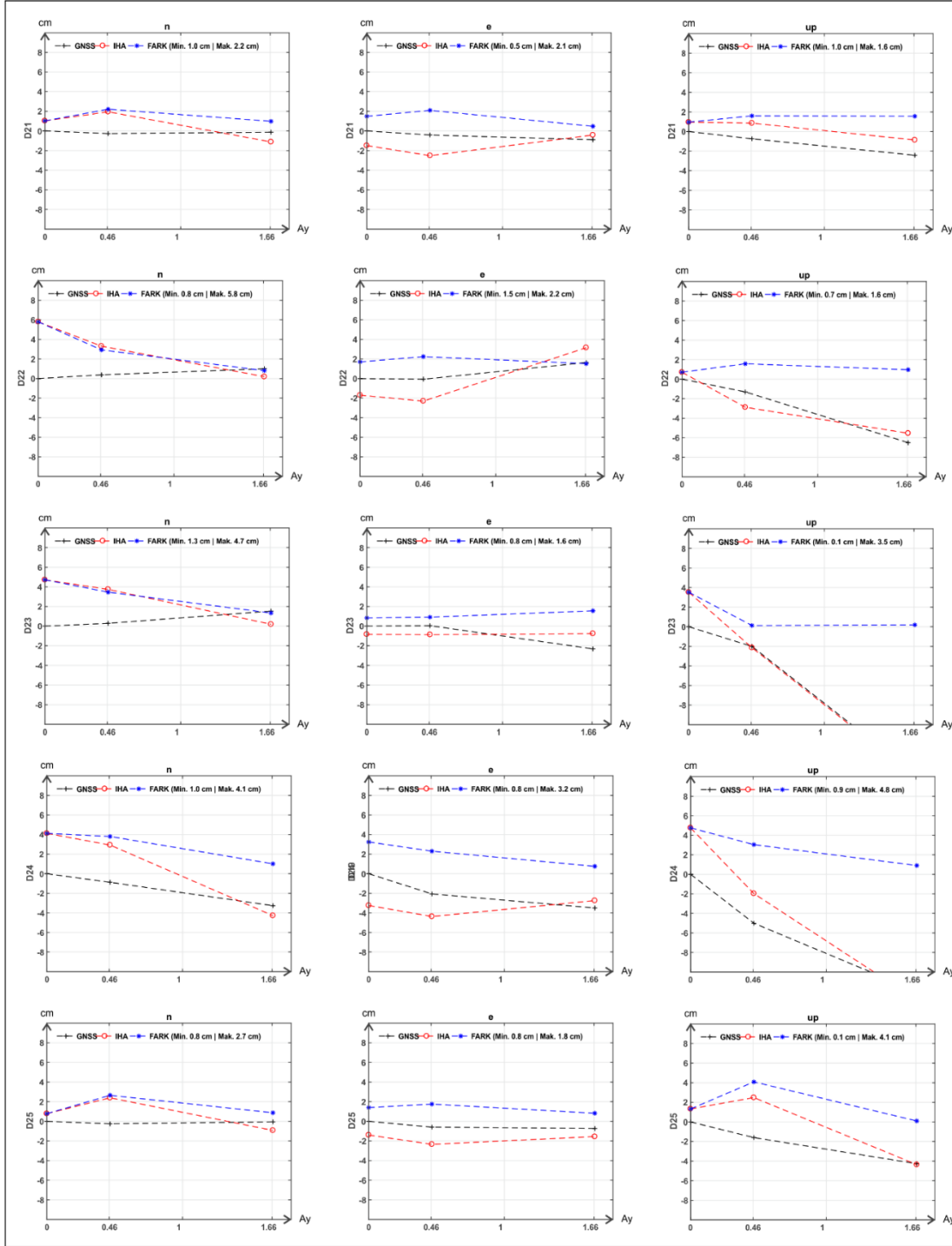
Şekil 6.25 D.11-15 Plakaları 3 periyota ait GNSS ve İHA konum fark grafikleri

3 PERİYOTA AİT GNSS VE İHA KONUM FARK GRAFİKLERİ



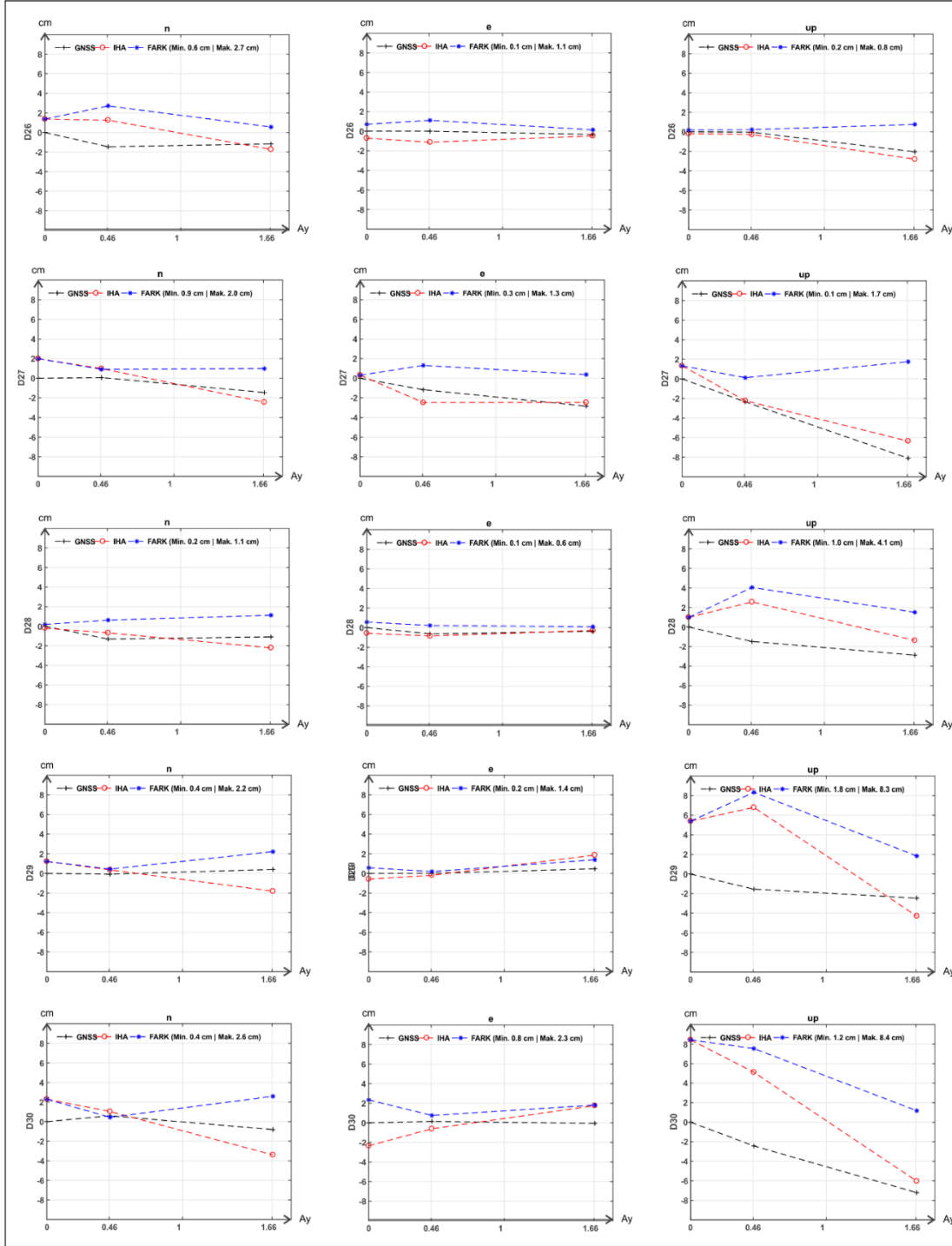
Şekil 6.26 D.16-20 Plakaları 3 periyota ait GNSS ve İHA konum fark grafikleri

3 PERİYOTA AİT GNSS VE İHA KONUM FARK GRAFİKLERİ



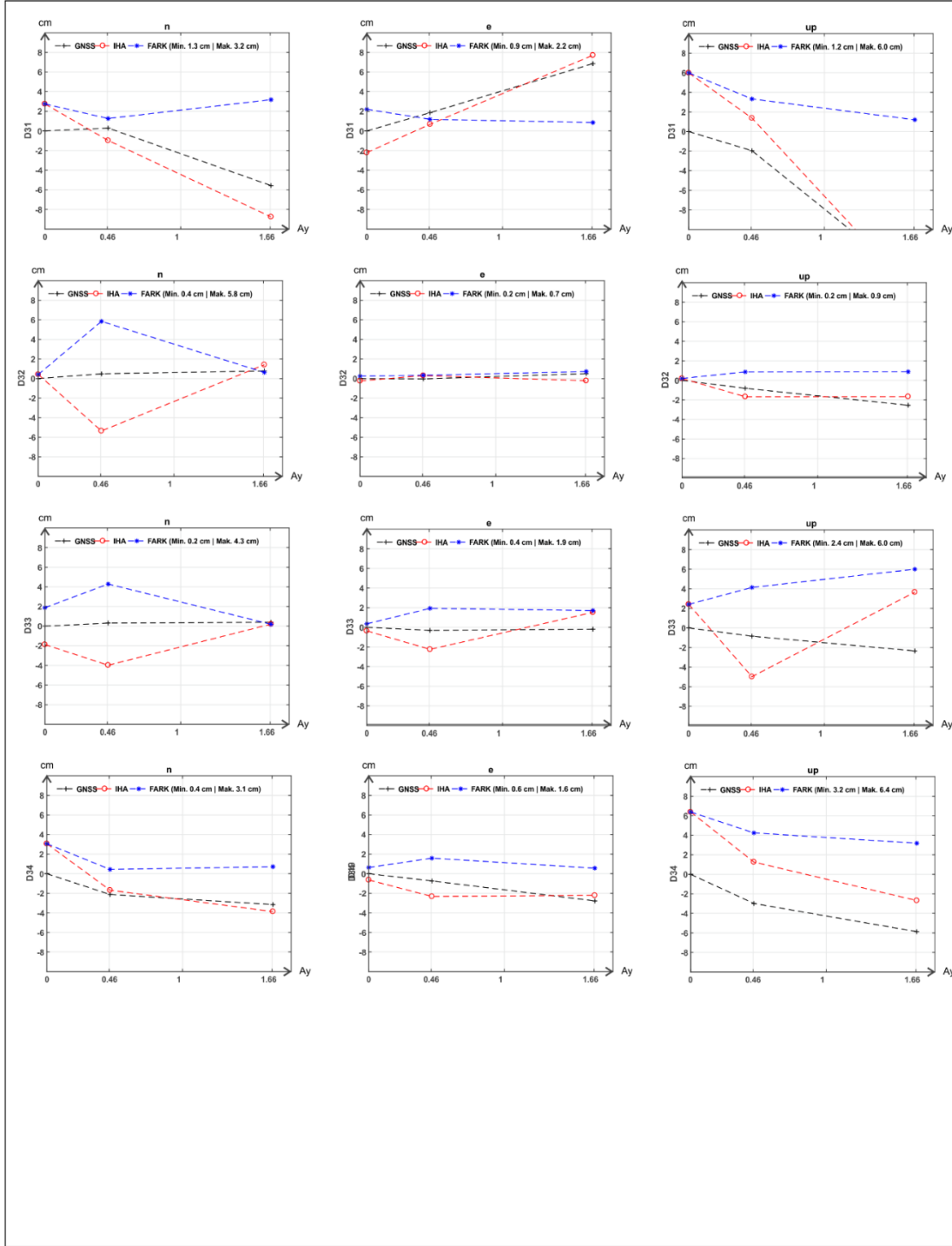
Şekil 6.27 D.21-25 Plakaları 3 periyoata ait GNSS ve İHA konum fark grafikleri

3 PERİYOTA AİT GNSS VE İHA KONUM FARK GRAFİKLERİ



Şekil 6.28 D.26-30 Plakaları 3 periyota ait GNSS ve İHA konum fark grafikleri

3 PERİYOTA AİT GNSS VE İHA KONUM FARK GRAFİKLERİ



Şekil 6.29 D.31-34 Plakaları 3 periyota ait GNSS ve İHA konum fark grafikleri

6.6.2 Hız değerlerinin ve enterpolasyon haritalarının karşılaştırılması

İHA fotogrametrisi ve GNSS ile 3 periyot koordinat değerleri elde edilen noktaların, kalman filtreleme tekniği ile hız değerleri hesaplanmış ve noktaların hız değerlerinin ANLAMLI yada ANLAMSIZ olduğu $\alpha=0,05$ güven aralığında $t_{102,0,95} = 1,66$ test değerine göre belirlenmiştir. Daha sonra GNSS ölçülerinden elde edilen hız değerleri, İHA fotogrametrisi ile elde edilen hız değerleri ile karşılaştırılmıştır. İHA fotogrametrisi sonucu elde edilen ürünlerin(ortofoto ve SYM) GSD değeri 20 mm/piksel olduğundan bölgede tespit edilmesi hedeflenen hız değerleri 20 mm/ay ve üzeri olarak belirlenmiştir. Bu sebeple GNSS ile elde edilen **Anlamli** hız değerlerinden 20 mm/ay ve üzeri hız değerine sahip olan noktalar, İHA fotogrametrisi ile elde edilen hız değerleri ile karşılaştırılmak üzere seçilmiş ve bu noktalar Çizelge 6.6’da verilmiştir.

Çizelge 6.6 GNSS ile Elde Edilen Hız Değerleri ($v > 20$ mm/ay olanlar)

Nokta No	GNSS ile Elde Edilen Hız Değerleri ($v \geq 20$ mm/ay olanlar)			
	V_{GNSS} (mm/ay)	s(mm/ay)	T değeri	Karar
Yukarı ve Sağa Bileşenleri Yönünde				
D2 -n	32.1	4.53	7.08	ANLAMLI
D3 -n	26.2	4.66	5.63	ANLAMLI
D4 -n	60.8	4.12	14.76	ANLAMLI
D5 -n	28.6	4.23	6.77	ANLAMLI
D24 -n	-18.8	3.68	5.1	ANLAMLI
D24 -e	-21.0	4.21	4.98	ANLAMLI
D31 -n	-30.1	3.66	8.18	ANLAMLI
D31 -e	39.0	4.11	9.49	ANLAMLI
D34 -n	-19.8	3.62	5.48	ANLAMLI
Yükseklik Bileşeni Yönünde				
D04 -up	-21.4	6.58	3.24	ANLAMLI
D22 -up	-33.5	6.4	5.23	ANLAMLI
D23 -up	-70.1	7.18	9.77	ANLAMLI
D24 -up	-65.7	6.02	10.93	ANLAMLI
D25 -up	-23.3	5.97	3.9	ANLAMLI
D27 -up	-42.6	6.58	6.48	ANLAMLI
D30 -up	-38.4	6.5	5.9	ANLAMLI
D31 -up	-80.2	5.89	13.63	ANLAMLI
D34 -up	-33.4	5.63	5.93	ANLAMLI
Güven aralığı $\alpha=0,05$ ve test değeri $t=1,66$ 'dır. $T > t =$ ANLAMLI $T < t =$ ANLAMSIZ				

GNSS ölçümlerinden elde edilen hız değerleri ile karşılaştırılmak üzere, bu noktalara karşılık gelen İHA fotogrametrisi ile belirlenmiş hız değerleri seçilmiş ve Çizelge 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.7 İHA Fotogrametrisi İle Elde Edilen Hız Değerleri

Nokta No	İHA Fotogrametrisi İle Elde Edilen Hız Değerleri			
	$V_{İHA}$ (mm/ay)	s(mm/ay)	T değeri	Karar
Yukarı ve Sağa Bileşenleri Yönünde				
D2 -n	21.26	14.33	1.68	ANLAMLI
D3 -n	13.15	14.33	0.92	ANLAMSIZ
D4 -n	40.41	14.33	2.82	ANLAMLI
D5 -n	17.24	14.33	1.7	ANLAMLI
D24 -n	-28.88	14.33	2.02	ANLAMLI
D24 -e	0.68	14.33	0.05	ANLAMSIZ
D31 -n	-41.35	14.33	2.89	ANLAMLI
D31 -e	35.36	14.33	2.47	ANLAMLI
D34 -n	-27.08	14.33	1.89	ANLAMLI
Yükseklik Bileşeni Yönünde				
D4 -up	-9.55	16.05	0.59	ANLAMSIZ
D22 -up	-19.6	14.05	1.72	ANLAMLI
D23 -up	-55.33	16.05	3.45	ANLAMLI
D24 -up	-52.93	16.05	3.3	ANLAMLI
D25 -up	-14.78	16.05	0.92	ANLAMSIZ
D27 -up	-23.53	16.05	1.67	ANLAMLI
D30 -up	-41.91	16.05	2.61	ANLAMLI
D31 -up	-64.9	16.05	4.04	ANLAMLI
D34 -up	-28.38	16.05	1.77	ANLAMLI
Güven aralığı $\alpha=0,05$ ve test değeri $t=1,66$ 'dır. $T > t = \text{ANLAMLI}$ $T < t = \text{ANLAMSIZ}$				

Bu iki tablo(Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7) karşılaştırılmış ve şu sonuçlara ulaşılmıştır;

- Yukarı ve Sağa bileşenleri yönünde, GNSS ile yapılan ölçümlerde hız değerleri **anlamli** çıkmış olan D2 -n, D4 -n, D5 -n, D24 -n, D31 -n, D31 -e ve D34-n isimli noktaların İHA ile yapılan ölçümlerinde de hız değerleri **anlamli** çıkmıştır. D3 -n ve D24 -e noktaları ise GNSS ile **anlamli** hız değerlerine sahipken İHA ile hız değerleri **anlamsız** bulunmuştur. Hız değerleri GNSS ile **anlamli** İHA ile **anlamsız** bulunan ölçüler Çizelge 6.9’da işaretlenmiştir.
- Yükseklik bileşeni yönünde, GNSS ile yapılan ölçümlerde hız değerleri anlamli çıkmış olan D22 -up, D23 -up, D24 -up D27 -up, D30 -up, D31 -up, D34 -up isimli noktaların İHA ile yapılan ölçümlerinde de hız değerleri anlamli çıkmıştır. D4 -up ve D25 -up noktaları ise GNSS ile **anlamli** hız değerlerine sahipken İHA ile hız değerleri **anlamsız** bulunmuştur. Hız değerleri GNSS ile **anlamli** İHA ile **anlamsız** bulunan ölçüler Çizelge 6.9’da işaretlenmiştir.

- Üç bileşen (yukarı, sağa ve yükseklik) yönünde de hız değerleri GNSS ile **anlamlı**, İHA ile **anlamsız** çıkan noktaların **aylık** hız değerlerinin 30 mm/ay'ın **altında** olduğu saptanmış ve hız değeri 30 mm/ay'dan **fazla** olan noktalarda hız değerleri her iki yöntem(GNSS ve İHA) ile de anlamlı olarak tespit edilmiştir.

Daha sonra GNSS ve İHA ile elde edilen hızların farkları hesaplanmış ve bu farkların sıfıra eşit olmadığı(Çizelge 6.9) tespit edilmiştir. 1.5xGSD değerinin altında hız değeri belirlenen noktalarda hızların GNSS için anlamlı olduğu belirlenirken bir kısmının İHA için anlamsız olduğu belirlenmiştir. Bu durumda, hız değerleri hem GNSS hem de İHA'da anlamlı kestirilen ve hız değerleri 1.5xGSD(30 mm/ay)'nin üzerinde olduğu gözlenen noktalar istatistik testlere tabi tutulmuş ve bu değerlerin eşit kabul edilip edilemeyeceğine dair kararlar yine Çizelge 6.9'da ortaya konulmuş ve yapılan işlemler aşağıda açıklanmıştır:

Standart sapmalarının kareleri(S^2) ve serbestlik dereceleri(f) sırasıyla, $S_{İHA}^2 = 44 \text{ mm}^2$ $f_{İHA}=102$ ve $S_{GNSS}^2 = 36 \text{ mm}^2$ $f_{GNSS}=102$ olan iki ölçü grubu, t dağılımına göre değerlendirilmiş ve hız değerlerinin eşit kabul edilip edilemeyeceğine karar verilmek istenmiştir. Öncelikle bu testin yapılabilmesi için bu ölçü gruplarına ait iki varyans değerinin birbirlerine eşit olup olmadığı test edilmiş ve buna yönelik bazı hipotezler ortaya atılmıştır. Buna göre:

$$H_0 = E(S_{İHA}) = E(S_{GNSS}) \quad \text{sıfır hipotezi ve}$$

$$H_K = E(S_{İHA}) \neq E(S_{GNSS}) \quad \text{karşıt hipotezi oluşturulmuştur.}$$

F-dağılımının $\alpha=0,05$ için tek yanlı $F_{(1-\alpha, f_1, f_2)}$ güven sınırları göz önüne alındığında;

$$\hat{F} = \frac{S_{İHA}^2}{S_{GNSS}^2} = \frac{44 \text{ mm}^2}{36 \text{ mm}^2} = 1.22 \quad (6.1)$$

olarak bulmakta ve $F_{(0,95,102,102)} = 1,38$ olmaktadır.

Buna göre $\hat{F} < F_{(0,95,102,102)}$ olduğundan $S_{İHA}^2$ ve S_{GNSS}^2 arasındaki fark rastlantısaldır ve $H_0 = E(S_{İHA}) = E(S_{GNSS})$ hipotezi geçerli kabul edilmiştir. Bu durumda iki varyans yerine iki ölçü grubu için ortak bir varyans belirlenebilmektedir. Ortak varyans S_{gi}^2 :

$$S_{gi}^2 = \frac{S_{İHA}^2 \times f_{İHA} + S_{GNSS}^2 \times f_{GNSS}}{f_{İHA} + f_{GNSS}} = \frac{44 \times 102 + 36 \times 102}{204} = 40 \text{ mm}^2 \quad (6.2)$$

olarak bulunmuştur. Bu aşamada artık GNSS ve İHA ile elde edilen hız değerlerinin eşit kabul edilip edilemeyeceğine dair istatistiksel bir test uygulanabilmektedir. Öncelikle, $V_i^{İHA} = İHA$ i. nokta hız değeri $V_i^{GNSS} = GNSS$ i. nokta hız değeri olmak üzere; $H_0 = E(V_i^{İHA}) = E(V_i^{GNSS})$ sıfır hipotezi ve $H_K = E(V_i^{İHA}) \neq E(V_i^{GNSS})$ karşıt hipotezi oluşturulmuştur.

$$d_h = V_i^{GNSS} - V_i^{İHA} \quad (6.3)$$

$$S_{d_h}^2 = S_{g_i}^2(Q_{V^{GNSS}} + Q_{V^{İHA}}) \quad (6.4)$$

$$test\ büyüklüğü\ \check{t} = \frac{|V_i^{GNSS} - V_i^{İHA}|}{m_{d_h}} \quad (6.5)$$

eşitliklerine göre hesaplamalar yapılmış, $t_{204,0,95} = 1.66$ bulunmuştur. Tüm \check{t} değerlerinin t değerinden küçük ($\check{t} < t$) olması nedeniyle teste tabi tutulan tüm noktalardaki hız değerleri eşit kabul edilmiş ve aynı noktalarda gözlemlenen GNSS ile İHA hız değerlerindeki farklılıkların rastlantısal olduğu sonucuna varılmıştır. Karar ve sonuçlar Çizelge 6.9'da verilmiştir.

GNSS ve İHA ile elde edilen koordinatlardan hesaplanmış olan hız değerlerinin birbirine eşit kabul edilebileceği istatistiksel testlerle ortaya konulmakla beraber bu iki değer ne oranda tutarlı olduğuna dair hesaplamalar da yapılmıştır. Burada RMSE(Root Mean Square Error) ve VAF(Variance Account For) indisleri kullanılmıştır. RMSE değerinin sıfıra ve VAF değerinin 100 e yaklaşması GNSS ile İHA arasındaki ölçümlerin birbiri ile uyuşumunun üst düzeyde olduğunu göstermektedir. Eşitlik 6.6'da RMSE ve VAF hesabını gösterir formüller verilmiştir Eşitlik 6.6'da N ölçü sayısı olmakla beraber y GNSS ile elde edilen hızlar, y' ise İHA ile elde edilen hızlardır. (Grima & Babuşİka, 1999)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y - y')^2} \quad VAF = \left[1 - \frac{var(y-y')}{var(y)} \right] \times 100 \quad (6.6)$$

Çizelge 6.8 GNSS ve İHA Hız Değerlerine Ait RMSE ve VAF İndisleri

İndis	Yatay	Düşey	Yatay+Düşey
RMSE (cm)	1.2	1.3	1.2
VAF	98	84	91

Çizelge 6.8'de görüleceği üzere GNSS ve İHA ölçümleri sonucu yapılan hız kestirimlerinden aylık hız değeri 20 mm ve üzeri olan noktalar için yatayda 1.2 cm,

düŖeyde 1.3cm ve yatay+düŖey de 1.2 cm RMSE değeri bulunmuŖtur. VAF değerleri ise yatayda 98 düŖeyde 84 ve yatay+düŖey’de 91 olarak bulunmuŖtur.

Sonuç olarak, 20 mm/piksel GSD değerine sahip İHA verileri ile Hızlı Statik yöntemi kullanılarak elde edilmiş GNSS verilerinden elde edilen hız değerlerinden 30 mm/ay altında kalan noktalarda yüzde yüz uyuşum elde edilemezken, 30 mm/ay ve üzeri hız değerine sahip tüm noktalarda İHA ve GNSS birbirini doğrulamış ve öngörülen “*İHA Fotogrametrisi ile 1.5xGSD ve üzeri hız değerlerine sahip deformasyonlar izlenebilir.*” varsayımı doğrulanmıştır.



Çizelge 6.9 GNSS ve İHA Hız Değerlerinin Eşit Kabul Edilip, Edilemeyeceğine Dair Değerlendirmeler

N.No	GNSS		İHA		Hız Farkları (mm/ay)	Q_V^{GNSS}	$Q_V^{İHA}$	S _{dh} (mm)	\checkmark	KARAR
	Yukarı ve Sağa Bileşenleri Yönünde									
	V _{GNSS} (mm/ay)	Karar	V _{İHA} (mm/ay)	KARAR						
D2n	32.1	Anlamlı	21.26	Anlamlı	10.8	1.530871	10.951	22.34	0.48	Hızlar Eşittir
D3n	26.2	Anlamlı	13.15	Anlamsız						
D4n	60.8	Anlamlı	40.41	Anlamlı	20.4	1.263683	10.951	22.1	0.92	Hızlar Eşittir
D5n	28.6	Anlamlı	17.24	Anlamlı	11.4	1.333637	10.951	22.17	0.51	Hızlar Eşittir
D24n	-18.8	Anlamlı	-28.88	Anlamlı	10.1	1.009441	10.951	21.87	0.46	Hızlar Eşittir
D24e	-21	Anlamlı	0.68	Anlamsız						
D31n	-30.1	Anlamlı	-41.35	Anlamlı	11.3	0.999592	10.951	21.86	0.51	Hızlar Eşittir
D31e	39	Anlamlı	35.36	Anlamlı	3.7	1.258762	10.951	22.1	0.17	Hızlar Eşittir
D34n	-19.8	Anlamlı	-27.08	Anlamlı	7.2	0.976759	10.951	21.84	0.33	Hızlar Eşittir
N.No	Yükseklik Bileşeni Yönünde				Hız Farkları	Q_V^{GNSS}	$Q_V^{İHA}$	S _{dh}	\checkmark	KARAR
	Yükseklik Bileşeni Yönünde									
	V _{GNSS} (mm/ay)	Karar	V _{İHA} (mm/ay)	KARAR						
D4up	-21.4	Anlamlı	-9.55	Anlamsız						
D22up	-33.5	Anlamlı	-19.6	Anlamlı	13.9	3.052821	12.7925	25.18	0.55	Hızlar Eşittir
D23up	-70.1	Anlamlı	-55.33	Anlamlı	14.8	3.834452	12.7925	25.79	0.57	Hızlar Eşittir
D24up	-65.7	Anlamlı	-52.93	Anlamlı	12.8	2.694939	12.7925	24.89	0.51	Hızlar Eşittir
D25up	-23.3	Anlamlı	-14.78	Anlamsız						
D27up	-42.6	Anlamlı	-23.53	Anlamlı	19.1	3.219691	12.7925	25.31	0.75	Hızlar Eşittir
D30up	-38.4	Anlamlı	-41.91	Anlamlı	3.6	3.149688	12.7925	25.25	0.14	Hızlar Eşittir
D31up	-80.2	Anlamlı	-64.9	Anlamlı	15.3	2.582068	12.7925	24.8	0.62	Hızlar Eşittir
D34up	-33.4	Anlamlı	-28.38	Anlamlı	5	2.357765	12.7925	24.62	0.2	Hızlar Eşittir

Not: Kırmızı ile işaretlenmiş ölçüler hız değerleri GNSS ile **anlamlı** İHA ile **anlamsız** bulunan noktalardır. Ayrıca $\checkmark < t$ ise $V_{GNSS} = V_{İHA}$ kabul edilebilir.

Bölüm 6.6’da bu kısma kadar yapılmış olan tüm karşılaştırmalar nokta bazlı yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar tüm noktaların iki yöntem(GNSS ve İHA) arasındaki konum farklarına ve hız değerlerine bakılarak yapılmıştır. Konum farklarında tüm noktalar (34 Adet) karşılaştırmaya dahil edilmiştir. Hız karşılaştırmalarında ise GNSS ile hesaplanan hızlar sonucu Anlamlı bulunan, hız değeri 20 mm/ay ve daha üzerinde olan noktalar karşılaştırmaya dahil edilmiş olup tez çalışmasında geliştirilen yöntemin güvenilirliğini birebir test etmeyi amaçlamıştır. GNSS ile takip edilmiş ve 20 mm/ay altında bulunmuş hızların karşılaştırılmaya alınmamasının nedeni, GSD değeri 20 mm/piksel olan İHA Fotogrametrisi ürünlerinden 20 mm/ay hızının altında ki konum hareketlerinin izlenebilir olamayacağıdır.

Bu kısımda ise tüm deformasyon noktalarının iki yöntem ile (GNSS ve İHA) ölçülen koordinatlarından kestirilmiş hız değerlerinden, geliştirilmiş olan program yardımıyla, “Biharmonik Spline Enterpolasyonu” yöntemi kullanılarak enterpolasyon haritaları oluşturulmuş ve bu enterpolasyon haritalarının korelasyon değerleri MATLAB yardımı ile hesaplanmıştır.

Şekil 6.30’ de görüleceği üzere Yukarı(N) bileşeninde oluşturulmuş enterpolasyon haritaları kıyaslanmış ve korelasyon değeri **0.8719** olarak bulunmuştur. Şekil 6.31’de ise Sağa(E) bileşeninde oluşturulmuş enterpolasyon haritaları kıyaslanmış ve korelasyon değeri **0.7147** olarak bulunmuştur. Şekil 6.32’da ise Yukarı(UP) bileşeninde oluşturulmuş enterpolasyon haritaları kıyaslanmış ve korelasyon değeri **0.8649** bulunmuştur.

Yine tüm deformasyon noktalarının iki yöntem ile (GNSS ve İHA) ölçülen koordinatlarından kestirilmiş olan hız değerleri ile ArcGIS programında “Doğal Komşuluk” yöntemi kullanılarak enterpolasyon haritaları oluşturulmuş ve bu enterpolasyon haritalarının, korelasyon değerleri ArcGIS yardımı ile hesaplanmıştır.

Şekil 6.33’da görüleceği üzere Yukarı(N) bileşeninde oluşturulmuş enterpolasyon haritaları kıyaslanmış ve korelasyon değeri **0.94492** olarak bulunmuştur. Şekil 6.34’de ise Sağa(E) bileşeninde oluşturulmuş enterpolasyon haritaları kıyaslanmış ve korelasyon değeri **0.73894** olarak bulunmuştur. Şekil 6.35’de ise Yukarı(Up) bileşeninde oluşturulmuş enterpolasyon haritaları kıyaslanmış ve korelasyon değeri **0.88292** olarak bulunmuştur.

Yapılan enterpolasyon haritalarından MATLAB yardımı ile elde edilen tüm korelasyon değerleri Çizelge 6.10’da bir özet tablosu olarak sunulmuştur. Tabloya göre ortalama korelasyon değerleri Yukarı –n bileşeninde 0.9218, Sağa –e bileşeninde 0.7504 ve Yükseklik –up bileşeninde 0.8743 olarak bulunmuştur. Çizelge 6.10’da Sarı ile işaretlenmiş olan yöntemler yukarıda detayları incelenmiş olan Biharmonik Spline Enterpolasyonu(V4) ve Doğal Komşuluk Enterpolasyonu(Natural)’dur. Bunlardan “V4” enterpolasyon yöntemi ile üretilmiş enterpolasyon haritaları Şekil 6.37-6.38-6.39 ve “Natural” enterpolasyon yöntemi ile üretilmiş enterpolasyon haritaları Şekil 6.40-6.41-6.42’de verilmiştir.

Çizelge 6.10 Enterpolasyon Haritaları Korelasyon Sonuçları

Enterpolasyon Yöntemi	Korelasyon Değerleri (r)		
	Yukarı –n	Sağa –e	Yükseklik –up
V4(Spline)	0.8719	0.7147	0.8649
Nearest	0.9121	0.7759	0.8410
Cubic	0.9403	0.7677	0.8825
Natural	0.9444	0.7431	0.8947
Linear	0.9403	0.7508	0.8884
Ortalama	0.9218	0.7504	0.8743

Çizelge 6.10’da görüleceği üzere korelasyon değeri en az olan Sağa –e bileşenidir. Bunun sebebi Sağa –e bileşeni yönünde GNSS ile **anlamli** bulunan bir çok noktanın hız değerinin 20 mm/ay’dan küçük olmasıdır. GSD(20 mm/piksel) değerine göre hesaplanan ve bu çalışma için 20 mm/ay olarak kabul edilen bir sınır mevcuttur. Bu sınırın altında kalan hızların, bu çalışmada kullanılan GSD değeri göz önüne alındığında, İHA Fotogrametrisi ile deformasyon takibi açısından takip edilebilir olmadığı belirtilmiştir. Bu sebeple bu değerler ile oluşturulan enterpole hız haritalarında GNSS ile İHA arasında korelasyon değerleri düşmektedir.

Toplam 34 adet deformasyon plakasının ölçülmesi sonucu elde edilen hız değerlerinden:

- Yukarı –n bileşeni yönünde 34 noktanın 7 tanesinin GNSS ile hesaplanan hız değeri, bu çalışma için İHA ile de takip edilebilir değer olarak varsayılan, 20 mm/ay hız değerinin üzerindedir.
- Sağa –e bileşeni yönünde 34 noktanın 2 tanesinin GNSS ile hesaplanan hız değeri, bu çalışma için İHA ile de takip edilebilir değer olarak varsayılan, 20 mm/ay hız değerinin üzerindedir.

- Yukarı –n bileşeni yönünde 34 noktanın 9 tanesinin GNSS ile hesaplanan hız değeri, bu çalışma için İHA ile de takip edilebilir değer olarak varsayılan, 20 mm/ay hız değerinin üzerindedir.

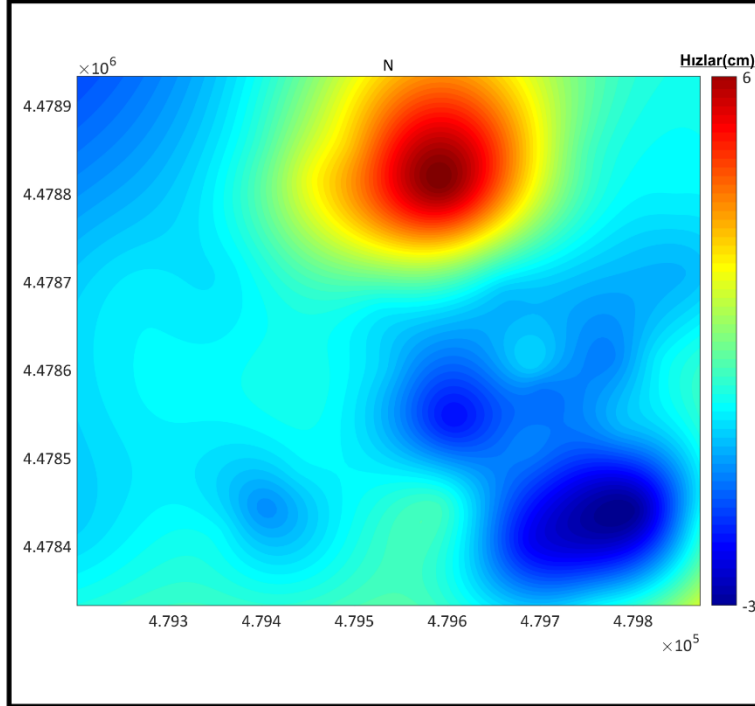
Bu bilgiler ışığında bakıldığında, *GSD değeri 20 mm/piksel olarak tasarlanmış İHA Fotogrametrisi yöntemi ile konum değişim hızları 20 mm/ay ve üzeri olan noktaların deformasyonları rahatlıkla izlenebilmektedir*, ara sonucuna rahatlıkla ulaşılabilmektedir.

Bölüm 6.6 boyunca deformasyon noktalarının konum farkları, hız değerleri ve enterpolasyon haritaları arasında yapılan karşılaştırmalar sonucu olarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

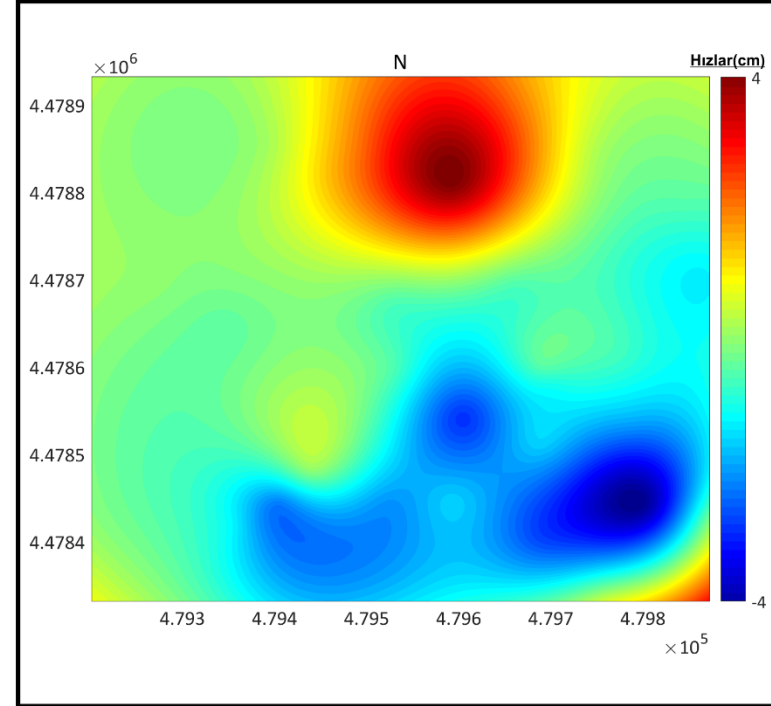
1. Konum farkları karşılaştırılan tüm noktalarda, İHA fotogrametrisi ile GNSS sonuçları arasında **%4.25**'lik bir sapma oranı elde edilmiştir. Yukarı –n bileşenindeki konum farkı en fazla 6.4 cm bulunurken, Sağa –e bileşeninde 3.2 cm ve Yükseklik –up bileşeninde 9.9 cm olarak bulunmuştur.
2. İHA fotogrametrisi ile GSD (bu çalışma için 20mm/piksel) değeri miktarı ile **1.5xGSD** (bu çalışma için 30mm/piksel) arasındaki deformasyonlar yüzde yüz başarı ile izlenemezken, 1.5xGSD ve üzeri deformasyonların izlenmesinde yüzde yüz başarılı sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir. Bu bağlamda GNSS kullanılarak hız büyüklüğü 30 mm/ay ve üzeri olan, istatistiksel testler sonucu **anlamlı** olduğu ortaya konulan tüm noktalarda, İHA ile de hız değerleri istatistiksel testler sonucu **anlamlı** bulunmuştur.
3. GNSS ile İHA verilerinden elde edilen hızlardan **20mm/ay ve üzeri** olan hızlar dikkate alındığında, GNSS verileri dayanak alınarak, RMSE ve VAF sonuçlarına(Çizelge 6.8) göre İHA ile elde edilen konum bilgilerinin doğruluğu veya bir diğer ifadeyle gerçek konumu belirleme (kestirim) kapasitesi yüksektir. (İHA fotogrametrisi ürünlerinin GSD değerleri 20 mm/piksel'dir. Çıkarım bu değer baz alınarak yapılmıştır.)
4. Bu çalışma için GNSS ve İHA sonuçları arasında yaklaşık %70 - %95 oranları arasında korelasyon gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

ENTERPOLE HIZ HARİTALARI VE KORELASYONLARI

GNSS



İHA



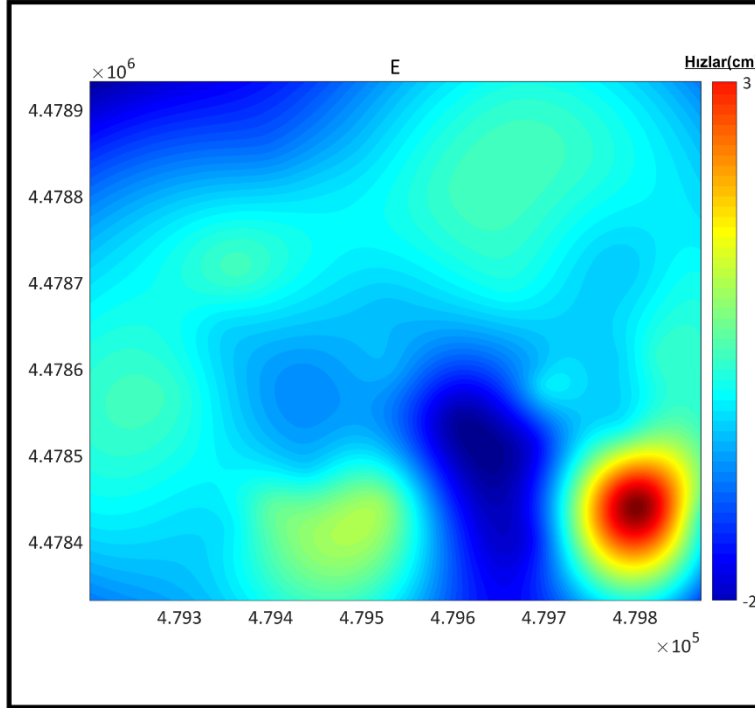
Matlab Korelasyon Testi Sonucu : **0.87190**

Tür: Biharmonik Spline Enterpolasyonu (V4)

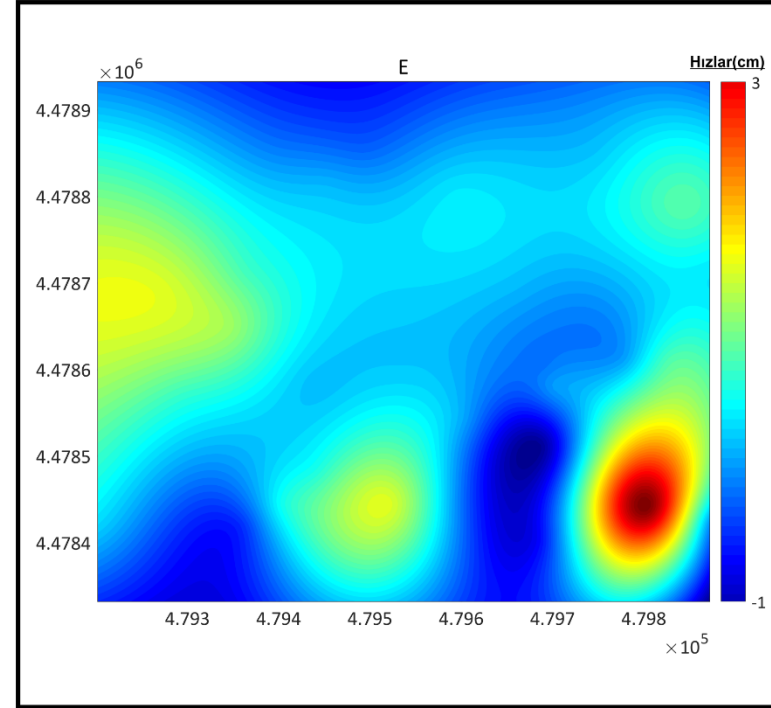
Şekil 6.30 Biharmonik Spline Enterpolasyonu(V4) ve Korelasyon Değerleri – N Bileşeni

ENTERPOLE HIZ HARİTALARI VE KORELASYONLARI

GNSS



İHA



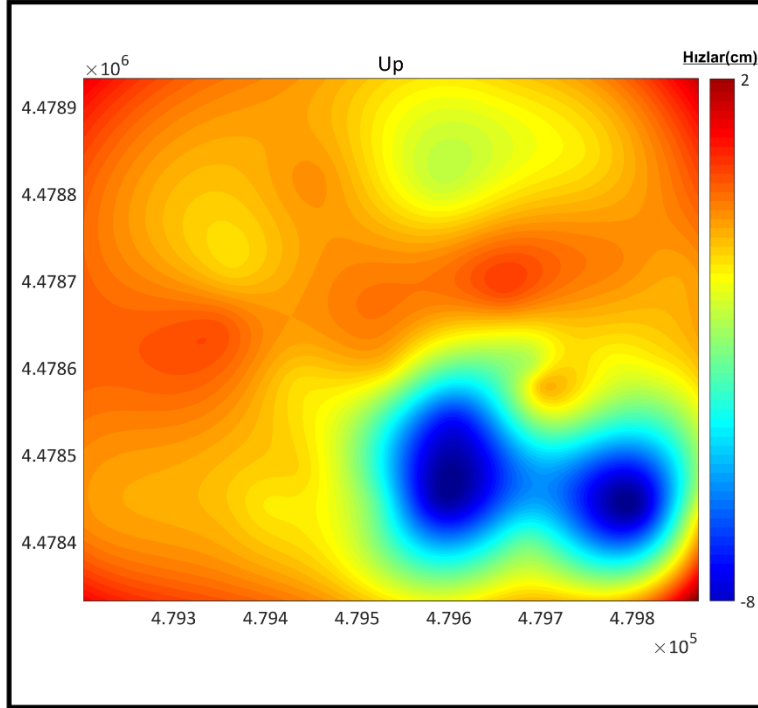
Matlab Korelasyon Testi Sonucu : **0.71470**

Tür: Biharmonik Spline Enterpolasyonu (V4)

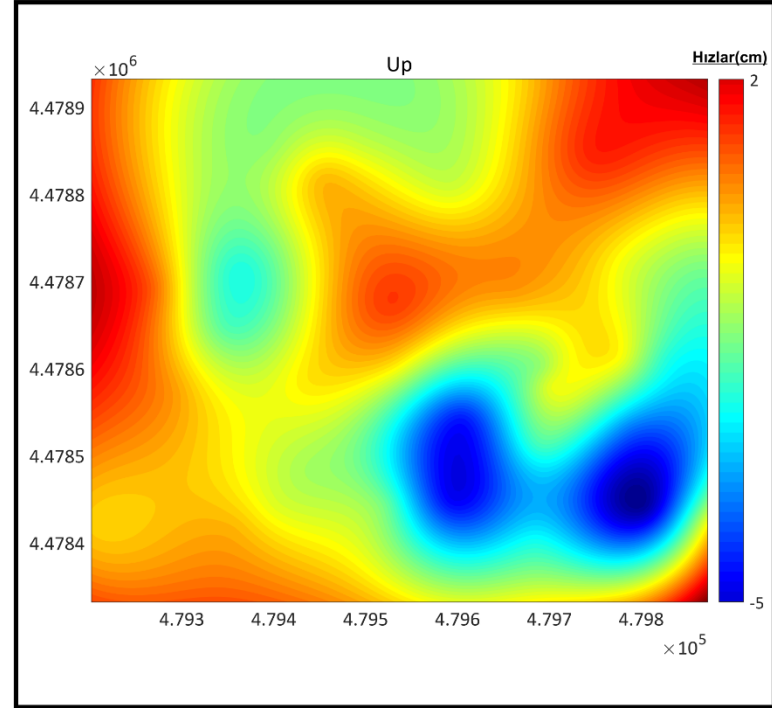
Şekil 6.31 Biharmonik Spline Enterpolasyonu(V4) ve Korelasyon Değerleri – E Bileşeni

ENTERPOLE HIZ HARİTALARI VE KORELASYONLARI

GNSS



İHA

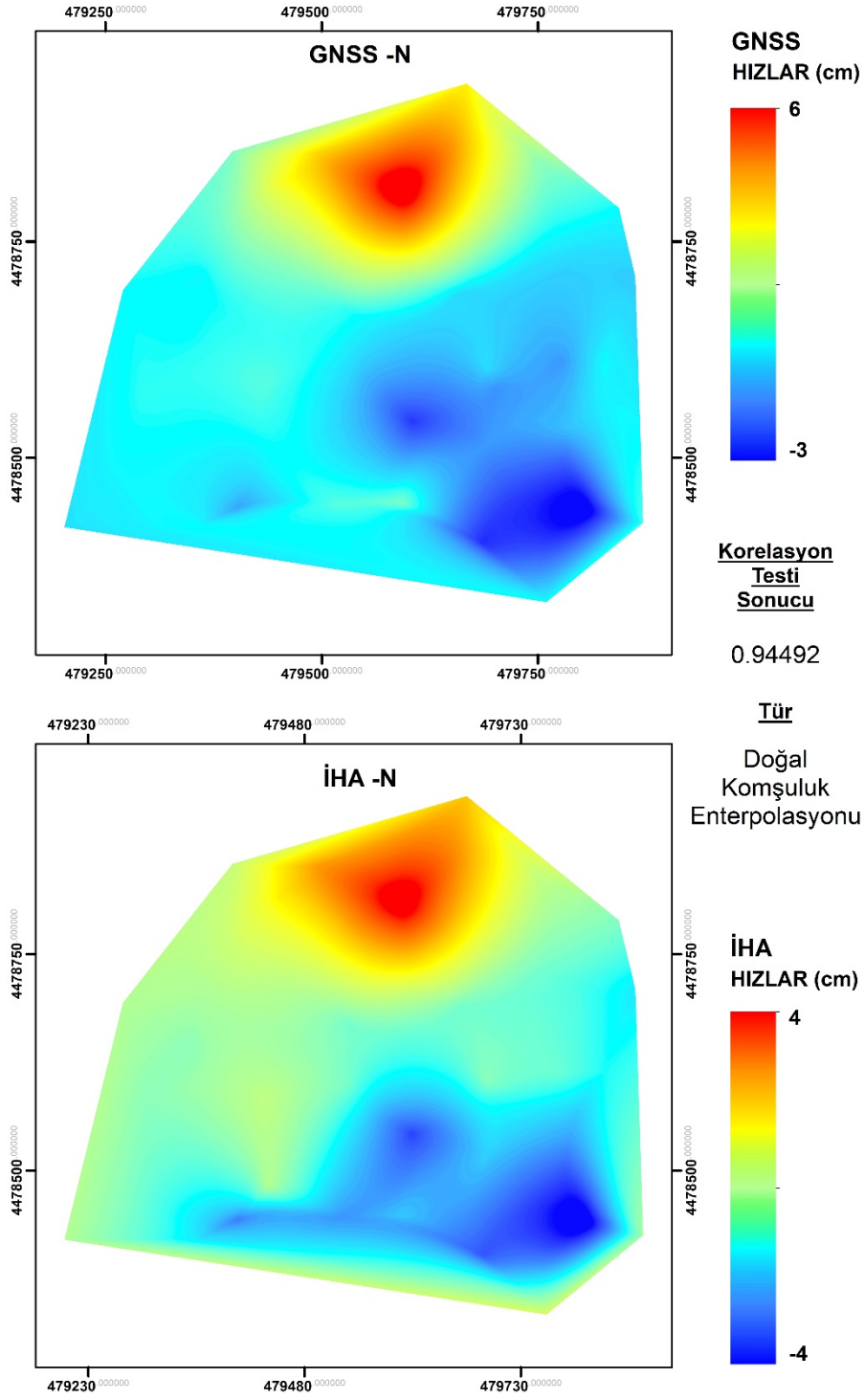


Matlab Korelasyon Testi Sonucu : **0.8649**

Tür: Biharmonik Spline Enterpolasyonu (V4)

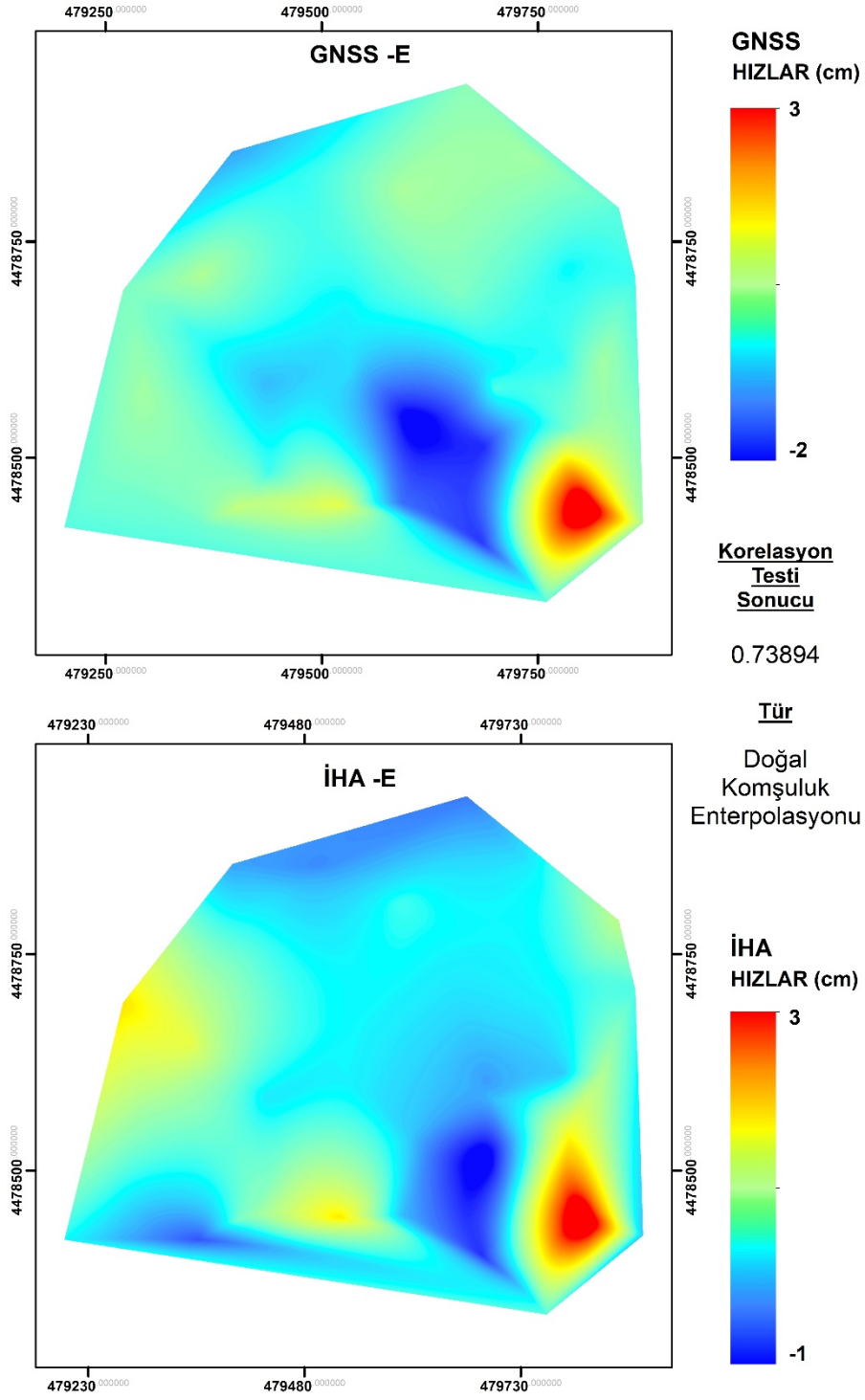
Şekil 6.32 Biharmonik Spline Enterpolasyonu(V4) ve Korelasyon Değerleri – UP Bileşeni

ENTERPOLE HIZ HARİTALARI VE KORELASYONLARI



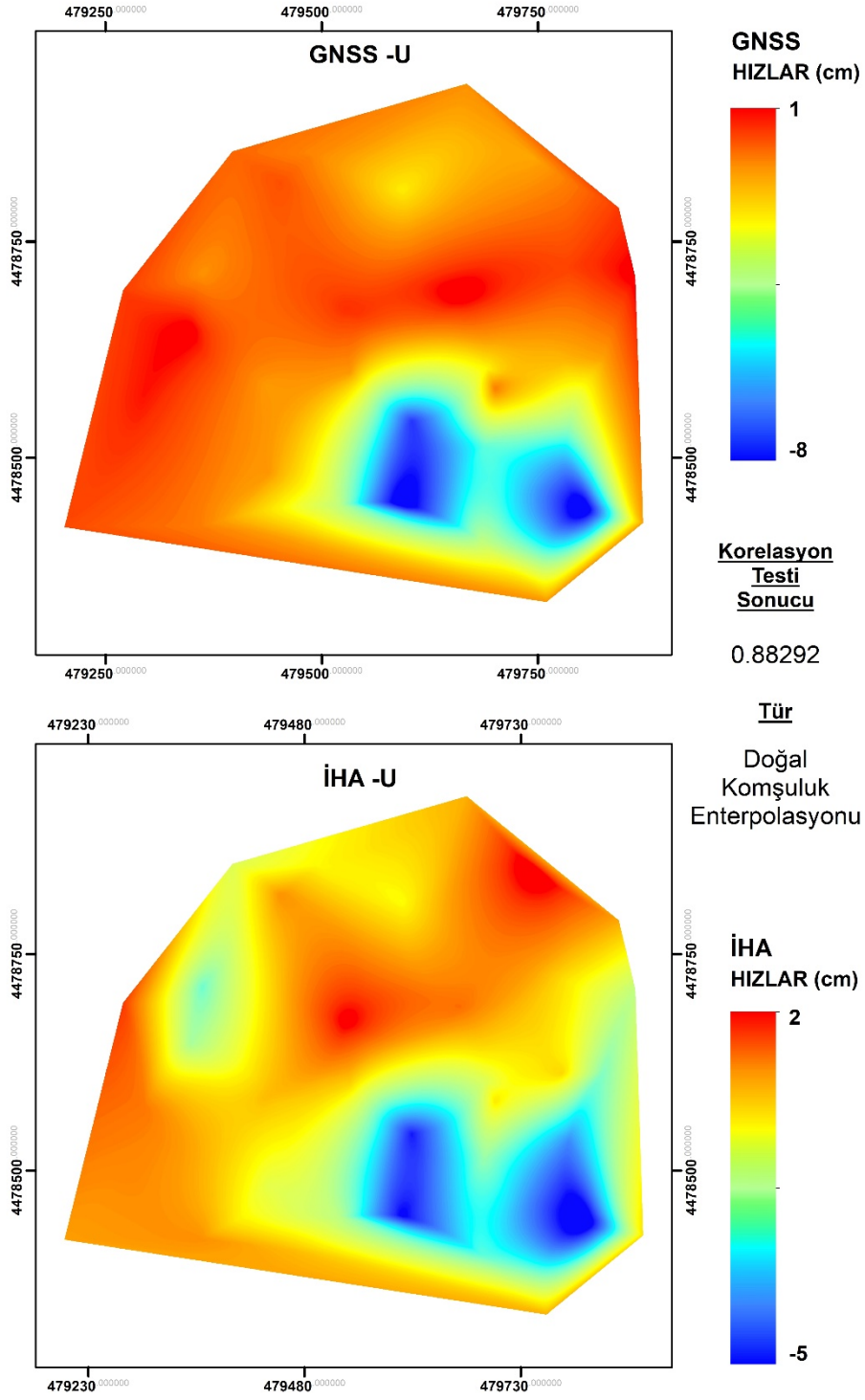
Şekil 6.33 Doğal Komşuluk Enterpolasyonu ve Korelasyon Değerleri -N Bileşeni.

ENTERPOLE HIZ HARİTALARI VE KORELASYONLARI



Şekil 6.34 Doğal Komşuluk Enterpolasyonu ve Korelasyon Değerleri -E Bileşeni.

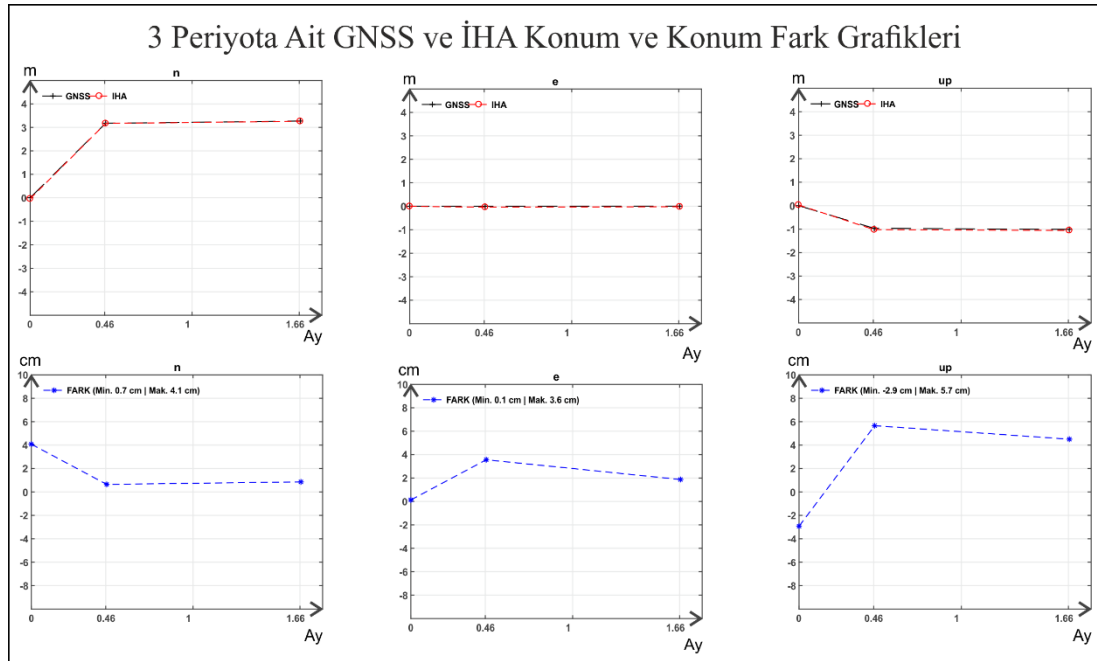
ENTERPOLE HIZ HARİTALARI VE KORELASYONLARI



Şekil 6.35 Doğal Komşuluk Entropolasyonu ve Korelasyon Değerleri -UP Bileşeni.

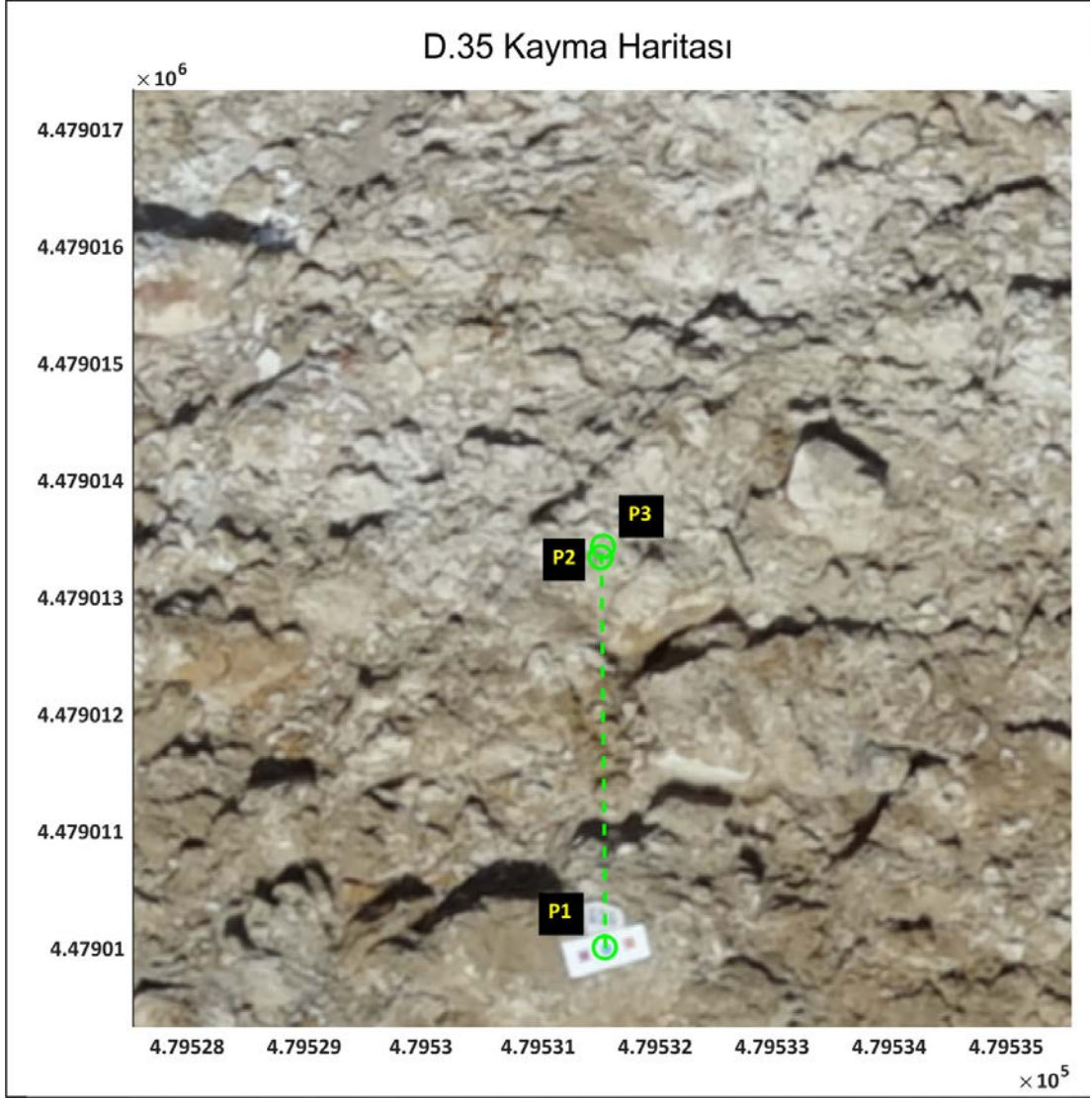
6.6.3 D.35 plakasının değerlendirilmesi

Bölüm 6.6’da belirtildiği üzere, D35 isimli plakanın bulunduğu bölgede kütle hareketlerinin P.1 ve P.2 periyotları arasında diğer plaka noktalarına göre çok daha fazla olduğu saptanmış ve bu nokta ile ilgili değerlendirmenin ayrıca yapılmasında fayda görülmüştür. Bu noktada serbest arama yöntemi kullanılmış ve bu nokta program yardımıyla önsel bir konum bilgisi verilmeden kullanılan serbest arama yöntemi ile takip edilmiştir. Noktaya ait 3 periyota ait GNSS ve İHA konum ve konum fark grafikleri Şekil 6.43’de verilmiştir.



Şekil 6.36 D.35 Nok. Ait 3 Periyot GNSS ve İHA Konum ve Konum Fark Grafikleri

D.35 noktasında 1. Periyot ve 2. Periyot zaman aralığında Yukarı–n ve Yükseklik–up bileşenleri yönünde sırasıyla 321 cm ve -105 cm, Sağa –e bileşeni yönünde ise -4 cm yer değiştirme meydana gelmiştir. D.35 noktasına ait kayma haritası Şekil 6.44’de ve GNSS ile İHA Fotogrametrisi yöntemiyle bulunan koordinatlar ile farkları Çizelge 6.10’da verilmiştir. D35 noktasında, Periyot 1 ve Periyot 2 ölçümleri arasında geçen zaman içerisinde “Yukarı” ve “Yükseklik” bileşenlerinde ani bir kopma gerçekleştiğinden D35 noktasında gerçekleşen bu hareketin sürekliliği tespit edilememiştir. Bu yüzden nokta için hız değerlerinin sağlıklı olarak kestirilemeyeceği düşünüldüğünden Kalman Filtreleme Tekniği bu noktaya uygulanmamıştır ve sadece konum karşılaştırmaları yapılmıştır. Toplamda yaklaşık 338 cm’lik bir kayma 10 cm’lik bir sapma ile belirlenmiştir.



Şekil 6.37 D.35 Noktasına Ait Kayma Haritası

Çizelge 6.11 D35 Nok. Ait Koordinat Farkları ve Periyodik Konum Değişimleri

1. Periyot									
N.No	GNSS			PROGRAM			FARKLAR (cm)		
	Sağa	Yukarı	Yükseklik	Sağa	Yukarı	Yükseklik	Sağ.	Yuk.	Yük.
D35	479531.58	4479010.2	938.014	479531.58	4479010.1	938.044	-0.1	-4.1	2.9
2. Periyot									
D35	479531.58	4479013.3	937.047	479531.54	4479013.3	936.99	-3.6	-0.7	-5.7
3. Periyot									
D35	479531.58	4479013.4	937.005	479531.56	4479013.4	936.959	-1.9	-0.9	-4.5
Konum Değişimleri (cm)							Konum Değişimleri Farkları (cm)		
P2-P1	0	318	-97	-4	321	-105	4	-3	9
P3-P2	0	3	-1	0	3	-1	0	0	0

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Çalışma alanı Amasya ili merkez Eliktekke Köyü mevkiinde olup, bu bölgede çalışmakta olan mermer firmaları tarafından döküm sahası olarak kullanılmaktadır. Yapılan dökümler sonucunda meydana gelen ve “Fimar, Emmioğlu ve Alternatif Mermer A.Ş.’ye Ait Amasya Mermer Ocağı Döküm Sahası Şevlerinde Deformasyonların Jeodezik Yöntemle İzlenmesi ve Değerlendirilmesi” projesi kapsamında GNSS yöntemi ile ortaya konulan deformasyonlar, İHA Fotogrametrisiyle de tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar GNSS ile tespit edilen deformasyonlar ile kıyaslanmış ve geliştirilmiş olan algoritmanın ve yazılımın güvenilirliği test edilmiştir.

Bu çalışmada 12-13 Temmuz, 26-27 Temmuz ve 01-02 Eylül 2018 tarihleri arasında üç periyot olarak İHA uçuşları yapılmıştır. Uçuş planlamaları, GSD değerleri 1.2 ila 2 cm/piksel olacak şekilde 85 metre yükseklikten yapılmıştır. Bu uçuşlar ve verilerin değerlendirilmeleri sonucu 2 cm/piksel GSD değerine sahip ortofoto haritalar ve SYM’ler elde edilmiştir. Elde edilen bu ürünler, bu tez çalışması kapsamında geliştirilmiş olan yazılım yardımı ile değerlendirilmiştir. GNSS-İHA konum farkları dikkate alındığında İHA fotogrametrisi için beklenen hata değerlerini -yatayda 1-2 GSD=2-4 cm ile düşeyde 1-3 GSD = 2-6 cm (Pix4D, 2018)- aşan nokta sayısı 1. Periyot ölçümleri için Yukarı bileşeninde **iki adet** (D.17, D.22) Sağa bileşeninde **sıfır adet** ve Yükseklik bileşeninde **üç adet** (D.12, D.13) olarak; 2. Periyot ölçümleri için Yukarı bileşeninde **üç adet** (D.17, D.18) Sağa bileşeninde **sıfır adet** ve Yükseklik bileşeninde **beş adet** (D.8, D.12, D.13, D.29, D.30); 3. Periyot ölçümleri için ise hata sınırını aşan nokta tespit edilmemiştir. Bu durumda hata sınırını aşan nokta yüzdeleri Yukarı bileşeninde %4.9 , Sağa bileşeninde %0 ve Yükseklik bileşeninde %7.8 olarak belirlenmiş ve ortalama %4.2 hata oranının kabul edilebilir düzeyde olduğu sonucuna varılmıştır. İHA Fotogrametrisi sonucu, geliştirilen program yardımı ile, elde edilen verilerden ve GNSS ölçümleri sonucu elde edilen verilerden yararlanılarak Kalman Filtreleme Tekniği ile hız değerleri hesaplanmıştır. GNSS yöntemi ile hesaplanan anlamlı hız değerleri İHA fotogrametrisi yöntemi ile hesaplanan hız değerleri ile istatistiksel(t-testi, f-testi, RMS, VAF) yöntemler kullanılarak karşılaştırılmıştır. Sonuçta 1.5xGSD(bu uygulama için 30 mm/ay) üzeri hız değerleri için İHA fotogrametrisi ile elde edilen hız değerlerinin GNSS yöntemi ile elde edilen hız değerlerine eşit kabul edilebileceği istatistik testler sonucunda görülmüştür.

Daha sonra iki yöntemle elde edilen alansal deformasyon sonuçlarını karşılaştırmak için, GNSS ve İHA yöntemi sonuçlarından, Biharmonik Spline Enterpolasyonu (MATLAB® V4 griddata method) ve Doğal Komşuluk Enterpolasyonu kullanılarak enterpole haritalar oluşturulmuştur. Oluşturulan enterpole haritalarının kolerasyon değerleri hesaplanmış ve bu değerler karşılaştırılmıştır. GNSS ve İHA yöntemlerinden elde edilen Enterpolasyon Hız Haritaları Şekil 5.51...56'da verildiği üzere bu Enterpolasyon Hız haritaları, ortalama %75-%92 arasında korelasyonlu bulunmuştur. Geliştirilmiş olan yazılım için varsayılan enterpolasyon yöntemleri olarak tanımlanan Biharmonik Spline Enterpolasyonunun ve Doğal Komşuluk Enterpolasyonunun diğer enterpolasyon yöntemleri ile karşılaştırıldığı sonuçlar ise Çizelge 6.10'da verilmiştir.

Bu yapılan çalışmanın ışığında diyebiliriz ki izlenen deformasyon büyüklüklerine uygun olarak üretilen ortofotolar ve SYM'ler kullanılarak İHA Fotogrametrisi ile de deformasyon izlenebilmektedir. Uygun ürünler üretebilmek için ise uçuş öncesi yer kontrol noktalarının dağılımlarının topoğrafyaya uygun ve ölçümlerinin oldukça hassas yapılması gerekmektedir. Yer kontrol noktalarından bir kısmı çalışma alanının etrafını çevreleyecek şekilde tesis edildikten sonra bir kısmı ise ölçülmek istenen alanın topoğrafyasını yansıtacak şekilde tesis edilmelidir. En ideal yer kontrol noktası tesisi hem topoğrafyayı yansıtan hem de geometrik olarak alana homojen yayılmış olarak tesis edilenlerdir. Sadece uygun YKN tasarımı istenilen hassasiyeti sağlamak açısından yeterli değildir. Sonuç ürünlerinin istenilen kalitede alınabilmesi için yapılacak uçuşlarda da dikkat edilmesi gereken hususlar mevcuttur. Çekilecek olan fotoğrafların net olması ve optik kaynaklı bozulmaların asgari seviyede tutulması gerekmektedir. Bunun için de uçuş yapılacağı gün; hava şartları, uçuş saati, uçuş planlaması(uçuş yüksekliği, hızı vb.) ve kullanılan donanımların buna uygun olması gerekmektedir. Uçuşların; rüzgarsız veya az rüzgârlı, bulutsuz -yani mümkün olduğunca ışık şiddetinin yani aydınlanmanın değişkenlik göstermediği- havalarda, öğle saatlerinde gölge boylarının en kısa olduğu zamanlarda yapılması gerekmektedir. Kullanılan donanımların da titreşimleri engelleyecek şekilde tasarlanmış olması gerekmektedir. Fotoğraflarda titreşimden kaynaklı oluşacak bulanıklıklar ve uçuş esnasında güneşin bulut arkasına girmesi sonucu aydınlanma miktarında oluşan anlık değişimler, sonuç ürünlerini doğruluk açısından olumsuz etkileyen en önemli faktörlerdendir.

Uçuş planlaması yapılırken sonuç ürüne etki edecek önemli faktörlerden birisi de uçuş yükseklikleri ve kamera lens özellikleri olmaktadır. Uçuş yükseklikleri ve lens odak

uzaklıkları doğrudan yer örneklem aralığını etkileyeceğinden dolayı amaca yönelik olarak belirlenmelidir. Sonuç üründe elde edilmek istenen çözünürlüğün daha da üstünde bir yer örneklem aralığı planlanmalıdır. Örneğin, elde edilecek olan ortofoto haritaların çözünürlüğünün 2 cm/piksel olması isteniyorsa eğer uçuş planlaması en azından 1.5 cm/piksel çözünürlüğünde bir GSD verecek şekilde ayarlanmalıdır. Bunların yanı sıra bindirme oranları uçuş yapılacak alanın topografik özelliklerine bağlı olarak tercih edilmelidir. Topoğrafyanın engebesinin arttığı bölgelerde bindirme oranlarının artırılması gerekmektedir ayrıca farklı açılardan uçuşlar yapılması da daha doğru bir SYM üretilmesi açısından önemli olmaktadır.

Sonuç olarak İHA Fotogrametrisi yöntemi kullanılarak deformasyonların izlenebilirliği ortaya konulmuş ve bu amaca yönelik geliştirilen yöntemin başarılı ve geliştirilebilir olduğuna karar verilmiştir. Fakat yöntemin doğru ve tutarlı çalışması için beklenen deformasyon miktarlarına göre doğruluğu artıracak önlemler ve uygun GSD değeri planlaması yapılması gerekmektedir. Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında İHA fotogrametrisi yöntemi kullanılarak istenilen sıklıkta deformasyon plakaları tesis edilmek suretiyle 1.5xGSD ve üzeri hız değerine sahip alansal deformasyonların başarılı bir şekilde izlenebileceği gözlemlenmiştir.

KAYNAKÇA

- Akan, S., Bayram, İ., Çam, Y., & Kacar, H.** (2014). İnsansız Hava Araçlarının Sivil Havacılıkta Kullanımı. *T.C Erciyes Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Uçak Gövde-Motor Bölümü*.Kayseri
- Akyürek, S.** (2012). İnsansız Hava Araçları: Muharebe Alanında ve Terörle Mücadelede Devrimsel Dönüşüm. Ankara: *BİLGESAM*.
- Anonim** (2003). Remote Piloted Aerial Vehicles : An Anthology Remote Piloted Aerial Vehicles: http://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/rpav_home.html (Son Erişim: 29.07.2018)
- Anonim** (2018). Fotogrametri Daire Başkanlığı Faaliyetleri. <https://www.harita.gov.tr/images/kurumsal/6d34de5b8852418.pdf> (Erişim Tarihi: 27.11.2018)
- Anonim** (2018). Phonetic Sciences, Amsterdam: http://www.fon.hum.uva.nl/praat/manual/biharmonic_spline_interpolation.html (Erişim Tarihi: 5.12.2018)
- Ayyıldız, E., & Özmüş, L.** (2015). İnsansız Hava Aracı (İha) Ve Uçak Platformlarından Elde Edilen Görüntülerin Ortofoto Üretiminde Karşılaştırılması. *TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu*, (s. 36-40). Konya.
- Barry, P., & Coakley, R.** (2013). Accuracy of UAV Photogrammetry compared with Network RTK GPS. *The American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1990*.
- Baştürk, Ö.:** Spline İnterpolasyonu. (2018). Ankara Üniversitesi: https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/3712/mod_resource/content/1/Ders02_Spline_Interpolasyonu.pdf (Erişim Tarihi: 05.12.2018)
- Bayrak, T.** (2003). Heyelanlar İçin Bir Dinamik Deformasyon ve Bir Dinamik Hareket Yüzeyi Modelinin Oluşturulması, *Karedeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*(Doktora Tezi), Trabzon
- Bayrak, T.** (2009). Determining The Influence of Rainfall on The Activity of Kutlugün Landslide, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin, 18(1), 1249-1255*.
- Blyenburg, P. v.** (2006). UAV systems: global review. *Presented at the Avionics'06 Conference*. Amsterdam.
- Carvajal, F., Agüera, F., & Perez, M.** (2011). Surveying a landslide in a road embankment using unmanned aerial vehicle photogrammetry. *ISPRS – Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci., XXXVIII-1/C22, 201-206*.
- Cross, P.** (1990). *Advanced Least Squares Applied to Position Fixing Working Papers*. North East London Polytechnic: Dept. of Surveying, 205pp.

- Dalamagkidis, K.** (2015). Classification of UAVs. K. Valavanis, & G. Vachtsevanos içinde, *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles* (s. 83-91). Mnnih: Springer Science+Business Media Dordrecht.
- Deffontaines, B.** (2016). Active interseismic shallow deformation of the Pingting terraces (Longitudinal Valley–Eastern Taiwan) from UAV high-resolution topographic data combined with InSAR time series. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 1-17.
- Deffontaines, B., & vd.** (2016). Active interseismic shallow deformation of the Pingting terraces (Longitudinal Valley–Eastern Taiwan) from UAV high-resolution topographic data combined with InSAR time series. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 1-17.
- Demir, G.** (2011). Kuzey Anadolu Fayı zerinde Nicksar-Suehri Arasındaki Alanın Cbs Tabanlı Heyelan Duyarlılık Analizi. *KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Inaat Müh. Anabilimdalı(Doktora Tezi)*, Trabzon
- Doğan, U.** (2002). Research on Kinematic Models of deformation from 17 August 1999 Izmit earthquake. *stanbul: PhD Thesis YTÜ Institute of Science*.
- Doanalp, S.** (2005). Kinematik Modelde Kalman Fiktreleme Yöntemi ile Deformasyon Analizi., *T.C. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü(Yüksek Lisans Tezi)*, Konya
- Eisenbeiss, H.** (2009). UAV Photogrammetry. *Zurich: Eidgenössische Technische Hochschule*.
- Eker, R., Aydın, A., & Hbl, J.** (2018). Unmanned aerial vehicle (UAV)-based monitoring of a landslide: Gallenzerkogel landslide (Ybbs-Lower Austria) case study. *Environmental Monitoring and Assessment*.
- Eki, B.** (2013). İHA'lar sivil kullanıma açılıyor. TRT Haber: <https://www.trthaber.com/haber/turkiye/ihalar-sivil-kullanima-aciliyor-95715.html> (Son Erişim: 01.08.2018)
- Erdoğan, A.** (2016). eritvari Haritaların İnsansız Hava Araçları İle retimi. Selçuk Üniversitesi *Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı(Yüksek Lisans Tezi)*.Konya
- Ergün, B.** (2018). Sayısal Fotogrametri Dersi Ders Notları. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü: http://anibal.gyte.edu.tr/hebe/AbIDrive/74611106/w/Storage/106_2010_2_521_74611106/Downloads/jfm-521saysal-fotogrametri-dersiders-notlar.pdf (Erişim Tarihi: 27.11.2018)
- Ergünay, O.** (2007). TÜRKİYE'NİN AFET PROFİLİ. *TMMOB AFET SEMPOZYUMU Bildiriler Kitab* (s. 1-14). Ankara: TMMOB Inaat Mühendisleri Odası.
- Gili, J., Corominas, J., & Rius, J.** (2000, Mart 1). Using Global Positioning System techniques in landslide monitoring. *Engineering Geology*(55), s. 167-192.

- Grima, M. A., & Babuška, R.** (1999). Fuzzy model for the prediction of unconfined compressive strength of rock samples. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 36, 339-349.
- Gül, Y., Hastaoğlu, K., & Poyraz, F.** (2018). Fimar, Emmioğlu ve Alternatif Mermer A.Ş.'ye Ait Amasya Mermer Ocağı Döküm Sahası Şevlerinde Deformasyonların Jeodezik Yöntemle İzlenmesi ve Değerlendirilmesi. *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*.
- Gültekin, Y., ÖZEMİR, I., UZAR, M., & ŞİMŞEK, M.** (2016). İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE ORTOFOTO VE SYM ÜRETİMİ. *UZAKTAN ALGILAMA-CBS SEMPOZYUMU (UZAL-CBS 2016)*, (s. 310-318). Adana.
- Haser, A.** (2010). Bu İnsansız Hava Aracı'ndan Daha Önce Yapmamış mıydık? *Bilim ve Teknik*, 32-37.
- Hastaoğlu, K. Ö.** (2015). GNSS ve PS-InSAR Yöntemleri Kullanılarak Heyelanların İzlenmesi ve Afet Bilgi Sistemi Tabanlı Risk Analizlerinin Gerçekleştirilmesi: Koyulhisar(Sivas) Heyelanları. Sivas: *111Y111 Tubitak*.
- Jarnot, C.** (2012). History. R. K. Barnhart, & S. B. Hottman içinde, *Introduction To Unmanned Aircraft Systems* (s. 1-16). Boca Raton: CRC Press.
- Kahveci, M., & Can, N.** (2017). İnsansız Hava Araçları: Tarihçesi, Tanımı, Dünyada ve Türkiye'deki Yasal Durumu. *S.Ü. Müh. Bilim ve Teknik Dergisi*, 511-535.
- Köroğlu, S.** (2006). Farklı Enterpolasyon Yöntemlerinin Hacim Hesabına Etkisinin Araştırılması. *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı*(Yüksek Lisans Tezi).İstanbul
- Kraus, K.** (2007). *Fotogrametri - 1 (7. Baskıdan Çeviri)*. Ankara: Nobel.
- Lin, H., Huang, H., Lv, Y., Du, X., & Yi, W.** (2016). *Micro-Uav Based Remote Sensing Method For Monitoring Landslides In Three Gorges Reservoir*. China.
- Liu, C., & Shi, B.** (2013). Automatic buildings extraction from lidar data in urban area by neural oscillator network of visual cortex. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*.
- Malet, J. P., Hartig, S., Calais, E., & Maquaire, O.** (2000). Apport du GPS au suivi en continu des mouvements de terrain. Application au glissement-coulée de Super-Sauze (Alpes-de-Haute-Provence, France). *Earth and Planetary Sciences*(331), s. 175-182.
- Miyatsuka, Y.** (1996). Archeological real-time photogrammetric system using digital still camera. *Lbid* 30(5W1), 374-377.
- Mokhtar, M., Matori, A., & Yusof, K.** (2014). Assessing UAV Landslide Mapping Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Landslide Mapping Activity. *Applied Mechanics and Materials*.
- Naumann, M., Bill, R., & Niemeyer, F.** (2014). Deformation Analysis Of Dikes Using Unmanned Aerial Systems (Uas) .

- Newcome, L. R.** (2004). Unmanned Aviation: A Brief History of Unmanned Aerial Vehicles. Virginia: *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, Inc.
- Niethammer, U., James, M., Rothmund, S., Travelletti, J., & Joswig, M.** (2012). UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results. *Engineering Geology*.
- Niethammer, U., Rothmund, S., & Joswig, M.** (2008). UAV-based remote sensing of the slow-moving landslide Super-Sauze. *Proceedings of the International Conference on Landslide Processes: from geomorphologic mapping to dynamic modelling, Strasbourg, CERG Editions*.
- Niethammer, U., Rothmund, S., Schwaderer, U., Zeman, J., & Joswig, M.** (2011). Open source image-processing tools for low-cost UAV-based landslide investigations. *ISPRS – Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci.*, XXXVIII-1/C22, 57-62.
- Öztürk, K.** (2002). Heyelanlar ve Türkiye'ye Etkileri. *G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(2), 35-50. Ankara
- Peppas, M., Mills, J., & Moore, P.** (2017). Brief communication: Landslide motion from cross correlation of UAV-derived morphological attributes. *Natural Hazards and Earth System Sciences*.
- Peterman, V.** (2015). Landslide activity monitoring with the help of unmanned aerial vehicle. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*.
- Pix4D, S.** (2018). Accuracy of Pix4D outputs. Accuracy of Pix4D outputs: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202558889-Accuracy-of-Pix4D-outputs> (Son Erişim: 26.11.2018)
- Rau, J., Jhan, J., & Lob, C.** (2011). LinbLandslide mapping using imagery acquired by a fixed-wing UAV. *ISPRS – Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci.*, XXXVIII-1/C22, 195-200.
- Sandwell, D. T.** (1987). Biharmonic spline interpolation of GEOS-3 and SEASAT altimeter data. *Geophysical Research Letters* 14, 139-142.
- Savunma Sanayii Müsteşarlığı.** (2011). Türkiye İnsansız Hava Aracı Sistemleri Yol Haritası (2011-2030). *Uzay ve İnsansız Sistemler Daire Başkanlığı, İnsansız Hava Aracı Sistem Projeleri Grup Müdürlüğü*. Ankara: SSM.
- Shaw, I. G.** (2014). History of U.S. Drones. Understanding Empire: Technology, Power, Politics: <https://understandingempire.wordpress.com/2-0-a-brief-history-of-u-s-drones/> (Son Erişim: 29.07.2018)
- SHGM.** (2018). İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Tescil, Operasyon, Seyrüsefer, Bakım ve Uçuşa Elverişlilik Usul ve Esaslarına İlişkin Talimat. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü: <http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/mevzuat/sektorel/taslaklar/SHT-IHA.pdf> (Son Erişim: 08.05.2018)

- Shi, J., Jinling, W., & Yaming, X.** (2011). Object-based change detection using georeferenced UAV images. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci* 38, 177-182.
- Shi, J., Wang, J., & Xu, Y.** (2012). Object-Based Change Detection Using Georeferenced Uav Images. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*.
- TDK.** (2018). Büyük Türkçe Sözlük Türk Dil Kurumu: http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_bts&view=bts&kategori1=veritbn&kelimesec=3829 (Son Erişim: 29.07.2018)
- Terkan, A.** (2015). Terörizmle Mücadele Kapsamında İnsansız Hava Araçlarının Rolü: Federal Yönetimli Aşiret Bölgesi Örneği. *T.C. Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü Güvenlik Bilimleri Ana Bilim Dalı*(Yüksek Lisans Tezi). Ankara
- Turner, D., Lucieer, A., & de jong, S.** (2015). Time series analysis of landslide dynamics using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Remote Sensing*.
- Uyar, T.** (2010). ANKA Başarısı ve İnsansız Hava Araçları. Tevfik Uyar Kişisel Sitesi: <http://www.tevfikuyar.com/2010/blog/mesleki-yazilar/anka-basarisi-ve-insansiz-hava-araclari.html> (Son Erişim: 29.07.2018)
- Yalçınkaya, M., & Bayrak, T.** (2005). Comparison of Static, Kinematic and Dynamic Geodetic Deformation Models for Kutlugun Landslide in Northeastern Turkey. *Natural Hazards* 34, 91-110.
- Yanalak, M.** (1997). Sayısal Arazi Modellerinden Hacim Hesaplarında En Uygun Enterpolasyon Yönteminin Araştırılması. *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı*(Doktora Tezi).İstanbul

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Burak Can KARA
Doğum Yeri ve Tarihi	Tokat, 12.08.1990
Medeni Hali	Evli
Yabancı Dil	İngilizce(Okul) Almanca(Okul)
İletişim Adresi	Cumhuriyet Teknokent No: 5/117
E-posta Adresi	burakcankara@gmail.com
Web	http://burakcankara.com http://bcankara.com

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Tokat Anadolu Lisesi, 2004-2008
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2011-2015
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2016-2018

İş Tecrübesi

	Istanbul Otopark Master Plan
Himtek Mühendislik (http://www.himtek.com.tr)	Ibb, Ispark, Himtek Ağustos 2013- Eylül 2013 (Stajyer)
Cumhuriyet Üniversitesi (http://www.cumhuriyet.edu.tr)	TUBİTAK 111Y111 Nolu Proje Kapsamında "MATLAB ile Jeodezik Ağların Dengelenmesi" (Stajyer)
Sivas Enlem Harita (http://www.enlemharita.com)	Mühendis Ocak 2017-Nisan 2017
Geomine Ar-Ge Mühendislik Yazılım Ltd. Şti. (http://www.geomine.com.tr)	Proje Yöneticisi, Mühendis Nisan 2017-

Projeler

KOSGEB	02.03.2017 tarih ve 2017-587-2/1 nolu “İnsansız Hava Aracı (İHA) İle Açık Maden İşletmelerinde Yüksek Çözünürlüklü Sayısal Arazi Modelleri, Hâlihazır Haritalarının Yapımı Ve Alansal Deformasyonların İzlenmesi İçin "Minegeop" Yazılımının Geliştirilmesi”
Cumhuriyet Üniversitesi Döner Sermaye İşletmesi	“Fimar, Emmioğlu ve Alternatif Mermer A.Ş.’ye Ait Amasya Mermer Ocağı Döküm Sahası Şevlerinde Deformasyonların Jeodezik Yöntemle İzlenmesi ve Değerlendirilmesi”
