

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AÇIK MADEN OCAKLARININ PLANLANMASI
AMACI İLE İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ
KULLANIMI VE ÜÇ BOYUTLU MADENCİLİK
YAZILIMLARINA ENTEGRASYONU**

Berk ÖZCAN

**Eylül, 2019
İZMİR**

**AÇIK MADEN OCAKLARININ PLANLANMASI
AMACI İLE İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ
KULLANIMI VE ÜÇ BOYUTLU MADENCİLİK
YAZILIMLARINA ENTEGRASYONU**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Maden İşletme Programı

Berk ÖZCAN

Eylül, 2019

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

BERK ÖZCAN, tarafından DOÇ. DR. METE KUN yönetiminde hazırlanan “AÇIK MADEN OCAKLARININ PLANLANMASI AMACI İLE İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ KULLANIMI VE ÜÇ BOYUTLU MADENCİLİK YAZILIMLARINA ENTEGRASYONU” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Mete KUN

Yönetici


Doç. Dr. M. Kemal ÖZFİAT

Jüri Üyesi


Dr. Öğr. Üyesi Erkan ÖZKAN

Jüri Üyesi


Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi süresince, vizyonu ve akademik deneyimi ile beni her alanda destekleyen ve ileri taşıyan danışmanım Doç. Dr. Mete KUN' a, yüksek lisans eğitimine beraber başladığım ve bu yolda hep yan yana yürüdüğüm meslektaşım ve dostum Özgür Güler' e, hayatımın her aşamasında olduğu gibi tez süresinde de hep yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen sevgili eşim Diren Zelal ÖZCAN' a, her türlü destekleri için sevgili Özcan ailesine, başta Mete KUN olmak üzere tüm Dokuz Eylül Üniversitesindeki tüm hocalarıma ve arkadaşlarıma, teşekkürü borç bilirim.

Berk ÖZCAN

AÇIK MADEN OCAKLARININ PLANLANMASI AMACI İLE İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ KULLANIMI VE ÜÇ BOYUTLU MADENCİLİK YAZILIMLARINA ENTEGRASYONU

ÖZ

Günümüzde ulaşılan batarya, kamera ve mikro işlemci teknolojisi ile gelişimini hızlandıran insansız hava araçları (İHA) bir çok alanda başarılı sonuçlar vermeye başlamıştır. Maliyetleri, kullanım kolaylıkları, sonuç verme süreleri ve konumlandırma hassasiyetleri ele alındığında madencilik sektörü içinde yeni bir alternatif olmuştur. Özellikle fotogrametri yazılımlarının İHA' ların gelişim hızına ayak uydurmasıyla, geleneksel metotlarla uzun zaman alan çalışmalar, İHA' lar kullanılarak toplanan verilerin profesyonel fotogrametri yazılımında işlenmesi ve üç boyutlu madencilik yazılımına (3BMV) entegrasyonu sağlanarak çok daha kısa sürede, hassas ve doğru sonuçlar vermektedir.

Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışmada İzmir, Aydın, Muğla ve Antalya illerinde yapılan saha çalışmalarında İHA, profesyonel fotogrametri yazılımı ve 3BMV kullanılarak açık ocak, pasa ve rehabilitasyon sahalarına ait 3B modeller, yüzey alanları, hacimler, vektör ve indeks haritaları, kabarma faktörü tespiti gibi hesaplamalar hassas ve doğru şekilde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca İHA' lar ile alınan görseller fotogrametrik yazılımlar yardımıyla işlenmiş ve 3BMV' lere sorunsuz şekilde entegrasyonu sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler: İnsansız hava aracı, açık ocak işletmeciliği, üç boyutlu madencilik yazılımları

USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR THE PURPOSE OF PLANNING SURFACE MINES AND INTEGRATION INTO THREE- DIMENSIONAL MINING SOFTWARE

ABSTRACT

Unmanned aerial vehicles (UAVs), which accelerate the development with the battery, camera and microprocessor technology reached today, have started to give successful results in many areas. It has become a new alternative within the mining sector in terms of costs, ease of use, delivery times and positioning sensitivities. Especially with the adaptation of the photogrammetry software to the development rate of the UAVs, the studies that lasted long time with the traditional methods give the precise and accurate results in a shorter time by providing the data collected using the UAVs to be processed in professional photogrammetry software and integrated to the three dimensional mining software (3DMS).

In this study, field studies conducted in İzmir, Aydın, Muğla and Antalya provinces, using UAV, professional photogrammetry software and 3DMS, calculations such as 3D models, surface areas, volumes, vector and index maps, swell factor determination of open pit, dump and rehabilitation sites were performed precise and accurately. In addition, visuals obtained with UAVs were processed with the help of photogrammetric software and integrated to 3DMS smoothly.

Keywords: Unmanned aerial vehicle, open pit mine, three dimensional mining software

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZ	v
ABSTRACT.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ.....	xiv

BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
-------------------------------	----------

BÖLÜM İKİ - LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
---	----------

BÖLÜM ÜÇ - İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI, FOTOGRAMETRİ VE ÜÇ BOYUTLU MADENCİLİK YAZILIMLARI	4
---	----------

3.1 İnsansız Hava Araçları	4
3.1.1 Giriş	4
3.1.2 Kısa Tarihi	4
3.1.3 İHA' ların Sınıflandırılması.....	5
3.2 Fotogrametri	5
3.2.1 Giriş	5
3.2.2 Hava Fotogrametrisi	6
3.3 Üç Boyutlu Madencilik Yazılımları	7

BÖLÜM DÖRT - MATERYAL VE METOD.....	9
--	----------

4.1 Kullanılan Ekipmanlar ve Yasal Düzenlemeler	9
---	---

4.2 İHA ile Veri Toplanması	14
4.2.1 Çalışma Alanının Keşfi ve YKN Planlanması.....	15
4.2.2 Pix4D Capture ile Uçuş Planı Oluşturulması	16
4.2.3 Uçuşun Gerçekleştirilmesi ve Oluşabilecek Potansiyel Sorunlar.....	18
4.3 Verilerinin Pix4D Yazılımı ile İşlenmesi	19
4.3.1 Proje Oluşturma ve YKN' lerin İçe Aktarılması	20
4.3.2 Birincil (İlksel) İşlem.....	27
4.3.3 Nokta Bulutu ve Ağ Model.....	29
4.3.4 Sayısal Yüzey Modeli, Orto-Mozaikler ve İndeks Haritaları	31
4.3.5 Pix4D Çıktıları.....	33
4.4 Pix4D Yazılımının Çıktılarının Maptek Vulcan Yazılımına Entegrasyonu....	34
4.5 Pix4D Yazılımının Çıktılarının Micromine Yazılımına Entegrasyonu.....	38
4.6 Pix4D Yazılımının Çıktılarının Geovia Surpac Yazılımına Entegrasyonu.....	41
BÖLÜM BEŞ - SAHA ÇALIŞMALARI.....	44
5.1 Adalya Mermer (2017)	44
5.1.1 Ocak Modeli	44
5.1.2 Pasa Sahaları	45
5.2 Adalya Mermer (2018)	47
5.2.1 Açık Ocağa Ait Verilerin 3BMY' ye Entegrasyonu.....	49
5.3 Dere Madencilik	53
5.3.1 Ocak Modeli	54
5.3.2 Pasa Sahaları	55
5.4 Pınartaş Madencilik	56
5.4.1 Kazı Çalışmaları	57

5.4.2 Döküm Çalışmaları.....	59
5.4.3 Sonuçlar	60
5.5 Aydın Linyit	63
5.5.1 Ocak Modeli	63
5.5.2 Rehabilitasyon Alanı Modeli.....	65
5.5.3 Rehabilitasyon Alanı İndeks Haritası	67
5.5.4 Açık Ocağa Ait Verilerin 3BMY' ye Entegrasyonu.....	68
5.6 Ermaş Mermer	72
5.6.1 Ön Arazi Analizi ve Uçuş Planı	72
5.6.2 Ocak Modeli	75
5.6.3 Pasa Sahası Modeli	77
5.6.4 Açık Ocağa Ait Verilerin 3BMY' ye Entegrasyonu.....	78
BÖLÜM ALTI - SONUÇ VE ÖNERİLER.....	82
KAYNAKLAR	84
EKLER.....	87
EK-1: Kısaltmalar.....	87

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Madencilik sektöründe yaygın olarak kullanılan yazılımlar.....	8
Şekil 4.1 Kutu İçeriği	10
Şekil 4.2 DJI GO genel durum arayüzü	11
Şekil 4.3 DJI GO ana kontrol ayarları arayüzü	11
Şekil 4.4 SHGM insansız hava aracı kayıt veri tabanı.....	12
Şekil 4.5 SHGM veri tabanı pilotluk yetkisi ve pilotluk edilen İHA' lar	13
Şekil 4.6 GS15 model GNSS anteni ve CS10 model Kontrol ünitesi.....	14
Şekil 4.7 YKN' lerin havadan görülmesi için kullanılan plakalar	16
Şekil 4.8. Tekli hat ve düğüm noktaları	16
Şekil 4.9 Pix4D Capture İHA seçimi	17
Şekil 4.10 Uçuş planı şablonu seçimi	17
Şekil 4.11 Uçuş Parametreleri arayüzü	18
Şekil 4.12. Pix4D Capture uçuş arayüzü.....	18
Şekil 4.13. Pix4D yazılımının temel çalışma aşamaları.....	20
Şekil 4.14. Yazılım arayüzünde de işleme paneli	20
Şekil 4.15. Giriş arayüzü	21
Şekil 4.16. Giriş arayüzü <i>Project</i> menüsü.....	21
Şekil 4.17 Proje adı ve yeri	22
Şekil 4.18 Fotoğraf ekleme	22
Şekil 4.19 Fotoğrafların seçimi	22
Şekil 4.20 Fotoğrafların kontrolü.....	23
Şekil 4.21 Fotoğrafların koordinat sisteminin seçilmesi.....	23
Şekil 4.22 Projenin koordinat sisteminin seçilmesi	24
Şekil 4.23 Proje şablonu seçimi	24
Şekil 4.24 Çalışma alanının sınırlanması	25
Şekil 4.25 Referanslama arayüzüne giriş	25
Şekil 4.26 Referanslama arayüzü	26
Şekil 4.27 YKN' lerin aktarılması	26
Şekil 4.28 YKN' lerin işaretlenmesi	26
Şekil 4.29 YKN' lerin işaretlenmesi örnek işaretleme	27

Şekil 4.30 Birincil (İlksel) İşlem genel ayarlar	28
Şekil 4.31 Birincil (İlksel) İşlem eşleme ayarları.....	28
Şekil 4.32 Birincil (İlksel) İşlem kalibrasyon ayarları	29
Şekil 4.33 Nokta bulutu ayarları	30
Şekil 4.34 Ağ model ayarları	30
Şekil 4.35 Sayısal Yüzey Modeli, Orto-Mozaik ayarları.....	31
Şekil 4.36 Ek ayarlar	32
Şekil 4.37 İndeks haritası ayarları.....	33
Şekil 4.38 Maptek Vulcan yazılımı Envisage arayüzü	35
Şekil 4.39 File menüsü.....	35
Şekil 4.40 İçerik aktarım arayüzü.....	36
Şekil 4.41 AutoCAD uzantısı ekleme	36
Şekil 4.42 Yüzey oluşturma arayüzüne giriş.....	37
Şekil 4.43 Yüzey oluşturma arayüzü	37
Şekil 4.44 Micromine proje arayüzü	38
Şekil 4.45 AutoCAD dosyası aktarım arayüzüne giriş	39
Şekil 4.46 AutoCAD dosyası aktarım arayüzü	39
Şekil 4.47 AutoCAD dosyası aktarım arayüzü ek seçenekler.....	40
Şekil 4.48 Yüzey oluşturma arayüzüne giriş.....	40
Şekil 4.49 Yüzey oluşturma arayüzü	41
Şekil 4.50 Geovia Surpac proje arayüzü	41
Şekil 4.51 AutoCAD dosyası aktarım arayüzüne ulaşım.....	42
Şekil 4.52 AutoCAD dosyası aktarım arayüzü	42
Şekil 4.53 Yüzey oluşturma arayüzüne giriş.....	43
Şekil 4.54 Yüzey oluşturma arayüzü	43
Şekil 5.1 İHA uçuş planı	44
Şekil 5.2 Pix4D mermer ocağı modeli (Açılı görünüm)	45
Şekil 5.3 Pix4D mermer ocağı modeli (Kuşbakışı görünüm)	45
Şekil 5.4 İHA ile alınan ocak ve pasa verilerinin programa aktarımı ve verilerin işlenmesi (a – Solda ocak işletme alanı ve sağda pasa döküm alanı, b- Diğer pasa döküm alanı, c- Pasa üst yüzey alanı, d-e pasa yan yüzey alanları, f- fabrika ve stok alanı)	46

Şekil 5.5 Uçuş planı	48
Şekil 5.6 Gerçekleştirilen uçuş kapsamında iha tarafından görsel alımı yapılan noktaların konumu	48
Şekil 5.7 3 boyutlu nokta bulutu (Açılı görünüm)	49
Şekil 5.8 3 boyutlu katı model (Açılı görünüm)	49
Şekil 5.9 2 ve 3 boyutlu vektör haritaları ve sym	50
Şekil 5.10 2 ve 3 boyutlu vektör haritaları ve sym	51
Şekil 5.11 2 ve 3 boyutlu vektör haritaları ve sym	52
Şekil 5.12 Uçuş planı	53
Şekil 5.13 Gerçekleştirilen uçuş kapsamında iha tarafından görsel alımı yapılan noktaların konumu	53
Şekil 5.14 3 boyutlu katı model (Açılı görünüm)	54
Şekil 5.15 3 boyutlu katı model (Açılı görünüm)	55
Şekil 5.16 Pasa sahalarının ocak içindeki konumları	55
Şekil 5.17 Çalışma alanı lokasyonu	57
Şekil 5.18 Kazı alanı nokta bulutu görüntüsü (Açılı)	58
Şekil 5.19 Kazı alanı nokta bulutu görüntüsü (Yandan)	58
Şekil 5.20 Kazı alanı nokta bulutu görüntüsü (İçten)	58
Şekil 5.21 Geleneksel ölçüm metoduyla alınan noktalar ve üçgenlemeleri	59
Şekil 5.22 Döküm alanı nokta bulutu görüntüsü	59
Şekil 5.23 Döküm sonrası, döküm alanı nokta bulutu görüntüsü	60
Şekil 5.24 Kazı alanı ölçümü üçgenleme aşamasının nokta bulutu üzerinden görüntüsü	61
Şekil 5.25 Döküm alanı ölçümü üçgenleme aşamasının nokta bulutu üzerinden görüntüsü	62
Şekil 5.26 Uçuş planı	63
Şekil 5.27 Gerçekleştirilen uçuş kapsamında iha tarafından görsel alımı yapılan noktaların konumu	64
Şekil 5.28 3 boyutlu nokta bulutu (Açılı görünüm)	64
Şekil 5.29 3 boyutlu katı model (Açılı görünüm)	64
Şekil 5.30 Uçuş planı	65

Şekil 5.31 Gerçekleştirilen uçuş kapsamında iha tarafından görsel alımı yapılan noktaların konumu	65
Şekil 5.32 3 boyutlu nokta bulutu (Kuşbakışı görünüm)	66
Şekil 5.33 3 boyutlu nokta bulutu (Açılı görünüm)	66
Şekil 5.34 3 boyutlu katı model (Açılı görünüm)	66
Şekil 5.35 Taranan rehabilitasyon sahasının bölünmüş varı indeks haritaları ve değer dağılımları	67
Şekil 5.36 Taranan rehabilitasyon sahasının bölünmüş tgi indeks haritaları ve değer dağılımları	68
Şekil 5.37. Katı model.....	69
Şekil 5.38. Katı model.....	70
Şekil 5.39. Katı model.....	71
Şekil 5.40 Maden ocağının konumu	72
Şekil 5.41 Uçuş planları (Mermer ocağı).....	73
Şekil 5.42 Uçuş planı (Pasa sahası).....	73
Şekil 5.43 Gerçekleştirilen uçuşlar kapsamında iha tarafından görsel alımı yapılan noktaların konumu	74
Şekil 5.44 Gerçekleştirilen uçuş kapsamında iha tarafından görsel alımı yapılan noktaların konumu	74
Şekil 5.45 Yerüstü kontrol noktalarının 3 boyutlu nokta bulutu üzerinde dağılımı ve konumları	75
Şekil 5.46 3 boyutlu nokta bulutu (Açılı görünüm)	76
Şekil 5.47 3 boyutlu nokta bulutu (Ters açılı görünüm)	76
Şekil 5.48 3 boyutlu katı model (Kuşbakışı görünüm)	77
Şekil 5.49 3 boyutlu katı model (Açılı görünüm)	77
Şekil 5.50 3 boyutlu nokta bulutu (Açılı görünüm)	78
Şekil 5.51 3 boyutlu katı model (Açılı görünüm)	78
Şekil 5.52. Katı model.....	79
Şekil 5.53. Katı model.....	80
Şekil 5.54. Katı model.....	81

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1 İHA' ların Sınıflandırma Tablosu	5
Tablo 3.2 İHA sınıflandırma çizelgesi	5
Tablo 4.1 DJI Phantom 4 Pro teknik özellikler tablosu	9
Tablo 4.2 GS15 teknik özellikler	13
Tablo 5.1 Hesaplanan toplam pasa sahalarına ait alan ve hacimler	47
Tablo 5.2 Pasa sahaları hacim, hata Payı ve yüzey alanı tablosu	56
Tablo 5.3 Döküm öncesi uçuş için önbilgi	60
Tablo 5.4 Döküm sonrası uçuş için önbilgi	60
Tablo 5.5 Kazı öncesi uçuş için önbilgi	60
Tablo 5.6 Kazı sonrası uçuş için önbilgi	61
Tablo 5.7 Kazı sonrası elde edilen veriler	61
Tablo 5.8 Kazı sonrası İHA hesaplama sonuçlar	61

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Günümüzde hızla gelişen bilgisayar teknolojisi madencilik alanında da etkisini göstermiş ve bu sektörde de üç boyutlu madencilik yazılımlarını etkin şekilde kullanımını mümkün kılmıştır. Bu yazılımlar madenin arama çalışmalarından, reklamasyon çalışmalarına kadar her aşamasında yaygın olarak kullanılabilmektedir. Günümüzde artan rekabet, yeraltı kaynaklarının yenilenebilir olmaması, maden yatırımlarının yüksek sermayeli oluşu gibi birçok sebepten dolayı maden sektörünün hataya hoşgörüsü kalmamıştır. Bu nedenle özellikle günümüzde, maden planlama ve üretim stratejilerinin geliştirilmesi, sektörde ayrı bir yer bulmuştur. 3B madencilik yazılımlarında diğer bilgisayar yazılımları benzer bir biçimde veri girdisi ve çıktısı temeline dayanmaktadır. Fakat bu yazılımların daha hassas ve hızlı çalışması hedeflendiğinden, girdilerinde (veri) aynı şekilde mümkün olduğunca kapsamlı, etkin ve güncel bir biçimde sağlanması talep edilmektedir. Bu talebi karşılamak için madencilik sektörü son dönemlerde yeni arayışlar içine girmiştir.

3BMY' de planlama ve üretim stratejilerinin geliştirilmesinde maden mühendislerinin karşılaştığı en büyük eksiklerden biri, sağlanan verilerin hatalı veya yeterli olmaması durumudur. Yetersiz veya hatalı veriler planlamanın verimini ciddi oranlarda azaltabileceği gibi, sil baştan yapılmasına bile sebebiyet verebilmektedir. Maden planlamasında yaşanan eksiklikler üretim sırasında maddi ve hatta can kaybına varabilen sonuçlar doğurabilir. Multikopterler aracılığıyla yapılan havadan görüntülemeler sayesinde elde edilen veriler, görsel işleme programlarında işlendiğinde, 3BMY için sondaj verileri dışarda tutulmak üzere bir açık ocak tasarımı ve üretim stratejilerinin geliştirilmesi için yeterli verileri sağlayabilir. Özellikle topografik verilerin hassas bir biçimde elde edilmesi daha önce topograflar aracılığıyla haftalarca veya aylarca sürebilmektedir. Ancak bu veriler havadan görüntüleme sistemleri ile önceki yöntemlere kıyasla çok daha kısa sürede hassas biçimde sağlanmaktadır.

BÖLÜM İKİ

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İHA kullanılan uygulamalar hem kısa sürede gerçekleştirilebilmeleri hassas ölçme imkanları ile bir çok farklı alanda uygulama olanağı bulmuştur (Eisenbeiss, 2004). Geçen 10 yıl içerisinde; toprak kaymalarının takibi ve yüksek kalitede fotoğraflarının çekilebilmesi (Niethammer, Rothmund ve Joswig, 2009), orman arazilerinin yüzeylerinin belirlenmesi ve bitki sağlığı analizleri (Wing, Burnett, Johnson, Akay ve Sessions, 2014), harita üretiminde kullanımı (Döner, Özdemir ve Ceylan, 2014), afet uygulamalarında iletişim kurulması (Mesas-Carrascosa, Notario-García, de Larriva, de la Orden ve Porras, 2014), hassas yükseklik modeli üretimi ve orman alanı uygulaması (Akgül, Yurtseven, Demir, Akay, Gülci, Öztürk, 2016), tarihi eser modellemesi ve röleve yapılması (Yakar ve Mırdan, 2017) olmak üzere çeşitli alanlarda başarılı çalışmalar yapılabilmektedir. Son dönemde değişik alanlarda yapılmış ve doğrulukları ortaya konulmuş çalışmalar aşağıda sıralanmıştır.

Strecha C. (2011), İHA kullanılarak elde edilen görüntüler otomatik metotlar ile hassas haritalama imkanları sağlanabildiğini ortaya koymuştur. Değişik veri setleri ile yapılan analizlerde doğruluğu etkileyen parametrelerin başında fotoğrafların çözünürlüğü geldiğini göstermiştir. Fotoğraflar YKN'ler ile kullanıldığında konum hassasiyetinin 0,05 ila 0.2 m arasında kaldığı ve YKN'ler olmadan kullanıldığında ise bu değer 2 ila 8 m arasında değiştiği tespit etmiştir.

Remondino F. ve diğer. (2011), İHA fotogrametrisinin o zamanki ve gelecekteki üç boyutlu modelle ve haritalama alanındaki yerini vurgulamaktadır. Çalışma alanı olarak arkeolojik alanlar ve tarım alanlarını kapsayan uygulamaları tercih etmiş ve analizlerini bu alanda yapmışlardır. Otonom görüntü eşlemesi ve nokta bulutu üretimi için PMVS (Patch-based multi-view stereo) ve Micmac (Muli Images Correspondances par Méthodes Automatiques de Corrélation) açık kaynaklı yazılımlarını kullanmışlardır. Karesel ortalama hata olarak Micmac yazılımında sırasıyla X,Y ve Z eksenlerinde 4 cm, 3 cm ve 7 cm' lik hata almışlardır.

Vallet J. ve diğer. (2011), modern ve klasik fotogrametrik metotların, sayısal arazi modeli ve ortofoto görsellerinin geometrik hassasiyet konusunda karşılaştırılmasını ortaya koymuşlardır. LIDAR (Light Detection and Ranging) verisi kullanılarak Pix4D ve NGATE programlarının ayırımı analiz edilmiştir. YKN' lerinde kullanıldığı çalışmada üretilen sayısal arazi modellerinde Pix4D yazılımı 10 cm' lik standart sapmaya sahipken bu değer NGATE yazılımında 30 cm olarak tespit edilmiştir.

Siebert s. ve Teizer J. (2014), hafriyat projelerinde İHA sistemleri ile üretilen 3 boyutlu haritalar ile ölçüm uygulamalarını incelemişlerdir. Çalışmada YKN' lerin kullanılmasıyla daha hassas sonuçlar elde edilebileceği aktarılmıştır. 50 m yükseklikten yapılan uçuş ile eldesi sağlanan görseller YKN' ler de kullanılarak Agisoft PhotoScan yazılımı ile işlenmiş sonuç olarak 0,6 cm yatay ve 1,1 cm düşey ortalama hata tespit edilmiştir.

Avdan U. ve diğer. (2014), İHA ile değişik irtifa ve bindirme oranlarıyla elde ettikleri fotoğrafları işlemiş, sayısal yüzey modeli ve ortofoto görselini üretmiş ve doğruluklarını jeodezik GNSS alıcısı ile aldıkları hassas koordinatlar ile karşılaştırmışlardır. YKN kullanılmayan çalışmada karesel ortalama hatanın zor arazi koşullarında düşük olduğu görülmüştür. Çalışma kapsamında karşılaştırılan veriler arasında genel olarak değer farkının 10 cm' den düşük olduğu saptanmıştır.

Cryderman C. ve diğer. (2015), hafriyat alanı ölçümü ve haritalaması üzerine çalışma yürütmüştür. Toprak hafriyatının bulunduğu alanın hacmi İHA ve klasik GNSS ile ölçülmüş ve ölçümler karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak 0.039 m yatayda ve 0.044 m düşeyde karesel ortalama hata tespit edilmiştir.

BÖLÜM ÜÇ

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI, FOTOGRAMETRİ VE ÜÇ BOYUTLU MADENCİLİK YAZILIMLARI

3.1 İnsansız Hava Araçları

3.1.1 Giriş

İHA, pilotu içinde olmadan uçabilen ve havada kontrol mekanizması olan tüm hava araçları kapsamaktadır. İHA teriminin diğer çevrelerce; model helikopter (Model Helicopter), uzaktan kumandalı helikopter (Remote Controlled Helicopter), uzaktan pilotlu araç (Remotely Piloted Vehicle), insansız hava aracı sistemi (Unmanned Vehicle System), uzaktan pilotlu araç (Remotely Piloted Vehicle), uzaktan çalıştırılan hava aracı (Remotely Operated Aircraft), gibi diğer tanımlamaları bulunur (Eisenbeiss, 2004).

3.1.2 Kısa Tarihi

İHA' lar başlangıçta askeri alan içinde kullanılmaya başlanmıştır. II. Dünya Savaşının ardından özellikle istihbarat amaçlı düşman sahasına dikkat çekmeden girip çıkabilen insansız hava araçları sistemlerin gereksinimi İHA gelişimini hızlandırmıştır. Özetle otonom kalkış, uçuş ve iniş sistemleri zamanın ihtiyaçları olarak adlandırılmaktadır (Eck, 2001).

İHA' ların fotogrametrik ölçümlerde kullanılmasıyla ilgili ilk çalışma Przbilla ve Wester-Ebbinghaus tarafından sabit kanatlı bi uçak ile havadan 1:1000 ölçekli fotoğrafların alınmasıdır. Kullanılan İHA üretici firmayla aynı ismi taşıyan “Frima Hegi” ‘ dir. Kanat mesafesi 2,6 metre olan İHA, 3 metre uzunluğunda ve 3 kg yük taşıma kapasitesine sahiptir (Eisenbeiss, 2004). Ancak İHA' nın uçuş hızı fotoğraf alımı için elverişli olmadığından istenilen hedeflere ulaşamamıştır.

3.1.3 İHA' ların Sınıflandırılması

İHA' lar basitçe gövde türüne göre döner kanatlı ve sabit kanatlı olmak üzere temelde ikiye ayrılmaktadır. Ancak havada kalma süresi, gidebildiği mesafe, erişebildiği uçuş yüksekliği ve boyutlarını değişken olarak alan İnsansız Hava Araçları Sistemleri Uluslararası Kurumu (UVS Community) İHA' ları tablo 3.1'de gösterildiği gibi sınıflandırmaktadır (Everaerts, 2004).

Tablo 3.1 İHA' ların Sınıflandırma Tablosu

Kategori İsmi	Ağırlık (kg)	Menzil (km)	Uçuş Yüksekliği (m)	Dayanım (saat)
Mikro	<5	<10	250	1
Mini	<25/30/150	<10	150/250/300	<2
Kısa mesafe	25-150	10-30	3000	2-4
Orta mesafe	50-250	30-70	3000	3-6
Uzun mesafe	>250	>70	>3000	>6

Ülkemizde geçerli olan sınıflandırma ise Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatının 5.maddesinde belirtildiği ve tablo 3.2' de verildiği gibidir (SHGM,2016).

Tablo 3.2 İHA sınıflandırma çizelgesi

Sınıf Kodu	Sınıf Özelliği
İHA-0	Azami kalkış ağırlığı 500 gr (dâhil) – 4kg aralığında olan İHA'lar
İHA-1	Azami kalkış ağırlığı 4 kg (dâhil) – 25 kg aralığında olan İHA'lar
İHA-2	Azami kalkış ağırlığı 25 kg (dâhil) – 150 kg aralığında olan İHA'lar
İHA-3	Azami kalkış ağırlığı 150 kg (dâhil) ve daha fazla olan İHA'lar

3.2 Fotogrametri

3.2.1 Giriş

Kökeni Yunancadan gelen fotogrametri sözcüğü, *photos*(ışık), *grama*(çizim) ve *metron*(ölçme) kelimelerinden oluşmaktadır. Fotogrametri, yüzey ve nesnelerin

fiziksel temas olmadan ölçümlerinin sağlıklı şekilde yapılabilmesine imkân sağlayan bilim dalıdır (Shenk, 2005; Kılınçoğlu, 2016). Basit tanımıyla fotogrametri üç boyutlu bir objenin fotoğrafı çekildiğinde obje nasıl üç boyuttan iki boyuta (fotoğrafa) indirgeniyorsa, bu işlemin tam tersi olan iki boyutlu fotoğraflar kullanılarak objenin üçüncü boyutuna ait verilerin elde edilmesidir.

Fotogrametriyi temel olarak iki sınıfa ayırdığımızda fotoğrafların çekildiği konuma bağlı olarak yersel fotogrametri ve hava fotogrametrisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Yerden çekilen fotoğraflarla yapılan yersel fotogrametri maden sahaları göz önüne alındığında geniş alanları kapsayamaması ve yeryüzüne ait detayları yeterince aktaramaması sebebiyle çalışma kapsamında hava fotogrametrisi tercih edilmiştir. Havadan eldesi sağlanan fotoğraflar ile gerçekleştirilen hava fotogrametrisi geniş alanları kapsayabilmesi ve özellikle yeryüzü detaylarını daha iyi yansıtması sayesinde arazi çalışmalarında tercih edilmektedir (Kılınçoğlu, 2016).

3.2.2 Hava Fotogrametrisi

Her geçen gün gelişimini sürdüren fotogrametrik çalışmalar başlangıçta yerden çekimi yapılan fotoğraflarla yapılırken, hava araçları ile havadan fotoğraf alımı yapılmasıyla geniş alanları kapsayan ve araziye daha iyi tanımlayan çalışmalar haline gelmiştir. (Kılınçoğlu, 2016).

Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde bahsedileceği üzere, hava fotogrametrisinin işleyiş adımları sırasıyla uygulanmalıdır. İlk adımlardan biri olan uçuş planı için arazinin keşfi yapılmalı ve yapılacak uygulama netleştirilmelidir. Uçuş planı oluşturulurken rota, yön, kamera parametreleri, irtifa, hız, Hava fotogrametrisinde özellikle görsellerin ölçeğinin sabitlenebilmesi hem maliyet hem de veri hassasiyeti alanlarında pozitif etkiler yaratmıştır. Dünden bugüne değişik hava araçları kullanılmış olsa da günümüzde İHA' lar bu alanda yeni bir sayfa açmıştır fotoğrafların bindirme oranları gibi değişkenler belirlenmelidir. Gerçekleştirilecek fotogrametrik çalışmanın doğruluğu kullanılan yerüstü kontrol noktalarının (YKN) havadan görünürlüğüne, ölçün hassasiyetine ve saha içindeki dağılımına göre değişiklik

gösterir. Bu amaçla YKN' ler havadan net bir şekilde görülecek biçimde hazırlanmalı, hassas konumlandırma cihazları ile koordinatları ölçülmeli, çalışma sahası içinde homojen dağılmış ve yeterli sayıda olmalıdır. Bahsedilen işleyiş adımları izlenerek eldesi sağlanan hava fotoğrafları işlenerek, konumsal bilgilerin üretilmesi için çalışma alanının yüksek hassasiyette ölçümü tamamlanmış olur (Avşar, 2006) (Kılınçoğlu, 2016).

3.3 Üç Boyutlu Madencilik Yazılımları

Madencilik sektöründe üzerinde yoğunlukla çalışılan konuların başında, bilgisayar yazılımları yardımıyla optimum nihai açık işletme sınırının daha gerçekçi ve kesin olarak belirlenmesi gelmektedir. Uzun vadeli işletme planlamasında, maden yatağından en yüksek karı elde edebilmek için yerüstü işletmesinin bitip, uygun koşullar görüldüğünde yeraltı işletmesinin başlayabileceği bu sınırın tespit edilmesi, mühendislik ve işletmecilik açısından zorunluluk noktasına gelmiştir (Mallı, Karakuş ve Gönen, 2017).

Madencilik planlamalarında, işletilecek cevher miktarları ve ekonomik değerleri, işletmenin derinleşmesiyle artan nakliye giderleri, üretim maliyetine direkt etkili olan üretim tekniği ve kaya mekaniksel parametreler, şev duraylılığı ve olası tüm kombinasyonların maliyetleri göz önünde bulundurulmalıdır (Mallı, Karakuş ve Gönen, 2017). Tüm bu ve daha sayılmayan bir çok veriyi birlikte değerlendirip bir maden ocağının nasıl, ne şekilde ve uygun program dahilinde açılabilmesi ancak günümüzde yoğun olarak kullanılan madencilik yazılımları ile mümkündür.

Bu yazılımlar içerisinde gerek kullanım sıklığı gerekse sonuçları bakımından etkin olanlardan bir kısmı, bu çalışma kapsamında seçilen Geovia Surpac, Micromine, Maptek Vulcan 3D madencilik yazılımlarıdır. Şekil 3.1' de madencilik sektöründe kullanım alanı bulan yazılımlar toplu olarak verilmektedir.

SURPAC	
http://www.gemcomsoftware.com/products/surpac/	
MINEX	
http://www.gemcomsoftware.com/products/Minex/	
NETCAD	
http://www.netcad.com.tr/	
MICROSTATION	
http://www.bentley.com/en-US/Products/microstation+product+line/	
SURFER	
http://www.goldensoftware.com/products/surfer/surfer.shtml	
VULCAN	
http://www.maptek.com.au/products/vulcan/index.html	
MICROMINE	
http://www.micromine.com/	
DATAMINE	
http://www.datamine.co.uk/	
MINESIGHT	
http://www.minesight.com/	
MICROMODEL	
http://www.rkmminingsoftware.com/micromodel-system/	

Şekil 3.1 Madencilik sektöründe yaygın olarak kullanılan yazılımlar

BÖLÜM DÖRT

MATERYAL VE METOD

4.1 Kullanılan Ekipmanlar ve Yasal Düzenlemeler

Çalışma alanlarının maden sahaları olmasından kaynaklı zorlu arazi koşullarına uygunluğu, alınan fotoğrafların kullanılacak fotogrametri yalımına aktarımı ve uçuş planının İHA' ya tanıtılmasının kolaylığı açısından DJI marka Phantom 4 Pro model İHA seçilmiştir. Cihazın teknik özellikleri tablo 4.1' de verilmiş ve şekil 4.1' de İHA ve beraberinde gelen parçalar kutu içeriği şeklinde gösterilmiştir.

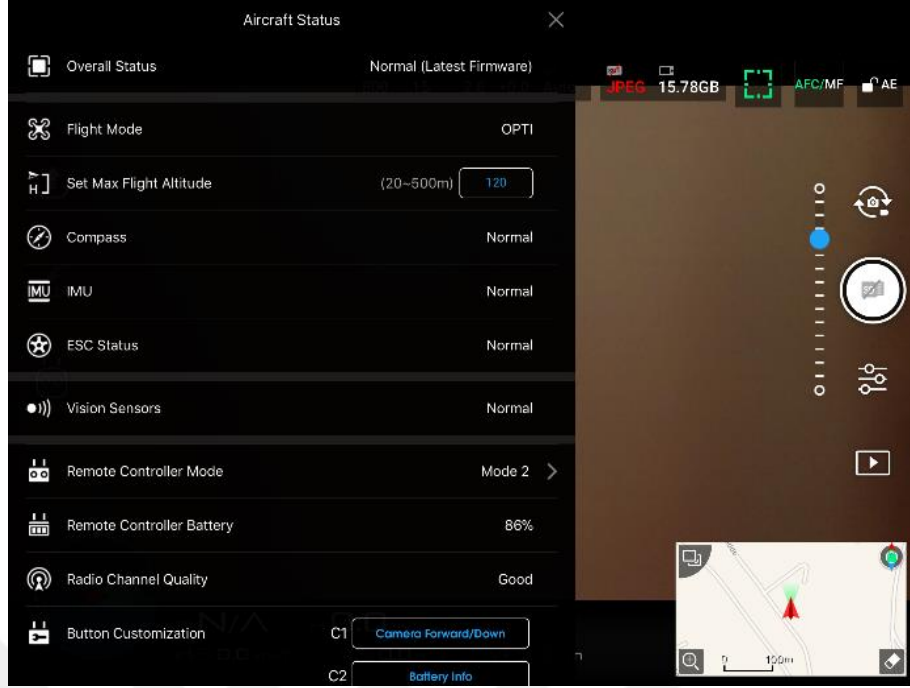
Tablo 4.1 DJI Phantom 4 Pro teknik özellikler tablosu

Teknik Özellik İsmi	Teknik Özellik Değeri
Kalkış Ağırlığı	1388 g
Maksimum Hız	S-mod: 45 mph (72 kph)
	A-mod: 36 mph (58 kph)
	P-mod: 31 mph (50 kph)
Maksimum Rüzgar Hızı Direnci	10 m/s
Maksimum Uçuş süresi	Yaklaşık 30 dakika
Uydu Konumlandırma Sistemleri	GPS/GLONASS
Askıda Doğruluk Hassasiyeti	Düşey:
	±0,1 m (Vizyon Konumlandırma ile)
	±0,5 m (GPS Konumlandırma ile)
	Yatay:
	±0,3 m (Vizyon Konumlandırma ile)
	±1,5 m (GPS Konumlandırma ile)
Sensor	1" CMOS
	Efektif pikseller: 20M
Lens	FOV 84° 8.8 mm/24 mm (35 mm formatı eşdeğeri) f/2.8 - f/11 1 m - ∞ aralığında otomatik odaklama
Fotoğraf Çözünürlüğü	3:2 En Boy Oranı: 5472 × 3648
	4:3 En Boy Oranı: 4864 × 3648
	16:9 En Boy Oranı: 5472 × 3078
Desteklenen Dosya Sistemleri	FAT32 (≤32 GB); exFAT (>32 GB)
Fotoğraf Formatları	JPEG, DNG (RAW), JPEG + DNG
Gecikme	Phantom 4 Pro: 220 ms

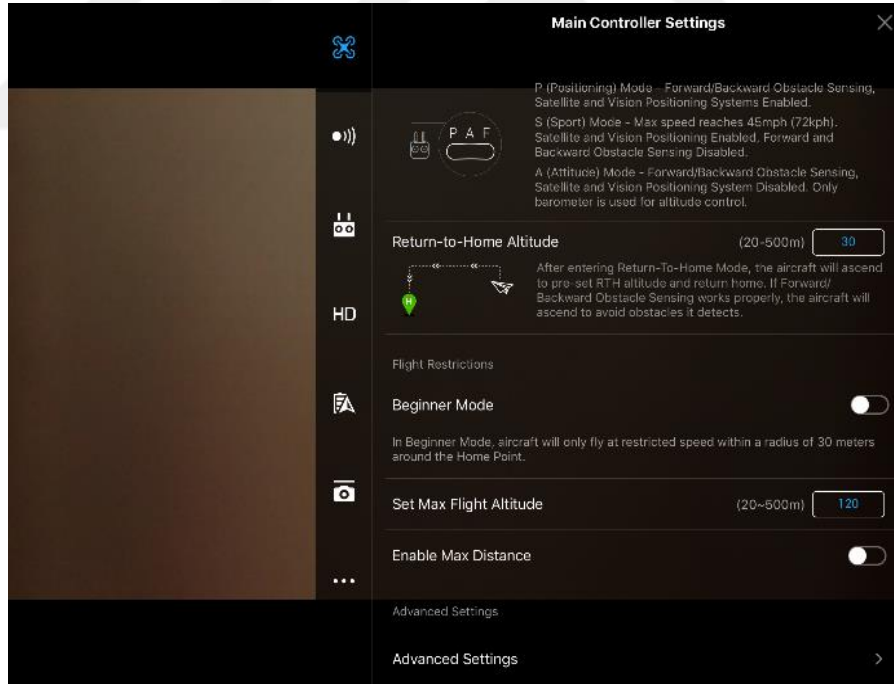


Şekil 4.1 Kutu İçeriği (Kişisel arşiv, 2019)

İHA uçuş öncesi atalet momenti kalibrasyonu ve manyetik pusula ayarları elle yapılmalı ve açık alanda kontrollü uçuş yapıp uçuş sırasında ortaya çıkacak problemler elimine edilmelidir. DJI GO (Cihazı göre yazılım değişiklik gösterebilir) yazılımının kurulumu ve güncellemeler yüklendikten sonra şekil 4.2 ve şekil 4.3’ de gösterilen menüler kontrol edilip gerekli değerler uygulamaya göre değiştirilebilir.



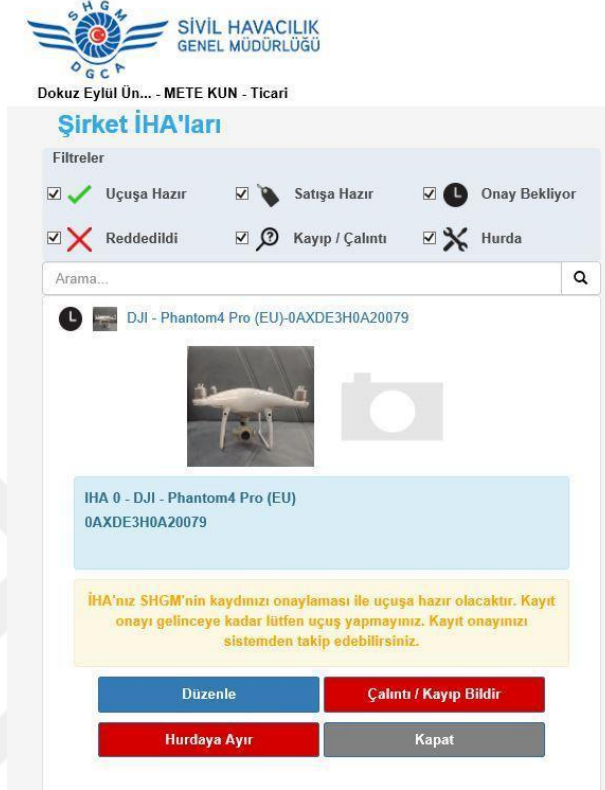
Şekil 4.2 DJI GO genel durum arayüzü



Şekil 4.3 DJI GO ana kontrol ayarları arayüzü

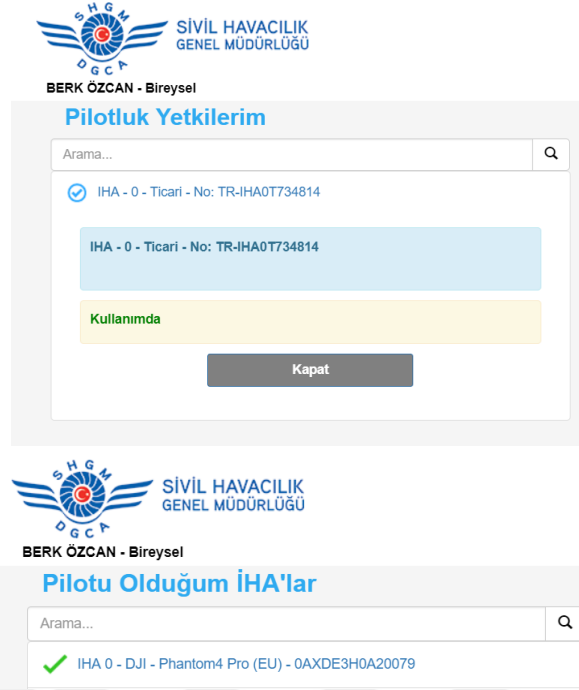
Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) nün yayınladığı ve Tablo 3.2’ de gösterildiği gibi azami kalkış ağırlığı 1388 gram olan cihaz İHA-0 sınıfına dahil olmaktadır (Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, 2016, s. 4). Bu sebeple tüm insansız

hava araçlarını (İHA) kapsayan SHGM' nin yasal düzenlemesi gereği İHA' nın SHGM veri tabanına kaydı şekil 4.4' de gösterildiği gibi yapılmıştır.



Şekil 4.4 SHGM insansız hava aracı kayıt veri tabanı (SHGM, 2018)

Yine SHGM' nin yasal düzenlemesi uyarınca her İHA' nın kullanılabilmesi için lisanslı bir insansız hava aracı pilotu veri tabanına atanmalı ve onaylanmalıdır. Bu sebeple lisanslı insansız hava aracı pilotu şekil 4.5' da gösterildiği gibi atanmış ve SHGM tarafından atama onaylanmıştır. Bununla beraber araştırma-geliştirme kapsamında uçuş yapabilmesi mümkün kılınmış ve yasal düzenlemeler tamamlanmıştır.



Şekil 4.5 SHGM veri tabanı pilotluk yetkisi ve pilotluk edilen İHA' lar (SHGM, 2018)

Çalışma kapsamında YKN noktalarının hassas ölçümünün yapılması için LEICA marka GS15 model GNSS anteni ve CS10 model Kontrol ünitesi kullanılmıştır. Cihazın teknik özellikleri tablo 4.2' de belirtilmiş ve görselleri şekil 4.6' de gösterilmiştir.

Tablo 4.2 GS15 teknik özellikler

Başlatma zamanı		Ortalama 4 s
Gerçek-Zamanlı Kinematik (RTK)	Single baseline	Hz 8 mm + 1 ppm / V 15 mm + 1 ppm
(ISO17123-8 standardı ile uyumludur)	Network RTK	Hz 8 mm + 0.5 ppm / V 15 mm + 0.5 ppm
Post-processing	Uzun gözlemlerle statik (faz)	Hz 3 mm + 0.1 ppm / V 3.5 mm + 0.4 ppm
İşlem Sonrası	Statik ve hızlı statik (faz)	Hz 3 mm + 0.5 ppm / V 5 mm + 0.5 ppm



Şekil 4.6 GS15 model GNSS anteni ve CS10 model Kontrol ünitesi (Leica, 2019)

Fotogrametri yazılımı olarak çalışma kapsamında Pix4D Mapper, Agisoft Photoscan ve DroneDeploy yazılımları incelenmiştir. Android ve Ios uygulamasının mevcut olması ve Phantom 4 Pro cihazıyla sorunsuz uyum içinde çalışabilmesi, düşük özellikli bilgisayarda çalışabilmesi ve kullanıcı dostu ara yüzünden kaynaklı Pix4D Mapper yazılımı tercih edilmiştir.

İHA ile arazi çalışmaları kapsamında uçuş planının yapılması ve gerçekleştirilmesi aşamasında Pix4D yazılımının Android ve Ios uyumlu uygulaması olan Pix4D Capture kullanılmıştır.

3BMY'lerinin seçiminde dünya üzerinde kabul görmüş ve kullanılabilirliği olan yazılımların stabil çalışan ve yoğunlukla kullanılan sürümleri seçilmiştir. Bu sebeple Maptek Vulcan, Geovia Surpac ve Micromine yazılımları tercih edilmiştir.

4.2 İHA ile Veri Toplanması

Temel olarak Pix4D yazılımına gereken girdiler İHA ile alınan fotoğraflar ve GNNS ile ölçülen YKN' lerdir. Ancak bu iki temel adım ne kadar doğru atılırsa devamında gelen bu adımları köken alan aşamalar da o kadar sağlıklı olacaktır. Bu nedenle İHA ile veri toplama aşaması ön arazi çalışması, uçuş planı oluşturulması ve uçuşun gerçekleştirilip son kontrollerinin yapılması olmak üzere 3 ana başlığa sahiptir.

4.2.1 Çalışma Alanının Keşfi ve YKN Planlanması

Çalışma alanının keşfi gerek YKN' lerin planlı bir şekilde yerleştirilmesi gerekse uçuş sırasında oluşabilecek sorunların önüne geçebilmek için kritik önem taşımaktadır. Uçuş yapılacak sahanın arazi koşullarını önden görmek uçuş planını en etkili şekilde oluşturulmasına zemin sağlayacaktır. Ayrıca çalışma alanının en yakın yerleşim merkezine tespitinin önden yapılması Sivil Havacılık Genel Müdürlüğünden alınacak uçuş izninin hazırlanması sürecini de kolaylaştıracak aksi takdirde izinsiz yapılan uçuşlar hem can ve mal kaybına sebebiyet verebilmekte hem de cezai işlem ile sonuçlanabilmektedir.

YKN' ler 1 Mayıs 2019 tarihinden önce görülebilir olması ve homojen şekilde dağılımı yapılmış olması uygun bulunmaktaydı. Fakat bu tarihte yayınlanan İnsansız Hava Aracı (İHA) Sistemleri İle Detay Ölçmeleri, Harita Üretimi ve Kontrol Esasları talimatnamesinin 6. Maddesinin 2. bendinde yeni uygulamanın nasıl yapılacağı belirtilmiştir.

Yine aynı talimatnamenin 7.maddesi olan “YKN Ağı ve Hava İşaretlerinin Tesisi” başlığı altında YKN' lerin nasıl işaretleneceği, yapısı ve boyutları belirtilmektedir. Ancak çalışma kapsamında ki alan çalışmaları 1 Mayıs 2019 tarihinden önce yapılmış olduğundan çalışmalarda bu tarihten önceki esaslar geçerlidir.

Şekil 4.7' de YKN' ler için yapılmış plakaların tasarımları gösterilmektedir. 0,5 m x 0,5 m boyutunda olan plakalar üzerine değişik ölçüm aralıklarında işaretlemeler yapılmıştır. Yan bant şeklinde olan siyah geçişler çalışmalar için hassasiyet kontrolü yapmak amaçlı tasarlanmıştır.



Şekil 4.7 YKN'lerin havadan görülmesi için kullanılan plakalar

4.2.2 Pix4D Capture ile Uçuş Planı Oluşturulması

Pix4D Capture firmanın mobil uygulamasıdır. Hem *Android* hem de *Ios* işletim sistemine sahip cihazlarda çalışmaktadır. Uygulama uçuş planı hazırlamak ve hazırlanan planı İHA aktarmak ve otonom olarak sistematik görsel alımına imkan sağlamaktadır.

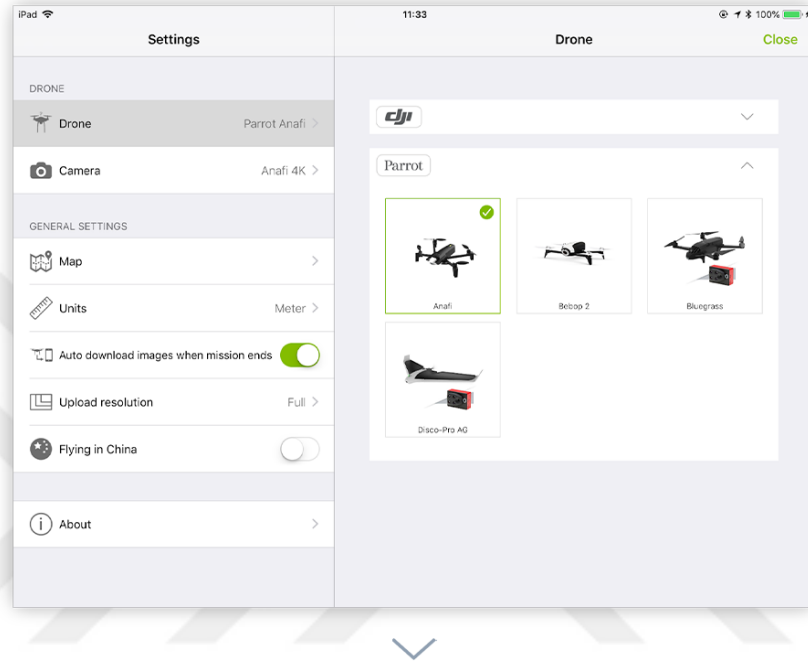
Uçuş planı, sistematik uçuşun gerçekleşmesi için pilot tarafından İHA'nın içine aktardığı koordinatlar dizisinden oluşan haritadır, İHA pilotun planladığı sırayla, hızla, kamera açısıyla, irtifayla ve yön ile bu koordinatları takip eder. Uçuş planları genelde (serbest uçuş hariç) çalışma alanını bir uçtan diğer uca kesen hatlardan oluşur. Bu hatlar üzerinde İHA'nın fotoğraf çekimi yapacağı düğüm noktaları bulunur. Hat ve düğüm noktaları Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



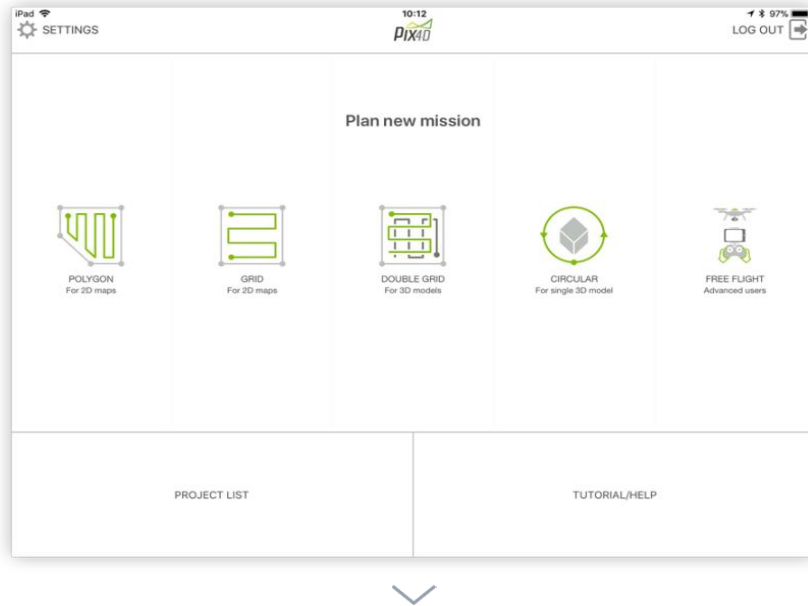
Şekil 4.8. Tekli hat ve düğüm noktaları (Pix4D SA, 2019)

Hatlar üzerinde bulunan düğüm noktalarından alınan fotoğraflarının düşey veya yatay olarak birbiriyle kesişme oranını, görsellerin bindirme oranıdır. Yatay ve düşey bindirme oranları uçuş planının temel kavramlarından olup Pix4D Capture uygulamasında düşey ve yatay olarak oranlar ayarlanabilmektedir.

Uygulamanın pozitif taraflarından biri temel uçuş planı iskeletlerini barındırmasıdır. Şekil 4.9’ da görüldüğü gibi İHA’ nızı seçtikten sonra karşınıza gelen ekranda şekil 4.10’ de gösterildiği gibi ikonlardan çalışmanız için uygun şablon seçilebilmektedir.

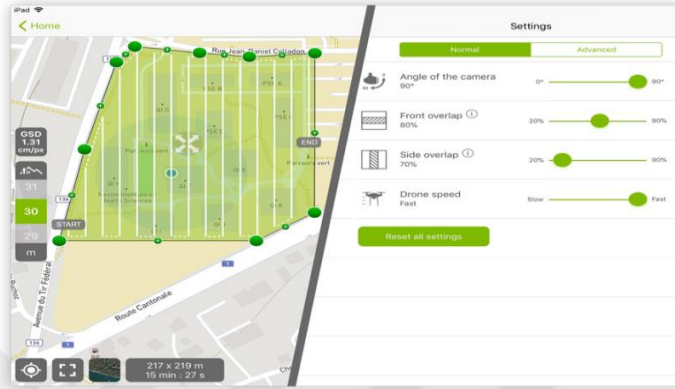


Şekil 4.9 Pix4D Capture İHA seçimi (Pix4D SA, 2019)



Şekil 4.10 Uçuş planı şablonu seçimi (Pix4D SA, 2019)

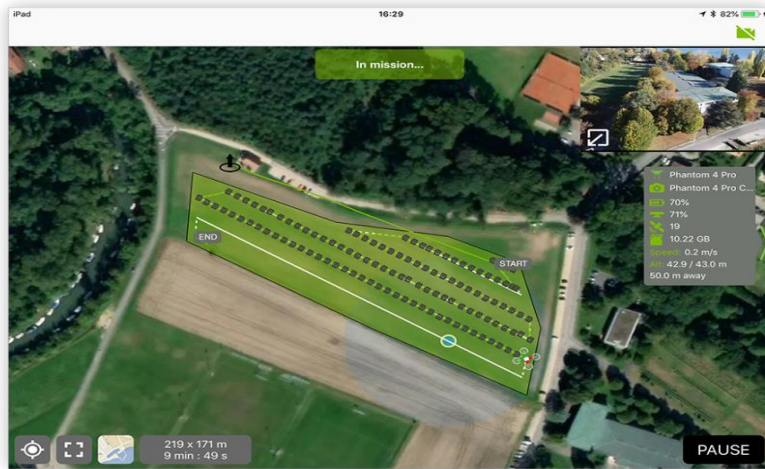
Uçuş planı için diğer parametreler uçuş hızı, yüksekliği, kamera açısı, bindirme oranları ve yönüdür. Parametreler değiştirildikçe uygulama uçuş süresi, yerüstü örnekleme aralığı (YÖA) ve taranan alan gibi değişkenleri güncellemektedir. Şekil 4.11’ de uygulamanın arayüzünde uçuş parametrelerinin ayar alanları gösterilmektedir.



Şekil 4.11 Uçuş Parametreleri arayüzü (Pix4D SA, 2019)

4.2.3 Uçuşun Gerçekleştirilmesi ve Oluşabilecek Potansiyel Sorunlar

Uçuş planı tamamlandıktan ve İHA’ nın uçuş için son kontrolleri yapıldıktan sonra Pix4D Capture uygulaması İHA ile bağlantı kurup uçuş planını aktaracak ve uçuş şekil 4.12’ de görüldüğü gibi takip edilebilmektedir.



Şekil 4.12. Pix4D Capture uçuş arayüzü (Pix4D SA, 2019)

Uçuş öncesi çalışma alanı keşfi sağlıklı şekilde yapılmadıysa arazi içindeki boyu yüksek cisimler (ağaç, bina, yüksek gerilim hattı, bayrak direği vb.) düşür irtifada yapılan uçuşlarda İHA' nın düşmesine sebebiyet verebilir.

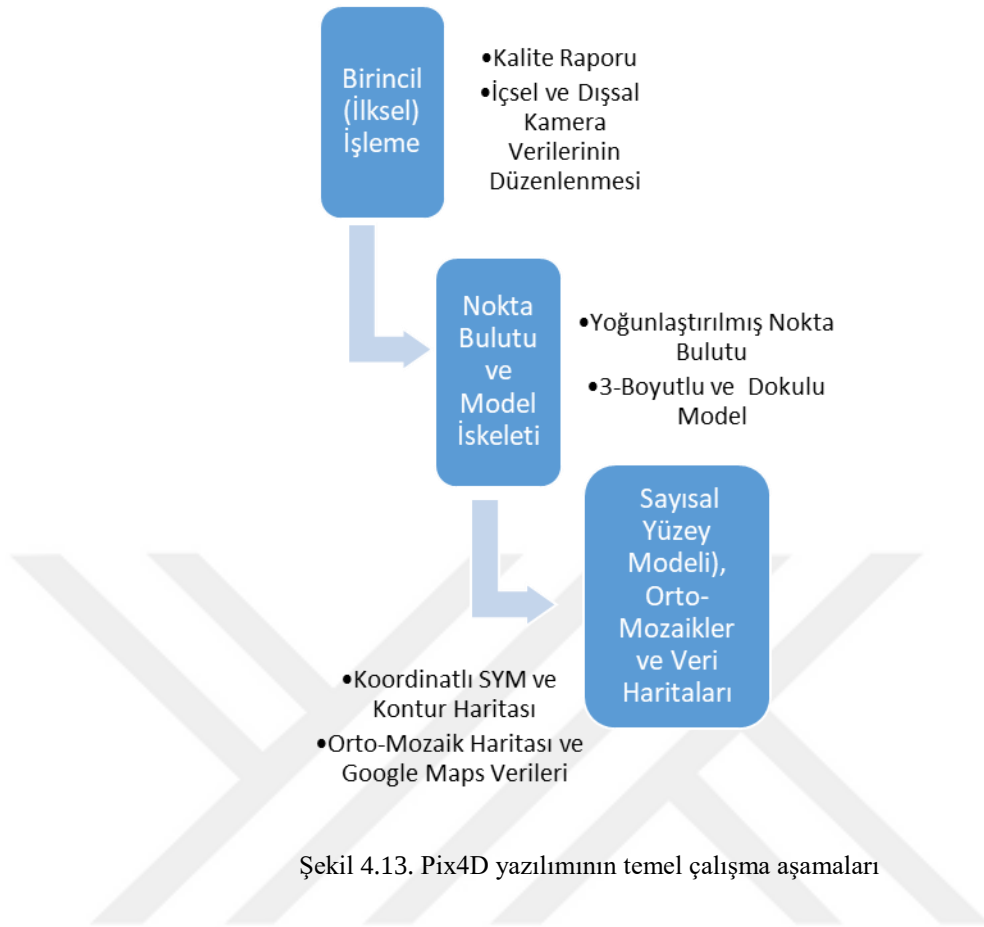
Yapılacak uygulamaya yönelik uçuş planı yapılmadıysa veya bindirme oranları, taranan alan yetersizse çalışma alanı bütünlüklü şekilde modellenemez veya haritalanamaz.

Çalışma alanındaki hava durumu önceden kontrol edilmediyse uçuş sırasında oluşabilecek ani rüzgar İHA' yı düşürebilir veya oluşturduğu sarsıntı ile alınan görsellerin bulanık olmasına sebebiyet verebilir. Sağlıklı olmayan görseller çoğu fotogrametrik yazılım tarafından girdi olarak kabul edilememektedir.

Çalışma alanında güneş patlaması veya az sayıda uydu desteği varsa havadan alınan görsellerin koordinatlarının hata payları artacak ve yapılan çalışmanın karesel ortalama hatası beklenenden yüksek olacaktır.

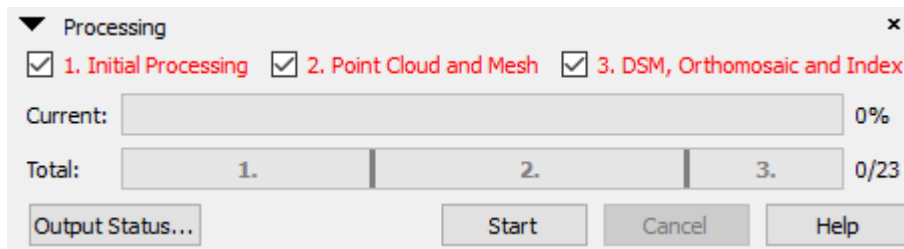
4.3 Verilerinin Pix4D Yazılımı ile İşlenmesi

İHA ve Pix4D Capture uygulaması kullanılarak elde edilen fotoğraflar ve GNSS ile ölçülen YKN koordinatlar yazılım girdi için gereken veri setini oluşturmaktadır. Şekil 4.13' de Pix4D yazılımının temel çalışma aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Pix4D yazılımının temel çalışma aşamaları

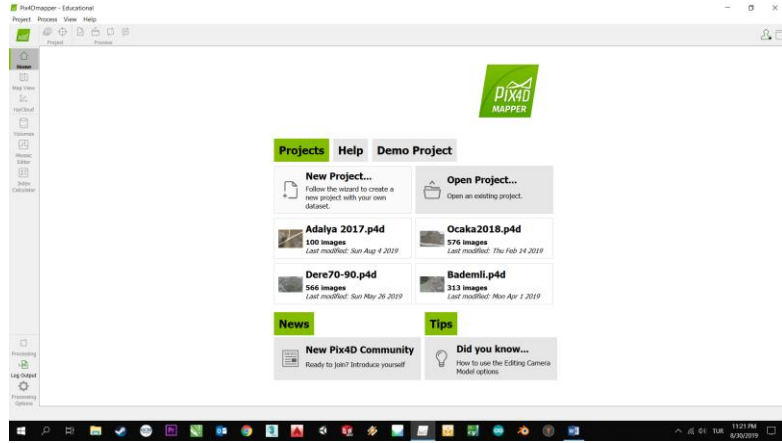
Yazılım arayüzünde de işleme panelinde de bahsedilen 3 aşama mevcuttur ve şekil 4.14’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Yazılım arayüzünde de işleme paneli (Pix4D , 2019)

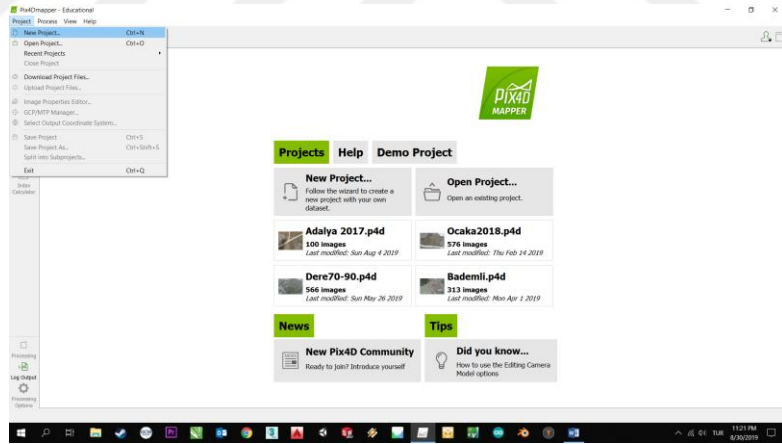
4.3.1 Proje Oluşturma ve YKN’ lerin İçe Aktarılması

Veri seti yazılım içine aktarılmadan önce proje dosyası oluşturulur. Şekil 4.15’ de Pix4D yazılımının giriş arayüzü verilmiştir.



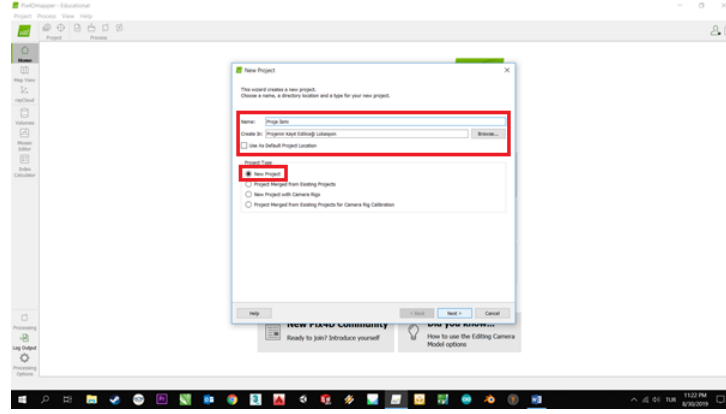
Şekil 4.15. Giriş arayüzü

Giriş arayüzünün sol üst tarafında bulunan *Project* menüsüne girilerek *New Project* butonu seçilir veya klavyeden “Ctrl + N” tuş kombinasyonu kullanılarak proje oluşturma arayüzüne şekil 4.16’ de gösterildiği gibi erişilebilir.

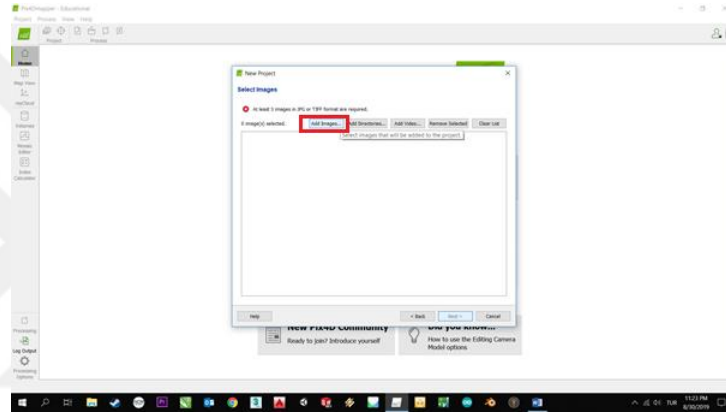


Şekil 4.16. Giriş arayüzü *Project* menüsü

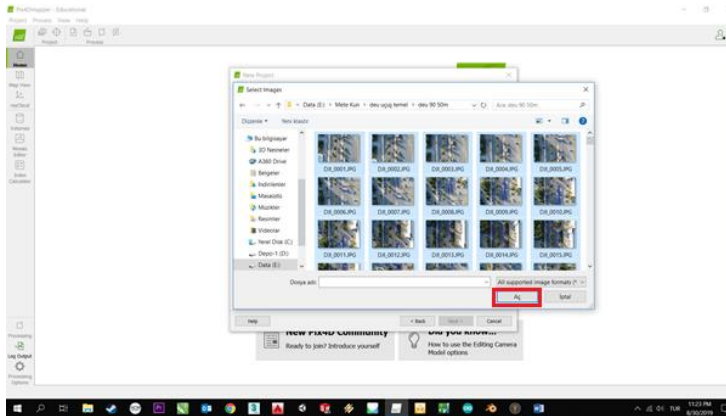
Proje oluşturma arayüzünde sırasıyla proje ismi ve projenin saklanacağı yer şekil 4.17’ de anlatıldığı gibi seçilir. *Next* butonu ile şekil 4.18’ deki arayüz karşımıza gelir ve *Add Image* butonu ile fotoğraflar Şekil 4.19’ de gösterildiği gibi seçimi yapılır.



Şekil 4.17 Proje adı ve yeri



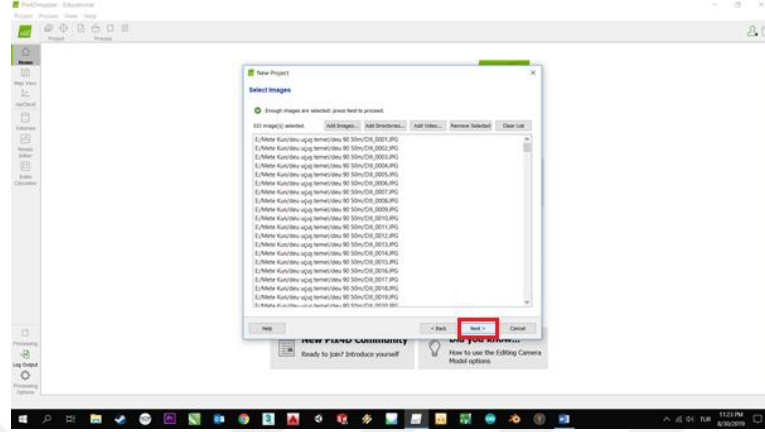
Şekil 4.18 Fotoğraf ekleme



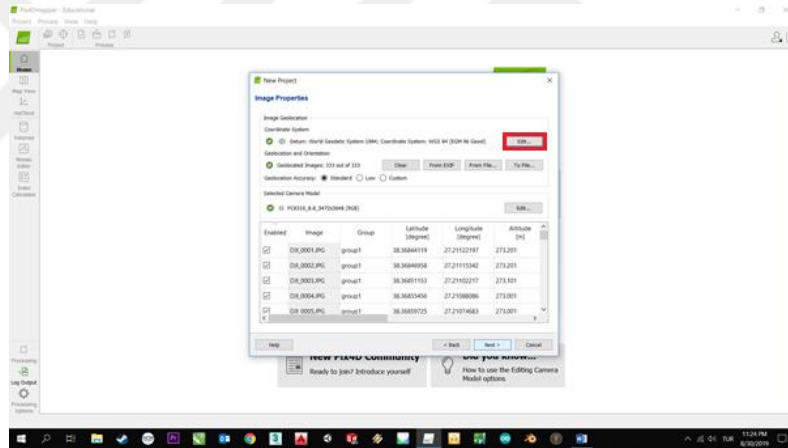
Şekil 4.19 Fotoğrafların seçimi

Şekil 4.20' da gösterildiği gibi eklenen fotoğraflar arayüzde liste halinde görüntülenir. Next butonu ile devam edildiğinde fotoğraf içine gömülü bulunan

koordinat değerlerinde kontrol ve düzenleme için şekil 4.21' de görüldüğü gibi ekranda listelenir.

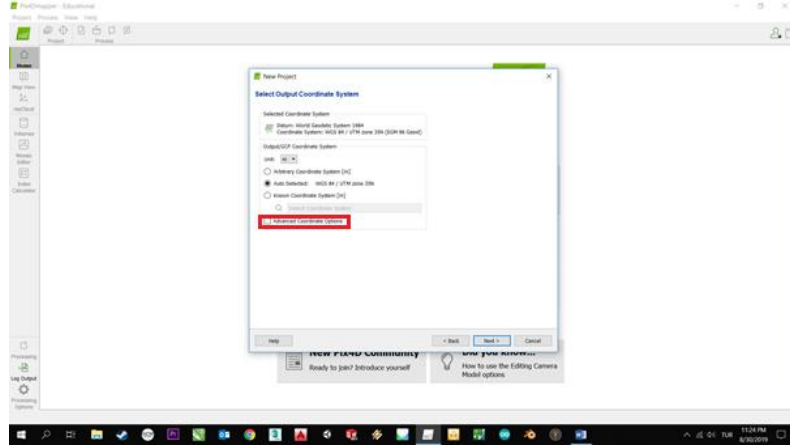


Şekil 4.20 Fotoğrafların kontrolü



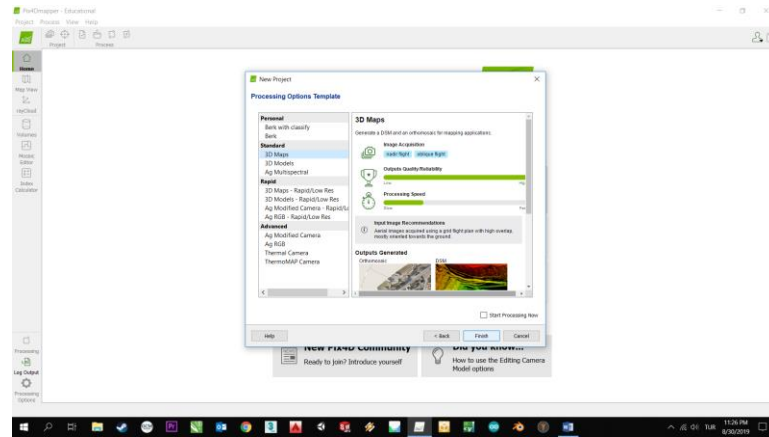
Şekil 4.21 Fotoğrafların koordinat sisteminin seçilmesi

Projenin koordinat sistemi verilerin eldesi sağlanırken kullanılan koordinat sistemine veya GNSS ile alınan ölçülerin koordinat sistemine göre değiştirilebilir. Değişiklik yapılmadığı takdirde yazılım fotoğrafların içinde gömülü bulunan bilgilerden otomatik olarak koordinat sistemini seçmektedir. *Next* butonu ile proje oluşturmaya devam edilir. Bir sonraki aşama şekil 4.22' de aktarıldığı gibi projenin çıktı koordinat sistemidir. Burada yapılan seçim daha sonra değiştirilebilir ancak ileride aktarılacak olan tüm veri işleme adımlarına bu değişikle sıfırlanacağını unutmamak gerekir.

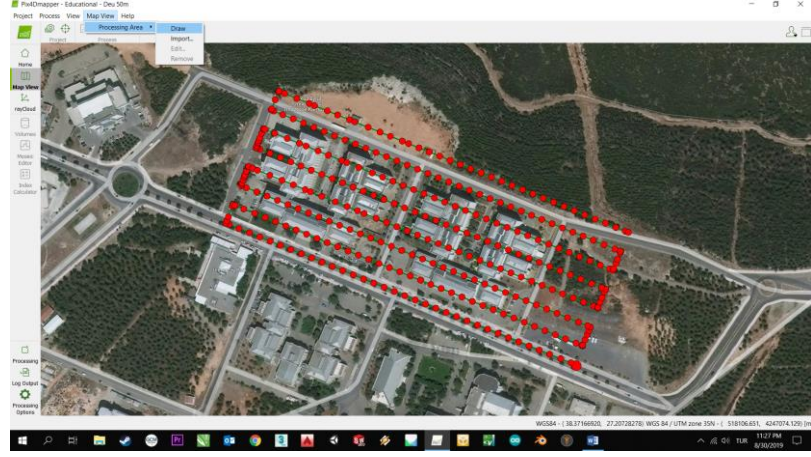


Şekil 4.22 Projenin koordinat sisteminin seçilmesi

Sonraki adım şekil 4.23’ de görülen proje şablonu seçimidir. Pix4D yazılımı yapılacak uygulamaya göre ayarları otomatik düzenleyebilmektedir. Şablonlar içinde harita uygulamaları için *3D Map* şablonu ve üç boyutlu modeller için *3D Model* şablonu mevcuttur. Şablon seçiminden sonra gelen arayüzde şekil 4.24’ da anlatıldığı gibi *Draw* komutu seçilerek sol tuş ile çizim yapılarak çalışılacak alan sınırlanır. Bu çalışma sınırlaması yazılımın performansını pozitif yönde etkilemektedir.

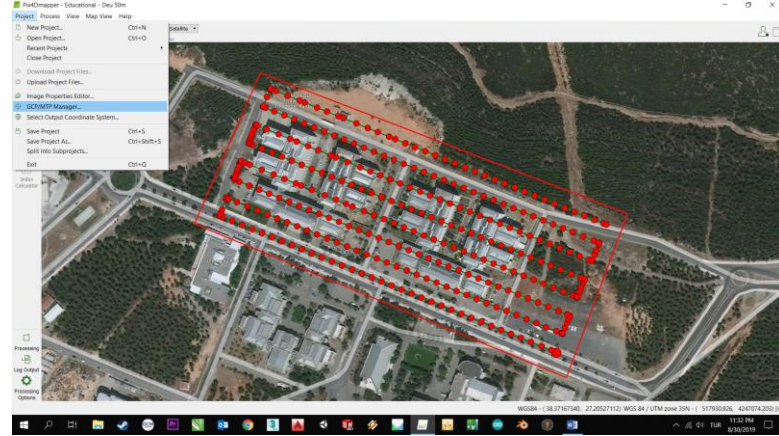


Şekil 4.23 Proje şablonu seçimi

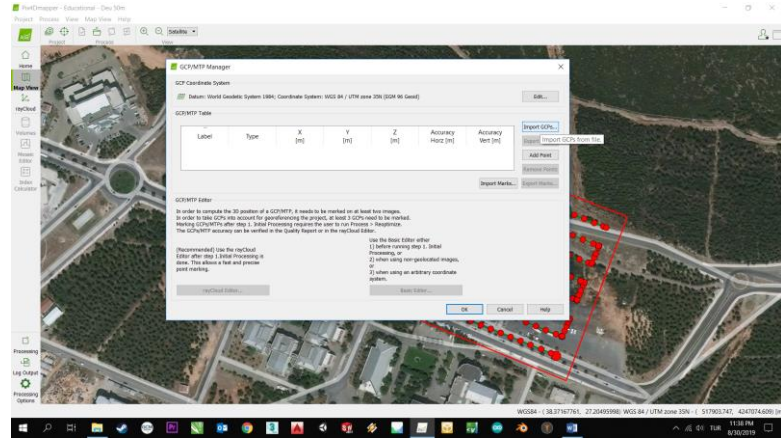


Şekil 4.24 Çalışma alanının sınırlanması

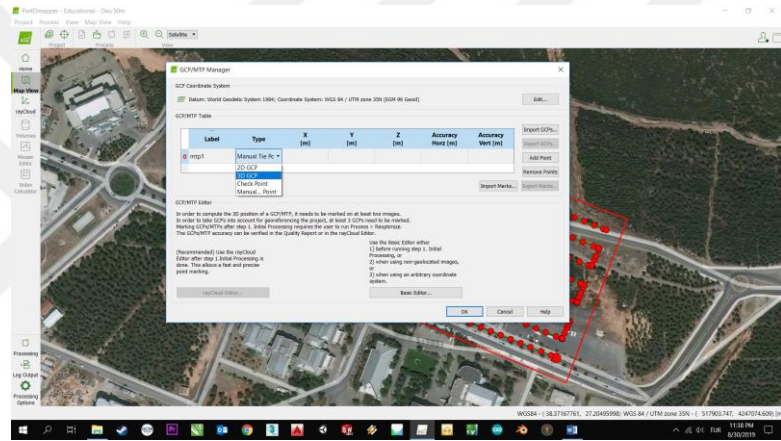
Hassas GNSS ile ölçümü yapılan YKN'ler yazılıma aktarılacak için düzenlendikten sonra şekil 4.25'de gösterildiği gibi referanslama arayüzünü *GCP/MTP Manager* butonu ile ulaşılır. Şekil 4.26' de gösterildiği şekilde *Add Point* ya da *Import GCPs* butonları kullanılarak aktarım başlatılır. *Add Point* butonu ile aktarılan YKN'ler için şekil 4.27' de gösterildiği gibi aktarılan noktaların türü seçilmeli ardından da koordinatları ve hata payı verisi girilmelidir.



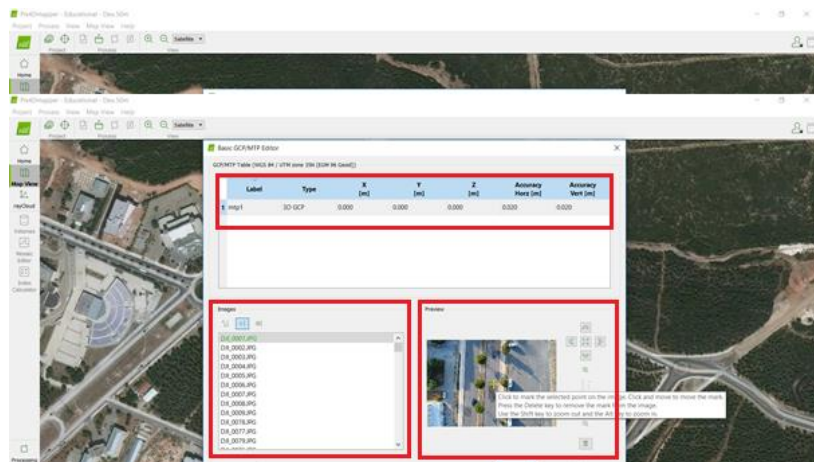
Şekil 4.25 Referanslama arayüzüne giriş



Şekil 4.26 Referanslama arayüzü

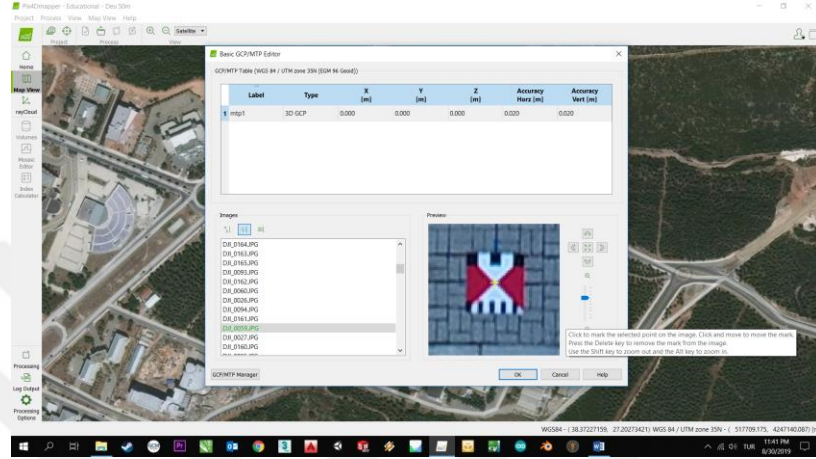


Şekil 4.27 YKN'lerin aktarılması



Şekil 4.28 YKN'lerin işaretlenmesi

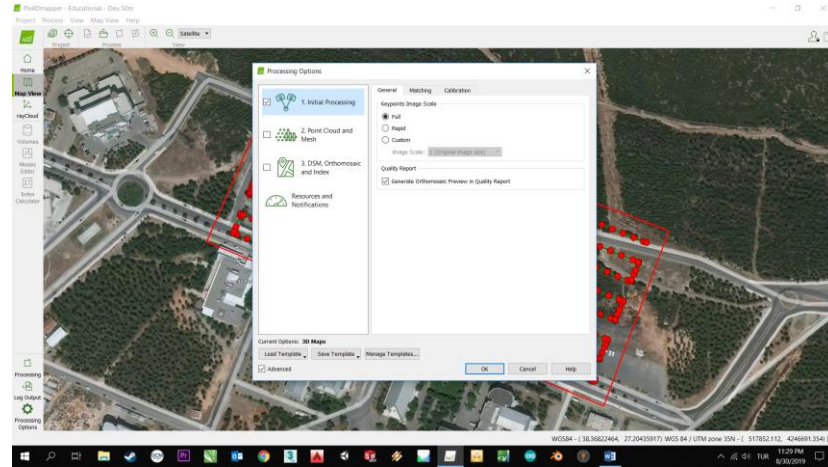
Şekil 4.28’ de referanslama arayüzünün 3 bölümden oluştuğu gözükmemektedir. Üst bölüm aktarılan YKN’ leri gösterirken, sol tarafta seçili olan YKN’ nin bulunduğu fotoğraflar listelenmektedir. Sol taraftaki bölümden seçilen fotoğraflar sağ tarafta ki alanda yer üstü işaretlemesi bulunarak şekil 4.29’ de olduğu gibi eşleştirilir. Tüm YKN’ ler için işlem tekrarlandığında referanslama tamamlanmış olur.



Şekil 4.29 YKN’ lerin işaretlenmesi örnek işaretleme

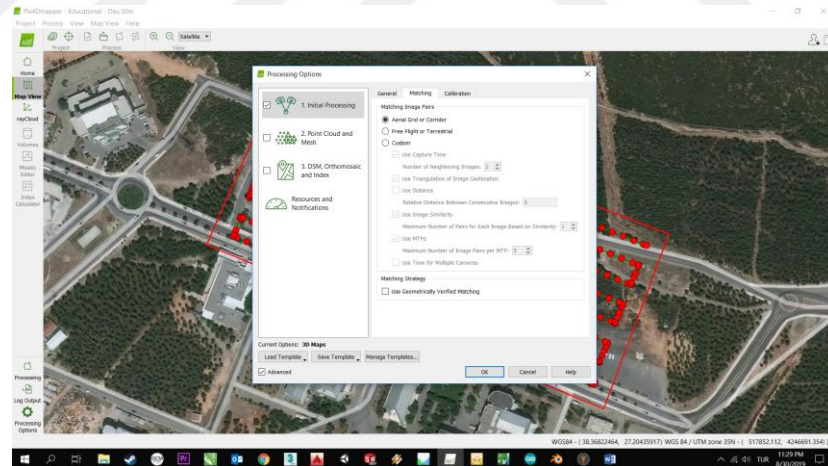
4.3.2 Birincil (İlksel) İşlem

Şekil 4.30, şekil 4.31 ve şekil 4.32’de ayarları gösterilen birincil aşama olan ilksel işleme aşamasında yazılım İHA ile eldesi sağlanan görsellerin içine gömülü olan içsel ve dışsal kamera verilerini çıkarır ve düzenler. Işın demetinin de şekillendiği bu aşamada öncü ve seyrek bir nokta bulutu oluşturulur.



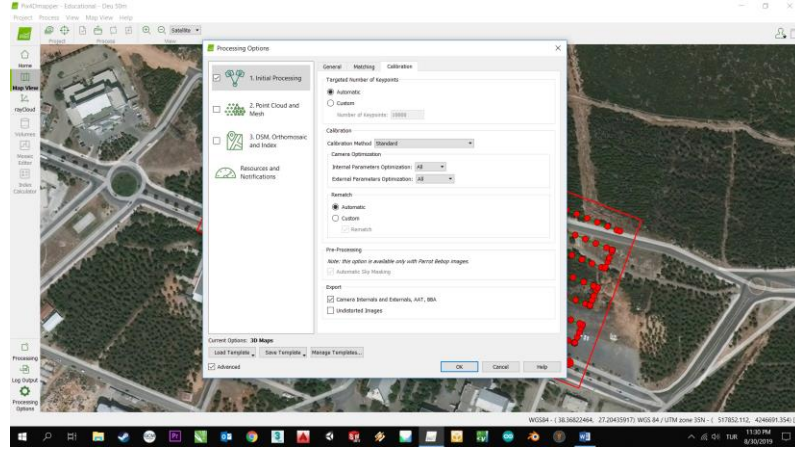
Anahtar Noktalar Görüntü Ölçeği: Anahtar noktaları çıkarmak için kullanılan görüntü boyutunu tanımlamanızı sağlar.

Kalite Raporu: Kalite Raporunda nelerin gösterileceğini seçmenizi sağlar.



Görüntü Çiftlerini Eşleştirme: Hangi görüntü çiftlerinin eşleştirileceğini seçmenizi sağlar.

Eşleşme Stratejisi: Görüntülerin nasıl eşleştirildiğini belirlemeye izin verir.



Şekil 4.32 Birincil (İlksel) İşlem kalibrasyon ayarları

Hedeflenen Anahtar Nokta Sayısı: Çıkarılan anahtar nokta sayısını belirlemenizi sağlar.

Kalibrasyon: Kameranin dahili ve harici parametrelerinin nasıl optimize edileceğini seçmenizi sağlar.

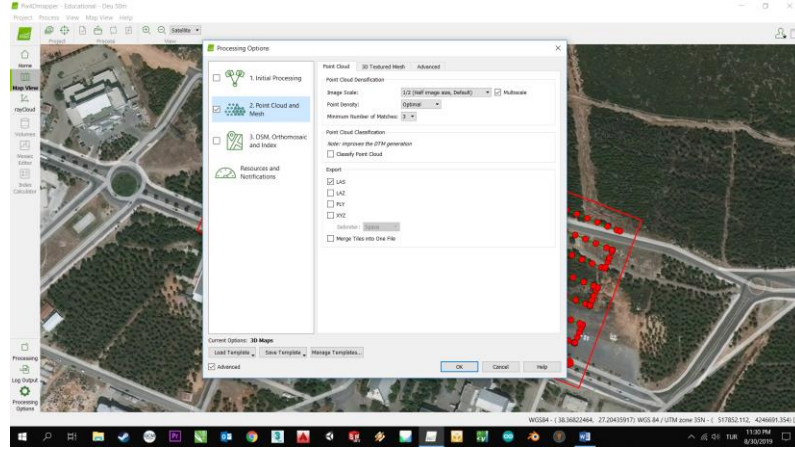
Tekrar Eşleme: İlk işlemenin ilk bölümünden sonra daha fazla eşleşme eklemenizi sağlar.

Ön İşleme: Ön işleme seçeneklerini seçmenizi sağlar.

Dışa Aktar: 1. adımın çıktılarını seçmenizi sağlar.

4.3.3 Nokta Bulutu ve Ağ Model

Şekil 4.33, şekil 4.34 ve şekil 4.35’de ayarları gösterilen ikinci aşamada ise nokta bulutu yoğunlaştırılması ve filtrelenmesi yapılır. Yoğun nokta bulutunun şekillendiği bu aşamada üçgenleme veya nokta bulutu sınıflandırması yapılması isteğe bağlıdır.

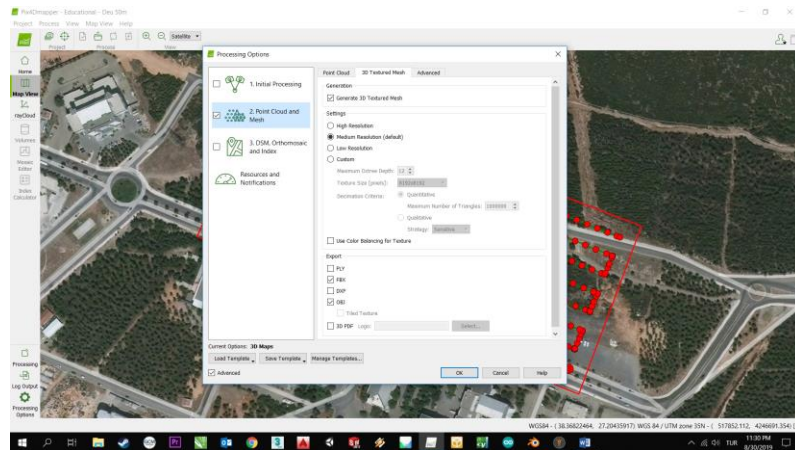


Şekil 4.33 Nokta bulutu ayarları

Nokta Bulutu Yoğunlaştırma: Kullanıcının nokta bulut yoğunlaştırma için parametreleri tanımlamasını sağlar.

Nokta Bulutu Sınıflandırması: Kullanıcının nokta bulutunu sınıflandırmasını sağlar.

Dışa Aktar: Kullanıcının yoğunlaştırılmış nokta bulutu için istenen çıktı biçimlerini seçmesini sağlar.



Şekil 4.34 Ağ model ayarları

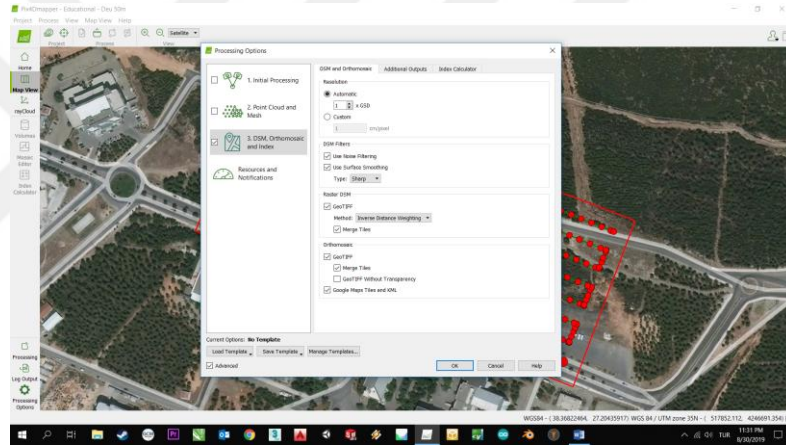
Üretim: Kullanıcının 3B dokulu ağ jenerasyonunu seçmesine izin verir.

Ayarlar: Kullanıcının 3B dokulu ağın oluşturulmasına ilişkin parametreleri seçmesine izin verir.

Dışa Aktar: Kullanıcının 3B Dokulu Ağ için istenen çıktı biçimlerini seçmesine izin verir.

4.3.4 Sayısal Yüzey Modeli, Orto-Mozaikler ve İndeks Haritaları

Şekil 4.35 ve şekil 4.36’da ayarları gösterilen üçüncü ve son aşamada SYM, SAM, ortofoto ve indeks haritaları oluşumu yapılmaktadır. Ayrıca kontur haritası ve Google Maps için koordinatlı ortofoto oluşumu yapılabilir.



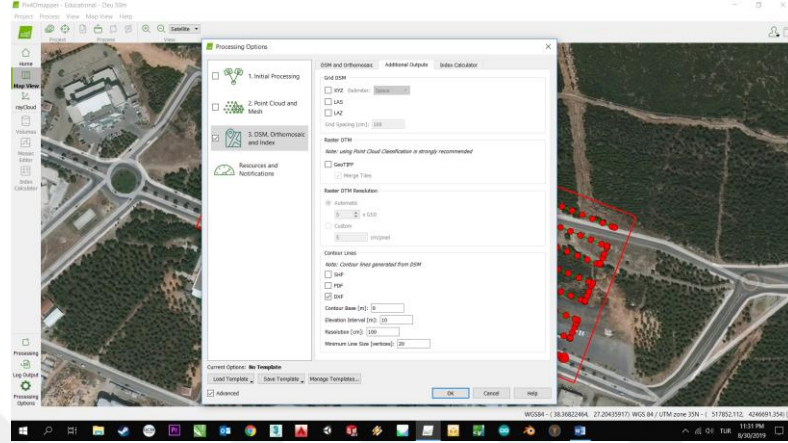
Şekil 4.35 Sayısal Yüzey Modeli, Orto-Mozaik ayarları

Çözünürlük: Kullanıcının SYM ve Orto-Mozaik oluşturmak için kullanılan uzamsal çözünürlüğü tanımlamasına izin verir.

SYM Filtreleri: Kullanıcının, SYM’ yi elde etmek için kullanılan Nokta Bulutu’ nun noktalarını filtrelemek ve pürüzsüzleştirmek için parametreleri tanımlamasını sağlar.

Raster SYM: Kullanıcının çıktı dosyası formatını ve raster SYM için seçenekleri seçmesine izin verir.

Orto-Mozaiik: Kullanıcının Orto-Mozaiik için çıktı dosyası biçimini seçmesinin yanı sıra Orto-Mozaiik jenerasyonu ile ilgili farklı seçenekleri seçmesine izin verir.



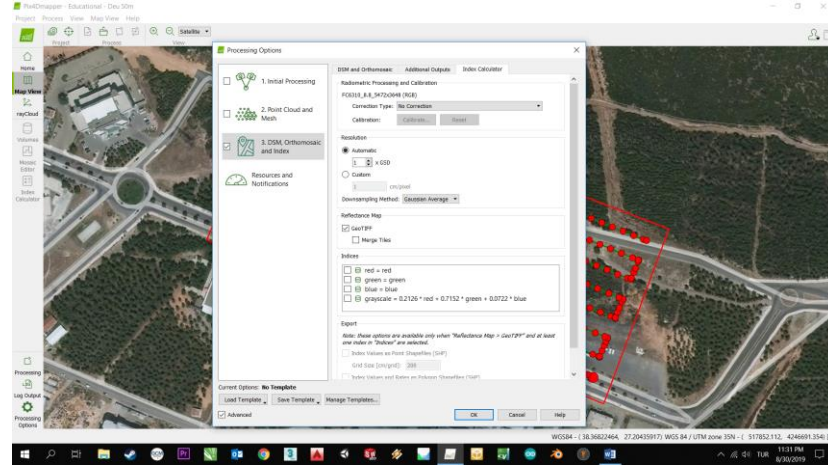
Şekil 4.36 Ek ayarlar

Grid SYM: Kullanıcının Grid SYM için çıktı dosyası formatını seçmesine izin verir.

Raster SYM: Kullanıcının çıktı dosyası formatını ve raster SYM için seçeneklerini seçmesine izin verir.

Raster SYM Çözünürlüğü: Kullanıcının SYM' yi oluşturmak için kullanılan uzamsal çözünürlüğü tanımlamasına izin verir.

Kontur Çizgileri: Kullanıcının, Raster SYM veya Raster SYM' yi kullanarak kontur çizgileri oluşturmaya ve kontur çizgileri için işleme seçeneklerini seçmesine izin verir.



Şekil 4.37 İndeks haritası ayarları

Çözünürlük: Kullanıcının çözünürlüğü ve ayrıca örnekleme yöntemini ayarlamasını sağlar.

Yansıtma Haritası: Kullanıcının 3. adım işlenirken Yansıtma Haritalarının üretilip üretilmeyeceğine karar vermesine izin verir. SYM, Orto-Mozaiik ve İndeks ve Karoların birleştirilip birleştirilmeyeceği.

Dizinler: Veri tabanından veya kullanıcı tarafından oluşturulan dizinlerin listesini gösterir. Kullanıcının 3. adımı işlerken hangi endekslerin oluşturulacağını seçmesine izin verir. Seçilen endeksler için, İndeks Haritası, GeoTIFF, İndeks Haritası Izgarası ise bir .shp dosyası olarak ve .jpg dosyası olarak renk temsili olan Sınıflar olarak kaydedilir.

Dışa Aktar: Kullanıcının istenen bazı çıktıları seçmesini sağlar.

4.3.5 Pix4D Çıktıları

Saha çalışmaları ışığında elde edilen girdiler Pix4D yazılımı ile işlenerek temel olarak nokta bulutu ve katı model halini almaktadır. Yazılım çıktıları ise özellikle nokta bulutu temel alınarak üretilmektedir. Pix4D yazılımı çıktılarını formatlarına göre sınıflamak gerekirse;

Nokta bulutu çıktı formatları: Las, Laz, Ply, Xyz

Katı model çıktı formatları: Dxf, Fbx, Ply, Obj, 3D Pdf

Grid çıktı formatları: Xyz, Laz, Las

GBS çıktı formatları: Kmz, Kml, Shp

Yazılım içi herhangi bir dijital nesne çıktı formatları: Shp, Dxf, Dgn, Kml

şeklinde hemen hemen kullanılan tüm yazılımlar için uygun bir çıktı formatı bulunmaktadır.

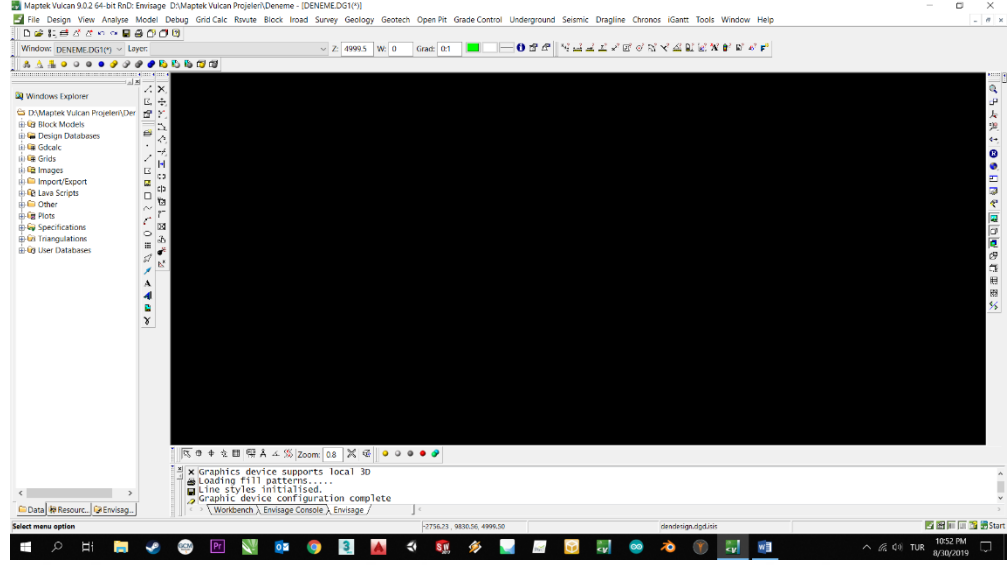
Elde edilen çıktılar madencilik sektöründe kendini ispatlamış 3 yazılıma aktarılacak ve 3 boyutlu olarak gösterilecektir. Bu yazılımlar Maptek Vulcan, Micromine, Geovia Surpac şeklinde seçimi yapılmış ve en stabil sürümleri seçilerek aktarım yapılmıştır.

Çıktıların madencilik yazılımlarına aktarımı sırasında herhangi bir ara yazılıma ihtiyaç duyulmamıştır. Dxf formatında olan kontur haritaları yazılımlarda bulunan içe aktarma fonksiyonları kullanılarak rahatlıkla yapılabilmektedir.

Çıktıların tamamı içsel verileriyle (Koordinat, birleşim noktaları, nokta-çizgi değerleri, vb...) birlikte aktarımı gerçekleştirilmiş ve kullanılmıştır.

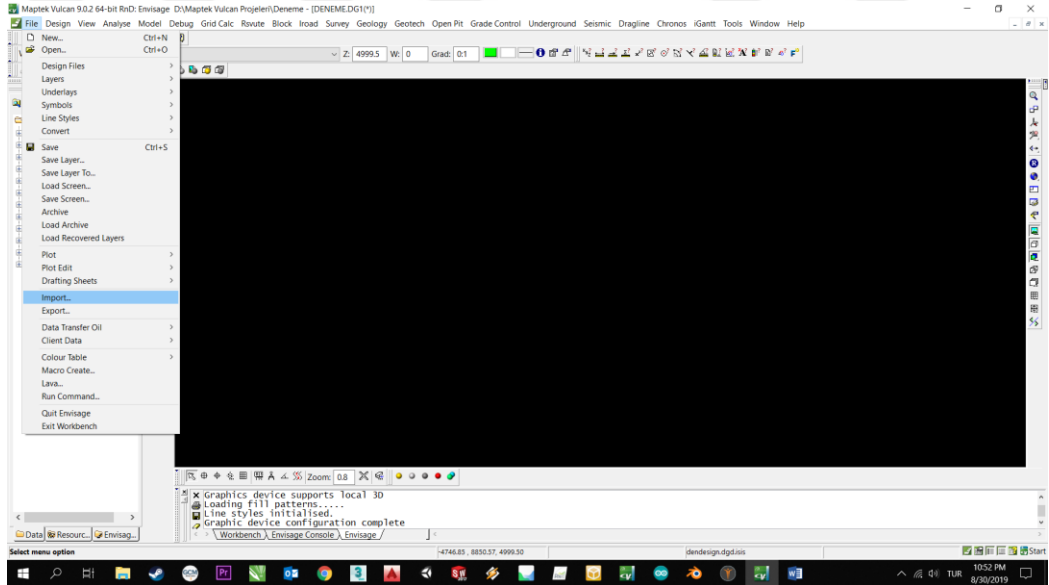
4.4 Pix4D Yazılımının Çıktılarının Maptek Vulcan Yazılımına Entegrasyonu

Maptek Vulcan yazılımı madencilik alanında köklü ve kullanım alanlarının genişliği sayesinde sektörde tercih edilen yazılımlardan biridir. Yazılım içinde proje dosyası oluşturulduktan sonra *Envisage* yani tasarım arayüzü şekil 4.38’ de gösterildiği gibidir.

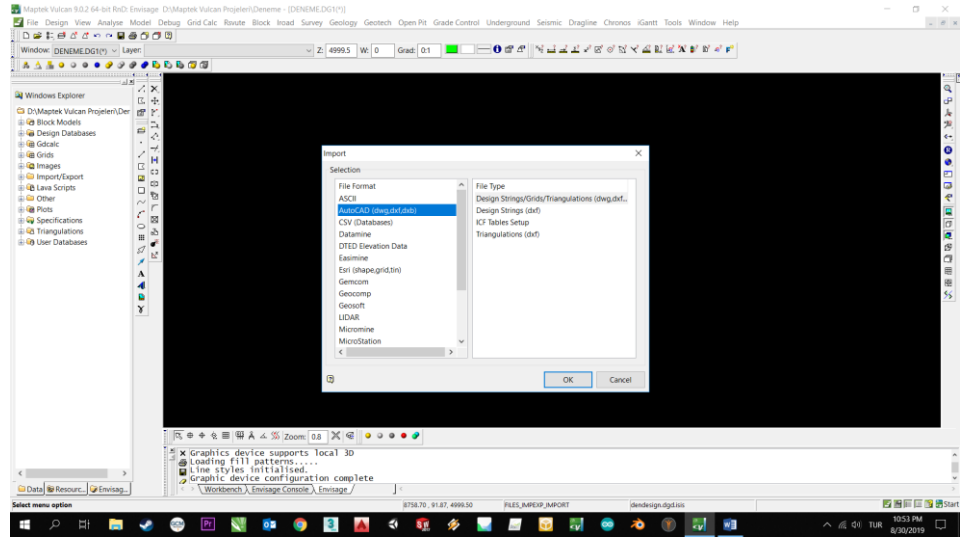


Şekil 4.38 Maptek Vulcan yazılımı Envisage arayüzü

Şekil 4.39’ da gösterildiği gibi *Envisage* arayüzünün sol üst köşesinde yer alan *File* menüsünden *Import* butonu kullanılarak içeriye veri aktarımı yapılabilen arayüz karşımıza şekil 4.40’ daki gibi çıkmaktadır.

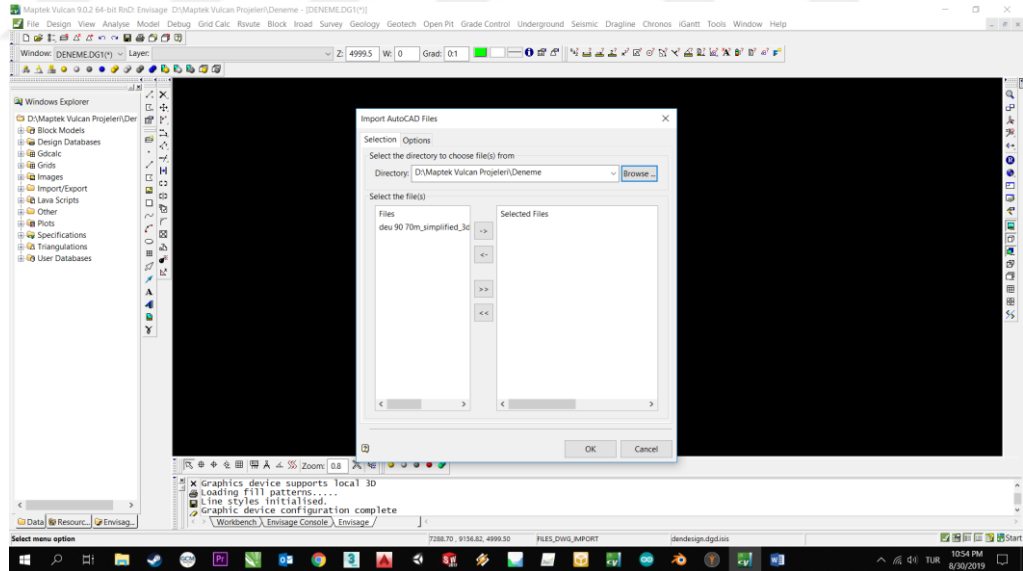


Şekil 4.39 File menüsü



Şekil 4.40 İçerik aktarım arayüzü

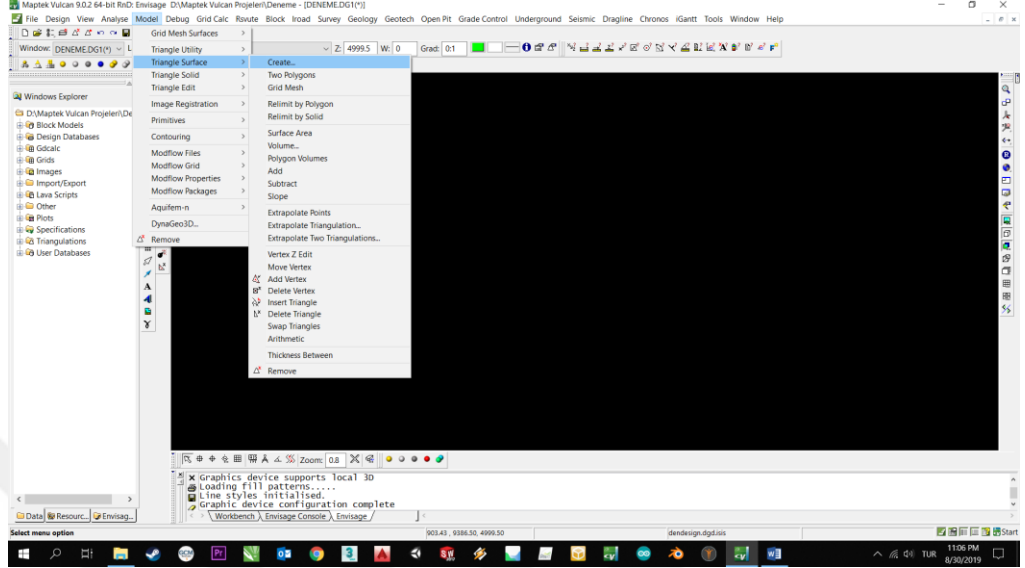
İçerik aktarım arayüzünden *AutoCAD* bölümü işaretlenerek arayüzün sağ tarafında listelenen seçeneklerden uygun dosya formatı seçilir. Şekil 4.40’ da ki gösterilen arayüz üzerinden CAD dosyası çağırılır ve yazılım içine aktarılır.



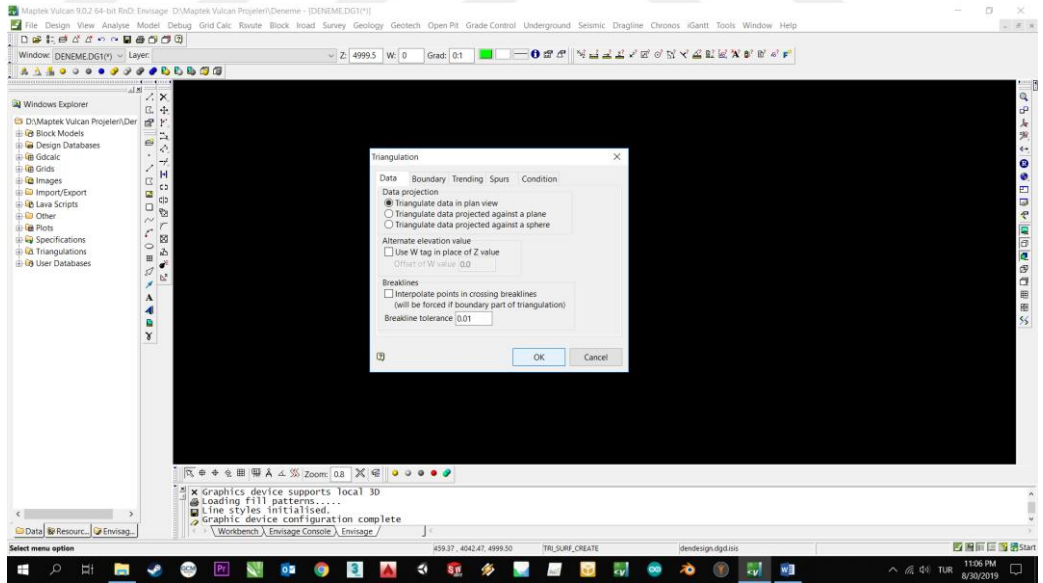
Şekil 4.41 AutoCAD uzantısı ekleme

Şekil 4.42’ de gösterildiği gibi *Envisage* arayüzünün üst tarafında bulunan *Model* menüsü altında ki *Triangle Surface* alt menüsü içinden *Create* butonu seçilerek yüzey

oluşturma arayüzüne giriş sağlanır. Şekil 4.43’ de gösterilen arayüz üzerinden ayarlar yapıldıktan sonra yüzey oluşturma işlemi tamamlanır.



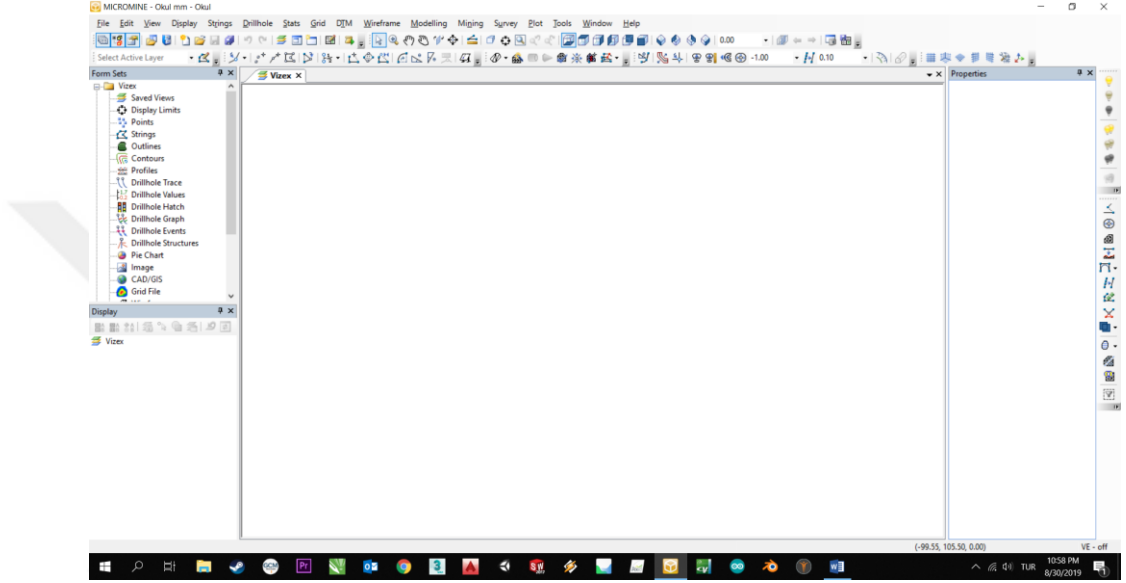
Şekil 4.42 Yüzey oluşturma arayüzüne giriş



Şekil 4.43 Yüzey oluşturma arayüzü

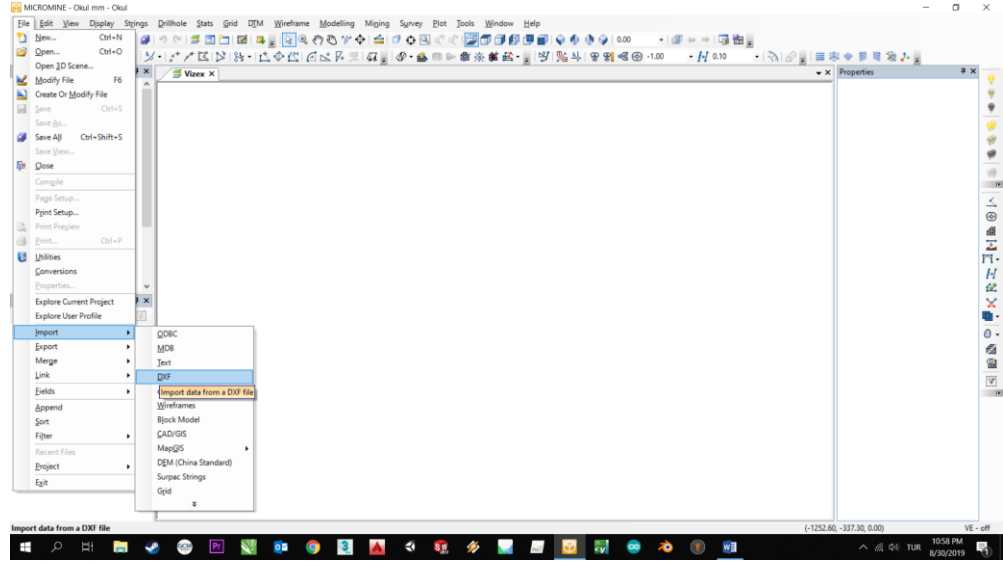
4.5 Pix4D Yazılımının Çıktılarının Micromine Yazılımına Entegrasyonu

Micromine yazılımı diğer madencilik yazılımlarından arayüzünün interaktif kullanımı ve çalışma performansı ile ayrılmaktadır. Bu sebeple sektör içinde sıklıkla kullanılan maden yazılımlarından biri olmuştur. Şekil 4.44’ de Micromine yazılımının proje arayüzü görüntülenmektedir.

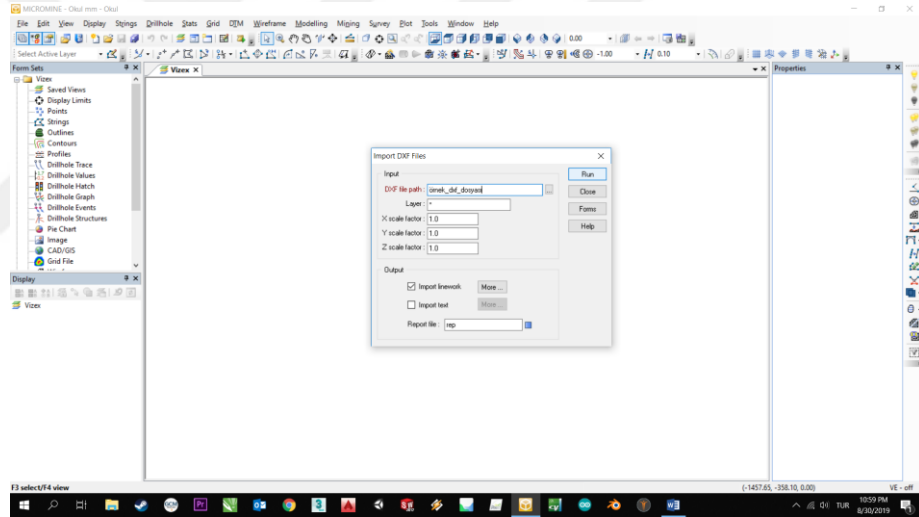


Şekil 4.44 Micromine proje arayüzü

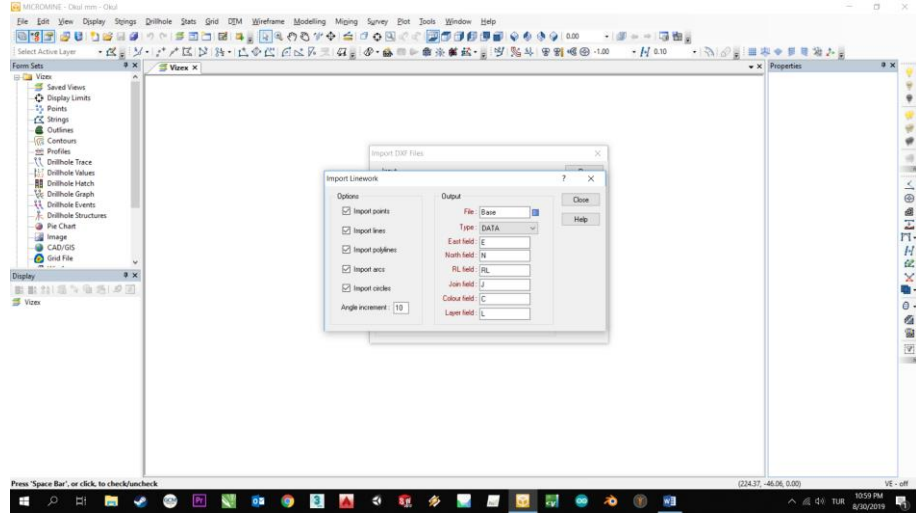
Şekil 4.45’ de gösterildiği gibi proje arayüzünün sol üst kısmında yer alan *File* menüsünden *Import* alt menüsüne girilerek *DXF* butonu seçimi yapıldığında da AutoCAD dosyası aktarım arayüzüne ulaşılmış olur. Şekil 4.46’ de gösterilen bu arayüzde *More* butonu seçildiğinde şekil 4.47’ de görüntülenen AutoCAD dosyası aktarım arayüzü ek seçenekler bölümüne ulaşılır.



Şekil 4.45 AutoCAD dosyası aktarım arayüzüne giriş

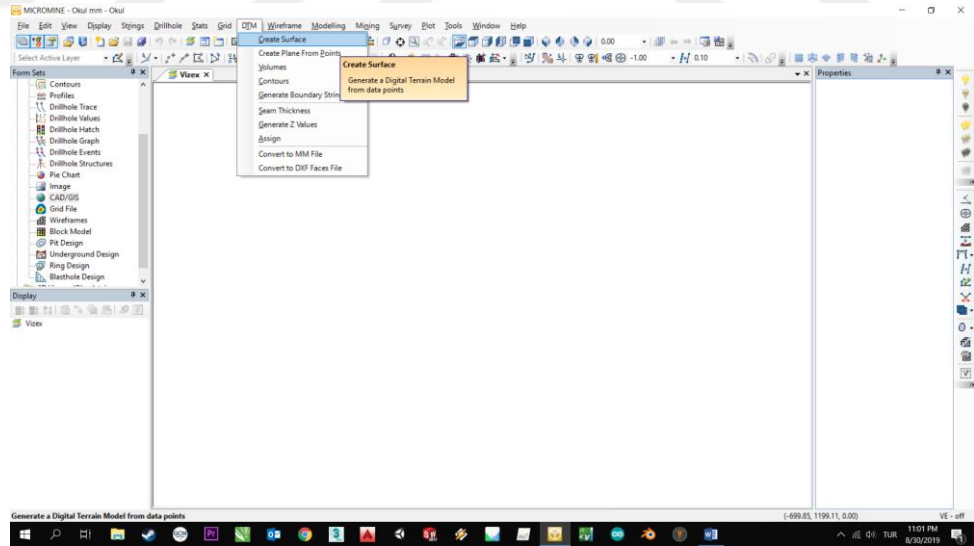


Şekil 4.46 AutoCAD dosyası aktarım arayüzü

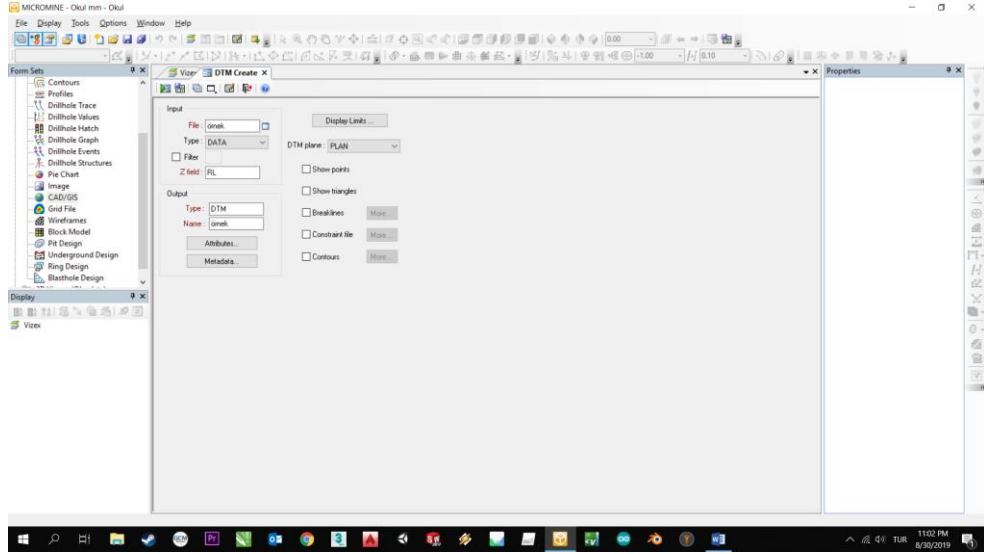


Şekil 4.47 AutoCAD dosyası aktarım arayüzü ek seçenekler

Proje arayüzünde üst kısımda yer alan *DTM* menüsünden *Create Surface* butonu şekil 4.48’ de gösterildiği gibi seçilerek yüzey oluşturma arayüzüne ulaşılır. Açılan arayüz üzerinden şekil 4.49’ de aktarılan ayarlamalar yapılarak yüzey oluşturma işlemi gerçekleştirilir.



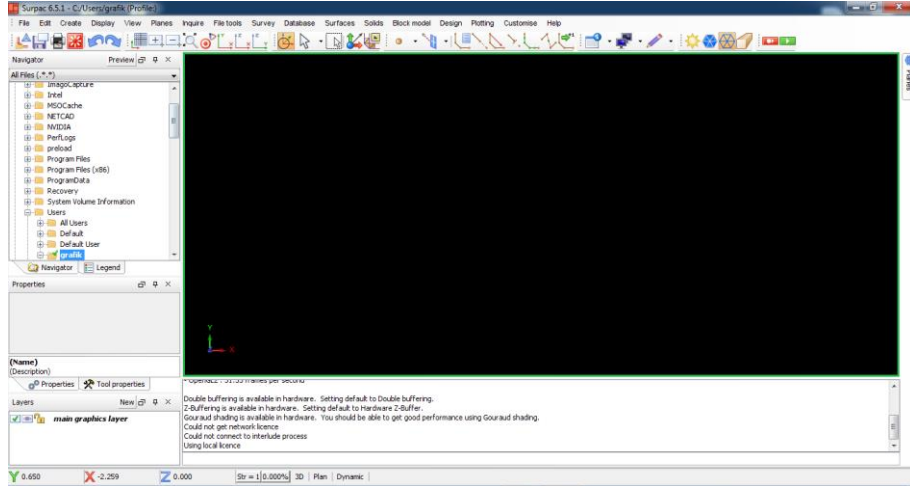
Şekil 4.48 Yüzey oluşturma arayüzüne giriş



Şekil 4.49 Yüzey oluşturma arayüzü

4.6 Pix4D Yazılımının Çıktılarının Geovia Surpac Yazılımına Entegrasyonu

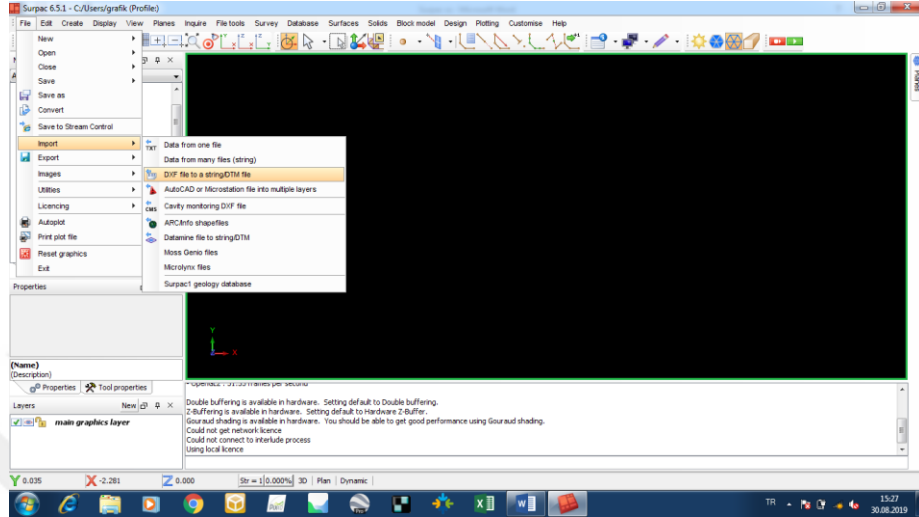
Geovia Surpac uzun yıllardır madencilik sektöründe kullanılan ve kod girdisi alabilmesi sayesinde belirli bir kullanıcı kitlesinin tercih ettiği madencilik yazılımdır. Şekil 4.50’ de Geovia Surpac proje arayüzü gösterilmektedir.



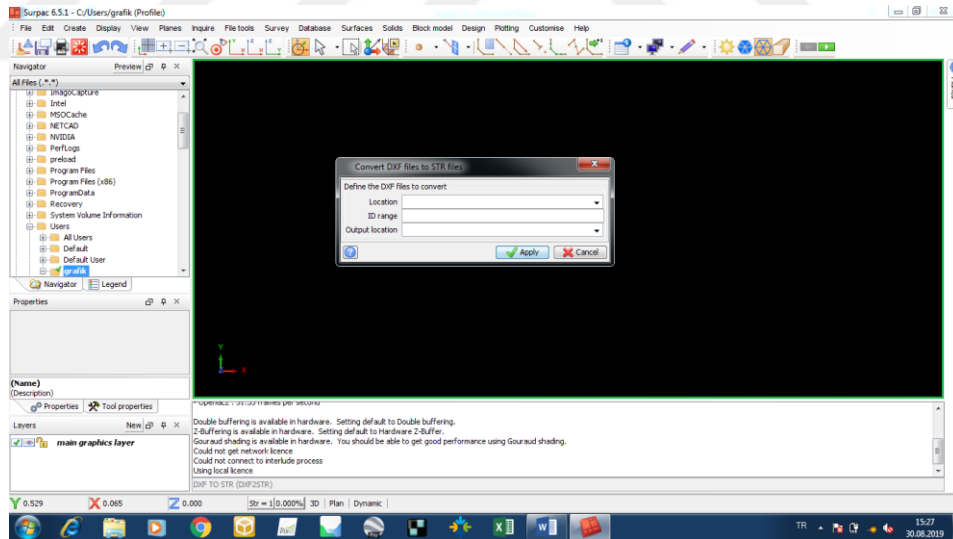
Şekil 4.50 Geovia Surpac proje arayüzü

Proje arayüzünün sol üst kısmında yer alan *File* menüsünden *Import* alt menüsüne girilerek *DXF file to a stringDTM file* butonu seçimi şekil 4.51’ de gösterildiği gibi

yapıldığında da AutoCAD dosyası aktarım arayüzüne ulaşılmış olur. Açılan arayüzde içe aktarılacak dosyanın yeri şekil 4.52’ de gösterildiği gibi belirtilerek aktarım tamamlanır.



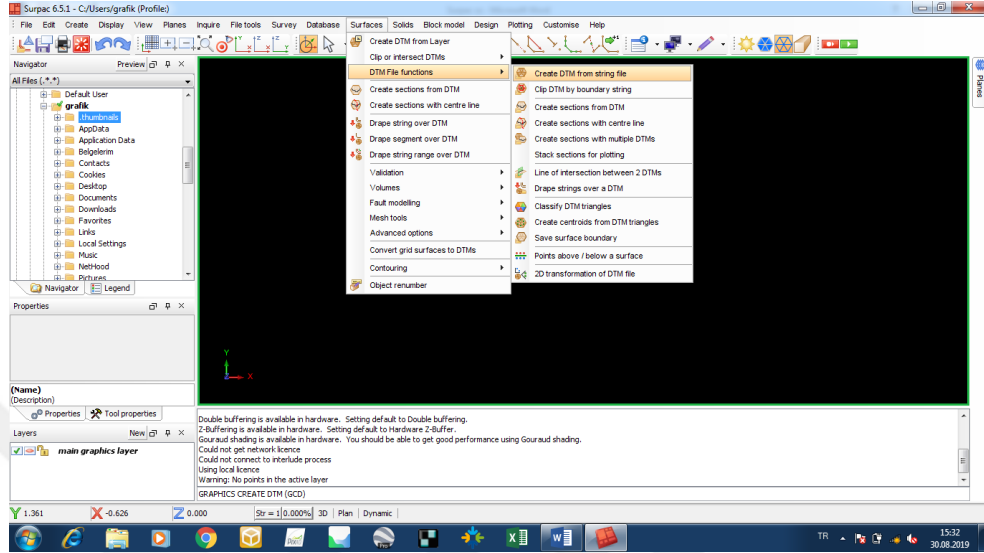
Şekil 4.51 AutoCAD dosyası aktarım arayüzüne ulaşım



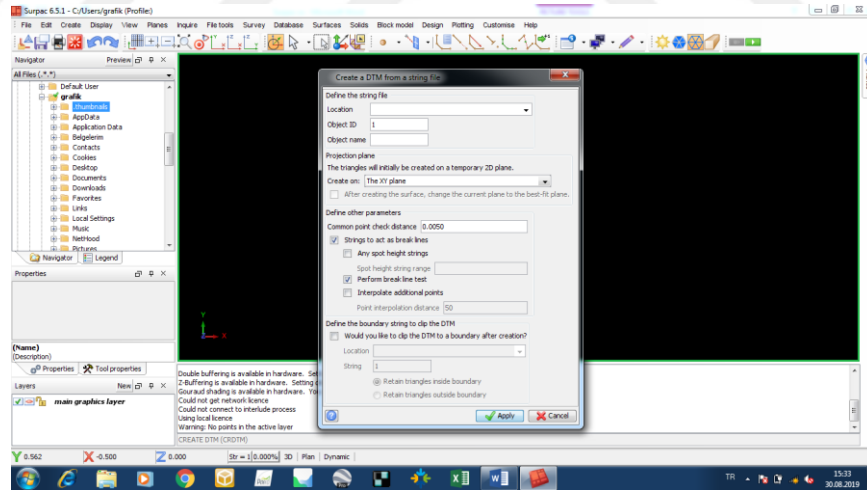
Şekil 4.52 AutoCAD dosyası aktarım arayüzü

Proje arayüzünde üst tarafta sıralanan menüler arasından *Surface* menüsü içinde yer alan *DTM File functions* alt menüsünden *Create DTM from string file* butonu Şekil 4.53’ de gösterildiği gibi seçilerek yüzey oluşturma arayüzüne giriş yapılır. Açılan

arayüz üzerinde şekil 4.54’ de gösterildiği gibi ayarlamalar yapılarak işlem tamamlanır.



Şekil 4.53 Yüzey oluşturma arayüzüne giriş



Şekil 4.54 Yüzey oluşturma arayüzü

BÖLÜM BEŞ

SAHA ÇALIŞMALARI

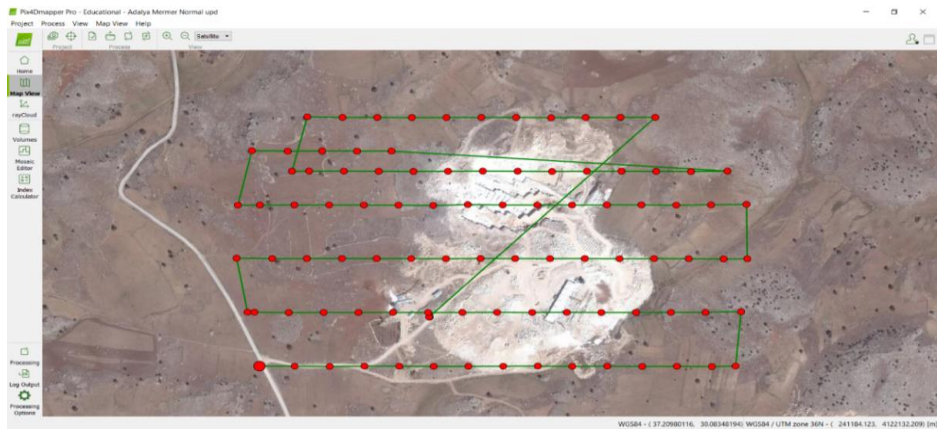
5.1 Adalya Mermer (2017)

Antalya Korkuteli ilçesinde faaliyet gösteren Adalya Mermer’e ait maden ocağında yapılan ve 2017 yılına ait saha çalışmalarına olan çalışma ocak modeli ve pasa sahaları olarak 2 alt başlık halinde aktarılmıştır. 2018 yılında sahada tekrar bir alan çalışması gerçekleştirilmiştir.

5.1.1 Ocak Modeli

Şekil 5.1’ da gösterildiği üzere tanıtılan mermer ocağı üzerinde İHA ile yapılan uçuşun planı verilmiştir. Pix4D yazılımı için veri girişi bu uçuş planı ile yapılan uçuş sonucunda alınan görseller ile yapılmıştır. Yazılım üzerinden yapılan çalışma sonucunda çıkan ocak modeli Şekil 5.2’de açılı olarak ve Şekil 5.3’de kuşbakışı olarak görüntülenmektedir.

Pix4D yazılımında kullanılmak üzere 100 adet görsel alınmış ve çalışma kapsamında 0,7043 km²’lik alan modellenmiştir. İHA ve Pix4D ile yapılan çalışmada 11.114.266 noktadan oluşan nokta bulutu elde edilmiş olup ortalama hata payı üç eksen içinde 1 metredir.



Şekil 5.1 İHA Uçuş Planı



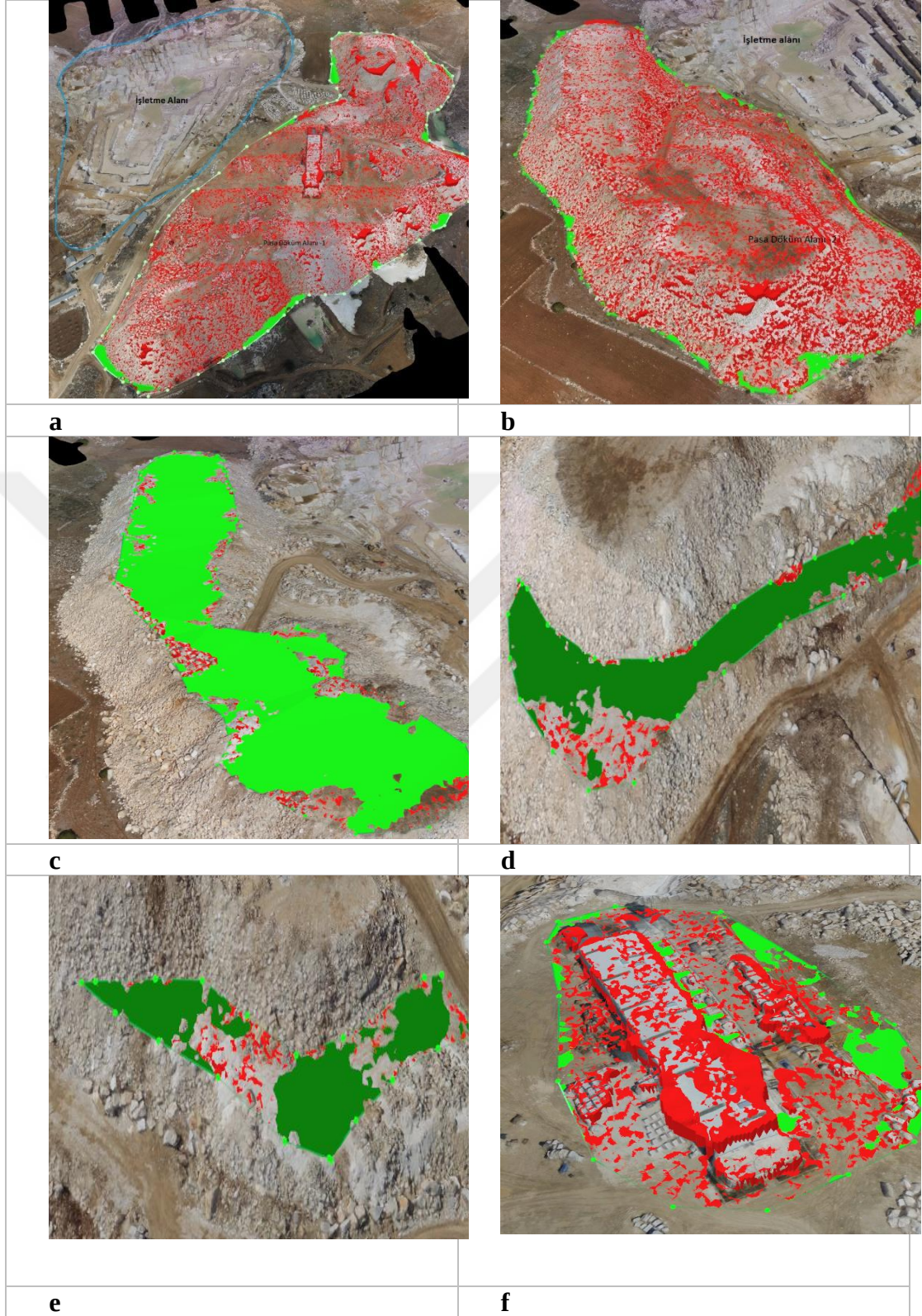
Şekil 5.2 Pix4D Mermer Ocağı Modeli (Açılı Görünüm)



Şekil 5.3 Pix4D Mermer Ocağı Modeli (Kuşbakışı Görünüm)

5.1.2 Pasa Sahaları

Gerek madencilik alanında İHA'ların kullanıma örnek olması gerekse bir açık ocak üzerinde üretim parametreleri, pasa miktarı vb. bilgilerin eldesi ile ocak rehabilitasyon projesi için verilerin toplanması için örnek bir mermer ocağı ele alınmıştır. Ocaktan sağlanan İHA verileri, uygun madencilik yazılımları ile işlenerek üretim sonrası oluşan pasa miktarları, geometrileri ve olası rehabilitasyon işlemleri için gerekli olan pasa üst yüzey ve şev alanları hesaplanmıştır.



Şekil 5.4 İHA ile alınan ocak ve pasa verilerinin programa aktarımı ve verilerin işlenmesi (a – Solda ocak işletme alanı ve sağda pasa döküm alanı, b- Diğer pasa döküm alanı, c- Pasa üst yüzey alanı, d-e pasa yan yüzey alanları, f- fabrika ve stok alanı)

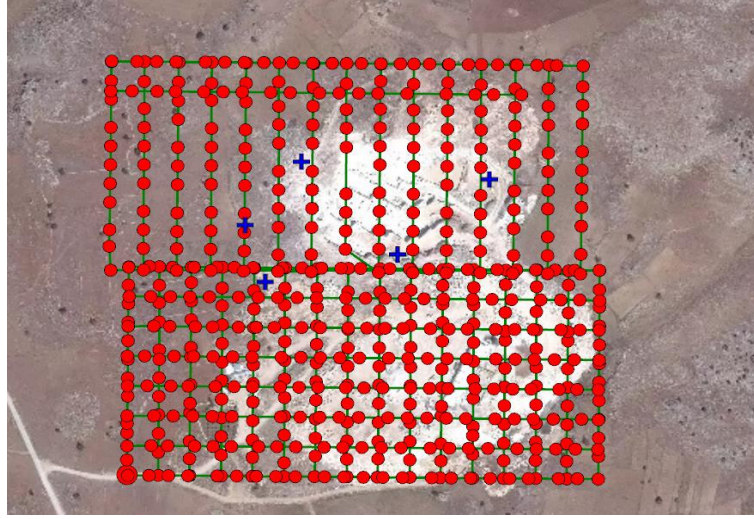
Şekil 5.5’ de, sahadaki işletme alanı dışında kalan pasa döküm sahaları üzerinde alan ve hacim belirlenmesi işleminin aşamaları gösterilmektedir. Pix4D programı kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Analizler için kullanılan Pix4D yazılımı, özellikle insansız hava araçları tarafından çekilen hava fotoğrafları, eğik fotoğraflar ile yerden çekilen fotoğrafların işlenmesinde günümüzde en yetkin olarak kullanılan yazılımlardan biridir. Ayrıca bu yazılım; her türlü kamera ve lenslere (compact, SLR, multispektral, GoPro kameralar, balıkgözü lensler), çoklu kamera desteği ile yer kontrol noktası veya herhangi bir koordinat referans sistemi desteği sunmaktadır. Yazılıma uygun veriler sağlandığında, .dxf, .shp veya .kml formatında vektör veriler, GeoTIFF formatında gerçek koordinatlara sahip sayısal yüzey modeli, .kml ve .html formatında Google alanları ile, .obj formatında üçgen model çıktılarına ulaşılmaktadır. Tablo 5.1’ de, ele alınan mermer ocağının pasalarına ait yüzey alanları ve toplam pasa hacimlerinin hesaplanan değerleri verilmektedir.

Tablo 5.1 Hesaplanan toplam pasa sahalarına ait alan ve hacimler

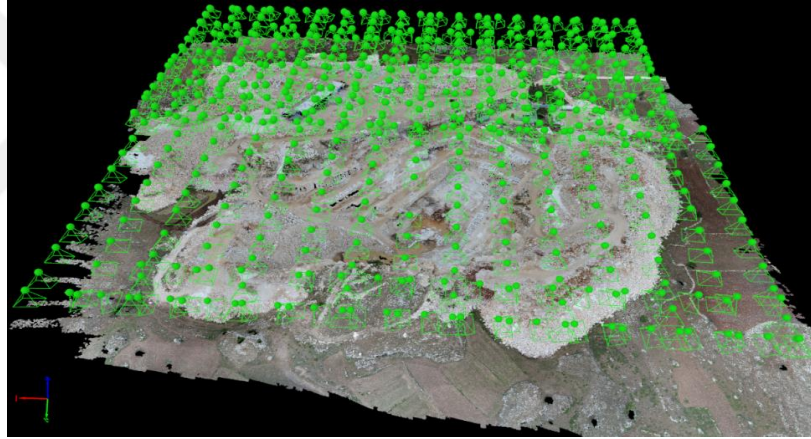
Alan Adı	Yüzey Alanı (m ²)	Toplam Hacim (m ³)
Pasa Sahaları	172.419,50	1.542.393,02
Pasa Sahaları Üst Basamak	88.522,79	
Pasa Sahaları Şevler	83.896,71	

5.2 Adalya Mermer (2018)

Arazi çalışmasında kot yüksekliğinden kaynaklı artan rüzgar hızı ve aralıklı olarak yağan yağmur nedeniyle saha çalışması 70 metreden 2 uçuş üzerinden yapılmıştır. Uçuş planı şekil 5.5’ de gösterilmiştir. Çalışma kapsamında 576 adet görsel toplanmış ve 468.000 m²’lik alan taranmıştır. Görsel alımı yapılan noktalar ve arazi üzerindeki dağılımı şekil 5.6’ da gösterilmektedir. Toplamda 5 adet yerüstü kontrol noktası kullanılmış ve karesel ortalama hata 4 cm’ in altında olan 20.474.266 noktadan oluşan 3 boyutlu nokta bulutu Pix4D yazılımında üretilmiştir. Şekil 5.7’de nokta bulutu ve şekil 5.8’de nokta bulutundan üretilen katı model gösterilmektedir.



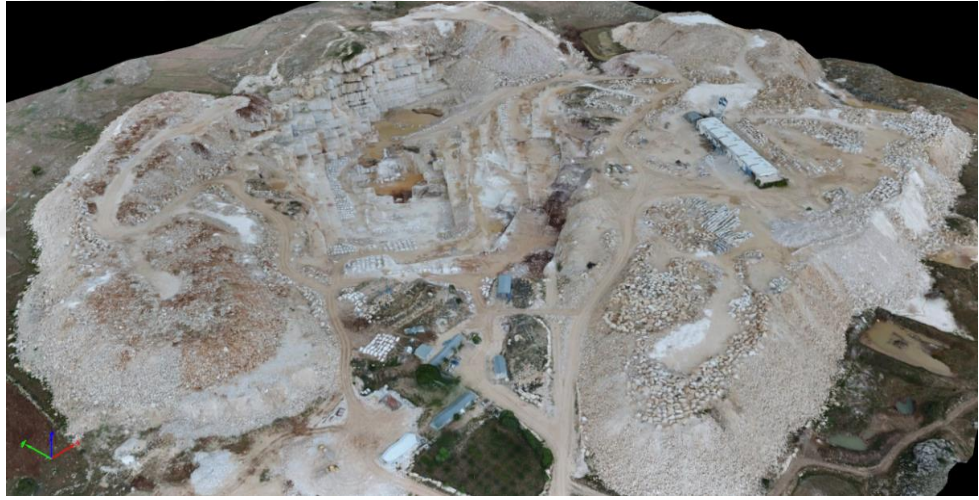
Şekil 5.5 Uçuş planı



Şekil 5.6 Gerçekleştirilen uçuş kapsamında iha tarafından görsel alımı yapılan noktaların konumu



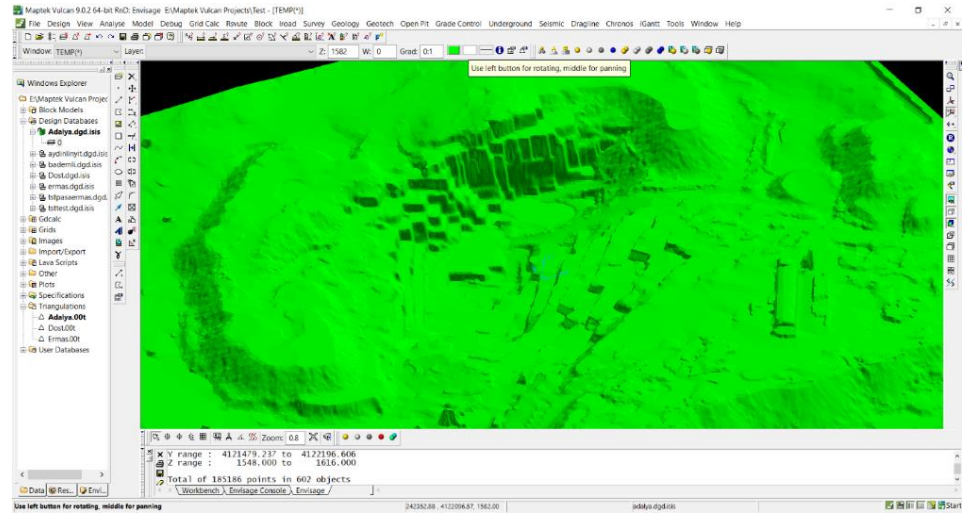
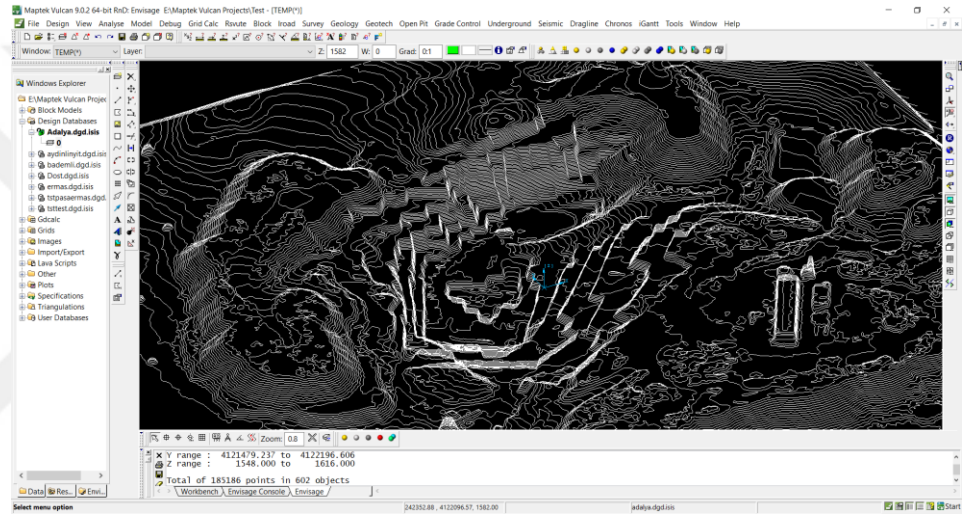
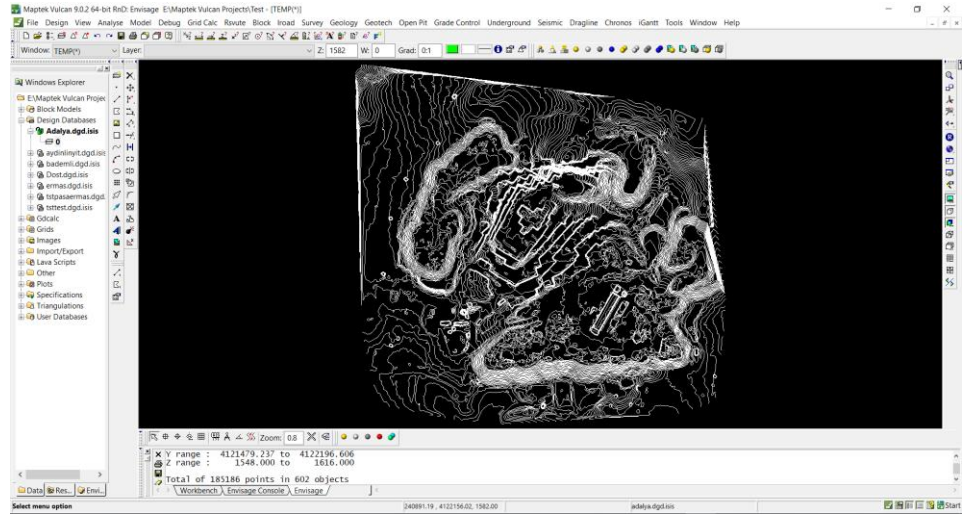
Şekil 5.7 3 boyutlu nokta bulutu (Açılı görünüm)



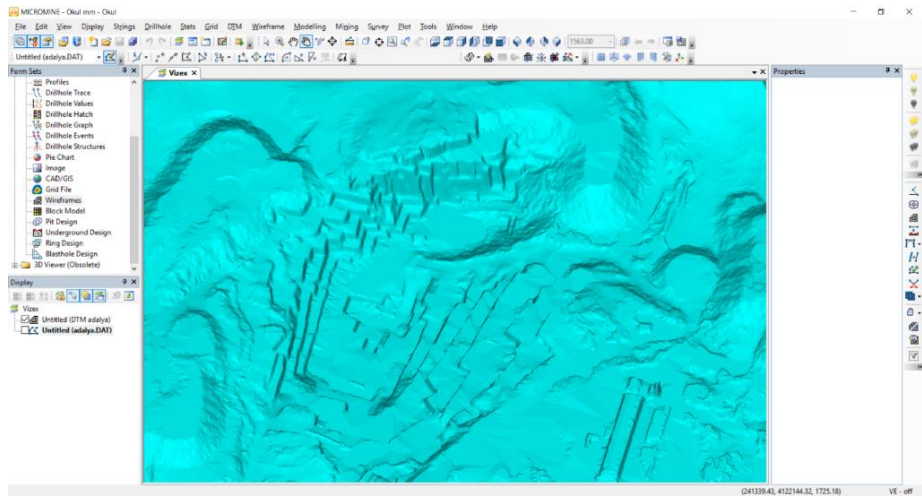
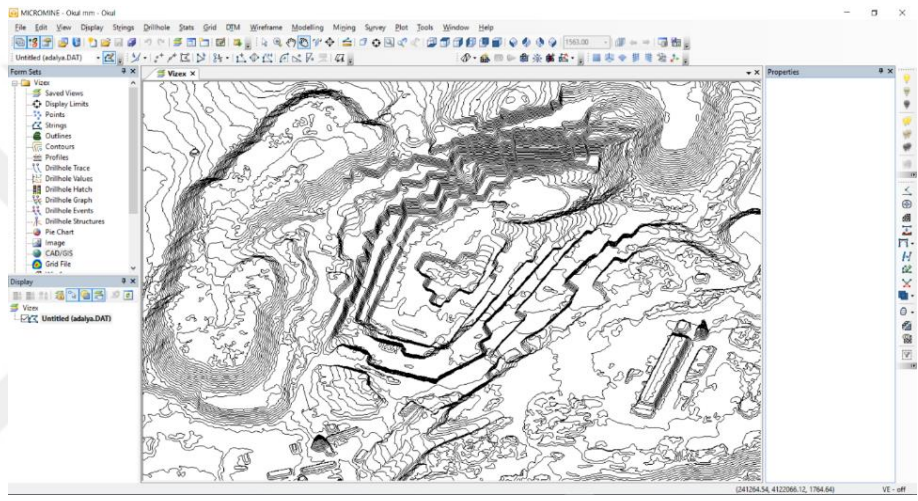
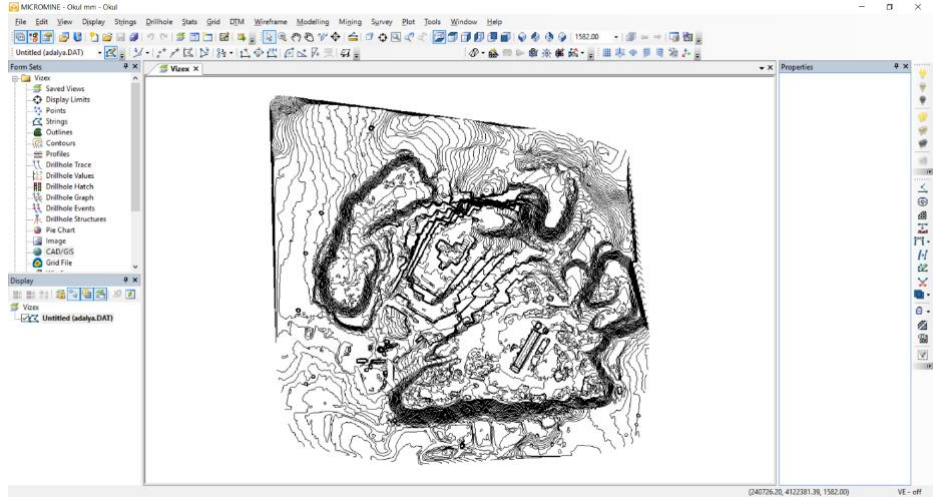
Şekil 5.8 3 boyutlu katı model (Açılı görünüm)

5.2.1 Açık Ocağa Ait Verilerin 3BMY' ye Entegrasyonu

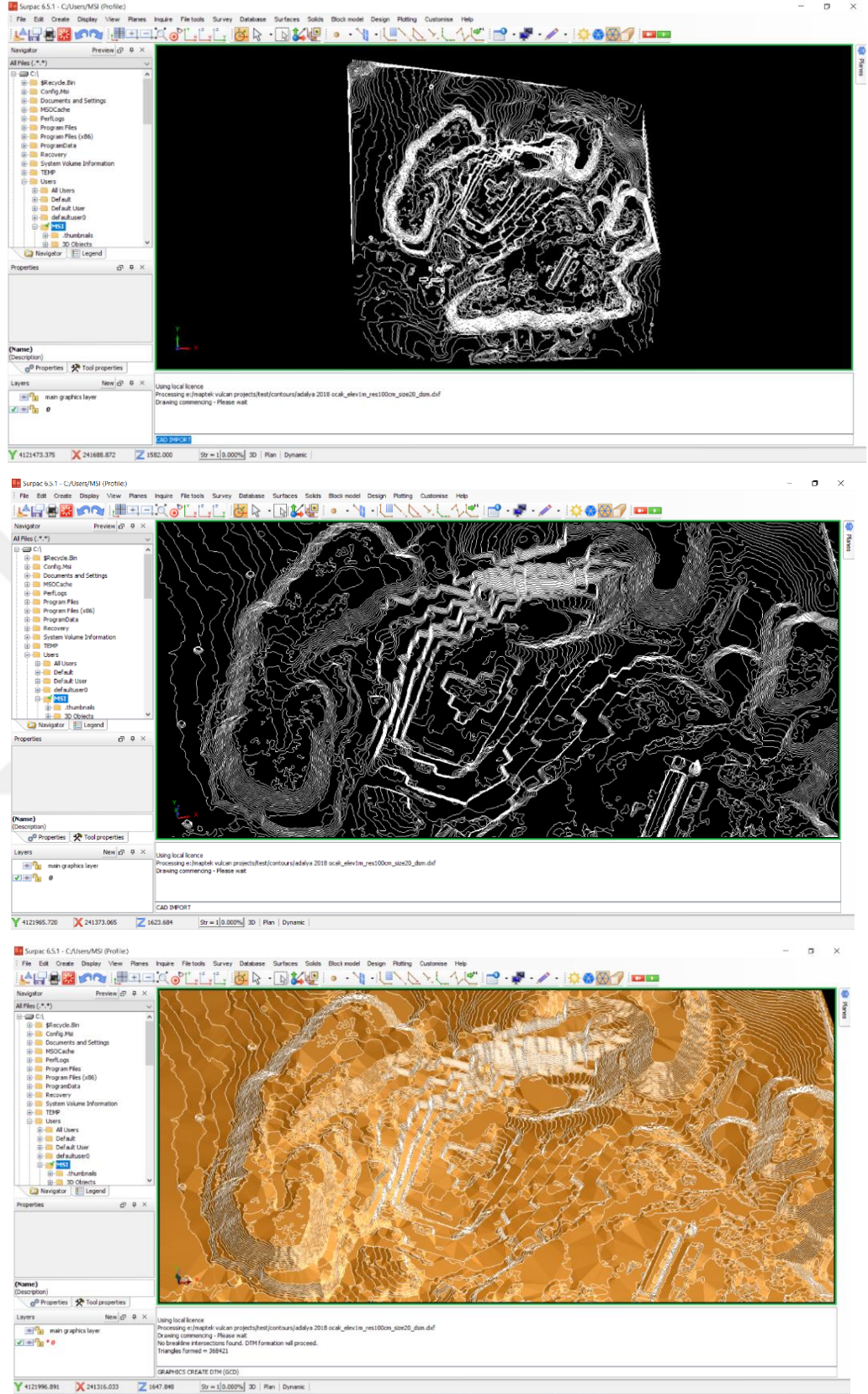
Profesyonel fotogrametri yazılımı olan Pix4D' ye girdi olarak İHA kullanılarak eldesi sağlanan fotoğraflar verilmiş ve çıktı olarak .dxf formatında çalışma alanının vektör haritası alınmıştır. Bu vektör haritası 3BMY' na entegre edilerek şekil 5.9' de Maptek Vulcan yazılımı, şekil 5.10' da Micromine yazılımı ve şekil 5.11' de Geovia Surpac yazılımı için başarılı sonuçlar verilmiştir.



Şekil 5.9 2 ve 3 boyutlu vektör haritaları ve SYM



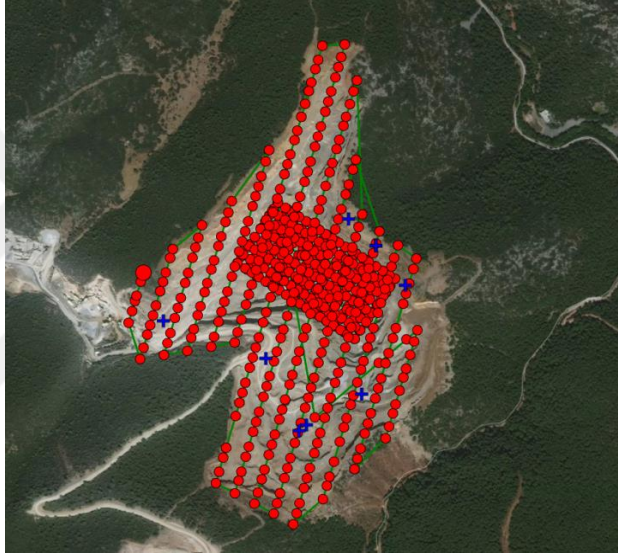
Şekil 5.10 2 ve 3 boyutlu vektör haritaları ve SYM



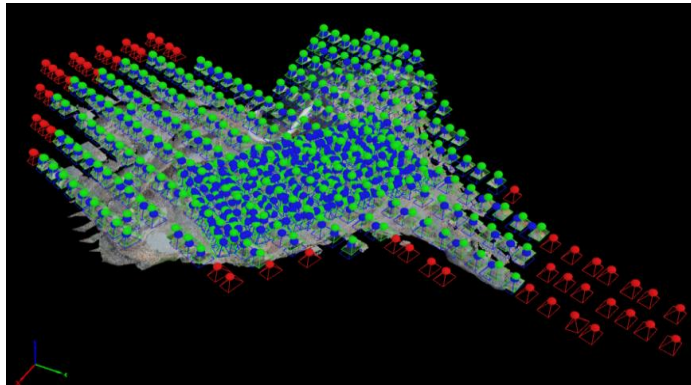
Şekil 5.11 2 ve 3 boyutlu vektör haritaları ve SYM

5.3 Dere Madencilik

İzmir Bornova Gökdere köyünde bulunan maden sahası Dere madencilik firmasına tarafından işletilmektedir. Çalışma kapsamında İHA ile 556 fotoğraf çekilerek 38.2171 Ha. alan taranmıştır. 5 adet YKN kullanılan projede karesel ortalama hata 0,064 m olarak tespit edilmiştir. Çalışmada Pix4D yazılımı ve Phantom 4 Pro İHA kullanılmış başka herhangi bir ara yazılıma gerek olmamıştır. Sahada şekil 5.12’de gösterildiği gibi uçuş planı oluşturulmuş ve gerçekleştirilen uçuş kapsamında İHA tarafından görsel alımı yapılan noktaların konumu şekil 5.13’de verilmiştir.



Şekil 5.12 Uçuş planı



Şekil 5.13 Gerçekleştirilen uçuş kapsamında İHA tarafından görsel alımı yapılan noktaların konumu

Çalışma alanında 2 adet uçuş gerçekleştirilmiş, ilk uçuş ocak modeli için diğer uçuş ise ölçümü yapılacak pasa sahalarının detaylı fotoğraflanması için yapılmıştır. YÖA 3,45 cm olurken nokta bulutu 53 milyon nokta civarındadır.

5.3.1 Ocak Modeli

Ocak modeli için 70 metreden yapılan ilk uçuş ocağın yüksek noktalarında yaşanan uydu sinyalinin kesilmesi sebebiyle çalışma kapsamında kullanılamayan 39 fotoğraf mevcuttur. Maden ocağının katı modelinin açılı görüntüleri şekil 5.14 ve şekil 5.15’ de verilmiştir. Görüldüğü üzere maden ocağının içi tüm aksiliklere rağmen sağlıklı şekilde modellenmiştir. Nokta bulutu yoğunluğu $78,85 \text{ nokta/m}^3$ şeklinde tespit edilmiştir.



Şekil 5.14 3 boyutlu katı model (Açılı görünüm)



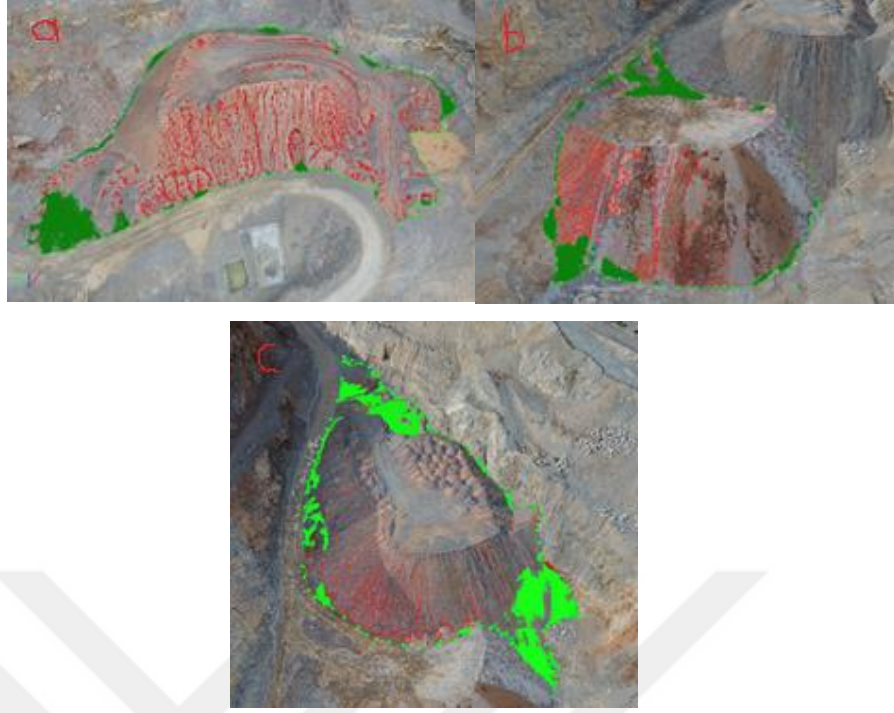
Şekil 5.15 3 boyutlu katı model (Açılı görünüm)

5.3.2 Pasa Sahaları

Ocak içindeki konumları Şekil 5.16’ da gösterilen pasa sahalarının ayrı ayrı Pix4D yazılımında hacimleri ve yüzey alanları ölçülmüştür ve Tablo 5.2 ‘de açıklanmıştır. Hata payları %1,20 ila %1,41 arasında değişen sahalarda Şekil 5.17’de gösterilmektedir.



Şekil 5.16 Pasa sahalarının ocak içindeki konumları



Şekil x. Pasa sahaları (sırasıyla a, b ve c)

Tablo 5.2 Pasa sahaları hacim, hata payı ve yüzey alanı tablosu

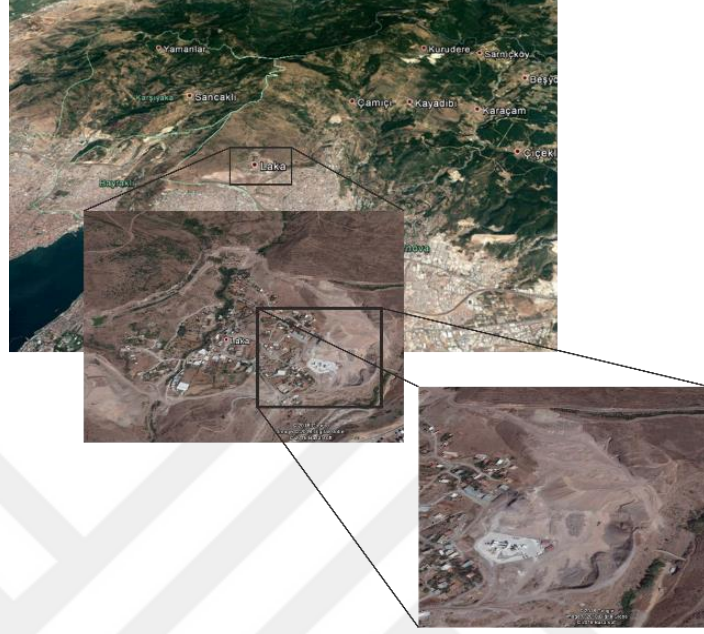
	Hacim (m ³)	Hata (m ³)	Hata Payı %	Yüzey Alanı (m ²)
Pasa Sahası a	16818,43	237,59	1,41%	5658,39
Pasa Sahası b	11445,01	176,13	1,54%	4608,27
Pasa Sahası c	25263,55	303,69	1,20%	7996,48

Tablo x' te de görüldüğü üzere fotogrametrik ölçümlerde ölçülen hacim arttıkça hata payı düşüş göstermektedir. Pasa sahalarının hacimlerinin büyüklükleri düşünüldüğünde İHA ve fotogrametrik yazılımlar çok kısa sürelerde geniş çalışma alanların ölçümlerini kolaylıkla yapabilmektedir.

5.4 Pınartaş Madencilik

Çalışma alanı Şekil 5.17' de gösterildiği üzere Laka köyü İzmir/Bornova konumunda bulunan hafriyat sahasıdır. Çalışma iki temel aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak yerinde hacim ölçümü için alanda kazı çalışması ve gevşemiş malzemenin hacmini ölçmek için döküm çalışmasıdır. İki alanda yapılan uygulamalar sonucunda

tespit edilen veriler kısa sürede işleme sürecinden geçmiştir. Veriler Pix4D yazılımında yapılmış ve başka herhangi bir ara yazılım kullanılmamıştır.



Şekil 5.17 Çalışma alanı lokasyonu

5.4.1 Kazı Çalışmaları

Kazı alanı içerisinde kabaca seçilmiş olan yaklaşık 10 x 8 metrelik alan iş makineleri yardımıyla kazılmıştır. Kazı çalışması herhangi bir parametreye (alan, hacim veya ağırlık vb.) bağlı olarak yapılmamıştır.

Kazı çalışması öncesinde İHA ile kısa süreli uçuş planı ile otomatik ve manuel olmak üzere toplam iki uçuş yapılmıştır. Kazı sonrasında manuel bir uçuş daha yapılmıştır. Şekil 5.18 ve Şekil 5.19’da kazılmış alanın nokta bulutu görüntüsü gösterilmiştir. Şekil 5.20’de ise kazılan alanın yan duvarlarından biri nokta bulutu görüntüsü olarak gösterilmiştir. Ayrıca kazı alanı GNSS cihazı ile ölçülmüş ve Şekil 5.21’de ölçüm yapılan noktalar üçgenlenmiş halde verilmiştir. Bu işlem işletmenin ölçüm ekibi tarafından gerçekleştirilmiş ve ölçümlere ait hata payı belirtilmemiştir.



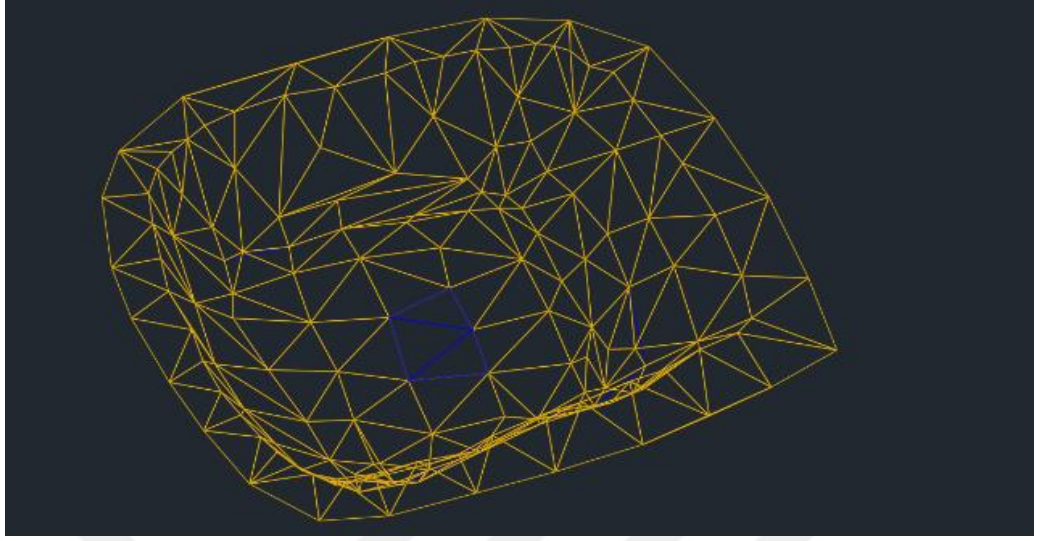
Şekil 5.18 Kazı alanı nokta bulutu görüntüsü (Açılı)



Şekil 5.19 Kazı alanı nokta bulutu görüntüsü (Yandan)



Şekil 5.20 Kazı alanı nokta bulutu görüntüsü (İçten)



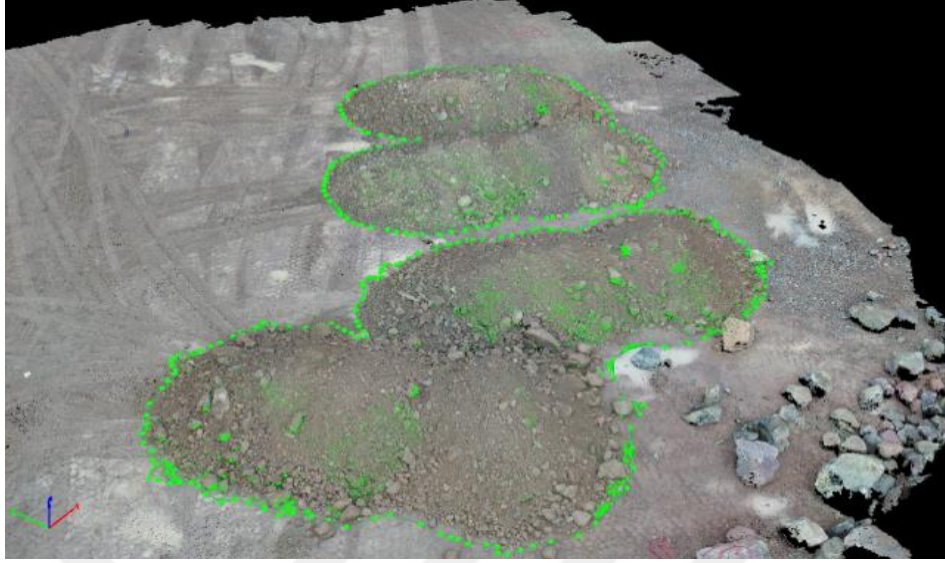
Şekil 5.21 Geleneksel ölçüm metoduyla alınan noktalar ve üçgenlemeleri

5.4.2 Döküm Çalışmaları

Kazı alanından yüklenerek çıkan kamyonlar kantarda tartılarak önceden belirlenen döküm alanına malzemenin dökümünü yapmıştır. Döküm öncesi ve sonrasında birer manuel uçuş yapılmış ve Şekil 5.22’de, döküm yapılacak alan nokta bulutu üzerinde gösterilmiştir. Şekil 5.23’de ise döküm sonrası alan, taban sınırları ile nokta bulutu üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5.22 Döküm alanı nokta bulutu görüntüsü



Şekil 5.23 Döküm sonrası, döküm alanı nokta bulutu görüntüsü

5.4.3 Sonuçlar

Kazı ve döküm alanında gerçekleştirilmiş olan dört nokta bulutu için önbilgiler tablo 5.3, tablo 5.4, tablo 5.5 ve tablo 5.6’ da verilmiştir.

Tablo 5.3 Döküm öncesi uçuş için önbilgi

Proje İsmi	Döküm Öncesi
Kullanılan Görsel Sayısı	241
Nokta Sayısı	29.184.701,00
Nokta Yoğunluğu	48.911,60

Tablo 5.4 Döküm sonrası için önbilgi

Proje İsmi	Döküm Sonrası
Kullanılan Görsel Sayısı	287
Nokta Sayısı	41.668.924,00
Nokta Yoğunluğu	669.509,00

Tablo 5.5 Kazı öncesi uçuş için önbilgi

Proje İsmi	Kazı Öncesi
Kullanılan Görsel Sayısı	439
Nokta Sayısı	54.886.939,00
Nokta Yoğunluğu	6.859,27

Tablo 5.6 Kazı sonrası uçuş için önbilgi

Proje İsmi	Kazı Sonrası
Kullanılan Görsel Sayısı	95
Nokta Sayısı	12.674.764,00
Nokta Yoğunluğu	848.220,00

Geleneksel ölçüm metodu ile, topograflar tarafından yapılan ölçüm sonrasında, kazı alanında tablo 5.7’ de verilen bilgiler elde edilmiştir.

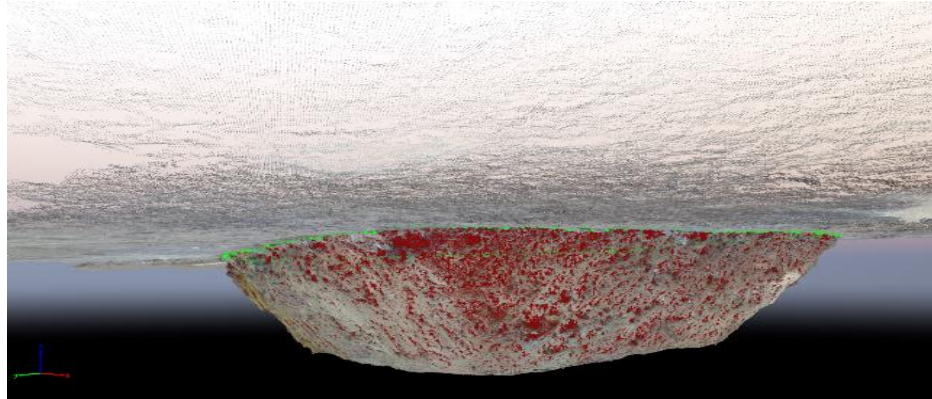
Tablo 5.7 Kazı sonrası elde edilen veriler

Ölçülen Hacim (m ³)	86,777
Hata Payı (m ³)	±?
Nokta Sayısı	262,00

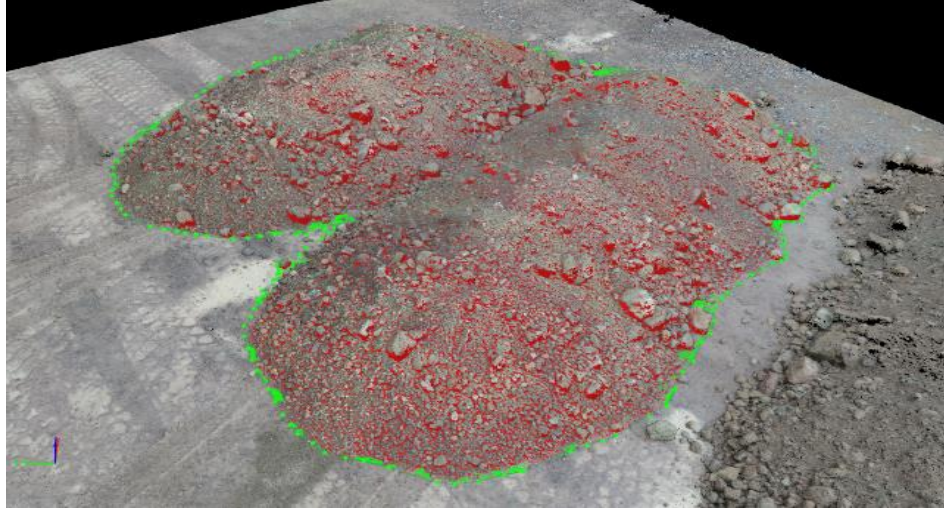
Aynı kazı alanında yukarıda detayları verilen İHA destekli fotogrametri yazılımı ile yapılan ölçüm ve hesaplama sonuçları da tablo 5.8’ de verilmektedir. Ayrıca şekil 5.24’ de kazı alanı ölçümü üçgenleme aşamasının nokta bulutu üzerinden görüntüsü ile yine şekil 5.25’ de döküm alanı ölçümünün üçgenleme aşamasının nokta bulutu üzerinden görüntüsü verilmektedir.

Tablo 5.8 Kazı sonrası İHA hesaplama sonuçlar

Ölçülen Hacim (m ³)	87,13
Hata Payı (m ³)	±0,17
Nokta Sayısı	12.674.764,00



Şekil 5.24 Kazı alanı ölçümü üçgenleme aşamasının nokta bulutu üzerinden görüntüsü



Şekil 5.25 Döküm alanı ölçümü üçgenleme aşamasının nokta bulutu üzerinden görüntüsü

İnsansız hava araçlarının (İHA) madencilik uygulamalarına dahil edilmesi ve kullanım potansiyelinin ortaya çıkarılması amacı ile hazırlanan çalışmada, açık işletme yoğunluklu olarak çalışan ülkemiz madencilik sektöründe, daha kısa sürelerde, daha hatasız ve daha pratik ölçüm ve buna bağlı olarak hesaplamaların yapılabilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, insansız hava aracı ve uygun yazılım kullanımı ile; özellikle hacim, kütle, birim hacim ağırlık ve kabarma faktörü gibi kavramların, hesaplanması zor alanlarda, yerinde tespitine yönelik olarak çalışılmıştır.

İHA destekli fotogrametri yazılımları ile yapılan ölçüm ve bilgisayar destekli hesaplamalar sonucunda, döküm alanı basamağında, rastlantısal olarak yaklaşık 8 x 10 x 1 m. ebatlarında belirlenen kazı geometrisinin hacmi belirlenmeye çalışılmıştır.

İnsansız Hava Aracı kullanımı ile, 10-20 metreden alınan 100 adet koordinatlı görsel üzerinde yaklaşık 12 Milyon koordinatlı nokta kullanılarak belirlenen alandaki hacim 87.13 m³ olarak $\pm 0,17$ m lük bir hata payı ile hesaplanmıştır. Aynı değer topograflar tarafından klasik metotlar kullanılarak yapılan ölçümler sonucunda 86,77 m³olarak ölçülmüştür. Kazı işleminden sonra yapılan tartım ve kantar bilgileri de göz önüne alınarak (kazılan hacim 154.04 ton), ele alınan döküm alanı üzerindeki malzemenin yerindeki birim hacim ağırlığı yaklaşık 1,77 ton/m³ olarak belirlenmiştir.

Benzer biçimde kazısı yapılan ve kazı hacmi belirlenen malzemenin, döküm alanındaki hacminin belirlenebilmesi için 287 adet koordinatlı görsel alımı yapılarak yaklaşık 41 Milyon nokta üzerinde çalışılmıştır. Hesaplamalar sonucunda döküm alanı hacmi 89,11 m³ olarak elde edilmiştir. Buradan hareketle döküm alanından alınarak, yığın yapılan malzemenin kabarma faktörü (k) 1,02 olarak belirlenmiştir.

Özellikle dünya ölçeğinde aktif ve hızla artan bir oranda kullanım alanı bulan İHA'ların ülkemizde de, giderek artan iş hacimleri ve özellikle açık maden sahalarının kontrolü göz önüne alındığında, ileriki yıllarda çok daha yaygın ve farklı amaçlar içinde kullanılacağı açıktır.

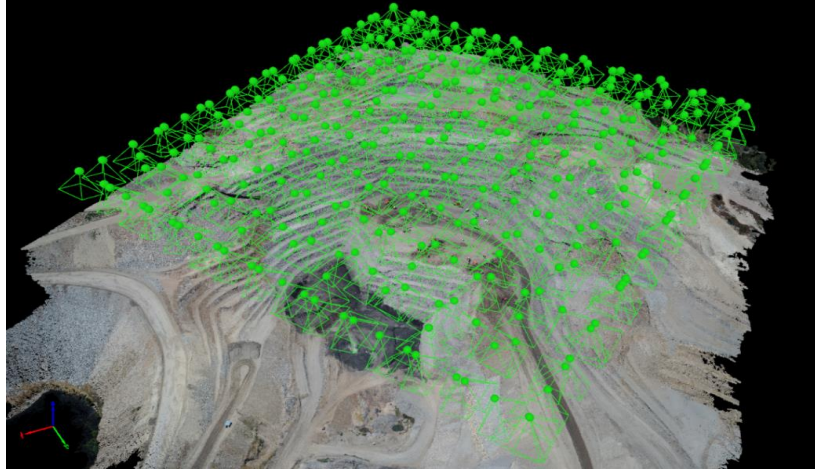
5.5 Aydın Linyit

5.5.1 Ocak Modeli

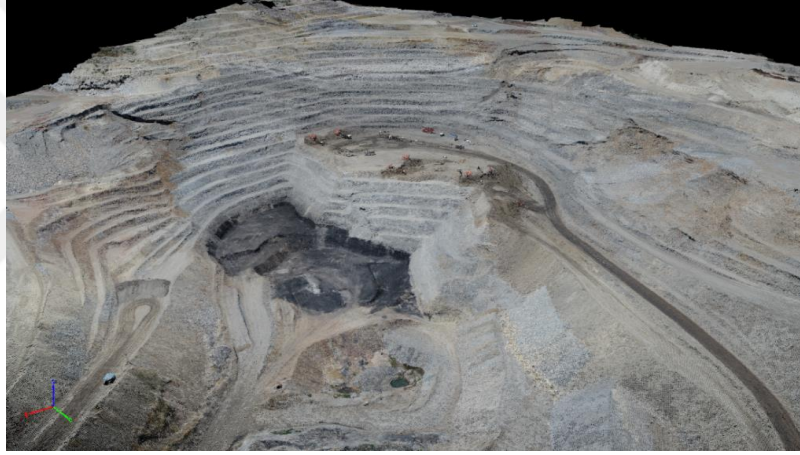
Saha çalışması için hava ve arazi koşullarının elverişli olması nedeniyle tek uçuş ile 327.000 m²'lik alan taranmıştır. Şekil 5.26'da uçuş planı gösterilmiştir. Toplam 347 adet görselin alındığı çalışmada 4 adet karesel ortalama hatası 5 cm olan yerüstü kontrol noktası kullanılmıştır. Gerçekleştirilen uçuş kapsamında İHA tarafından görsel alımı yapılan noktaların konumu şekil 5.27'de gösterilmiştir. Eldesi sağlanan girdiler Pix4D yazılımı ile işlenmiş ve sonuç olarak ortalama hata payı 4 cm' in altında olan 9.235.438 noktalık nokta bulutu elde edilmiştir. 3 boyutlu nokta bulutu şekil 5.28' de ve bu nokta bulutundan üretilen katı model ise şekil 5.29' da gösterilmektedir.



Şekil 5.26 Uçuş planı



Şekil 5.27 Gerçekleştirilen uçuş kapsamında iha tarafından görsel alımı yapılan noktaların konumu



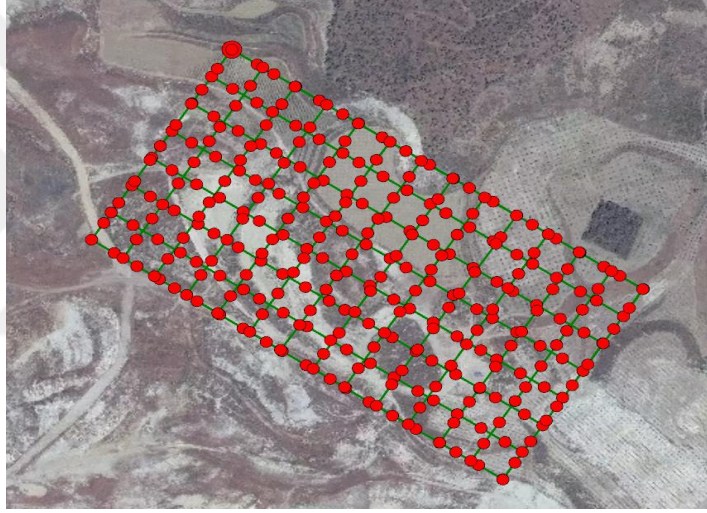
Şekil 5.28 3 boyutlu nokta bulutu (Açılı görünüm)



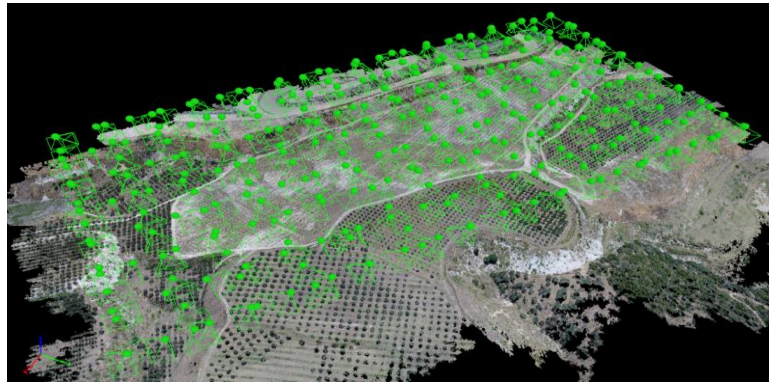
Şekil 5.29 3 boyutlu katı model (Açılı görünüm)

5.5.2 Rehabilitasyon Alanı Modeli

Rehabilitasyon alanı modeli kapsamında toplam tek uçuş yapılmıştır. Uçuş planı şekil 30’ da gösterilmektedir. Toplamda 313 adet görsel ve 4 adet yerüstü kontrol noktası kullanılmıştır. Görsellerin arazi üzerinde konumları şekil 5.31’ de gösterilmiştir. Çalışma, Pix4d yazılımından alınan sonuçlar kapsamında 419000 m²’lik alanın tarandığını ve karesel ortalama hata 4 cm’ den az olan 10.734.607 noktalık bulutu üretildiğini göstermektedir. Şekil 5.32 ve şekil 5.33’ de 3 boyutlu nokta bulutu kuşbakışı ve açılı olarak gösterilmektedir. Ayrıca şekil 5.34’ de ise nokta bulutundan üretilen katı model gösterilmektedir.



Şekil 5.30 Uçuş planı



Şekil 5.31 Gerçekleştirilen uçuş kapsamında iha tarafından görsel alımı yapılan noktaların konumu



Şekil 5.32 3 boyutlu nokta bulutu (Kuşbakışı görünüm)



Şekil 5.33 3 boyutlu nokta bulutu (Açılı görünüm)

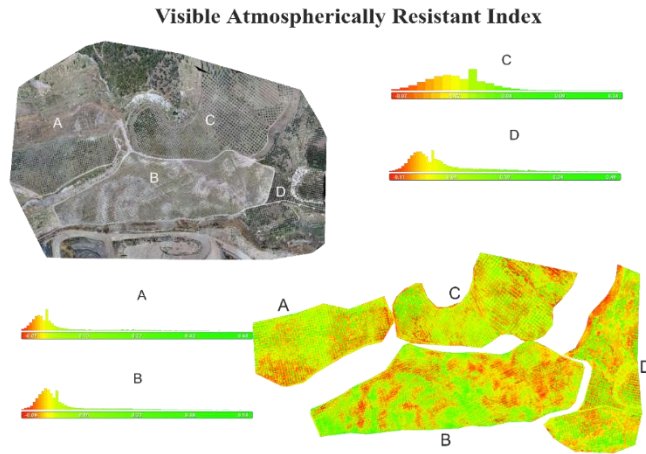


Şekil 5.34 3 boyutlu katı model (Açılı görünüm)

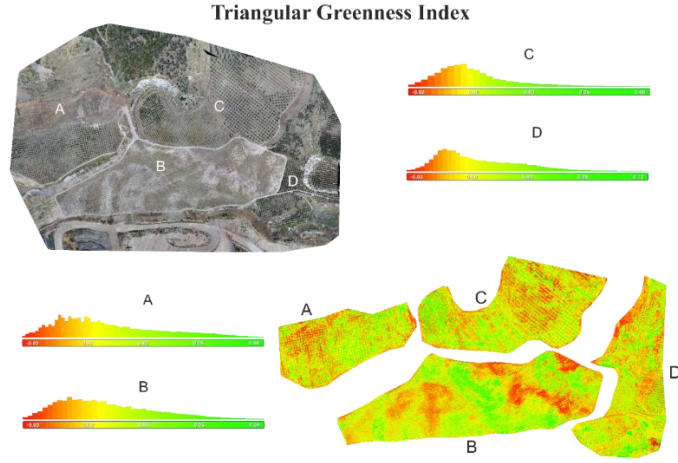
5.5.3 Rehabilitasyon Alanı İndeks Haritası

Rehabilitasyon alanı içinde dikilmiş olan badem fidanlarının sağlık durumunu ölçmek için yapılmış olan çalışmada RGB kameraya sahip İHA kullanıldığından bitki örtüsü indeksi olarak TGI (Triangular Greenness Index) ve VARI (Visible Atmospheric Resistant Index) kullanılmaktadır. İHA ile çekilen fotoğraflar Pix4D Field yazılımında işlenerek *red* (kırmızı), *blue* (mavi) ve *green* (yeşil) yansıma değerleri çıkartılmıştır. Bu değerler TGI ve VARI algoritmalarında hesaplandığından indeks haritaları şekil 5.35 ve şekil 5.36’ da ki gibi olmaktadır.

İndeks haritaları üzerindeki yeşil tonuna yakın yerlerdeki bitkilerin kırmızı tonuna yakın yerlerdekilere göre fazla olduğu görülmektedir. İndeks değerleri incelendiğinden ortalama VARI değerleri “A”, “C” ve “D” bölgelerinde “B” bölgesinde fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi “B” bölgesinde ki badem fidanlarının daha yeni dikilmiş olmasıdır. Diğer alanlar ise orta yaşlı zeytin ağaçlarına sahip olduğunda hem VARI hem de TGI indeks değerleri görece daha fazla çıkmaktadır. Sonuçlar rehabilitasyon alanı içindeki değerlerle örtüşmektedir.



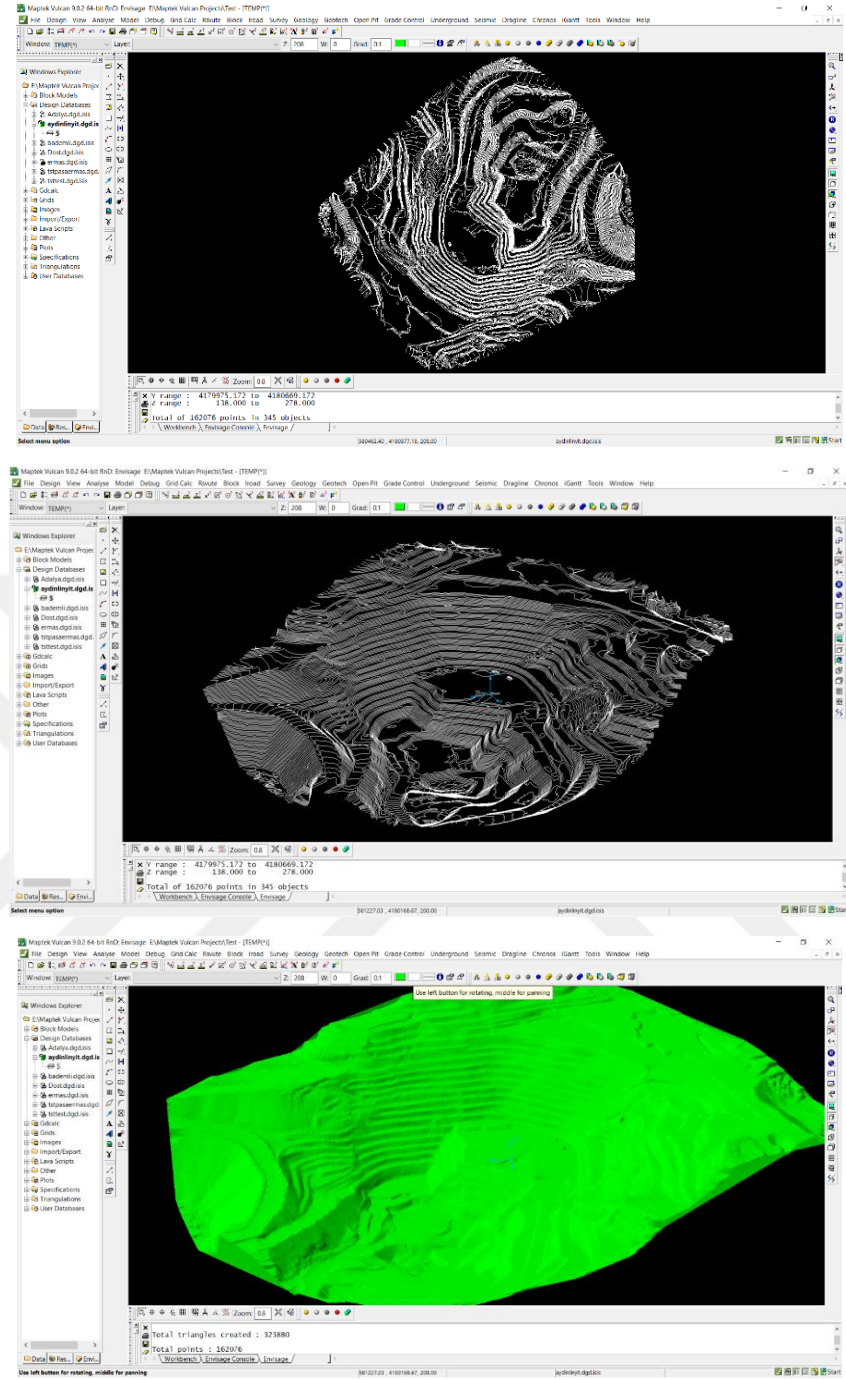
Şekil 5.35. Taranan rehabilitasyon sahasının bölünmüş varı indeks haritaları ve değer dağılımları



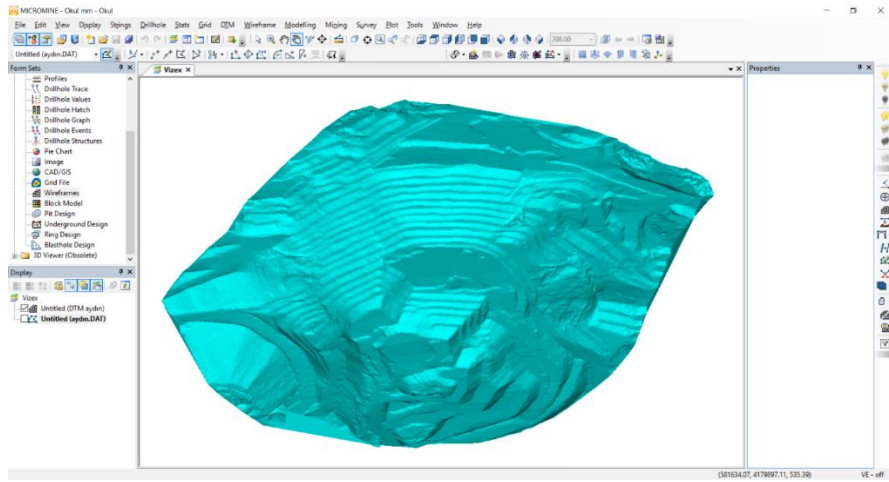
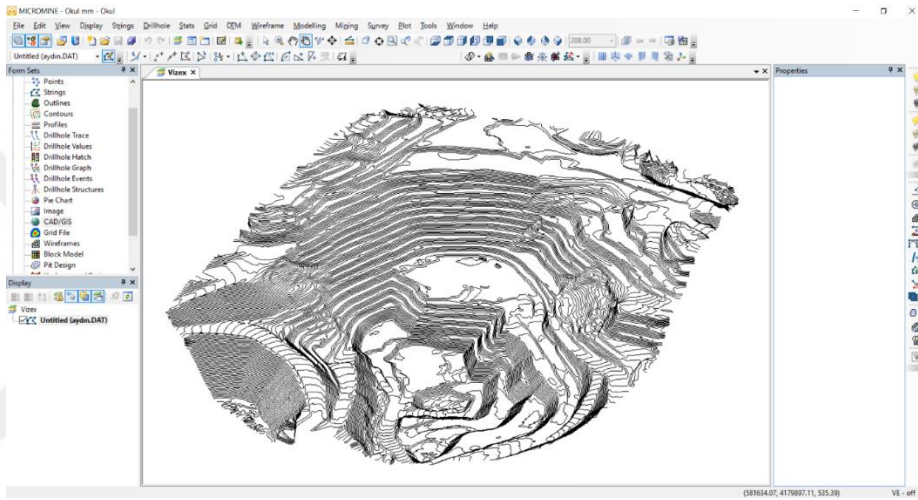
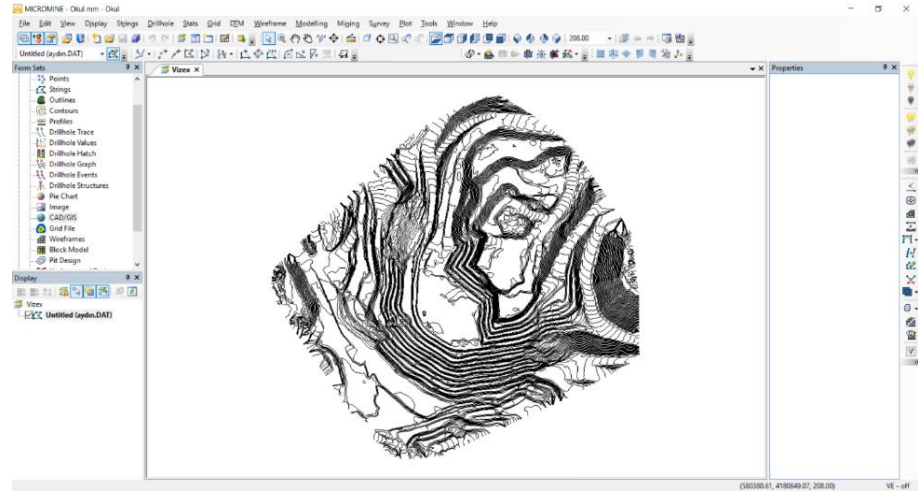
Şekil 5.36 Taranan rehabilitasyon sahasının bölünmüş tgi indeks haritaları ve değer dağılımları

5.5.4 Açık Ocağa Ait Verilerin 3BMY' ye Entegrasyonu

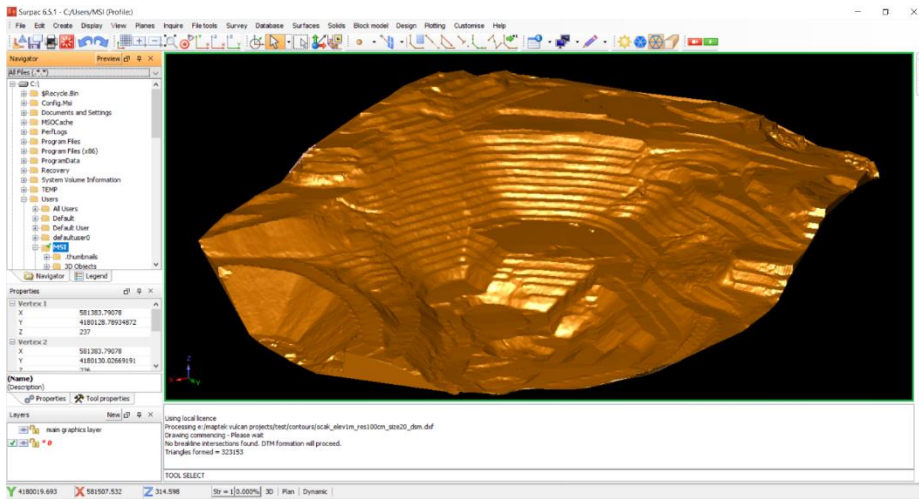
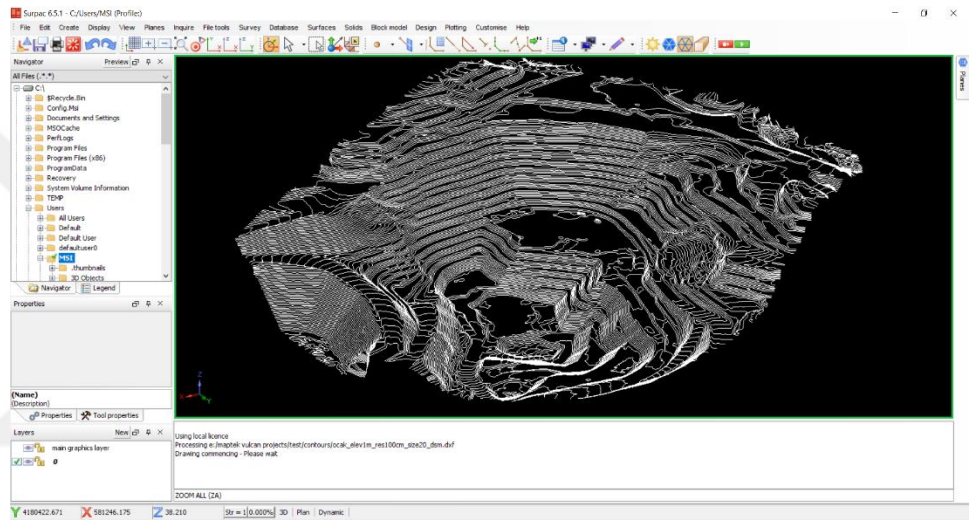
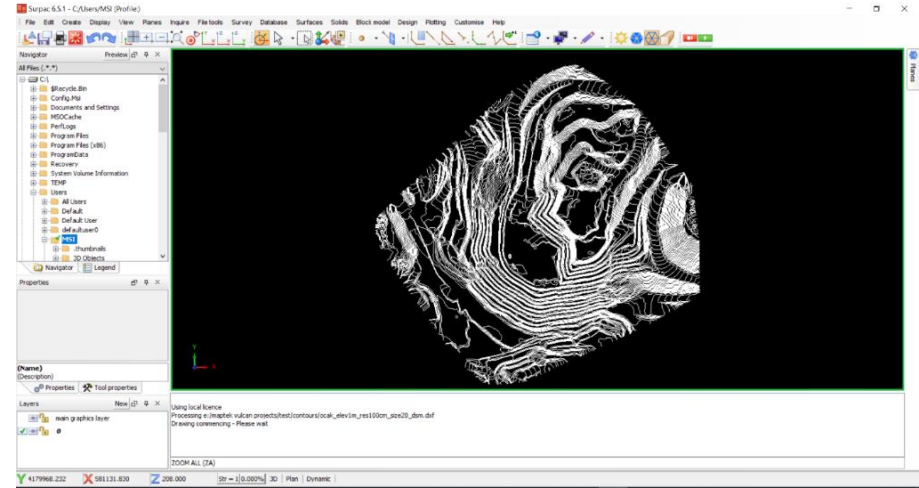
İHA fotoğrafları Pix4D yazılıyla işlenerek 3BMY' ye aktarım için dxf uzantısında vektör haritası elde edilmiştir. Bu vektör haritası 3BMY' ye entegre edilerek şekil 5.37' de Maptek Vulcan yazılımı, şekil 5.38' da Micromine yazılımı ve şekil 5.39' da Geovia Surpac yazılımı için aktarım sonuçları verilmiştir.



Şekil 5.37 Katı model



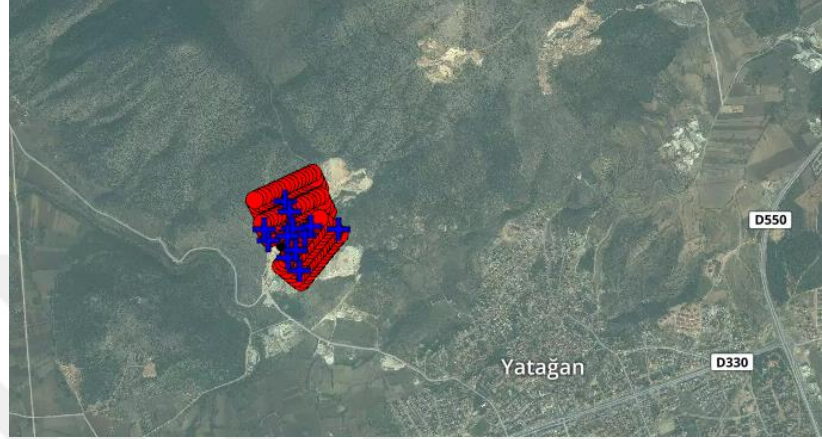
Şekil 5.38 Katı model



Şekil 5.39 Katı model

5.6 Ermaş Mermer

Şekil 5.40’da konumu gösterilen Muğla Yatağan bölgesinde faaliyet gösteren Ermaş Madencilik’e ait mermer ocağı ve pasa sahasında proje kapsamında yapılan çalışmalar ve sonuçları başlıklar halinde açıklanacaktır.

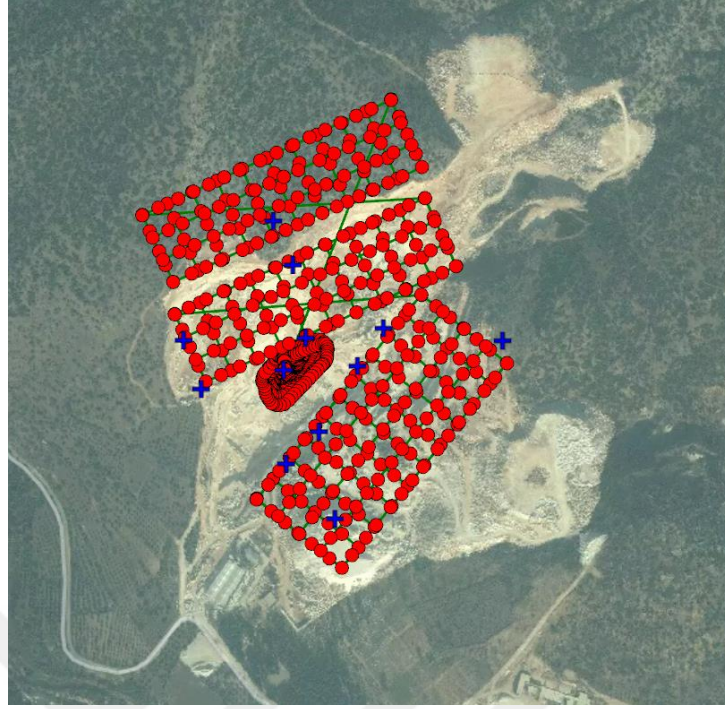


Şekil 5.40 Maden ocağının konumu

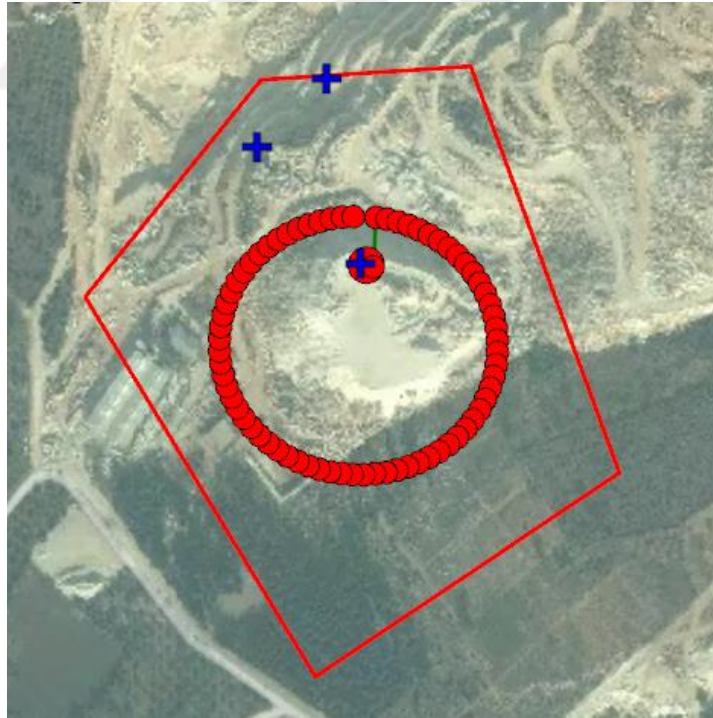
5.6.1 Ön Arazi Analizi ve Uçuş Planı

Arazi çalışmaları kapsamında yapılan uçuşlar için gün (hava koşulları) ve saat (ışık miktarı) ne kadar iyi seçilmiş olsa da arazide bulunan yüksek gerilim hatları, mermer ocağının boğaz etkisi yaratması ile hızı artan rüzgâr ve çalışma alanının büyüklüğü ön arazi çalışması ve detaylı bir uçuş planı yapılmasını zorunlu kılmıştır.

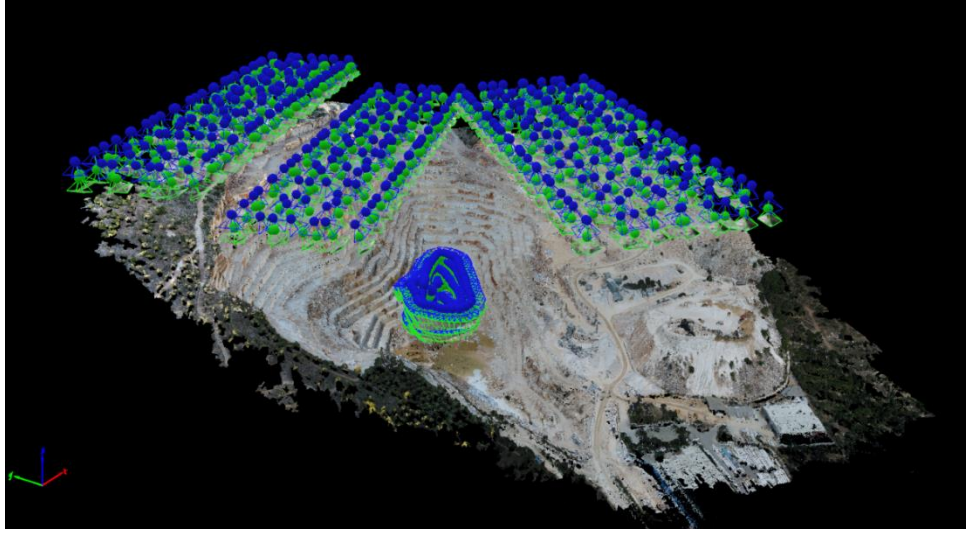
Daha önceki deneyimler doğrultusunda yetkili mühendis ile arazi incelenmiş ve yerüstü kontrol noktalarının yerleşimi planlanmıştır. Yerüstü kontrol noktalarının dağılımından ve miktarından emin olunduktan sonra çalışma yüksek gerilim hatlarını çalışma alanının üzerinden geçmesi ve alanının büyüklüğü sebebiyle çalışma yekpare değil 5 alt proje şeklinde yapılması uygun bulunmuştur (4 proje mermer ocağı ve 1 proje hafriyat sahası için olacak şekilde). Gerçekleşen uçuşlara ait uçuş planları şekil 5.41 ve şekil 5.42’de İHA tarafında alımı yapılan görsellerin konumu ise şekil 5.43 ve şekil 5.44’ de gösterilmiştir.



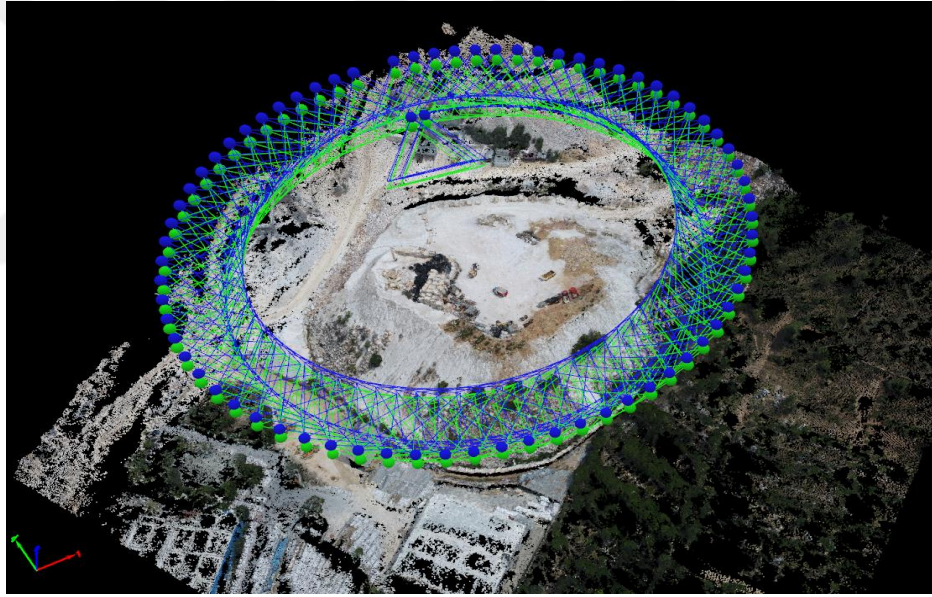
Şekil 5.41 Uçuş planları (Mermer ocağı)



Şekil 5.42 Uçuş planı (Pasa sahası)

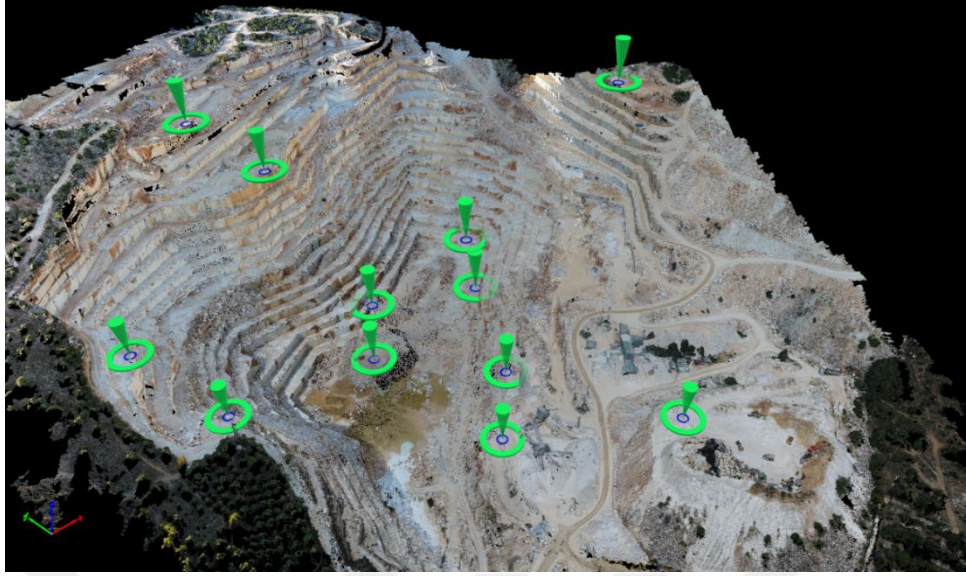


Şekil 5.43 Gerçekleştirilen uçuşlar kapsamında iha tarafından görsel alımı yapılan noktaların konumu



Şekil 5.44 Gerçekleştirilen uçuş kapsamında iha tarafından görsel alımı yapılan noktaların konumu

Çalışma kapsamında mermer ocağı için 815 adet ve pasa sahası için 73 fotoğraf olmak üzere toplamda 888 adet görsel girdi olarak kullanılmıştır. Ayrıca şekil 5.45’ de dağılımı ve konumları gösterilen toplam 12 adet yerüstü kontrol noktası çalışma kapsamına alınmıştır.



Şekil 5.45 Yerüstü kontrol noktalarının 3 boyutlu nokta bulutu üzerinde dağılımı ve konumları

5.6.2 Ocak Modeli

Ocak modeli kapsamında toplam 4 uçuş yapılmış ve her uçuş, alt proje olarak değerlendirilmiş ve birleştirilmiştir. Toplamda 815 adet görsel ve 12 adet yerüstü kontrol noktası kullanılmıştır. Çalışma, Pix4d yazılımından alınan sonuçlar kapsamında 346000 m²'lik alanın tarandığını ve ortalama hata payı 4 cm'den az olan 20.274.812 noktalık bulutu üretildiğini göstermektedir. Şekil 5.46 ve şekil 5.47' de 3 boyutlu nokta bulutu açılı olarak gösterilmektedir.

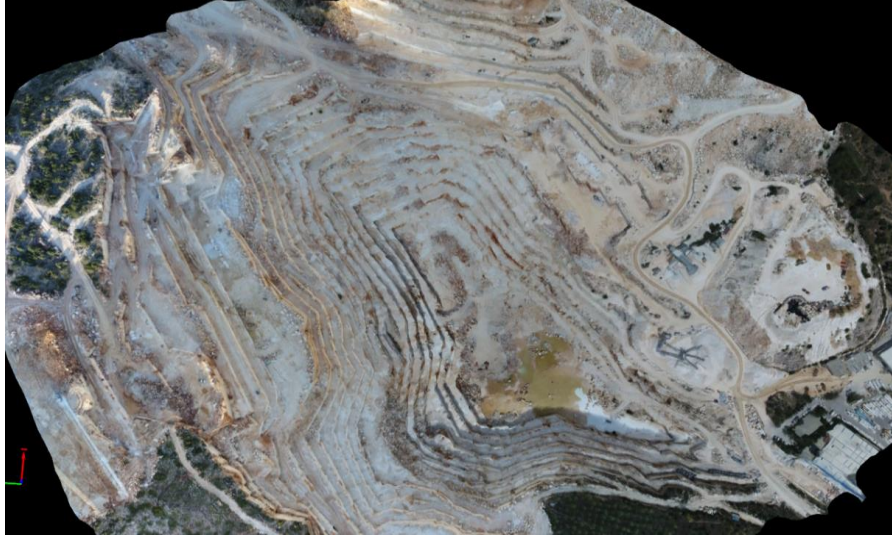


Şekil 5.46 3 boyutlu nokta bulutu (Açılı görünüm)



Şekil 5.47 3 Boyutlu nokta bulutu (Ters açılı görünüm)

3 boyutlu nokta bulutundan üretimi yapılan 3 boyutlu katı model şekil 5.48 ve şekil 5.49' da kaplamalarıyla birlikte gösterilmektedir.



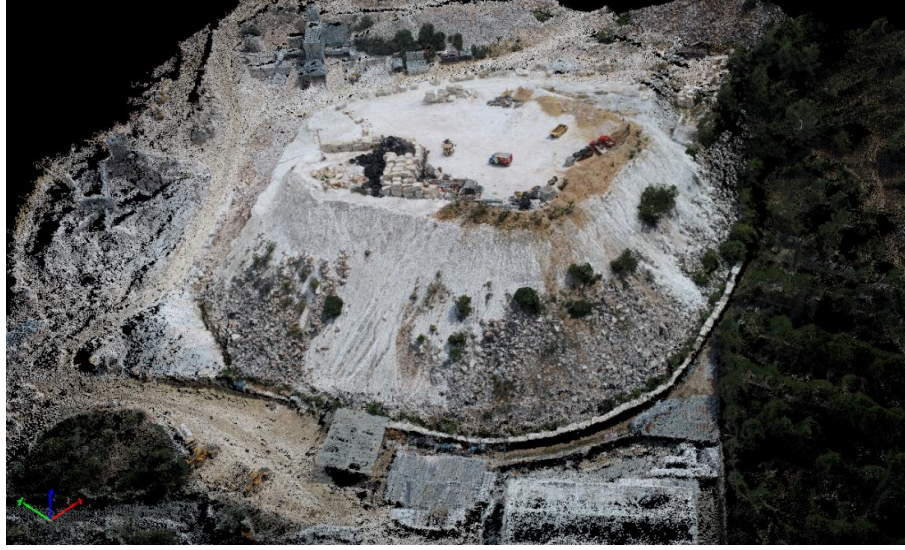
Şekil 5.48 3 boyutlu katı model (Kuşbakışı görünüm)



Şekil 5.49 3 boyutlu katı model (Açılı görünüm)

5.6.3 Pasa Sahası Modeli

Saha modeli kapsamında yapılan uçuş sonucunda Pix4d yazılımına girdi olarak 73 adet görsel alınmıştır. Pasa sahası tüm cepheleriyle taranmış ve 1.660.772 noktadan oluşan nokta bulutu üretilmiştir. Şekil 5.50’de gösterilen 3 boyutlu nokta bulutundan yine şekil 5.51’de gösterilen 3 boyutlu model oluşturulmuştur.



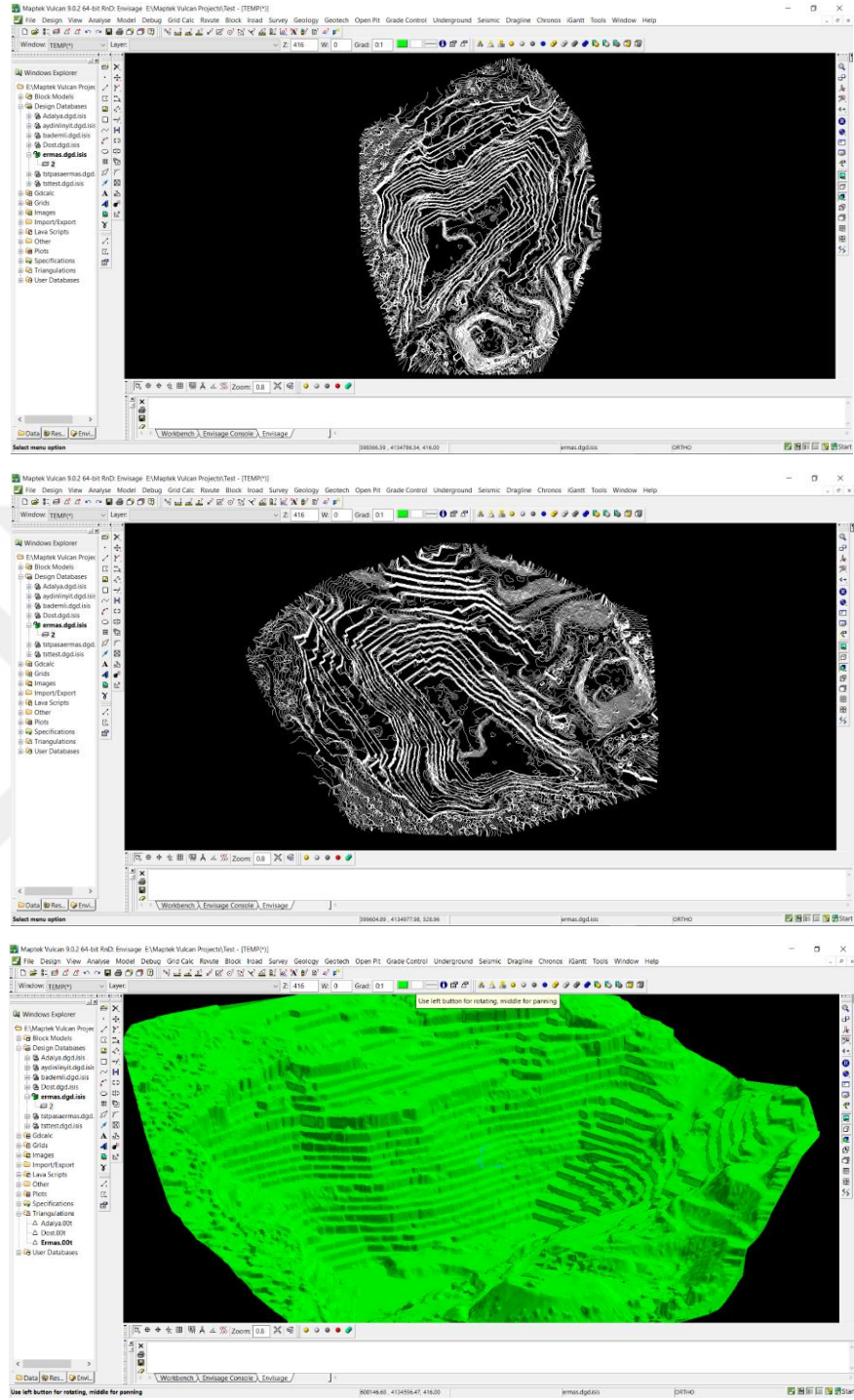
Şekil 5.50 3 boyutlu nokta bulutu (Açılı görünüm)



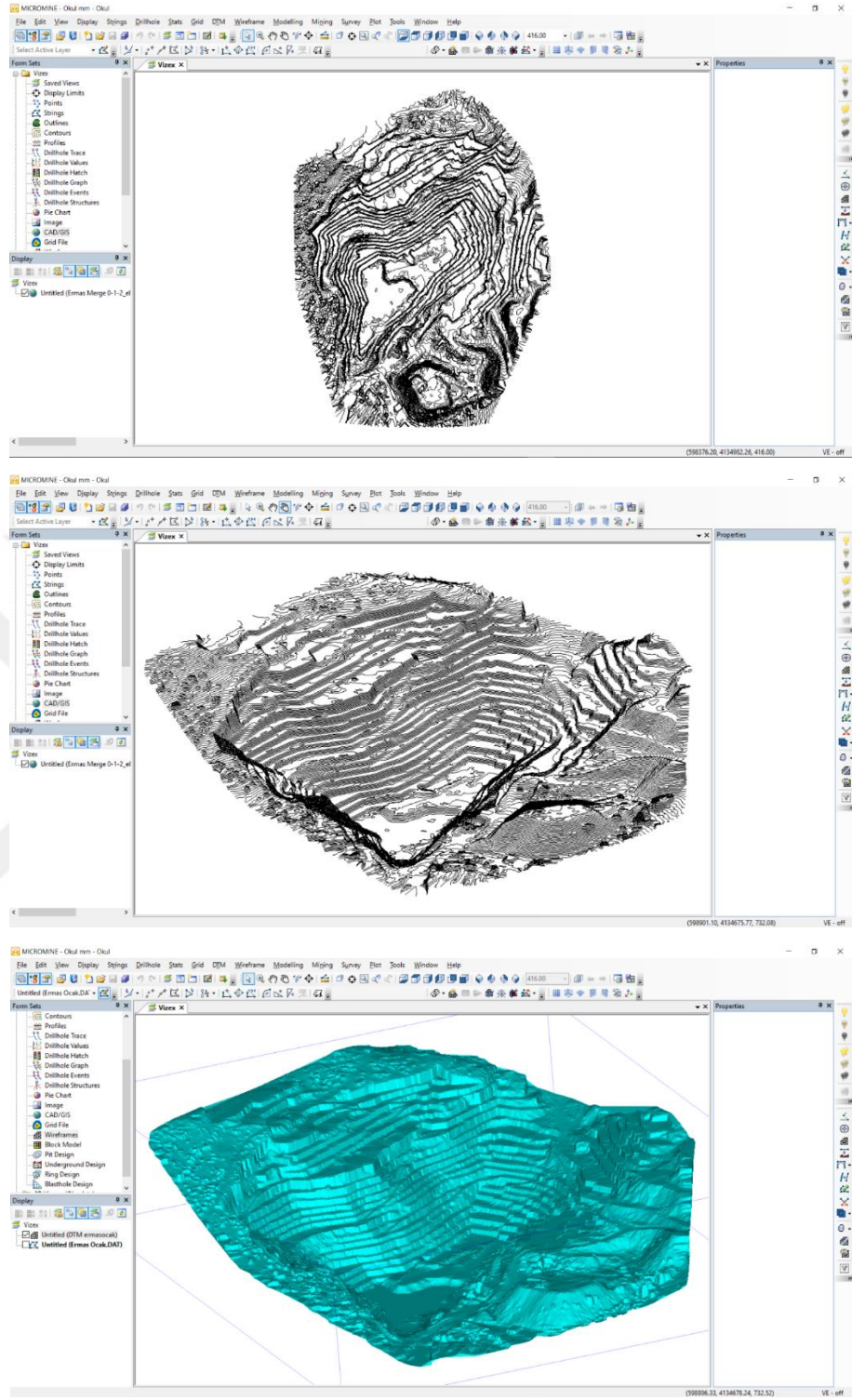
Şekil 5.51 3 boyutlu katı model (Açılı görünüm)

5.6.4 Açık Ocağa Ait Verilerin 3BMY'ye Entegrasyonu

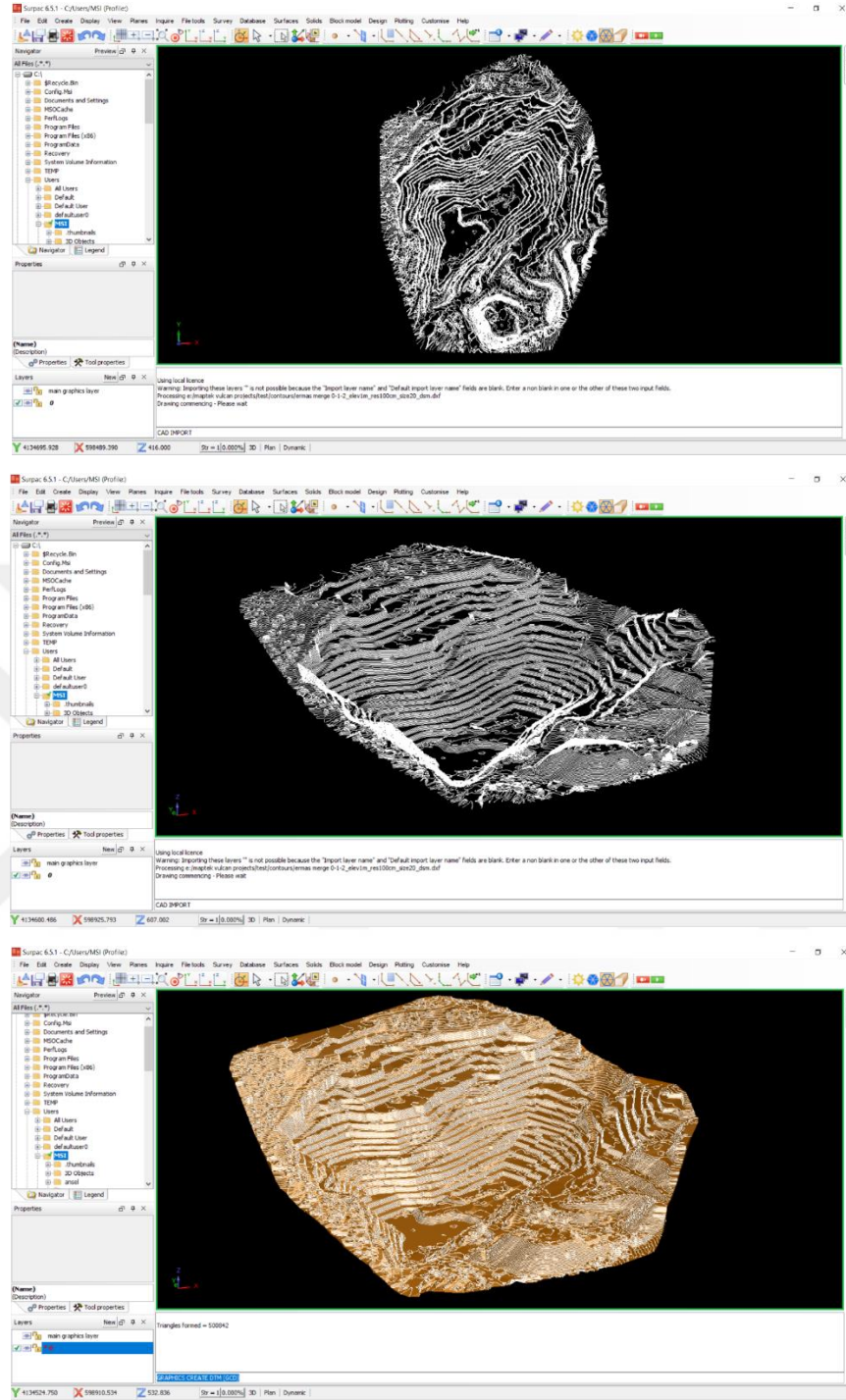
Çalışmanın önceki bölümlerinde aktarıldığı gibi .dxf formatında vektör haritası eldesi sağlanmış ve 3BMY'na entegre edilerek şekil 5.52' de Maptek Vulcan yazılımı, şekil 5.53' da Micromine yazılımı ve şekil 5.54' de Geovia Surpac yazılımı için olumlu sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.52 Katı model



Şekil 5.53 Katı model



Şekil 5.54 Katı model

BÖLÜM ALTI

SONUÇ VE ÖNERİLER

İnsansız hava araçlarının özellikle yerbilimleri, mimari, tarım ve mühendislik bilimlerindeki kullanımı dünya genelinde son on yılda giderek artmıştır. Özellikle yerbilimleri ile ilgili disiplinlerde (harita, jeoloji, maden vb..) giderek artan oranda kullanım alanı bulan İHA' lar ile yapılan ölçüm, modelleme ve diğer hesaplamaların, klasik metotlara göre çok daha kısa zamanda ve güvenilir olarak ortaya çıkması, bu cihazların kullanımını daha da cazip hale getirmektedir.

Tez kapsamında İzmir, Aydın, Muğla ve Antalya illerinde yapılan açık ocak maden sahaları, pasa sahaları ve rehabilitasyon alanlarında gerçekleştirilen saha çalışmaları ışığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

İHA' lar fotogrametrik ölçümler söz konusunda olduğunda en etkili çözüm olmaktadır. Yüksek çözünürlükte görsel alabilmeleri ve otonom uçuş yapabilmeleri ile diğer hava araçlarına göre maden sahaları için daha uygundurlar.

Yapılan saha çalışmalarının tamamının ortalama birkaç günden daha fazla zaman almaması, karesel ortalama hataların düşük olması ve iki veya üç kişi ile çalışmaların yapılmış olması, İHA ve fotogrametrik yazılımlar ile yapılan ölçümlerin kısa zamanda, az iş gücüyle ve yüksek doğrulukta sonuçlar verdiğini kanıtlamıştır.

Çalışma kapsamında 3BMY' lere fotogrametrik yazılım çıktılarının sorunsuz aktarılması ve aktarılan verilerin etkin kullanılabilmesi 3BMY' ler için İHA ve fotogrametrik yazılımlar ile sağlıklı veri sağlanabileceğini göstermiştir.

İzmir Laka' da yapılan çalışmada hata payının düşüklüğü, İHA ve fotogrametri sistemlerinin açık maden işletmeleri için üretim parametreleri tespitinde hızlı ve doğru sonuçlar verebildiğini ortaya konmuştur.

Saha çalışmalarının geneli göstermiştir ki, özellikle imalat haritası, topografik harita ve 3 boyutlu maden haritalarında hava fotogrametrisi uygulanabilir ve geliştirilebilir bir yöntemdir.

Aydın'da yapılan saha çalışması doğrultusunda İHA uygulamalarının sadece ocak planlaması değil aynı zamanda rehabilitasyon sahalarında da uygulama alanı bulabildiğini göstermektedir.

Alan ve hacim ölçümlerinin hızlı ve hassas biçimde yapılmış olması maden sahalarında yapılacak alan ve hacim ölçümlerinde İHA' ların ne kadar etkili olabileceğini göstermektedir.

Ayrıca diğer uzaktan algılama yöntemlerine göre (uydu, lidar, yersel fotogrametri, vb.) özellikle mali açıdan İHA ve birlikte kullanılan sistemlerin ilk yatırım ve operasyon maliyetlerinin düşük olması, sistemlerin tercih edilme sebeplerindendir.

Özellikle ülkemizde açık maden ocaklarının planlamasının maden ömrü boyunca hızlı ve etkili biçimde İHA' lar ile yapılabileceği, bununla birlikte 3BMY' ler için veri sağlama zorluğunun ortadan kaldırılabilmesi saha çalışmaları ile ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

- Akgül, M., Yurtseven, H., Demir, M., Akay, A.E., Gülci, S. ve Öztürk T., 2016. Production of high precision digital elevation model with unmanned aerial vehicles and use in forestry. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University* 66 (1), 104-118.
- Avdan U., Şenkal E., Çömert R. ve Tuncer S., (2014). İnsansız hava aracı ile oluşturulan verilerin doğruluk analizi. *V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2014) İstanbul*, 1-10.
- Cryderman C., Mah S. ve Shufletoski A., (2014). Evaluation of UAV photogrammetric accuracy for mapping and earthworks computations, *Geomatica*, 68 (4), 309-317.
- Döner, F., Özdemir, S. ve Ceylan, M., (2014). Use of unmanned aircraft vehicle systems in data acquisition and mapping studies. *5th Remote Sensing-GIS Symposium (UZAL-CBS 2014) İstanbul*, 1-14.
- Eck, Ch., (2001). Navigation algorithms with applications to unmanned helicopters. *Dissertation at the Swiss Federal Institute of Technology Zurich*, 7-18.
- Eisenbeiss, H., (2004). A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview, processing and visualization using high-resolution imagery. *Pitsanulok: Institute for Geodesy and Photogrammetry*, 3-15.
- Everaerts, J., Lewycky, N. ve Fransaer, D., (2004). Pegasus: Design of astratospheric long endurance UAV system for remote sensing. *IAPRS, XXXV (B2)*, 2-7.
- Kılınçoğlu, D.B., (2016). *Farklı insansız hava araçları ile elde edilen görüntülerin otomatik fotogrametrik yöntemlerle değerlendirilmesi ve doğruluk analizi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Leica Geosystems AG - Part of Hexagon, (2019). *Leica Viva GS15 – Smart Antenna*. 02 Eylül 2019, <https://leica-geosystems.com/products/gnss-systems/smart-antennas/leica-viva-gs15>.

Mallı T., Karakuş D. ve Gönen A. (2017). Maden maliyet yazılımı kullanılarak açık işletme planlamasında nihai işletme derinliği optimizasyonu. *Bilimsel Madencilik Derigisi*, 56 (3), 89-97.

Mesas-Carrascosa, F. J., Notario-García, M. D., de Larriva, J. E. M., Orden, M. S., ve Porras A. G. F. (2014). Validation of measurements of land plot area using UAV imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 33, 270-279.

Niethammer, U., Rothmund, S. ve Joswig, M., (2009). UAV-based remote sensing of the slow moving landslide Super-Sauze, In: *Landslide processes. CERG Editions, Strasbourg*, 69-74.

Pix4D, (2019). *Menu Process > Processing Options... > 1. Initial Processing > General*. 02 Eylül 2019, <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557759-Menu-Process-Processing-Options-1-Initial-Processing-General>.

Pix4D SA, (2019). *Pix4D Capture*. 02 Eylül 2019, <https://www.pix4d.com/product/pix4dcapture>.

Remondino F., Barazzetti L., Nex F, Scaioni M. ve 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*, XXXVIII-1 (C22), Zurich, Switzerland, 2-7.

Siebert S. ve Teizer J., (2014). Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an unmanned aerial vehicle (UAV) system. *Automation in Construction*, 41, 1–14.

Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü, (2016). *İnsansız hava aracı sistemleri talimatı*. 22 Şubat 2016, https://iha.shgm.gov.tr/public/document/SHT-IHA_REV1.pdf.

Strecha C., (2011). The accuracy of automatic photogrammetric techniques on ultra-light uav imagery. *Photogrammetric Week '11, Dieter Fritsch (Ed.)*, 289-294.

Vallet J., Panissod F., Strecha C. ve Tracol M., (2011). Photogrammetric performance of an ultra light weight swinglet “UAV”. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 1-5.

Wing, M. G., Burnett, J., Johnson, S., Akay, A. E. ve Sessions, J., 2014. A Low-cost unmanned aerial system for remote sensing of forested landscapes. *International Journal of Remote Sensing Applications*, 4 (3), 113-120.

Yakar, M., Mırdan, Ö., (2017). Problems encountered in the modeling of historical monuments with unmanned aerial vehicle., *Journal of Geomatics ISSN: 2564-6761*, 2 (3), 118-125.

EKLER

EK 1: Kısaltmalar

KISALTMALAR

3BMY	: Üç Boyutlu Madencilik Yazılımı
DTM	: Digital Terrain Model
GCP	: Ground Control Point
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GPS	: Global Positioning System
İHA	: İnsansız Hava Aracı
YÖA	: Yerüstü Örnekleme Aralığı
SYM	: Sayısal Yüzey Modeli
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
YKN	: Yerüstü Kontrol Noktası