

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE ELDE EDİLEN GÖRÜNTÜLERİN
OTOMATİK FOTOGRAMETRİK YÖNTEMLERLE DEĞERLENDİRİLMESİ
VE DOĞRULUK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Deniz Bilge KILINÇOĞLU

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

EKİM 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE ELDE EDİLEN GÖRÜNTÜLERİN
OTOMATİK FOTOGRAMETRİK YÖNTEMLERLE DEĞERLENDİRİLMESİ
VE DOĞRULUK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Deniz Bilge KILINÇOĞLU
(501121607)**

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Elif SERTEL

EKİM 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501121607 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Deniz Bilge Kılınçoğlu, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “FARKLI İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE ELDE EDİLEN GÖRÜNTÜLERİN OTOMATİK FOTOGRAMETRİK YÖNTEMLETLE DEĞERLENDİRİLMESİ VE DOĞRULUK ANALİZİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Elif SERTEL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Şinasi KAYA**

Yrd. Doç. Dr. Beyza Ustaoglu

Teslim Tarihi : 19 Eylül 2016
Savunma Tarihi : 07 Ekim 2016





Aileme ve arkadaşlarıma,



ÖNSÖZ

“Farklı insansız hava araçları ile elde edilen görüntülerin otomatik fotogrametrik yöntemlerle değerlendirilmesi ve doğruluk analizi” konulu çalışmamda, öncelikle tez danışmanlığımı üstlenerek tezimin her aşamasında bana bilgi ve deneyimlerininle yol gösteren sayın hocam Prof. Dr. Elif SERTEL’e çok teşekkür ederim.

Tezimle ilgili olarak yapılan uygulama çalışmalarına her türlü desteği sağlayan Altoy Savunma Sanayi ve Havacılık A.Ş. yönetim kurulu başkanı sayın D.Halit YILMAZ ve çalışanlarına sonsuz şükranlarımı sunmak isterim.

Uygulamadaki kısımda bana yardımcı olan sayın Mustafa AKSOY’ a çok teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışmam süresince yardımlarını ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli arkadaşlarım Cihan DEMİR, Yasemin KILIÇ, Semih Sami AKAY ve diğer arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, beni bugünlere getiren ve maddi/manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ekim 2016

Deniz Bilge KILINÇOĞLU
(Geomatik Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam	3
1.2 Literatür Araştırması	5
2. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE FOTOGRAMETRİ	9
2.1 Fotogrametri Tanımı ve Tarihçesi	9
2.1.1 Hava fotogrametrisi	11
2.1.2 Dijital (sayısal) fotogrametri	11
2.1.3 Fotogrametrinin matematiksel modeli	12
2.2 İnsansız Hava Araçları (İHA)	15
2.2.1 İHA tanımı ve tarihçesi	15
2.2.2 İHA sistemlerinin sınıflandırılması	16
2.2.3 İHA sistem bileşenleri	17
3. VERİ VE YÖNTEM	19
3.1 Veriler	19
3.1.1 İHA ile alınan görüntüler ve özellikleri	19
3.1.2 GPS verileri ve özellikleri	21
3.2 Yöntem ve Çalışma Aşamaları	22
3.2.1 Fotogrametride otomatik değerlendirme yöntemi	22
3.2.1.1 Sayısal yüzey modeli oluşturma yöntemleri	25
3.2.2 Doğruluk analizi	28
3.2.3 Çalışma aşamaları	29
4. UYGULAMA	31
4.1 Çalışma Alanı	31
4.2 Uçuş Planlaması ve Görüntü Alımı	32
4.3 Yer Kontrol Noktalarının Belirlenmesi ve Ölçümü	35
4.4 Görüntülerin İşlenmesi	37
4.5 Verilerin Değerlendirilmesi	43
4.5.1 Hacim ve alan hesaplaması	44
4.5.1.1 EnsoMosaic&EspaCity örnek stok alanı hacim hesabı	46
4.5.1.2 Pix4d örnek stok alanı hacim hesabı	49
4.5.1.3 Şekerpancarı silo stok alanın hacim hesabı	53
4.5.1.4 Yer kontrol noktasız silo hacim hesabı	54
4.5.1.5 Yer kontrol noktalı silo hacim hesabı	56

5. DOĞRULUK ANALİZİ	65
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR.....	81
EKLER	87
ÖZGEÇMİŞ.....	101



KISALTMALAR

ASPRS	: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing
DTM	: Digital Terrain Model
DSM	: Digital Surface Model
IMU	: Inertial Measurement Unit
İHA	: İnsansız Hava Aracı
İHAS	: İnsansız Hava Aracı Sistemleri
GPS	: Global Positioning System
GCS	: Ground Control Station
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GSD	: Ground Sample Distance
KOH	: Karesel Ortalama Hata
LIDAR	: Light Detection and Ranging
RMS	: Root Mean Square Error
RTK	: Real Time Kinematic
SYM	: Sayısal Yüzey Modeli
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
YKN	: Yer Kontrol Noktası
YÖA	: Yer Örnekleme Aralığı



SEMBOLLER

c	: Odak uzaklığı
H_i	: Hücrenin yüksekliği
k	: Ölçek faktörü
L_i	: Hücrenin uzunluğu
m	: Lagrange sabiti
m_h	: Karesel ortalama hata
n	: Ölçme sayısı
p, P	: Resim, cisim vektörleri
V_i	: Hücrenin hacmi
W_i	: Hücrenin genişliği
ZT_i	: Hücrenin merkezindeki arazi yüksekliği
ZB_i	: Hücrenin merkezindeki temel yüksekliği
ε_h	: Mutlak hata
σ_k²	: Kriging varyansı
λ_i	: Atanan ağırlıklar
Δf	: Sapma değeri
x0, y0	: Ana nokta koordinatları
ω, φ, χ	: Dönüklük değerleri



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : PUMA-İHA' nın özellikleri.	20
Çizelge 3.2 : DJI Phantom Advanced-İHA' nın özellikleri.....	21
Çizelge 3.3 : Magellan Promark 500 GNSS özellikleri.....	22
Çizelge 3.4 : ASPRS göre ölçek ve konumsal doğruluk.	29
Çizelge 4.1 : Uçuş özellikleri ve görüntü alım bilgileri.....	32
Çizelge 4.2 : Yer kontrol noktalarının koordinat bilgileri.	36
Çizelge 4.3 : Farklı parametrelere göre hacim kıyaslaması.....	52
Çizelge 4.4 : Pix4d ile hesaplanan YKN' siz silo yığını hacim sonuçları.	55
Çizelge 4.5 : Global Mapper ile hesaplanan YKN' siz silo yığını hacim sonuçları..	56
Çizelge 4.6 : YKN 'ların karesel ortalama hataları.	57
Çizelge 4.7 : Pix4d ile hesaplanan YKN' lı silo yığını alan ve hacim sonuçları.....	60
Çizelge 4.8 : Taban yüzeye göre YKN' lı silo yığını alan ve hacim sonuçları.	60
Çizelge 4.9 : Delaunay yöntemi ile oluşturulan silo yığını hacim sonuçları.	62
Çizelge 4.10 : Kriging yöntemi ile oluşturulan silo yığını hacim sonuçları.....	64
Çizelge 5.1 : Pix4d ile hesaplanan YKN' lı ve YKN'siz silo hacmi mutlak ve bağıl hataları.	70
Çizelge 5.2 : Artimetik ortalamaya göre yöntem bazında mutlak ve bağıl hata.....	72
Çizelge 5.3 : Silonun kabul edilen gerçek hacim değerine göre üretim ve satış değer sonuçları.....	73
Çizelge 5.4 : Silonun PUMA verisi ile farklı yöntemlerle hesaplanan hacim değerlerinin üretim ve satış değer sonuçları.	74
Çizelge 5.5 : Silonun PUMA verisi ile farklı yöntemlerle hesaplanan hacim değerlerinin üretim ve satış değer sonuçları.	74
Çizelge A.1 : Yer kontrol noktalarının koordinat bilgileri (ED50).	87



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Fotogrametrinin tarihsel gelişimi.	10
Şekil 2.2 : Analog resim ve sayısal resim.	12
Şekil 2.3 : Fotogrametrinin matematiksel modeli.	13
Şekil 2.4 : Yersel fotogrametrik izdüşüm modeli.	13
Şekil 2.5 : İHA sınıflandırma tablosu.	17
Şekil 2.6 : Genel insansız sistem mimarisi.	17
Şekil 3.1 : PUMA-İHA' nın görüntüsü.	19
Şekil 3.2 : PUMA-24MP kamera özellikleri.	20
Şekil 3.3 : DJI Phantom Advanced-İHA' nın görünümü.	21
Şekil 3.4 : DJI Phantom Advanced, 12 MP kamera özellikleri.	21
Şekil 3.5 : Korelasyon algoritmasında referans ve aranan matris.	23
Şekil 3.6 : Yoğun görüntü eşleme.	24
Şekil 3.7 : Hava triyagülasyonu.	24
Şekil 3.8 : Işın demetleri ile blok dengelemesi.	25
Şekil 3.9 : Voronoi diagramı ve Delaunay üçgenlemesi.	27
Şekil 3.10 : Çalışma aşamaları.	30
Şekil 4.1 : Boğazlıyan Şeker ve Mamulleri Entegre Tesisi Google Earth Görüntüsü.	31
Şekil 4.2 : Uçuşların harita görüntüsü.	33
Şekil 4.3 : Sabit Kanatlı İHA – 24 MP-100 m.	33
Şekil 4.4 : Multikopter İHA – 12 MP-80 m.	34
Şekil 4.5 : Multikopter İHA – 12 MP-80 m.	34
Şekil 4.6 : Multikopter İHA – 12 MP-300 m.	35
Şekil 4.7 : Olması gereken yer kontrol noktası işaretleri.	35
Şekil 4.8 : Proje için alınan yer kontrol noktaları.	36
Şekil 4.9 : Yer kontrol noktalarının dağılımı.	37
Şekil 4.10 : Pix4d programında görüntü ekleme.	38
Şekil 4.11 : Pix4d programında görüntülerin konum bilgilerini ekleme.	39
Şekil 4.12 : Pix4d programında kameranın özelliklerini ekleme.	40
Şekil 4.13 : Pix4d programında başlangıç işlem opsiyonları.	40
Şekil 4.14 : Pix4d programında nokta bulutu ve birleştirme opsiyonları.	41
Şekil 4.15 : Pix4d programında SYM ve ortomozaik işleme opsiyonları.	42
Şekil 4.16 : Pix4d programında süreç takibi.	42
Şekil 4.17 : Pix4d programı yer kontrol noktası işaretleme işlemi.	43
Şekil 4.18 : Pix4d programı sonuç rapor görüntüleri.	43
Şekil 4.19 : Pix4d programında hacim hesaplaması.	44
Şekil 4.20 : YÖA parametreleri ve sonuçları.	45
Şekil 4.21 : EnsoMosaic&EspaSystem işlem adımları.	46
Şekil 4.22 : EnsoMosaic hava nirengi işlenmi.	47
Şekil 4.23 : EspaCity ortomozaik ve sayısal yüzey modeli.	47
Şekil 4.24 : EspaCity sayısal yüzey ve sayısal yükseklik modeli.	48
Şekil 4.25 : EspaEngine sayısal yüzey modeli.	48
Şekil 4.26 : EspaEngine alan ve hacim sonucu.	49
Şekil 4.27 : Pix4d programında hakekasa görüntülerin ve bilgilerin eklenmesi.	49
Şekil 4.28 : Pix4d programında üretilen hakekasa alanı bağlayıcı noktalar.	50
Şekil 4.29 : Pix4d programında üretilen hakekasa alanın 3B görünümü.	50

Şekil 4.30 : Pix4d programında hacim hesabı.	51
Şekil 4.31 : Pix4d programında üretilen hakekasa alanı bağlayıcı noktalar.	51
Şekil 4.32 : Pix4d programında üretilen hakekasa alanı bağlayıcı noktalar.	52
Şekil 4.33 : Farklı parametrelerdeki silo yığını nokta bulutu.	53
Şekil 4.34 : Silo yığını için farklı yer örnekleme aralıkları.	54
Şekil 4.35 : Pix4d ile YKN' sız hesaplanan silo sonuç raporları.	54
Şekil 4.36 : Silo yığını için YKNsız oluşturulan SYMler	55
Şekil 4.37 : Silo yığının farklı ortomozaik görüntülerle sayısallaştırması.	56
Şekil 4.38 : Örnek yer kontrol noktaları.	57
Şekil 4.39 : Silo sayısal yüzey model profilleri (SYM).	58
Şekil 4.40 : Farklı parametrelerden oluşturulan eş yükselti eğri haritaları.	58
Şekil 4.41 : Silo sayısal yüzey model profilleri (SYM).	59
Şekil 4.42 : Pix4d ile hesaplanan silo sonuç raporları.	59
Şekil 4.43 : Sayısal yüzey modeli ve sayısal arazi modeli.	60
Şekil 4.44 : Analiz edilen en kesit ve boy kesit.	61
Şekil 4.45 : Delaunay üçgenleme yöntemi ile üretilen SYM en kesitleri.	61
Şekil 4.46 : Delaunay üçgenleme yöntemi ile üretilen SYM boy kesitleri.	62
Şekil 4.47 : Kriging yöntemi ile SYM oluşturma.	63
Şekil 4.48 : Kriging enterpolasyon yöntemi ile oluşturulan SYM' ler.	63
Şekil 4.49 : Farklı parametrelerden oluşturulan ortomozaik haritalar.	64
Şekil 4.50 : Puma-100m farklı yöntemle oluşan SYM' leri kıyaslaması.	66
Şekil 4.51 : DJI-80m farklı yöntemle oluşan SYM' leri kıyaslaması.	66
Şekil 4.52 : DJI-300m farklı yöntemle oluşan SYM'leri kıyaslaması.	67
Şekil 4.53 : Delaunay yöntemi ile oluşturulan referans veri&DJI 80m yükseklik farkı grafiği.	68
Şekil 4.54 : Delaunay yöntemi ile oluşturulan referans veri&DJI 300m yükseklik farkı grafiği.	68
Şekil 4.55 : Delaunay yöntemi ile oluşturulan SYM yükseklik farklarının (DJI80m & DJI300m) boy kesiti.	69
Şekil 4.56 : Kriging yöntemi ile oluşturulan referans veri&DJI 80m yükseklik farkı grafiği.	69
Şekil 4.57 : Kriging yöntemi ile oluşturulan referans veri&DJI 300m yükseklik farkı grafiği.	70
Şekil 4.58 : Delaunay yöntemi ile oluşturulan referans veri&DJI 80m Yükseklik Farkı Grafiği.	71
Şekil 4.59 : Aritmetik ortalamaya göre yöntem bazında hacim farkları	72
Şekil A.1 : Kriging yöntemi ile üretilen SYM(Puma-100m) düşey doğruluk analizi.	88
Şekil A.2 : Kriging yöntemi ile üretilen SYM(DJI-80m) düşey doğruluk analizi. ...	89
Şekil A.3 : Kriging yöntemi ile üretilen SYM(DJI-300m) düşey doğruluk analizi. .	90
Şekil A.4 : Delaunay üçgenleme yöntemi ile SYM(DJI-80m) düşey doğruluk analizi.	91
Şekil A.5 : Delaunay üçgenleme yöntemi ile SYM(DJI-80m) düşey doğruluk analizi devamı.	92
Şekil A.6 : Delaunay üçgenleme yöntemi ile SYM(DJI-300m) düşey doğruluk analizi.	93
Şekil A.7 : Delaunay üçgenleme yöntemi ile SYM(DJI-300m) düşey doğruluk doğruluk analizi devamı.	94
Şekil A.8 : Kriging enterpolasyon yöntemi ile SYM(DJI-80m) düşey doğruluk analizi.	95

Şekil A.9 : Kriging enterpolasyon yöntemi ile SYM(DJI-80m) düşey doğruluk analizi.....	96
Şekil A.10 : Kriging enterpolasyon yöntemi ile SYM(DJI-300m) düşey doğruluk analizi.....	97
Şekil A.11 : Kriging enterpolasyon yöntemi ile SYM(DJI-300m) düşey doğruluk analizi.....	98
Şekil A.12 : Delaunay yöntemi(TIN) ile üretilen SYM'lerin referansa(Puma-100m) göre KOH bilgileri gösterimi.	99
Şekil A.13 : Kriging yöntemi ile üretilen SYM'lerin referansa(Puma-100m) göre KOH bilgileri gösterimi.....	100





FARKLI İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE ELDE EDİLEN GÖRÜNTÜLERİN OTOMATİK FOTOGRAMETRİK YÖNTEMLERLE DEĞERLENDİRİLMESİ VE DOĞRULUK ANALİZİ

ÖZET

İnsansız Hava Araçları (İHA) kendi güç sistemi ile faydalı yük taşıyan, otomatik ya da uzaktan kumanda sistemi ile uçurulan pilotsuz hava araçlarıdır. İHA'ların ilk örnekleri I. Dünya savaşı ile ortaya çıksa da, dünya genelinde 1990'lı yılların sonuna doğru İHA teknolojisi büyük bir gelişim göstermiştir. Askeri alanlarda kullanılmak üzere geliştirilen İHA'lar, son yıllarda sivil kullanımda da yoğun ilgi görmektedir. Hızla gelişen bu sistem birçok İHA çeşitinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. İHA'lar havada kalış sürelerine, ağırlıklarına, irtifa yüksekliklerine ve kullanım alanlarına göre farklı sınıflara ayrılmıştır. Bu çalışma için genelleme yapılacak olunursa, mini İHA'ları kanat tiplerine göre iki temel sınıfa ayırabiliriz. Bunlardan ilki sabit kanatlı, ikincisi ise multikopter olan İHA'lardır. Sabit kanatlı İHA'lar uzun süreli uçuş yeteneği olan, faydalı yük kapasitesi fazla, dayanıklı ve geniş alanlar için uygun sistemlerdir. Multikopterler ise, manevra yeteneği yüksek, uçuş hakimiyeti sağlanabilen, güvenli iniş ve kalkış yeteneği ile küçük alanlarda kullanıma elverişli sistemlerdir. Farklı kabiliyetlere sahip bu İHA'lar günümüzde güvenlik, keşif, arama kurtarma alanların yanı sıra tarım, orman, enerji, maden, inşaat, arkeoloji, mimari vb. gibi mühendislik alanlarında da yaygın olarak kullanılmaktadır.

Klasik ölçme tekniğinde Global Positioning System (GPS) teknolojisinin gelişimi, bütün ölçme yöntemlerinde olduğu gibi fotogrametri için de ölçümlerin daha hassas ve hızlı bir şekilde yapılmasını sağlamıştır. Yakın tarihte oluşumunu tamamlayan dijital (sayısal) fotogrametri hava fotogrametrisi ile entegre edilmiştir. Ancak hava fotogrametrisi geniş alanlarda büyük avantaj sağlarken; uçak, helikopter gibi taşıyıcı platformların pahalı sistemler olması ve ölçüm tekrarının zor olması gibi dezavantajları da beraberinde getirmiştir. Bu yüzden çok sık kullanılamayan hava fotogrametrisi yerine, ölçümlerde klasik yöntemler tercih edilmeye devam etmiştir. Gelişen teknoloji ile yeni bir taşıyıcı platform olan İHA sistemleri, birçok mühendislik çalışmasının temelini hazırlayan haritacılık sektörü için önemli bir yere sahip olmuştur. Özellikle fotogrametri bilimi için İHA'ların kullanımı devrim niteliğinde görülmektedir.

Günümüzde ise İHA sistemleri ile yapılan fotogrametrik ölçümlerle birçok alan için ideal çözüm üretilmiştir. İHA ile yapılan fotogrametri çalışmalarının tercih edilmesinin temel sebepleri olarak bu yöntemin düşük maliyetli, hızlı, yüksek hassasiyette ve tekrarlı ölçme yeteneğine sahip olduğu söylenebilir. Bu nedenle gelecekte öngörülen hava fotogrametrisinin İHA'lar ile yapılacağıdır.

Bu çalışmada, İHA ile fotogrametri çalışması esas alınarak, farklı özelliklere sahip sabit kanatlı ve multikopter mini İHA sistemlerinin aynı uygulama alanı için kullanılabilirliğinin tespiti hedeflenmiştir. Bu sistemlerle elde edilen veriler fotogrametride sağlanan otomatik yöntemlerle değerlendirilmiş ve doğruluklarının araştırılması yapılmıştır.

Bu amaç doğrultusunda, Altoy Savunma Sanayi ve Havacılık A.Ş.'nin Kayseri Şeker Fabrikası A.Ş. ile 2015 yılında yürütmüş oldukları "Boğazlıyan Bölgesindeki Pancar Arazilerinde Hasat Optimizasyonu ve Silo Yönetimi Pilot Projesi"nin bir bölümü olan

“Silo Yönetimi” kısmından yararlanılmıştır. Boğazlıyan fabrika sınırları içinde işleme için bekleyen pancarların hacimsel değişiminin kaydedilmesi için günlük olarak Sabit Kanatlı İHA ve Multikopter ile sağlanan sadece 13 Ekim 2015 ve 10 Ekim 2015 tarihindeki veri setleri kullanılmıştır. Elde edilen görüntüler fotogrametrik yazılım desteği ile işlenmiş ve otomatik yöntemlerle değerlendirilmiştir. Literatür araştırmalarının ön gördüğü doğruluklar sayesinde iki farklı İHA’nın kıyaslanması yapılmıştır.

Öncelikle sabit kanatlı İHA ve multikopter İHA’nın avantaj ve dezavantajları gözlemlenmiştir. Projede kullanılan sabit kanatlı Puma AV İHA’nın en dikkat çeken özelliği malzemesinin farkından dolayı zor koşullara dayanıklı oluşudur. Üzerinde bulundurduğu ikincil GPS ve IMU’un hassasiyeti oldukça yüksektir. 3.5 saatlik bataryası ile İHA’larda en büyük sıkıntıya sebep olan zaman sorunu bu İHA’da bulunmamaktadır. Geniş alanlarda uçuş yapabilen, kolaylıkla veri toplamayı sağlayan PUMA İHA’sı ile büyük projelerde verimli sonuç alınmaktadır.

Multikopter olan DJI phantom advanced İHA ile daha çok küçük alanlarda çalışma yapılmasının uygun olduğu görülmüştür. Basit tasarımlı bir İHA olduğu için özellikle kötü hava koşullarından kolaylıkla etkilenmesi en büyük dezavantajıdır. Ancak multikopter olması nadir dışında farklı açılardan da görüntü alınabilmesine imkan sağlamaktadır. Sayısal yükseklik modeli gibi 3 boyutlu modelleme üretim çalışmalarında multikopterin avantajı fazladır.

Yapılan çalışmada sabit kanatlı olarak Puma- AV insansız hava aracı ve DJI phantom advanced multikopter insansız hava aracı kullanılmıştır. PUMA’nın sahip olduğu 24 megapikselli kamera ile 100 m’den görüntü alımı yapılırken, 12 MP’e sahip DJI 80 m ve 300 m den aynı bölgeye ait görüntüler toplamıştır. Ayrıca hacim hesabında kullanılacak taban yüzeyi oluşturmak için 10 Ekim 2015 tarihinde DJI ile 80 m’ den alınan görüntüler alınmıştır. Buna göre hem farklı İHA’lar değerlendirilmiş, hem de verilerin hassasiyetinin bağlı olduğu faktörler analiz edilmiştir.

Bu İHA’ lar ile elde edilen görüntüler fotogrametrinin temelleri doğrultusunda otomatik olarak değerlendirilmiştir. Fotogrametrik yazılımlar arasında İHA’lar için en avantajlı programın Pix4d’ dir. Literatürdeki bir çok çalışma bu yazılım ile gerçekleştirilmiş ve programın doğruluğu kanıtlanmıştır.

İki farklı İHA tipi ile elde edilen görüntüler aynı işlem adımları ile değerlendirilmiştir. Öncelikle yer kontrol noktalı ve yer kontrol noktasız olmak üzere aynı işlem adımları uygulanmıştır. Yeterli parametre bulunduğu için yer kontrol noktasız olarak yapılan projelerde de sayısal yüzey modeli ve ortomozaik harita üretilmiştir. Kabaca hesaplanan konumsal doğruluk DJI için +/- 3m, Puma için +/-1.5m olarak bulunmuştur.

Ardından yer kontrol noktalarının sonuç ürünlere etkisi de araştırılmıştır. Çalışma esnasında proje için alınan yer kontrol noktaları hassas GPS ile ölçülmesine rağmen tercih edilen noktaların(elektrik direği, kaldırım köşesi vb.) sağlıklı noktalar olmadığı görülmüş ancak uygulanabildiği kadar noktalar işaretlenmiştir. Sonuç olarak hesaplanan yer kontrol noktalarının karesel ortalama hataları; 1,81 cm YÖA’na sahip PUMA(100 m irtifa) İHA’nın 0,079 m, 3,27 cm YÖA’na sahip DJI (80 m irtifa) İHA’nın 0,096 m ve 12,95 cm YÖA’na sahip DJI (300 m irtifa) İHA’nın 0,503 m olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar göz önünde bulundurularak hacim değerlendirilmesi yapılmıştır. Güvenilir ve ölçülebilir noktalar tercih edilmesi halinde bir pikselin yarısı ya da bir piksel değerinde kabul edilir hata alınabilecektir.

Silo yığını hacim hesabında izlenecek işlem adımlarının test edilebilmesi için örnek uygulama temin edilmiştir. EnsoMosaic&EspaCity yazılımları ile örnek yığın alanı hacim değeri mevcut olup, Pix4d yazılımı ile indirilmiş veriler işlenmiştir. Taban yüzey kullanımı ile yapılan hacim ölçümünde bağıl hatası %2.60 olarak bulunmuştur. Otomatik olarak üçgenleme yöntemi oluşturulan taban yüzey ile hesaplanan hacimde ise yaklaşık %13' lük bir bağıl hata olmuştur.

Bu değerlendirmeye göre yer kontrol noktaları kullanılan projelerde hacim hesabı için, öncelikle 10 Ekim 2015 tarihli veri setinden taban yüzey üretilmiştir. Ardından otomatik üretilen nokta bulutlarından farklı yöntemler ile Sayısal Yüzey Modelleri (SYM) üretimi hedeflenmiştir. Bu bağlamda Delaunay üçgenleme ve Kriging enterpolasyon yöntemleri tercih edilmiştir. Üretilen SYM' ler düşey doğruluk analizi ile test edilmiştir.

Bu iki yöntem arasında düşey doğruluk analizi için, biri referans olmak üzere 100 adet nokta ile KOH' lar hesaplanmış ve DJI-300m verisinde 0,045 m' lik en yüksek standart sapma değerine ulaşılmıştır. Delaunay üçgenleme yöntemi ile üretilen SYM'lerin PUMA verisi referans alınarak DJI 80m ve DJI 300m silo yığınlarının KOH' ları sırası ile 0.1828 m ve 0.2366 m bulunmuştur. Kriging enterpolasyon yöntemi ile üretilen SYM'lerin PUMA verisi referans alınarak DJI 80m ve DJI 300m silo yığınlarının KOH' ları sırası ile 0,1949 m ve 0,2354 m olarak hesaplanmıştır.

İstatistiksel kıyaslamalardan sonra silo yığını Pix4d programında, yer kontrol noktalı ve yer kontrol noktasız olarak işlenen görüntüler sonucu otomatik olarak oluşturulan SYM üzerinden hesaplanmış ve %3 ile en düşük bağıl hata Puma ile üretilen YKN' siz hacim değerinde ulaşılmıştır.

Aritmetik ortalama sonucu silo yığını 1308,781 m³ olarak hesaplanmış ve diğer yöntemler arasında mutlak ve bağıl hataya göre, en iyi hacim sonucu Puma verisi ile elde edilmiştir.

Bu çalışma doğrultusunda, Pix4d programında otomatik olarak oluşturulan SYM ile ölçüm yapılmak isteniyorsa, Puma İHA' sının özellikleri doğrultusundaki veriler ile minimum bağıl hata sağlanabileceği görülmüştür.

Farklı teknik özelliklere ait İHA' lardan elde edilen veriler kullanılarak yapılan hacim hesaplarının sonucu kullanılarak; tarım çalışmaları için en uygun olabilecek yöntem analiz edilmiştir. Ayrıca, hacim hesabı sırasında farklı yöntemler karşılatırmalı olarak incelenmiştir. Mühendislik alanında hassas hacim hesapları için hangi parametrelerin etkili olduğu vurgulanmıştır. Gelişen teknoloji sayesinde İHA' lar ile özellikle küçük alanlarda, yüksek doğrulukta güvenilir bilgilerin sunulabileceğini ve haritacılık sektöründe yeni bir dönem başlayacağını söylemek mümkündür.



EXAMINATION OF IMAGES OBTAINED FROM DIFFERENT UNMANNED AIR VEHICLES VIA AUTOMATIC PHOTOGRAMMETRIC METHODS AND ACCURACY ANALYSIS

SUMMARY

Unmanned Aerial Vehicles (UAV) are the vehicles without pilots that carries payload with its own power system and is flown with automatic or remote control system. Even though the first examples of UAVs were arised with the 1st World War, UAV technology has made a big progress all around the world towards the end of 1990s. The UAVs, that are developed for the military areas mainly, are in great demand in civil use recently. This fast developing system has caused many different UAVs to arise. UAVs were classified according to their flight time, weight, elevation height and application areas. In order to generalize for this study, we can classify mini UAVs to two main sections according to their wing types. First one is with fixed wing UAV and the other one is multirotor UAV. Fixed wing UAVs are capable of flying long time, durable, have high payload capacity and suitable for vast areas. Multirotor UAVs have high maneuver capability and flight control and they are more likely suitable for use in small areas with their landing and take-off capabilities. These UAVs with different capabilities are commonly used in agriculture, forest, energy, mine, construction, archeology, architectural etc. areas as well as security, exploration, search and rescue areas.

UAV systems, that became a new transporter platform with the developing technology, possessed an important place in cartography which prepares the basis of most of the engineering studies. Use of UAVs are seen revolutionary especially for photogrammetry.

In classical measurement methods, the improvement of GPS (Global Positioning System) technology, provided measurements to be done more accurate and faster for photogrammetry just like in all other measurement methods. The integration of digital photogrammetry -which completed its formation recently- with air photogrammetry has provided a big advantage in vast areas. However the expensiveness of carrier platforms such as planes, helicopters and the difficulty of measurement repeat have showed up as the disadvantages of it. Therefore, it is continued to choose classical methods for measurements instead of air photogrammetry which is not frequently used.

Today, ideal solutions were found with photogrammetric measurements done via UAVs for many areas. The main reasons for selection of this method are its low cost, speed, high accuracy and capability of repetitive measurement. Thus, it is predicted that UAV photogrammetry will substitute for air photogrammetry.

In this study, it is aimed to detect the usability of fixed wing UAV systems and multirotor UAV systems, which have different characteristics, for the same application area. The accuracy of the data obtained via these systems were analyzed by evaluating with automatic photogrammetric methods.

In accordance with this purpose, ‘Silo Management’ section of the project ‘‘Harvest Optimization in Beet Terrains in Boğazlıyan Region and Silo Management Pilot Project’’ which was conducted by Altoy Savunma Sanayi ve Havacılık A.Ş. and Kayseri Şeker Fabrikası A.Ş. in 2015 was benefited. For recording the volumetric change of beets that are waiting for processing, the data from 13th October 2015 which

was obtained daily via Fixed Wing UAV and Multirotor UAV was used. The obtained images were processed with photogrammetric software support and examined with automatic photogrammetric methods. Under favour of predicted accuracy by literature research, 2 different UAVs were compared.

First fixed wing UAV and multirotor UAV of advantages and disadvantages have been observed. Used in fixed wing Puma AV UAV most prominent feature of material resistant to difficult conditions due to the difference. Contains the secondary on the GPS and IMU's sensitivity is very high. 3.5-hour battery that causes the biggest trouble in time issue UAV this UAV is not included in. Large areas of flight, enabling data collection with ease PUMA UAV is a result of larger projects with efficiency.

With Multirotor DJI phantom advanced UAV was found to be more appropriate to conduct studies in very small areas. It is a simple design are particularly easily bad weather UAV to be affected is the biggest disadvantage. However, multirotor will also be rare outside makes it from different angles. Digital elevation model, such as 3D modeling work in the production of multirotor advantage.

In the studies done, fixed wing PUMA unmanned aerial vehicle and multicopter DJI phantom advanced unmanned aerial vehicle were used. While images were taken from 100 m with 24 MP camera of PUMA, DJI with 12 MP took images of the same area from 80 m and 300 m. In addition to creating the base surface to be used in volume calculations on October 10, 2015 at DJI with 80 m from the images. According to this, different UAVs were evaluated as well as the factors which the accuracy of data are dependent to were analyzed.

Automatically it evaluated according to the fundamentals of photogrammetry images obtained with these UAVs. Among the most advantageous program for UAV photogrammetric software is Pix4d. Many studies in the literature have been performed with this software and the accuracy of the program has been proven.

The images obtained with the two different type of UAV was evaluated by the same process steps. Firstly, ground control points and without ground control points, including the same processing steps were applied. Because adequate parameters found in the projects carried out as without ground control points, digital surface model and ortomosaic map was produced. Roughly calculated for positional accuracy of ± 3 m for DJI, ± 1.5 m for Puma was found.

Then the effect of ground control points to the final product was also investigated. During operation for the project with precision GPS ground control points received despite the preferred point of measurement (power pole, a sidewalk corner, etc.) has been seen but not healthy spots are marked as points apply. As a result, root mean square error of the calculated ground control points ; 1.81 cm YÖA with PUMA (100 m altitude) UAV's 0.079 m, 3.27 cm have YÖA DJI (80 m altitude) UAV 0.096 of m and have 12.95 cm YÖA DJI (300 m altitude) UAV's were 0.503 m. These results are evaluated considering the volume. Upon the choice of reliable and measurable points half a pixel or a pixel value is considered in error can be imported.

Sample applications are provided silo pile in order to test the process steps to be followed in the volume calculation. EnsoMosaic & EspaCity software pile area to volume with sample is the calculated value exists, the Pix4d software downloaded data has been processed. The relative error in the use of volume measurements made by the base surface was found to be 2.60%. Automatically calculated with the volume of the

base surface using triangulation is created through this method is approximately 13% has been a relative error.

According to this assessment, ground control points used for volume projects account, primarily from the base surface data set October 10, 2015. Then, Digital Surface Models (DSM) with different methods of automatically generated point clouds was aimed at producing. In this context, the Delaunay Triangulation and Kriging interpolation methods are preferred. Produced DSM's vertical accuracy was tested by analysis.

For vertical accuracy between the two methods of analysis, with 100 points, including a reference method KOH 's calculated and DJI-300 m in data is the highest standard deviation value of 0.045 m reached. Delaunay triangulation method of DSMs produced by PUMA reference data DJI 80m and DJI 300m silo pile of KOH 's position with 0.1828 m and 0.2366 m, respectively. Kriging interpolation method with reference to the data of PUMA DSMs produced by DJI80 and DJ 300m silo pile of KOH 's order is calculated by 0.1949 m and 0.2354 m.

After the statistical comparison silo pile Pix4d, ground control point and without ground control point where images are processed as a result of the calculated volume value is automatically generated from the DSM and Puma produced with the lowest relative error of 3% GCP was reached volume.

The result of the arithmetic mean is calculated as the volume of 1308.781 m³ silos pile. According to the absolute and relative error among other methods, the best volume 0.05% as a result of relative error of Kriging and Delaunay methods and data of Puma by calculating. Automatically produced with Pix4d DSM with a 1% relative volume made account in error.

According to this study, if the program is automatically generated Pix4d making measurements required by DSM, Puma UAV SYM constituted features available depend on the minimum relative error can be provided with the data.

Using the results of volume calculations using data from UAVs of different technical specifications, the most suitable method for agricultural studies has been analyzed. In the field of precision engineering volume accounts for what parameters is highlighted to be effective.



1. GİRİŞ

Fotogrametri, fotoğraflar üzerinden mekânsal ölçümlerin ve geometrik olarak güvenilir ürünlerin elde edilebildiği bir bilim dalıdır (Sijmons, t.y.). Gelişen teknoloji sayesinde fotogrametri bilimi farklı dallara ayrılmış ve birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Geçmişten günümüze fotogrametrinin tarihsel sürecinde, plançete fotogrametrisi, analog fotogrametri, analitik fotogrametri ve digital fotogrametri olmak üzere farklı kullanım şekilleri olmuştur. Fotogrametrinin zamanla gelişme göstermesinin en önemli nedeni, pozitif bilim dallarının temel kabul ettiği doğruluk, esneklik ve pratiklik prensiplerini esas kabul etmesidir (Avşar E., 2006). 1990'lı yıllardan sonra gelişen teknoloji ile dijital (sayısal) fotogrametri bilimi, mühendislik alanında vazgeçilmez bir değerlendirme yöntemi olarak yerini almıştır.

Fotogrametri bilimi, kullanılan platformun yüksekliğine göre yersel fotogrametri ve hava fotogrametrisi olmak üzere iki temel sınıfa ayrılmaktadır. İlk uygulamalar yersel fotogrametri alanında olmuştur. Hava fotogrametrisi ise geniş alanların ölçümüne olanak sağlaması avantajı ile tercih edilmektedir. Hava fotogrametrisi, hava fotoğrafları üzerinden yeryüzünün ya da belirli nesnelerin fiziksel boyutlarını koordinatlar ve arazi modeli ile ölçümünü sağlamaktadır. Ancak hava fotoğrafları ile sağlanamayan yüksek doğruluk, kalite kontrol ve tamamlayıcı bilgiler için yersel ölçümler hava fotogrametrisinin vazgeçilmez bir parçası olmaya devam edecektir (Url-3).

Ülkemizde hava fotogrametrisi çalışmaları, 1927 yılında başlamış olup, 1929 yılında ilk kez Bergama-Çandarlı paftası üretilmiştir. 1936 yılında ise hava fotoğrafları çekilerek 140km²'lik bir alanın 1/2000 ölçekli fotoplanları yapılarak İstanbul'un imar planları için gerekli altlık sağlanmıştır. Yerel yönetimlerde ise 1987 yılında, büyük ölçekli haritaların fotogrametri ile üretiminin yapımı başlamıştır (Marangoz, 2002). Ülkemizde hava fotogrametrisi çalışmalarını büyük ölçüde gerçekleştiren kurum Harita Genel Komutanlığı'dır. Harita Genel Komutanlığı yaptığı çalışmalar ile 1939 yılından itibaren yaklaşık 6.400 adet hava fotoğrafı arşivine sahiptir. Türk Silahlı Kuvvetlerinin, kamu kurum ve kuruluşları ile özel sektörün planlama ve analiz

alışmalarında ihtiyaç duyduğu Coğrafi Bilgi Sistemlerine altlık oluşturma amacı ile ortofoto ve Sayısal Yüzey Modeli (SYM) üretimini gerçekleştirmektedir (am ve diğ., 2013).

Son yıllarda ise fotogrametrik uygulamaların ticari alanda kullanımının hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir. Bu artışın temel sebeblerinin; yüksek çözünürlüklü kamera ve bilgisayarlar teknolojilerinin gelişimi, fotogrametrik yazılımların düşük maliyetli ve ulaşılabilir olmasının yanı sıra insansız hava araçlarının üretilmesi ile gerçekleştiği söylenebilir (Matthews, 2008). İnsansız Hava Araçları ilk olarak askeri alanda kullanılmaya başlansa da düşük maliyet ve insansız olarak uçma özelliği ile sivil havacılıkta kullanılmak üzere üreticilere ilham vermiştir. Özellikle İHA' lar zor çalışma bölgeleri için insanlara büyük kolaylıklar sağlayarak sivil kullanıma hızlı bir girişte bulunmuştur (Akan, 2014).

Askeri kullanım alanlarının yanı sıra jeolojik ve meteorolojik araştırmalar, arkeolojik alanların incelenmesi, radyasyon seviyesinin incelenmesi, heyelanların incelenmesi, doğal afet yönetimi, uluslararası sınır devriyesi, orman yangını tespiti, deformasyon analizi, yeryüzünün haritalanması ve üç boyutlu şehir veya arazi modelleme gibi farklı kullanım alanları günümüzde İHA'lar ile yapılabilir. İHA ve İHAS sınıfları azami havada kalış süresi ile uçuş irtifasına bağlı olarak Mini, Taktik, Operatif ve Stratejik olmak üzere 4 ana gruba ayrılmaktadır (Akgl, 2016). Bu alışmada Mini İHA'ların fotogrametrik yönden değerlendirilmesi ele alınacaktır.

Taslı T. (2011) 'de belirttiğine göre İHA sistemi, karmaşık bir yapıda olup birden fazla bileşenin uyumlu ve eřėdml çalışmasını gerektiren, insanlı sistemlerin uurulmasından farklı olarak alt unsurların bir araya gelip senkronize bir şekilde çalışmasıyla sonuç veren bir sistemdir. İHA sistemlerin temel olarak hava aracı, yer kontrol istasyonu ve veri terminali bileşenlerinden oluştuğu söylenebilir (Dikmen, 2015).

İHA'ların hava fotogrametrisi ve digital fotogrametri ile bütünleşmesi sayesinde hava fotoğraflarının alımı kolaylaşmış, hassas ve tekrarlı ölçüm yeteneği kazanılmıştır. Sayısal görüntüler direkt olarak bilgisayarda görüntülenebilir, iyileştirilebilir ve ölçülebilir duruma gelmiştir. lme sistemleri ise sabittir ve kalibrasyona ihtiyaç bulunmaz. (Yıldız, 2010). Bu sayede yüksek çözünürlüklü, düşük distorsiyonlu sayısal

görüntülerin iç ve dış yöneltmeleri, görüntü işleme ve değerlendirmeleri otomatik olarak yapılabilir.

Günümüzde İHA' lar ile elde edilen görüntülerin çoğu fotogrametrik yazılım programları ile işlenebilir. Bindirmeli olarak alınan hava fotoğrafları bu yazılımlardaki görüntü eşleme işlemi ile otomatik olarak birleştirilir. Çalışma amacına göre bağlayıcı noktalar manuel olarak da eklenebilir. Yüksek doğruluk istenildiğinde ise yer kontrol noktaları ile konum hassasiyeti artırılabilir. İHA'ların üzerinde bulunan navigasyon sistemi (GPS /IMU) sayesinde oluşturulan ve konumlandırılan görüntüler için kolaylıkla blok nirengi dengelemesi yapılabilir. Sonuç ürünleri olarak sayısal yükseklik modeli, ortomozaik ve nokta bulutu klasik yöntemlere göre hızlı bir şekilde sağlanabilir.

1.1 Amaç ve Kapsam

Günümüzde, yeni bir taşıyıcı platformu olan insansız hava araçları birbirinden farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda birçok araştırmacı, mühendislik alanı için İHA fotogrametrisini araştırmayı ve geliştirmeyi amaçlamıştır. Bir anlamda mobil haritalama sistemi olan İHA fotogrametrisi, üzerinde farklı sensörleri bulunduran, sürekli olarak platformun 3 boyutlu koordinatlarını sağlayabilen, aynı zamanda mekânsal veri toplayabilen ve isteğe bağlı olarak yer kontrollü GPS verilerini destekleyen bir platformdur (Çoşkun, 2012).

Mini İHA'lar ile fotogrametri; inşaat alanları, sanayi bölgeleri ve tesisleri, tarihi yapılar, arkeolojik çalışmalar, orman amenajman plan altlıkları, maden sahaları ölçümü, doğal afet bölgelerinin acil durum haritaları, kentsel dönüşüm planları gibi birçok alanda harita üretimi ve 3 boyutlu modellemeyi sağlamaktadır (Url-4). Yeni bir teknoloji olmasına rağmen İHA fotogrametresi, diğer ölçüm tekniklerine göre hızlı, hassas, düşük maliyetli ve tekrarlı ölçü elde etme özelliklerinden dolayı üstünlüğünü kanıtlamaya başlamıştır. İHA'lar, çeşitlenmesi ve farklı sensör seçenekleri barındırması ile birçok alanda kendine yer bulmuştur.

Bu çalışmanın temel amacı; farklı özelliklere sahip sabit kanatlı ve multikopter mini İHA sistemlerinin aynı uygulama alanı için otomatik fotogrametrik yöntemlerle değerlendirmek ve doğruluklarının araştırılarak kullanılabilirliğini test edebilmektir.

Bu kapsamda, Altay Savunma Sanayi ve Havacılık A.Ş.'nin Kayseri Şeker Fabrikası A.Ş. ile 2015 yılında yürütmüş oldukları “Boğazlıyan Bölgesindeki Pancar Arazilerinde Hasat Optimizasyonu ve Silo Yönetimi Pilot Projesi” verilerinden yararlanılmıştır. Projenin bir bölümü Silo Yönetimi olarak belirlenmiştir. Boğazlıyan fabrika sınırları içinde işleme için bekleyen pancarların hacimsel değişiminin kaydedilmesi için günlük olarak Sabit Kanatlı İHA ve multikopter ile görüntü alımları gerçekleştirilmiştir. Ek olarak bu bölümde, silo yığınlarının üzerinde uçularak siloya yapılan eklemeler ve silo üzerindeki çökmelerin tespiti hedeflenmiştir. Bu çalışmanın amacı doğrultusunda ise sabit kanatlı ve multikopter İHA'larının karşılaştırılması için sadece 10 Ekim ve 13 Ekim 2015 tarihinde çekilen veriler kullanılmıştır.

Tarih seçimi yapılırken hem farklı uçuş yüksekliklerine sahip görüntülerin olması, hem de iki tip mini İHA' nın kullanılması göz önüne alınmıştır. Elde edilen görüntüler fotogrametrik yazılım desteği ile işlenmiş ve otomatik yöntemlerle değerlendirilmiştir. Literatür araştırmalarının ön gördüğü doğruluklar sayesinde iki farklı İHA'nın kıyaslanması yapılmıştır.

İki farklı İHA tipi ile elde edilen görüntüler öncelikle yer kontrol noktalı ve yer kontrol noktasız olmak üzere aynı işlem adımları ile Pix4d programında değerlendirilmiştir. Yer kontrol noktasız üretilen verilerin kullanabilirliği ve doğruluğu araştırılmıştır. Bu araştırma ile YKN' siz oluşan sonuç ürünlerin gerçek değere yaklaşımı görülmüştür. Burada gerçek veri için varsayımda bulunulmuş, referans veri olarak yer kontrol nokta ile oluşturulan veriler kullanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında araştırılan bir başka konu ise, İHA'lar ile elde edilen görüntülerin fotogrametrinin otomatik yöntemlerle değerlendirme kısmıdır. Bunun için tercih edilen fotogrametrik yazılımda, otomatik olarak yer kontrol noktaları ile üretilen nokta bulutu verilerinden farklı yöntemler ile SYM' ler üretilmiştir. Bu sayede, tamamiyle otomatik üretim sonucu oluşan ürünler ile özel olarak belirlenen yöntemlerle işlenen veri sonuçları kıyaslanabilmektedir. Bu kıyaslama seçilen silo yığının hacminin ölçümü ile yapılmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Literatür araştırması kapsamında insansız hava araçlarının otomatik fotogrametrik yöntemler ile ortofoto ve sayısal yükseklik modellerin üretiminde kullanıldığı farklı çalışmalar incelenmiştir.

Hessami M. ve diğ. (2001), Thiessen çokgenlere dayalı basit eğilim yüzey analizi, ters mesafe ağırlık, multiquadratik yüzey giydirme ve Delaunay üçgenleme enterpolasyon yöntemleri arasında kriging yönteminin daha gelişmiş bir method olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada, kriging yaklaşımı Delaunay diyagramı kullanılarak entegre bir enterpolasyon yöntemini önerilmiştir. Delaunay üçgenlemenin benzersiz bir nirengi (neredeyse eşit açılı) oluşturduğu ve bilgisayarda uygulanmasının kolay olduğunu söylemişlerdir. Buna göre hızlı ve yüksek doğruluklu bir yöntem araştırmasını gerçekleştirmişlerdir.

Gonçalves G. (2006), kentsel alanlar için Lidar verisinden sayısal yüzey model üretiminde enterpolasyon yöntemlerin kullanılmasını ve hatalarını incelemiştir. Enterpolasyon yöntemlerin performansının her biri için farklı olduğunu belirtirken, nokta yoğunluğu azaldıkça, korelasyon katsayısının da azalacağı sonucuna ulaşmıştır. Yoğunluğu az olan Lidar veri örneklerinde en iyi sonucun Kriging ve Radial Temel fonksiyonlar yöntemlerinde olduğunu vurgulamıştır.

Üstüntaş T. (2006), Sayısal Arazi Modelleri'nde (SAM) da kullanılan beş farklı enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılmasını yapmıştır. Ters Mesafe, Kriging, Delaunay Üçgenleme, Radyal Bazlı, Yerel Poligon Fonksiyonları detaylı olarak incelemiştir. Sonuçlar işlem doğruluğu ve zaman açısından değerlendirilmiş. Doğruluk ve zaman açısından değerlendirme yapıldığında Delaunay yönteminin, sadece doğruluk (hata) düşünüldüğünde ise Kriging (Doğrusal) yönteminin uygun olduğunu göstermiştir. Bu çalışma referans alınarak uygulama bölümünde kullanılacak yöntemler tercih edilmiştir.

Strecha C. (2011), insansız hava aracı görüntülerinin tamamen otomatik yöntemler ile hassas haritalama çözümleri sunulabildiğini kanıtlamıştır. Farklı veri setleri ile analiz yaparak doğruluğu en çok etkileyen faktörün çekilen görüntülerin çözünürlüğü (uçuş yüksekliği) ile ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. İHA ile alınan görüntülerin yer kontrol noktalı ve yer kontrol noktasız değerlendirmesi sonucu konum doğrulukları

sırasıyla, 0.05 – 0.2 m ve 2 - 8 m aralığında bulunmuştur. Yapılan çalışma için bu araştırma göz önüne alınarak farklı YÖA' na sahip İHA görüntüleri tercih edilmiştir.

Remondino F. ve diğ. (2011), farklı alanlarda haritalama ve 3 boyutlu modellemede İHA fotogrametrisinin o yıllardaki durumu ve gelecekteki yeri üzerinde durmuştur. Özellikle arkeolojik alanlar ve tarım alanları için uygulamalar yaparak sonuçları değerlendirmişlerdir. Otomatik olarak görüntülerin eşleşmesini ve yükseklik modelinin nokta bulutu üretimini açık kaynaklı programlar olan PMVS (Patch-based multi-view stereo) ve Micmac (Multi Images Correspondances par Méthodes Automatiques de Corrélation) kullanmışlardır. Mic-Mac algoritması ile arkeolojik uygulamalarında X, Y ve Z koordinatlarında ulaştıkları karesel ortalama hataları sırasıyla 4 cm, 3 cm ve 7 cm'dir.

Vallet J. ve diğ. (2011), sayısal arazi modeli ve ortofoto görüntülerin geometrik doğruluğunu klasik hava fotogrametrisi yöntemleri ile yeni nesil otomatik fotogrametrik yöntemlerin kıyaslamasıyla ortaya koymuştur. Referans veri olarak LIDAR (Light Detection and Ranging) verisi kullanılmış olup, Pix4D ve NGATE yazılımlarının farklılıkları incelenmiştir. Yer kontrol noktaları kullanılarak bu yazılımlarda oluşturulan sayısal arazi modelinde, Pix4D yazılımı ile üretilen verinin yaklaşık 10 cm standart sapma görülürken, NGATE yazılımında ise yaklaşık 30 cm' lik bir standart sapma görülmüştür.

Turner D. ve diğ. (2012), İHA' lar ile sağlanan yüksek çözünürlüklü mekânsal verinin otomatik tekniklerle doğruluğunu inceleyerek yer kontrol noktalı ölçümler sonucu 10-15 cm, yer kontrol noktasız ölçümler ile 65-120 cm konumsal doğruluğa ulaşmışlardır. Bu doğruluk araştırmasını, coğrafi olarak yer tanımlama, görüntü mozaikleme, nokta bulut üretimi ve sayısal arazi model üretimi işlemlerinde geleneksel hava fotogrametrisi yöntemleri ve otomatik fotogrametrik yöntemlerinin kıyaslamasıyla üretmişlerdir.

Chiang K. ve diğ. (2012), yaptıkları çalışmada afet olaylarında ve acil müdahale gibi yardım uygulamalarında hızlı, kolay ve düşük maliyetli mekânsal veri elde etmenin İHA' lar ile sağlanabileceğini göstermişlerdir. Bu çalışmada geliştirdikleri sabit kanatlı İHA, yer kontrol noktası olmaksızın, sadece İHA sisteminde mevcut olan INS (Inertial Navigation System) ve GPS (Global Positioning System) sistemlerinden sağlanan koordinatların direkt olarak coğrafi yer tanımlamasında kullanılabilirliği ve

doğruluğu araştırılmıştır. 300 m yükseklikten İHA ile alınan görüntüler analiz edildiğinde yatayda 5 m, düşeyde 10 m konum doğruluğu sonucuna ulaşmışlardır.

Yılmaz V. ve diğ. (2013), insansız hava aracına monte edilen dijital kamera ile alınan görüntülerden elde edilen ortofoto haritanın konum hassasiyetlerini belirlemek için araştırma yapmışlardır. RTK (Real –Time Kinematik) GPS yöntemiyle ölçülen noktaların karşılaştırması yapılarak İHA’ lar ile üretilen ortofoto haritanın konum doğruluğunun yaklaşık olarak 7-8 cm bulunduğunu belirtmişlerdir.

Siebert s. ve Teizer J. (2014), İHA sistemleri ile hafriyat projeleri ölçmeleri için mobil üç boyutlu harita üretimi konusunu araştırmıştır. Yer kontrol noktasız yapılan doğrudan yer tanımlamanın birçok yararı olduğu gibi, daha yüksek doğrulukta veri elde etmenin yer kontrol noktalı referanslama işlemi ile mümkün olabileceğini belirtmişlerdir. Araştırmalarında yer kontrol noktalı ölçümleri ve 50 m yükseklikten alınan görüntüleri Agisoft PhotoScan yazılımı ile otomatik fotogrametrik yöntemler ile analiz ederek, yatayda ortalama 0.6 cm, düşeyde 1.1 cm doğruluk sonucuna ulaşmışlardır.

Avdan U. ve diğ. (2014), insansız hava aracı ile farklı yükseklikte ve farklı bindirme oranlarında yaptıkları uçuşlardan görüntüler elde ederek otomatik yöntemlerle veriyi işlemişlerdir. Ortofoto görüntüler ve sayısal yüzey modeli (SYM) üreterek verilerin doğruluklarını jeodezik GNSS alıcısı ile koordinatları hassas bir ölçümle kıyaslayarak araştırmalarını gerçekleştirmişlerdir. Özellikle zor arazi modunda yer kontrol noktasız üretilen verinin karesel ortalama hatasının düşük olduğu görülmüş olup bunun sebebinin bindirme oranının fazla olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. İnsansız hava aracından elde edilen verilerin araziden elde edilen veriler ile uyum gösterdiği görülerek, referans veri ve yer kontrol noktaları ile üretilen veriler arasında genel olarak 10 cm’den az bir farkın bulunduğunu göstermişlerdir.

Cryderman C. ve diğ. (2015), toprak hafriyatının hesaplanması ve haritalanması için araştırmalarını yapmışlardır. Uygulamalarında hafriyatın yığıldığı bölgenin hacminin insansız hava araçları ile ölçülmesini klasik GNSS ölçmeleri ile kıyaslamışlardır. Elde edilen sonuçlara göre düşeyde 0.044 m, yatayda ise 0.039 m karesel ortalama hatanın olduğu görülmüştür.

Uysal M. ve diğ. (2015), Şahitler tepesi bölgesinin sayısal yükseklik modelini İHA fotogrametrik yöntemler ile değerlendirerek doğruluk analizini araştırmışlardır. 60 m

uçuş yüksekliğinden üretilen görüntüler ve RTK GPS ile ölçülen 27 yer kontrol noktaları Photo Modeller yazılımı ile işlenerek 5.203 cm/piksel çözünürlükte sayısal yükseklik modeli oluşturulmuştur. Doğruluk analizi ise klasik yöntemlerle ölçülerek edinilen 30 adet kontrol noktaları sonucu karesel ortalama hata 6.62 cm olarak belirlenmiştir.



2. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İLE FOTOGRAMETRİ

2.1 Fotogrametri Tanımı ve Tarihçesi

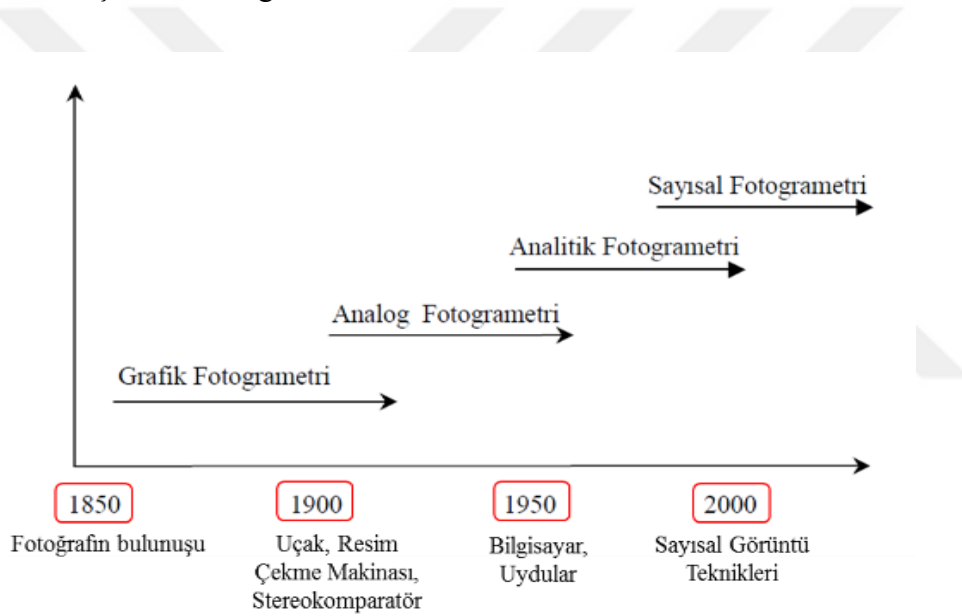
Fotogrametri sözcüğü eski Yunan sözcükleri olan “photos (ışık)”, “grama (çizim)” ve “metron (ölçme)” kelimelerinin bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Fotogrametri, fiziksel temas olmaksızın ölçme ve yorumlama işlemleri ile nesnelerin ve yüzeylerin özellikleri hakkında güvenilir bilgi edinimi sağlayan bir bilim dalıdır (Schenk, 2005). Bu bilim sayesinde fotografik görüntüler ve yaydıkları elektromanyetik enerji kayıt edilir, ölçülebilir ve yorumlanabilir. Genel olarak fotogrametri yeryüzündeki cisimlerin 2 boyutlu ya da 3 boyutlu koordinatlarının fotoğraflar üzerinden ölçme tekniğidir.

1839 yılında Daguerre ve Niepce tarafından fotoğrafın keşfi ile fotogrametri biliminin tarihsel süreci başlamıştır. Fotoğrafın çekilme işleminin yapıldığı konuma bağlı olarak yersel fotogrametri ve hava fotogrametrisi olmak üzere iki temel sınıf oluşmuştur. Yersel fotogrametri, sadece yer üzerinden çekilen fotoğraflarla yapılan uygulamalardır. Yerden çekilen fotoğraflar ile yapılan ölçümler bazı alanlarda topografik alım yönünden başarısız olmuştur. Çekim noktasının konumunun değiştirilerek havaya çıkartıldığı anlarda ise hava fotoğrafının yeryüzünü bütün detayıyla ölçme yeteneğine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle fotogrametride asıl gelişme resmin havadan çekimiyle başlamıştır. 1897’de Avusturyalı asker T. Scheimpflug, havadan çekilmiş fotoğrafları düşeye çevirip, ölçeğe uygun olarak arazinin plana geçirilmesini sağlamıştır. Hava fotoğraflarının sistematik olarak kullanılması ise 1. Dünya Savaşı ile yaygınlaşan motorlu uçakların gelişmesiyle ortaya çıkmıştır (Marangoz, 2002).

Yeni buluşlar ve gelişen teknoloji ile yersel fotogrametri ve hava fotogrametrisi değerlendirme yöntemine göre üç başlık altında toplanmıştır. İlk olarak kullanılan fotogrametri klasik fotoğrafların optik-mekanik aletlerle işlenmesini sağlayan analog fotogrametridir. Klasik fotoğrafların analiz işlemlerinin tam anlamıyla çözülmesi ise

bilgisayar çağının başlamasıyla ortaya çıkan analitik fotogrametri sayesinde gerçekleşmiştir. Son olarak yakın tarihte hayatlarımıza girmiş olup günümüzde birçok alanda uygulanmakta olan digital fotogrametri, digital (sayısal) görüntülerin kullanıldığı, bilgisayar desteği ile analizlerin en hızlı şekilde yapılmasını sağlayan bilim dalıdır (Kraus, 2007).

Fotogrametri biliminin temel amacı, çekilen resmin cisme olan konumunu belirleyebilmektir. Teknolojinin gelişmesiyle değişen ve çeşitli dallara ayrılan bu bilimde, esas olan matematiksel model aynı kalmaktadır. Bu matematiksel model, resim üzerindeki koordinatların ölçülerek cisim uzayındaki arazi koordinatlarının hesaplanmasını sağlamaktadır. Fotogrametrinin değerlendirme yöntemine göre tarihsel süreci Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1 : Fotogrametrinin tarihsel gelişimi.

Fotogrametri ayrıca, ölçülecek nesnenin yakın ya da uzak oluşuna, kullanılan kameranın durumuna, edinilecek bilgi türüne, uygulama alanlarına ve amaçlarına göre; “yakın resim fotogrametrisi, topografik ve topografik olmayan fotogrametri, kadastro fotogrametrisi, jeodezik fotogrametri, mühendislik fotogrametrisi, mimarlık fotogrametrisi, tek resim ve çift resim fotogrametrisi” gibi çeşitli sınıflara ayrılmaktadır (Avşar, 2006).

Yapılan çalışmada insansız hava araçları kullanılarak fotogrametrik ölçümler yapıldığı için detaylı olarak hava fotogrametrisi ve digital fotogrametri dalları incelenecektir.

2.1.1 Hava fotogrametrisi

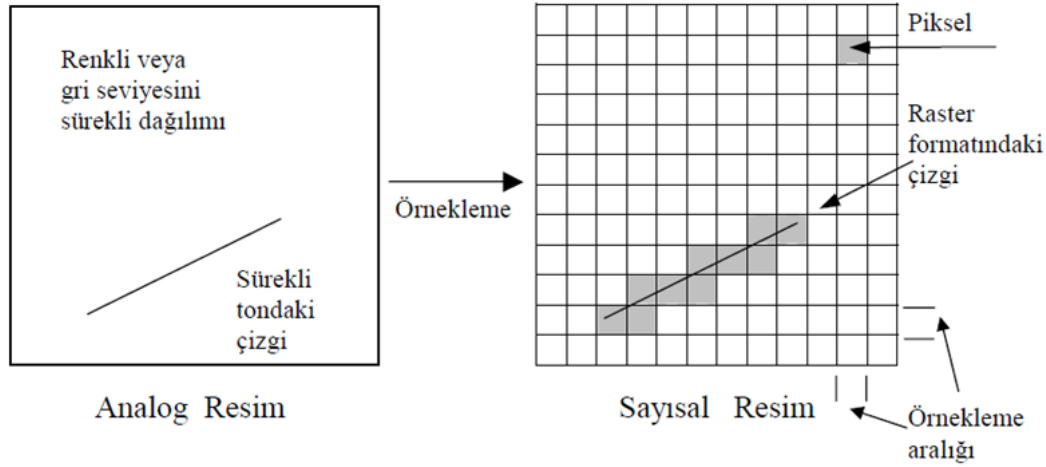
Fotogrametrinin tarihsel gelişiminde de görüldüğü üzere, başlangıçta yerden çekilen resimler yardımıyla yapılan yersel fotogrametri daha sonra resim çekme noktasının havaya çıkması ile geniş alanları kapsama ve araziye daha iyi tanımlamaya olanak sağlamıştır. Özellikle hava fotogrametrisinde resim ölçeğinin sabit kabul edilebilir olması haritacılık alanında ekonomik ve prezisyon yönünden birçok avantajı da beraberinde getirmiştir. Geçmişten günümüze uçak, balon, helikopter gibi farklı platformlardan resim çekimi yapılabilirken, son yıllarda ise insansız hava araçları bu alanda büyük ilgi görmektedir.

Fotogrametri arazi çalışması foyünde belirtildiği gibi, hava fotogrametrisinde bazı işlem adımları sırası ile uygulanmalıdır. Bu işlem adımları ile hava fotogrametrisi disiplini en iyi şekilde açıklanabilir. Öncelikle hava fotoğrafı sağlanacak bölgenin uçuş planı, üretilcek harita ölçeğine göre hazırlanır. Bu uçuş planı ile uçuş yönü, uçulacak şerit sayısı, doğrultusu ve konumu, görüntü bindirme oranları, poz süresi ve aralığı, rüzgar yönü ve etkisi gözlenerek uçağın rotası, hızı, kamera ve tipi belirlenir. Fotogrametrik çalışmaların doğruluğunun yüksek olabilmesi için ölçülecek yer kontrol noktaları havadan görülebilecek şekilde tasarlanır ve işaretlenir. Belirlenen yer kontrol noktaları yüksek hassasiyete sahip klasik jeodezik yöntemlerle ölçülür. Hava triyagülasyonu için kullanılacak yer kontrol noktalarının dağılımı ve sıklığı ise hava nirengisine göre seçilmelidir. Tüm bu işlemlerle alınan hava fotoğrafları, yeni konumsal bilgilerin üretilmesi için işlenerek istenilen bölgenin yüksek doğrulukta ölçümü sağlanmış olur (Avşar, 2006).

2.1.2 Dijital (sayısal) fotogrametri

Dijital görüntü, resim elemanı ya da pikseller olarak da adlandırılan, sayısal değerlerin sınırlı bir küme halinde 2 boyutlu görüntünün temsil edilmiş biçimidir. Dijital görüntünün satır ve sütunda olan her bir pikseli sabit bir sayı içerir. Piksel ise bir görüntüdeki en küçük birimdir. Dijital kameralar, tarayıcılar, koordinat ölçüm makineleri, hava radarı vb. gibi çeşitli giriş aygıtları ve teknikler ile dijital görüntüler oluşturulabilir (Sidek & Ahmad, 2009).

Analog ve sayısal resim tanımlamaları görsel olarak Şekil 2.2’de belirtilmiştir.



Şekil 2.2 : Analog resim ve sayısal resim.

Analog resimden dijital resime geçiş fotogrametri bilim alanı için yeni bir değerlendirme yöntemi olan dijital (sayısal) fotogrametriyi doğurmuştur.

Dijital fotogrametri, sayısal formda kaydedilmiş stereo görüntülerin tamamen bilgisayar ortamında işlenerek, yöneltme ve değerlendirme işlemlerinin yarı otomatik ya da tam otomatik olarak yapılmasını sağlamaktadır.

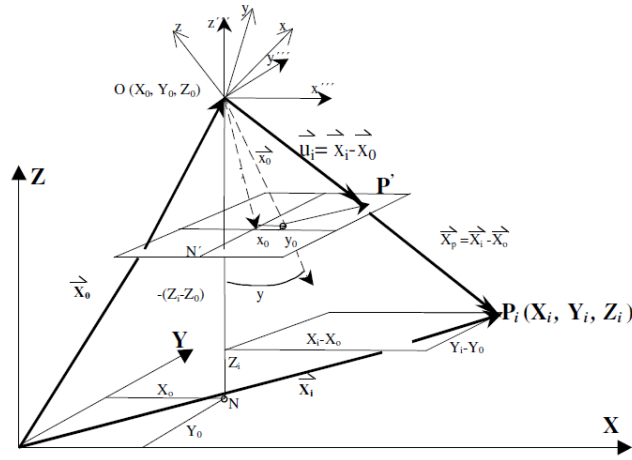
Raster görüntülerin yüksek çözünürlükte olması, bilgisayar ortamında birçok renk elde edilebilmesi, resim üzerinde istenilen şekilde iyileştirmenin yapılabilmesi gibi sebeplerden dolayı dijital fotogrametriye olan ilgi artmıştır. Günümüz teknolojisi ile güçlü bellekler ve hızlı işlemcilerin oluşması dijital fotogrametrinin yaygınlaşmasına neden olmuştur (Yıldız, 2010).

2.1.3 Fotogrametrinin matematiksel modeli

Fotogrametri bilimi yıllar içerisinde değişim ve gelişim gösterse bile bu bilimin temel matematiksel modeli değişmemiştir. Fotogrametrinin temel matematiksel modeli merkezi izdüşümdür. Merkezi izdüşüm, matematiksel ve geometrik özelliklerin kullanılması ile fotoğraftaki nesnelerin; şekil, konum, büyüklük, görünüş, vb özellikleri kolayca belirlenmesini sağlar (Url-7).

Duran’ın da doktora tezinde belirttiği gibi, matematik model, cisim uzay koordinat sistemindeki noktaların fiziksel oluşum temellerinin matematiksel ifadelerle gösterim şeklidir.

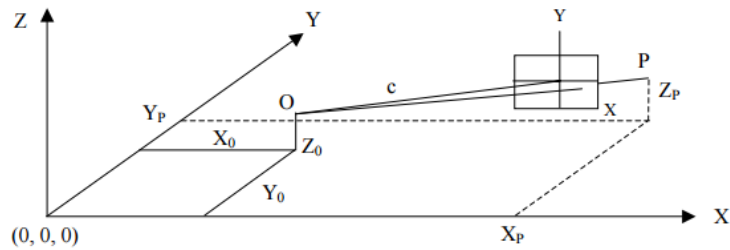
Şekil 2.3' te fotogrametrinin matematiksel modeli gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : Fotogrametrinin matematiksel modeli (Marangoz, 2002).

Cisim uzayındaki noktaları gösteren ışınlar resim çekme makinesi izdüşüm merkezinden gerçek resim düzlemine bir doğru boyunca kolinearite koşuluna göre izdüşürülür. İzdüşümü gerçekleştiren görüntülerin yeniden konumlandırılması için iç yöneltme ve dış yöneltme parametrelerinin hesaplanması gereklidir.

Bu iki adımda amaç; resim çekme makinesi içi yöneltme parametrelerinin yani ana nokta uzunluğu ve ana nokta koordinatları belirlenmesi ve ardından X₀, Y₀ ve Z₀ koordinatlarına sahip istasyon noktasından, ω , ϕ , χ dönüklük değerleri ile çekilen resimlerin cisim uzay koordinat sistemindeki koordinatlarının hesaplanmasıdır (Arpacı, 2013).



Şekil 2.4 : Yersel fotogrametrik izdüşüm modeli (Marangoz, 2002).

Resim ve cisim uzay koordinat sistemleri arası açısal ilişkiler, koordinat eksenleri arası doğrultu kosinüslerinin oluşturduğu (3x3) ortogonal dönüşüm matrisi ile belirlenir. Resim koordinat sisteminde p noktasının konumunu belirleyen resim vektörü;

$$P = \begin{vmatrix} x_p - x_o \\ y_p - y_o \\ 0 - c \end{vmatrix} \quad (2.1)$$

olur. Burada x_0, y_0 ana nokta koordinatları, c odak uzaklığıdır. Resim çekme makinesi sonsuza odaklanmadıkça ana nokta uzaklığı, odak uzaklığına eşit değildir. Bu durumda ana nokta uzunluk değeri odak uzaklığında Δf kadar sapma değerine sahiptir.

$$c = f + \Delta f \quad (2.2)$$

Cisim uzay koordinat sisteminde P noktasının konum vektörü,

$$P = \begin{vmatrix} X_p - X_0 \\ Y_p - Y_0 \\ Z_p - Z_0 \end{vmatrix} \quad (2.3)$$

olur. Kolinearite eşitliğine göre, p resim ve P cisim vektörleri arasındaki matematiksel bağıntı,

$$P = k \cdot D \cdot P \quad (2.4)$$

$$P = \begin{vmatrix} x_p - x_o \\ y_p - y_o \\ 0 - c \end{vmatrix} = k \cdot D \cdot \begin{vmatrix} X_p - X_0 \\ Y_p - Y_0 \\ Z_p - Z_0 \end{vmatrix} \quad (2.5)$$

şeklinde ifade edilir. Burada k ölçek faktörü olup,

$$k = \frac{p}{p} \quad (2.6)$$

olarak ifade edilir. Resim koordinatlarının bilinen değerler olması durumunda cisim koordinatları,

$$k = \frac{1}{p} \cdot D^T \cdot P \quad (2.7)$$

$$\begin{vmatrix} x_p - x_o \\ y_p - y_o \\ 0 - c \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 \\ D^T \\ k \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} X_p - X_0 \\ Y_p - Y_0 \\ Z_p - Z_0 \end{vmatrix} \quad (2.8)$$

olarak elde edilir. k ölçek faktörünün kolinearite eşitliklerinde her bir ıışın için ayrı ayrı belirlenmesi gerekmektedir. Bu durumda oluşan matematiksel ifadelerden k ölçek faktörü yok edilirse,

$$f_1 = x - x_0 + c \frac{a_{11}(X - X_0) + a_{12}(Y - Y_0) + a_{13}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} \quad (2.9)$$

matematiksel ifadeleri elde edilir.

2.2 İnsansız Hava Araçları (İHA)

2.2.1 İHA tanımı ve tarihçesi

İnsansız Hava Aracı (İHA), kendi güç sistemine sahip, faydalı yük taşıyan, otomatik olarak veya uzaktan komuta sistemi ile uçurulabilen pilotsuz hava araçları olarak tanımlanabilmektedir.

İnsansız hava araçları (İHA), “hava robotları” ya da “drone - yerden kumandalı hava aracı” gibi farklı isimlerle ifade edilmektedir. Günümüzde ise İHA ya da drone isimleri en sık kullanılan terimlerdir. İHA’ların uçuşu için gerekli olan Yer Kontrol İstasyonu (YKİ), Yer Veri Terminali ve diğer gerekli donanımların oluşturduğu sisteme ise İHA Sistemleri adı verilmektedir. İnsansız hava aracı sistemleri terimi, ABD Savunma Bakanlığı (DOD- Department of Defense) ve İngiltere Sivil Havacılık Otoritesi (CAA- Civil Aviation Authority) tarafından kabul edilmiştir. Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO- International Civil Aviation Organization), ICAO’nın 2011 ‘de yayınladığı 328 genelgesinde İHS’lerinin özel bir kategorisi olan “Uzaktan-Pilot Hava Sistemi” kavramını (RPAS- Remotely-Piloted Aerial System) tanıtmıştır (Colomina, Molina, 2014).

1970’lerde askeri amaçlarla kullanılmaya başlayan modern İnsansız Hava Araçları (İHA)’ ların 2000 yılı sonrası silahlandırılabilmesi ile dünya genelinde İHA’ ların yaygın kullanımında önemli gelişmenin olduğu görülmektedir. İHA’ ların silahlı modellerinin yanı sıra tüm ordularda çoğunlukla gözetleme ve hedef tespiti gibi istihbarat amaçlarla da kullanılmaktadır. Farklı platformlardan uzaktan yönlendirilen bu araçlar, artık binlerce mil uzaktan uydu haberleşmesi kanalıyla kontrol edilebilmektedir (Akyürek, Yılmaz, Taşkiran, 2012).

İHA' lar ile askeri alanlarda büyük başarı yakalanmasının ardından, sivil havacılıkta kullanılabilirliği üzerine çalışmalar başlamıştır. Özellikle düşük maliyeti ve insansız uçuş özelliği ile çalışma alanların zor olduğu bölgelerde sivil alanlar için çok avantajlı çözümler sunulabilmektedir. Sivil Havacılık Genel Müdürü Bilal Ekşi 'nin görüşüne göre, İHA'ların özellikle petrol hatları, demiryolu hatları, yüksek yapıların kontrolünde zirai ilaçlamada, hatta zirai ilaçlamada ürün rekoltesini tespit, deprem anında ve benzeri bir sürü sivil alanlarda kullanılabileceği yönündedir (Akan, Bayram, Çam, Kacar, 2014).

Uçakta fiziksel olarak pilotun bulunmaması, uçağın kendiliğinden uçuşu anlamına gelmemektedir. Birçok durumda, geleneksel uçaklara göre İHA'lardaki mürettebatın sorumluluğu daha büyüktür. Yerden kontrol edildikleri (yer kontrol istasyonları –GCS, Ground Control Station) için güvenilir iletişim bağlantılarına ihtiyaçları vardır. Ayrıca gerekli durumlarda Hava Trafik Kontrol otoritelerinden de destek sağlanmaktadır (Everaerts, 2008).

2.2.2 İHA sistemlerinin sınıflandırılması

Dünya genelinde İHA' ların sınıflandırması konusunda uzlaşılmış bir yaklaşım henüz bulunmamaktadır. En kapsamlı sınıflandırma ABD tarafından yapılmakta olup her ülke kendi İHA sistemlerini farklı kriterlere göre gruplandırmıştır. Ayrıca, NATO (North Atlantic Treaty Organization)'nun yapmış olduğu sınıflandırma ABD yaklaşımından esinlenerek oluşturulmuştur. Bu sınıflandırmanın ülkelerce Kabul gören bir çerçeveye ulaşması ön görülmektedir. Sınıflandırmanın temeli İHA' ların irtifa ve havada kalış sürelerine dayanarak yapılmasının yanı sıra zaman içerisinde bu kriterlere ilave olarak taşıdığı faydalı yükler ile de belirginleşmektedir (Dikmen, 2015).

İHA' lar büyüklüklerine ve diğer temel özelliklerine göre üç sınıfta gruplandırılmaktadır. Bu üç sınıfta kendi içerisinde 7 farklı kategoride toplanmıştır. 150 kg ağırlığının altı sınıf I, 150-600 kg ağırlığı arası sınıf II ve 600 kg üstü ağırlığa sahip İHA'lar ise sınıf III ile tanımlanmaktadır. Bu sınıfların alt gurpları ise mikro, mini, küçük, taktik, operatif (MALE), stratejik (HALE) ve taarruz gibi tasnif edilmektedir.

Türkiye'de İHA sınıflamasında temel kriter olarak 'irtifa' kabul görülürken NATO ve AB ülkelerinde 'ağırlık' kriteri baz alınmaktadır (Akyürek, Yılmaz, Taşkiran, 2012).

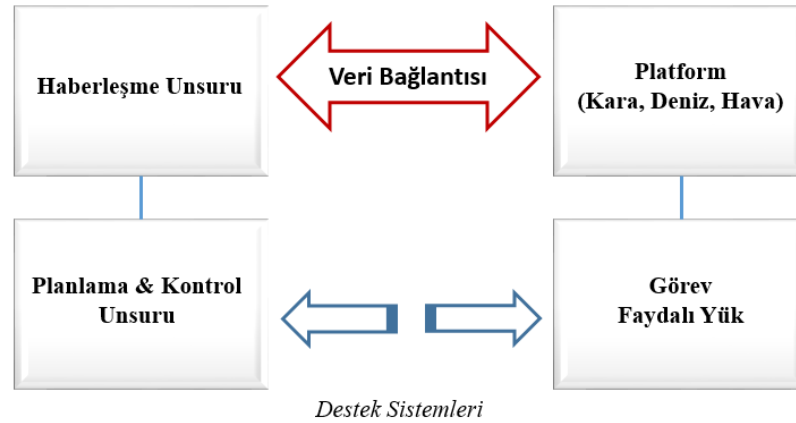
İHA'ların farklı özelliklere göre sınıflandırılmış hali Şekil 2.5' te gösterilmiştir.

Sınıf	Kategori	Standart Kullanım	Standart İrtifa Yüksekliği	Uçuş Menzili Yarıçapı	Birleşik Krallık Sınıflandırması	Örnek Platformlar
Sınıf I <150 kg	Mikro İHA <2 kg	Taktiksel, askeri, bireysel	<60 m	< 5 km	Grup 1 Küçük İHA'lar (< 20 kg)	Black Widow
	Mini İHA 2-20 kg	Taktiksel (Manuel kalkış özelliği)	< 900 m	< 25 km		ScanEagle, Skylark, Raven, DH3
	Küçük İHA >20 kg	Taktiksel amaçlar (Kalkış rampası vs)	< 1500 m	< 50 km	Grup 2 Hafif İHA'lar (20-150 kg)	Luna, Hermes 90
Sınıf II 150-600 kg	Taktik İHA	Taktiksel kullanım	< 3000 m	< 200 km	Grup 3 (>150 kg)	Sperwer, Iview 250, Hermes 450, Aerostar, Watchkeeper
Sınıf III >600 kg	Orta İrtifalı Uzun Süreli Uçuş	Operasyonel /Askeri	< 13000 m	Limitsiz		Predator A&B, Heron, Hermes 900
	Yüksek İrtifalı Uzun Süreli Uçuş	Stratejik /Ulusal	< 20000 m	Limitsiz		Global Hawk
	Yanılıcı ve Saldırı İHA	Stratejik /Ulusal	< 20000 m	Limitsiz		-

Şekil 2.5 : İHA sınıflandırma tablosu (Akgül, 2016).

2.2.3 İHA sistem bileşenleri

İHA Sistemi hava aracı, görev sistemleri, yer sistemleri ve hava-yer tümleşik sistemlerin bileşiminden oluşan sistemler bütünüdür (Özbal, 2015). Şekil 2.6' da genel olarak insansız sistem mimarisi görülmektedir (Zaim, 1998).



Şekil 2.6 : Genel insansız sistem mimarisi.

İHA sistemleri içinde kontrol sistemi, faydalı yükleri, iletişim ve birçok alt sistemlerini barındıran sistemlerdir. İnsanlı sistemlerde olduğu gibi yer istasyonu ya da komut kontrol merkezine ihtiyaç yoktur. Ancak gerekli durumlarda sağlanabilir (Chahl 2015).

İHA sisteminin kullanım amacı, İHA' nın büyüklüğü, vb. kriterlerine göre bu bileşenlerden bazıları dahil edilmeyebilir ya da çeşitleri ve büyüklükleri değişebilir. Temel olarak bu bileşenler;

- Faydalı yükleri üzerinde taşıyan insansız hava aracı,
- Farklı sensör yetenekleri olan kamera, füze, ilaç, bomba benzeri faydalı yükler,
- İHA sistemleri arasında veya İHA sistemlerinin harici unsurlarla olan iletişimini sağlayan haberleşme sistemleri,
- Görevlerin planlama, koordinasyon ve icrasında kullanılan komuta-kontrol sistemi,
- Yer sistemleri, teçhizatlar ve araçlardan oluşan destek unsuru,
- Sistemin işletilmesinde rol alan, İHA pilotundan bakım personeline kadar olan insan unsurudur.

3. VERİ VE YÖNTEM

3.1 Veriler

3.1.1 İHA ile alınan görüntüler ve özellikleri

Bu çalışma kapsamında iki farklı insansız hava aracı kullanılmıştır. Bunlardan ilki AeroViroment Inc. (AV) şirketinin ürettiği, Türkiye de ALTOY Savunma Sanayi ve Havacılık A.Ş. tarafından distribütörlüğü yapılan mini İHA “PUMA”’dır.

Tüm ortamlarda kullanılabilir olan PUMA 2002 yılında prototipi geliştirilmeye başlanmış olup, gelişimi ve konfigürasyonu dondurulmuş olup 2005 yılında tekrar hayata geçirilmiştir. PUMA İHA sistemi ABD Savunma Bakanlığı’ nın onayına bağlı olarak müşteri ihtiyaçları göz önünde bulundurularak geliştirilmiştir. Askeri amaçla üretilen PUMA günümüzde birçok sivil projelerde kullanılmaktadır.

Puma AE İnsansız Hava Aracı Sistemi çoklu sensor, stabilize gimbal faydalı yükü, entegre IR lazer ile donatılmış olup, gece ve gündüz süresince tüm hava koşullarında gözetim, keşif, hedef belirleme ve izleme görevleri yürütmek amacıyla tüm operasyonlarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Puma AE İnsansız Hava Aracı’ nın çift eksenli gyro-stabilize faydalı yükü görülebilir spektrumda kızılötesi kamera ve IR lazer aydınlatmalı yüksek çözünürlüklü kameralı olan standartları bulunmaktadır.

Şekil 3.1’ de PUMA –AV markalı İHA görülmektedir.



Şekil 3.1 : PUMA-İHA’ nın görüntüsü.

Çizelge 3.1’de PUMA İHA sisteminin özellikleri bulunmaktadır.

Çizelge 3.1 : PUMA-İHA’ nın özellikleri.

Parametre	Özellikleri
Menzil	15 km
Havada kalma kabiliyeti (yeniden şarj edilebilir batarya)	+15 °C
180 dakika Minimum tırmanma hızı (deniz seviyesi)	11 m/s
Maksimum seyir hızı (deniz seviyesi)	21 m/s
Maksimum uçuş yüksekliği	5,000 m
Çalışma sıcaklığı	-30°C to +50°C
Kanat Açıklığı	2.80 m (9.2 ft)
Boy	1.40 m (4.6 ft)
Toplam Kalkış Ağırlığı (batarya dahil)	5.90 kg (13 lbs)
İtki Sistemi	Elektrik Motoru
Navigasyon	GPS
Aeronotik ışık	Görünür ve Kızılötesi
Kalkış	Elden atış
Yere İniş	Dikey aşırı pertdövites iniş

PUMA İHA’sında faydalı yük olarak Sony Nex 7 markalı, 24 megapiksel kamera kullanılmıştır. Şekil 3.2’ de 24 MP kameranın özellikleri detaylı olarak verilmiştir.



Parametre	Özellikleri
Çözünürlük	6058 x 4012 piksel
	24 MP
Odak Uzaklığı	20 mm
Deklanşör Hızı	1 / 2000 sn
ISO Duyarlılığı	ISO - 250
Diyafram Açıklığı	f / 4
Sensor genişliği	23.40 mm
Sensor yüksekliği	15.60 mm
Piksel boyutu	3.89 mikron

Şekil 3.2 : PUMA-24MP kamera özellikleri.

Çalışmada kullanılan diğer İHA sistemi ise DJI Phantom advanced markalı bir multikopterdir. Çin’in Silikon Vadisi olarak bilinen Shenzhen merkezinde geliştirilmeye başlanmış DJI ürünleri 2006 yılından günümüze büyük gelişme göstermiştir. Amerika Birleşik Devletleri, Almanya, Hollanda, Japonya, Pekin ve Hong Kong ülkelerde distribütörlükleri bulunmaktadır. Pratik, kolay ve düşük maliyetli bir İHA olduğu için küçük alanların görüntü alımlarında tercih edilmektedir. Yüksek kalitede kameraya sahip olması ve multikopter olarak stabilizasyonun iyi sağlamasından bu araştırmada tercih edilmiştir. Bu sayede sabit kanatlı İHA ile multikopter İHA’ların avantaj ve dezavantaj kıyaslaması yapılabilmektedir. Şekil 3.3’ de

DJI Phantom advanced İHA görülürken, Çizelge 3.2 ‘de DJI İHA sisteminin özellikleri bulunmaktadır.



Şekil 3.3 : DJI Phantom Advanced-İHA’ nın görünümü.

Çizelge 3.2 : DJI Phantom Advanced-İHA’ nın özellikleri.

Parametre	Özellikleri
Ağırlık	1.280 Gram
Max Hız	16 m/s
Tırmanış/İniş	5 m/s – 3 m/s
Kamera	12.76 MP – Sony EXMOR 1/2.3" Sensör ile
Video	2.7K (Full HD)
Max İrtifa	6.000 (Extended Controller ile)
Uçuş Süresi	Yaklaşık 23 Dk (4.480 mAh batarya ile)
Çalışma Isısı	40 C
Bitrate	40 Mbps
Navigasyon	GPS/GLONASS

Multikopter İHA olarak tercih edilen DJI İHA’ında faydalı yük olarak Sony EXMOR markalı, 12 megapiksel kamera kullanılmıştır. Şekil 3.4’ te 12 MP kameranin özellikleri detaylı olarak verilmiştir.



Parametre	Özellikleri
Çözünürlük	4096 x 2160 piksel
	12 MP
Odak Uzaklığı	20 mm
Deklanşör Hızı	1 / 447 sn
ISO Duyarlılığı	ISO - 250
Diyafram Açıklığı	f / 2.8
Sensor genişliği	6.20 mm
Sensor yüksekliği	2.00 mm
Piksel boyutu	1.58 mikron

Şekil 3.4 : DJI Phantom Advanced, 12 MP kamera özellikleri.

3.1.2 GPS verileri ve özellikleri

Yer kontrol noktalarının klasik yöntemlerle ölçülmesi Magellan Promark 500 GNSS Alıcısı ile gerçekleştirilmiştir. Yapılacak ölçümlerin hızlı ve kolay sağlanabilmesi için

gerçek zamanlı kinematik (RTK) GPS yöntemi tercih edilmiştir. RTK tek bazlı bir ölçme yöntemidir ve bir referans GPS alıcısı ve bir gezici alıcıdan oluşmaktadır. Magellan Promark 500 GNSS Alıcısı TUSAGA-Aktif sistemine bağlı olarak ölçülmüştür.

Çizelge 3.3 'te Magellan Promark 500 GNSS Alıcısı özellikleri bulunmaktadır.

Çizelge 3.3 : Magellan Promark 500 GNSS özellikleri.

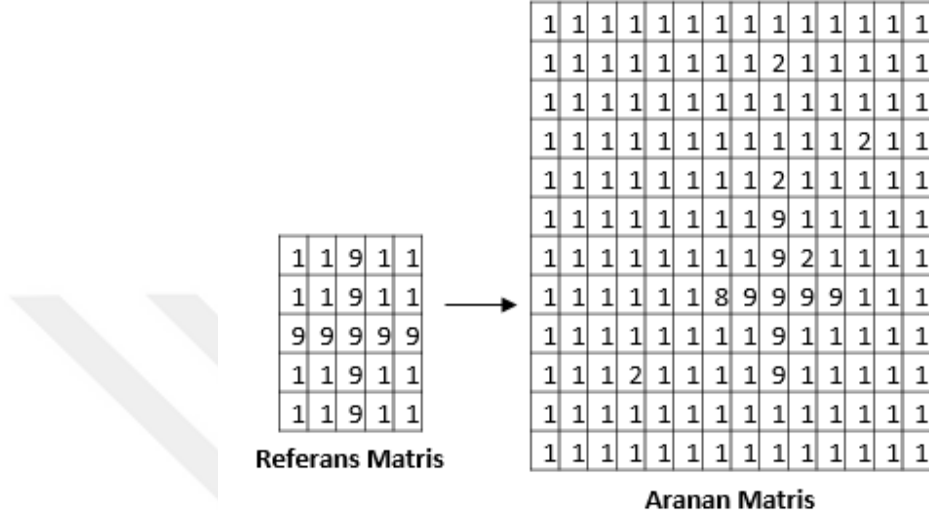
Parametre	Özellikleri
Alıcı Tanımı	75 kanallı, çift frekanslı GNSS alıcısı
RTK Çözüm Menzili	40 km'ye kadar
RTK İnitilizasyon Süresi	2 sn (20 km'den küçük bazlarda)
RTK İnitilizasyon Güven Düzeyi	% 99.9
Çevresel Koruma Standartları	IP54 su geçirmezlik, MIL-STD-810F şok ve darbe dayanıklılığı
Koruyucu Gövde	2 metreden düşmeye dayanıklı
Alıcı Çalışma Sıcaklığı	-30°C ile +55°C arası
Alıcı Ağırlığı	1.4 kg
Sinyal Özellikleri	GPS: L1 C/A kod, L1/L2 P kod ve L1/L2 tam dalga boyu taşıyıcı GLONASS: L1 kod, L2 P kod, L1/L2 tam dalga boyu taşıyıcı SBAS (WAAS-EGNOS-MSAS) : kod ve taşıyıcı
Statik ve Hızlı Statik Mod	Yatay: 5 mm + 0.5 ppm
Kinematik Mod	Düşey: 10 mm + 1.0 ppm Yatay: 10 mm + 1.0 ppm
RTK Modu	Düşey: 20 mm + 1.0 ppm Yatay: 10 mm + 1.0 ppm Düşey: 20 mm + 1.0 ppm

3.2 Yöntem ve Çalışma Aşamaları

3.2.1 Fotogrametride otomatik değerlendirme yöntemi

Dijital fotoğraflar otomatik değerlendirme bir başka deyişle makinesel değerlendirme (computer vision esaslı) olanağı sağlamaktadır. İnsan görüşü ve işleminin yerini, günümüzde makine görüşü ve değerlendirmesi almaktadır. Bilgisayar çağında artık fotogrametrik problemler tam ya da yarı otomatik değerlendirme yöntemleri ile çözülebilir hale gelmiştir. Otomatik değerlendirme yöntemi matematiksel işlemlere

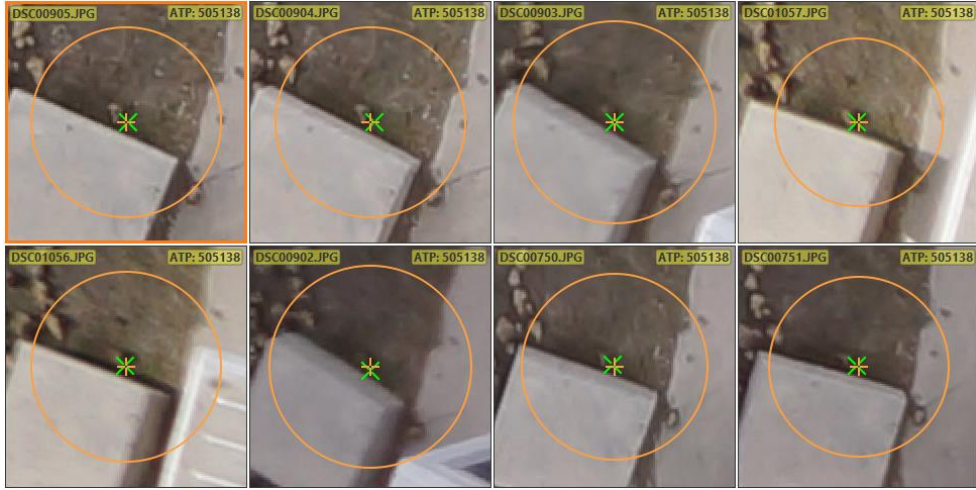
dayanmaktadır. Birçok otomatik değerlendirme yönteminin ana noktası Korelasyon algoritmalarıdır. Korelasyon yöntemi maksimum benzerlik ya da örnek tanıma olarak tanımlanabilir. Farklı resim çekme noktalarından çekilmiş iki resim üzerindeki karşılık gelen resim parçalarının referans matris ve aranan matrise göre aranması korelasyon yöntemini özetlemektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 : Korelasyon algoritmasında referans ve aranan matris.

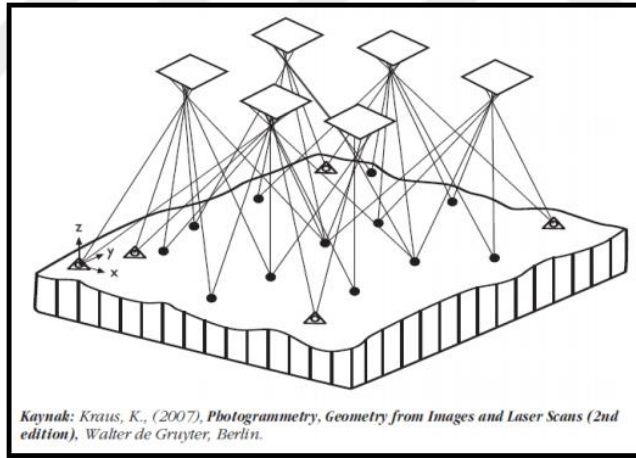
Bu algoritma ile fotogrametri de kullanılan karşılıklı yöneltme ve bağlama noktalarının belirlenmesi sağlanmaktadır. Hirschmüller'in 2011'de belirttiği üzere yoğun görüntü eşleme olarak da bilinen bu yaklaşım kısaca görüntüdeki her bir pikselin eşleşmesidir. Gelişen teknoloji ile tek yönlü piksel taraması yerine konu olan pikselin tüm komşu yönlerde eşleme işlemi yapılmaktadır. Hirschmüller vd. 2010, "Semi- Global Matching" piksel eşleme yaklaşımı ile yüksek çözünürlüklü sayısal yüzey modeli üretiminde %80 boyuna ve %60 enine bindirme önerildiğini belirtmiştir (Yastıklı, 2014).

Şekil 3.6' da görüldüğü gibi yoğun görüntü eşlemeye örnek veri seti piksel bazında işaretlenmektedir.



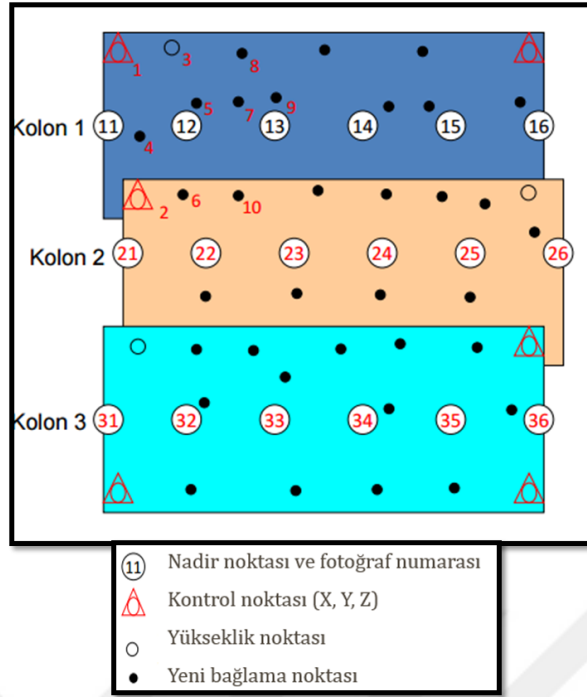
Şekil 3.6 : Yoğun görüntü eşleme.

Fotogrametri işlem adımlarından bir diğer önemli konu ise hava triyangülasyonudur. Fotogrametrik değerlendirmede her bir stereo model için en az 3 kontrol noktası gerekir. Bu noktaları jeodezik olarak tesis etmek hem zor hemde zaman alıcıdır. Jeodezik metotlarla üretilmesi gereken noktaların fotoğraflar üzerinden arazi koordinatlarının hesaplanmasına hava triyangülasyonu denir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 : Hava triyangülasyonu.

Hava triyangülasyonunda demet dengelenmesi için otomatik olarak bağlama noktaları belirlenir. Bu sayede bütün fotoğraf ve stereo modellerin yöneltme bilinmeyenleri ve her bir noktanın dengeli XYZ değerleri hesaplanır. Işın demetleri ile dengeleme, modele ilişkin ışınların sayısal yöneltme ile kesiştirilmesi ile modelde dış yöneltme elemanları ve yeni noktaların koordinatları hesaplanır. Ölçme resmi birim elemanıdır. Işın demetleri ile dengelemede blok yada kolon kullanılır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 : Işın demetleri ile blok dengelemesi.

Gelişen teknoloji ile günümüzde fotogrametrik yazılımlarda büyük gelişme göstermiştir. Pix4D görüntü işleme yazılımı ile otomatik olarak modeller retilebilmektedir. Elde edilen stereo görüntülerden 3 boyutlu kıymetlendirme yapılabilmektedir. Araziyi ve objeler detaylı bir şekilde ifade eden Nokta Bulutu LIDAR ölçme yöntemine yakın hassasiyettedir. Yazılım havai nirengi dengelemesini, yükseklik verilerinin toplanmasını ve ortofoto üretimini otomatik değerlendirme yöntemleriyle gerçekleştirmektedir.

3.2.1.1 Sayısal yüzey modeli oluşturma yöntemleri

Sayısal Yükseklik Modeli (Digital Elevation Model (DEM)), arazi yüzeyinin 3 boyutlu olarak tanımlayan ve arazinin yükseklik bilgilerini içeren bir sayısal modeldir. Yükseklik modelleri sıklıkla karıştırılan, iki farklı kavramla ifade edilmektedir. Bu çalışmada da karşılaştığımız bu kavramlar; Sayısal Yüzey Modeli (SYM, Digital Surface Model (DSM)) ve Sayısal Arazi Modeli (SAM, Digital Terrain Model (DTM))' dir.

Sayısal Yüzey Modeli (SYM) tanımlayacak olursak; fiziksel yeryüzünün, belirli aralıklarla bölünerek ve tanımlanan düşey datum ile yükseklik değerlerini kapsayan bir sayısal-kartografik gösterimdir (Yılmaz, 2015). Höhle'nin 2009'ta belirttiği gibi insan yapısı detayları ve bitki örtüsünü kapsayan model Sayısal Yüzey Modeli'dir.

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

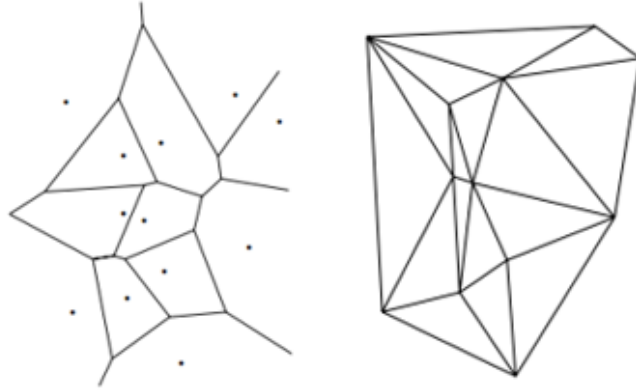
Yüzey modellerinde ilgili alan üzerinde veri noktalarının sonlu örneklem oluşumu sağlanır. Kullanılan tekniklerden grid yöntemi raster tabanlı enterpolasyon yöntemi ve üçgenleme yöntemi ise vektör tabanlı nirengi yöntemi olarak tanımlanabilir. Raster veride örneklenmiş veya enterpolasyon yükseklik değerleri ile eşit aralıklı, eşit büyüklükteki hücrelerden oluşan bir dikdörtgen dizinin oluşturulduğu düzenli bir ızgara olarak SYM yapılandırılır. Vektörü olarak ise, SYM bitişik bir ağ oluşturmak için kenarlarından bağlanan yükseklik değerleri ile düzensiz bulunan düğümler, bir dizi olarak inşa edilen üçgenlerin yönleriyle örtüşmeyerek Düzensiz Üçgen Ağ (TIN - Triangulated Irregular Network) ile oluşturulur. Üçgenleme yöntemi daha gelişmiş, daha karmaşık ve daha yaygın olarak kullanılır (Siriba, 2015).

SYM üretiminde birçok farklı enterpolasyon yöntemi geliştirilmiştir. Ters mesafe, Kriging, Delaunay üçgenleme yöntemi, radyal bazlı fonksiyon, yerel polinom fonksiyonu gibi enterpolasyon yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemlerden en sık kullanılan ve bu çalışamdaki programlarında içeriğinde bulunan yöntem Delaunay üçgenleme yöntemi ve modellemeyi en az hata ile oluşturan kriging enterpolasyon yöntemi irdelenmiştir.

Delaunay üçgenleme modeli

Delaunay üçgenleme yöntemi, Rus matematikçi olan Boris Nikolaevich Delaunay' ın 1934 yılında geliştirdiği bir yöntemdir (Üstüntaş, 2006). Bu yöntemin temeli en yakın olan noktalardan üçgen oluşturma esasına dayanır. Üçgen oluşturulurken bir noktanın en yakındaki noktalarını saat ibresi yönünde işleme almaktadır.

En yakın nokta problemleri için kullanılan kesin bir yapı olan Voronoi diagramı, tüm noktaların voronoi çokgenlerinin birleşimidir. Çokgenin kenarları, nokta ile komşu noktaları birleştiren doğru parçalarının kenar orta dikmelerinden oluşmaktadır. Delaunay üçgenleri de her noktanın kendisine ait komşu noktaları ile birleşmesiyle elde edilmektedir (Yanalak, t.y.). Şekil 3.9' da Voronoi diagramı ve Delaunay üçgenlemesi gösterilmiştir.



Şekil 3.9 : Voronoi diagramı ve Delaunay üçgenlemesi.

Kriging enterpolasyon yöntemi

1951’ de Krige isimli Güney Afrikalı bir maden mühendisi tezinde Kriging enterpolasyon yöntemini önermiştir (Üstüntaş, 2006). Bu yöntem, bilinen yakın noktalardan alınan veriler sayesinde diğer noktalardaki verilerin optimum değerlerinin kestirilmesiyle gerçekleşmektedir (İnal, 2003). Denklem 3.1’de görüldüğü üzere, yapılan kestirim işlemi bilinen değerlerin ağırlıklı ortalamasının alınmasıyla gerçekleşir.

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (3.1)$$

3.1 eşitliğinde $Z^*(X_0)$ kestirilecek noktayı, $Z^*(X_i)$ bilinen noktayı, λ_i atanacak ağırlıkları ifade etmektedir. Kriging, ağırlıkların, kestirim hatalarının ortalaması sıfır ve varyansı en küçük olacak şekilde belirlenmesidir. Kriging matris formunda ise aşağıda 3.2 eşitliği ile gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \cdot & \gamma_{1n} & 1 \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \cdot & \gamma_{2n} & 1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \cdot & \gamma_{nn} & 1 \\ 1 & 1 & \cdot & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \cdot \\ \lambda_n \\ \lambda_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_{01} \\ \gamma_{02} \\ \cdot \\ \gamma_{0n} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Yukarıdaki matriste, γ_{ij} , X_i ve X_j noktaları arasındaki uzaklığa ilişkin variogram değerini, m ise Lagrange sabitini göstermektedir.

Kriging Varyansı ise bu yöntemle yapılan hatanın varyansıdır. Bu varyans aşağıdaki (3.3) eşitliğinde gösterilmiştir.

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_0 - x_i) + m \quad (3.3)$$

Veriler göz önüne alınarak önceden variogram fonksiyonu belirlenir ve ağırlıklar bu fonksiyona göre hesaplanır. Kriging Varyansı, verilerin gerçek değerlerine bağlı olmazken, veri sayısına ve veriler arasındaki uzaklık ile ilişkilidir (Üstünbaş, 2006).

Başkan'ın 2004 yılında belirttiği üzere, bu yöntemi diğer enterpolasyon yöntemlerinden ayıran en temel özellik; tahmin edilen her bir nokta veya alan için varyans değerinin hesaplanmasıdır (Yaprak, 2008).

3.2.2 Doğruluk analizi

Doğruluk; ölçülen büyüklüğün, gerçek değerine olan yakınlığı bir başka deyişle gerçek değere yaklaşımdır. Ölçmelerde ve hesaplarda hata sınırlarını saptayabilmek ve ölçümlerin kabul edilip edilmeyeceğini belirlemek için doğruluk analizinin yapılması şarttır (Sertel, 2010). Doğruluk analizleri; ortalama hata, karesel ortalama hata, olasılıklı hata, oransal hata gibi karşılaştırma büyüklükleri ile yapılabilmektedir. Bu çalışmada doğruluk analizi karesel ortalama hata (KOH - Root Mean Square Error (RMS)) ile ifade edilmiştir. KOH hatalar, yer kontrol ölçümleri veya referans veri ile üretilen harita ya da sayısal yükseklik modelinin arasındaki farkların toplamının ortalamasının karekökü olarak tanımlanır. Haritanın doğruluğu yatay (konumsal) ve düşey de olmak üzere KOH ile test edilir. Konumsal doğruluk, ölçülen X ve Y koordinatlarının yüksek doğruluğa sahip yatay kontrol noktaları ile analiz edilirken, düşey doğruluk ise yüksekliği ifade eden Z değerinin iyi tanımlanmış noktaların düşey datumu ile hesaplanır. Bu çalışmada düşey doğruluk analizine ağırlık verilmiş ve aşağıda belirtilen eşitlikler (3.4) ve (3.5) uygulanmıştır. Burada (ε_h) test edilen yükseklik değeri ile referans alınan yükseklik verisinin mutlak farkıyla hesaplanan mutlak hatayı, KOH (m_h) olarak gösterilmiş ve (n) ise ölçme sayısını ifade etmektedir (Yanalak, 2012).

$$\varepsilon_h = h(\text{Referans}) - h(\text{Test}) \quad (3.4)$$

$$m_h = \sqrt{\frac{[\varepsilon_h \cdot \varepsilon_h]}{n}} \quad (3.5)$$

Ayrıca bu çalışmada insansız hava araçları ile üretilecek haritaların konumsal doğrulukları yorumlanmıştır. Bu bağlamda Çizelge 3.4’ te verilen ASPRS (American Society of Photogrammetry and Remote Sensing) büyük ölçekli haritaların doğruluk standartları’ na göre ölçek ve konumsal doğruluk ilişkisinden yararlanılmıştır.

Çizelge 3.4 : ASPRS göre ölçek ve konumsal doğruluk.

1. sınıf haritalar için Konumsal Doğruluk (KOH) Metre	Ölçek
0.0125	1:50
0.025	1:100
0.050	1:200
0.125	1:500
0.25	1:1,000
0.50	1:2,000

Yukarıda verilen doğruluk kriterlerinin sadece iyi tanımlanmış noktalar üzerinde yapılmış testlere uygulanacağı unutulmamalıdır. ASPRS 1990’da belirtildiği üzere düşey doğruluk için bulunan KOH sınırları ise sadece iyi belirlenmiş noktalar için yükseklik eğrisi aralığının 1/3’ ü kadar olacağı belirlenmiş, yükseklik noktalarında ise yükseklik eğrisi aralığının 1/6’ sı değerinde KOH olabileceği söylenmektedir (Esirtgen, 2010).

2004 yılında belirtilen Sayısal Yükseklik Veri Yönergesi (NDEP – National Digital Elevation Program)’ ne göre;

- Referans veri test edilen veriden 3 kat daha doğru ve hassas olmalı,
- Yer kontrol noktası seçiminde arazi eğiminin %20 den fazla olmaması,
- Arazi sınıflarının her birinden en az 20 kontrol noktası ile analiz yapılmalı gibi

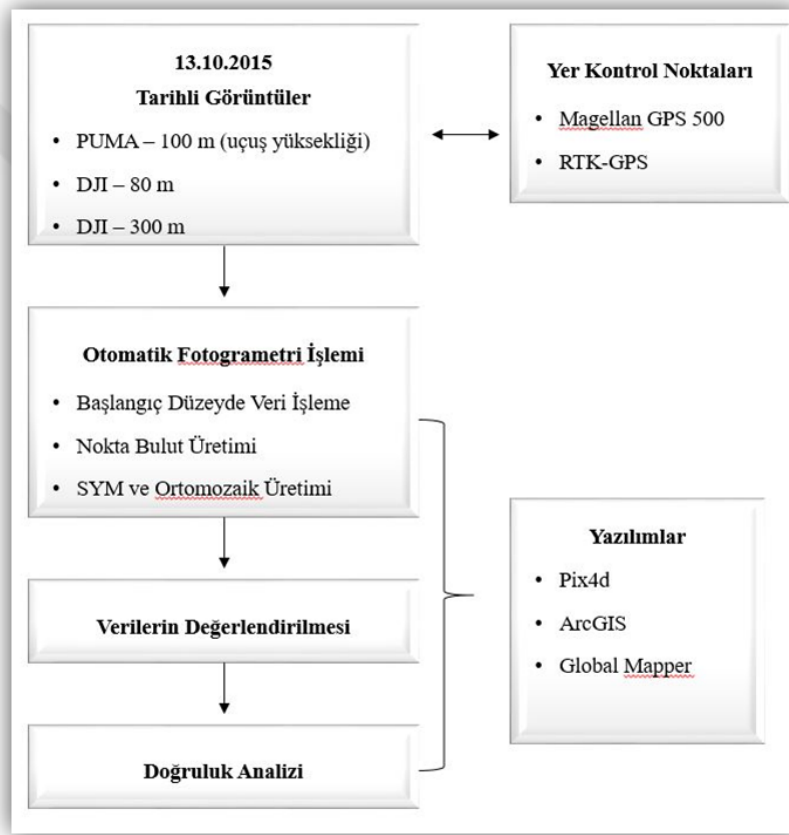
kriterler belirtilmiştir (Yastıklı, 2011).

3.2.3 Çalışma aşamaları

Başlangıç düzeyinde veri işleme ilk değerlendirme işlemidir ve analiz raporu oluşturur. Raporda, yapılan işlemin kalitesi, çözünürlüğü, ortaya çıkacak verilerin ön izlemesi, kalibrasyon detayları gibi bilgiler bulunmaktadır. Bu aşamada üretilen rapor, daha sonraki aşamalar için büyük önem taşımaktadır çünkü insansız hava aracı ile edilen verilerin işlenmesi, yüksek kapasiteli bilgisayarlarla bile saatlerce sürmektedir. Bu nedenle sonuç ürünlerin yeterli kaliteyi sağlaması için analiz raporu dikkatlice incelenmelidir. Kullanıcı kaynaklı bir hata var ise, bu hatanın nerede olduğu da analiz

raporunun incelenmesi ile bulunabilir. Nokta bulutu üretimi aşamasında yazılım, görüntüler üzerinde eşleşen bütün pikselleri nokta olarak kaydeder. Bütün piksellere bu işlem yapıldıktan sonra çalışma alanına ait nokta bulutu elde edilir. SYM ve ortomozaik üretimi aşamasında ilk olarak SYM oluşturulmaktadır. Daha sonra üretilen SYM modeli altlık olarak kullanılarak, İHA tarafından çekilen her bir görüntüye ait ortofoto görüntüler elde edilmektedir. Üretilen ortofoto görüntüler birleştirilerek çalışma alanının tamamına ait ortomozaik görüntü elde edilmektedir.

Şekil 3.10' da çalışma aşamaları görülmektedir.



Şekil 3.10 : Çalışma aşamaları.

4. UYGULAMA

4.1 Çalışma Alanı

Bu çalışmada Altoy Savunma Sanayi ve Havacılık A.Ş.’nin Kayseri Şeker Fabrikası A.Ş. ile 2015 yılında yürütmüş oldukları “Boğazlıyan Bölgesindeki Pancar Arazilerinde Hasat Optimizasyonu ve Silo Yönetimi Pilot Projesi” verilerinden yararlanılmıştır.

Şekil 4.1’ de görülen Boğazlıyan Şeker ve Mamulleri Entegre Tesisi, 1 Temmuz 2005 tarihinde yapılan temel atma töreni ile inşaat, imalat ve montaj çalışmaları 14 aylık kısa süre içerisinde tamamlanmış olan ve günümüzde hizmetlerini sunmaya devam eden bir tesistir. En son teknoloji ile donatılmış bu tesis, 920 dekar alan ve 60.000 metrekare kapalı alan üzerinde, nominal kapasitesi 10.000 ton/gün, maksimum kapasitesi ise 12.000 ton/gün ‘dur (URL-1).



Şekil 4.1 : Boğazlıyan Şeker ve Mamulleri Entegre Tesisi Google Earth Görüntüsü.

Projenin bir ayağı olan “Silo Yönetimi” bölümünde, fabrika sınırları içinde işleme için bekleyen pancarların hacimsel değişiminin kaydedilmesi amaçlanarak, günlük olarak

Sabit Kanatlı İHA ve multikopter ile görüntü alımları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca silo yığınlarının üzerinde uçularak siloya yapılan eklemeler ve silo üzerindeki çökmelerin tespiti hedeflenmiştir. Bu çalışmada sadece 13 Ekim ve 10 Ekim 2015 tarihinde sabit kanatlı ve multikopter İHA'larının verileri kullanılmıştır.

4.2 Uçuş Planlaması ve Görüntü Alımı

Uçuş öncesindeki hazırlık aşamasında insansız hava aracına entegre edilen kameranın ayarları yapılmış ve aracın pilot bölge üzerinde takip edeceği güzergah belirlenmiştir.

Sabit Kanatlı İHA fırlatma ve indirme noktası için Boğazlıyan Fabrikası sınırları içinde uygun bir alan seçilmiştir. Bu noktanın seçilmesini etkileyen en büyük kriterler, antenin görüş mesafesinin yüksek bir tepeden daha iyi sonuç vermesi, uçuş bölgesine merkezi bir noktada bulunması, fırlatma ve indirme için toprak zemine sahip olmasıdır. Üzerinde 24 MP (6000 x 4000 piksel) kamera faydalı yük opsiyonu ile sabit kanatlı İHA uçuşu yapılmıştır.

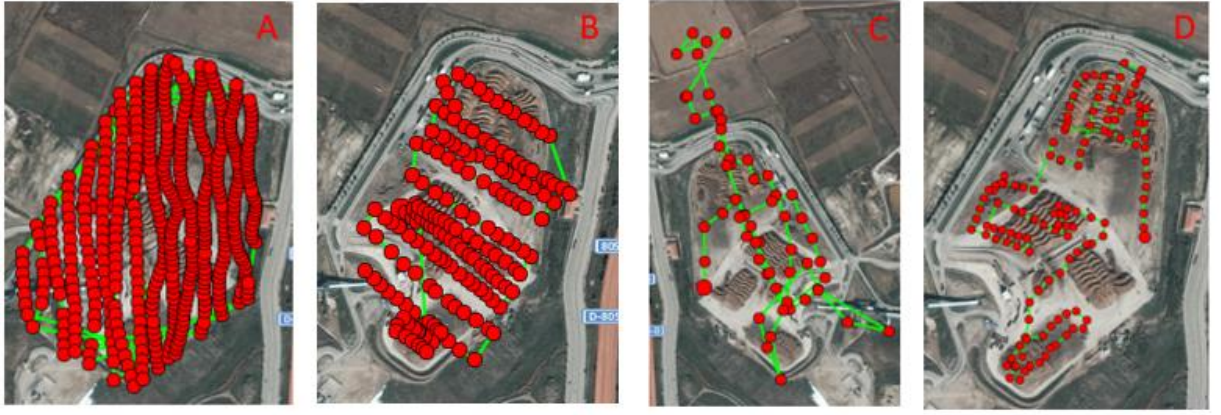
Multikopter İHA ise, dikey iniş kalkış yapıp havada asılı durabilen ve üç ekseninde hareket edebilen uzaktan kontrollü insansız hava aracıdır. Faydalı yük -90° ile +30° arasında hareket kalibreyetine sahip, 4000x3000 çözünürlükte fotoğraf verebilen 12,4 MP kamera taşımaktadır.

Projede hava koşulları elverdiğince ve personel istirahat günleri dışında hemen hemen her gün uçuşlar görevin amacına göre gereken sıklıkta uygun kamera kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma için seçilen uçuşların özellikleri ise Çizelge 4.1 'de, harita görünümü ise Şekil 4.2 'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Uçuş özellikleri ve görüntü alım bilgileri.

İHA	Uçuş Tarihi	Uçuş Saati	Uçuş Yüksekliği	Uçuş Alanı	Alınan Görüntü Sayısı
PUMA AV	13.10.2015	10:45	100 m	0,2509 km ²	525 adet
DJI Phantom advanced	10.10.2015	10:00	80 m	0.1708 km ²	179 adet
DJI Phantom advanced	13.10.2015	15:00	300 m	1,1983 km ²	66 adet
DJI Phantom advanced	13.10.2015	15:30	80 m	0,1474 km ²	136 adet



Şekil 4.2 : Uçuşların harita görüntüsü.

Farklı İHA uçuşlarından alınan örnek görüntüler sırasıyla Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’ da sabit kanatlı İHA ile 24MP- 100m ‘den, multikopter İHA ile 12MP-80m ve 300m olmak üzere gösterilmiştir.



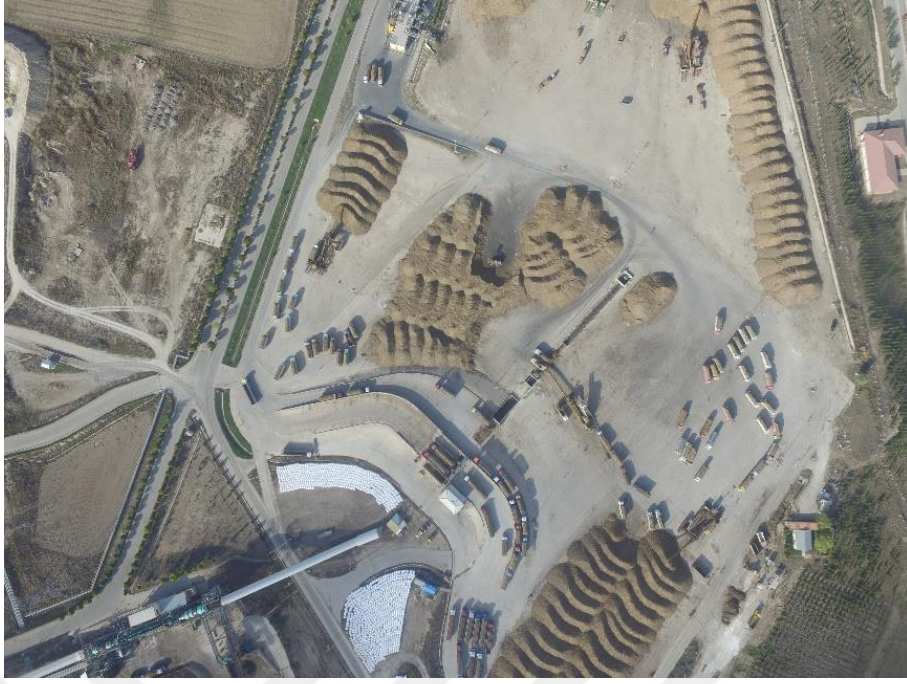
Şekil 4.3 : Sabit Kanatlı İHA – 24 MP-100 m.



Şekil 4.4 : Multikopter İHA – 12 MP-80 m.



Şekil 4.5 : Multikopter İHA – 12 MP-80 m.



Şekil 4.6 : Multikopter İHA – 12 MP-300 m.

4.3 Yer Kontrol Noktalarının Belirlenmesi ve Ölçümü

Üretilecek olan ortofoto haritanın ve üç boyutlu modelin koordinatlandırılması amacıyla uçuş öncesi homojen şekilde dağılmış yer kontrol noktası işaretlenmelidir. Bu noktalar belirlenirken en önemli amaç alınan görüntülerde yerlerinin ayırt edilir olmasıdır. Uçuş yüksekliği, yer örnekleme aralığı dolayısıyla harita ölçeği düşünülerek yer işaretleri seçilmelidir. Şekil 4.7’ de tercih edilmesi gereken örnek noktalar görülmektedir. Bu noktalarda yapılacak ölçümler sayesinde istenilen konum doğruluğu elde edilmektedir.



Şekil 4.7 : Olması gereken yer kontrol noktası işaretleri.

Ancak bu projede Şekil 4.8 ‘de görüldüğü gibi yer işareti kullanılmadan alandaki elektrik direği, beton kenarı vb. objelerden yararlanılmış ve çekilen fotoğraflar doğrultusunda yer kontrol noktaları görüntü işlemede kullanılmıştır. Var olan veriler ile yapılan çalışma bu koşullara göre değerlendirilecektir.

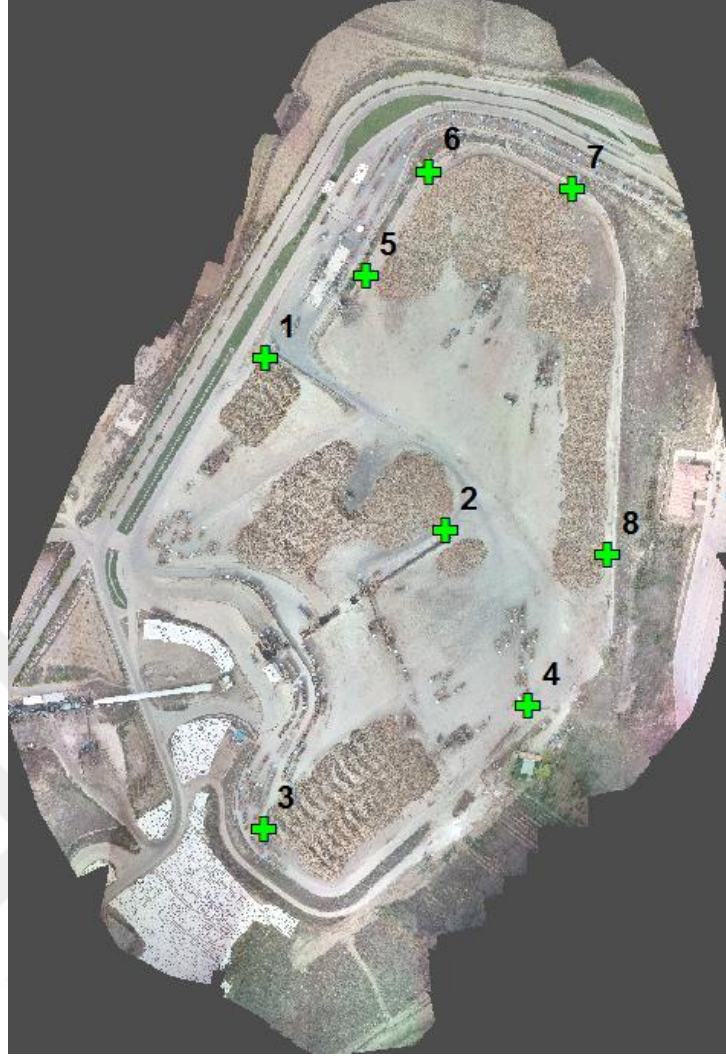


Şekil 4.8 : Proje için alınan yer kontrol noktaları.

Homojen olarak alınan bu noktaların koordinatları Magellan Promark 500 GNSS alıcı kullanılarak RTK GPS yöntemiyle ölçülmüştür. GPS ile ölçüm Avrupa Datumu 1950 (ED50 – European Datum 1950) ‘ye göre yapılmış ve sonrasında Dünya Jeodezik sistemi 1984 (WGS84 – World Geodetic System 1984) ’e NetCad yazılımı ile dönüştürülmüştür. Yükseklik değeri deniz seviyesinden ölçülerek bulunmuştur. Şekil A.1 ’de ED50 datumuna göre ölçülen koordinatlar, Çizelge 4.2 ‘de yapılan ölçümlerin WGS84 koordinat bilgileri bulunmaktadır. Koordinatlandırmada kullanılan yer kontrol noktalarının silo alanı üzerinde dağılımı ise Şekil 4.9’ da gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 : Yer kontrol noktalarının koordinat bilgileri.

Yer Kontrol Nokta Numarası	Y	X	Z
GCP-1	691080.3252	4335458.172	2.57
GCP-2	691205.8612	4335338.887	5.68
GCP-3	691079.2777	4335131.104	10.7
GCP-4	691263.2287	4335217.152	7.04
GCP-5	691150.2971	4335515.347	1.13
GCP-6	691194.1426	4335587.994	0
GCP-7	691293.616	4335575.606	1.02
GCP-8	691318.0877	4335321.77	4.89



Şekil 4.9 : Yer kontrol noktalarının dağılımı.

Literatür araştırmasında görüldüğü üzere RTK Ağı kullanılarak elde edilen konumlama doğrulukları, referans noktalarının gezici alıcı etrafındaki dağılımına ve gezici alıcının referans noktalarına olan uzaklığına göre değişmekle birlikte 35 km'ye kadar olan gezici-referans noktası uzunlukları için $\pm 1-5\text{cm}$ yatay doğruluklar bulunmuştur. Yükseklikler için de 1.5 -2 katı daha yüksek standart sapmalar elde edilmiştir (Retscher, 2002).

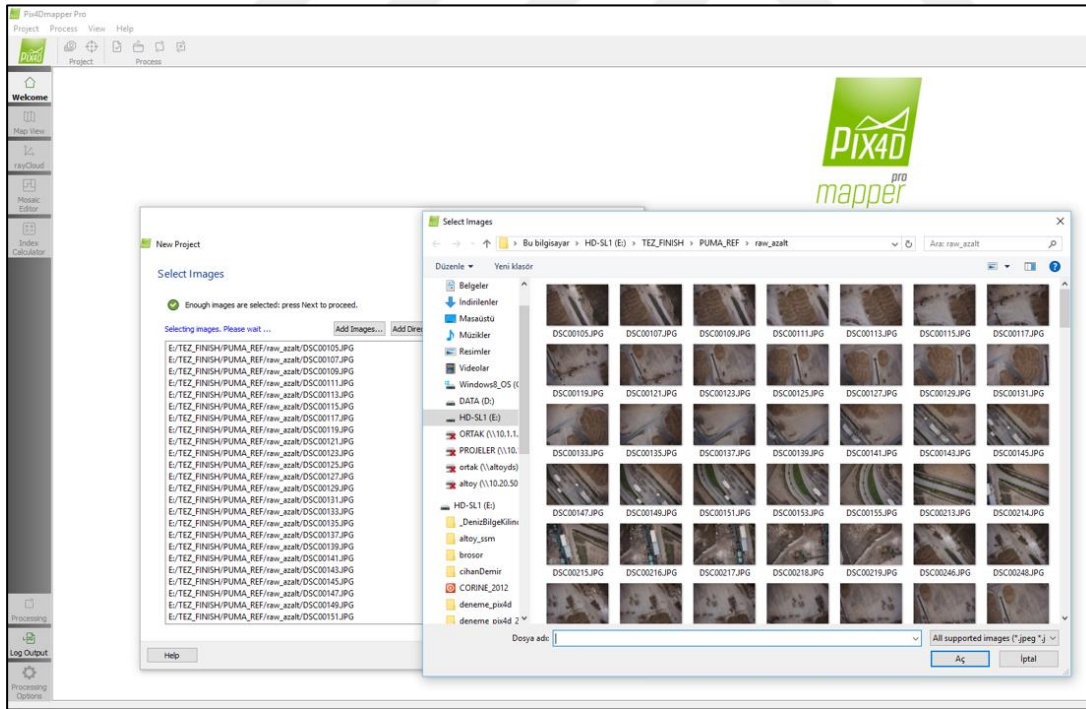
4.4 Görüntülerin İşlenmesi

İHA'lar ile elde edilen görüntülerin öncelikle filtrelenerek yazılım üzerinde işlemeye hazır hale getirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, özel olarak AV tarafından geliştirilen Geotagger II yazılımı kullanılmıştır. Otomatik fotogrametrik yöntemlerin gelişmiş olduğu Pix4d fotogrametri yazılımı aracılığıyla 3-Boyutlu Nokta Bulutu ve 2-Boyutlu

Ortomozaik görüntü üretimi yapılmıştır. Bu yazılım havai nirengi dengelemesini, yükseklik verilerinin toplanmasını, sayısal yüzey modelini, üç boyutlu nokta bulutunu ve ortofoto üretimini otomatik olarak gerçekleştirmektedir.

Öncelikle yüklenen görüntüler kalibrasyon işlminden geçmektedir. Başlangıçta alınan görüntülerin koordinatları yer kontrol noktaları, manuel ya da otomatik olarak eklenen bağlama noktaları ile yeniden konumlandırılır. Yeni konumunda olan görüntülerin bindirme sayıları kontrol edilerek kameranın iç yöneltme elemanları kontrol edilir. Görüntülerin her biri otomatik olarak eşlenir, konumlandırma hataları otomatik olarak kendi içinde hesaplanır. Birleştiren görüntüler 3 boyutlu nokta bulutuna dönüştürülür. Elde edilen nokta bulutunun üzerine üçgenleme ağı üretilir ve sayısal yükseklik modeli (SYM) ile ortomozaik görüntü oluşturulur.

Pix4d yazılımı ile PUMA, DJI 80m ve 300m’ den alınan görüntüler yer kontrol noktalı ve yer kontrol noktasız olmak üzere ayrı ayrı işlenmiştir. Aşağıda sırasıyla program aşamaları ve seçilen parametreler anlatılmıştır. Şekil 4.10’ da görüldüğü üzere İHA ‘dan alınan görüntüler yeni proje oluşturularak eklenmiştir.

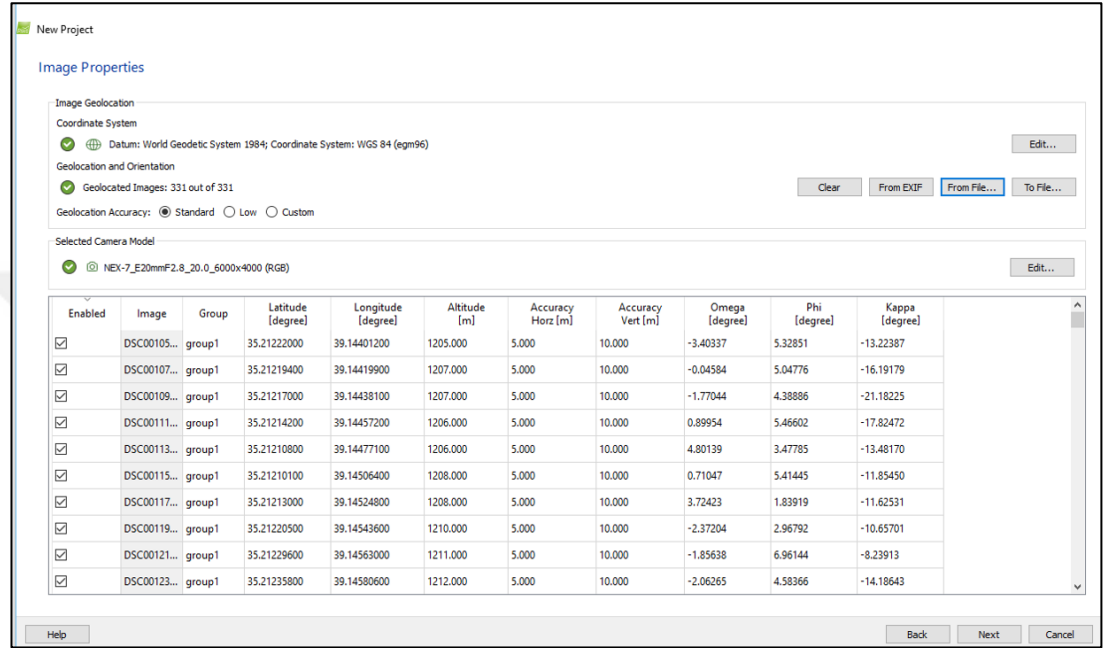


Şekil 4.10 : Pix4d programında görüntü ekleme.

Eklenen görüntülerde gömülü olan resmi orta noktalarındaki enlem, boylam ve yükseklik GPS değerleri otomatik olarak gelmektedir. Pix4d yazılımında standart olarak yatayda 5 m ve düşeyde 10 m doğruluk kriterleri gelmektedir. Konum

doğruluğunu arttırmak için görüntülerin dış parametreleri ayrı bir dosyadan eklenebilmektedir. PUMA İHA ‘da uçuş sonrası log dosyasından omega, phi ve kappa değerleri entegre edilmiştir.

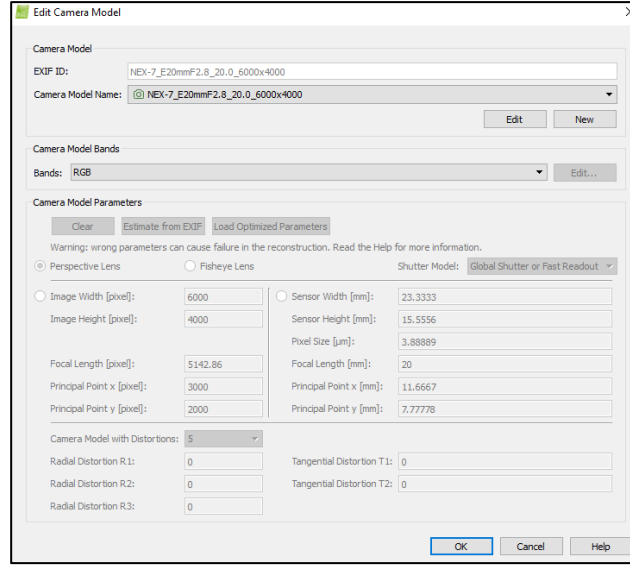
Şekil 4.11’ de Pix4d programında görüntülerin konum bilgisinin eklendiği görülmektedir.



Şekil 4.11 : Pix4d programında görüntülerin konum bilgilerini ekleme.

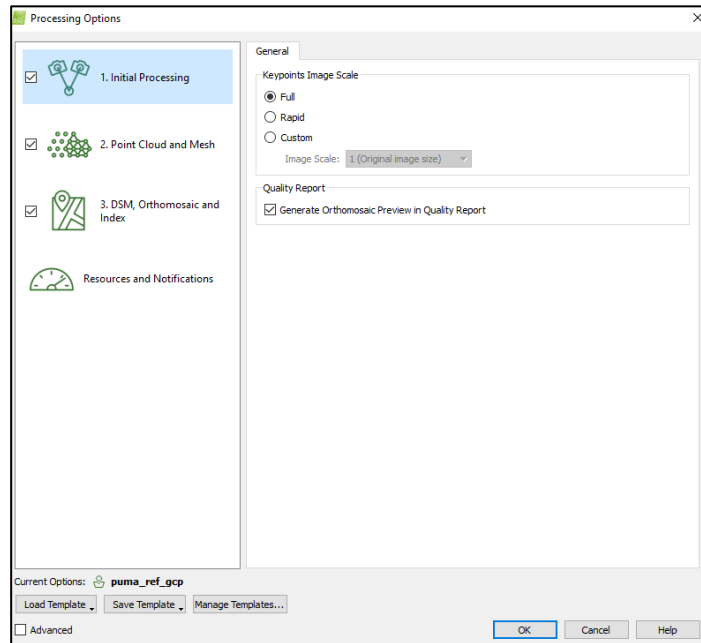
Bilindiği üzere fotogrametride en önemli işlem adımlarından biri kameranın iç parametrelerin kalibrasyonunun yapılmasıdır. Bu programda, bilinen bazı kamera modelleri önceden tanımlanmıştır. Bu projede kullanılan Nex7 markalı 24 megapiksel kamera ve Sony EXMOR markalı 12 megapiksel kameranın parametreleri otomatik olarak alınabilmektedir. İHA’ larında kullanılan kameralar metrik kameralardır. Bu kameralar önceden kalibre edilmiş ve fotogrametrik testlerden geçirilerek kullanıcıya sunulmuştur. Metrik olmayan kameralar için iç yöneltme elemanları elde edilerek yazılımda mauel olarak da girilebilir. Özel çalışmalarda kameranın distorsiyonları ek olarak girilmelidir.

İç yöneltme parametre olarak Pix4d programında kameranın özelliklerinin eklenmesi Şekil 4.12’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.12 : Pix4d programında kameranın özelliklerini ekleme.

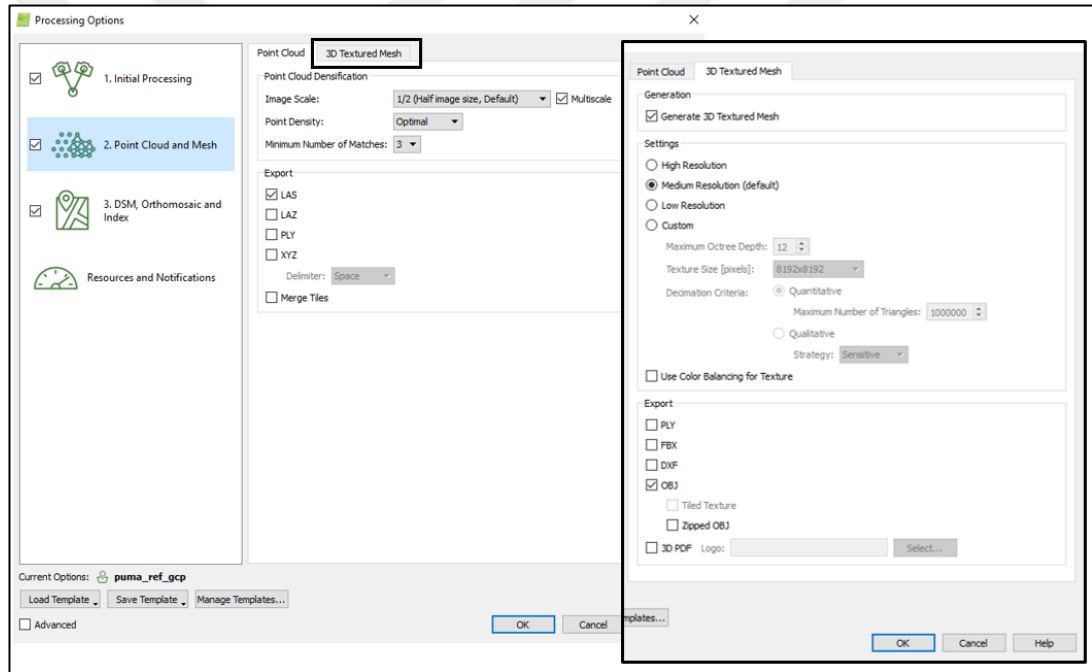
İç ve dış yöneltme parametreleri manuel ya da otomatik entegre edildikten sonra sonuç ürünlerin istenilen kriterlere göre seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada öncelikle sonuç ürünün koordinat sistemi WGS84 / UTM zone 36 olarak belirlenmiştir. İşlem süreçlerinde sırasıyla başlangıç işlem, nokta bulutu ve birleştirme, SYM (sayısal yüzey modeli) ve ortomozaik oluşturma yapılmaktadır. Bunlardan ilkinde Şekil 4.13’ te görülen ananokta görüntü ölçeği seçimi yapılmaktadır. Yapılan çalışmada otomatik olarak seçilen full versiyon seçilmiştir. Tam görüntü ölçeğinin yanı sıra hızlı ya da isteğe bağlı seçim de yapılabilir.



Şekil 4.13 : Pix4d programında başlangıç işlem opsiyonları.

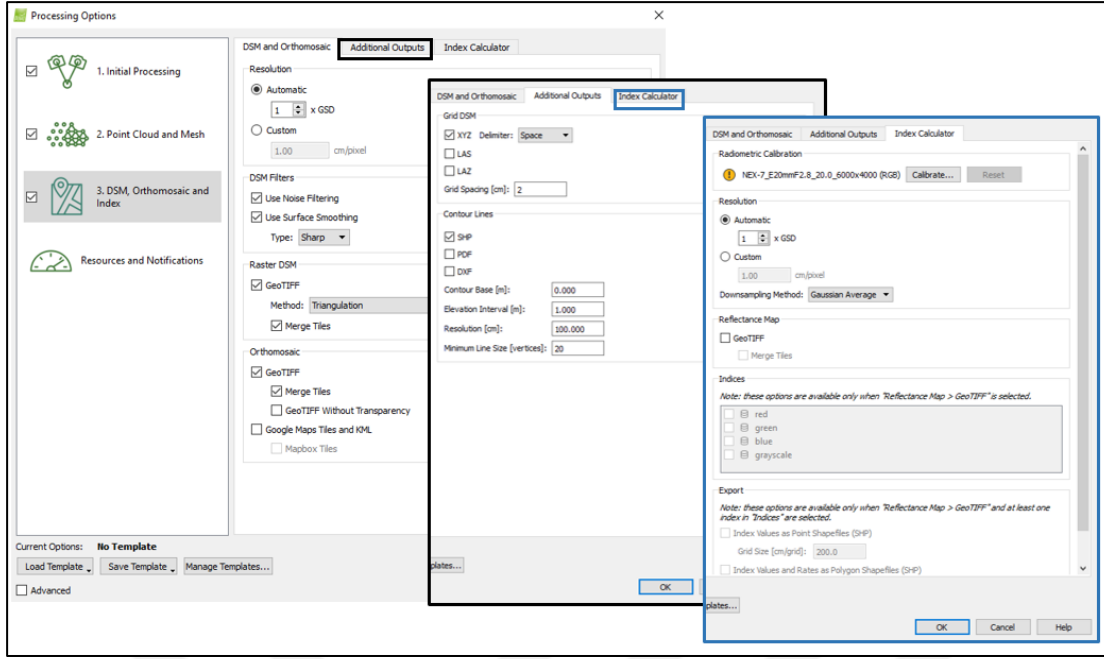
Sonrasında nokta bulutu oluşturmada görüntü ölçeği bir pikselin yarısı (otomatik) olarak seçilmiştir. Nokta bulutunun yoğunluğu hızlı (nokta sayısı az), optimum ya da yavaş (nokta sayısı fazla) kriterlere göre değişmektedir. Ortalama bir hız ile görüntü işleme beklentisi ile optimum seviye tercih edilmiştir. Otomatik eşleme için en az 3 nokta sayısı belirlenmiştir. Bu sayı arttıkça her bir görüntüde eşleşme araması artacağından işlem süresi uzayacaktır. Ancak doğru eşleşme olanağı artacaktır. Oluşturulan nokta bulutu üzerine orta çözünürlüklü doku oluşturulmuştur. Nokta bulutu LAS, LAZ, PLY, XYZ formatlarında, doku giydirilmiş 3 boyutlu görüntü ise PLY, FBX, DXF, OBJ gibi farklı formatlarda sonuç ürün olarak üretilebilir. Bu çalışmada olabildiğince yazılım tarafından önerilen seçimler değerlendirilmiştir.

Seçilen parametreler Şekil 4.14’ te gösterilmiştir.



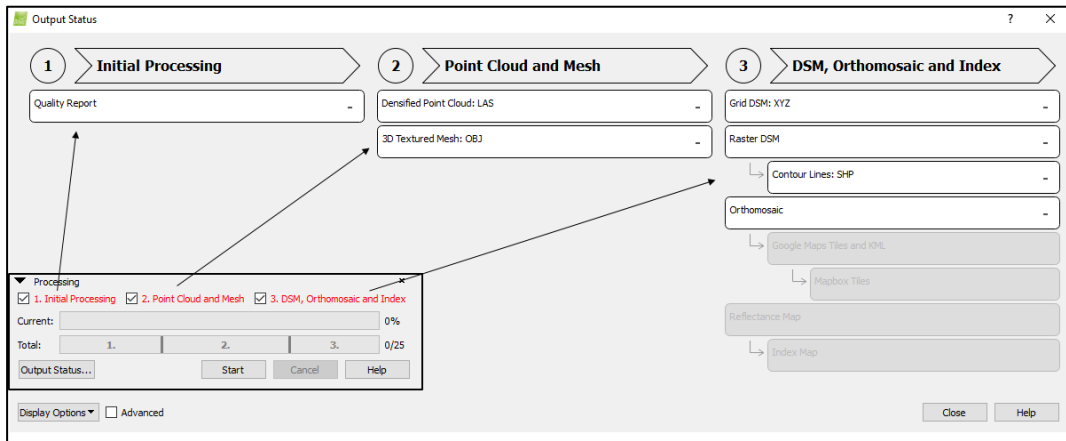
Şekil 4.14 : Pix4d programında nokta bulutu ve birleştirme opsiyonları.

Son olarak sayısal yüzey modeli ve ortomozaik işlemleri için kriterler belirlenmiştir. Öncelikle çözünürlük otomatik olarak bir yer örnekleme aralığı kadar seçilmiştir. SYM filtresi olarak gürültü filtresi ve yüzey yumuşatma keskin (yumuşak ya da orta seçenekleri) parametresi tercih edilmiştir. Ortomozaik görüntü ise parçaların birleştirilmesiye oluşturulacaktır. İstenildiği takdirde KML dosyası ile üretilen ortomozaik harita GoogleEarth’ e aktarılabilir. Ayrıca belirlenen gridlerde farklı format olarak SYM üretilebilir. Eş yükselti eğrileri de bu yazılım sayesinde otomatik oluşturulmaktadır (Şekil 4.15) .



Şekil 4.15 : Pix4d programında SYM ve ortomozaik işleme opsiyonları.

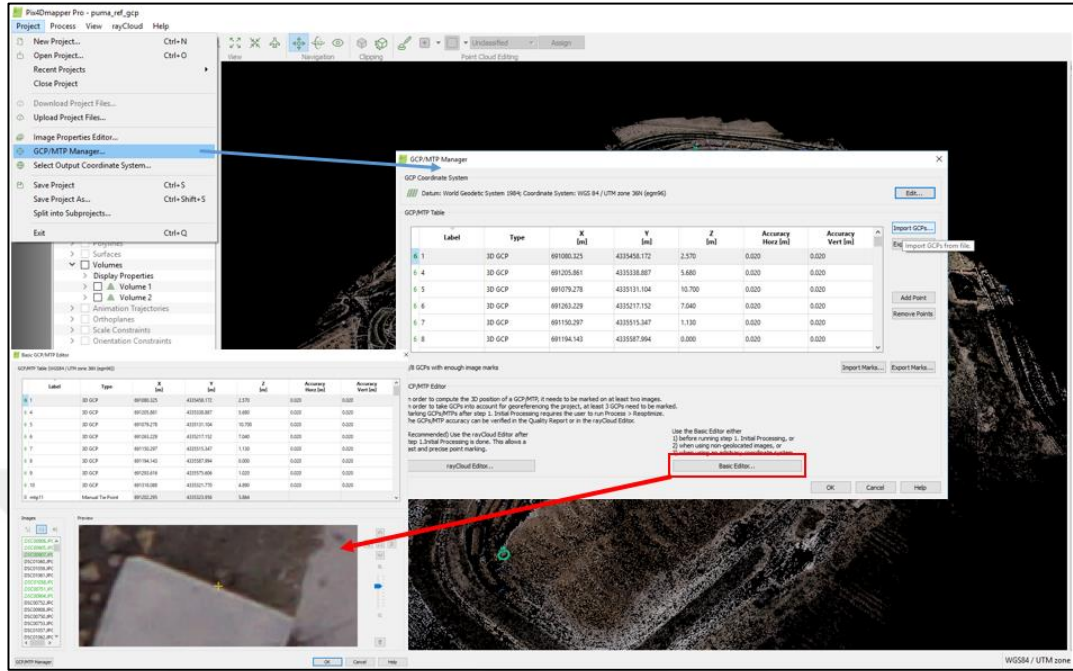
Tüm kriterler girildikten sonra otomatik işleme başlar ve Şekil 4.16’ da görülen kısımda takip edilir. Başlangıç işlemi tamamlanınca raporun ilk kısmı oluşur ve istenilen sonuçlarla uyumlu görülmediğinde işlem yenilenerek tekrar başlatılır. Bu yazılımın dezavantajı olarak ara işlem sırasına geri dönmek mümkün olmaması söylenebilir.



Şekil 4.16 : Pix4d programında süreç takibi.

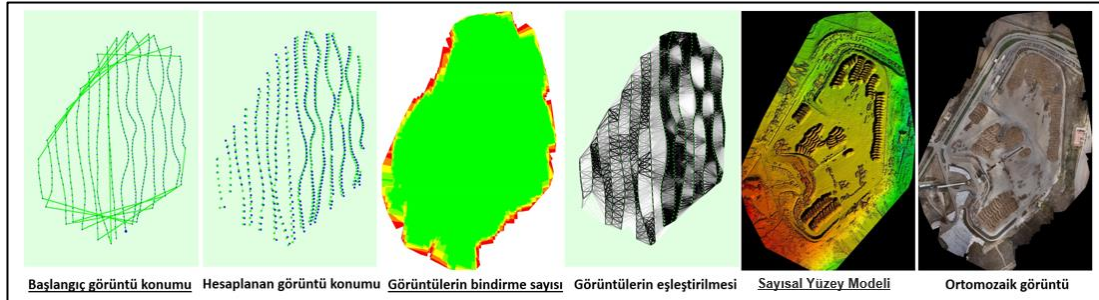
İşlem adımları için kriterler seçildikten sonra işlemi başlatmadan önce isteniyorsa yer kontrol noktaları işaretlenmelidir. Bu işlem YKN yönetim aracından yapılmaktadır. GPS ile ölçülen noktaların koordinatları eklenir ve görüntü üzerinde doğru konumları birkaç fotoğrafta işaretlenir (Şekil 4.17) . Doğruluğu arttırmak için bir nokta için fazla

sayıda görüntü de konumun bulunmalıdır. Otomatik olarak eşleşmenin yetersiz olduğu alanlarda bağlayıcı noktalarda eklenebilir.



Şekil 4.17 : Pix4d programı yer kontrol noktası işaretleme işlemi.

Tüm bu işlemler bittikten sonra Şekil 4.18’ de Pix4d yazılımı sonuç raporundan alınmış işlem sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.18 : Pix4d programı sonuç rapor görüntüleri.

4.5 Verilerin Değerlendirilmesi

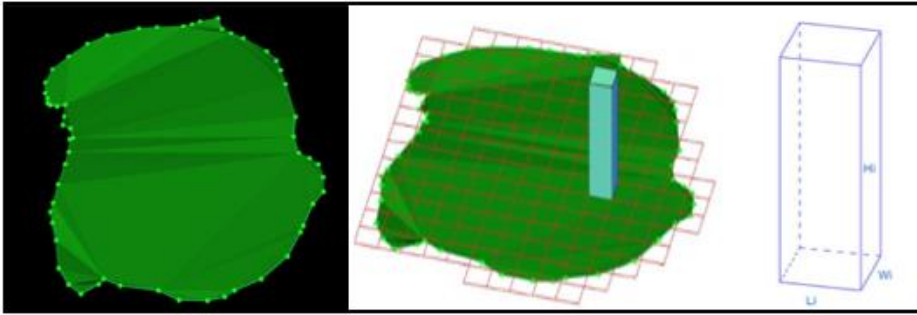
Bu uygulamada farklı İHA’ larından elde edilen görüntülerin Pix4d yazılımı ile işlenmesi sonucu oluşan SYM ve ortomozaik haritalarının kıyaslanması hedeflenmiştir. Özellikle alanda bulunan şekerpancarı silolarının farklı ölçümlere göre oluşturduğu hacimsel farklılık araştırılmıştır. Yığın alanlarının gerçek hacim değerlerinin bulunmaması bu amaçta sorun teşkil etmiş olsa da literatür araştırmalarına

göre yapılan üç ölçümden PUMA İHA'sının ölçüm sonuçlarının referans veri olarak kullanılması uygun görülmüştür.

Bu bağlamda öncelikle fotogrametrik yöntemle yapılan hacim hesabı yöntemleri incelenmiştir. Literatür araştırmasının yanı sıra pix4d programının hacim hesabındaki verimliliğini test etme amaçlı , Finlandiya'da yapılan “odun yığın alanlarının hacimsel hesabı” örnek veri seti “<http://www.mosaicmill.com/download.html>” bağlantısından indirilmiştir (Url-5) .

4.5.1 Hacim ve alan hesaplaması

Yapılan çalışmada Pix4d yazılımında Delaunay üçgenleme yöntemiyle SYM' ler oluşturulmuştur. Bu SYM'ler üzerinden hacim hesabı yapılmıştır. Öncelikle Pix4d yazılımının kullanım kılavuzundan hacim hesabı incelenmiştir (Url-2). Pix4d programında her bir grid Şekil 4.19 'da görüldüğü gibi yer örnekleme aralığı ile ifade edilmektedir.



Şekil 4.19 : Pix4d programında hacim hesaplaması.

Buna göre hacim hesabı her bir grid için ayrı ayrı şu şekilde hesaplanır;

$$V_i = L_i * W_i * H_i \quad (4.2)$$

L_i = Hücrenin uzunluğu,

W_i = Hücrenin genişliği,

H_i = Hücrenin yüksekliği olmak üzere hücrelerin genişlik ve uzunlukları eşit olduğundan,

$$L_i = W_i = YÖA \quad (4.2)$$

Yükseklik değeri ise,

$$H_i = ZT_i - ZB_i \quad (4.3)$$

ZT_i = Hücrenin merkezindeki arazi yüksekliği

ZB_i = Hücrenin merkezindeki temel yüksekliği ifade etmektedir.

Sonuç olarak her hücrenin hacmi,

$$V_i = YÖA * YÖA * (ZT_i - ZB_i) \quad (4.4)$$

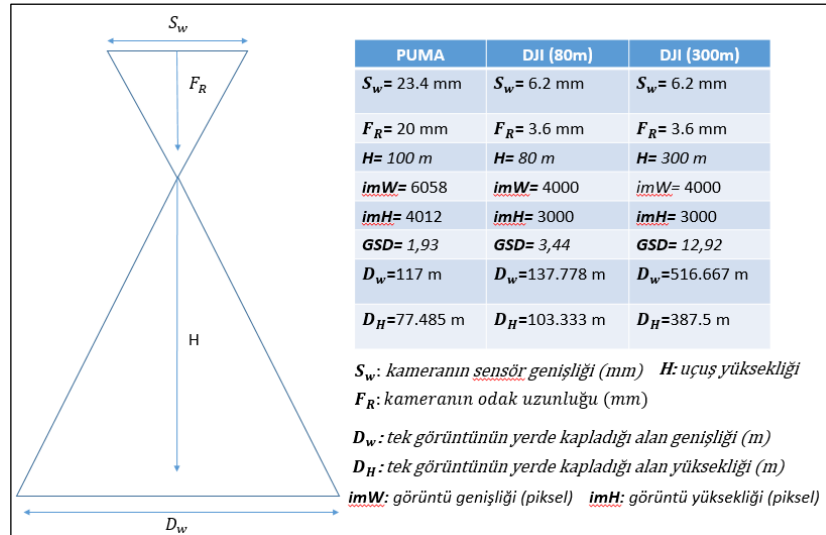
ile bulunmaktadır.

Görüldüğü üzere Pix4d programında yapılan hacim ölçümlerinde yer örnekleme aralığı (Ground Sample Distance - GSD) doğrudan hacim hesabını etkiler. Yer örnekleme aralığı (YÖA) hesabı Pix4D yazılımında aşağı belirtilen formülüne göre hesaplanır.

$$YÖA \text{ (cm/piksel)} = \frac{\text{Kameranın sensör genişliği (mm)} \times \text{Uçuş yüksekliği (m)} \times 100}{\text{Kameranın gerçek odak uzaklığı (mm)} \times \text{Görüntünün genişliği (piksel)}} \quad (4.5)$$

ile bulunmaktadır.

Şekil 4.20' de hesaplanan YÖA parametreleri ve sonuçları belirtilmiştir.



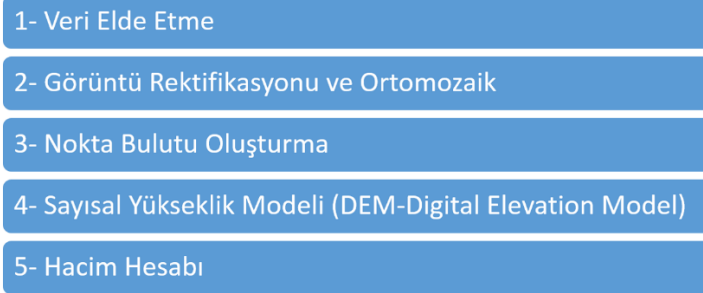
Şekil 4.20 : YÖA parametreleri ve sonuçları.

Hacim hesabı yapabilmek için öncelikle, görüntü işleme esnasında fotoğraflardaki yerlere karşılık gelen her piksel fotogrametri yazılımı tarafından ayrı ayrı kaydedilir. Yazılım bu verilerden *.LAS formatında nokta bulutu oluşturur. Nokta bulutundan

Delaunay üçgenleme ve Kriging enterpolasyon yöntemleri olmak üzere iki farklı yöntemle SYM (DSM - Digital Surface Model), ArcGIS ve GlobalMapper yazılımlarıyla oluşturulmuştur. SYM' lerin karşılaştırılması yapılabilmesi için örnekleme aralığı 0.02 m olarak PUMA verisinin YÖA' na göre referanslanmıştır. Oluşturulan SYM verileri kullanılarak silonun hacim hesabı yapılmıştır. Referans temel yüzey olarak Sayısal Arazi Modeli (SAM) üretilmiştir. Temel yüzey ile 3 boyutlu arazi arasındaki kesilen hacim değerleri esas alınmıştır. Temel yüzey olarak iki farklı method kullanılmıştır. Birincisi yer kontrol noktaları kullanılmadığında yapılan ölçümler için geçerli olan ölçülecek alanın sınır yükseklik değerlerine göre tahmini üçgenleme yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. İkincisi ise silo yığın alanı dolmadan alınan görüntülerden oluşan SYM temel yüzey olarak kullanılmıştır. Bu methodlar ileriki kısımlarda değerlendirilmiştir.

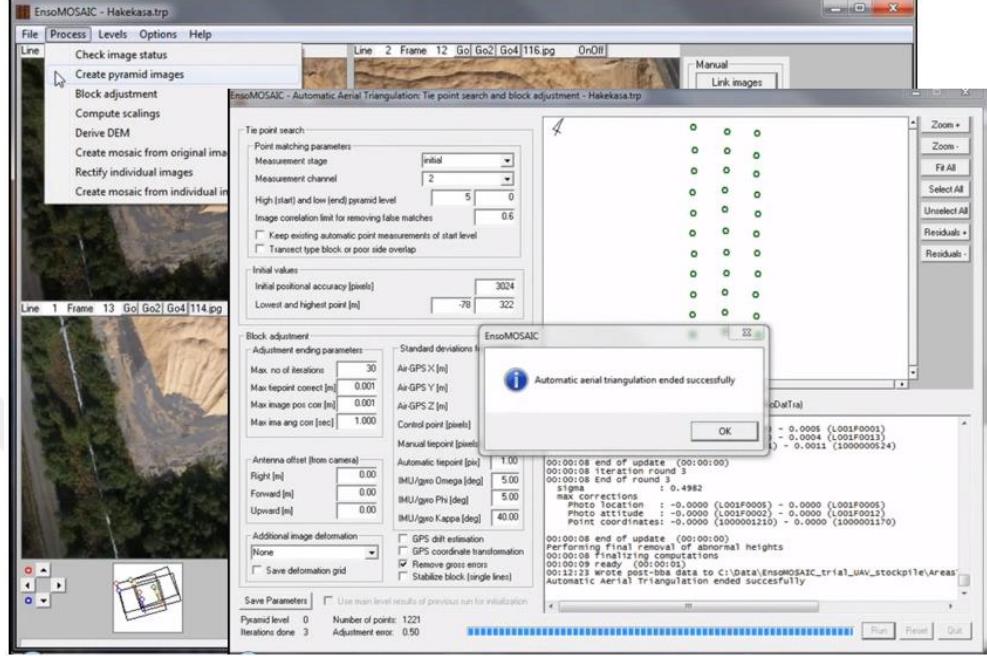
4.5.1.1 EnsoMosaic&EspaCity örnek stok alanı hacim hesabı

MosaicMill Ltd şirketi EnsoMOSAIC, 2009 yılında kurulan Finlandiya merkezli fotogrametrik yazılım firmasıdır. Hava görüntüleme sisteminin geliştirilmesi Finlandiya Teknik Araştırma ve Uygulama Merkezi ile işbirliği içinde başlatılmış ve günümüzde MosaicMill Ltd. tarafından sürdürülmektedir (URL-6). EnsoMosaic programı havadan veri toplama ve veri işlemeye yardımcı olan bir fotogrametrik yazılımdır. Uçuş planlaması, görüntü yakalama, görüntü işleme ile topografik haritalama ve 3 Boyutlu veri üretimi için uygun ve kullanışlı bir programdır (URL-5). Ayrıca yapılan örnek çalışmada ortomozaik işleminden sonra Espa System (EspaCity) olarak bilinen yine Finlandiya yapımı benzer bir yazılım ile nokta bulutu oluşturma ve hacim hesabı işlemini gerçekleştirmişlerdir. Finlandiya'da yapılan bu örnek yığın alanı çalışmasının işlem adımları Şekil 4.21'de verilmiştir.



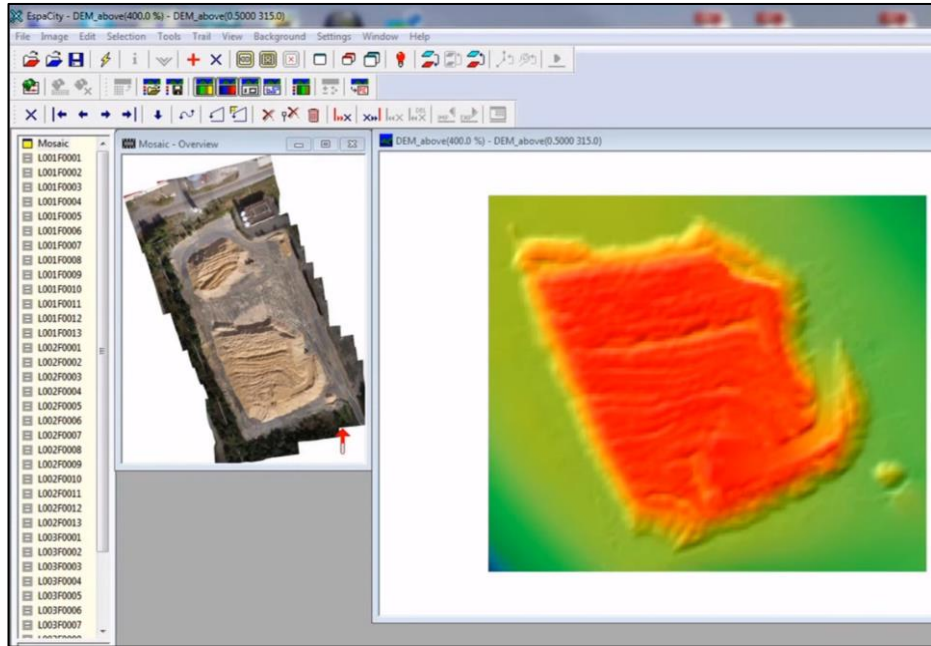
Şekil 4.21 : EnsoMosaic&EspaSystem işlem adımları.

Öncelikle 50m yükseklikten 12 Megapiksel Olympus dijital kamera ile alınan 40 adet görüntü yazılıma eklenmiş ve piramit görüntüler oluşturulmuştur. Ardından otomatik hava nirengi işlemi bağlayıcı nokta arama ve blok dengelemesiye gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.22) .



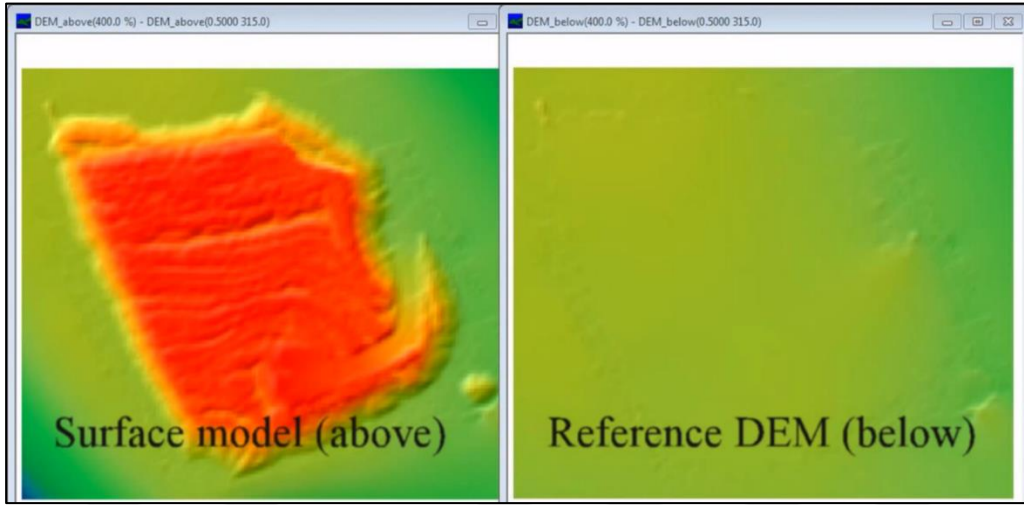
Şekil 4.22 : EnsoMosaic hava nirengi işlemi.

Sayısal yükseklik modeli oluşturulduktan sonra piksel büyüklüğü 20cm olan ortomozaik üretimi yapılmıştır (Şekil 4.23).



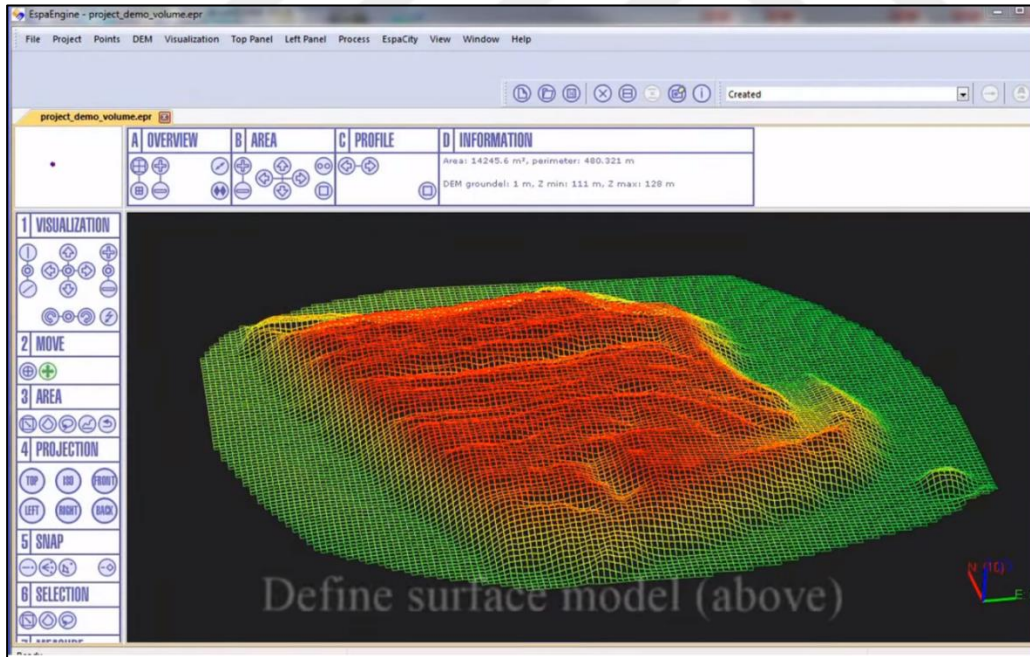
Şekil 4.23 : EspaCity ortomozaik ve sayısal yüzey modeli.

Hacim hesabı için sayısal yüzey modeli ve referans altlık olarak kullanılacak sayısal yükseklik modeli oluşturulmuştur (Şekil 4.24).



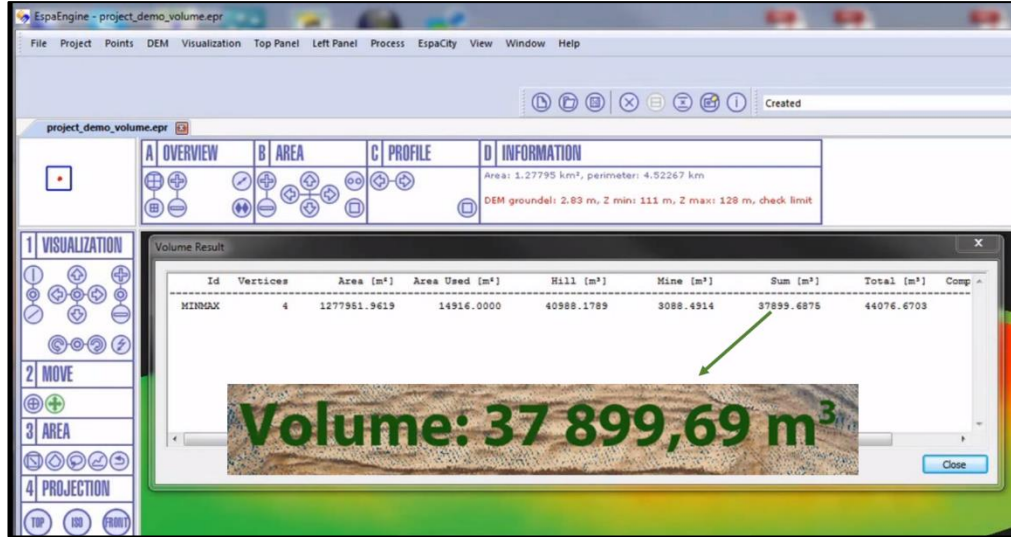
Şekil 4.24 : EspaCity sayısal yüzey ve sayısal yükseklik modeli.

Hacim hesabı EspaEngine modülü ile yapılmış olup Şekil 4.25’ te görülen düzenli grid yöntemi ile tanımlanmış sayısal yüzey elde edilmiştir.



Şekil 4.25 : EspaEngine sayısal yüzey modeli.

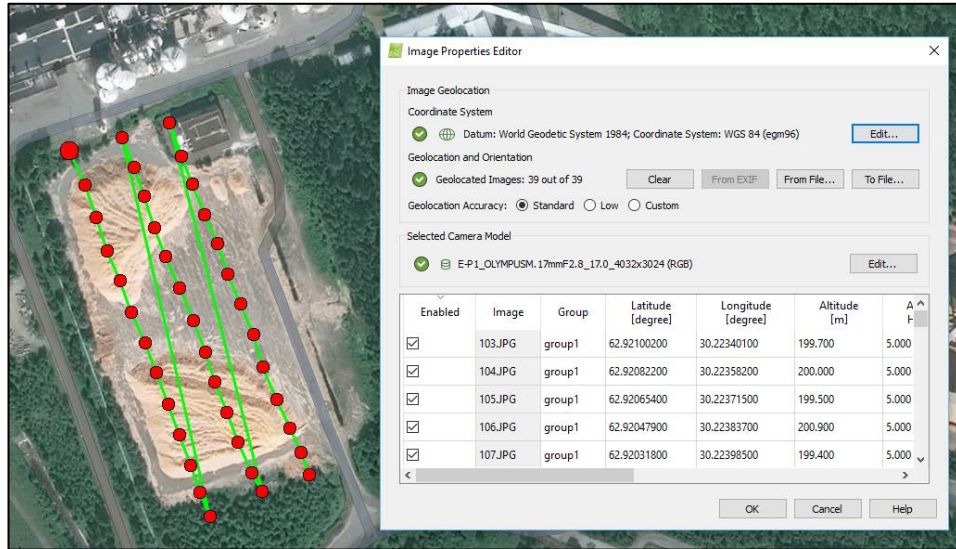
Hesaplanan hacim sonucunda ise ölçülen yığın alanı 14916 m^2 , hacmi ise $37899,69 \text{ m}^3$ olarak bulunmuştur (Şekil 4.26) .



Şekil 4.26 : EspaEngine alan ve hacim sonucu.

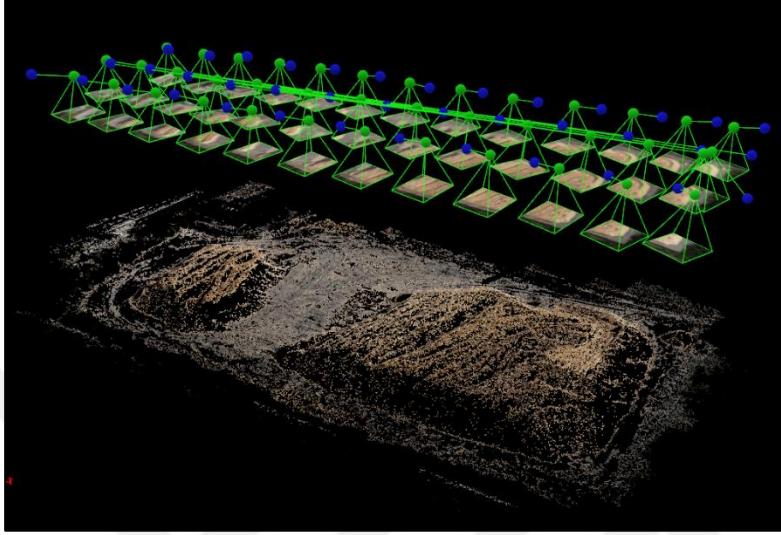
4.5.1.2 Pix4d örnek stok alanı hacim hesabı

Mosaicmill şirketinin sitesinden online olarak indirilen hakekasa (Fince:odun yığın alanı) veri setinde blok, görüntüler, mozaik ve arazi modelleri olmak üzere hem ham veri hem de EnsoMosaic& EspaSystem yazılımlarında işlenen sonuç ürünler mevcuttur (Url – 5). Bu örnek çalışma için ham veriler kullanılarak bölüm4.4’ te anlatılan kriterler seçilerek Pix4d görüntü işlem adımları gerçekleştirilmiştir. Mevcut görüntülerin GPS değerleri Pix4d yazılımına uygun olarak manuel düzenlenmiş ve oluşturulan dosyadan alınarak eklenmiştir (Şekil 4.27). Olympus dijital kameranın iç yöneltme elemanları bilinirken, dış yöneltme elemanları mevcut değildir. Ayrıca olması gereken yer kontrol noktası bilgisi paylaşılmamıştır.



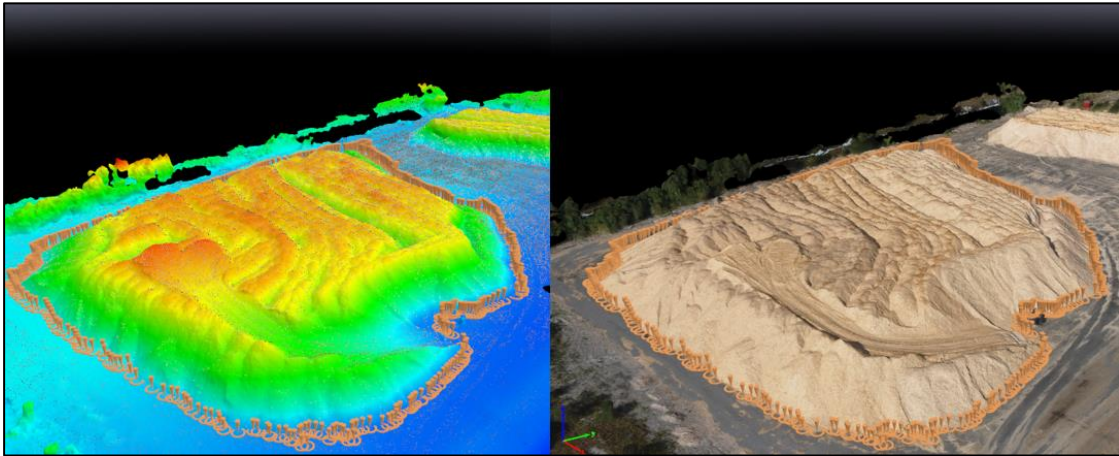
Şekil 4.27 : Pix4d programında hakekasa görüntülerin ve bilgilerin eklenmesi.

Bu örnek çalışmada uçuş planı Şekil 4.28’de görüldüğü üzere hassas şekilde planlanmış ve görüntü alımı boyuna bindirme oranı %80, enine bindirme oranı ise %60 olarak tanımlanmıştır. Otomatik olarak işlenen görüntüler sonucu yalnızca otomatik korelasyon ile sağlanan bağlayıcı noktalar Şekil 4.28’ de görülmektedir.



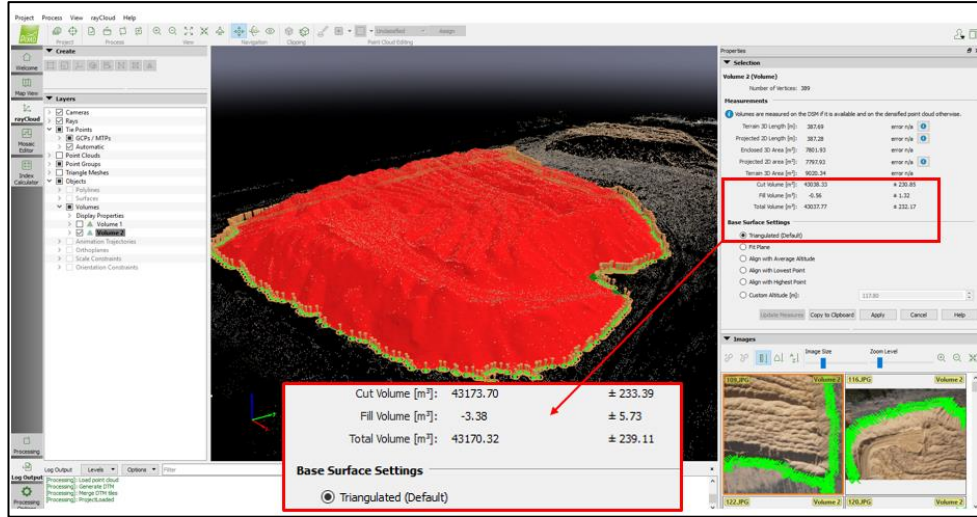
Şekil 4.28 : Pix4d programında üretilen hakekasa alanı bağlayıcı noktalar.

Üretilen nokta bulutu, yüzeyin kafes yapısı(mesh) ve gerçek görüntüsüyle elde edilmiş hali ile hacim hesabı yapılacak alan görülmektedir (Şekil 4.29). Hacim ölçümü için 389 adet nokta işaretlenerek poligon (kapalı alan) oluşturulmuş, ayrıca Global Mapper yazılımında kullanılmak üzere vektör halde .shp çıktısı hazırlanmıştır.



Şekil 4.29 : Pix4d programında üretilen hakekasa alanın 3B görünümü.

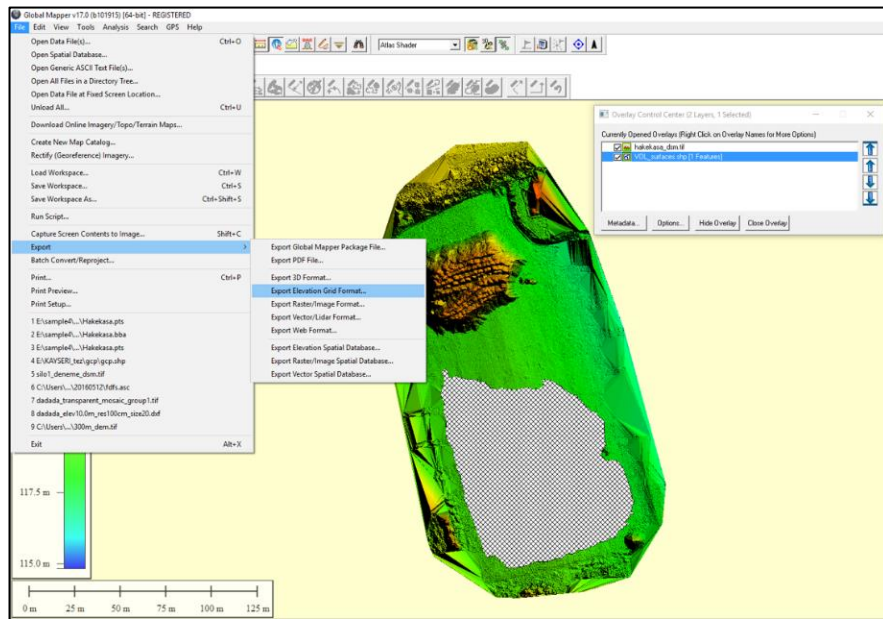
Pix4d yazılımının sağladığı hacim ölçümüne göre taban yüzey (varsayılan) üçgenleme modeli ile hesaplanarak kazı alanının hacmi 43173,70 m³ olarak bulunmuştur (Şekil 4.30).



Şekil 4.30 : Pix4d programında hacim hesabı.

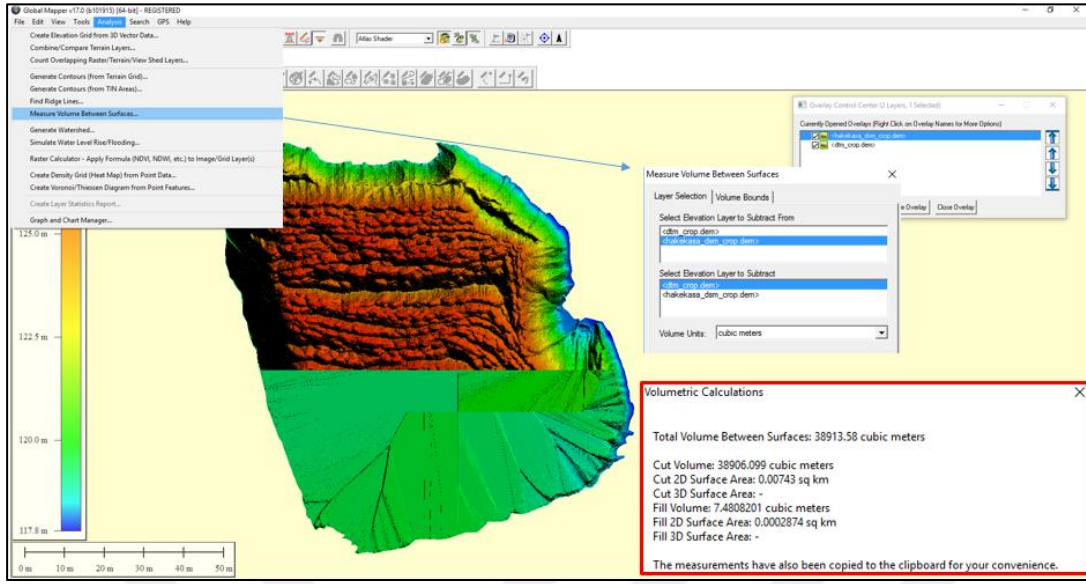
Hacim hesabının doğruluğunu arttırmak amaçlı Pixd yazılımı (Beta versiyonu) ile kazı öncesini tanımlayacak sayısal arazi modeli (DTM- Digital Terrain Model) üretimi yapılmıştır. Sayısal yüzey ve arazi modellerinin farkının sonucu ile odun yığın alanının gerçek hacmine ulaşılabacaktır.

Bu bağlamda Global Mapper yazılımından faydalanılarak sonuç ürünler hacimsel olarak değerlendirilmiştir. Pix4d yazılımı 3 boyutlu görünümde başarılı olduğu içi hacmi hesaplanacak alanın sayısallaştırılmasına öncesinde yapılarak Global Mapper formatına uyumlu sonuç ürünü elde edilmiştir. Şekil 4.31’de görüldüğü gibi tüm alandan yalnızca hesap yapılacak alan sayısal yüzey ve arazi modelinden kesilmiştir.



Şekil 4.31 : Pix4d programında üretilen hakekasa alanı bağlayıcı noktalar.

Şekil 4.32 ‘ de arazi modelinden yüzey modelin farkı ile hacim hesabı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.32 : Pix4d programında üretilen hakekasa alanı bağlayıcı noktalar.

Farklı parametrelerle ölçülen hacim değeri mutlak ve bağıl hata olarak Çizelge 4.3’ te verilmiştir. İki farklı yöntem ve programda yapılan hacim kıyaslamasına göre, en düşük bağıl hata; yığın oluşumu öncesi taban yüzeyin arazi modeli oluşturulmuş olan yüzey ile yığının sayısal yüzey modeli arasındaki farkının elde edilmesiyle oluşan hacim sonucunda görülmüştür. Diğer bir yöntemde ise yığının SYM üzerinden taban yüzeye göre sınırları belirlenip programın arazi modelini otomatik üçgenleme yöntemi ile oluşturması sonucu hacim sonuçları elde edilmiştir. Buna göre en fazla bağıl hatanın Pix4d programında otomatik olarak ölçülen hacim sonucunda olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.3 : Farklı parametrelere göre hacim kıyaslaması.

	Ölçülen Hacim (m ³)	Referans Hacim (m ³)	Bağıl Fark (m ³)	Bağıl Hata	Bağıl Hata %
GlobalMapper (taban yüzey SAM- DTM)	38906.09	37899.69	1006.4	0.026	2.60%
Pix4d (taban yüzey sınırlara göre üçgenleme)	43173.70	37899.69	5274.01	0.139	13.90%
GlobalMapper (taban yüzey sınırlara göre üçgenleme)	42497.85	37899.69	4598.16	0.123	12.13%

4.5.1.3 Şekerpancarı silo stok alanının hacim hesabı

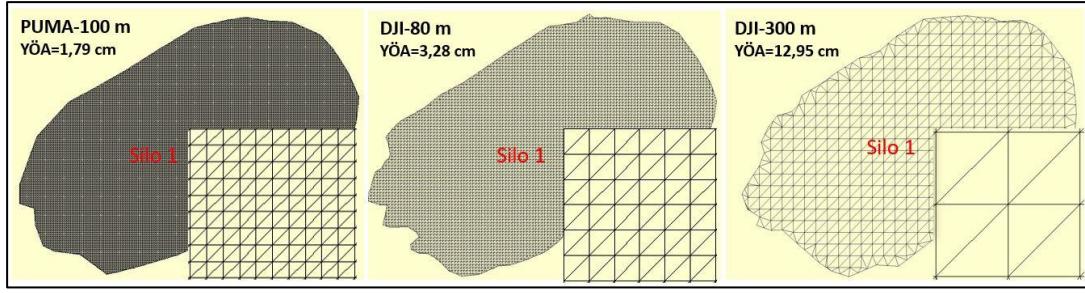
Yapılan literatür araştırması ve örnek stok alanı hacim hesabına göre Kayseri şeker fabrikasının Boğazlıyan bölgesinde yer alan tesisinden örnek bir silo stok alanı seçilmiştir. Bu seçim yapılırken multikopter ve sabit kanatlı İHA ile alınmış görüntülerin bulunduğu gün tercih edilmiştir. Ayrıca hacim hesabının sayısal arazi modeli ile doğrudan ilişkili olduğu görülmüş ve seçilen silo alanının boş araziye sahip olduğu tarih tespit edilmiştir. Bu araştırmaya göre kıyaslanacak koşullar göz önüne alınarak 10 Ekim 2015 tarihli multikopterle 80m den 12MP kamera ile alınan görüntülerden sayısal arazi modeli oluşturulmuştur.

Farklı parametrelere sahip dört proje ayrı ayrı bölüm 4.4’ te anlatıldığı şekilde Pix4d yazılımında yer kontrol noktalı ve yer kontrol noktasız olarak işlenmiştir (Şekil 4.33).



Şekil 4.33 : Farklı parametrelerdeki silo yığını nokta bulutu.

Oluşturulan nokta bulutunun hassasiyeti alınan görüntülerin yer örnekleme aralığı ile doğru orantılıdır (Şekil 4.34). Yer örnekleme aralığı bölüm 4.5.1 ‘de detaylı olarak açıklanmıştır.



Şekil 4.34 : Silo yığının için farklı yer örnekleme aralıkları.

DJI İHA'nın 80 m yükseklikten görüntü almasına rağmen PUMA İHA'sından daha büyük yer örnekleme aralığına sahip olduğu görülmektedir. Bunun sebebi Puma İHA'sının faydalı yükündeki kameranın 24 MP iken DJI İHA'nın ise 12 MP olmasıdır. YÖA küçük olan PUMA ile elde edilen silonun detaylı bilgi içermesi hacim hesabının doğruluğunun yüksek olacağını göstermektedir.

4.5.1.4 Yer kontrol noktasız silo hacim hesabı

Sabit kanatlı ve multikopter insansız hava araçları ile 13 Ekim 2015 tarihinde elde edilen görüntüler öncelikle yer kontrol noktaları kullanılmadan otomatik olarak Pix4d yazılımında işlenmiştir. Fabrika alanından seçilen bir silonun hacim ve alanı üç projede ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yer kontrol noktasız ölçümler olacağı için taban yüzey üçgenleme yöntemi ile program tarafından hesaplanmıştır (Şekil 4.35).

Volume 1 (Volume)	Puma- 100m	Volume 1 (Volume)	DJI- 80m	Volume 1 (Volume)	DJI- 300m
Number of Vertices: 54		Number of Vertices: 49		Number of Vertices: 35	
Measurements		Measurements		Measurements	
Volumes are measured on the DSM if it is available and on the densified		Volumes are measured on the DSM if it is available and on the densified		Volumes are measured on the DSM if it is available and on the densified	
Terrain 3D Length [m]: 103.06 error n/a		Terrain 3D Length [m]: 102.99 error n/a		Terrain 3D Length [m]: 102.42 error n/a	
Projected 2D Length [m]: 103.01 error n/a		Projected 2D Length [m]: 102.96 error n/a		Projected 2D Length [m]: 102.13 error n/a	
Enclosed 3D Area [m ²]: 661.15 error n/a		Enclosed 3D Area [m ²]: 682.21 error n/a		Enclosed 3D Area [m ²]: 698.54 error n/a	
Projected 2D area [m ²]: 660.88 error n/a		Projected 2D area [m ²]: 681.86 error n/a		Projected 2D area [m ²]: 697.38 error n/a	
Terrain 3D Area [m ²]: 763.58 error n/a		Terrain 3D Area [m ²]: 778.81 error n/a		Terrain 3D Area [m ²]: 788.14 error n/a	
Cut Volume [m ³]: 1289.35 ± 17.01		Cut Volume [m ³]: 1330.85 ± 32.95		Cut Volume [m ³]: 1288.69 ± 121.62	
Fill Volume [m ³]: -0.65 ± 0.75		Fill Volume [m ³]: -0.14 ± 0.58		Fill Volume [m ³]: -4.99 ± 12.12	
Total Volume [m ³]: 1288.70 ± 17.77		Total Volume [m ³]: 1330.70 ± 33.53		Total Volume [m ³]: 1283.70 ± 133.74	
Base Surface Settings		Base Surface Settings		Base Surface Settings	
Triangulated (Default)		Triangulated (Default)		Triangulated (Default)	

Şekil 4.35 : Pix4d ile YKN' sız hesaplanan silo sonuç raporları.

Bu hacim sonuçlarına göre en fazla tahmini hacim hatası DJI 300m ile üretilen sonuçta görülmekte olup +/- 121,62 m³ olarak bulunmuştur. Bunun en temel sebebi, yer örnekleme aralığının diğerlerine göre büyük olmasıdır. Hacim hesabı yapılırken her bir pikselin kapladığı alan ve sahip olduğu yükseklik değeri kullanıldığı için hata payı

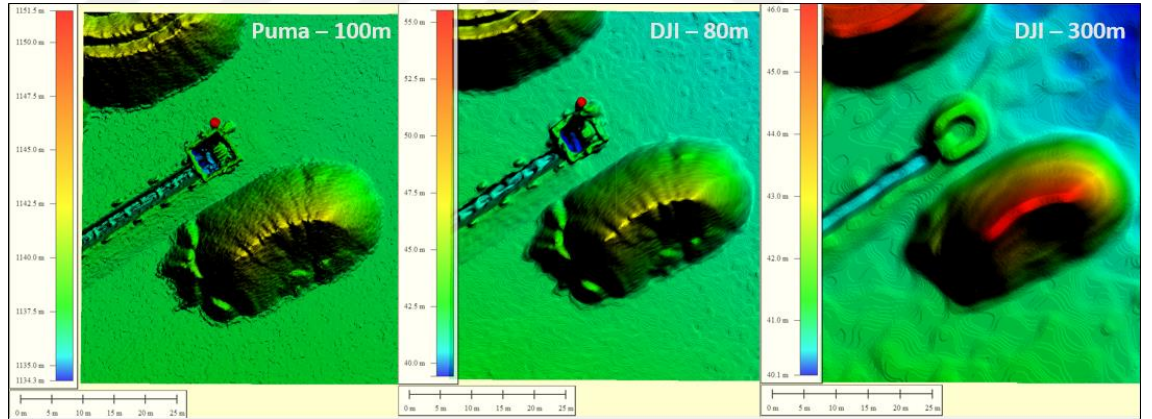
da buna göre hesaplanmıştır. Bu bağlamda YÖA ne kadar büyük olursa o kadar fazla bir hata payı oluşacaktır (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 : Pix4d ile hesaplanan YKN' sız silo yığını hacim sonuçları.

	Toplam Hacim (m³)	Kazı Hacimi (m³)	Kazı Alanı 3B (km²)	Dolgu Hacmi (m³)	Tahmini Hacim Hatası (m³)
Silo / Puma_100m	1288,70	1289,35	0.000763	-0,65	+/- 17,01
Silo / DJI_80m	1330,70	1330,85	0.000778	-0,14	+/- 32,95
Silo / DJI_300m	1283,70	1288,69	0.000788	-4,99	+/- 121,62

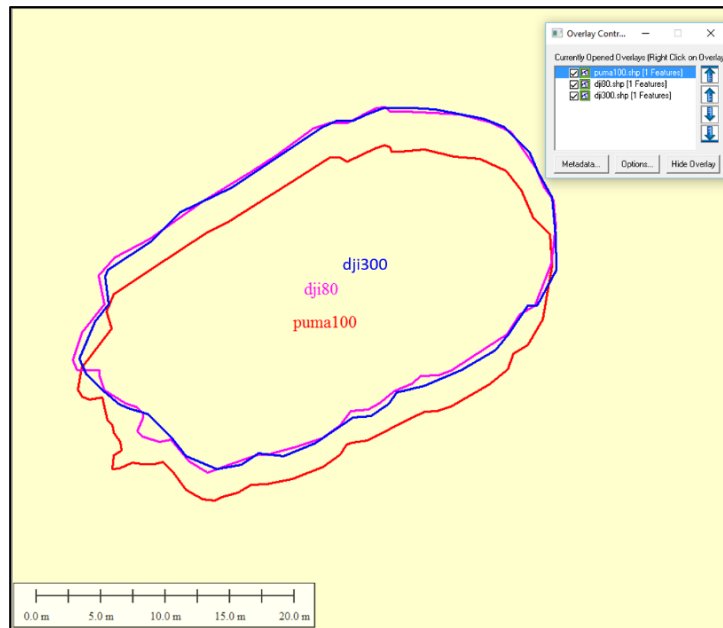
Bu hacim sonuçlarına göre en fazla tahmini hacim hatası DJI 300m ile üretilen sonuçta görülmekte olup +/- 121,62 m³ olarak bulunmuştur. Bunun en temel sebebi, yer örnekleme aralığının diğerlerine göre büyük olmasıdır. Hacim hesabı yapılırken her bir pikselin kapladığı alan ve sahip olduğu yükseklik değeri kullanıldığı için hata payı da buna göre hesaplanmıştır. Bu bağlamda YÖA ne kadar büyük olursa o kadar fazla bir hata payı oluşacaktır.

Üretilen sayısal yüzey modelleri ve ortomozaik haritalar Global Mapper yazılımında değerlendirilmiştir (Şekil 4.36).



Şekil 4.36 : Silo yığını için YKNsız oluşturulan SYMler .

Oluşturulan üç farklı proje için sayısal yüzey modelleri kullanılarak hacim ve alan hesabı yapılmıştır. Ölçümü yapılacak silo yığını ortomozaik görüntülerden yararlanılarak sayısallaştırılmıştır. Şekil 4.37' de görüldüğü üzere yer kontrol noktaları uygulanmadığı için DJI 80m ve 300m ölçümleri arasında yaklaşık 0.5 m konumsal fark görülürken, PUMA 100m ölçümü ile yaklaşık 3 m'lik fark gözlenmektedir. Hacim ve alan ölçümlerinde her proje için ayrı ayrı yapılan sayısallaştırma baz alınmıştır.



Silo yığını için farklı kriterlere göre ölçülen hacim değerleri hesaplanarak sonuçlar Çizelge 4.5’ te verilmiştir. Yapılan ölçümler doğruluk analizi kısmında tartışılacaktır.

	Toplam Hacim (m³)	Kazı Hacimi (m³)	Kazı Alanı 3B (km²)	Dolgu Hacmi (m³)	Dolgu Alanı 3B (km²)
Silo / Puma_100m	1304.082	1304.1177	0.000751	0.035733	0.0000076
Silo / DJI_80m	1316.0698	1316.0774	0.000759	0.007659	0.0000033
Silo / DJI_300m	1286.8568	1286.8732	0.000749	0.016414	0.0000038

Fotogrametri de bilindiği üzere yersel ölçmeler ile doğruluğu arttırmak mümkündür. Bu çalışmada yer kontrol noktalarının işleme dahil edilmesiyle hacim hesabına olan etkisi araştırılmıştır. Alınan kontrol noktaları otomatik işlemler başlamadan önce görüntüler üzerinde işaretlenmiştir. En az 8 görüntüde olmak üzere yer kontrol noktaları dört proje de işaretlenmiştir. Çözünürlük faktörü bu aşamada önemli olup sabit kanatlı PUMA ile çekilen 24 MP çözünürlüğe sahip görüntülerde YKN işaretlenmesi kolaylıkla yapılmıştır. Ancak bölge de uçuş öncesi şablon halinde YKN işaretinin yerleştirilmesi sonuç doğruluğunu arttıracaktır. Bu projede YKN'ları arazi üzerindeki objelerden tercih edilmiştir. Bu yüzden sonuçlar istenilen doğrulukta olmamıştır. Örnek yer kontrol noktaları Şekil 4.38' de gösterilmektedir.



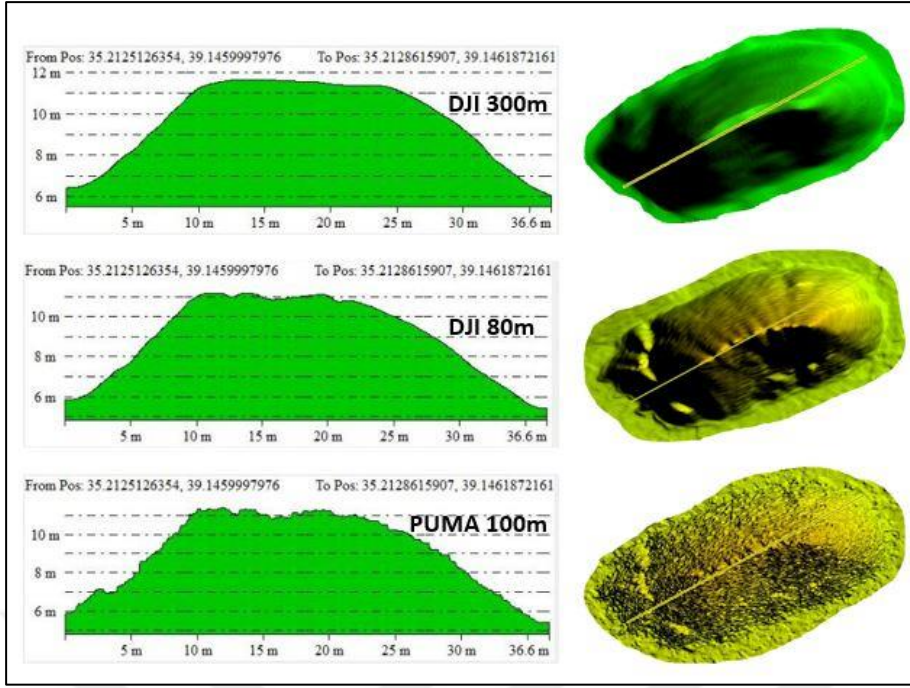
Şekil 4.38 : Örnek yer kontrol noktaları.

Var olan yer kontrol noktaları her bir projede ayırt edilebilen noktalarda işaretlenerek doğruluğun artması hedeflenmiştir. Buna göre çıkan karesel ortalama hatalar ve yer örnekleme aralıkları Çizelge 4.6’ da verilmiştir.

Çizelge 4.6 : YKN ‘ların karesel ortalama hataları.

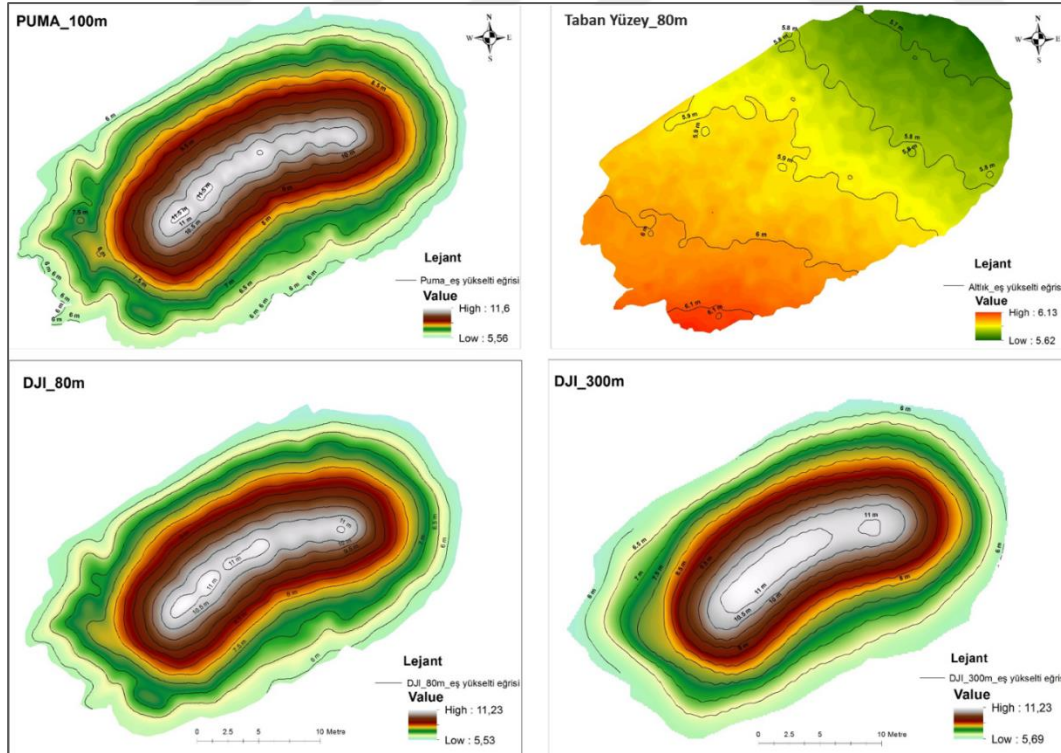
İHA	YÖA	YKN - RMS
PUMA AV (100m)	1,81 cm	0,079 m
DJI Phantom advanced (80m)	3,27 cm	0,096 m
DJI Phantom advanced (300m)	12,95 cm	0,503 m

Yer kontrol noktaları ile otomatik olarak görüntülerin işlenmesi sonucunda oluşan sayısal yüzey modeli Global Mapper yazılımında profil alınarak incelenmiştir. Sayısal yüzey modelinin farklılıkları Şekil 4.39’ da görülmektedir.



Şekil 4.39 : Silo sayısal yüzey model profilleri (SYM).

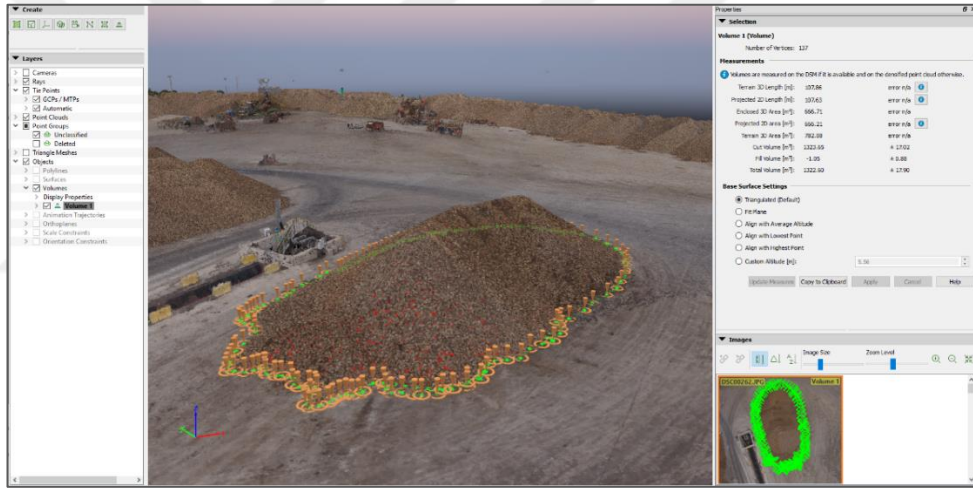
Ayrıca otomatik yöntemle üretilen SYM'lerden eş yükselti eğrileri geçirilerek yer örnekleme aralığının yüzey modele etkisi incelenmiştir (Şekil 4.40).



Şekil 4.40 : Farklı parametrelerden oluşturulan eş yükselti eğri haritaları.

Eş yükselti eğrileri 0.5 m aralıklarla yüzey model üzerinden üretilmiştir. Yukarıda görüldüğü üzere, yükselti eğrilerinde yer örnekleme aralığına göre detay oluşumu değişmektedir. Yaklaşık 2 cm YÖA' na sahip Puma (100m) ile üretilen silo yığınının yüzey modelinde yükseklik bilgisi, yaklaşık 12 cm YÖA olan DJI (300m)' a göre daha detaylıdır. Çözünürlüğü diğer İHA' ya göre yüksek olan Puma' da silo yığının maksimum yüksekliği 11.6 m iken DJI ölçümlerinde 11.23 m olarak bulunmuştur. Doğruluk analizi bölümünde yükseklik farkları detaylı olarak incelenmiştir.

Otomatik olarak fotogrametrik yöntemlerle değerlendirilen projelerin irdelenmesi sonrasında hacim hesabı işlemine geçilmiştir. Yer kontrol noktaları ile işlenen görüntülerden oluşturulan silonun hacim ve alan hesabı farklı yöntemlerle yapılmıştır. Öncelikle Pix4d programında ölçümü yapılacak silo 3 boyutlu model üzerinden noktalar işaretlenerek poligon oluşturulmuştur (Şekil 4.41).



Şekil 4.41 : Silo sayısal yüzey model profilleri (SYM).

Program tarafından Delaunay üçgenleme yöntemi ile temel yüzey otomatik hesaplanmıştır. Her üç projede sonuçlar Şekil 4.42 ve Çizelge 4.7' de verilmiştir.

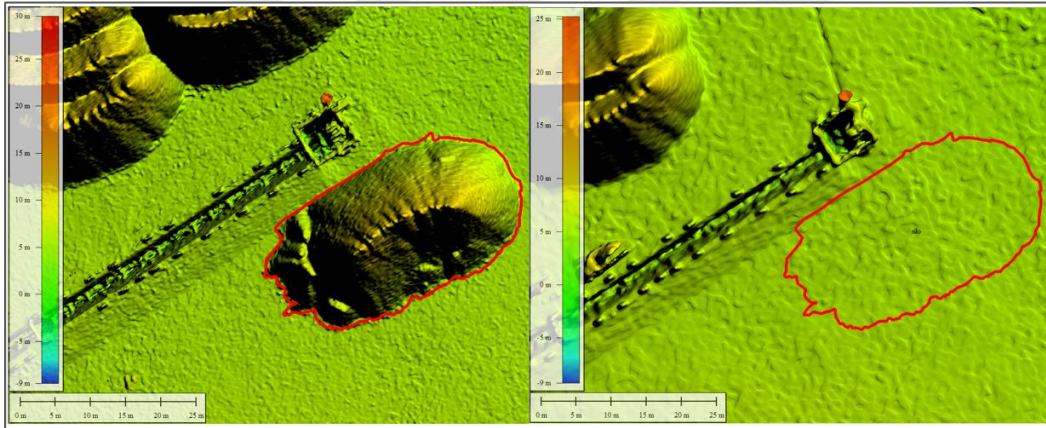
Volume 1 (Volume) PUMA-100m	Volume 1 (Volume) DJI – 80m	Volume 1 (Volume) DJI – 100m
Number of Vertices: 137	Number of Vertices: 162	Number of Vertices: 44
Measurements	Measurements	Measurements
Volumes are measured on the DSM if it is available and on the densified point cloud otherwise.	Volumes are measured on the DSM if it is available and on the densified point cloud otherwise.	Volumes are measured on the DSM if it is available and on the densified point cloud otherwise.
Terrain 3D Length [m]: 107.86 error n/a	Terrain 3D Length [m]: 105.37 error n/a	Terrain 3D Length [m]: 100.34 error n/a
Projected 2D Length [m]: 107.63 error n/a	Projected 2D Length [m]: 105.10 error n/a	Projected 2D Length [m]: 100.10 error n/a
Enclosed 3D Area [m²]: 666.71 error n/a	Enclosed 3D Area [m²]: 658.94 error n/a	Enclosed 3D Area [m²]: 678.32 error n/a
Projected 2D area [m²]: 666.21 error n/a	Projected 2D area [m²]: 658.08 error n/a	Projected 2D area [m²]: 676.74 error n/a
Terrain 3D Area [m²]: 782.08 error n/a	Terrain 3D Area [m²]: 751.89 error n/a	Terrain 3D Area [m²]: 765.42 error n/a
Cut Volume [m³]: 1323.65 ± 17.02	Cut Volume [m³]: 1251.44 ± 31.07	Cut Volume [m³]: 1221.33 ± 115.06
Fill Volume [m³]: -1.05 ± 0.88	Fill Volume [m³]: -0.50 ± 1.12	Fill Volume [m³]: -7.63 ± 14.69
Total Volume [m³]: 1322.60 ± 17.90	Total Volume [m³]: 1250.94 ± 32.19	Total Volume [m³]: 1213.69 ± 129.75
Base Surface Settings	Base Surface Settings	Base Surface Settings
☒ Triangulated (Default)	☒ Triangulated (Default)	☒ Triangulated (Default)

Şekil 4.42 : Pix4d ile hesaplanan silo sonuç raporları.

Çizelge 4.7 : Pix4d ile hesaplanan YKN' lı silo yığını alan ve hacim sonuçları.

	Toplam Hacim (m³)	Kazı Hacimi (m³)	Kazı Alanı 2B (km²)	Dolgu Hacmi (m³)	Tahmini Hacim Hatası (m³)
Silo / Puma_100m	1322.60	1323.65	0.000666	1.05	+/- 17.02
Silo / DJI_80m	1250.94	1251.44	0.000658	0.50	+/- 31.07
Silo / DJI_300m	1213.69	1221.33	0.000676	7.63	+/- 115.06

İncelenen örnek stok alanı uygulamasında olduğu gibi temel yüzey oluşturularak silonun hacmi hesaplanmıştır. Bu kapsamda projenin 10 Ekim 2015 tarihinde DJI ile 80m' den alınan görüntüleri işlenmiş ve silonun arazi yüzeyi oluşturulmuştur. Global Mapper programıyla örnek uygulamada kullanılan “farklı yüzeyler arasındaki hacim ölçümü” aracı ile yapılmıştır. Aşağıda silo için oluşturulan sayısal yüzey modeli ve sayısal arazi modeli görülmektedir (Şekil 4.43). Hesaplanan hacim sonuçları ise Çizelge 4.8' de verilmiştir.



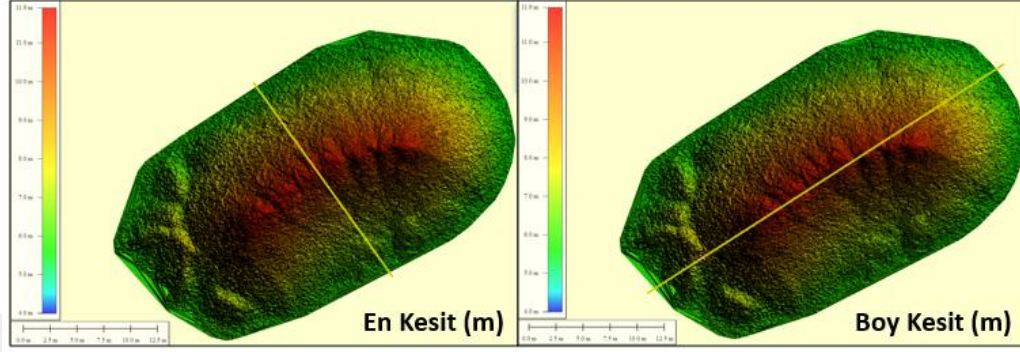
Şekil 4.43 : Sayısal yüzey modeli ve sayısal arazi modeli.

Çizelge 4.8 : Taban yüzeye göre YKN' lı silo yığını alan ve hacim sonuçları.

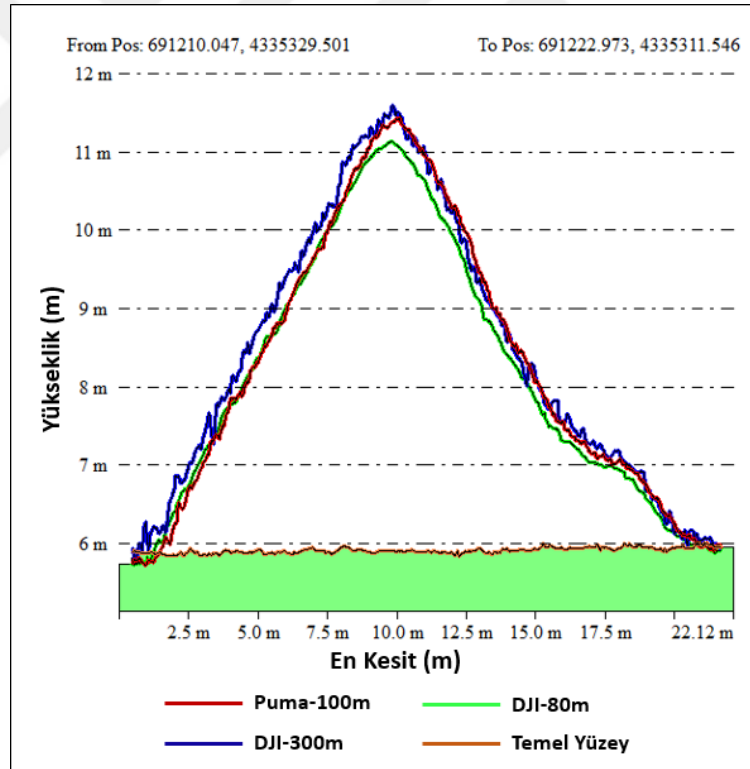
	Toplam Hacim (m³)	Kazı Hacimi (m³)	Kazı Alanı 2B (km²)	Dolgu Hacmi (m³)	Dolgu Alanı 2B (km²)
Silo / Puma_100m	1322.9181	1322.0869	0.000622	0.831127	0.000024
Silo / DJI_80m	1245.7877	1242.7877	0.000613	2.377523	0.0000433
Silo / DJI_300m	1365.5712	1356.9326	0.000639	0.638569	0.0000119

Bu çalışmada sayısal yüzey modeli üretiminde iki farklı yöntem kıyaslaması araştırıldığı için analiz edilen silo yüzey modeli Delaunay üçgenleme ve Kriging enterpolasyon yöntemleri kullanılarak oluşturulmuştur. Bunun için Pix4d programında üretilen tüm alanın nokta bulutundan test edilen silo alanı kesilmiştir. Global Mapper

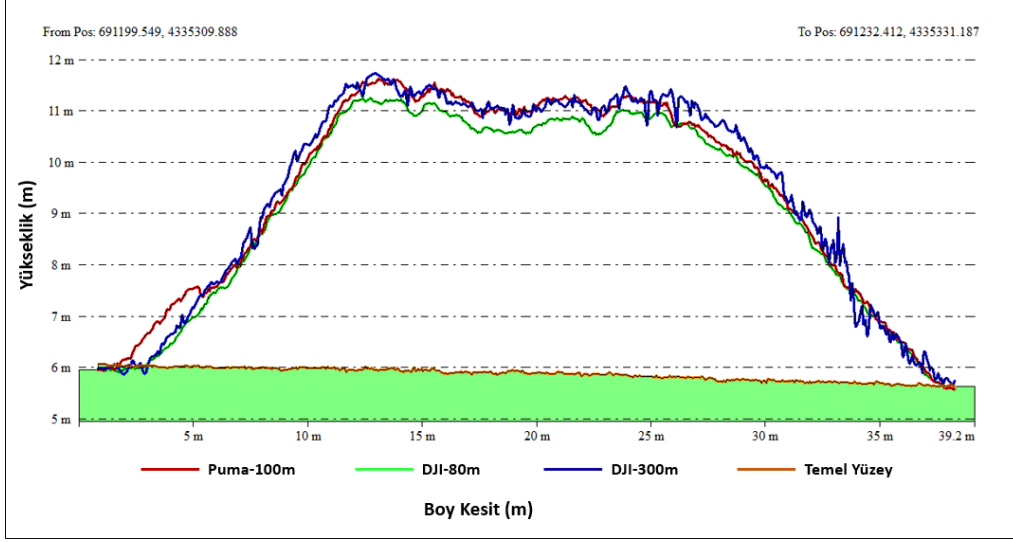
programı ile yer örnekleme aralığı en küçük olana ortalama 2 cm Puma verisine göre referanslanmış ve Delaunay üçgenleme yöntemiyle .DEM, .LAS ve .SHP formatlarında oluşturulmuştur. Üçgenleme modeli ile üretilen SYM' lerin farklılıklarını gözlemleyebilmek için silo yığımından en kesit ve boy kesit alınmıştır (Şekil 4.44, Şekil 4.45 ve Şekil 4.46).



Şekil 4.44 : Analiz edilen en kesit ve boy kesit.



Şekil 4.45 : Delaunay üçgenleme yöntemi ile üretilen SYM en kesitleri.



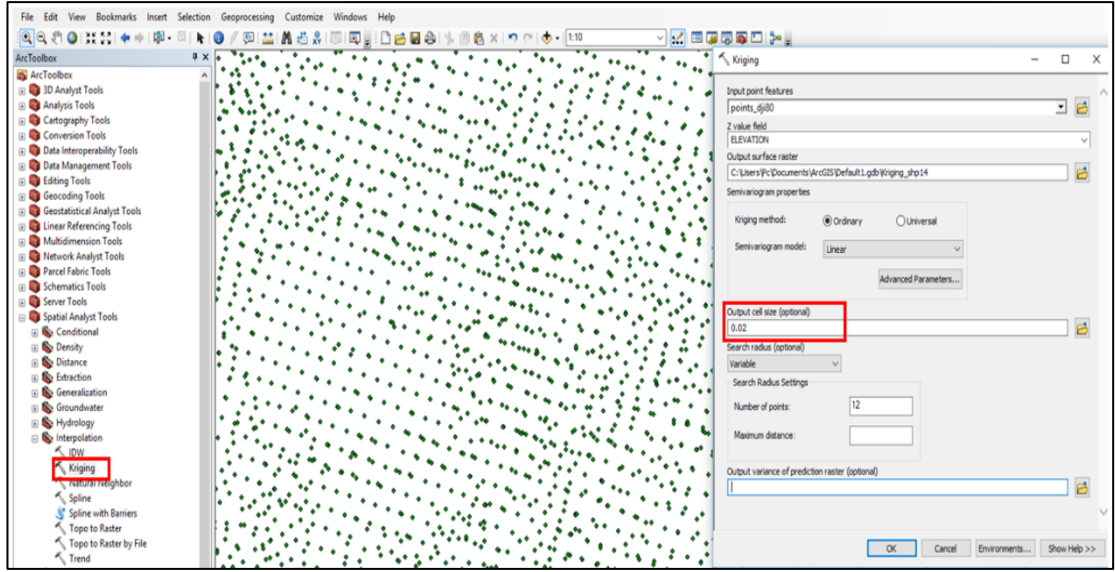
Şekil 4.46 : Delaunay üçgenleme yöntemi ile üretilen SYM boy kesitleri.

Yukarıdaki şekillerde üretilen temel yüzey de görülmektedir. İncelenen ön çalışmada temel yüzeyden hacim hesabındaki önemi vurgulanmıştı. Ortalama yükseklik hesaplanarak alınan sabit taban yüzey yerine bu çalışmada silo öncesi çekilen görüntülerden üretilen temel yüzey kullanılmıştır. Buna göre ölçülen hacim değerleri Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9 : Delaunay yöntemi ile oluşturulan silo yığını hacim sonuçları.

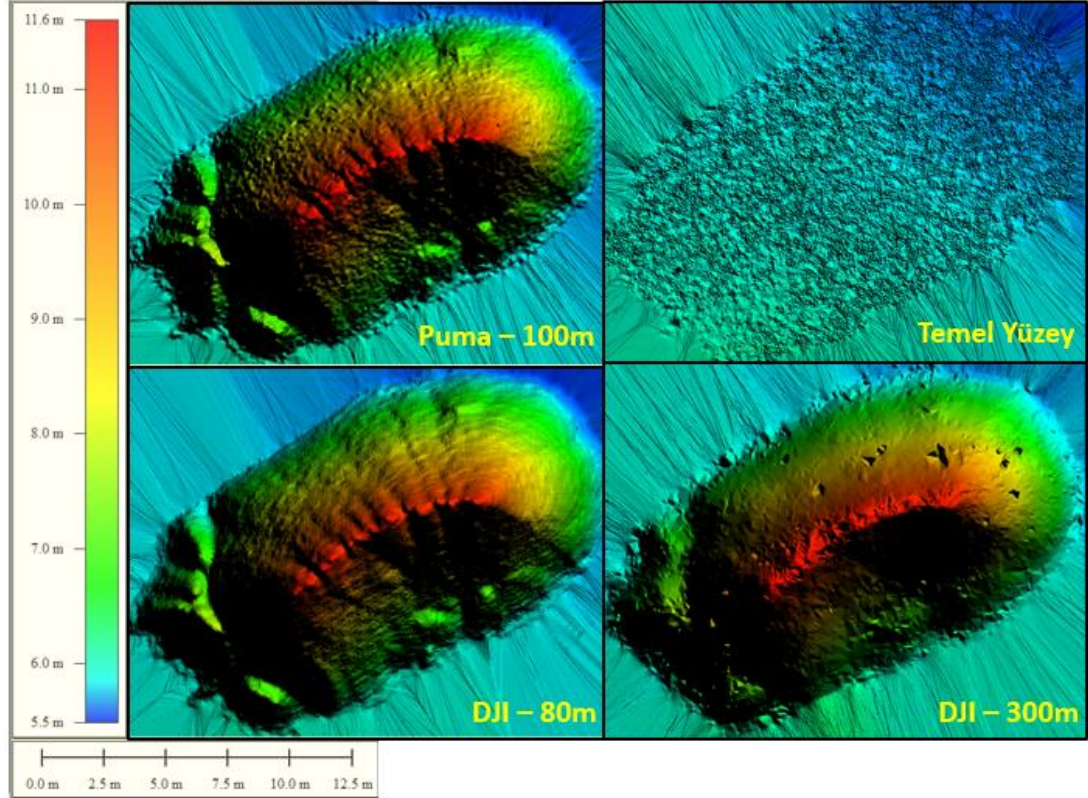
	Toplam Hacim (m³)	Kazı Hacimi (m³)	Kazı Alanı 2B (km²)	Dolgu Hacmi (m³)	Dolgu Alanı 2B (km²)
Silo / Puma_100m	1314.9817	1309.5767	0.000616	5.404959	0.0000801
Silo / DJI_80m	1246.4233	1240.5011	0.000612	5.922209	0.0000832
Silo / DJI_300m	1381.5307	1378.6669	0.000655	2.863845	0.0000386

Sayısal yüzey modelinin üretimi için kullanılan bir diğer yöntem ise kriging enterpolasyon yöntemidir. Bu çalışma için üretilen silo yığını nokta bulutlarından, ArcGIS programındaki mekansal analiz araçlarında yer alan enterpolasyon aracı ile yüzey modeli üretilmiştir (Şekil 4.47).



Şekil 4.47 : Kriging yöntemi ile SYM oluşturma.

Her projenin sonuç ürünü 0.02 m' lik piksel büyüklüğüne örneklenmiştir. Şekil 4.48' de görülen Kriging enterpolasyon yöntemiyle oluşturulan SYM' ler arasındaki fark ölçümü ile hacim hesabı yapılmıştır (Çizelge 4.10). İki farklı yöntemle oluşturulan SYM'lerin farklılıkları ve hacim hesabına olan etkileri bölüm 3.2' de irdelenmiştir.

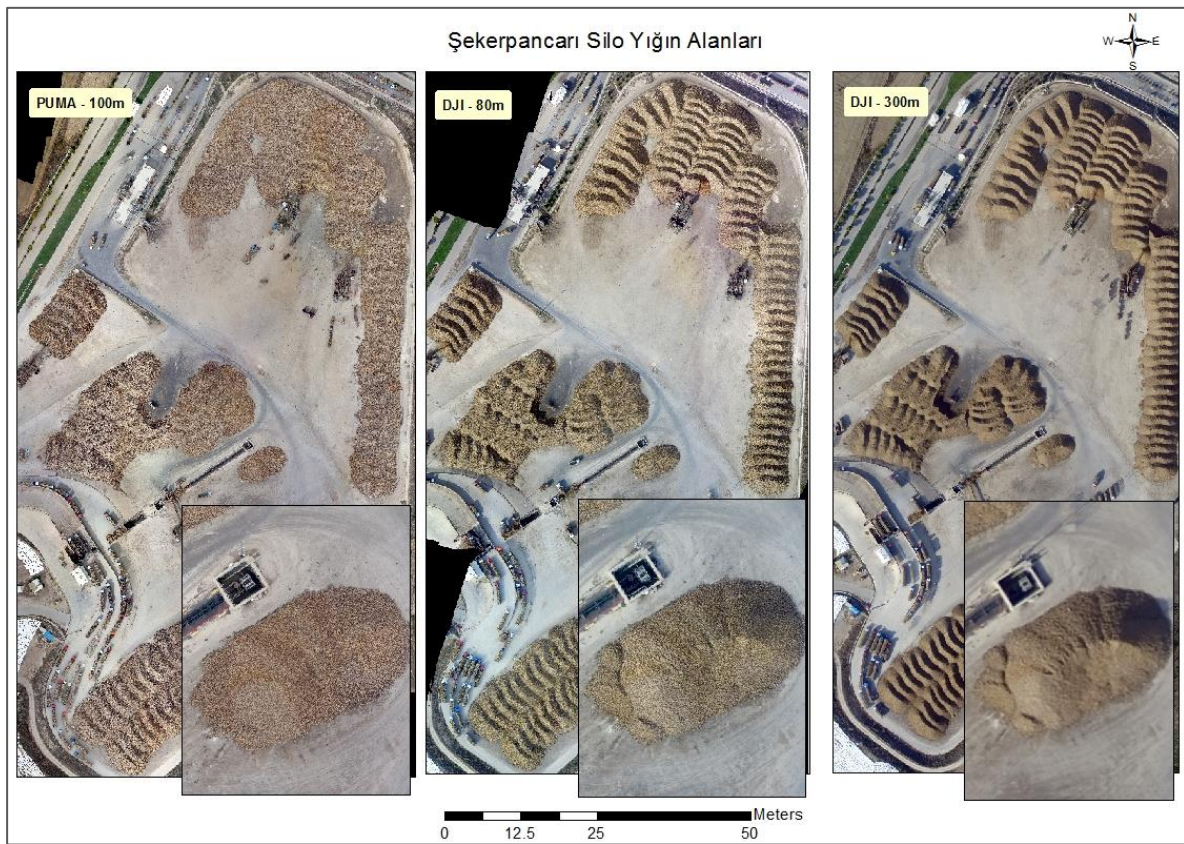


Şekil 4.48 : Kriging enterpolasyon yöntemi ile oluşturulan SYM' ler.

Çizelge 4.10 : Kriging yöntemi ile oluşturulan silo yığını hacim sonuçları.

	Toplam Hacim (m³)	Kazı Hacimi (m³)	Kazı Alanı 2B (km²)	Dolgu Hacmi (m³)	Dolgu Alanı 2B (km²)
Silo / Puma_100m	1305.0955	1309.3612	0.000613	4.265716	0.0000668
Silo / DJI_80m	1236.0705	1240.4839	0.000612	4.413487	0.0000676
Silo / DJI_300m	1376.6342	1378.632	0.000652	1.997756	0.0000273

Oluşturulan silo yığınları Hacim hesabının yanı sıra yüksek çözünürlüklü insansız hava aracı görüntüleri ile otomatik fotogrametrik yöntemler sayesinde ortomozaik haritaların kolaylıkla üretilebileceği gözlemlenmiştir (Şekil 4.49).



Şekil 4.49 : Farklı parametrelerden oluşturulan ortomozaik haritalar.

Literatür araştırmasında da görüldüğü gibi İHA ile üretilen ortomozaik haritalarda az sayıda yer kontrol noktalar ile yüksek doğrulukta sonuçlara ulaşılabilmektedir. Bu çalışmada yer kontrol noktaları kullanılsa da konumsal doğruluğu test edebilecek yeterli sayıda kontrol noktası mevcut değildir. Bu yüzden ortomozaik haritalarda yatay doğruluk analizi yapılamamıştır.

5. DOĞRULUK ANALİZİ

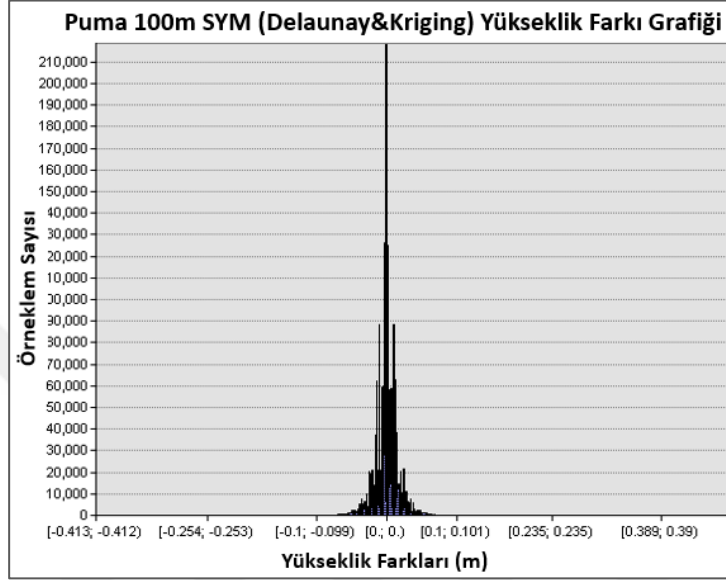
Bu çalışmada ilk olarak iki farklı yöntemle oluşturulan silo yığını sayısal yüzey modelleri incelenmiştir. Üretilen silo yüzey modellerindeki yükseklik farklılıkları gözlemlenerek hacim hesabına etkisi yorumlanmıştır. Daha sonra her bir yöntemle oluşturulan yüzey modelleri referans olarak kabul edilen veri ile kıyaslanmıştır. Referans olarak kullanılabilecek arazide ölçülmüş yer gerçeği verileri olmadığı için, kullanılan yöntemler içinde en hassas olan PUMA verisi değerleri bu çalışma için referans olarak kabul edilmiştir. DJI multikopteri ile farklı yükseklikten elde edilen sonuçlar PUMA verisi kıyaslama sonucu doğruluk analizi yapılmıştır. Bu analiz doğrultusunda farklı yöntemlerle hesaplanan hacim sonuçları karşılaştırılmıştır.

Düşey doğruluk analizi için öncelikle referans veri ile test edilen verilerin farkı bir diğer deyişle mutlak hata hesaplanmıştır. Mutlak hatayı bulmak amacı ile yer örnekleme aralıkları eşitlenen sayısal yüzey modeller Global Mapper programıyla analiz edilmiştir. Oluşturulan iki farklı raster yüzey girdisinin her bir pikselin sahip olduğu yükseklik bilgisi karşılaştırılarak çıkarım yapılmış ve yükseklik farklarının bilgisini içeren yeni bir raster yüzey üretilmiştir. Yükseklik farklarını içeren sonuç ürün .LAS formatında 2 cm yer örnekleme aralığı ile oluşturulmuştur. ArcGIS programında hızlı çalışmak için nokta bulutunu .shp formatında da çıkarımı yapılmıştır. Doğruluk analizi için Sayısal Yükseklik Verisi Yönergesi(2004)' inde belirtildiği üzere “her bir arazi sınıfı için en az 20 kontrol noktası olmalıdır” şartı dikkate alınmıştır. Bu çalışmada tek bir silo yığını 2 cm YÖA ile oluşturulan nokta bulutundan (1,694,529 adet nokta) değerlendirildiği için ArcMAP yazılımının “create random point” aracı ile rastgele atılmış 400 kontrol noktası seçilmiş ve KOH’ lar hesaplanmıştır. İki farklı yöntem ile üretilen SYM’ lerin kıyaslaması ve doğruluk analizi şu şekilde;

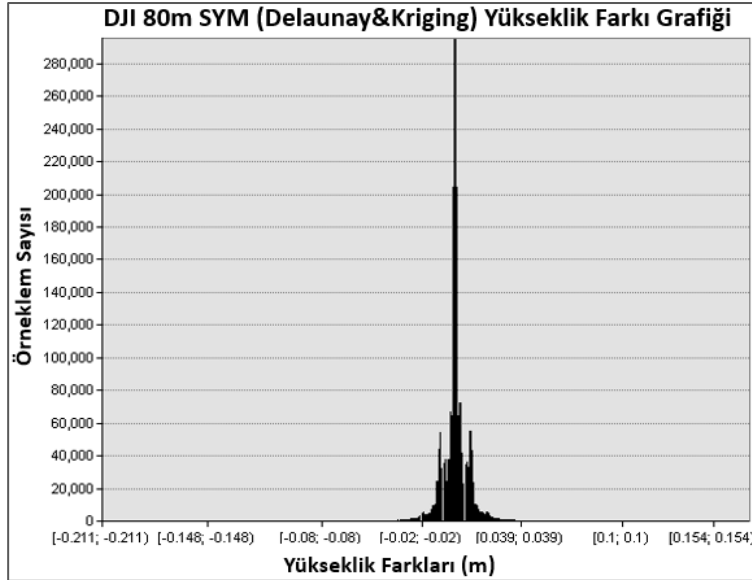
- Kriging enterpolasyon ve Delaunay üçgenleme yöntemleri ile üretilen PUMA 100m, DJI 80m ve DJI300m silo yığınların SYM’ lerinin kıyası,
- Delaunay üçgenleme modeliyle oluşturulmuş SYM’lerin PUMA verisi referans alınarak DJI 80m ve DJI 300m silo yığınları karşılaştırması,

- Kriging yöntemiyle oluşturulan SYM'lerin PUMA verisi referans alınarak DJI 80m ve DJI 300m silo yığınları ile karşılaştırması yapılmıştır.

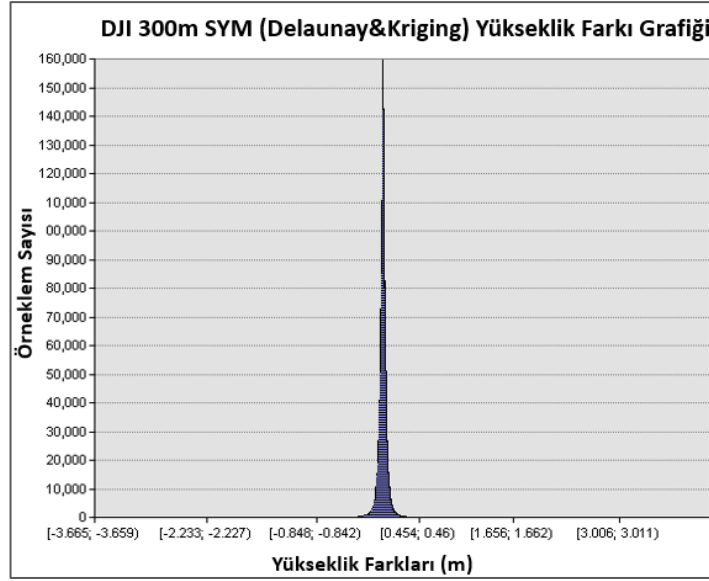
Öncelikle iki farklı yöntemden oluşturulan SYM kıyaslama sonuçları incelenmiştir. Aynı örnekleme aralığına sahip silo yüzey modelindeki her bir noktanın yükseklik farkları Şekil 4.50, 4.51 ve 4.52' de gösterilmiştir.



Şekil 4.50 : Puma-100m farklı yöntemle oluşan SYM' leri kıyaslaması.



Şekil 4.51 : DJI-80m farklı yöntemle oluşan SYM' leri kıyaslaması.

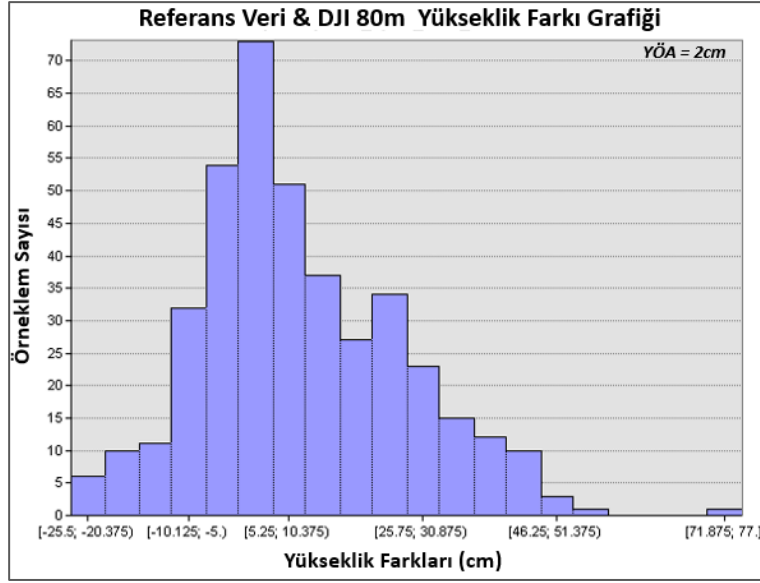


Şekil 4.52 : DJI-300m farklı yöntemle oluşan SYM'leri kıyaslaması.

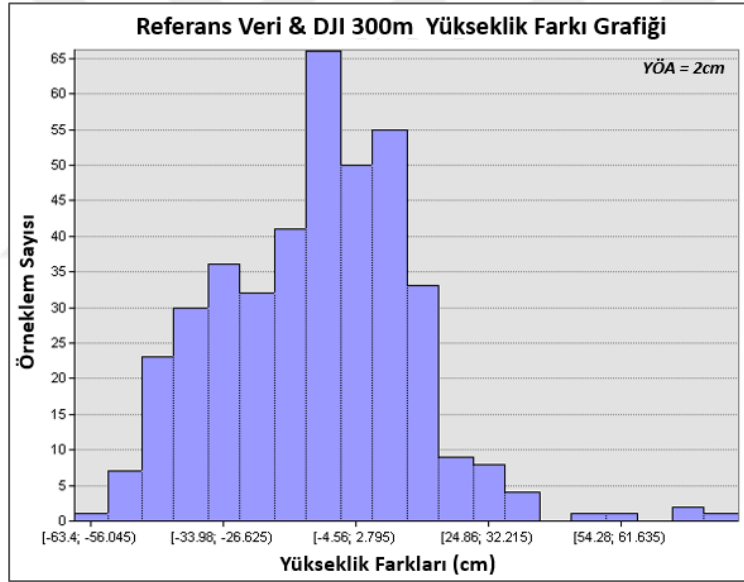
Yukarıdaki şekillerde görüldüğü üzere, bu iki yöntem arasında normal dağılımlı grafik sonuçlarına ulaşılmıştır. En çok yükseklik farkını içeren örneklem sayısı DJI-300m SYM'inde mevcuttur. Bu iki yöntem arasında düşey doğruluk analizi için, biri referans olmak üzere 100 adet nokta ile KOH'lar hesaplanmıştır. Buna göre DJI-300m verisinde 0,045 m'lik en yüksek standart sapma değerine ulaşılmıştır. İki yüzey model arasında YÖA'sı küçük olan DJI 80m ve Puma 100m verilerinde sırasıyla 0.008 ve 0,02 m KOH değeri bulunmuştur.

Birbirleri ile kıyaslanan yüzeyler sonraki aşamada, doğruluğunun diğer verilere göre daha yüksek olduğu düşünülen Puma verileri ile kıyaslanmıştır.

Öncelikle Delaunay üçgenleme modeli ile üretilen SYM'lerin PUMA verisi referans alınarak DJI 80m ve DJI 300m silo yığınlarının KOH'ları hesaplanmıştır. 400 adet referans noktaya göre DJI 80m silo yığının KOH'sı 0.1828 m bulunurken, DJI 300m silo yığının KOH'sı 0.2366 m bulunmuştur (Şekil A3, Şekil A4, Şekil A5, Şekil A6). Aşağıdaki Şekil 4.53 ve 4.54'te 400 adet kontrol noktasından alınan örnekleme sayısının sahip olduğu yükseklik farkı istatistiksel olarak verilmiştir.



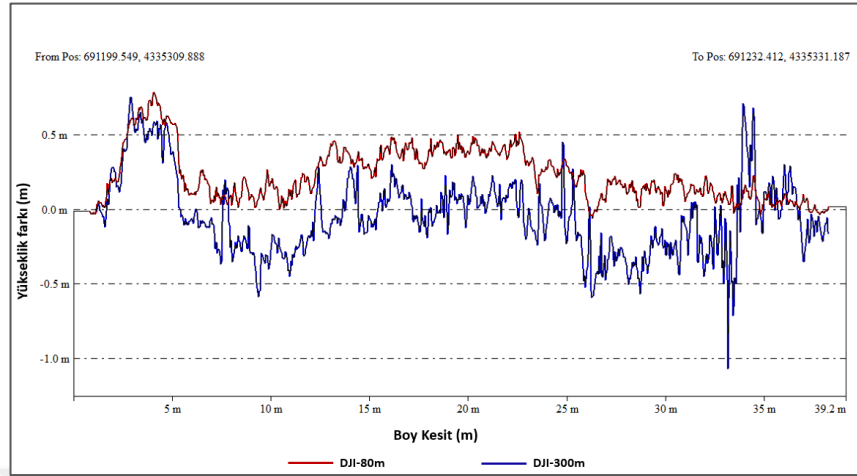
Şekil 4.53 : Delaunay yöntemi ile oluşturulan referans veri&DJI 80m yükseklik farkı grafiği.



Şekil 4.54 : Delaunay yöntemi ile oluşturulan referans veri&DJI 300m yükseklik farkı grafiği.

Görüldüğü üzere 300m’ den üretilmiş yüzeyde, çok sayıdaki örneklemin yükseklik farkı büyüktür. Referans veri ile DJI 80m verisi arasındaki yükseklik farkını oluşturan grafik, diğer grafiğe kıyasla istatistiksel olarak daha düzgün bir normal dağılıma sahiptir. İki grafikte de kaba hatalar görülmekte olup, bunun sebebi referans verideki ayırt edilebilen noktaların test edilen verilerde mevcut olmamasıdır.

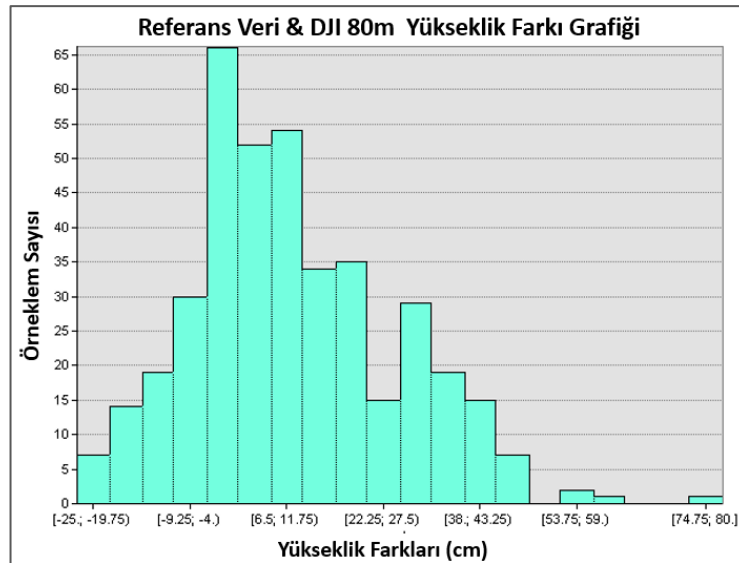
Şekil 4.55’ te ise Delaunay üçgenleme yöntemi ile oluşturulan test SYM’ lerin referans veri ile karşılaştırma sonucu yükseklik farklarının boy kesit görüntüsü mevcuttur.



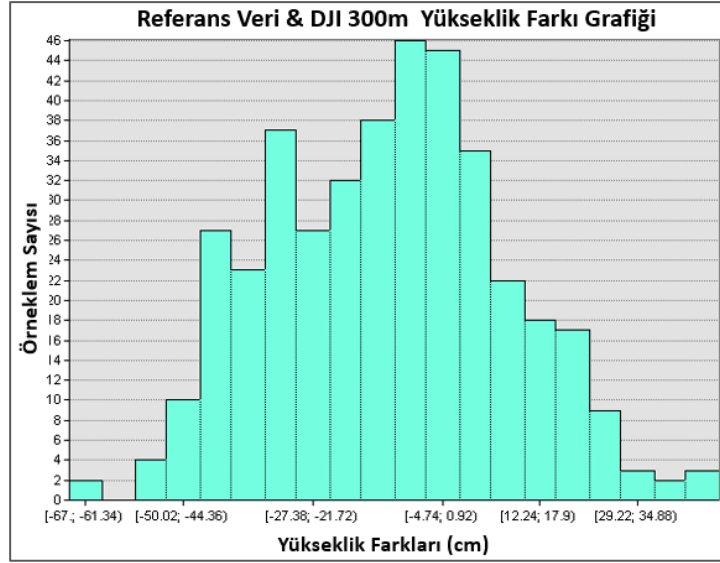
Şekil 4.55 : Delaunay yöntemi ile oluşturulan SYM yükseklik farklarının (DJI80m & DJI300m) boy kesiti.

SYM üretiminde kullanılan bir diğer yöntem olan Kriging enterpolasyon yöntemi için de aynı parametreler uygulanmış ve düşey doğruluk analizi yapılmıştır. DJI 80m ve DJI 300 m ile elde edilen silo yığınlarının KOH’ ları sırası ile 0,1949 m ve 0,2354 m olarak hesaplanmıştır (Şekil A7, Şekil A8, Şekil A9, Şekil A10).

Kriging yöntemi için de 400 adet kontrol noktasından alınan örnekleme sayısının sahip olduğu yükseklik farkı istatistiksel olarak verilmiştir (Şekil 4.56 ve 4.57).



Şekil 4.56 : Kriging yöntemi ile oluşturulan referans veri&DJI 80m yükseklik farkı grafiği.



Şekil 4.57 : Kriging yöntemi ile oluşturulan referans veri&DJI 300m yükseklik farkı grafiği.

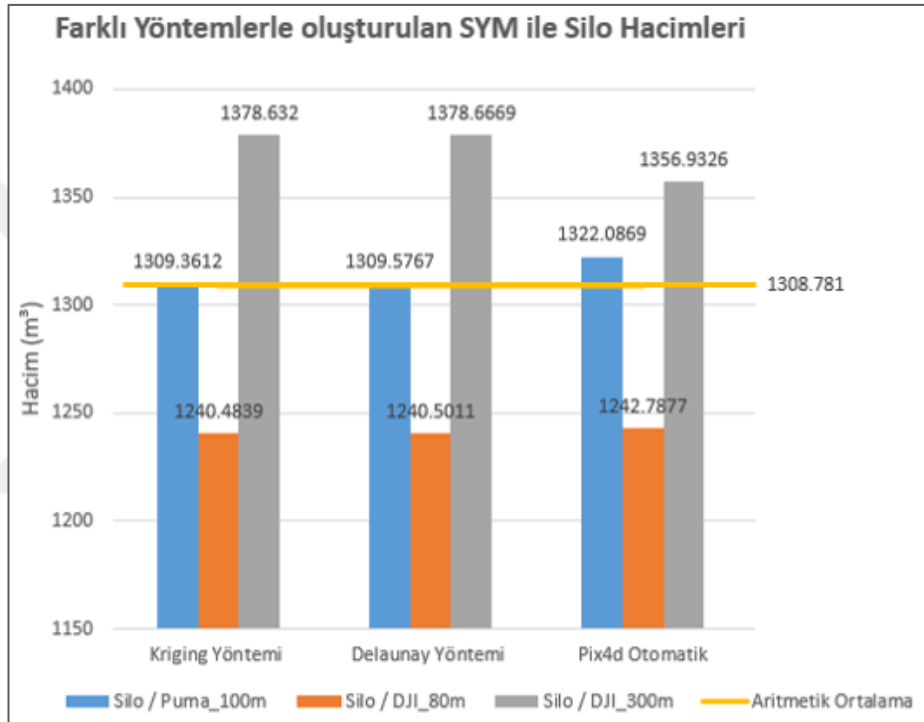
Delaunay yönteminde de görüldüğü üzere 300m’ den üretilmiş yüzeyde, çok sayıdaki örneklemin yükseklik farkı büyüktür.

Farklı yüzey modellerin istatistiksel kıyaslamalarından sonra seçilen silonun hacim değerine etkisi incelenmiştir. Bu analiz için öncelikle Pix4d programında, yer kontrol noktalı ve yer kontrol noktasız olarak işlenen görüntüler sonucu otomatik olarak oluşturulan SYM üzerinden hacim hesaplanmıştır. Her üç proje için silo hacimleri karşılaştırılmış ve yer kontrol nokta verisine göre mutlak ve bağıl hatalar bulunmuştur (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1 : Pix4d ile hesaplanan YKN’ lı ve YKN’sız silo hacmi mutlak ve bağıl hataları.

13_Ekim_2015	Pix4d ile hesaplanan silo hacmi (m ³)		YKN’ lıya göre	13_Ekim_2015
İHA	YKN'sız	YKN'lı	Mutlak hata (m ³)	Bağıl hata
PUMA AV (100m)	1289.35	1323.65	-37.91	-0.028 (%3)
DJI Phantom advanced (80m)	1330.85	1251.44	-79.41	-0.063 (%6)
DJI Phantom advanced (300m)	1288.69	1221.33	-67.36	-0.055(%5)

Yukarıdaki çizelgede görüldüğü üzere, yer kontrol noktasız işlenen Puma verisi ile hesaplanan silo değerinin bağıl hatası %3' tür. DJI verileri ile yapılan ölçümlerde yaklaşık %6' lık bağıl hata bulunmuştur. YKN' sız ve YKN' lı ölçümlerde en yakın sonucu veren Puma İHA' nın bindirme oranı, uçağın üzerindeki GPS ve IMU' nun hassasiyeti, yüksek çözünürlüklü kamerası ve YÖA' na bağlı olduğunu söyleyebiliriz. Ardından her proje için YKN' ları ile oluşturulan silo yığını nokta bulutu, farklı yöntemlerle sayısal yüzey modeline çevrilmiştir. Taban yüzey çıkarımı ile silo yığının hacim hesabı sonuçları Şekil 4.58'de gösterilmiştir.



Şekil 4.58 : Delaunay yöntemi ile oluşturulan referans veri&DJI 80m Yükseklik Farkı Grafiği.

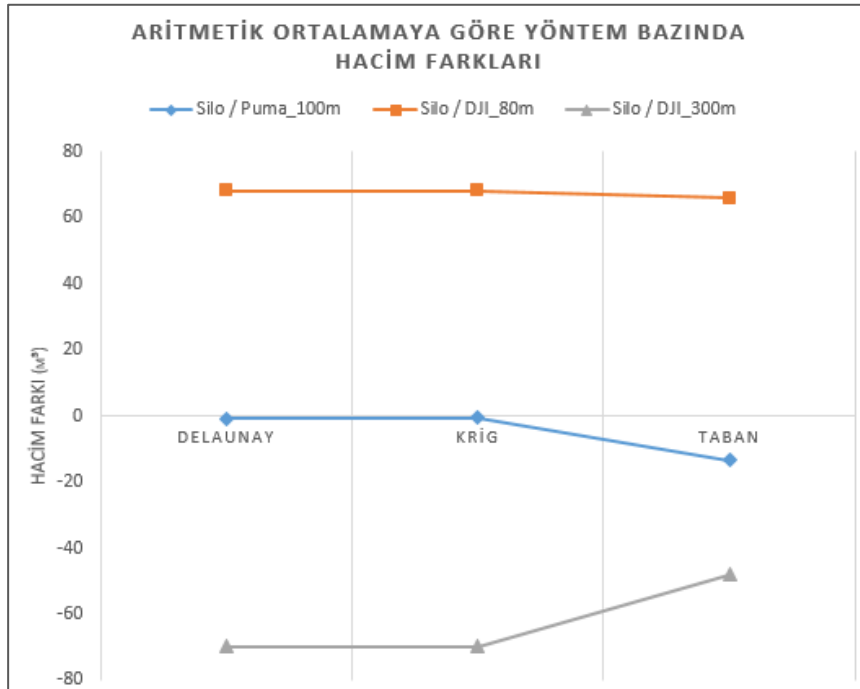
Bu grafikte ayrı ayrı yöntemlerle hesaplanan silo yığın hacimlerinin yanı sıra, 9 farklı hacim değerinin aritmetik ortalaması gösterilmektedir. Kriging ve Delaunay yöntemleri ile oluşturulan silo yüzey modelleri arasında yukarıda anlatıldığı gibi çok az fark bulunmuştur. Burada da iki farklı yöntemin hacim farklılığına etkisinin olmadığı açıkça görülmüştür.

Aritmetik ortalama sonucu silo yığını 1308,781 m³ olarak hesaplanmış ve diğer yöntemler arasında mutlak ve bağıl hata incelenmiştir (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2 : Artimetik ortalamaya göre yöntem bazında mutlak ve bağıl hata.

	Mutlak Hata (m ³)			Bağıl Hata		
	Delaunay	Kriging	Pix4d	Delaunay	Kriging	Pix4d
PUMAAV (100m)	-0.7957	-0.5802	-13.3059	%0,06	%0,04	%1,01
DJI Phantom advanced (80m)	68.2799	68.2971	65.9933	%5,2	%5,2	%5,04
DJI Phantom advanced (300m)	-69.8859	-69.851	-48.1516	%5,3	%5,3	%3,68

Aşağıda görülen Şekil 4.59’ da ise mutlak hatalar yöntemlere göre grafik üzerinde gösterilmiştir. Bu analiz sonucuna göre, en iyi hacim sonucu Puma verisi ile elde edilecektir. Puma verisinin Kriging ve Delaunay yöntemleri ile SYM üretildiğinde %0.05’ lik bağıl hataya ulaşılmıştır. Bu sonuç doğrultusunda hassas ölçümler için bu yöntemlerden herhangi biri SYM üretiminde tercih edilebilir. Pix4d programında otomatik olarak oluşturulan SYM ise Puma İHA’ sı gibi ölçüm parametrelerine sahip verilerde minimum bağıl hata sağlanabilir (Bu çalışmada %1’ lik bağıl hata bulunmuştur).



Şekil 4.59 : Aritmetik ortalamaya göre yöntem bazında hacim farkları .

Kayseri şeker fabrikasının 2015-2016 kampanya dönemine göre şeker istatistikleri incelenmiştir. Pankobirlik (Pancar Ekicileri Kooperatifleri Birliği) raporunda belirtildiği üzere; bu kampanya döneminde bedeli ödenen pancar 3,019,451 ton iken, işlenen pancar 2,379,000 ton ve üretilen şeker ise 340,980 ton olarak açıklanmıştır. Ayrıca bu raporda perakende şeker satışı fiyatının (KG / TL) 3.32 TL olduğu belirtilmiştir. Torbalı kristal şeker satış fiyatı ise 2.68 TL' dir (Kaptan, 2016). Sonuç raporuna göre bu kampanya döneminde, işlenen şeker pancarından yaklaşık %14 verim ile şeker üretimi yapılmıştır.

Hacim ölçümü yapılan silodaki şeker pancarı bu sonuçlar doğrultusunda değerlendirilecektir. Örnek silodaki tüm şeker pancarının işlendiği varsayılarak ağırlık hesabı $0.74 \text{ ton} / \text{m}^3$ yoğunluğuna göre hesaplanmıştır. Ayrıca bu silodan üretilen şeker de %14 verime göre bulunmuştur.

Ölçümlerin aritmetik ortalaması ile ulaşılan değer kıyaslama için gerçek değer olarak kabul edilmiştir. Buna göre Çizelge 5.3' te işlenen pancar, üretilen şeker ve satış fiyatı hesaplanmıştır.

Çizelge 5.3 : Silonun kabul edilen gerçek hacim değerine göre üretim ve satış değer sonuçları..

	Hacim(m³)	Ağırlık (ton) işlenen pancar (d=0.74)	Ağırlık (ton) üretilen şeker (%14 verim)	Satış (kg/tl) 2.68 TL
Kabul edilen gerçek değer	1308.781m ³	968.497 ton	135.589 ton	363,378.52TL

Hacim analizlerinde kabul edilen gerçek değere en yakın bağıl hata Puma verisi sağlanmıştır. Buna göre farklı yöntemlerle oluşturulan SYM' lerden hesaplanan hacim değeri işlenen pancar, üretilen şeker ve satış fiyatı olarak da Çizelge 5.4 değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.4 : Silonun PUMA verisi ile farklı yöntemlerle hesaplanan hacim değerlerinin üretim ve satış değer sonuçları.

	Hacim(m ³)	Ağırlık (ton) işlenen pancar (d=0.74)	Ağırlık (ton) üretilen şeker (%14 verim)	Satış (kg/tl) 2.68 TL
Kriging enterpolasyon	1309.4 m ³	968.9 ton	135.6 ton	363,541.52TL
Delaunay	1309.6 m ³	969.1 ton	135.7 ton	363,601.35TL
Pix4d otomatik	1322.1 m ³	978.3 ton	137.0 ton	367,074.78TL

Buna göre mutlak hata değerleri ise Çizelge 5.5’ te gösterilmiştir.

Çizelge 5.5 : Silonun PUMA verisi ile farklı yöntemlerle hesaplanan hacim değerlerinin üretim ve satış değer sonuçları.

	Hacim(m ³)	Ağırlık (ton) işlenen pancar (d=0.74)	Ağırlık (ton) üretilen şeker (%14 verim)	Satış (kg/tl) 2.68 TL
Kriging enterpolasyon	0.6 m ³	0.4 ton	0.1 ton	163.00 TL
Delaunay	0.8 m ³	0.6 ton	0.1 ton	222.83 TL
Pix4d otomatik	13.3 m ³	9.8 ton	1.4 ton	3,696.26 TL

Bu sonuçlara göre yaklaşık 1000 tonluk işlenen pancar ölçümünde; Kriging enterpolasyon ve Delaunay yöntemleri sonucu sırası ile 400 kg ve 600 kg’lık fark oluşurken, Pix4d ile otomatik üretim sonucu ulaşılan pancarda ise 10 tonluk fark görülmüştür. Kriging ve Delaunay yöntemleri ile ölçüm sonucunun etki ettiği satış fiyatı ise yaklaşık 200TL fark olarak görülmüştür.

Genel üretime göre Puma verisi ile Kriging & Delaunay yöntemleri ile oluşturulan SYM’lerin hacim değerleri çok düşük bir bağıl hata ile bulunabildiği bu sonuçlarla desteklenmiştir. Buna göre doğru yöntem ve araç ile kampanya dönemlerinde işlenen pancarın ve üretilen şekerin uzaktan takibi ile çift yönlü kontrol sağlanabileceği görülmüştür.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında özellikle tarım amaçlı çalışmalar için farklı özelliklere sahip insansız hava araçları ile veri toplamanın uygunluğu ve elde edilen verinin bilgiye dönüştürülmesindeki doğruluğu incelenmiştir.

Bu bağlamda sabit kanatlı İHA ve multikopter İHA'nın avantaj ve dezavantajları şu şekildedir;

- Sabit kanatlı İHA (Puma AV)'nin avantajları: Malzemesi zor koşullara dayanıklı olarak üretilmiştir. Bu yüzden çevresel faktörlerden büyük oranda etkilenmez. Üzerinde bulundurduğu ikincil GPS ve IMU'nun hassasiyeti oldukça yüksektir. Farklı faydalı yüklere sahip olan bu İHA'nın doğal görüntü sağlayan kamerası (24 MP) mini İHA'lar arasında en yüksek çözünürlüğe sahiptir. 15 km'ye kadar menzili ve 3.5 saat batarya süresine sahip olduğu için bir uçuşta geniş alan tarayabilir.
- Sabit kanatlı İHA (Puma AV)'nin dezavantajları: Uçağın iniş ve kalkışı için uygun alan olması gerekir. Askeri amaca yönelik bir İHA olduğu için üretim ve kullanım maliyeti yüksektir.
- Multikopter olan İHA (DJI phantom advanced)'nin avantajları: Basit bir tasarımı olmasına rağmen üzerinde bulundurduğu 4 adet pervane ile görüntü alımında yeterli stabilizasyonu sağlar. Yüksek çözünürlüklü kameraya (12 MP) sahip ve üzerinde bulundurduğu GPS ve IMU'nun hassasiyeti yeterlidir. Nadir dışında istenilen farklı açılardan da veri toplayabilir. Özellikle 3 boyutlu model üretiminde multikopter tipi İHA'lar kullanılmalıdır. Ayrıca küçük boyutlu olması sayesinde her türlü alanda iniş kalkış yeteneği mevcuttur. Sivil kullanıcıların kolaylı ulaşabileceği düşük bütçeli bir İHA'dır.
- Multikopter İHA (DJI phantom advanced)'nin dezavantajları: Kötü hava koşullarından kolaylıkla etkilenmektedir. Batarya ömrünün 20dk olması sebebiyle küçük alanlardaki projeler için uygundur.

Bu İHA' lar ile elde edilen görüntüler fotogrametrinin temelleri doğrultusunda otomatik olarak değerlendirilmiştir. Otomatik değerlendirmeler çalışmaya uygun yazılımlar sayesinde yapılmıştır. Buna göre;

- İHA' lardan elde edilen görüntülerin işlenmesi ve analiz edilebilmesi için üretilmiş son yılların en çok tercih edilen pix4d programı, bu çalışmalar da kolay kullanımı ile hızlı ve doğruluğu yüksek sonuçlar üretmiştir.
- Pix4d programı, klasik fotogrametrik yazılımların sahip olduğu işlem adımlarına sahiptir. Projenin amacına göre kullanılacak parametrelerin belirlenmesi kolaydır. Üretilen sonuçları diğer yazılımlara entegre edilebilecek farklı formatlarda kullanıcıya sunma imkanı verir. Bu çalışmada programın bu özelliğinden yararlanılmıştır.
- Pix4d programının tek dezavantajı, işlem adımlarında sıralı devam etmesi ve kullanıcıya ara işlem adımlarında müdahaleye izin vermemesidir. Her hangi yanlış adımda en baştan başlangıç işlemini yapıyor olması süre anlamında kullanıcının zaman kaybetmesine sebep olmaktadır.
- Popüler olan bir diğer yazılım ise Agisoft programı olup görüntülerin işlenmesi denenmiştir. Ancak programın görüntü işleme hızı çok yavaş olduğu için tercih edilmemiştir.
- Bu yazılım ile İHA' lardan elde edilen veriler işlenerek hem sayısal yükseklik modeli (sayısal yüzey ve arazi modeli) hem de ortomozaik harita üretimi yapılabilir. Ancak hassas mühendislik çalışmaları için mutlaka yer kontrol nokta verisi ile görüntüler işlenmelidir.

İki farklı İHA tipi ile elde edilen görüntüler öncelikle yer kontrol noktalı ve yer kontrol noktasız olmak üzere aynı işlem adımları ile Pix4d programında değerlendirilmiştir. Yer kontrol noktasız projelerde;

- Görüntü eşleşme işlemi, alınan her görüntüde mevcut olan uçağın konum ve dönüklük bilgisi ile bindirme alanlarından yararlanılarak oluşmuştur. Yeterli parametre bulunduğu için yer kontrol noktasız olarak yapılan projelerde de sayısal yüzey modeli ve ortomozaik üretilmiştir.
- Yeterli kontrol verisi olmadığı için konumsal doğruluk yer kontrol noktalı ürünler baz alınarak kabaca kontrol edilmiş, yaklaşık DJI için +/- 3m, Puma için +/-1.5m bulunmuştur. Puma ile üretilen sonuç ürünlerin doğruluğunun yüksek olması ; uçuş

planı (bindirme oranı), uçağın üzerindeki GPS ve IMU' nun hassasiyeti, yüksek çözünürlüklü kamera ve YÖA özelliklerine bağlıdır.

- Düşey doğruluk analizi için ise seçilen silonun hacim değerleri YKN' lı ölçüme göre kıyaslanmıştır. Buna göre Puma verisi ile YKN' sız hesaplanan hacim değerinin %3 bağıl hataya sahip olduğu görülmüştür.

Yer kontrol noktaları ile üretilen projeler de ise;

- Karşılaşılan en büyük problem, projedeki yer kontrol verilerinin hassas olmamasıdır. Çalışma esnasında proje için alınan yer kontrol noktaları hassas GPS ile ölçülmesine rağmen tercih edilen noktaların sağlıklı noktalar olmadığı görülmüştür. Uçuş öncesi yer işaretlemesi yapılmadan, sadece belirlenen yerlerden (elektrik direği, kaldırım köşesi vb. gibi) ölçümler yapıldığı için noktaların görüntü üzerinde işaretlenmesi problem olmuştur. Bindirmeli çekilen görüntüler olduğu için gölge, açı yüzünden noktaların tam olarak yeri belirlenememiştir.
- Hesaplanan yer kontrol noktalarının karesel ortalama hataları; 1,81 cm YÖA'na sahip PUMA(100 m irtifa) İHA'nın 0,079 m, 3,27 cm YÖA'na sahip DJI (80 m irtifa) İHA'nın 0,096 m ve 12,95 cm YÖA'na sahip DJI (300 m irtifa) İHA'nın 0,503 m' dir.

Konumsal doğruluk için yeterli çalışma verisi olmadığı için düşey doğruluğa ağırlık verilmiştir. Bu bağlamda, seçilen silo yığının hacmi analiz edilmiştir. Yapılan araştırma ile örnek uygulama denenmiş seçilen yöntemlere göre değerlendirilmiştir. Örnek uygulamaya göre;

- Silo yığını hacim hesabında izlenecek işlem adımları test edilmiştir. Pix4d ile üretilen sayısal yüzey modellerin hacimsel değeri, oluşturulan arazi yüzeyine (taban yüzey) ve ölçülen noktalardan otomatik olarak üçgenleme ile oluşturulan taban yüzeye göre yapılmıştır. EnsoMosaic&EspaCity yazılımları ile yığın alanı hacim değeri kıyaslamasına göre arazi yüzeyi farklı ile elde edilen hacim değerinin bağıl hatası %2.60' dır. Otomatik olarak üçgenleme ile oluşturulan taban yüzey ile hesaplanan hacimde ise yaklaşık %13' lük bir bağıl hata bulunmuştur.
- Taban yüzeyin hesaplanması hacim hesabını doğrudan etkilemektedir.

Silo yığını hacim hesabı için;

- Delaunay üçgenleme ve Kriging enterpolasyon yöntemleri ile SYM' ler üretilmiştir. Bu iki yöntem arasında düşey doğruluk analizi için, biri referans olmak üzere 100 adet nokta ile KOH' lar hesaplanmış ve DJI-300m verisinde 0,045 m' lik en yüksek standart sapma değerine ulaşılmıştır.
- Delaunay üçgenleme yöntemi ile üretilen SYM'lerin PUMA verisi referans alınarak DJI 80m ve DJI 300m silo yığınlarının KOH' ları sırası ile 0.1828 m ve 0.2366 m bulunmuştur.
- Kriging enterpolasyon yöntemi ile üretilen SYM'lerin PUMA verisi referans alınarak DJI 80m ve DJI 300m silo yığınlarının KOH' ları sırası ile 0,1949 m ve 0,2354 m olarak hesaplanmıştır.
- İstatistiksel kıyaslamalardan sonra silo yığını Pix4d programında, yer kontrol noktalı ve yer kontrol noktasız olarak işlenen görüntüler sonucu otomatik olarak oluşturulan SYM üzerinden hesaplanmış ve %3 ile en düşük bağıl hata Puma ile üretilen YKN' sız hacim değerinde bulunmuştur.
- Aritmetik ortalama sonucu silo yığını 1308,781 m³ olarak hesaplanmış ve diğer yöntemler arasında mutlak ve bağıl hataya göre, en iyi hacim sonucu Puma verisi ile elde edilmiştir.
- Puma verisi ile elde edilen görüntülerden Kriging ve Delaunay yöntemleri ile SYM' ler oluşturulduğunda, en iyi hacim sonucu sırasıyla % 0.04 ve %0.06 bağıl hata ile bulunmuştur.
- Pix4d programında otomatik olarak oluşturulan SYM ile ölçüm yapılmak isteniyorsa, Puma İHA' sının özellikleri doğrultusundaki veriler ile minimum bağıl hata sağlanabilir. Bu çalışmada %1' lik bağıl hata bulunmuştur.

Bu çalışmada kullanılan veriler 2015 tarihli bir projeden alındığı için veriye müdahale edilememiştir. Ancak mevcut verilerin maksimum seviyede değerlendirilmesi için analiz bölümünde varsayımlar yapılmıştır. Doğruluğu dolaylı yönden kanıtlanmış veri ile yapılan analizler kendi içinde değerlendirilmiştir.

Bu çalışma sonrası karşılaşılan problem doğrultusunda sunulan öneriler ise şöyledir:

- İHA ile yapılacak çalışmalarda projenin amacına yönelik İHA seçimi yapılmalı, hassas çalışmalarda, konum ve dönüklük bilgilerini yüksek doğrulukta olan İHA tercih edilmeli,
- Kullanılacak yer kontrol noktaları uçuş öncesi homojen bir şekilde tesis edilmeli, yer örnekleme aralığı göz önüne alınarak görüntülerde ayırt edilebilen noktalar kullanılmalı, yükseklik değeri projenin asıl hedefi ise mutlaka yükseklik farkı olan yerlerden de yer kontrol noktası ölçümü yapılmalı,
- 3 boyutlu modelleme yapılıyor ise İHA ile alınacak görüntüler %80 boyuna, %60 enine bindirme oranları olmalı,
- Hacim hesabı yapılacak ise taban yüzey hassas olarak ölçülmeli, otomatik olarak farklı yöntemlerle üretilen taban yüzeyler ise ancak eğimi az olan yerlerde kullanılmalı,
- Doğruluk analizi için doğruluğu kanıtlanmış uygun referans veriler kullanılmalı, özellikle test edilecek 3boyutlu modeller için LIDAR verisi gibi yüksek doğruluğa sahip verilerle kıyaslanmalıdır.

Sonuç olarak, teknolojinin ilerlemesi ile fotogrametri alanında büyük gelişmeler söz konusudur. Yüksek maliyetlerle uçaklar sayesinde alınana görüntüler yerine günümüzde insansız hava araçları ile alınan görüntüler mühendislik çalışmalarında kullanılmaya oldukça elverişlidir. İHA'lerden faydalanılarak büyük ölçekli harita üretimin ve 3boyutlu modellerin birçok alan için uygun, hızlı, kullanımının kolay ve düşük maliyetlerle yapılabileceği görülmektedir. Giderek daha da gelişeceği düşünülen teknoloji sayesinde daha yüksek çözünürlüklü dijital kamera türlerinin İHA'lar ile kullanılabileceği düşünülmektedir. Bu sayede özellikle küçük alanlarda yüksek doğrulukla haritacılık sektöründe yeni bir dönem başlayacağını söylemek mümkündür.



KAYNAKLAR

- Aber J., Marzolf I., Ries J.,** (2010). Small-Format Aerial Photography principle, Techniques and Geoscience Applications.
- Aeroviroment Inc., Altoy Savunma Sanayi ve Havacılık A.Ş.** (t.y). *Puma DDL, Tüm Ortamlarda Kullanılabilir Mini İnsansız Hava Aracı Sistemi (SUAS) teknik klavuz.*
- Altoy Savunma Sanayi ve Havacılık A.Ş.** (2015). *Boğazlıyan Fabrikası Silo İzleme Raporu.*
- Akan S., Bayram İ., Çam Y., Kacar H.,** (2014). “İnsansız Hava Araçlarının Sivil havacılıkta Kullanımı” (Bitirme Tezi). Erciyes Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Haziran 2014, Kayseri.
- Akgül M., Yurtseven H., Demir M., Akay A., Gülci S., Öztürk T.,** (2016). İnsansız Hava Araçları ile Yüksek Hassasiyette Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi ve Ormancılıkta Kullanım Olanakları. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 66, pp. 104-118.
- Akyürek S., Yılmaz M., Taşkiran M.,** (2012). İnsansız Hava Araçları Muharebe Alanında ve Terörle Mücadelede Devrimsel Dönüşüm. *Bilge Adamlar Stratejik Araştırmalar Merkezi*, Rapor No: 53, Aralık 2012, İstanbul-Ankara.
- Arpacı K. E.,** (2013). “Düşük Maliyetli Fotogrametrik Sistemlerin Küçük Objelerin 3 Boyutlu Modellenmesi Çalışmalarında Kullanım Olanakları” (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Austin R.,** (2010). *Unmanned Aircraft Systems UAVS Design, Development and Deployment*, Aerospace series, Wiley.
- Avdan U., Şenkal E., Çömert R., Tuncer S.,** (2014). İnsansız Hava Aracı ile Oluşturulan Verilerin Doğruluk Analizi. *V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2014)*, 14-17 Ekim 2014, İstanbul.
- Avşar E.,** (2006). “Tarihi köprülerin Dijital Fotogrametri Tekniği Yardımıyla Modellenmesi” (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ayyıldız E., Özer E., Özmüş L., Erkek B., Bakıcı S.,** (2015). İnsansız Hava Aracı (İHA) ve Uçak Platformlarından Elde Edilen Görüntülerin Ortofoto Üretiminde Karşılaştırılması. *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği 8. Teknik Sempozyumu*, 21-23 Mayıs 2015, Konya.
- Chahl J.,** (2015). Unmanned Aerial Systems (UAS) Research Opportunities. *Aerospace*, 27 April 2015, 2, 189-202.

- Chiang K., Tsai M., Chu C.,** (2012). The Development of an UAV Borne Direct Georeferenced Photogrammetric Platform for Ground Control Point Free Applications. *Sensors*, 4 July 2012, 12, 9161-9180.
- Colomina I., Molina P.,** (2014). Unmanned aerial systems for Photogrammetry and Remote Sensing: A review, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1 April 2014, 92, pp. 79–97.
- Cryderman C., Mah S., Shufletoski A.,** (2014). Evaluation of UAV Photogrammetric Accuracy for Mapping and Earthworks Computations, *Geomatica*, Vol. 68, No.4, pp. 309-317.
- Çam A., Fırat O., Yılmaz A.,** (2013). Harita Genel Komutanlığında Ortofoto ve Sayısal Yüzey Modeli Üretimi Faliyetleri. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, 11-13 Kasım2013, Ankara.
- Çoşkun Z.,** (2012). Düşük Maliyetli İHA (İnsansız Hava Aracı) ile Mobil Harita Üretimnin Bugünü ve Geleceği, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt: 4, No: 2, 2012 (11-18).
- Dikmen M.,** (2015).İnsansız Hava Aracı (İHA) Sistemlerinin Hava Hukuku Bakımından İncelenmesi. *The Journal of Defense Sciences*, Mayıs 2015, 14, 1, 145-176.
- DJI,** (2015). Phantom 3 Advanced User Manual.
- Eisenbeiß H.,** (2009). *UAV Photogrammetry*, Dipl.-Ing., University of Technology Dresden, DISS. ETH No: 18515, Zurich.
- Esirtgen F.,** (2010). *Farklı Veri Kaynakları ile Elde Edilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluk Analizi ve Kalite Değerlendirmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Everaerts J.,** (2008). The Use Of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) For Remote Sensing And Mapping. *Inter-Commission WG I/V*.
- Fotogrametri Anabilim Dalı,** (2005). Fotogrametri Arazi Çalışması Föyü, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Gabrlik P.,** (2015). The use of direct georeferencing in aerial photogrammetry with Micro UAV. *IFAC-PapersOnLine*, 48-4, pp. 380–385.
- Gonçalves G.,** (2006). Analysis of interpolation errors in urban digital surface models created from Lidar data. *7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*.
- Hessami M., Anctil F., Viau A.,** (2001). Delaunay implementation to improve kriging computing efficiency. *Computers & Geosciences*, 27 (2001) 237-240.
- İnal C., Yiğit C. Ö.,** (2003). Jeodezik Uygulamalarda Kriging Enterpolasyon Yönteminin Kullanılabilirliği. *Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı*, 24-26 Eylül, Konya.
- Kaptan C.,** (2016). Dünya, AB ve Türkiye Şeker İstatistikleri, Pancar Ekicileri Kooperatifleri Birliği, Mart 2016.

- Kılıç F.**, (2012). *Fotogrametri Ders Notları*. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Köroğlu M.**, (2006). “*Farklı Enterpolasyon Yöntemlerinin Hacim Hesabına Etkisinin Araştırılması*” (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kraus K.**, (2007). *Photogrammetry Geometry from Images and Laser Scans*, 2nd edition, Walter de Gruyter, Berlin-New York.
- Marangoz A.**, (2002). “*Sayısal Kameralarla Tarihsel Yapıların Rölevelerinin Çıkarılması Olanakları*” (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- See, Matthews N.**, (2008). *Aerial and Close-Range Photogrammetric Technology: Providing Resource Documentation, Interpretation, and Preservation*, Technical Note 428, September 2008.
- Siriba D., Matara M., Musyoka S.**, (2015). Improvement Of Volume Estimation Of Stockpile Of Earthworks Using A Concave Hull- Footprint, *GeoInformation*, 1857-1919.
- Rees E.**, (2015). Cloud-Control for Drones Creating Aerial Drone Maps Fast. *GEOInformatics*, October - November 2015, Vol 18, Retrieved from <http://www.geoinformatics.com/>
- Remondino F., Barazzetti L., Nex F., Scaioni M., Sarazzi D.**, (2011). UAV photogrammetry for mapping and 3D Modelling Current Status and Future Perspectives. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII-1/C22, Zurich, Switzerland.
- Retscher G.**, (2002), Accuracy Performance of Virtual Reference Station Networks, *Journal of Global Positioning System*, 30 May 2002, Vol.1, No:1, pp. 40-47.
- Ruzgiene B., Berteška T., Gec̆yte S., Jakubauskiene E., Aksamitauskas V.**, (2015). The Surface Modelling Based on UAV Photogrammetry and Qualitative Estimation. *Measurements*, 7 May 2015, 73, pp. 619-627.
- Sertel E.**, (2010). *Ölçme Hataları, Hata Hesapları* [Powerpoint sunum], Ders Notu, 22 Şubat 2010, İstanbul.
- Strecha C.**, (2011). The Accuracy of Automatic Photogrammetric Techniques on Ultra- Light UAV Imagery. *Photogrammetric Week '11*, Dieter Fritsch (Ed.), Wichmann, 289-294.
- Schenk T.**, (2005). *Introduction to Photogrammetry*. Autumn Quarter 2005.
- Siebert S., Teizer J.**, (2014). Mobile 3D Mapping for Surveying Earthwork Projects Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) System. *Automation in Construction*, 19 February 2014, 41, 1–14.
- Sidek F., Ahmad A.**, (2008). Development of Mapping Procedures Using Digital Imagery Derived from Unmanned Aerial Vehicle System. *7th International Symposium & Exhibition on Geoinformation*, 13-15 October 2008, Putra World Trade Centre(PWTC), Kuala Lumpur, Malaysia.

- Sijmons K.**, (t.y.). *Introduction on Photogrammetry*, ITC, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation of the University of Twente.
- Strecha C., Draeyer B.**, (2014). *How accurate is UAV surveying?*, Pix4D White Paper.
- Turner D., Lucieer A., Watson C.**, (2012). An Automated Technique for Generating Georectified Mosaics from Ultra-High Resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery, Based on Structure from Motion (SfM) Point Clouds. *Remote Sensing*, 14 May 2012, 4, 1392-1410.
- Tong X., Liu X., Chen P., Liu S., Luan K., Li L., Liu S., Liu X., Xie H., Jin Y., & Hong Z.**, (2015). Integration of UAV-Based Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning for the Three-Dimensional Mapping and Monitoring of Open-Pit Mine Areas. *Remote Sensing*, 7, 6635-6662.
- Url-1** <<http://www.kayseriseker.com.tr/Kurumsal/Detay/bogazliyan-seker-mamulleri-ve-entegre-tesisi/9>>, erişim tarihi 15.04.2016.
- Url-2** <<https://www.pix4d.com/support/>>, erişim tarihi 12.03.2016.
- Url-3** <<https://www.codot.gov/business/manuals/survey>>, erişim tarihi 12.03.2016.
- Url-4** <<http://www.motifharita.com/insansiz-hava-araci/>>, erişim tarihi 21.03.2016.
- Url-5** <<http://www.mosaicmill.com/download.html>>, erişim tarihi 21.08.2016.
- Url-6** <<http://www.mosaicmill.com/download.html>>, erişim tarihi 21.08.2016.
- Url-7** <<http://www.xyzdergi.com/2010/08/25/fotogrametri-nedir-2/>>, erişim tarihi 21.03.2016.
- Uysal M., Toprak A., Polat N.**, (2015). DEM Generation with UAV Photogrammetry and Accuracy Analysis in Sahitler Hill. *Measurement*, 24 June 2015, 73, pp. 539-543.
- Üstüntaş T.**, (2006). Sayısal Arazi Modellerinde Bazı Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması, *Teknik-Online Dergi*, Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 5, 2.
- Vallet J., Panissod F., Strecha C., Tracol M.**, (2011). Photogrammetric Performance of an Ultra Light Weight Swinglet “UAV”. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*.
- Yanalak M.**, (t.y.). *Yüzey Modellemede Üçgenleme Yöntemleri*.
- Yanalak M., Musaoğlu N., Ipbuker C., Sertel E., ve Kaya Ş.**, (2012). DEM Accuracy of High Resolution Satellite Images. *Computer Science*, June 2012, DOI: 10.1007/978-3-642-31137-6_36.
- Yaprak S., Arslan E.**, (2014). Kriging Yöntemi ve Geoit Yüksekliklerinin Enterpolasyonu. *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 98, 2008.
- Yastıklı N., Bayraktar H.**, (2014). Yoğun Görüntü Eşleme Algoritmaları ile Yüksek Çözünürlüklü Sayısal Yüzey Modeli Üretimi. 5. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2014), 14-17 Ekim 2014, İstanbul.

- Yastıklı N., Esirtgen F.,** (2011). Sayısal Yükseklik Modellerinde Kalite Değerlendirme ve Doğruluk Analizi. 13.Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 18-22 Nisan 2011, Ankara.
- Yıldız F.,** (2010). *Dijital(Sayısal) Fotogrametri Teknolojisi* [Powerpoint sunum], Cebit Bilişim Zirvesi, 08 Ekim 2010, İstanbul.
- Yılmaz M., Uysal M.,** (2015). Hava LİDAR Nokta Bulutunun Sayısal Yükseklik Modeli Doğruluğuna Etkisi, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2015, 7(3) 15-20,doi: 10.15659/hartek.15.12.108
- Zaim M.,** (1998). İnsansız Sistemler Hakkında Bilgi. *AFCEA Toplantısı*, Aselsan, Ankara.





EKLER

EK A: Yer Kontrol Noktalarının Koordinat Dönüşümü.

Çizelge A.1 : Yer kontrol noktalarının koordinat bilgileri (ED50).

D.O.M=33	Ölçek faktörü=0.9996								
D.O.M=36	Ölçek Faktörü=1.0000								
	ed50-6					ed50-3			
Nokta Adı	Eski Y	Eski X	Coğrafi Y	Coğrafi X	Konvergens	Yeni Y	Yeni X	Konvergens	Z
1	691110.2	4335641.15	35°12'41.17993	39°08'54.04345	1.3965708	431829.15	4335342.28	-0.4978618	1136.93
2	691235.73	4335521.87	35°12'46.28450	39°08'50.07758	1.3974338	431950.67	4335218.91	-0.4969547	1140.04
3	691109.15	4335314.09	35°12'40.80435	39°08'43.44254	1.3964167	431817.28	4335015.42	-0.4978962	1145.06
4	691293.1	4335400.13	35°12'48.54926	39°08'46.08633	1.3977981	432003.99	4335095.35	-0.4965457	1141.4
5	691180.17	4335698.32	35°12'44.15065	39°08'55.84144	1.3971072	431900.97	4335397.11	-0.497346	1135.49
6	691224.02	4335770.97	35°12'46.04995	39°08'58.16169	1.3974598	431947.2	4335468.27	-0.4970198	1134.36
7	691323.49	4335758.59	35°12'50.17839	39°08'57.68144	1.3981805	432046.21	4335452.6	-0.4962943	1135.38
8	691347.96	4335504.75	35°12'50.93889	39°08'49.43388	1.3982454	432062.27	4335198.09	-0.4961365	1139.25

EK A: Karesel Ortalama Hataların Hesaplanması.

	h(Puma TIN) - h(Puma KRIG)											
Nok. No	ε_h	$\varepsilon_h * \varepsilon_h$										
KN 1	0.011	0.000121	KN 26	0	0	KN 51	0.003	0.000009	KN 76	-0.01	0.0001	
KN 2	0.009	0.000081	KN 27	-0.001	0.000001	KN 52	0.007	0.000049	KN 77	-0.001	0.000001	
KN 3	0	0	KN 28	0	0	KN 53	0.003	0.000009	KN 78	-0.001	0.000001	
KN 4	-0.009	0.000081	KN 29	0.001	0.000001	KN 54	0.001	0.000001	KN 79	-0.002	0.000004	
KN 5	0.005	0.000025	KN 30	0.01	0.0001	KN 55	0.003	0.000009	KN 80	0.001	0.000001	
KN 6	0	0	KN 31	0.001	0.000001	KN 56	0.008	0.000064	KN 81	-0.003	0.000009	
KN 7	0	0	KN 32	0.005	0.000025	KN 57	0.008	0.000064	KN 82	-0.002	0.000004	
KN 8	0.003	0.000009	KN 33	0	0	KN 58	-0.001	0.000001	KN 83	0.008	0.000064	
KN 9	-0.008	0.000064	KN 34	0.003	0.000009	KN 59	0	0	KN 84	-0.001	0.000001	
KN 10	0.005	0.000025	KN 35	0.001	0.000001	KN 60	-0.001	0.000001	KN 85	0	0	
KN 11	0.001	0.000001	KN 36	-0.001	0.000001	KN 61	0.003	0.000009	KN 86	-0.01	0.0001	
KN 12	0	0	KN 37	-0.002	0.000004	KN 62	0.002	0.000004	KN 87	-0.001	0.000001	
KN 13	0.002	0.000004	KN 38	0.001	0.000001	KN 63	0	0	KN 88	0.015	0.000225	
KN 14	-0.003	0.000009	KN 39	0.001	0.000001	KN 64	-0.003	0.000009	KN 89	0.001	0.000001	
KN 15	-0.006	0.000036	KN 40	-0.003	0.000009	KN 65	0.01	0.0001	KN 90	-0.009	0.000081	
KN 16	0.001	0.000001	KN 41	0.003	0.000009	KN 66	0.008	0.000064	KN 91	-0.002	0.000004	
KN 17	-0.013	0.000169	KN 42	0.002	0.000004	KN 67	0	0	KN 92	0	0	
KN 18	0.001	0.000001	KN 43	-0.005	0.000025	KN 68	-0.012	0.000144	KN 93	0.01	0.0001	
KN 19	0.01	0.0001	KN 44	0.002	0.000004	KN 69	0.006	0.000036	KN 94	0.01	0.0001	
KN 20	-0.004	0.000016	KN 45	-0.001	0.000001	KN 70	0.014	0.000196	KN 95	0.016	0.000256	
KN 21	0.01	0.0001	KN 46	-0.004	0.000016	KN 71	0.009	0.000081	KN 96	0	0	
KN 22	0	0	KN 47	0	0	KN 72	-0.009	0.000081	KN 97	-0.01	0.0001	
KN 23	-0.009	0.000081	KN 48	-0.001	0.000001	KN 73	0	0	KN 98	-0.003	0.000009	
KN 24	0.003	0.000009	KN 49	0.003	0.000009	KN 74	0	0	KN 99	-0.001	0.000001	
KN 25	0.003	0.000009	KN 50	0.001	0.000001	KN 75	0	0	KN 100	0.001	0.000001	
									$\sum(\varepsilon_h * \varepsilon_h) = 0.0243 \text{ m}^2$			
									$m_h = 0.0156 \text{ m}$			

Şekil A.1 : Kriging yöntemi ile üretilen SYM(Puma-100m) düşey doğruluk analizi.

			h(DJI80m TIN) - h(DJI80m KRIG)									
Nok. No	ε_h	$\varepsilon_h * \varepsilon_h$										
KN 1	0	0	KN 26	0.004	0.000016	KN 51	0.001	0.000001	KN 76	0.014	0.000196	
KN 2	0.062	0.003844	KN 27	-0.001	0.000001	KN 52	-0.005	0.000025	KN 77	0.001	0.000001	
KN 3	0	0	KN 28	-0.009	0.000081	KN 53	0.011	0.000121	KN 78	0.004	0.000016	
KN 4	0.01	0.0001	KN 29	0.009	0.000081	KN 54	-0.009	0.000081	KN 79	0.009	0.000081	
KN 5	-0.007	0.000049	KN 30	0.001	0.000001	KN 55	-0.005	0.000025	KN 80	0	0	
KN 6	0.017	0.000289	KN 31	0.002	0.000004	KN 56	0.003	0.000009	KN 81	0.001	0.000001	
KN 7	0.02	0.0004	KN 32	0	0	KN 57	0	0	KN 82	-0.004	0.000016	
KN 8	0	0	KN 33	0.003	0.000009	KN 58	-0.004	0.000016	KN 83	-0.027	0.000729	
KN 9	0.001	0.000001	KN 34	0.001	0.000001	KN 59	-0.002	0.000004	KN 84	0.001	0.000001	
KN 10	0.001	0.000001	KN 35	0.011	0.000121	KN 60	-0.001	0.000001	KN 85	-0.009	0.000081	
KN 11	-0.001	0.000001	KN 36	0.002	0.000004	KN 61	0.008	0.000064	KN 86	0	0	
KN 12	0.001	0.000001	KN 37	0.004	0.000016	KN 62	-0.006	0.000036	KN 87	-0.001	0.000001	
KN 13	0.003	0.000009	KN 38	-0.001	0.000001	KN 63	-0.002	0.000004	KN 88	0	0	
KN 14	0.001	0.000001	KN 39	0	0	KN 64	0	0	KN 89	0.006	0.000036	
KN 15	-0.004	0.000016	KN 40	-0.007	0.000049	KN 65	0.006	0.000036	KN 90	0	0	
KN 16	0.001	0.000001	KN 41	0.001	0.000001	KN 66	0.007	0.000049	KN 91	0.009	0.000081	
KN 17	-0.001	0.000001	KN 42	0.009	0.000081	KN 67	-0.001	0.000001	KN 92	-0.003	0.000009	
KN 18	-0.006	0.000036	KN 43	0.001	0.000001	KN 68	0.002	0.000004	KN 93	0.002	0.000004	
KN 19	0.01	0.0001	KN 44	0	0	KN 69	-0.02	0.0004	KN 94	0.005	0.000025	
KN 20	0.001	0.000001	KN 45	-0.007	0.000049	KN 70	0.008	0.000064	KN 95	0.001	0.000001	
KN 21	-0.004	0.000016	KN 46	-0.006	0.000036	KN 71	-0.001	0.000001	KN 96	0	0	
KN 22	0.002	0.000004	KN 47	-0.001	0.000001	KN 72	0.005	0.000025	KN 97	0	0	
KN 23	-0.002	0.000004	KN 48	-0.01	0.0001	KN 73	-0.009	0.000081	KN 98	-0.019	0.000361	
KN 24	0.01	0.0001	KN 49	-0.008	0.000064	KN 74	0	0	KN 99	-0.001	0.000001	
KN 25	-0.007	0.000049	KN 50	0.007	0.000049	KN 75	0	0	KN 100	0	0	
									$\Sigma(\varepsilon_h * \varepsilon_h) = 0.0084 \text{ m}^2$			
									$m_h = 0.0092 \text{ m}$			

Şekil A.2 : Kriging yöntemi ile üretilen SYM(DJI-80m) düşey doğruluk analizi.

$h(\text{DJI300m TIN}) - h(\text{DJI300m KRIG})$												
Nok. No	ε_h	$\varepsilon_h * \varepsilon_h$										
KN 1	0.003	0.000009	KN 26	-0.053	0.002809	KN 51	0.019	0.000361	KN 76	0.023	0.000529	
KN 2	-0.01	0.0001	KN 27	-0.132	0.017424	KN 52	0.014	0.000196	KN 77	-0.076	0.005776	
KN 3	-0.036	0.001296	KN 28	0.161	0.025921	KN 53	0.047	0.002209	KN 78	-0.016	0.000256	
KN 4	-0.026	0.000676	KN 29	-0.033	0.001089	KN 54	0.049	0.002401	KN 79	-0.003	0.000009	
KN 5	0.016	0.000256	KN 30	0.017	0.000289	KN 55	0.043	0.001849	KN 80	-0.009	0.000081	
KN 6	0.04	0.0016	KN 31	0.021	0.000441	KN 56	-0.034	0.001156	KN 81	-0.01	0.0001	
KN 7	-0.013	0.000169	KN 32	0.007	0.000049	KN 57	-0.007	0.000049	KN 82	0.02	0.0004	
KN 8	-0.01	0.0001	KN 33	-0.08	0.0064	KN 58	0.089	0.007921	KN 83	-0.003	0.000009	
KN 9	0.006	0.000036	KN 34	-0.099	0.009801	KN 59	-0.017	0.000289	KN 84	0.013	0.000169	
KN 10	0.043	0.001849	KN 35	-0.05	0.0025	KN 60	0.026	0.000676	KN 85	-0.017	0.000289	
KN 11	-0.013	0.000169	KN 36	-0.043	0.001849	KN 61	-0.054	0.002916	KN 86	-0.007	0.000049	
KN 12	0	0	KN 37	0.046	0.002116	KN 62	0.017	0.000289	KN 87	0.15	0.0225	
KN 13	0.026	0.000676	KN 38	0.024	0.000576	KN 63	0.039	0.001521	KN 88	0	0	
KN 14	-0.02	0.0004	KN 39	-0.046	0.002116	KN 64	0.02	0.0004	KN 89	0.02	0.0004	
KN 15	-0.08	0.0064	KN 40	0.014	0.000196	KN 65	0	0	KN 90	0.026	0.000676	
KN 16	0.021	0.000441	KN 41	0.096	0.009216	KN 66	0.061	0.003721	KN 91	-0.007	0.000049	
KN 17	0.003	0.000009	KN 42	0.063	0.003969	KN 67	0.004	0.000016	KN 92	0.059	0.003481	
KN 18	-0.023	0.000529	KN 43	-0.057	0.003249	KN 68	0.013	0.000169	KN 93	0.034	0.001156	
KN 19	-0.019	0.000361	KN 44	0.006	0.000036	KN 69	0.027	0.000729	KN 94	-0.038	0.001444	
KN 20	-0.007	0.000049	KN 45	0.01	0.0001	KN 70	0.117	0.013689	KN 95	0.004	0.000016	
KN 21	0.084	0.007056	KN 46	-0.019	0.000361	KN 71	0.023	0.000529	KN 96	0.037	0.001369	
KN 22	0.016	0.000256	KN 47	-0.02	0.0004	KN 72	-0.064	0.004096	KN 97	0.01	0.0001	
KN 23	-0.013	0.000169	KN 48	-0.017	0.000289	KN 73	0.013	0.000169	KN 98	0.03	0.0009	
KN 24	0.013	0.000169	KN 49	-0.098	0.009604	KN 74	0.012	0.000144	KN 99	0.013	0.000169	
KN 25	-0.037	0.001369	KN 50	0.014	0.000196	KN 75	-0.006	0.000036	KN 100	0.016	0.000256	
										$\sum(\varepsilon_h * \varepsilon_h) = 0.2109 \text{ m}^2$		
										$m_h = 0.0459 \text{ m}$		

Şekil A.3 : Kriging yöntemi ile üretilen SYM(DJI-300m) düşey doğruluk analizi.

h(Referans) - h(DI180m)		
Nok. No	ε_h	$\varepsilon_h * \varepsilon_h$
KN 1	0.031	0.000961
KN 2	0.001	0.000001
KN 3	0.03	0.0009
KN 4	0	0
KN 5	0.021	0.000441
KN 6	-0.009	0.000081
KN 7	-0.003	0.000009
KN 8	0.042	0.001764
KN 9	0.237	0.056169
KN 10	-0.198	0.039204
KN 11	-0.027	0.000729
KN 12	0.017	0.000289
KN 13	0.045	0.002025
KN 14	0.014	0.000196
KN 15	-0.076	0.005776
KN 16	-0.096	0.009216
KN 17	-0.076	0.005776
KN 18	-0.045	0.002025
KN 19	-0.021	0.000441
KN 20	-0.198	0.039204
KN 21	-0.08	0.0064
KN 22	0.012	0.000144
KN 23	-0.089	0.007921
KN 24	0.037	0.001369
KN 25	-0.107	0.011449
KN 26	-0.054	0.002916
KN 27	0.082	0.006724
KN 28	0.017	0.000289
KN 29	0.04	0.0016
KN 30	0.011	0.000121
KN 31	-0.053	0.002809
KN 32	0.022	0.000484
KN 33	0.017	0.000289
KN 34	-0.037	0.001369
KN 35	-0.191	0.036481
KN 36	0.071	0.005041
KN 37	0.012	0.000144
KN 38	-0.146	0.021316
KN 39	0.026	0.000676
KN 40	0.014	0.000196
KN 41	-0.049	0.002401
KN 42	-0.206	0.042436
KN 43	-0.009	0.000081
KN 44	-0.019	0.000361
KN 45	-0.099	0.009801
KN 46	0.038	0.001444
KN 47	-0.002	0.000004
KN 48	0.03	0.0009
KN 49	0.081	0.006561
KN 50	0.06	0.0036
KN 51	-0.086	0.007396
KN 52	-0.026	0.000676
KN 53	0.08	0.0064
KN 54	-0.083	0.001089
KN 55	0.029	0.000841
KN 56	-0.001	0.000001
KN 57	-0.003	0.000009
KN 58	-0.02	0.0004
KN 59	-0.087	0.007569
KN 60	0.077	0.005929
KN 61	-0.189	0.035721
KN 62	0.013	0.000169
KN 63	-0.059	0.003481
KN 64	0.001	0.000001
KN 65	-0.096	0.009216
KN 66	0.008	0.000064
KN 67	-0.04	0.0016
KN 68	0.072	0.005184
KN 69	0.063	0.003969
KN 70	0.14	0.0196
KN 71	0.019	0.000361
KN 72	-0.123	0.015129
KN 73	-0.086	0.007396
KN 74	-0.028	0.000784
KN 75	0.112	0.012544
KN 76	-0.074	0.005476
KN 77	0.075	0.005625
KN 78	-0.059	0.003481
KN 79	0.13	0.0169
KN 80	0.082	0.006724
KN 81	0.074	0.005476
KN 82	0.063	0.003969
KN 83	-0.02	0.0004
KN 84	0.18	0.0324
KN 85	-0.104	0.010816
KN 86	0.08	0.0064
KN 87	0.093	0.008649
KN 88	0.098	0.009604
KN 89	0.041	0.001681
KN 90	0.144	0.020736
KN 91	-0.184	0.033856
KN 92	0.278	0.077284
KN 93	0.146	0.021316
KN 94	-0.11	0.0121
KN 95	0.101	0.010201
KN 96	0.034	0.001156
KN 97	-0.005	0.000025
KN 98	0.12	0.0144
KN 99	-0.255	0.065025
KN 100	0.186	0.034596
KN 101	0.063	0.003969
KN 102	0.24	0.0576
KN 103	-0.053	0.002809
KN 104	0.224	0.050176
KN 105	-0.007	0.000049
KN 106	0.259	0.067081
KN 107	-0.089	0.007921
KN 108	0.034	0.001156
KN 109	0.006	0.000036
KN 110	0.149	0.022201
KN 111	-0.247	0.061009
KN 112	-0.034	0.001156
KN 113	0.264	0.069696
KN 114	-0.15	0.0225
KN 115	-0.116	0.013456
KN 116	0.056	0.003136
KN 117	0.199	0.039601
KN 118	0.013	0.000169
KN 119	0.167	0.027889
KN 120	0.09	0.0081
KN 121	0.394	0.155236
KN 122	0.123	0.015129
KN 123	-0.077	0.005929
KN 124	0.116	0.013456
KN 125	-0.106	0.011236
KN 126	0.153	0.023409
KN 127	0.457	0.208849
KN 128	0.275	0.075625
KN 129	0.049	0.002401
KN 130	-0.096	0.009216
KN 131	0.063	0.003969
KN 132	0.042	0.001764
KN 133	0.016	0.000256
KN 134	0.396	0.156816
KN 135	0.259	0.067081
KN 136	0.222	0.049284
KN 137	0.21	0.0441
KN 138	0.023	0.000529
KN 139	0.143	0.020449
KN 140	0.229	0.052441
KN 141	-0.026	0.000676
KN 142	-0.034	0.001156
KN 143	0.149	0.022201
KN 144	-0.07	0.0049
KN 145	0.44	0.1936
KN 146	-0.04	0.0016
KN 147	0.21	0.0441
KN 148	0.245	0.060025
KN 149	0.313	0.097969
KN 150	0.419	0.175561
KN 151	0.3	0.09
KN 152	0.033	0.001089
KN 153	-0.056	0.003136
KN 154	-0.224	0.050176
KN 155	0.374	0.139876
KN 156	0.074	0.005476
KN 157	0.283	0.080089
KN 158	0.003	0.000009
KN 159	0.01	0.0001
KN 160	0.244	0.059536
KN 161	0.007	0.000049
KN 162	0.112	0.012544
KN 163	0.172	0.029584
KN 164	0.371	0.137641
KN 165	-0.034	0.001156
KN 166	0.149	0.022201
KN 167	0.323	0.104329
KN 168	-0.16	0.0256
KN 169	0.301	0.090601
KN 170	0.385	0.148225
KN 171	0.16	0.0256
KN 172	0.462	0.213444
KN 173	0.24	0.0576
KN 174	0.274	0.075076
KN 175	-0.213	0.045369
KN 176	0.016	0.000256
KN 177	0.152	0.023104
KN 178	0.004	0.000016
KN 179	0.32	0.1024
KN 180	-0.073	0.005329
KN 181	0.272	0.073984
KN 182	0.308	0.094864
KN 183	0.003	0.000009
KN 184	0.347	0.120409
KN 185	0.469	0.219961
KN 186	-0.027	0.000729
KN 187	-0.181	0.032761
KN 188	0.001	0.000001
KN 189	-0.09	0.0081
KN 190	0.316	0.099856
KN 191	-0.033	0.001089
KN 192	0.469	0.219961
KN 193	0.373	0.139129
KN 194	0.34	0.1156
KN 195	0.226	0.051076
KN 196	-0.03	0.0009
KN 197	-0.093	0.008649
KN 198	0.326	0.106276
KN 199	0.11	0.0121
KN 200	0.328	0.107584

Şekil A.4 : Delaunay üçgenleme yöntemi ile SYM(DJI-80m) düşey doğruluk analizi.

h(Referans) - h(DI180m)																																					
Nok. No	ε_h	$\varepsilon_h * \varepsilon_h$																																			
KN 201	-0.037	0.001369	KN 226	0.321	0.103041	KN 251	0.284	0.080656	KN 276	0.249	0.062001	KN 301	0.026	0.000676	KN 326	0.096	0.009216	KN 351	0.072	0.005184	KN 376	0.008	0.000064														
KN 202	0.412	0.169744	KN 227	0.059	0.003481	KN 252	0.198	0.039204	KN 277	0.059	0.003481	KN 302	0.023	0.000529	KN 327	0.174	0.030276	KN 352	0.115	0.013225	KN 377	0.226	0.051076														
KN 203	0.207	0.042849	KN 228	-0.01	0.0001	KN 253	0.011	0.000121	KN 278	0.243	0.059049	KN 303	0.04	0.0016	KN 328	0.151	0.022801	KN 353	0.177	0.031329	KN 378	0.171	0.029241														
KN 204	-0.056	0.003136	KN 229	0.267	0.071289	KN 254	0.034	0.001156	KN 279	0.073	0.005329	KN 304	0.357	0.127449	KN 329	0.278	0.077284	KN 354	0.071	0.005041	KN 379	-0.028	0.000784														
KN 205	0.418	0.174724	KN 230	-0.022	0.000484	KN 255	0.131	0.017161	KN 280	-0.031	0.000961	KN 305	0.15	0.0225	KN 330	0.255	0.065025	KN 355	-0.044	0.001936	KN 380	0.115	0.013225														
KN 206	0.392	0.153664	KN 231	0.172	0.029584	KN 256	-0.096	0.009216	KN 281	0.022	0.000484	KN 306	-0.022	0.000484	KN 331	0.122	0.014884	KN 356	0.005	0.000025	KN 381	0.033	0.001089														
KN 207	-0.182	0.033124	KN 232	0.086	0.007396	KN 257	0.517	0.267289	KN 282	-0.058	0.003364	KN 307	0.103	0.010609	KN 332	0.09	0.0081	KN 357	0	0	KN 382	0.118	0.013924														
KN 208	0.131	0.017161	KN 233	0.23	0.0529	KN 258	-0.014	0.000196	KN 283	0.101	0.010201	KN 308	0.118	0.013924	KN 333	0.194	0.037636	KN 358	0.031	0.000961	KN 383	0.169	0.028561														
KN 209	0.297	0.088209	KN 234	0.093	0.008649	KN 259	0.386	0.148996	KN 284	0.07	0.0049	KN 309	0.111	0.012321	KN 334	-0.04	0.0016	KN 359	0.043	0.001849	KN 384	0.063	0.003969														
KN 210	-0.067	0.004489	KN 235	0.312	0.097344	KN 260	0.201	0.040401	KN 285	0.217	0.047089	KN 310	-0.025	0.000625	KN 335	0.11	0.0121	KN 360	0.409	0.167281	KN 385	0.034	0.001156														
KN 211	0.089	0.007921	KN 236	0.275	0.075625	KN 261	-0.036	0.001296	KN 286	0.357	0.127449	KN 311	0.157	0.024649	KN 336	0.217	0.047089	KN 361	0.329	0.108241	KN 386	-0.017	0.000289														
KN 212	0.272	0.073984	KN 237	-0.19	0.0361	KN 262	0.215	0.046225	KN 287	-0.25	0.0625	KN 312	0.024	0.000576	KN 337	0.204	0.041616	KN 362	0.211	0.044521	KN 387	0.02	0.0004														
KN 213	-0.119	0.014161	KN 238	0.093	0.008649	KN 263	0.227	0.051529	KN 288	0.399	0.159201	KN 313	0.283	0.080089	KN 338	-0.039	0.001521	KN 363	0.246	0.060516	KN 388	-0.023	0.000529														
KN 214	0.42	0.1764	KN 239	0.032	0.001024	KN 264	0.057	0.003249	KN 289	0.22	0.0484	KN 314	0.41	0.1681	KN 339	0.083	0.006889	KN 364	0.172	0.029584	KN 389	0.05	0.0025														
KN 215	0.005	0.000025	KN 240	0.149	0.022201	KN 265	0.173	0.029929	KN 290	0.219	0.047961	KN 315	0.333	0.110889	KN 340	0.77	0.5929	KN 365	0.176	0.030976	KN 390	0.052	0.002704														
KN 216	0.036	0.001296	KN 241	0.187	0.034969	KN 266	0.024	0.000576	KN 291	0.049	0.002401	KN 316	0.054	0.002916	KN 341	0.059	0.003481	KN 366	0.244	0.059536	KN 391	0.01	0.0001														
KN 217	0.421	0.177241	KN 242	0.337	0.113569	KN 267	-0.12	0.0144	KN 292	0.248	0.061504	KN 317	0.056	0.003136	KN 342	-0.066	0.004356	KN 367	-0.03	0.0009	KN 392	-0.018	0.000324														
KN 218	0.24	0.0576	KN 243	0.276	0.076176	KN 268	0.14	0.0196	KN 293	0.21	0.0441	KN 318	0.152	0.023104	KN 343	-0.177	0.031329	KN 368	0.096	0.009216	KN 393	-0.01	0.0001														
KN 219	0.077	0.005929	KN 244	0.214	0.045796	KN 269	0.092	0.008464	KN 294	0.02	0.0004	KN 319	0.17	0.0289	KN 344	0.044	0.001936	KN 369	0.148	0.021904	KN 394	0.011	0.000121														
KN 220	0.096	0.009216	KN 245	0.065	0.004225	KN 270	0.16	0.0256	KN 295	-0.018	0.000324	KN 320	0.193	0.037249	KN 345	0.062	0.003844	KN 370	0.146	0.021316	KN 395	0.08	0.0064														
KN 221	0.26	0.0676	KN 246	0.222	0.049284	KN 271	0.418	0.174724	KN 296	0.127	0.016129	KN 321	0.06	0.0036	KN 346	0.219	0.047961	KN 371	-0.087	0.007569	KN 396	-0.011	0.000121														
KN 222	0.118	0.013924	KN 247	0.064	0.004096	KN 272	-0.14	0.0196	KN 297	0.196	0.038416	KN 322	-0.023	0.000529	KN 347	0.265	0.070225	KN 372	-0.002	0.000004	KN 397	0.027	0.000729														
KN 223	0.269	0.072361	KN 248	-0.069	0.004761	KN 273	0.392	0.153664	KN 298	0.236	0.055696	KN 323	0.027	0.000729	KN 348	0.443	0.196249	KN 373	0.11	0.0121	KN 398	0.025	0.000625														
KN 224	0.026	0.000676	KN 249	-0.08	0.0064	KN 274	0.171	0.029241	KN 299	0.048	0.002304	KN 324	0.234	0.054756	KN 349	0.177	0.031329	KN 374	0.006	0.000036	KN 399	0.009	0.000081														
KN 225	0.479	0.229441	KN 250	0.124	0.015376	KN 275	0.126	0.015876	KN 300	0.058	0.003364	KN 325	0.281	0.078961	KN 350	0.192	0.036864	KN 375	0.038	0.001444	KN 400	0.004	0.000016														
																						$\Sigma(\varepsilon_h * \varepsilon_h) = 13.3680 \text{ m}^2$		$m_h = 0.1828 \text{ m}$													

Şekil A.5 : Delaunay üçgenleme yöntemi ile SYM(DJI-80m) düşey doğruluk analizi devamı.

h(Referans) - h(DJI 300m)																							
Nok. No	ε_h	$\varepsilon_h * \varepsilon_h$																					
KN 1	-0.077	0.005929	KN 26	-0.399	0.159201	KN 51	-0.044	0.001936	KN 76	-0.012	0.000144	KN 101	-0.282	0.079524	KN 126	-0.237	0.056169	KN 151	0.063	0.003969	KN 176	-0.027	0.000729
KN 2	-0.03	0.0009	KN 27	-0.025	0.000625	KN 52	-0.055	0.003025	KN 77	-0.413	0.170569	KN 102	0.091	0.008281	KN 127	-0.228	0.051984	KN 152	-0.393	0.154449	KN 177	-0.454	0.206116
KN 3	-0.103	0.010609	KN 28	-0.291	0.084681	KN 53	-0.159	0.025281	KN 78	0.361	0.130321	KN 103	-0.294	0.086436	KN 128	-0.003	0.000009	KN 153	-0.552	0.304704	KN 178	-0.038	0.001444
KN 4	-0.094	0.008836	KN 29	-0.403	0.162409	KN 54	-0.394	0.155236	KN 79	-0.354	0.125316	KN 104	0.108	0.011664	KN 129	-0.203	0.041209	KN 154	0.067	0.004489	KN 179	0.031	0.000961
KN 5	-0.168	0.028224	KN 30	-0.094	0.008836	KN 55	-0.537	0.288369	KN 80	-0.347	0.120409	KN 105	-0.288	0.082944	KN 130	0.117	0.013689	KN 155	-0.033	0.001089	KN 180	-0.257	0.066049
KN 6	-0.07	0.0049	KN 31	-0.153	0.023409	KN 56	-0.428	0.183184	KN 81	-0.01	0.0001	KN 106	-0.229	0.052441	KN 131	-0.475	0.225625	KN 156	-0.23	0.0529	KN 181	-0.393	0.154449
KN 7	-0.217	0.047089	KN 32	-0.155	0.024025	KN 57	-0.342	0.116964	KN 82	-0.272	0.073984	KN 107	-0.431	0.185761	KN 132	-0.44	0.1936	KN 157	-0.017	0.000289	KN 182	-0.395	0.156025
KN 8	-0.053	0.002809	KN 33	-0.244	0.059536	KN 58	-0.174	0.030276	KN 83	-0.509	0.259081	KN 108	-0.224	0.050176	KN 133	-0.308	0.094864	KN 158	-0.26	0.0676	KN 183	0.198	0.039204
KN 9	-0.249	0.062001	KN 34	-0.351	0.123201	KN 59	-0.381	0.145161	KN 84	0.263	0.069169	KN 109	-0.311	0.096721	KN 134	-0.109	0.011881	KN 159	0.028	0.000784	KN 184	0.338	0.114244
KN 10	-0.107	0.011449	KN 35	-0.112	0.012544	KN 60	-0.448	0.200704	KN 85	-0.382	0.145924	KN 110	-0.115	0.013225	KN 135	0.318	0.101124	KN 160	-0.164	0.026896	KN 185	-0.013	0.000169
KN 11	-0.1	0.01	KN 36	-0.23	0.0529	KN 61	-0.232	0.053824	KN 86	-0.427	0.182329	KN 111	-0.227	0.051529	KN 136	-0.159	0.025281	KN 161	-0.024	0.000576	KN 186	-0.123	0.015129
KN 12	-0.402	0.161604	KN 37	0.27	0.0729	KN 62	-0.424	0.179776	KN 87	-0.457	0.208849	KN 112	-0.119	0.014161	KN 137	0	0	KN 162	-0.266	0.070756	KN 187	-0.543	0.294849
KN 13	-0.31	0.0961	KN 38	-0.314	0.098596	KN 63	-0.044	0.001936	KN 88	-0.501	0.251001	KN 113	-0.3	0.09	KN 138	-0.477	0.227529	KN 163	0.099	0.009801	KN 188	0.098	0.009604
KN 14	-0.348	0.121104	KN 39	-0.374	0.139876	KN 64	-0.312	0.097344	KN 89	-0.052	0.002704	KN 114	-0.464	0.215296	KN 139	-0.3	0.09	KN 164	-0.302	0.091204	KN 189	-0.431	0.185761
KN 15	-0.339	0.114921	KN 40	-0.362	0.131044	KN 65	-0.15	0.0225	KN 90	-0.081	0.006561	KN 115	-0.168	0.028224	KN 140	-0.084	0.007056	KN 165	-0.026	0.000676	KN 190	0.087	0.007569
KN 16	-0.077	0.005929	KN 41	-0.067	0.004489	KN 66	-0.067	0.004489	KN 91	-0.169	0.028561	KN 116	-0.288	0.082944	KN 141	-0.084	0.007056	KN 166	0.098	0.009604	KN 191	-0.079	0.006241
KN 17	-0.307	0.094249	KN 42	0.033	0.001089	KN 67	-0.368	0.135424	KN 92	-0.359	0.128881	KN 117	-0.046	0.002116	KN 142	-0.059	0.003481	KN 167	-0.446	0.198916	KN 192	0.092	0.008464
KN 18	-0.149	0.022201	KN 43	-0.053	0.002809	KN 68	-0.21	0.0441	KN 93	-0.44	0.1936	KN 118	-0.238	0.056644	KN 143	-0.404	0.163216	KN 168	-0.307	0.094249	KN 193	-0.118	0.013924
KN 19	-0.178	0.031684	KN 44	-0.074	0.005476	KN 69	-0.384	0.147456	KN 94	-0.435	0.189225	KN 119	-0.181	0.032761	KN 144	-0.05	0.0025	KN 169	0.01	0.0001	KN 194	-0.073	0.005329
KN 20	-0.22	0.0484	KN 45	-0.312	0.097344	KN 70	0.69	0.4761	KN 95	-0.307	0.094249	KN 120	-0.158	0.024964	KN 145	0.114	0.012996	KN 170	0.014	0.000196	KN 195	0.217	0.047089
KN 21	0.064	0.004096	KN 46	-0.32	0.1024	KN 71	0.567	0.321489	KN 96	-0.049	0.002401	KN 121	0.055	0.003025	KN 146	-0.317	0.100489	KN 171	-0.024	0.000576	KN 196	0.112	0.012544
KN 22	-0.427	0.182329	KN 47	-0.113	0.012769	KN 72	-0.418	0.174724	KN 97	-0.459	0.210681	KN 122	-0.425	0.180625	KN 147	-0.255	0.065025	KN 172	-0.213	0.045369	KN 197	-0.305	0.093025
KN 23	-0.233	0.054289	KN 48	-0.214	0.045796	KN 73	-0.27	0.0729	KN 98	0.135	0.018225	KN 123	-0.329	0.108241	KN 148	-0.096	0.009216	KN 173	0.021	0.000441	KN 198	0.052	0.002704
KN 24	-0.284	0.080656	KN 49	-0.227	0.051529	KN 74	-0.063	0.003969	KN 99	0.033	0.001089	KN 124	-0.043	0.001849	KN 149	-0.243	0.059049	KN 174	-0.302	0.091204	KN 199	0.259	0.067081
KN 25	-0.345	0.119025	KN 50	-0.117	0.013689	KN 75	-0.293	0.085849	KN 100	-0.348	0.121104	KN 125	-0.23	0.0529	KN 150	-0.391	0.152881	KN 175	0.131	0.017161	KN 200	0.062	0.003844

Şekil A.6 : Delaunay üçgenleme yöntemi ile SYM(DJI-300m) düşey doğruluk analizi.

h(Referans) - h(DJI 300m)																									
Nok. No		ε_h	$\varepsilon_h * \varepsilon_h$																						
KN 201	-0.508	0.258064	KN 226	-0.024	0.000576	KN 251	0.144	0.020736	KN 276	0.837	0.700569	KN 301	-0.007	0.000049	KN 326	0.052	0.002704	KN 351	-0.06	0.0036	KN 376	0.07	0.0049		
KN 202	0.129	0.016641	KN 227	0.31	0.0961	KN 252	0.175	0.030625	KN 277	-0.018	0.000324	KN 302	-0.32	0.1024	KN 327	-0.274	0.075076	KN 352	0.293	0.085849	KN 377	-0.03	0.0009		
KN 203	-0.348	0.121104	KN 228	0.133	0.017689	KN 253	-0.001	0.000001	KN 278	0.151	0.022801	KN 303	-0.054	0.002916	KN 328	-0.04	0.0016	KN 353	0.039	0.001521	KN 378	0.15	0.0225		
KN 204	0.121	0.014641	KN 229	0.126	0.015876	KN 254	0.044	0.001936	KN 279	0.008	0.000064	KN 304	0.1	0.01	KN 329	0.044	0.001936	KN 354	0.155	0.024025	KN 379	0.079	0.006241		
KN 205	0.004	0.000016	KN 230	0.04	0.0016	KN 255	0.088	0.007744	KN 280	-0.092	0.008464	KN 305	0	0	KN 330	-0.134	0.017956	KN 355	0.73	0.5329	KN 380	0.17	0.0289		
KN 206	-0.323	0.104329	KN 231	-0.173	0.029929	KN 256	-0.189	0.035721	KN 281	-0.16	0.0256	KN 306	-0.23	0.0529	KN 331	0.103	0.010609	KN 356	-0.06	0.0036	KN 381	-0.124	0.015376		
KN 207	0.023	0.000529	KN 232	0.123	0.015129	KN 257	-0.297	0.088209	KN 282	-0.19	0.0361	KN 307	0.069	0.004761	KN 332	0.033	0.001089	KN 357	0	0	KN 382	-0.123	0.015129		
KN 208	-0.311	0.096721	KN 233	0.048	0.002304	KN 258	-0.146	0.021316	KN 283	-0.007	0.000049	KN 308	-0.157	0.024649	KN 333	-0.015	0.000225	KN 358	0.05	0.0025	KN 383	0.048	0.002304		
KN 209	0.066	0.004356	KN 234	-0.404	0.163216	KN 259	-0.216	0.046656	KN 284	-0.481	0.231361	KN 309	0.067	0.004489	KN 334	0.22	0.0484	KN 359	-0.074	0.005476	KN 384	0.048	0.002304		
KN 210	-0.13	0.0169	KN 235	0.13	0.0169	KN 260	0.077	0.005929	KN 285	-0.364	0.132496	KN 310	-0.19	0.0361	KN 335	-0.091	0.008281	KN 360	-0.391	0.152881	KN 385	0.07	0.0049		
KN 211	0.001	0.000001	KN 236	-0.002	0.000004	KN 261	0.08	0.0064	KN 286	0.044	0.001936	KN 311	0.155	0.024025	KN 336	-0.072	0.005184	KN 361	-0.097	0.009409	KN 386	0.02	0.0004		
KN 212	-0.063	0.003969	KN 237	-0.634	0.401956	KN 262	0.086	0.007396	KN 287	-0.13	0.0169	KN 312	-0.101	0.010201	KN 337	0.175	0.030625	KN 362	-0.14	0.0196	KN 387	-0.067	0.004489		
KN 213	-0.242	0.058564	KN 238	0.04	0.0016	KN 263	0.234	0.054756	KN 288	0.084	0.007056	KN 313	-0.05	0.0025	KN 338	0.031	0.000961	KN 363	0.384	0.147456	KN 388	-0.092	0.008464		
KN 214	0.079	0.006241	KN 239	-0.257	0.066049	KN 264	-0.415	0.172225	KN 289	-0.005	0.000025	KN 314	0.05	0.0025	KN 339	-0.191	0.036481	KN 364	-0.014	0.000196	KN 389	0.342	0.116964		
KN 215	-0.083	0.006889	KN 240	-0.277	0.076729	KN 265	0.21	0.0441	KN 290	0.009	0.000081	KN 315	0.137	0.018769	KN 340	-0.136	0.018496	KN 365	-0.072	0.005184	KN 390	0.16	0.0256		
KN 216	-0.066	0.004356	KN 241	0.167	0.027889	KN 266	-0.089	0.007921	KN 291	-0.126	0.015876	KN 316	-0.01	0.0001	KN 341	-0.146	0.021316	KN 366	0.105	0.011025	KN 391	-0.12	0.0144		
KN 217	-0.183	0.033489	KN 242	0.027	0.000729	KN 267	-0.095	0.009025	KN 292	0.163	0.026569	KN 317	-0.217	0.047089	KN 342	0.043	0.001849	KN 367	0.043	0.001849	KN 392	-0.013	0.000169		
KN 218	0.016	0.000256	KN 243	0.071	0.005041	KN 268	-0.093	0.008649	KN 293	-0.071	0.005041	KN 318	0.173	0.029929	KN 343	0.032	0.001024	KN 368	0.01	0.0001	KN 393	-0.34	0.1156		
KN 219	-0.517	0.267289	KN 244	-0.127	0.016129	KN 269	-0.254	0.064516	KN 294	-0.078	0.006084	KN 319	0.06	0.0036	KN 344	0.474	0.224676	KN 369	-0.072	0.005184	KN 394	-0.017	0.000289		
KN 220	-0.274	0.075076	KN 245	-0.188	0.035344	KN 270	0.213	0.045369	KN 295	0.089	0.007921	KN 320	-0.097	0.009409	KN 345	0.22	0.0484	KN 370	0.258	0.066564	KN 395	0.09	0.0081		
KN 221	0.074	0.005476	KN 246	-0.046	0.002116	KN 271	0.093	0.008649	KN 296	0.077	0.005929	KN 321	0.162	0.026244	KN 346	0.007	0.000049	KN 371	0.159	0.025281	KN 396	-0.11	0.0121		
KN 222	0.094	0.008836	KN 247	0.156	0.024336	KN 272	0.117	0.013689	KN 297	-0.093	0.008649	KN 322	0.13	0.0169	KN 347	-0.443	0.196249	KN 372	-0.288	0.082944	KN 397	-0.063	0.003969		
KN 223	0.29	0.0841	KN 248	0.056	0.003136	KN 273	-0.19	0.0361	KN 298	-0.137	0.018769	KN 323	-0.037	0.001369	KN 348	-0.064	0.004096	KN 373	0.24	0.0576	KN 398	-0.336	0.112896		
KN 224	-0.479	0.229441	KN 249	-0.1	0.01	KN 274	-0.077	0.005929	KN 299	-0.107	0.011449	KN 324	0.017	0.000289	KN 349	-0.122	0.014884	KN 374	-0.26	0.0676	KN 399	-0.073	0.005329		
KN 225	0.181	0.032761	KN 250	-0.17	0.0289	KN 275	-0.35	0.1225	KN 300	-0.004	0.000016	KN 325	-0.184	0.033856	KN 350	-0.089	0.007921	KN 375	0.137	0.018769	KN 400	0.023	0.000529		
																					$\sum(\varepsilon_h * \varepsilon_h) = 22,3905 \text{ m}^2$			$m_h = 0.2366 \text{ m}$	

Şekil A.7 : Delaunay üçgenleme yöntemi ile SYM(DJI-300m) düşey doğruluk doğruluk analizi devamı.

h(Referans) - h(DJI 80m)																							
Nok. No	ε_h	$\varepsilon_h * \varepsilon_h$																					
KN 1	-0.02	0.0004	KN 26	-0.17	0.0289	KN 51	0.03	0.0009	KN 76	0.11	0.0121	KN 101	-0.08	0.0064	KN 126	0.3	0.09	KN 151	-0.04	0.0016	KN 176	0.07	0.0049
KN 2	0.04	0.0016	KN 27	-0.19	0.0361	KN 52	0	0	KN 77	-0.24	0.0576	KN 102	0.06	0.0036	KN 127	0.02	0.0004	KN 152	0.32	0.1024	KN 177	0.4	0.16
KN 3	0	0	KN 28	-0.04	0.0016	KN 53	0.06	0.0036	KN 78	0.01	0.0001	KN 103	0.2	0.04	KN 128	-0.13	0.0169	KN 153	0.4	0.16	KN 178	-0.24	0.0576
KN 4	-0.02	0.0004	KN 29	-0.11	0.0121	KN 54	0.11	0.0121	KN 79	0	0	KN 104	0.15	0.0225	KN 129	-0.03	0.0009	KN 154	0.15	0.0225	KN 179	0.02	0.0004
KN 5	0.02	0.0004	KN 30	0.03	0.0009	KN 55	-0.03	0.0009	KN 80	0.07	0.0049	KN 105	0.32	0.1024	KN 130	0.01	0.0001	KN 155	-0.11	0.0121	KN 180	0.17	0.0289
KN 6	0.03	0.0009	KN 31	0.14	0.0196	KN 56	-0.25	0.0625	KN 81	0.01	0.0001	KN 106	-0.08	0.0064	KN 131	0.08	0.0064	KN 156	0.17	0.0289	KN 181	0.23	0.0529
KN 7	-0.09	0.0081	KN 32	0.04	0.0016	KN 57	-0.01	0.0001	KN 82	-0.03	0.0009	KN 107	-0.02	0.0004	KN 132	-0.03	0.0009	KN 157	0.42	0.1764	KN 182	0.41	0.1681
KN 8	0.06	0.0036	KN 33	-0.07	0.0049	KN 58	-0.04	0.0016	KN 83	-0.12	0.0144	KN 108	0.1	0.01	KN 133	0.13	0.0169	KN 158	0.38	0.1444	KN 183	-0.13	0.0169
KN 9	0.07	0.0049	KN 34	0.03	0.0009	KN 59	-0.22	0.0484	KN 84	0.1	0.01	KN 109	0.03	0.0009	KN 134	0.12	0.0144	KN 159	-0.08	0.0064	KN 184	0.28	0.0784
KN 10	-0.01	0.0001	KN 35	-0.08	0.0064	KN 60	0.16	0.0256	KN 85	0.11	0.0121	KN 110	-0.01	0.0001	KN 135	0.06	0.0036	KN 160	0.13	0.0169	KN 185	0.4	0.16
KN 11	-0.07	0.0049	KN 36	-0.14	0.0196	KN 61	-0.05	0.0025	KN 86	-0.03	0.0009	KN 111	0.02	0.0004	KN 136	0.08	0.0064	KN 161	0.37	0.1369	KN 186	0.26	0.0676
KN 12	-0.1	0.01	KN 37	0.01	0.0001	KN 62	-0.05	0.0025	KN 87	0.02	0.0004	KN 112	-0.25	0.0625	KN 137	0.21	0.0441	KN 162	0	0	KN 187	0.17	0.0289
KN 13	-0.04	0.0016	KN 38	-0.08	0.0064	KN 63	-0.16	0.0256	KN 88	0.03	0.0009	KN 113	0.1	0.01	KN 138	-0.13	0.0169	KN 163	0.37	0.1369	KN 188	0.43	0.1849
KN 14	-0.09	0.0081	KN 39	-0.07	0.0049	KN 64	-0.19	0.0361	KN 89	-0.21	0.0441	KN 114	0.05	0.0025	KN 139	0.11	0.0121	KN 164	0.3	0.09	KN 189	0.19	0.0361
KN 15	0.04	0.0016	KN 40	0.06	0.0036	KN 65	0.02	0.0004	KN 90	-0.1	0.01	KN 115	0.29	0.0841	KN 140	0.02	0.0004	KN 165	-0.11	0.0121	KN 190	0.46	0.2116
KN 16	-0.06	0.0036	KN 41	0.1	0.01	KN 66	-0.1	0.01	KN 91	-0.01	0.0001	KN 116	0.23	0.0529	KN 141	-0.09	0.0081	KN 166	0.04	0.0016	KN 191	-0.03	0.0009
KN 17	-0.12	0.0144	KN 42	0.09	0.0081	KN 67	-0.03	0.0009	KN 92	0.08	0.0064	KN 117	-0.04	0.0016	KN 142	0.33	0.1089	KN 167	0.29	0.0841	KN 192	0.11	0.0121
KN 18	-0.05	0.0025	KN 43	0.04	0.0016	KN 68	-0.02	0.0004	KN 93	0.05	0.0025	KN 118	0.08	0.0064	KN 143	0.41	0.1681	KN 168	-0.19	0.0361	KN 193	-0.06	0.0036
KN 19	-0.05	0.0025	KN 44	0.03	0.0009	KN 69	0.02	0.0004	KN 94	0.27	0.0729	KN 119	0.16	0.0256	KN 144	-0.16	0.0256	KN 169	-0.02	0.0004	KN 194	0.06	0.0036
KN 20	-0.05	0.0025	KN 45	0.12	0.0144	KN 70	0.04	0.0016	KN 95	0.09	0.0081	KN 120	0.39	0.1521	KN 145	0.09	0.0081	KN 170	0.29	0.0841	KN 195	0.07	0.0049
KN 21	-0.03	0.0009	KN 46	-0.02	0.0004	KN 71	-0.01	0.0001	KN 96	0.09	0.0081	KN 121	-0.02	0.0004	KN 146	0.01	0.0001	KN 171	0.4	0.16	KN 196	-0.07	0.0049
KN 22	-0.1	0.01	KN 47	-0.19	0.0361	KN 72	-0.04	0.0016	KN 97	0.07	0.0049	KN 122	0.22	0.0484	KN 147	-0.02	0.0004	KN 172	0.23	0.0529	KN 197	0.3	0.09
KN 23	0.03	0.0009	KN 48	0.05	0.0025	KN 73	-0.03	0.0009	KN 98	0.11	0.0121	KN 123	0.03	0.0009	KN 148	0.19	0.0361	KN 173	0.08	0.0064	KN 198	-0.06	0.0036
KN 24	-0.05	0.0025	KN 49	-0.08	0.0064	KN 74	0.05	0.0025	KN 99	-0.15	0.0225	KN 124	-0.19	0.0361	KN 149	0.22	0.0484	KN 174	0.29	0.0841	KN 199	0.16	0.0256
KN 25	-0.13	0.0169	KN 50	-0.14	0.0196	KN 75	-0.17	0.0289	KN 100	0.12	0.0144	KN 125	0.09	0.0081	KN 150	0.01	0.0001	KN 175	0.33	0.1089	KN 200	0.31	0.0961

Şekil A.8 : Kriging enterpolasyon yöntemi ile SYM(DJI-80m) düşey doğruluk analizi.

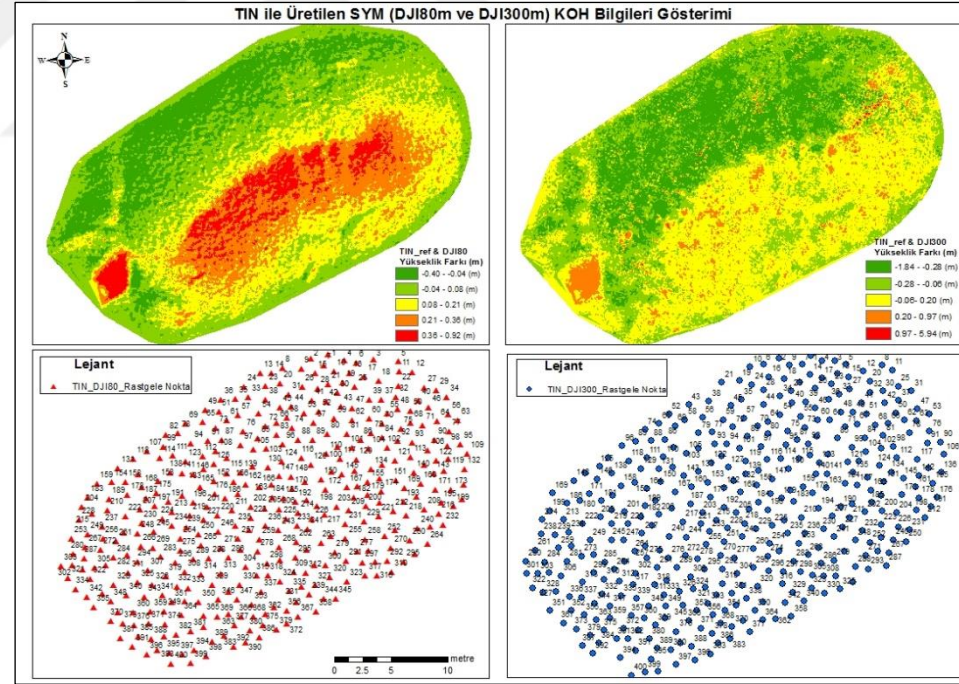
h(Referans) - h(DJI 80m)																										
Nok. No	ε_h	$\varepsilon_h * \varepsilon_h$																								
KN 201	-0.15	0.0225	KN 226	0.39	0.1521	KN 251	0.19	0.0361	KN 276	0.05	0.0025	KN 301	0.3	0.09	KN 326	0.15	0.0225	KN 351	0.57	0.3249	KN 376	0.14	0.0196			
KN 202	0.31	0.0961	KN 227	-0.17	0.0289	KN 252	0.23	0.0529	KN 277	0	0	KN 302	0.11	0.0121	KN 327	0.15	0.0225	KN 352	0.07	0.0049	KN 377	0	0			
KN 203	-0.11	0.0121	KN 228	0.37	0.1369	KN 253	0.48	0.2304	KN 278	0.14	0.0196	KN 303	-0.03	0.0009	KN 328	0.1	0.01	KN 353	0.09	0.0081	KN 378	-0.02	0.0004			
KN 204	0.32	0.1024	KN 229	0.04	0.0016	KN 254	0.1	0.01	KN 279	0.01	0.0001	KN 304	0.02	0.0004	KN 329	0.19	0.0361	KN 354	0.05	0.0025	KN 379	0.19	0.0361			
KN 205	-0.09	0.0081	KN 230	0.31	0.0961	KN 255	0.13	0.0169	KN 280	0.14	0.0196	KN 305	0.02	0.0004	KN 330	-0.03	0.0009	KN 355	0.08	0.0064	KN 380	0.23	0.0529			
KN 206	0.37	0.1369	KN 231	0.07	0.0049	KN 256	-0.15	0.0225	KN 281	-0.03	0.0009	KN 306	0.17	0.0289	KN 331	0.24	0.0576	KN 356	0.01	0.0001	KN 381	0.11	0.0121			
KN 207	0.2	0.04	KN 232	-0.06	0.0036	KN 257	-0.07	0.0049	KN 282	-0.08	0.0064	KN 307	0.14	0.0196	KN 332	0.32	0.1024	KN 357	0.42	0.1764	KN 382	0.02	0.0004			
KN 208	0.2	0.04	KN 233	0.05	0.0025	KN 258	0.07	0.0049	KN 283	0.25	0.0625	KN 308	-0.03	0.0009	KN 333	0.08	0.0064	KN 358	0.1	0.01	KN 383	-0.04	0.0016			
KN 209	0.44	0.1936	KN 234	0.13	0.0169	KN 259	0.16	0.0256	KN 284	0.59	0.3481	KN 309	0.37	0.1369	KN 334	0.11	0.0121	KN 359	0.19	0.0361	KN 384	0.11	0.0121			
KN 210	-0.05	0.0025	KN 235	-0.01	0.0001	KN 260	0.46	0.2116	KN 285	0.46	0.2116	KN 310	0.08	0.0064	KN 335	0.09	0.0081	KN 360	0.2	0.04	KN 385	-0.01	0.0001			
KN 211	0.05	0.0025	KN 236	0.2	0.04	KN 261	0.14	0.0196	KN 286	0.13	0.0169	KN 311	0.13	0.0169	KN 336	0.34	0.1156	KN 361	0.17	0.0289	KN 386	0.17	0.0289			
KN 212	0.22	0.0484	KN 237	0.22	0.0484	KN 262	0	0	KN 287	0.15	0.0225	KN 312	0.08	0.0064	KN 337	-0.04	0.0016	KN 362	0.8	0.64	KN 387	0.1	0.01			
KN 213	-0.02	0.0004	KN 238	-0.16	0.0256	KN 263	0.07	0.0049	KN 288	0.03	0.0009	KN 313	0.01	0.0001	KN 338	0.56	0.3136	KN 363	0.2	0.04	KN 388	-0.04	0.0016			
KN 214	0.46	0.2116	KN 239	0.33	0.1089	KN 264	0.44	0.1936	KN 289	0.26	0.0676	KN 314	0.15	0.0225	KN 339	0.36	0.1296	KN 364	0.38	0.1444	KN 389	0.07	0.0049			
KN 215	-0.12	0.0144	KN 240	0.24	0.0576	KN 265	-0.24	0.0576	KN 290	0.22	0.0484	KN 315	0.03	0.0009	KN 340	0.33	0.1089	KN 365	0.16	0.0256	KN 390	0.02	0.0004			
KN 216	0.12	0.0144	KN 241	0.1	0.01	KN 266	0.37	0.1369	KN 291	-0.07	0.0049	KN 316	0.21	0.0441	KN 341	0.1	0.01	KN 366	0	0	KN 391	0.07	0.0049			
KN 217	0.28	0.0784	KN 242	0.04	0.0016	KN 267	0.28	0.0784	KN 292	0.28	0.0784	KN 317	0.36	0.1296	KN 342	0.1	0.01	KN 367	-0.03	0.0009	KN 392	0.23	0.0529			
KN 218	0.02	0.0004	KN 243	0.16	0.0256	KN 268	0.32	0.1024	KN 293	0.27	0.0729	KN 318	0.3	0.09	KN 343	0.06	0.0036	KN 368	0.18	0.0324	KN 393	0.13	0.0169			
KN 219	0.31	0.0961	KN 244	0.37	0.1369	KN 269	0.13	0.0169	KN 294	0.11	0.0121	KN 319	0.22	0.0484	KN 344	-0.04	0.0016	KN 369	0.08	0.0064	KN 394	0	0			
KN 220	0.22	0.0484	KN 245	0.06	0.0036	KN 270	-0.05	0.0025	KN 295	0.29	0.0841	KN 320	0.08	0.0064	KN 345	0.03	0.0009	KN 370	0.08	0.0064	KN 395	-0.02	0.0004			
KN 221	0.3	0.09	KN 246	0.29	0.0841	KN 271	0.19	0.0361	KN 296	0.3	0.09	KN 321	0.25	0.0625	KN 346	0.19	0.0361	KN 371	0.21	0.0441	KN 396	0.01	0.0001			
KN 222	0.4	0.16	KN 247	0.37	0.1369	KN 272	-0.05	0.0025	KN 297	-0.1	0.01	KN 322	-0.02	0.0004	KN 347	0.17	0.0289	KN 372	-0.13	0.0169	KN 397	-0.03	0.0009			
KN 223	0.21	0.0441	KN 248	0.29	0.0841	KN 273	0.34	0.1156	KN 298	0.35	0.1225	KN 323	0.05	0.0025	KN 348	0.29	0.0841	KN 373	0.06	0.0036	KN 398	-0.01	0.0001			
KN 224	0.1	0.01	KN 249	0	0	KN 274	0.36	0.1296	KN 299	0.07	0.0049	KN 324	0.2	0.04	KN 349	0.12	0.0144	KN 374	0.34	0.1156	KN 399	0.13	0.0169			
KN 225	0.12	0.0144	KN 250	0.05	0.0025	KN 275	0.15	0.0225	KN 300	0.39	0.1521	KN 325	0.28	0.0784	KN 350	0.26	0.0676	KN 375	0.18	0.0324	KN 400	-0.03	0.0009			
																					$\Sigma(\varepsilon_h * \varepsilon_h) = 15.1934\text{m}^2$					
																					$m_h = 0.1949\text{ m}$					

Şekil A.9 : Kriging enterpolasyon yöntemi ile SYM(DJI-80m) düşey doğruluk analizi.

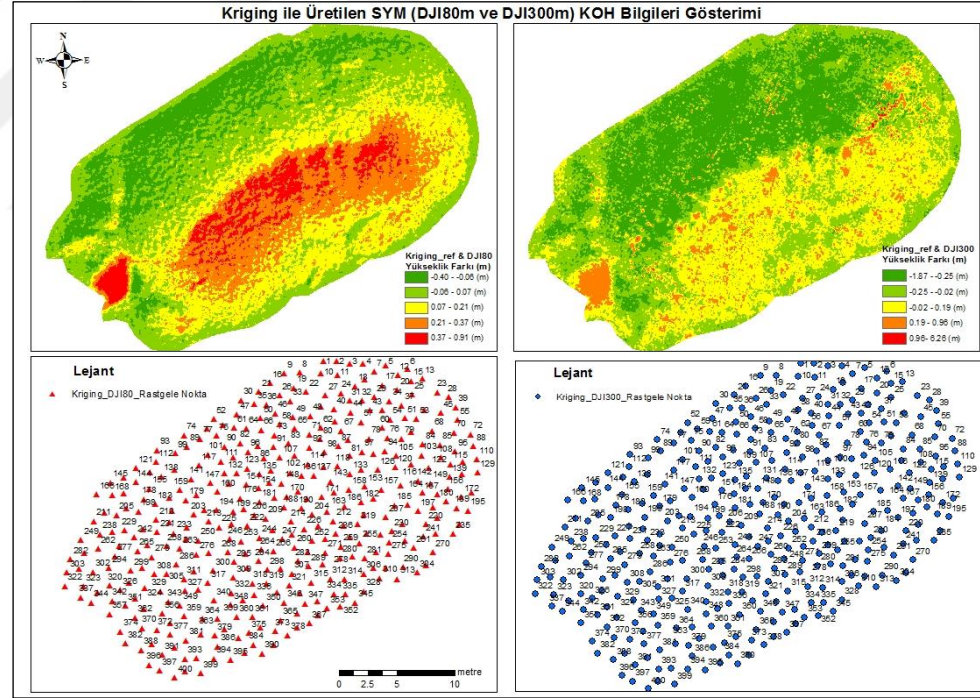
$h(\text{Referans}) - h(\text{DJI 300m})$															
Nok. No	ε_h	ε_h^*	ε_h												
KN 1	-0.06	0.0036		KN 26	-0.064	0.004096	KN 51	-0.272	0.073984	KN 76	-0.435	0.189225	KN 101	-0.29	0.0841
KN 2	-0.15	0.0225		KN 27	-0.326	0.106276	KN 52	-0.332	0.110224	KN 77	-0.267	0.071289	KN 102	-0.404	0.163216
KN 3	-0.038	0.001444		KN 28	-0.117	0.013689	KN 53	-0.32	0.1024	KN 78	-0.446	0.198916	KN 103	-0.232	0.053824
KN 4	-0.17	0.0289		KN 29	-0.406	0.164836	KN 54	-0.443	0.196249	KN 79	0.094	0.008836	KN 104	-0.08	0.0064
KN 5	-0.136	0.018496		KN 30	-0.397	0.157609	KN 55	-0.404	0.163216	KN 80	-0.226	0.051076	KN 105	-0.013	0.000169
KN 6	-0.11	0.0121		KN 31	-0.145	0.021025	KN 56	0.1	0.01	KN 81	-0.387	0.149769	KN 106	-0.287	0.082369
KN 7	-0.164	0.026896		KN 32	-0.267	0.071289	KN 57	-0.064	0.004096	KN 82	-0.155	0.024025	KN 107	-0.06	0.0036
KN 8	-0.294	0.086436		KN 33	-0.183	0.033489	KN 58	-0.342	0.116964	KN 83	-0.313	0.097969	KN 108	-0.26	0.0676
KN 9	-0.196	0.038416		KN 34	-0.151	0.022801	KN 59	-0.412	0.169744	KN 84	-0.311	0.096721	KN 109	-0.502	0.252004
KN 10	-0.16	0.0256		KN 35	-0.362	0.131044	KN 60	-0.55	0.3025	KN 85	-0.493	0.243049	KN 110	-0.184	0.033856
KN 11	-0.31	0.0961		KN 36	-0.384	0.147456	KN 61	-0.277	0.076729	KN 86	-0.272	0.073984	KN 111	-0.113	0.012769
KN 12	-0.267	0.071289		KN 37	0.204	0.041616	KN 62	-0.325	0.105625	KN 87	-0.366	0.133956	KN 112	-0.142	0.020164
KN 13	-0.009	0.000081		KN 38	-0.046	0.002116	KN 63	-0.016	0.000256	KN 88	-0.436	0.190096	KN 113	0.008	0.000064
KN 14	-0.276	0.076176		KN 39	-0.273	0.074529	KN 64	-0.437	0.190969	KN 89	0.215	0.046225	KN 114	-0.31	0.0961
KN 15	-0.16	0.0256		KN 40	-0.286	0.081796	KN 65	-0.384	0.147456	KN 90	-0.069	0.004761	KN 115	-0.066	0.004356
KN 16	-0.159	0.025281		KN 41	-0.21	0.0441	KN 66	-0.092	0.008464	KN 91	-0.546	0.298116	KN 116	-0.431	0.185761
KN 17	-0.246	0.060516		KN 42	0.152	0.023104	KN 67	-0.205	0.042025	KN 92	-0.055	0.003025	KN 117	-0.544	0.295936
KN 18	0.05	0.0025		KN 43	-0.287	0.082369	KN 68	-0.33	0.1089	KN 93	0.033	0.001089	KN 118	-0.4	0.16
KN 19	-0.15	0.0225		KN 44	-0.259	0.067081	KN 69	-0.432	0.186624	KN 94	-0.174	0.030276	KN 119	0.014	0.000196
KN 20	-0.311	0.096721		KN 45	-0.09	0.0081	KN 70	-0.06	0.0036	KN 95	-0.36	0.1296	KN 120	-0.183	0.033489
KN 21	-0.186	0.034596		KN 46	-0.313	0.097969	KN 71	-0.67	0.4489	KN 96	-0.306	0.093636	KN 121	-0.204	0.041616
KN 22	-0.214	0.045796		KN 47	-0.136	0.018496	KN 72	-0.08	0.0064	KN 97	-0.332	0.110224	KN 122	-0.037	0.001369
KN 23	-0.29	0.0841		KN 48	0.016	0.000256	KN 73	0.249	0.062001	KN 98	-0.176	0.030976	KN 123	-0.23	0.0529
KN 24	-0.342	0.116964		KN 49	-0.156	0.024336	KN 74	0.43	0.1849	KN 99	-0.243	0.059049	KN 124	-0.382	0.145924
KN 25	-0.39	0.1521		KN 50	-0.31	0.0961	KN 75	-0.08	0.0064	KN 100	-0.437	0.190969	KN 125	0.119	0.014161
													KN 150	-0.414	0.171396
													KN 151	-0.26	0.0676
													KN 152	-0.271	0.073441
													KN 153	-0.226	0.051076
													KN 154	-0.227	0.051529
													KN 155	0.307	0.094249
													KN 156	-0.346	0.119716
													KN 157	-0.497	0.247009
													KN 158	0.021	0.000441
													KN 159	-0.356	0.126736
													KN 160	0.117	0.013689
													KN 161	0.021	0.000441
													KN 162	-0.023	0.000529
													KN 163	-0.07	0.0049
													KN 164	0.025	0.000625
													KN 165	-0.068	0.004624
													KN 166	0.053	0.002809
													KN 167	0.136	0.018496
													KN 168	-0.183	0.033489
													KN 169	-0.402	0.161604
													KN 170	-0.29	0.0841
													KN 171	0.051	0.002601
													KN 172	-0.009	0.000081
													KN 173	-0.403	0.162409
													KN 174	-0.434	0.188356
													KN 175	-0.64	0.4096
													KN 176	-0.12	0.0144
													KN 177	0.03	0.0009
													KN 178	-0.311	0.096721
													KN 179	0.128	0.016384
													KN 180	0.151	0.022801
													KN 181	0.12	0.0144
													KN 182	-0.254	0.064516
													KN 183	-0.044	0.001936
													KN 184	0.007	0.000049
													KN 185	-0.28	0.0784
													KN 186	-0.018	0.000324
													KN 187	-0.233	0.054289
													KN 188	-0.279	0.077841
													KN 189	0.208	0.043264
													KN 190	-0.372	0.138384
													KN 191	0.056	0.003136
													KN 192	0.034	0.001156
													KN 193	0.057	0.003249
													KN 194	-0.117	0.013689
													KN 195	-0.375	0.140625
													KN 196	-0.488	0.238144
													KN 197	0.096	0.009216
													KN 198	-0.2	0.04
													KN 199	0.085	0.007225
													KN 200	-0.043	0.001849

Şekil A.10 : Kriging enterpolasyon yöntemi ile SYM(DJI-300m) düşey doğruluk analizi.

EK B: Karesel Ortalama Hata Bilgileri Gösterimi



Şekil A.12 : Delaunay yöntemi(TIN) ile üretilen SYM'lerin referansa(Puma-100m) göre KOH bilgileri gösterimi.



Şekil A.13 : Kriging yöntemi ile üretilen SYM'lerin referansa(Puma-100m) göre KOH bilgileri gösterimi.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad :Deniz Bilge KILINÇOĞLU
Doğum Tarihi ve Yeri : Lüleburgaz, 27 Haziran 1989
E-posta : bilgekilincoglu@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM :

- 2012-2014 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama UYG-AR Merkezi'nde tarım ürünlerinin uzaktan algılama ile rekolte tahmini konusunda çalıştım.
- 2014-2015 yılları arasında Orman ve Su İşleri Bakanlığı'nın yürüttüğü "CORINE- Coordination of Information on the Environment" projesinde Uzaktan Algılama Uzmanı olarak görev yaptım.
- 2016 yılı itibari ile Altoy Savunma Sanayi ve Havacılık A.Ş. 'de İHA'lar ile elde edilen görüntülerin analizini yapmak üzere Proje Mühendisi olarak mesleki hayatıma devam etmekteyim.