



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

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HACİM HESAPLARINDA İNSANSIZ HAVA ARACI (İHA)
VERİLERİNİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Vahit ŞAHİN

DANIŞMAN

Prof. Dr. H. Murat YILMAZ

AKSARAY, 2021

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 182306405 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Vahit ŞAHİN tarafından hazırlanan “**HACİM HESAPLARINDA İNSANSIZ HAVA ARACI (İHA) VERİLERİNİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Harita Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. H. Murat YILMAZ

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Üye: Prof. Dr. Ferruh YILMAZTÜRK

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Üye: Prof. Dr. Murat YAKAR

Mersin Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Tez Savunma Tarihi: 25/11/2021

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Mehmet Ali HINIS

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Vahit ŞAHİN

TEŞEKKÜR

“Hacim Hesaplarında İnsansız Hava Aracı (İHA) Verilerinin Kullanılabilirliğinin Araştırılması” adlı yüksek lisans çalışmam boyunca danışmanım olarak araştırmalarımı yönlendiren, bilgi ve birikimlerini çalışmam boyunca esirgemeyen, vizyonu ile ufkumuzu aydınlatan çok saygı değer hocam Prof.Dr. H. Murat Yılmaz’a,

Çalışma kapsamında sağladıkları destekten dolayı Ruhbaş Tarım Ürünleri Lisanslı Depoculuk A.Ş. ortaklarından sayın Şaban Yılmaz’a,

Hayatım boyunca her an yanımda olan, mutluluğumun ve başarımın temeli olan varlıkları için duacısı olduğum sevgili annem Saniye Şahin ve sevgili babam Yüksel Şahin’e,

Destekleri ile beni bu günlere getiren, sevgilerini her daim hissettiğim ablam Akkız Özlem Çeker ve ablam Duygu Yılmaz’a,

Neşe kaynağım yeğenlerim Eylül Handan Çeker ve Aysu Çeker’e sonsuz teşekkürlerim ve bin nimetle.

Vahit ŞAHİN
AKSARAY, 2021

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
3. HACİM HESAPLAMA YÖNTEMLERİ	11
3.1 Yüzeysel Nivelman Ölçüleri Yardımıyla Hacim Hesabı	11
3.2 Üç Boyutlu Koordinatlar Yardımıyla Hacim Hesabı	11
3.3 Enkesitler Yardımıyla Hacim Hesabı	11
3.4 Eşyükselti Eğrili Planlar İle Hacim Hesabı	12
3.5 Düzensiz Dağılmış Dayanak Noktaları İle Hacim Hesabı	12
3.6 Düzenli Dağılmış Dayanak Noktaları İle Hacim Hesabı	12
3.7 Enterpolasyon Yöntemleri	12
4. İNSANSIZ HAVA ARACI	15
4.1 İnsansız Hava Aracı Sınıflandırılması	16
4.2 İnsansız Hava Aracı Kullanım Alanları	18
4.3 Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (Böhhbüy) İnsansız Hava Aracı Kullanım Esasları	23
4.3.1 Genel ölçütler	24
4.3.2 Donanım ölçütleri	24
4.3.3 Üretim ölçütleri	25
4.3.4 Genel kontrol ölçütleri	26
4.3.5 Kadastral detay kontrolü	26
4.3.6 Teslim edilecek ve arşivlenecek veriler	27
4.4 Ülkemizde iha serüveni	28
4.4.1 Baykar bayraktar akıncı iha	29
5. UYGULAMALAR	31
5.1 Hacmi Bilinen Tarımsal Ürün Depolama Tesisi (SİLO)	31
5.1.1 Çalışma alanı	31
5.1.2 Tarımsal ürün depolama tesisine (silo) ait teknik bilgiler	32
5.1.3 Arazi çalışması	34
5.1.4 Büro çalışması	36
5.2 Dolgu Alanı Hacim Hesaplama Çalışması	58
5.2.1 Çalışma alanı	58
5.2.2 Arazi çalışması	59
5.2.3 Büro çalışması	66
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	105
6.1 Tarımsal Ürün Depolama Tesisi (Silo) Hacim Hesabı Çalışması	105
6.2 Dolgu Alanı Hacim Hesabı Çalışması	109
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	114
ÖZGEÇMİŞ	121

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HACİM HESAPLARINDA İNSANSIZ HAVA ARACI (İHA) VERİLERİNİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Vahit ŞAHİN

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. H. Murat YILMAZ

ÖZET

Hacim hesapları birçok mühendislik çalışmasında kullanılmaktadır. Günümüzde Harita Mühendisliğinin İnşaat ve Madencilik sektöründeki en önemli iş kollarından birisi de hacim hesabıdır. Hacim hesapları jeodezik, fotogrametrik ve lazer tarama gibi farklı yöntemlerden elde edilen veriler kullanılarak yapılabilmektedir. Özellikle erişilmesi riskli ve zor bölgelerde hacim hesapları arazideki ölçmelerden ziyade bölgenin havadan veya yerden çekilen resimleri yardımıyla yapılması daha uygun olmaktadır. Günümüzde fotogrametri, haritacılık alanında oldukça önemli bir yere sahiptir. Fotogrametrik harita üretiminde farklı platformlar kullanılarak görüntü alımı gerçekleştirilmektedir. Gelişen teknoloji havadan fotoğraf temininde yeni alternatifler ortaya çıkarmıştır. Yaşanan teknolojik gelişmeler neticesinde uzaktan algılama ve fotogrametri ile üretilen verilerde, İnsansız Hava Araçları (İHA) kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada son yıllarda birçok konuda uygulama alanı bulan İHA verileri kullanılarak yapılan hacim hesaplarının farklı açılardan analizi yapılmıştır. Hacmi bilinen tarımsal ürün depolama tesisi (SİLO) ve bir dolgu alanının hacmi İHA verileri yardımıyla hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamada düzgün geometrik yapıya sahip SİLO'nun hacmi %98 doğrulukla, düzgün geometrik yapıya sahip olmayan dolgu alanı hacmi %94.38 doğrulukla hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İnsansız Hava Aracı, Fotogrametri, Hacim Hesabı, SİLO.

Kasım, 2021; 121 sayfa

M.Sc. THESIS

**INVESTIGATION OF THE USABILITY OF UNMANNED AERIAL
VEHICLE (UAV) DATA IN VOLUME CALCULATIONS**

Vahit ŞAHİN

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Survey Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. H. Murat YILMAZ

ABSTRACT

Volume calculations are used in many engineering studies. Today one of the most important business lines of Surveying Engineering in the construction and mining sector is volume calculation. Volume calculations can be made using data obtained from different methods such as geodetic, photogrammetric and laser scanning. Especially in areas that are risky and difficult to access, it is more appropriate to make volume calculations with the help of aerial or ground photographs of the region rather than measurements on the field. Today photogrammetry has a very important place in the field of cartography. In the production of photogrammetric maps, images are acquired using different platforms. Developing technology has revealed new alternatives in aerial photography. As a result of the technological developments experienced, Unmanned Aerial Vehicles (UAV) have started to be used in the data produced by remote sensing and photogrammetry.

In this study, the volume calculations made using UAV data which have found application in many subjects in recent years, were analyzed from different perspectives. The volume of a known agricultural product storage facility (SILO) and the volume of a fill area were calculated with the help of UAV data. In the calculation made, the volume of the SILO with a regular geometric structure was calculated with an accuracy of 98%, and the volume of the filling area without a regular geometric structure was calculated with an accuracy of 94.38%.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicles, Photogrammetry, SILO, Volume calculation.

November, 2021; 121 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1. Bayraktar akıncı insansız hava aracı.....	15
Şekil 4.2. Sabit kanatlı iha.	16
Şekil 4.3. Döner kanatlı iha.....	17
Şekil 4.4. Nato ve ingiltere savunma bakanlığı tarafından hazırlanmış olan iha sınıflandırılması.	17
Şekil 4.5. Uluslararası iha topluluğu tarafından hazırlanan iha sınıflandırması.	18
Şekil 4.6. Predator iha.	20
Şekil 4.7. Entomopter iha.....	20
Şekil 4.8. Fukuşima nükleer santralindeki hasarın iha görüntüsü.	21
Şekil 4.9. Olumsuz hava şartları nedeniyle düşen bir iha.	23
Şekil 4.10. Baykar bayraktar akıncı iha.	30
Şekil 5.1. Birinci çalışma alanının uydu görüntüsü.	31
Şekil 5.2. Birinci çalışma alanına ait görsel.	32
Şekil 5.3. Düz tabanlı silo kapasite tablosu.	33
Şekil 5.4. Enine uçuş ile elde edilen fotoğraf örneği.	35
Şekil 5.5. Boyuna uçuş ile elde edilen fotoğraf örneği.	35
Şekil 5.7. Pix4Dmapper programında üretilen nokta bulutu.	37
Şekil 5.8. Pix4Dmapper programında üretilen mesh model.	38
Şekil 5.9. Silindir prizma yüzeyi.	39
Şekil 5.10. Pix4Dmapper programında hesaplanan taban çapı gösterimi.	39
Şekil 5.11. Pix4Dmapper programında hesaplanan saçak yüksekliği gösterimi.	40
Şekil 5.12. Dik koni yüzeyi.....	40
Şekil 5.13. Pix4Dmapper programında tepe yüksekliğinin bulunması.	41
Şekil 5.14. 3DF zephyr programındaki uçuş planı.	43
Şekil 5.15. 3DF zephyr programında yer kontrol noktaları.	44
Şekil 5.16. 3DF zephyr programında ykn'na ait nihai hata payı.	44
Şekil 5.17. 3DF Zephyr programında üretilen seyrek nokta bulutu.	45
Şekil 5.18. 3DF zephyr programında üretilen yoğun nokta bulutu.....	46
Şekil 5.19. 3DF zephyr programında üretilen mesh model.	46
Şekil 5.20. 3DF zephyr programında hesaplanan taban çapı gösterimi.....	47
Şekil 5.21. 3DF zephyr programında hesaplanan saçak yüksekliği gösterimi.	48
Şekil 5.22. 3DF Zephyr programında tepe yüksekliğinin hesaplanması.	49
Şekil 5.23. Agisoft metashape programında resim konumları ve ykn noktaları.....	51
Şekil 5.24. Agisoft metashape programında üretilen nokta bulutu.....	52
Şekil 5.25. Agisoft metashape programında üretilen yoğun nokta bulutu.....	52
Şekil 5.26. Agisoft metashape programında üretilen üç boyutlu model.....	53
Şekil 5.27. Agisoft metashape programında taban çapı ölçümü.....	54
Şekil 5.28. Agisoft metashape programında saçak yüksekliği ölçümü.	55
Şekil 5.29. Agisoft metashape programında tepe noktası kotu ölçümü.....	56
Şekil 5.30. Agisoft metashape programında zemin noktası kotu ölçümü.	56
Şekil 5.31. İkinci hacim hesabı için belirlenen çalışma alanı uydu görüntüsü.	58
Şekil 5.32. İkinci hacim hesabı için belirlenen çalışma alanına ait görüntü.....	59
Şekil 5.33. Çalışma alanını boş iken iha ile elde edilen fotoğraf örneği.	60
Şekil 5.34. Birinci araç.....	61
Şekil 5.35. Birinci araç tonaj hesabı.	61
Şekil 5.36. İkinci araç.	62
Şekil 5.37. İkinci araç tonaj hesabı.	62

Şekil 5.38. Çalışma alanına taşınan malzeme.....	63
Şekil 5.39. Dikdörtgen prizma.	64
Şekil 5.40. Hacmi hesaplanacak malzemenin iha ile elde edilen fotoğraf örneği.	65
Şekil 5.41. Pix4Dmapper programında çalışma alanının ilk yüzeyine ait nokta bulutu.....	68
Şekil 5.42. Pix4Dmapper programında alanının ilk yüzeyinin mesh modeli.	68
Şekil 5.43. Pix4Dmapper programında çalışma alanının ikinci yüzeyine ait nokta bulutu.....	69
Şekil 5.44. Pix4Dmapper programında çalışma alanının ikinci yüzeyinin mesh modeli.	69
Şekil 5.45. Pix4Dmapper programında gerçekleştirilen hacim hesabı.	70
Şekil 5.46. Pix4Dmapper programında gerçekleştirilen hacim hesabı sonuç ekranı.....	70
Şekil 5.47. Global mapper programına aktarılan çalışma alanının ilk yüzeyine ait sym modeli.	71
Şekil 5.48. Global mapper programına aktarılan çalışma alanının ikinci yüzeyine ait sym modeli.	72
Şekil 5.49. Global mapper programında hacim hesabı yapılacak alanın belirlenmesi.	72
Şekil 5.50. Global mapper programında hacim hesabı.	73
Şekil 5.51. Global mapper programında hacim hesabı sonuç ekranı.....	73
Şekil 5.52. 3D Survey programında üretilen çalışma alanının ilk yüzeyine ait sym.....	74
Şekil 5.53. 3D survey programında üretilen çalışma alanının ikinci yüzeyine ait sym.....	75
Şekil 5.54. 3D Survey programında hacim hesabı yapılacak alanın belirlenmesi.....	75
Şekil 5.55. 3D Survey programında hacim hesabı sonuç ekranı.	76
Şekil 5.56. Surfer programında üretilen çalışma alanının ilk yüzeyine ait grid model.	77
Şekil 5.57. Surfer programında üretilen çalışma alanının ikinci yüzeyi için üretilen grid model.	77
Şekil 5.58. Surfer programında hacim hesaplama menüsü.....	78
Şekil 5.59. Surfer programında hacim hesaplama sonuç ekranı.	79
Şekil 5.60. Agisoft Metashape programında çalışma alanının ilk yüzeyine ait mesh modeli.	81
Şekil 5.61. Agisoft metashape programında çalışma alanının ikinci yüzeyine ait mesh modeli.	82
Şekil 5.62. Agisoft metashape programında hacim hesaplanacak alanın belirlenmesi.	82
Şekil 5.63. Agisoft metashape programında hacim hesaplama menüsü.....	83
Şekil 5.64. Agisoft metashape programında gerçekleştirilen hacim hesabı sonuç ekranı.....	83
Şekil 5.65. Global mapper programına aktarılan çalışma alanının ilk yüzeyine ait sym modeli.	84
Şekil 5.66. Global mapper programına aktarılan çalışma alanının ikinci yüzeyine ait sym modeli.	84
Şekil 5.67. Global mapper programında hacim hesabı yapılacak alanın belirlenmesi.	85
Şekil 5.68. Global mapper programında yüzeyler arası hacim hesabı aracı.	85
Şekil 5.69. Global mapper programında hacim hesabı.	86

Şekil 5.70.	Global mapper programında hacim hesabı ekranı.	86
Şekil 5.71.	3D Survey programında üretilen çalışma alanının ilk yüzeyine ait sym modeli.	87
Şekil 5.72.	3D Survey programında üretilen çalışma alanının ikinci yüzeyine ait sym modeli.	87
Şekil 5.73.	3D survey programında hacim hesabı yapılacak alanın belirlenmesi.	88
Şekil 5.74.	3D survey programında hacim hesaplaması sonuç ekranı.	89
Şekil 5.74.	Surfer programında üretilen çalışma alanının ilk yüzeyine ait grid model.	90
Şekil 5.75.	Surfer programında üretilen çalışma alanının ikinci yüzeyine ait grid model.	90
Şekil 5.76.	Surfer programında hacim hesaplama ekranı.	91
Şekil 5.77.	Surfer programında hacim hesaplama sonucu.	92
Şekil 5.78.	3DF zephyr programında alanının ilk yüzeyine ait mesh modeli.	93
Şekil 5.79.	3DF zephyr programında alanın ikinci yüzeyine ait mesh modeli.	93
Şekil 5.80.	3DF zephyr programında hacim hesaplanacak alanın belirlenmesi.	95
Şekil 5.81.	3DF zephyr programında hacim hesaplama menüsü.	95
Şekil 5.82.	3DF zephyr programında gerçekleştirilen hacim hesabı sonuç ekranı.	96
Şekil 5.84.	Global mapper programına aktarılan çalışma alanının ikinci yüzeyine ait sym modeli.	97
Şekil 5.85.	Global mapper programında hacim hesabı yapılacak alanın belirlenmesi.	97
Şekil 5.86.	Global mapper programında yüzeyler arası hacim hesabı aracı.	98
Şekil 5.87.	Global mapper programında hacim hesabı.	98
Şekil 5.88.	Global mapper programında hacim hesabı ekranı.	99
Şekil 5.89.	3D Survey programında üretilen çalışma alanının boş haline ait sym modeli.	100
Şekil 5.90.	3D survey programında üretilen çalışma alanının ikinci yüzeyine ait sym modeli.	100
Şekil 5.91.	3D survey programında hacim hesabı yapılacak alanın belirlenmesi. ..	101
Şekil 5.93.	Surfer programında üretilen çalışma alanının ilk yüzeyine ait grid model.	102
Şekil 5.94.	Surfer programında üretilen çalışma alanının ikinci yüzeyine ait grid model.	103
Şekil 5.95.	Surfer programında hacim hesaplama ekranı.	104
Şekil 5.96.	Surfer programında hacim hesaplama sonucu.	104

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Farklı kriterlere göre enterpolasyon yöntemlerinin sınıflandırılması.....	14
Çizelge 5.1. Birinci çalışma için tesis edilen ykn bilgileri.	34
Çizelge 5.2. Pix4Dmapper programında ykn hata payları.	37
Çizelge 5.3. Pix4Dmapper programı ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması.....	42
Çizelge 5.4. 3DF zephyr ykn hata payları.....	45
Çizelge 5.5. 3DF zephyr programı ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması.	50
Çizelge 5.6. Agisoft metashape programında ykn hata payları.	51
Çizelge 5.7. Agisoft metashape programında ulaşılan sonuçların karşılaştırılması.	57
Çizelge 5.8. İkinci çalışma için tesis edilen ykn bilgileri.	59
Çizelge 5.9. Pix4Dmapper programında ykn hata payları.	66
Çizelge 5.10. Agisoft metashape programında ykn hata payları.	80
Çizelge 5.11. 3DF zephyr programında ykn hata payları.	92
Çizelge 6.1. SİLO hacim hesabı işleminde büro çalışması ile elde edilen değerler.....	105
Çizelge 6.2. Dolgu alanı hacim hesabı değerleri.	110

SİMGELER VE KISALTMALAR

m^2	Metrekare
m^3	Metreküp
BÖHHBÜY	Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği
cm	Santimetre
CORS	Sürekli Çalışan Referans İstasyonları - Continuously Operating
GPS	Global Konumlama Sistemi - Global Positioning System
İHA	İnsansız Hava Aracı
HP	Beygir Gücü – Horse Power
kg	Kilogram
LIDAR	Işık Tespiti ve Uzaklık Tayini - Light Detection and Ranging
m	Metre
mm	Milimetre
NASA	Ulusal Havacılık Uzay Dairesi - National Aeronautics and Space
NATO	Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü – North Atlantic Treaty Organization Reference Stations
RTK	Gerçek Zamanlı Kinematik - Real Time Kinematik
SAM	Sayısal Arazi Modeli
SAR	Sentetik Aralıklı Radar
SİLO	Tarımsal Ürün Depolama Tesisleri
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
UAV	İnsansız Hava Aracı – Unmanned Aerial Vehicle
USD	Birleşik Krallık Doları - United States Dollar
YKN	Yer Kontrol Noktası

1. GİRİŞ

Hacim hesaplama işlemleri birçok mühendislik disiplinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde Harita Mühendisliğinin inşaat, yol projeleri, baraj projeleri, madencilik sektörü vb. iş alanlarında önemini artıran önemli iş kolları arasında hacim hesaplamaları da yer almaktadır (Seki, 2017). Hacim hesapları birçok farklı yöntem ile elde edilen veriler yardımıyla yapılabilmekte olup, bu yöntemlere jeodezik, fotogrametrik ve lazer tarama örnek olarak gösterilebilir. Özellikle insan hayatını tehlikeye sokan ve erişilmesi riskli ve zor bölgelerde hacim hesaplamaları gelişen teknolojik gelişmeler doğrultusunda, bölgenin havadan veya yerden çekilen fotoğrafları kullanılarak yapılabilmektedir.

Günümüzde hacim hesaplamaları yöntemlerine ek olarak teknolojik gelişmeler doğrultusunda alternatif yöntemler geliştirilmeye devam edilmektedir. Yapılan bu geliştirmelerin temelini arazi tanımlanmasının yapılması için yeterli sıklıkla ve dağılımda nokta alımının yapılması oluşturmaktadır. Yaşanan son gelişmeler ile düzgün geometrik yüzeye sahip olmayan arazi yüzeylerinde yapılacak hacim hesaplamalarında üç boyutlu yüzey modelleri kullanımının doğru veriler ortaya koyduğu görülmüştür (Yılmaz, 2007). Fotogrametri tekniklerinden olan yersel fotogrametri ile arazi tanımlanmasının yapılması için gerekli olan noktaların toplanması zaman ve maliyet açısından klasik ölçme yöntemlerine kıyasla sağladığı avantajlar ile kullanımı yaygınlaşarak devam etmektedir.

Farklı mühendislik problemlerinin çözümünde fotogrametrik tekniklerin kullanımı daha da yaygınlaşmıştır. Farklı özelliklere sahip doğal ve yapay yapıların fotogrametrik amaçlarla fotoğraflarının elde edilmesinde insansız hava araçları(İHA) önemli katkılar sağlamıştır (Uysal vd., 2015). Günümüzde, fotogrametri haritacılık alanında oldukça önemli bir yere sahiptir. Fotogrametrik harita üretiminde farklı platformlar kullanılarak görüntü alımı gerçekleştirilmektedir. Gelişen teknoloji ile havadan görüntü alımında yeni alternatifler ortaya çıkarmıştır. Bu bağlamda, İHA teknolojisi yeni bir görüntü alım platformu olarak karşımıza çıkmaktadır (Aktaş vd. 2016). Sürekli gelişim gösteren teknoloji ile birlikte günümüzde uzaktan algılama ve fotogrametri yöntemleri ile üretilen verilerde, üretim platformu olarak İHA kullanılmaya başlanmıştır.

Konuma dayalı veri üreten yersel lazer tarayıcı, Global Konumlama Sistemleri (GPS), geleneksel hava araçları, yersel jeodezik ölçmeler, fotogrametri ve uzaktan algılama gibi çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemlere ek olarak İHA, işlevsel olarak konuma dayalı doğru ve hassas veri üretebilen bir teknolojiye sahiptir. İHA'lar gelecekte birçok disipline veri üreten en önemli veri kaynağı olacaktır (Tahar 2012, Mahmod ve Yılmaz 2018).

İHA Fotogrametrisi düzenekleri; uzaktan kumandalı, yarı otonom veya otonom olarak çalışan, pilotu olmayan fotogrametrik ölçüm platformlarıdır. Platform; küçük veya orta boy bir video kamera, termal kamera, kızılötesi kamera veya LİDAR ile donatılmıştır. İHA'lar uygulanan sensörlerin konumunu yerel veya küresel bir koordinat sisteminde kaydedilmesini ve izlenmesini sağlar. Bu nedenle İHA Fotogrametrisi yeni bir fotogrametrik ölçüm aracı olarak anlaşılabilir (Eisenbeiss, 2009; Kara, 2018).

Fotogrametrinin etkin bir şekilde kullanılmaya başlanmasından bu yana çok çeşitli taşıyıcı platform ve görüntüleme sistemleri kullanılmıştır. Balonlardan helikopterlere, uçaklardan uzay mekiklerine ve uydulara kadar birçok taşıyıcı platform, yapılan projeye uygunluğuna göre literatürdeki yerlerini almıştır. Son zamanlarda bu anlamda en çok kendinden söz ettiren taşıyıcı platformlardan birisi de kuşkusuz İHA'dır(Karakış, 2011). İHA, içerisinde uçuş ekibi (pilot) olmadan, aerodinamik uçuş prensiplerine göre aralıksız olarak otomatik ya da yarı otomatik uçabilme özelliğine sahip araçlardır (Saripalli vd., 2003). İHA sistemleri son birkaç yıl içerisinde sivil kullanıma uygun hale getirilmiştir. İHA sayılarının her geçen gün artması, farklı iş sahaları arasında kullanılmasını yaygınlaştırmıştır (Yanmaz vd., 2017). İHA'nın yenilikçi bir iş modelinin öznesi ya da paydaşı olmasındaki yaygınlaşması neticesinde, İHA ile hava fotogrametrisi, İHA ile havadan ölçme, İHA ile uzaktan algılama geomatik (harita, kadastro, jeodezi ve fotogrametri) uygulamalarının bir parçası haline geldiği artık kanıksanmış durumdadır. Büyüklüğü 10.1 milyar USD olan global İHA pazarının, genel ekonomik büyümenin aksine %8.12 seviyesinde büyüyerek 2020 itibariyle yaklaşık 15 milyar USD genişlemeye ulaşması beklenmektedir. İHA fotogrametrisi (Structure from Motion) özellikle tarım, madencilik, havadan fotoğraflama, emlak sektörlerinde kendine yer bulmuştur. Harita, kadastro ve planlama işlerinde ise konunun mülkiyet hakkı ve

bunun belirlenmesi olması sebebiyle daha temkinli davranılmakla birlikte, İHA'nın uygulama olanakları konusunda, özellikle doğruluk, uygunluk, ölçülebilirlik (izleme, kalibrasyon, kayıt vb.) bakımından çok sayıda kurum, firma ve araştırmacının derinlemesine çalışması sürmektedir. Bu arada, uygulamalardan edinilen tecrübelerle birlikte İHA kullanılarak ölçme konusunda kalite güvence ve altyapı oluşturma ihtiyacı hızla artmaktadır (Torun, 2017).

Bu çalışmada son yıllarda birçok konuda uygulama alanı bulan İHA verileri kullanarak yapılacak hacim hesaplarının farklı açılardan analizi yapılacaktır. Hacmi bilinen tarımsal ürün depolama tesisi (SİLO) ve bir dolgu alanının hacmi İHA verileri yardımıyla hesaplanacaktır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yılmaz ve Yakar (2008), yaptıkları çalışmada sayısal yakın mesafe fotogrametri yöntemi ile hacim hesaplama performansını araştırmıştır. Ulaşılması zor ve riskli bölgelerde düzgün bir yüzey yapısına sahip olmayan nesnelerin hacim hesaplamasında sayısal yakın mesafe fotogrametri yöntemi ile oluşturulan üç boyutlu modellerin potansiyel kullanımını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma kapsamında bir yapay cismin üç boyutlu modellenmesi ile bir kazı alanı ve doğal tepe olmak üzere iki doğal alanı çalışma alanı olarak belirlemiş ve sayısal yakın mesafe fotogrametri tekniği ile elde edilen üç boyutlu modeller ile yapılan hacim hesaplamaları, jeodezik teknikler ile hesaplanan hacim hesaplamaları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar zaman, doğruluk ve maliyet açısından analiz edilmiş ve fotogrametrik yöntemin klasik yöntemlere göre zaman açısından %21.89, doğruluk açısından %12.11 ve maliyet açısından %33.33 oranla daha avantajlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Chiabrando vd. (2011), yaptıkları bir çalışmada uzaktan kumanda edilen küçük boyutlarda bir helikopter ve model uçağı kullanarak, arkeolojik bölgelerde insansız hava araçlarının kullanımını araştırmışlardır. Çalışma alanı olarak belirledikleri İtalya'da yer alan Reggia di Venaria Reale ve Augusta Bagiennorum arkeolojik alanlarına ait sayısal harita ve ortofotolar ile Sayısal Arazi Modeli(SAM) üretimini amaçlamışlardır. Çalışma kapsamında ilk olarak Augusta Bagiennorum arkeolojik alanına ait veriler model uçağı kullanarak 60 m ve 100 m yüksekliklerden uçuşlar gerçekleştirilmiş ve elde edilen görüntüler yardımıyla üretilen çalışma alanına ait 1/200 ölçekli ortofoto, SAM ve ortofoto üzerinden çizimler yaparak 1/200 ölçekli sayısal haritalar elde etmişlerdir. Çalışma kapsamında ikinci olarak ise Reggia di Venaria Reale alanı üzerinden uçuşlar 15 m ve 50 m yükseklikten gerçekleştirilmiş ve bu uçuşlardan elde edilen görüntüler kullanılarak 1/100 ve 1/200 ölçekli ortofoto, sayısal haritalar ve sayısal yükseklik modeli(SYM) elde etmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda arkeolojik alanlarda ihtiyaç duyulan büyük ölçekli haritaların üretilmesi için İHA ile elde edilen verilerin yeterli doğruluğa sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca çalışma kapsamında kullandıkları araçların veri toplamadaki hızı ve sağladıkları düşük maliyet ile uçuş yüksekliğine bağlı olarak 1/100 ile 1/500

ölçekleri aralığında harita üretilme imkânı tanınması neticesinde arkeolojik ölçme çalışmaları için uygun olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Yılmaz (2010), yaptığı çalışmada sayısal yakın mesafe fotogrametri yöntemi ile hacim hesaplama performansını araştırmıştır. Çalışma kapsamında taban yarıçapı 9 cm ve yüksekliği 9 cm olan yapay bir nesne ile boyutları 10 cm olan küpün hacim hesaplaması fotogrametrik yöntemle, bir doğal tepenin hacim hesaplamasını ise klasik yöntem ve fotogrametrik yöntem ile gerçekleştirmiştir. Yapılan hacim hesaplama işlemler neticesinde fotogrametrik yöntem ile yapılan hacim hesaplama işlemlerinin, klasik yöntemle göre zaman tasarrufu açısından %21,43'ten fazla, doğruluk açısından %10,62'den fazla ve maliyet tasarrufu açısından %33,33'ten fazla avantaja sahip olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Yakar vd. (2009), yaptıkları çalışmada yersel fotogrametri yöntemi ve lazer tarayıcılı total stationların hacim hesaplama işlemlerinde performansı ve kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışma kapsamında arazide üretim gerçekleştiren bir işletme sahasında kazı alanı belirlenmiş ve belirlenen bu kazı alanında lazer ölçüm yöntemi ile fotogrametrik yöntemle üretilen veriler yardımıyla hacim hesaplamaları yapılmıştır. Yaptıkları çalışma neticesinde yersel fotogrametrik yöntem ve lazer tarama ile elde edilen hacim miktarlarının gerçek hacim değerine göre hacim hesaplamalarında kabul edilen hata payı olan %10 hata payı sınırı içerisinde kaldığını tespit etmişlerdir. Yaptıkları çalışma neticesinde kullanılan iki farklı yöntemin beklenen doğruluk, süre, ekonomi ve bölgeye bağlı olarak kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Turner vd. (2011), yaptıkları bir çalışmada İHA ile Güney Tazmany'a'da yer alan Creek bağlarına ait görüntüler elde etmişlerdir. Çalışma kapsamında elde ettikleri fotoğraflar kullanılarak bitki indekslerini hesaplamışlar ve bitkilere ait yansıma değerlerini tespit etmişlerdir. Ayrıca çalışma kapsamında termal kameralar ile elde edilen fotoğrafları kullanarak çalışma alanının yüzey sıcaklığını tespit etmişlerdir. Sonuç olarak çalışma alanında yer alan bitkilerin gelişim süreci, alanlara göre bitkilerin hastalık durumu yüksek çözünürlükte elde edilen görüntüler yardımıyla rahatlıkla tespit edilebileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Yakar ve Doğan (2017), yaptıkları çalışmada Akhayat Obruğunun değişik açılardan çekilen İnsansız Hava Aracı görüntüleri ile üç boyutlu modelleme çalışmasını

gerçekleştirerek kontrol noktalarındaki karesel ortalama hatayı 1.64 cm olarak tespit etmişlerdir. Yapılan çalışmada ayrıca yer örnekleme aralığı 1.37 cm/piksel olan ortofoto ve yer örnekleme aralığı 11 cm/piksel olan SYM üretimi de yapmışlardır.

Gençerk (2016), İHA ile gerçekleştirilen fotogrametrik işlemler sonucu edinilen resimler ile yapılan çalışma neticesinde, kazı-dolgu ve kübaj hesaplarında, arazi ve saha çalışmalarının izlenmesinde ve doğruluğunun mühendislik projelerinde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Yaptığı araştırma sonucunda elde ettiği ortofoto, SYM ve SAM verilerinin 5 cm çözünürlüğe sahip olduğu sonucuna ulaşmıştır. Çalışma kapsamında elde ettiği ürünler üzerinde kübaj hesabı, en kesitler ile boy kesitler alımı ve analizi ile süre, doğruluk ve mali yönlerden yorumlayarak mühendislik çalışmalarında kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Özemir ve Uzar (2016), yaptıkları bir çalışmada Gaziantep 5.Organize Sanayi Bölgesinde fotogrametrik veri üretimi için İHA fotoğraflarını kullanarak yer örnekleme aralığı 3.53 cm olan ortofoto ve 7.06 cm olan SYM elde etmişlerdir. İHA'ların insan hayatı için tehdit oluşturan yerlerde uzaktan veri elde etme fırsatı sunarak anlık çözüm üretebilen tam zamanlı veri kontrolü ile veri üretimini gerçekleştirdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Yakar vd. (2015), yaptıkları bir çalışmada Bezariye Hanının fotogrametrik olarak ölçülmesi, üç boyutlu modelinin üretilmesi ve elde edilen üç boyutlu modellerin, yapının tarihi dokusuna uygun olarak restore edilebilmesi için sağlayacağı avantajları incelemişlerdir. Ayrıca elde edilen bu üç boyutlu modellerin İHA'lar ile fotogrametrik teknikler kullanılarak yapılması ile resim elde etme olanaklarını artırması ve dolayısı ile dokümantasyonun daha gerçekçi ve kapsamlı olduğunu vurgulayarak, fotogrametrik tekniklerin İHA yardımıyla farklı disiplinlerde de kullanılabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Tercan (2018), yaptığı çalışmada İHA ile Antalya şehrinde belirlemiş olduğu bir karayolunda %85 enine, %65 boyuna bindirme oranları ile 140 m yükseklikten uçuş yapmıştır. Uçuş İşlemi sonrası SYM ile ortofoto görüntü elde etmeyi amaçlamıştır. Çalışma esnasında 7 tane yer kontrol noktası (YKN) tesisini Cors-RTK yöntemi ile gerçekleştirmiştir. İHA ile uçuş işlemi sonrası nokta bulutunu sınıflandırarak zemindeki nokta verilerine ulaşmıştır. Çalışma alanında gerçekleştirilen jeodezik

işlemlerin yersel ölçümler ile karşılaştırması sonucunda toprak zeminde 7.32 cm, sert zeminde 3.96 cm ve mekânsal alanlarda ise 4.9 cm yatay doğruluğa ulaşmıştır. Yaptığı çalışma sonucunda SYM, SAM ve ortofoto üretiminin, bitki örtüsünün seyrek olduğu ve düz arazi yüzeylerinde kullanılabileceğini belirtmiştir.

Kılınçoğlu (2016), hazırladığı yüksek lisans tezinde çeşitli İHA'ların fotogrametri işlemlerinden karşılaştırmasını ve kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmasında Döner kanatlı (DJI) İHA ile sabit kanatlı İHA kullanmıştır. Yaptığı işlemler sonucunda elde ettiği verileri fotogrametri işlemlerinde kullanılan yazılım programlarından olan Pix4D ile değerlendirmiştir. Birbirinden platform olarak farklı şekilde kullanılan kameralar ile İHA'ların sonuçları YKN kullanmadan ve kullanarak sonuç veri değerlemesini yapmıştır. Yaptığı değerlemenin amacı tarımsal faaliyetlerde kullanılmasının araştırılmasıdır. Değerlendirme işlemi sonucunda ortofo haritası ve SYM üretimini yapmıştır. Daha sonra elde ettiği verileri üzerinde YKN etkisi ile doğruluk analizlerini yapmıştır. Yapılan çalışma içerisinde döner kanatlı ve sabit kanatlı İHA karşılaştırmaları yapılmış ve dezavantajları ile avantajları ortaya çıkarılmıştır.

Yılmaz vd. (2018), yaptıkları çalışmada İHA verileri yardımıyla Ortofoto üretimi ile Aksaray Üniversitesi Kampüsünün ortofoto görüntüsünün üretimini gerçekleştirmiştir. Çalışma kapsamında uçuş işlemleri tamamlandıktan sonra elde edilen veriler Virtual Surveyor İHA yazılımı ile değerlendirilmiş ve çalışma alanının SYM ve ortofoto haritası elde edilmiştir. Ayrıca elde edilen verilerin doğruluğunun kontrol edilmesi amacıyla üç boyutlu model ve ortofoto haritada beş noktada yatay uzunluk ve beş noktada özellikle yapılarda düşey uzunlukların ölçümü yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen ürünlerdeki ortalama konum hatası ± 2.38 cm, ortalama yükseklik hatası ise ± 9.94 cm olarak hesaplanmıştır. Üç boyutlu modellerinin üretilmesinde düşey resimlerin yanında eğik resimlerinde çekilmesinin önem arz etmesi ve eğik resimlerinde çekilmiş olması nedeniyle konum doğruluğunun, yükseklik doğruluğundan daha yüksek çıktığı belirtilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda klasik hava fotogrametrisine göre SAM, SYM, küçük alanlarda hâlihazır harita üretimimin ve birçok disiplin tarafından kullanılan ortofoto harita üretiminin İHA ile daha ekonomik ve kısa sürede uygun yükseklik ile konum hatalarına sahip olarak elde edilebileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Kaya vd. (2019), yaptıkları çalışmada Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüsü'nde yer alan göletin kapasitesi ve hacminin hesaplaması çalışması ile hacim hesaplamalarında İHA kullanımını araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada Harran Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'ndan aldıkları referans bilgi doğrultusunda göletin planlanan su yüksekliğinin 1.40 m olduğu ve 1.40 m su yüksekliği için toplam hacminin ise 23.430,09 m^3 bilgisini belirterek elde ettikleri değeri gerçek hacim değeri olarak kabul etmişlerdir. Çalışma kapsamında İHA ile elde edilen resimlerden uygun olanları Pix4D yazılımında değerlendirmesi yapılmıştır. Yapılan çalışma ile göletin gerçek hacmi ile jeodezik yöntemle elde edilen hacim değeri arasında %4.07, göletin gerçek hacmi ile fotogrametrik yöntem ile elde edilen hacim değeri arasında ise %0,50 fark olduğunu tespit etmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda fotogrametrik yöntem ile hacim hesaplamasının jeodezik yöntemlere göre iş gücü, maliyet ve zaman açısından daha avantajlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Ulvi (2018), yaptığı çalışmada İHA kullanarak fotogrametrik teknikler ile hacim hesaplamasını araştırmıştır. Çalışma kapsamında Selçuk Üniversitesi Alaaddin Keykubat Kampüsü içerisinde 20 m x 18 m x 3 m boyutlarına sahip bölge çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında klasik yöntem ile çalışma bölgesinde toplam hacmi 286 m^3 olarak hesaplanmış ve klasik yöntem ile hacim hesaplamasının toplam 220 dakikada tamamlandığını belirtmiştir. Aynı çalışma kapsamında fotogrametrik yöntem ile çalışma bölgesinde toplam hacmi 287.94 m^3 olarak hesaplamış ve fotogrametrik yöntem ile hacim hesaplamasının toplam 60 dakikada tamamlandığını belirtmiştir. Yaptığı çalışma kapsamında klasik yöntem ile elde edilen toplam hacim ile fotogrametrik yöntem ile elde edilen toplam hacim arasında 1.94 m^3 fark elde etmiş ve iki işlem arasında doğruluk analizini %99.33 olarak hesaplamıştır. Yaptığı çalışma neticesinde fotogrametrik yöntem ile hacim hesaplama işlemlerinin klasik yöntemler ile kıyaslandığında yeterli doğruluk oranına sahip olduğu, zaman ve maliyet yönlerinden ise fotogrametrik yöntemler ile hacim hesaplama işlemlerinin klasik yöntemler ile yapılan hacim hesaplamaları işlemlerine kıyasla daha avantajlı olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Ulvi vd. (2020), yaptıkları çalışmada İHA ve yersel fotogrametrik teknikler kullanarak Aksaray Kızıl Kilise'nin üç boyutlu nokta bulutu ve modelinin

üretilmesini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada Kızıl Kilise'nin dış cephe çizimleri, nokta bulutları ve üç boyutlu modeli elde edilmiştir. Elde edilen veriler Photomodeler UAS ve Agisoft Photoscan yazılımlarında değerlendirilmiş ve çalışma alanının üç boyutlu modelleri elde edilmiştir. Elde ettikleri üç boyutlu modellerin doğruluk analizini ise jeodezik ölçme aleti ile temin edilen koordinat verileri ile üç boyutlu modellerden elde edilen test verileri karşılaştırılmıştır. Ölçme aleti ile elde edilen koordinatlar kesin koordinatlar olarak kabul edilmiş, aynı koordinat değerleri üç boyutlu modellemede kullanılan her iki yazılımda da değerlendirilmiş ve farkları hesaplanarak noktaların karesel ortalama hatalarına ulaşılmıştır. Yapılan karesel ortalama hesabı sonucunda x, y, z koordinatlarında ortalama konum hatası; Photomodeler yazılımında ± 20.4 mm ve Agisoft yazılımında ise ± 17.1 mm olarak hesaplamışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda fotogrametri tekniği kullanımının uzun süredir kültürel ve tarihi eserlerin belgelenmesinde ve rölöve çalışmalarında klasik yöntemlere göre kullanıcıya maliyet, zaman, hassasiyet ve görsellik olarak avantajlar sağladığı sonucuna ulaşmışlardır.

Takeuchi ve Nakanishi (2019), yaptıkları bir çalışmada nehir yataklarında bulunan maddelerin boyutlarını tespit edebilmek için klasik yöntemlerin kullanımının, kısa vadede büyük alanları araştırmanın ve konumsal dağılımı hakkında doğru bilgi edinmenin zorluklarına değinerek, görüntü işleme teknikleri veya yüksek çözünürlüklü topografik verileri kullanmanın etkin bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma kapsamında İHA verileri yardımıyla çakıl ve kumun parçacık boyutunu tahmin etmek için Yapay Sinir Ağı Modeli üretmişlerdir. İHA görüntüleri yardımıyla elde ettikleri SAM ile yüksek tahmin doğruluğu sağlamışlardır. Çalışmada önerilen Yapay Sinir Ağı Modelleri, nehir yatağı parçacıklarının çapını yaklaşık $-0,7$ mm ortalama hata ve yaklaşık $16,3$ mm ortalama standart sapma oranı ile yüksek doğrulukla tespit etmişlerdir.

Becker vd. (2018), yaptıkları çalışmada İHA ile elde edilen resimlerden üretilen görüntüleri Pix4D programında değerlendirerek farklı yoğunluklarda üretilen nokta bulutlarının sınıf etiketlerini elde etmek için uygun bir yöntem olduğunu ortaya koymuşlardır. Çalışma kapsamında geometrik özelliklere ek olarak renk bilgisini de dahil ederek anlamlı sınıfların tespitinde ve doğrulukta önemli bir artış sağlamışlardır. Yaptıkları çalışmada sınıflandırmada makine öğrenmesini yöntemini

kullanmışlardır. Makine Öğrenimi için Random Fores ve Gradient Boosted Trees metotları ile test verilerini sınıflandırmışlardır. Çalışma sonucunda Gradient Boosted Trees metodu kullanımının daha başarılı sonuç verdiğiine değinerek daha fazla eğitim verisi ile daha başarı sonuçlar elde etmişlerdir. Sonuç olarak bina ve diğer sınıfları daha doğru tespit etmişlerdir.



3. HACİM HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

Mühendislik işlemlerindeki en önemli hesaplama işlemlerinden biri de hacim hesabıdır. Madencilik işlemleri, kazı-dolgu işlemleri, kanal ve yol çalışmaları gibi çeşitli alanlarda hacim hesabına ihtiyaç duyulmaktadır.

Hacim hesaplamaları literatürde genel olarak yüzeysel nivelman ölçüleri, eşyükseklik eğrili planlardan ve enkesitler ile yapılmaktadır. Ayrıca fotogrametri veya takometrik ölçüler yardımıyla elde edilen koordinatlar yardımıyla da hacim hesapları yapılabilmektedir (Avcı, 2010).

Hacim hesaplama yöntemlerinden bazıları aşağıda belirtilmiştir:

- Yüzeysel Nivelman Ölçüleri Yardımıyla Hacim Hesabı,
- Üç Boyutlu Koordinatlar Yardımıyla Hacim Hesabı,
- Enkesitler Yardımıyla Hacim Hesabı,
- Eşyüksekli Eğrili Planlar İle Hacim Hesabı,
- Düzensiz Dağılmış Dayanak Noktaları İle Hacim Hesabı,
- Düzenli Dağılmış Dayanak Noktaları İle Hacim Hesabı

3.1 Yüzeysel Nivelman Ölçüleri Yardımıyla Hacim Hesabı

Bu teknikte hacim hesaplanacak arazi yüzeyi geometrik olarak üçgen, kare veya dikdörtgenlerden oluşan kafes sistemlerine ayrılır. Oluşturulan kafes sistemlerinin konumları ve köşe noktaları koordinat değerlerinin bilinmesi sayesinde arazide çalışmalarında elde edilen taban kotu ile üçgen, kare veya dikdörtgen prizmalardan yararlanılarak hacim hesaplamaları yapılabilir (Avcı, 2010).

3.2 Üç Boyutlu Koordinatlar Yardımıyla Hacim Hesabı

Bu yöntemde köşe noktalarının koordinat değerleri bilinen yüzeyin taban kotuna kadar olan hacmi ağırlık merkezleri veya üçgen prizmalar yardımıyla hesaplanabilir.

3.3 Enkesitler Yardımıyla Hacim Hesabı

Enkesit alanlarından ve peş peşe gelen kesitler arasında yer alan mesafelerden faydalanılarak hacim hesaplama işlemi yapılmaktadır. Burada sözü edilen enkesitler

karişik kesit olmayıp, sadece yarma veya dolgu kesitidir. Enkesitlerin farklı durumları ile ilgili hacim hesabı için literatürde çok sayıda bilgi bulunmaktadır.

3.4 Eşyüksekti Eğrili Planlar İle Hacim Hesabı

Eşyüksekti eğrili planlar ile hacim hesabı işlemi genel olarak enkesitler ile yapılan hacim hesaplama işlemine benzemektedir. Enkesitler ile hacim hesabında kullanılan formüller eşyüksekti eğrili planlar ile hacim hesabında da geçerlidir. Buradaki fark matematiksel formüllerde enkesit alanlarının yerini eşyükseklik eğrilerinin çevrelediği alanlar; enkesitler arasındaki uzaklığın yerini ise eşyükseklik eğrileri arasındaki yükseklik farkları almaktadır. Eğrilerin çevrelediği alanlar ise planimetre ile tespit edilmektedir.

3.5 Düzensiz Dağılmış Dayanak Noktaları İle Hacim Hesabı

Bu yöntemde yükseklikler enterpolasyon yöntemleri ile belirlendikten sonra noktalardan enterpolasyon yöntemi ile yeni noktalar oluşturulur ve yeni oluşturan noktalar ile dörtgen prizmalar veya düzenli üçgen modelleri oluşturularak hacim hesaplamaları yapılabilmektedir (Ekinci, 2011).

3.6 Düzenli Dağılmış Dayanak Noktaları İle Hacim Hesabı

Bu yöntemde yüzey alanları hesaplanabilen üçgen veya dörtgen prizmaların hacimleri ile kazı-dolgu öncesi ve sonrası kotlarının farkının hesaplanması ile hacim hesaplama işlemi yapılmaktadır (Ekinci, 2011).

3.7 Enterpolasyon Yöntemleri

SYM veya Sayısal Arazi Yükseklik Modeli (SAYM), Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu tarafından yapılan tanımında, X ve Y yönünde düzenli aralıklar ile ayrılmış alanlarda ortak bir düşey datuma dayandırılmış Z (yükseklik) değerlerini kapsayan kartografik arazi temsil yöntemidir (Yastıklı ve Jacobsen, 2003). SAM ise SYM'den çok daha geniş kapsamlı olup, yüzeyin en detaylı ve iyi şekilde temsil edilmesini sağlayan, topografik detaylara, dere, nehir, kıyı vb. önem derecesi yüksek arazi hatlarına ve düzensiz bir şekilde dağılmış yüzey noktalarına ait yükseklik değerlerini kapsayan bir modeldir.

SAM, bilgi toplanması ve verilerin işlenmesi büyük problemlere neden olan kıyı şeridi, nehir vb. topografik hatları içermesi nedeniyle SYM'ye göre üretim aşaması daha uzun sürmekte ve üretim maliyeti daha yüksek olan bir modeldir. SYM'nin fiziksel yeryüzünü tüm detayları ile içermesi pratik anlamda tam mümkün değildir (Yanalak, 2002). Bu sebeple modellemesi yapılacak yüzeydeki tüm noktaların tanımlanması yerine örnekleme noktaları ve uygun bir enterpolasyon yönteminin kullanılması ile modelleme yapılır. Bu yöntem ile elde edilen SYM'ler Coğrafi Bilgi Sistemlerinde kazı ve dolgu hacim hesapları, eş yükseklik eğrisi, perspektif görüntü, en kesit-boy kesit elde etme ve görünürlük analizi oluşturma gibi değişik analiz ve sorgu sonuçlarını sayısal olarak elde edilmesi mümkündür (Çolak ve Taştan, 1999).

Peyzaj alanlarının dijital modeli, ticari alanda ve kamu yönetiminde kullanılan coğrafi bilgi sistemlerinin oluşturulmasında önemli bir paya sahiptir. Hidroloji, jeomorfoloji, ekoloji, jeoloji, haritacılık vb. gibi bir dünya yüzeyini modelleyen uygulamalarda önemli bir araçtır. Birçok yazılım ürünü, peyzajın dijital bir modelinin oluşturulması için farklı enterpolasyon yöntemleri sunar. Doğruluğu ve kalitesi, bir enterpolasyon yönteminin seçiminden ve girdi verilerinin kesinliğinden etkilenir (Yılmaz, 2007).

Enterpolasyon istatistikte bir kestirim problemi ve matematiksel bir yaklaşımdır. SAM yüzeylerinde enterpolasyon, komşu noktaların yüksekliklerinden faydalanarak, bir noktanın yükseklik değerinin belirlemek için kullanılmaktadır. Doğruluk değerlemesi, arazi analizleri ve uygulamaları, kalite kontrolü gibi modelleme sürecinin çeşitli aşamalarında yer almasından dolayı enterpolasyon yöntemleri SAM oluşumu için kullanılan temel teknikler arasında yer almaktadır (Keçeci, 2011).

Enterpolasyon Yöntemleri farklı kriterlere göre sınıflandırılarak farklı amaçlar için kullanımı mümkündür. Li vd. (2005), farklı kriterlere göre enterpolasyon yöntemlerini aşağıda yer alan Çizelge 3.1'de gösterildiği sınıflandırmıştır.

Çizelge 3.1. Farklı kriterlere göre enterpolasyon yöntemlerinin sınıflandırılması (Li vd., 2005).

ENTERPOLASYON YÖNTEMLERİ	KRİTER
Sayısal İterasyon, Analitik	Olgunun Karmaşıklığı
Fonksiyonel, Stokastik	Problemin Kesinliği
Kesinlik, Yaklaşık	Fonksiyonların Doğruluğu
Konumsal, Spektral	Etki Alanının Önemi
Doğrusal veya Doğrusal Olmayan	Yüzeyin Düzgünlüğü
Adım, Sürekli	Yüzeyin Devamlılığı
En İyi Uydurma, Gerçek Uydurma	Yüzeyin Doğruluğu
Nokta veya Alan Tabanlı	Alanın Büyüklüğü

SAM veya SYM oluşturulurken kullanılan farklı enterpolasyon yöntemleri bulunmaktadır. Enterpolasyon Yöntemleri birbirinden farklı sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle enterpolasyon yönteminin doğru sonuç verebilmesi için arazi yüzey tipine uygun olan yöntemin seçilmesi çok önemlidir.

Enterpolasyon Yöntemlerinden bazıları aşağıda belirtilmiştir:

- Basit Lineer Enterpolasyon
- Bilineer Enterpolasyon
- Bikubik Spline Enterpolasyon
- Polinomlar İle Enterpolasyon
- Ağırlıklı Aritmetik Ortalama İle Enterpolasyon
- Çok Yüzeyli Enterpolasyon
- Kayan Yüzeyler İle Enterpolasyon
- En İyi Yerel Yüzey Belirleme Enterpolasyonu
- Doğal Komşuluk Enterpolasyonu
- Kriging Yöntemi İle Enterpolasyon
- Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon
- En Küçük Eğiklik Yüzeyin Enterpolasyonu

4. İNSANSIZ HAVA ARACI

Şekil 4.1’de bir örneği gösterildiği üzere İHA içinde insan bulunmayan boş veya pilotsuz bir tür motorlu uçan araç olarak tanımlanabilir. İnsansız Hava Araçlarının en önemli ve zorunlu bileşeni, yer tabanlı bir kontrolör ile araç arasındaki iletişim sistemidir (Sharma vd., 2020).



Şekil 4.1. Bayraktar akıncı insansız hava aracı (URL-1).

İHA’lar düşük maliye ile yüksek performansa sahip olmasından dolayı askeri ve sivil amaç ile uygulamalar başta olmak üzere birçok havacılık alanında en önemli teknolojilerden biridir. İHA’lar kısa kanat açıklığına (sabit veya döner kanatlı) ve hafif bir yapıya sahip olmasının yanında uçuş sırasında hassa bir yapıya sahiptir (Jung, 2004).

İHA'lar biyolojik, hiperspektral, kimyasal, radar, kızıl ötesi ve termal sensörlere sahip farklı görüntüleme aletleri ile entegre edilerek gece ve gündüz görüntü alabilme imkanı sağlamaktadır. Gerçek zamanlı yer istasyonuna veri transferi özelliği ile birlikte sel, hava durumu ve yangın gibi önemli bilgileri yer istasyonuna aktarabilmektedir (Rawat ve Lawrence, 2014).

Genel olarak bir İHA sistemi aşağıda belirtilen bileşenleri içermektedir;

1. Ekipmanlar (Sensörler vb.)
 2. İletişim Ağı
 3. Deneyimli İHA kullanım personeli
 4. Bazı durumlarda İHA fırlatma elemanı
- (Winnefeld ve Kendall, 2013, Yılmaz vd. 2018)

4.1 İnsansız Hava Aracı Sınıflandırılması

İHA'lar kendi içerisinde genel olarak sabit kanatlı İHA (Şekil 4.2) ve döner kanatlı İHA (Şekil 4.3) olarak sınıflandırılmaktadır.



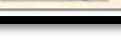
Şekil 4.2. Sabit kanatlı İHA (URL-2).



Şekil 4.3. Döner kanatlı iha (URL-3).

Ayrıca İHA sistemleri kurum, kuruluşlar ve ülkeler tarafından farklı yaklaşımlar ile sınıflandırılmıştır.

NATO ve İngiltere Savunma Bakanlığı tarafından hazırlanmış olan İHA'ların ana 3 kategoride sınıflandırılması ise aşağıda Şekil 4.4 ile gösterilmiştir.

Sınıfı	Kategorisi	Görev Yüksekliği (ft)	Görev Yarıçapı (km)	Sivil Kategori	Örnek Platform
Sınıf I (150 kg.dan hafif)	Mikro (<2 kg)	<200 (AGL)	5 (LOS)	Ağırlık Sınıfı Grup 1 Küçük İHA (<20 kg)	Black Widow 
	Mini (2<20 kg)	<3.000 (AGL)	25 (LOS)		Bayraktar, Scan Eagle 
	Midi (>20 kg)	<5.000 (AGL)	50 (LOS)	Ağırlık Sınıfı Grup 2 Hafif İHA (20<150 kg)	Hermes 90 
Sınıf II (150-600 kg)	Taktik	<10.000 (AGL)	200 (LOS)	Ağırlık Sınıfı Grup 3 İHA (>150 kg)	Çaldiran, Karayel, Aerostar 
Sınıf III (600 kg.dan ağır)	Orta İrtifa Uzun Havada Kalış (MALE)	<45.000 (MSL)	Limitsiz (BLOS)		ANKA, Heron, Predator, Reaper 
	Yüksek İrtifa Uzun Havada Kalış (HALE)	<65.000	Limitsiz (BLOS)		Global Hawk 
	Darbe / Muharebe	<65.000	Limitsiz (BLOS)		Phantom Ray 

Şekil 4.4. Nato ve ingiltere savunma bakanlığı tarafından hazırlanmış olan iha sınıflandırılması (Karaağaç, 2014).

UAV Association tarafından İHA'lar üç farklı kategoriye ayrılmış olup, araçların her bir katmanı özellik (menzil, maksimum çıkış yüksekliği, kütle, ağırlık, uçuş süresi) ve performanslarına göre alt gruplara ayrılmıştır (Şekil 4.5).

İHA KATEGORİLERİ 1	Kısaltma	Menzil (km)	Çıkış Yüksekliği (m)	Havada Kalış Süresi (Saat)	Kütle (kg)
Micro	μ(Micro)	< 10	250	1	<5
Mini	Mini	< 10	150 - 300	<2	150
Yakın Resim	CR	10-30	3000	2-4	150
Kısa Mesafe	SR	30-70	3000	3-6	200
Orta Mesafe	MR	70-200	5000	6-10	1250
Orta Dayanıklı Derinlikli	MRE	> 500	8000	10-18	1250
Düşük Dayanıklı Derinlikli	LADP	> 250	50 - 9000	0.5-1	350
Düşük Dayanıklı Uzun Derinlikli	LALE	> 500	3000	24	30
Orta Yükseklik Uzun Dayanıklı	MALE	> 500	14000	24-48	1500

Şekil 4.5. Uluslararası iha topluluğu tarafından hazırlanan iha sınıflandırması (Mahmod ve Yılmaz, 2018).

4.2 İnsansız Hava Aracı Kullanım Alanları

İHA'lar, sağlamış oldukları düşük maliyet ve yüksek performans nedeniyle askeri ve sivil alanda gerçekleştirilen uygulamalar başta olmak üzere havacılık uygulamalarında kullanılan en önemli teknolojilerden arasında yer almaktadır. İHA Sistemleri, 2000'li yılların başından itibaren hızla yayılmış, sistemlerin sayısı ve çeşitleri artarken aynı zamanda kabiliyetleri de oldukça gelişmiştir.

Son birkaç yıldır ise sivil alanda kullanımı yaygınlaşan küçük boyutlu İHA'lar, tam otomatik ve yarı otomatik destekli yazılım ve donanımların gelişmesi ile birlikte boyutları da büyümüştür. Yapılan gelişmelere doğrultusunda küçük boyutlarda ve düşük maliyetlere sahip GPS, sensörler, entegre sistemler ve gövde malzemelerinin eklenmesi ile İHA'ların sivil hayatta kullanım alanları yaygınlaşmıştır. İHA'lar, sahip oldukları çeşitli görüntüleme cihazları (hiperspektral, radar, kimyasal, biyolojik, kızıl ötesi, termal vb.) ile gece ve gündüz görüntü elde edebilmektedir. Bu sayede İHA'lar tarım, ormancılık, mimari, haritacılık, arkeoloji gibi alanlarda kullanımı yaygınlaşmaktadır.

İHA'ların görevleri çok geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda belirtilmiştir:

➤ **Uzaktan Algılama:**

Uzaktan Algılama amacıyla üretilen İHA'ların bünyesinde biyolojik, kimyasal ve elektromanyetik tayf algılayıcıları bulunmaktadır. İnsansız Hava Araçları bünyesinde elektromanyetik sensörler içerisinde görsel spektrum, kızılötesi (infrared) ve yakın kızılötesi (near infrared) kameralar ile radar sistemlerini barındırmaktadır. Diğer elektromanyetik dalga dedektörleri ise microwawe (mikro dalga) ve ultraviyole spektrum algılayıcıları olmakla birlikte, İHA sistemlerinde çok fazla kullanılmamaktadır. Biyolojik algılayıcılar havada bulunan çeşitli mikroorganizma ve biyolojik etkilerin araştırılmasında kullanılmaktadır. Kimyasal algılayıcılar ise havada bulunan elementlerin araştırılmasında kullanılmaktadır.

➤ **Taşıma:**

İHA'lar sahip oldukları özelliklere göre yük taşıma kapasitesine sahiptir.

➤ **Arama ve Kurtarma:**

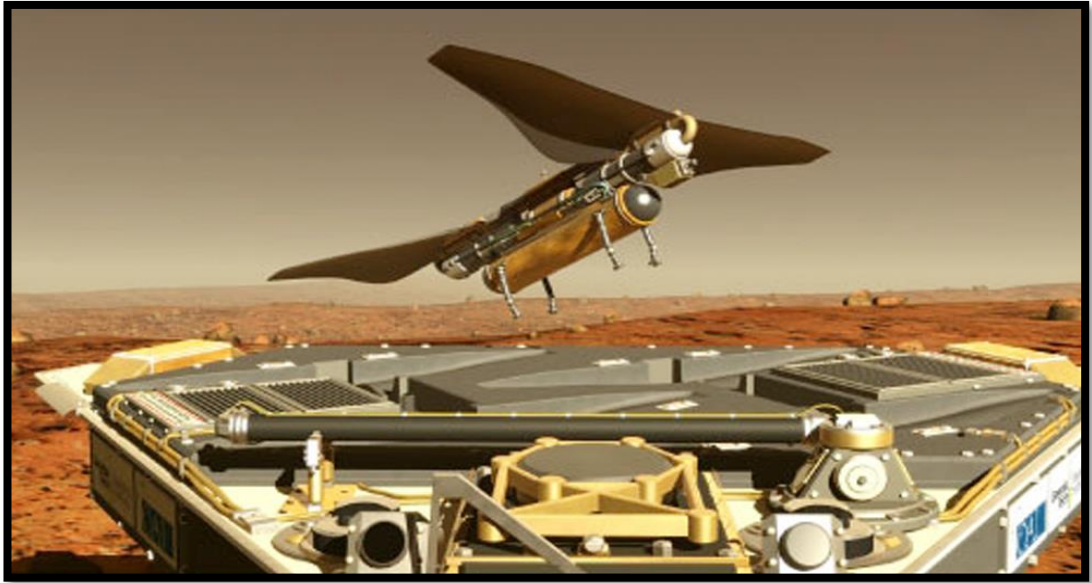
İHA'lar düşük maliyet, gerçek zamanlı veri elde etme ve hız yönlerinden arama ve kurtarma çalışmalarında kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Örneğin ABD'de deniz seviyesinden 18.000 ile 29.000 feet üzerindeki bir irtifada uçuş yeteneğine sahip Predator isimli İHA arama ve kurtarma çalışmalarında kullanılmaktadır. Predator İHA (Şekil 4.6), görsel algılayıcılar ve sentetik diyagram radarı (SAR) ile donatılmış olup, sahip olduğu SAR her türlü hava şartlarında gece veya gündüz gerçek zamanlı görüntüler elde edebilmektedir. SAR görüntülerindeki tutarlı değişim algılaması arama ve kurtarma yeteneği sağlamakta olup, çekilen resimler ofis ortamında değerlendirilerek arama, kurtarma ve hasar tespit işlemleri yapılabilmektedir.



Şekil 4.6. Predator iha (URL-4).

➤ **Bilimsel Araştırma:**

İHA'lar erişimi çok zor alanlarda çok tehlikeli alanlarda kullanım imkânları sağlaması nedeniyle bilimsel araştırmalarda kullanımı yaygınlaşmaktadır. Örneğin NASA, Mars gezegeninde yapılacak incelemeler için Entomopter isimli İHA (Şekil 4.7) tasarımını finanse etmektedir.



Şekil 4.7. Entomopter iha (URL-5).

İHA yeniden konuşlanma, intikal, uçuş, destek, bakım, haberleşme fonksiyonlarından oluşan destek unsurları ile yer kontrol kullanıcısı, faydalı yük operatörü, bakım personeli istihbarat analiz personeli, görev komutanı gibi insan unsurlarından oluşmaktadır. Bu unsurları ile İHA sistemleri; istihbarat, keşif, gözetleme, hedef belirleme, lazer işaretleme, taarruz, hasar tespiti ve takibi, kargo nakli, lojistik ikmal, haberleşme, meteorolojik ve oşinografik (deniz bilimi) ile muharebe alanlarında kullanılmaktadır.

İHA'ların diğer hava araçlarına göre sağladığı avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. İHA'ların diğer hava araçlarına göre sağladığı avantajlardan bazıları aşağıda belirtilmiştir:

1. Riskli Ortamlarda Uçuş Kabiliyeti:

İHA'lar sahip oldukları entegre sistemleri ve kabiliyetleri ile insan hayatını tehlikeye sokacak alanlarda görüntü alımı ve veri elde etme imkanı sağlamaktadır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Fukuşima nükleer santralindeki hasarın iha görüntüsü (URL-6).

2. Tasarım Kolaylığı:

İHA'lar boyutsal olarak minimal ölçülerden büyük ölçülere sahip olacak şekilde üretimi imkânına sahiptir. Ayrıca iniş ve kalkış alan ihtiyacı ve sistemleri ve diğer hava araçlarına göre çok daha ekonomik seviyededir.

3. Havada Kalış Süresi:

Taşıdıkları yüklere göre İHA'lar yakıt ikmallsiz havada 20 saatten fazla kullanım imkânları bulunmaktadır. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak gelişimleri devam eden ve güneş enerjisi ile çalışması planlanan İHA'ların daha uzun süreler havada kalabileceği öngörülmektedir.

4. Uçuş Kabiliyetleri:

İHA sistemleri sahip olduğu aerodinamik yapıları ile diğer hava araçlarına göre uçuş esnasında aynı görevi defalarca ve farklı açılardan gerçekleştirmesi mümkündür.

İHA sistemlerinin dezavantajlarından bazıları ise aşağıda belirtilmiştir:

I. Veri Linki Temininde Yaşanan Sorunlar:

Uçuş sistemlerinin ile görevin takibi ve İHA'nın manuel kontrolü için veri linki bağlantısı gerekmektedir. Veri linki; elektronik karıştırmaya açık olması, fiziksel mesafe, sinyalin gücü, sinyali etkileyen fiziksel engeller ile karşılaşmakta ve görevin başarılı sonuçlanması olumsuz etkilenmektedir.

II. Rüzgâr:

İHA'lar iniş ve kalkışını etkileyebilecek rüzgârlara karşı belirli limitlere tabidir. Özellikle sivil alanda kullanılan birçok İHA düşük süratlerde uçuş yapmakta olup, bu durum görev esnasında uçuş esnasında rüzgâr nedeniyle olumsuz sonuçlara neden olabilmektedir.

III. Türbülans:

Bir başka hava olayı olan türbülans İHA'ların kontrol edilmesini zorlaştırmakta ve veri kaybına neden olmaktadır.

IV. Diğer Hususlar:

İniş/kalkış şartları, hava sahası kısıtlamaları, özel yakıt ihtiyacı, sis, duman, şiddetli yağış, alçak irtifa bulutları, termal geçişler, aşırı sıcaklık gibi faktörler İHA sistemlerinin kullanımında olumsuz sonuçlarla karşılaşılmasına neden olmaktadır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Olumsuz hava şartları nedeniyle düşen bir iha (URL-7).

4.3 Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (Böhhbüy) İnsansız Hava Aracı Kullanım Esasları

BÖHKBÜY kapsamında İHA kullanım esasları Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü internet sitesinde yer alan Harita Daire Başkanlığı kısmında detaylı olarak incelenmiş ve aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır (URL-8).

26 Haziran 2018 tarihli ve 30460 Sayılı Mükerrer Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği’nin (BÖHKBÜY’ün); “Detay Ölçmeleri” başlıklı 45-1/a maddesinde belirtilen, “Detay noktaları, elektronik takeometri, GNSS, LİDAR veya diğer teknik ve yöntemler kullanılarak ölçülebilir” ve “Detay Ölçme Doğruluğu” başlıklı 46-1. Maddesinde yer verilen “Detay noktalarının izdüşüm koordinatları ve yükseklikleri, elektronik takeometri, GNSS, LİDAR veya diğer teknik ve yöntemler kullanılarak; yatay konum doğruluğu $(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)^{1/2} \pm 7$ cm (dâhil)’den daha iyi ve Helmert ortometrik yükseklik doğruluğu $(\sigma_H) \pm 7$ cm (dâhil)’den daha iyi olacak şekilde ölçülecektir” hükümleri gereği detay noktalarının ölçülmesinde yeni teknolojik yöntemlerin kullanılmasına olanak sağlamıştır. Bu çerçevede; İHA Sistemleri ile Üretilmiş Sayısal Fotogrametrik Haritaların (Vektör veya Ortofoto Haritaların) yukarıda belirtilen konum doğruluklarını sağlaması amacıyla Üretim, Kontrol ve Arşivlenmesi için aşağıdaki ölçüt ve esasların belirlenmesi gereği duyulmuştur:

4.3.1 Genel ölçütler

Sayısal Fotogrametrik Harita/Ortofoto Harita üreten gerçek veya tüzel kişilerin aşağıdaki genel kontrol ölçütlerini sağlamaları gerekmektedir:

1. Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) tarafından yayınlanan “İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatında (SHT-İHA) belirtilen ölçütlere uyulacaktır.
2. Görüntü alımı için kullanılan İHA’nın SHGM’ne ticari olarak kayıtlı olduğuna ilişkin belge ve İHA kullanıcısının pilot sertifikası bulunacaktır.
3. Sayısal Fotogrametrik Harita veya Ortofoto Harita Üretimi sorumluluğunu üstlenen ve BÖHHBÜY’de belirtilen sorumlu Harita/Geomatik/Jeodezi ve Fotogrametri/ Harita ve Kadastro Mühendisinin diploma örneği ile TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odasına (HKMO) kayıtlı olduğuna ilişkin Büro Tescil Belgesi bulunacaktır.

4.3.2 Donanım ölçütleri

1. Görüntü alımında kullanılan kamera sabit odak uzaklığına sahip olacaktır.
2. Görüntü alımında metrik veya kalibrasyonu yapılmış (yazılım destekli self kalibrasyon) kameralar kullanılacaktır.
3. Görüntü yürümesini engelleyecek yazılımsal ya da donanımsal çözümler bulunacaktır.
4. Görüntü alımında kullanılan kamera balıkgözü tipi objektiflere sahip olmayacaktır.
5. Hava fotoğrafı çekiminde en az 20 MP çözünürlüklü kamera kullanılmalıdır.
6. Görüntü alımı yapılacak İHA Sistemlerinde Gerçek Zamanlı Kinematik (Real-Time Kinematic: RTK) veya büro hesaplamalarında kullanılan (Post-Processing Kinematic: PPK) küresel navigasyon uydu sistemleri alıcı/anten kiti bulunacaktır.
7. Kadastral detay çizimleri stereo destekli bilgisayar ve fotogrametrik amaçlı kullanılan CAD destekli yazılımlar ile çok fonksiyonlu fareler kullanılarak yapılacaktır.

4.3.3 Üretim ölçütleri

1. Proje sahasındaki TUTGA, C1, C2, C3 noktalarının dışında proje sahasında maksimum 400 metre aralıklarla ve idarenin uygun gördüğü dağılım ve sıklıkta yeteri kadar YKN tesis edilecektir.
2. YKN noktaları C4 derece nokta hassasiyetinde ölçülecek olup, bu noktaların ortometrik yükseklikleri (H) ana nivelman ölçüsünde geometrik nivelman ile veya proje bölgesi için hesaplanan jeoit modeli ile belirlenecektir. YKN'lerin zemin cinsleri boru, çivi veya poligon betonu olacak şekilde tesis edilecek ve uçuş öncesi hava işaretleri yapılacaktır.)
3. Görüntü alımı Yer Örnekleme Aralığı 5 – 7cm aralığında olacak şekilde yapılacak olup, bu değerin sapması $\pm\%10$ 'u geçmeyecektir.
4. Boyuna bindirme oranı $\%80$ ve enine bindirme oranı $\%70$ olacak olup, bu oranların sapmaları $\pm\%10$ 'u geçmeyecektir.
5. Uçuş planlaması stereo model alanı minimum 150m*180m olacak şekilde yapılacaktır.
6. Hava görüntülerinin dönüklük açıları (kapa dönüklüğü hariç) 10 (on) dereceden küçük olacaktır.
7. Görüntüler Nisan ile Ekim ayları ve 10:00 ile 15:00 saatleri arasında bulutsuz, rüzgârsız ve güneşli bir havada yapılması gerekmektedir. Alım yapılacak alanda kar örtüsü olmaması gerekir. Geniş yapraklı ağaçların çok yoğun olduğu alanlarda ise yaprakların oluşmadığı ya da döküldüğü mevsimlerde alım yapılmalıdır. Ancak, idarenin uygun görmesi durumunda bu tarihler dışında da görüntü alımı yapılabilir.
8. Uçuş çizelgesi tutulacak olup uçuş bölgesi, görüntü alım krokisi, uçuş başlangıç ve bitiş saati, görüntü alım sayısı belirtilecektir.
9. Fotogrametrik nirengi ve fotogrametrik nirengi ölçmeleri işlemleri BÖHHBÜY'nin 59. ve 60. Maddelerine göre yapılacaktır.
10. Fotogrametrik verilerden Kadastral Detay Ölçümü yapımları stereo modellerden gerçekleştirilecektir.
11. Kadastral Detay Ölçümünde kullanılacak stereo modellerde dönüklük ve Yer Örnekleme Aralığı ölçütlerini sağlamayan hava fotoğrafları kullanılmayacaktır.
12. Kadastral Detay Ölçümlerinde zeminin hava fotoğraflarından net bir şekilde

tespit edilemediği durumlarda yersel bütünlemeye gidilecektir.

13. Kadastral Detay Ölçümlerinde meskûn ve gayrimeskûn alanlarda yapı detaylarının belirlenmesi fotogrametrik yöntemlerle yapılmayacak olup; yersel yöntemler kullanılacaktır.
14. Fotogrametrik verilerden Kadastral Detay Ölçümü yaparken stereo modellerin faydalı model alanı olarak stereo modelin merkezinden %80'lik kısmı kabul edilecektir.
15. Stereo model geçişlerinde x,y,z konum sapmaları olmayacak olup, model geçişlerinde detayların konum ve bütünlük ölçütleri sağlanacaktır.

4.3.4 Genel kontrol ölçütleri

1. Donanım ve üretim ölçütleri başlığı altında yer alan hususlara uygun donanım ve yöntemlerin kullanılıp kullanılmadığı kontrol edilecektir.
2. Uçuş planı raporundan planlamanın istenilen değerlerde yapılıp yapılmadığı kontrol edilecektir.
3. Gerçekleşen uçuş raporundan, uçuşun istenilen ölçütlerde yapılıp yapılmadığı kontrol edilecektir.
4. Uçuş çizelgesinden uçuş bölgesi, görüntü alım krokisi, uçuş başlangıç ve bitiş saati, görüntü alım sayısı, kontrol edilecektir.
5. Fotogrametrik nirengi sonuçlarının değerlendirilmesinde YKN'lerin %30'u kontrol noktası olarak kullanılacak olup, nirengi sonuçlarının değerlendirilmesinde noktaların koordinatları karşılaştırılacaktır.
6. Fotogrametrik nirengi sonuçlarının değerlendirilmesi BÖHHBÜY'nin 61. maddesine göre kontrol edilecektir.
7. Genel kontrole uygun olmayan taleplerin teknik kontrolü yapılmayacak olup talepler iade edilecektir.

4.3.5 Kadastral detay kontrolü

1. Kontrolü yapacak Kadastro Müdürlüğü tarafından yetki bölgesi içerisinde belirlenecek yerde, kontrol talep eden firma/şahıs tarafından temin edilecek iş istasyonu ile fotogrametrik yazılım ve donanımlar kullanılarak üretilen detayların en az %5'lik kısmı stereo modeller üzerinden kontrol edilecektir. Stereo model üzerinde detay ölçümlerinin detay tamlığı ile detay noktalarının

konum kontrolleri yapılır.

2. Nokta bulutu veya ortofoto üzerinden sayısallaştırma yolu ile üretilen sayısal vektör haritaların kontrolü yapılmaz. Bu amaçla sayısal vektör verileri, yüklenicinin iş istasyonlarındaki stereo model üzerine bindirilir ve görüntülerdeki detaylar ile çakışıp çakışmadığı kontrol edilir.
3. Kadastral detayların belirtilen ölçütlerde oluşturulan faydalı model alanlarından çizildiği kontrol edilecektir.
4. Sayısal haritalarda bulunan detayların, tüm alanın en az %5'inin arazideki detaylarla karşılaştırılmak suretiyle detay tamlık kontrolü yapılır.
5. Değişik detay özelliği bulunan alanlarda, proje alanına uygun dağılmış detay noktalarının en az %5'i arazideki detaylarla karşılaştırılarak, detayların tamamının paftada bulunup bulunmadığı ve eş yükseklik eğrileri ile topoğrafyanın uyuşup uyuşmadığı tespit etmek amacıyla çizim kontrolü yapılır.
6. Haritaların detay konum kontrolünde, detay noktalarının proje alanına uygun dağılımlı en az %5'i yersel yöntemlerle ölçülür. Konum kontrolünde, arazi yüzeyinde yüksekliği (ağaç, direk, bina, duvar, çit, vb. yüksekliği olmayan) yok sayılabilecek iyi tanımlanabilen detayların yersel yöntemlerle ölçülmesi ve koordinatların karşılaştırılması esas alınır. Detay konum kontrolünde BÖHHBÜY'nin 91.maddesindeki esaslar dikkate alınır.
7. Yapılan kontrollerde işin doğruluğu hakkında tereddüt uyanırsa, bu talimatın E maddesinin 5 ve 6. maddelerinde belirtilen miktarlara bakılmaksızın kontrol yaygınlaştırılır.
8. Kontrol çalışmalarının sonucu, kontrol ölçülerini, hesaplarını, karşılaştırmaları ve değerlendirmeleri içeren bir teknik raporla belgelenir.

4.3.6 Teslim edilecek ve arşivlenecek veriler

1. İHA tekniği ile yapılan ölçmelerde kullanılan yazılım ve donanımlar hakkında bilgiler, algılayıcı sistemlerin özellikleri, kamera kalibrasyonu, görüntü alım planı, ölçme planı, dengeleme/dönüşüm işlem sonuçları, BÖHHBÜY'nin 46, 81-95 maddelerine göre yapılan karşılaştırmalar ile İHA verilerinden üretilen sayısal parsel sınırları ve detayların hangi aşamalarda hangi yöntemlerin kullanılarak oluşturulduğuna ilişkin detaylı bir rapor,

2. İHA teknolojisi ile sayısal ortofoto/harita üretim sürecindeki aşağıda belirtilen veriler, kontrolün yapıldığı birimin bağlı olduğu Kadastro Müdürlüğünde elektronik/sayısal ortamda arşivlenir.

- Kamera/Sensör Bilgileri,
- Görüntü Alım Planı (YKN'ler gösterilecektir),
- Üretimde kullanılan yer kontrol noktası koordinatları,
- Kamera Kalibrasyon parametreleri,
- GNSS/IMU ham verileri ve değerleri,
- Uçuş planlama raporu (Yer örnekleme aralığı, Bindirme Oranları, vb. içerecektir),
- Gerçekleşen uçuş raporu (Yer örnekleme aralığı, Bindirme Oranları, vb. içerecektir),
- Kamera görüntüleri,
- Uçuş çizelgesi,
- Fotogrametrik Dengeleme Sonuçları,
- SAM/SYM/Nokta bulutu,
- Sayısal Vektör Harita ve/ veya Ortofoto Harita,
- Teknik Kontrol Raporu.

3. Genel Müdürlüğümüzce yürütülecek Ulusal Projelerde kullanılmak üzere talep edildiğinde İHA verileri Kadastro Müdürlüklerince ilgili birimlere gönderilir.

4.4 Ülkemizde iha serüveni

Son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmeler ile birlikte Türkiye farklı sınıflarda farklı İHA çözümleri ortaya koyan sayılı ülkeler arasına girmiştir. Türkiye'nin bu alandaki başarıları endüstriyel ve askeri alanda gün geçtikçe artmaktadır.

İHA sistemlerinin gelişim sürecini yakından takip eden ülkemizde operasyonel İHA anlamında İHA serüveni 1990'lı yılların başlarında General Atomics firması tarafından üretilen GNAT marka İHA ithalatı ile başlamıştır. GNAT marka İHA'ların ithalat sürecini takiben Türk Havacılık ve Uzay Sanayi tarafından sırasıyla İHA-X1 (1992), Turna- Keklik (1996), Pelikan- Martı (2003), Gözcü (2007), Öncü (2008), Şimşek (2012) ve Anka İHA sistemleri geliştirildi (URL-9).

Günümüzde ise farklı firmalar tarafından üretilen İHA Sistemleri bulumakta olup, başlıcaları üreten firma isimleri ile birlikte aşağıda belirtilmiştir:

- Baykar Savunma:
 - Baykar Bayraktar Akıncı,
 - Baykar Bayraktar DİHA,
 - Baykar Bayraktar TB2,
 - Baykar Bayraktar TB3,
 - Bayraktar Mini İHA,
- Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret Anonim Şirketi:
 - STM Kargu,
- Türk Havacılık ve Uzay Sanayii:
 - TUSAŞ Aksungur,
 - TUSAŞ Anka,
 - TUSAŞ Baykuş,
 - TUSAŞ Gözcü,
 - TUSAŞ Şimşek
- Vestel Savunma:
 - Vestel Karayel (URL-10).

4.4.1 Baykar bayraktar akıncı iha

Bayraktar Akıncı İHA Baykar Savunma firması tarafından üretimi gerçekleştirilen yüksek irtifa silahlı İHA'dır (Şekil 4.10). İlk uçuşu 6 Aralık 2019 tarihinde gerçekleştirilen Bayraktar Akıncı İHA, 29 Ağustos 2021 tarihi itibarıyla Türk Silahlı Kuvvetleri envanterine dahil edilmiştir (URL-11).

Bayraktar Akıncı İHA 130 Knots seyir hızına ve 195 Knots maksimum hıza; 30.000 feet operasyonel, 40.000 feet maksimum irtifa özelliklerine sahiptir. Maksimum kalkış ağırlığı 6.000 kg olan Bayraktar Akıncı İHA 24 saat havada kalış süresi, 20 m kanat açıklığı, 4.1 m yükseklik, 12.2 m uzunluk teknik özelliklere, 2 adet 750 HP veya 2 adet 450 HP Turboprop motora sahiptir. Ayrıca Bayraktar İHA tam otomatik seyir ve rota takibi, tam otomatik taksi ve park özelliği, dâhili sensör füzyonu destekli otomatik kalkış ve iniş özelliği, yarı otonom uçuş modları desteği, hata toleranslı ve 3 yedekli sensör füzyonu uygulaması, özgün yedekli servo aktüatör

birimleri ile özgün yedekli lityum tabanlı batarya birimleri gibi gelişmiş özelliklere sahiptir (URL-12).

Kendi sınıfında dünyanın en gelişmiş teknolojik sistemi olması için çalışılan Bayraktar Akıncı İHA yerli ve milli imkânlar ile üretilen MAM-L, MAM-C, Cirit, L-UMTAS, Bozok, MK-81, MK-82, MK-83, Kanatlı Güzüm Kiti (KGK)-MK-82, Gökdoğan, Bozdoğan, SOM-A gibi füze, bomba ve mühimmatları ile donatılacaktır. Ayrıca sahip olduğu elektronik destek podu, uydu haberleşme sistemleri, hava-hava radarları, engel tespit radarı, sentetik açıklıklı radar gibi çok daha gelişmiş faydalı yüklerle görev yapacaktır. Türk Silahlı Kuvvetleri envanterinde yer alan savaş uçaklarının yükünü azaltacak olan Akıncı ile havadan bombardıman da icra edilebilecektir (URL-12).



Şekil 4.10. Baykar bayraktar akıncı iha (URL-11).

5. UYGULAMALAR

5.1 Hacmi Bilinen Tarımsal Ürün Depolama Tesisi (SİLO)

5.1.1 Çalışma alanı

Yapılacak ilk çalışma kapsamında tapu kayıtlarına göre Kayseri İli, Talas İlçesi, Kamber Mahallesi, Topraktepe Mevkiinde yer alan 31.000 m2 alana sahip 0 Ada 1921 Parsel üzerinde inşa edilen Ruhbaş Tarım Ürünleri Lisanslı Depoculuk A.Ş. firmasına sahip depolama tesisi çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 5.1 ve Şekil 5.2). Çalışma yapılacak tesis içerisinde toplam 24 adet SİLO bulunmakta olup, tesis yetkilileri ile yapılan görüşmede tesisin yaklaşık 30.000 ton depolama kapasitesine sahip olduğu öğrenilmiştir.



Şekil 5.1. Birinci çalışma alanının uydu görüntüsü.



Şekil 5.2. Birinci çalışma alanına ait görsel.

5.1.2 Tarımsal ürün depolama tesisine (silo) ait teknik bilgiler

Birinci çalışmaya konu hacim hesabı yapılacak SİLO'lara ait teknik bilgiler, tesis içerisinde kullanılan SİLO'ların üreticisi MYSİLO firmasından temin edilmiştir. Üretici firma ile yapılan görüşmede tesis içerisinde yer alan 24 adet SİLO'nun düz tabanlı SİLO kategorisinde yer aldığı, tamamının aynı ebat ve ölçülerde olduğu, ayrıca bahse konu SİLO'ların model numarasının 1415 olduğu öğrenilmiştir. Üretici firmadan temin edilen kapasite tablosunda SİLO'ların teknik özellikleri incelenmiş ve Şekil 5.3'te gösterilmiştir.

Çalışma alanında yer alan SİLO'ların 12.83 m taban çapı, 15 adet ring, 12.68 m saçak yüksekliği, 16.29 m tepe yüksekliği, $1.782 m^3$ toplam kapasiteye sahip olduğu ayrıca 1.512 ton buğday, 1.360 ton mısır veya 1.209 ton arpa kapasitesine sahip olduğu Şekil 5.3'te yer alan kapasite tablosunda belirtildiği üzere verilmiştir.

Çap m (ft)	Model	Ring Sayısı	Saçak Yüksekliği (m)	Tepe Yüksekliği (m)	Kapasite (m³)	Kapasite Buğday (ton)	Kapasite Mısır (ton)	Kapasite Arpa (ton)
12,83 (42')	1408	8	6,76	10,38	1.018	863	777	690
	1409	9	7,61	11,22	1.127	956	860	765
	1410	10	8,45	12,07	1.236	1.048	943	839
	1411	11	9,30	12,91	1.345	1.141	1.027	913
	1412	12	10,14	13,76	1.455	1.234	1.110	987
	1413	13	10,99	14,60	1.564	1.326	1.194	1.061
	1414	14	11,83	15,45	1.673	1.419	1.277	1.135
	1415	15	12,68	16,29	1.782	1.512	1.360	1.209
	1416	16	13,52	17,14	1.892	1.604	1.444	1.283
	1417	17	14,37	17,98	2.001	1.697	1.527	1.357
	1418	18	15,21	18,83	2.110	1.789	1.610	1.432
	1419	19	16,06	19,67	2.219	1.882	1.694	1.506
	1420	20	16,90	20,52	2.329	1.975	1.777	1.580
	1421	21	17,75	21,36	2.438	2.067	1.861	1.654
	1422	22	18,59	22,21	2.547	2.160	1.944	1.728
	1423	23	19,44	23,05	2.656	2.253	2.027	1.802
	1424	24	20,28	23,90	2.766	2.345	2.111	1.876
	1425	25	21,13	24,74	2.875	2.438	2.194	1.950
	1426	26	21,97	25,59	2.984	2.531	2.277	2.024
	1427	27	22,82	26,43	3.093	2.623	2.361	2.099
	1428	28	23,66	27,28	3.203	2.716	2.444	2.173
	1429	29	24,51	28,12	3.312	2.808	2.528	2.247
	1430	30	25,35	28,97	3.421	2.901	2.611	2.321
	1431	31	26,20	29,81	3.530	2.994	2.694	2.395
	1432	32	27,04	30,66	3.640	3.086	2.778	2.469
	1433	33	27,89	31,50	3.749	3.179	2.861	2.543
	1434	34	28,73	32,35	3.858	3.272	2.944	2.617

Şekil 5.3. Düz tabanlı silo kapasite tablosu.

5.1.3 Arazi çalışması

Birinci çalışma için 12.11.2019 tarihinde tesiste çalışmalar yapılmıştır. İlk olarak tesis içerisinde Comnav T300 marka jeodezik GPS kullanılarak RTK yöntemi ile 6 adet YKN tesis edilmiştir. Çalışma alanının düz bir zemin yapısına sahip olması ve çalışma esnasında hava şartlarının uygun olması, YKN atım işlemini kolaylaştırmıştır. YKN'na ait X, Y, Z koordinatları Çizelge 5.1' de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Birinci çalışma için tesis edilen ykn bilgileri.

YKN NUMARASI	X	Y	Z
P.101	480865.394	4277377.460	1592.239
P.102	480904.210	4277393.829	1591.323
P.103	480963.198	4277459.617	1591.240
P.104	481062.917	4277567.102	1593.404
P.105	481006.592	4277629.179	1594.737
P.106	480918.779	4277501.624	1591.470

YKN tesisi tamamlanmasının ardından İHA ile görüntü alınması aşamasına geçilmiştir. Çalışma alanında double grid uçuş güzergâhı (enine ve boyuna uçuş güzergahları) belirlenmiş ve DJI Phantom 4 Pro marka İHA ile uçuş gerçekleştirilmiştir. İHA uçuş yüksekliği sağlıklı veri elde edilebilmesi amacıyla 75 m olarak belirlenmiş ve uçuş süresi yaklaşık 25 dakika sürmüştür. Elde edilecek hava fotoğraflarında %80 ön ve %60 yan bindirme oranı belirlenmiş ve 2 kez uçuş yapılarak, çalışma alanının enine belirlenen güzergâhında 125 adet; boyuna belirlenen güzergâhında ise 123 adet olmak üzere toplam 248 adet fotoğraf elde edilmiştir. Yapılan double grid uçuşu işleminde Pix4Dcapture yazılımı kullanılmıştır. Uçuş işlemlerinde kullanılan DJI Phantom 4 Pro marka İHA'nın sağladığı yer örnekleme aralığının (m / 36.5) cm / piksel olduğu teknik kataloğu üzerinden incelenmiştir. Çalışma kapsamında yapılan uçuşun 75 m yükseklikten gerçekleştirilmiş olması nedeniyle yer örnekleme aralığı 2.05 cm/piksel olarak alınmıştır. Gerçekleştirilen uçuşlarda enine uçuş ile elde edilen fotoğraflara Şekil 5.4'te; boyuna uçuş ile elden fotoğraflara ise Şekil 5.5'de örnek gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Enine uçuş ile elde edilen fotoğraf örneği.



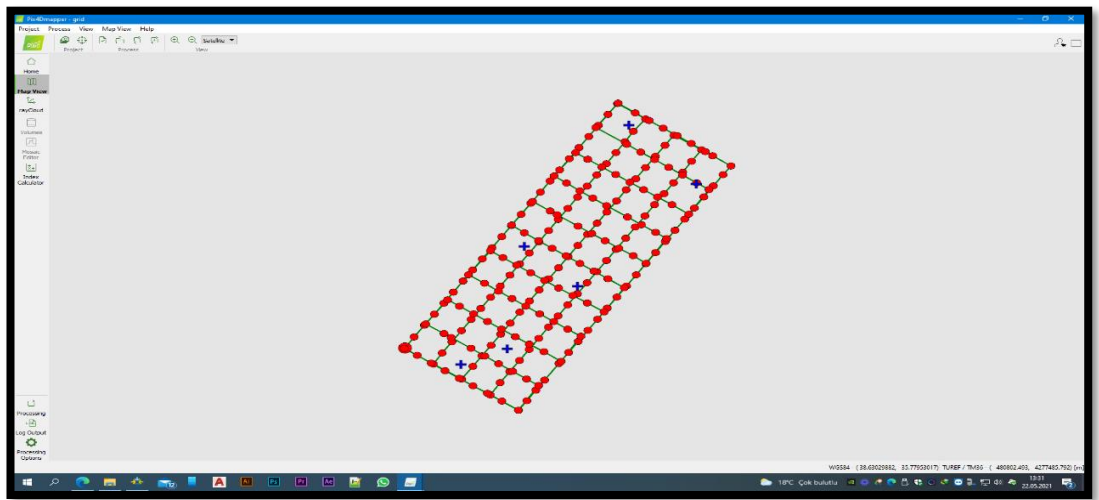
Şekil 5.5. Boyuna uçuş ile elde edilen fotoğraf örneği.

5.1.4 Büro çalışması

Arazi çalışmaları sonucu elde edilen veriler ofis ortamında üç boyutlu modellerin üretilmesi aşamasında kullanılmıştır. Üç boyutlu modellerin elde edilmesi ve hacim hesabının yapılması için Pix4Dmapper, Agisoft Metashape ve 3DF Zephyr programları kullanılmıştır.

Pix4Dmapper programı ile yapılan hacim hesabı

Arazi çalışması ile elde edilen YKN ve hava fotoğrafları değerlendirilmesi ilk olarak Pix4Dmapper programında gerçekleştirilmiştir. Pix4Dmapper programı özellikle İHA ile elde edilen görüntüleri alma, işleme, analiz ve paylaşma temel işlemlerin yapılabilirdiği bir yazılımdır. Arazi çalışması ile elde edilen hava fotoğrafları Pix4Dmapper programına aktarılmış ve sırasıyla nokta bulutu oluşturma, mesh yüzeyi ve SYM oluşturma işlemleri yapıldıktan sonra hacim hesaplaması yapılmıştır. Pix4Dmapper programında SYM üretiminde “Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Tekniği (Inverse Distance Weighting)” ya da “Düzensiz Yapıda Üçgen Ağı (Triangulation)” olmak üzere iki metot seçeneği vardır. Bina modelleri için önerilen “Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Tekniği” iken, stok alanları ve düz alanlarda (tarım gibi) “Düzensiz Yapıda Üçgen Ağı” yönteminin kullanımı önerilmektedir. İlk işlem olarak hava fotoğrafları ve yer kontrol noktaları programa eklenmiştir (Şekil 5.6).



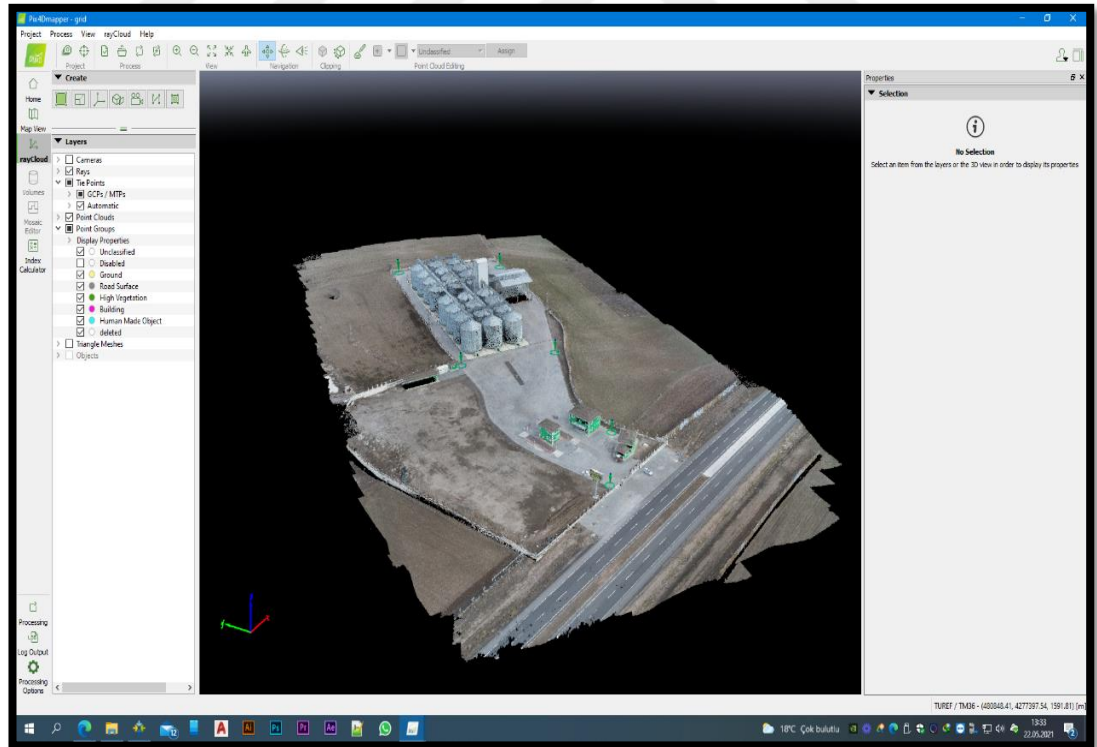
Şekil 5.6. Pix4Dmapper programındaki uçuş planı.

Programa aktarılan YKN hata payları Çizelge 5.2’de gösterilmiş olup, Pix4Dmapper programında ortalama X değeri hata payı 0.012688 m, Y değeri hata payı 0.013296 m ve Z değeri hata payı ise 0.004282 m olarak tespit edilmiştir.

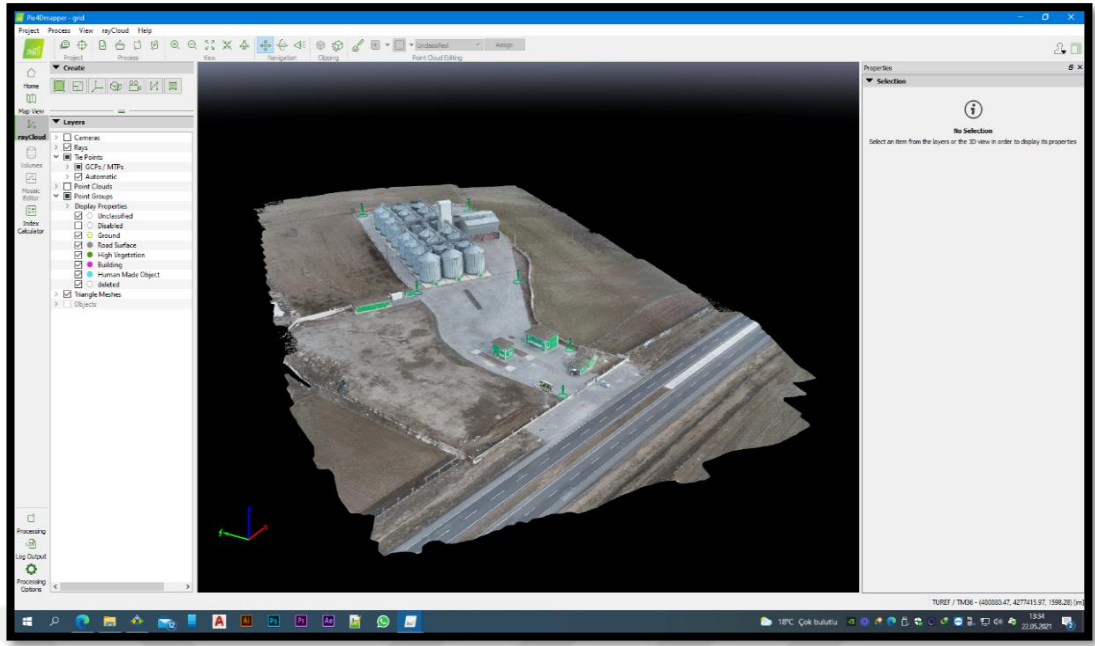
Çizelge 5.2. Pix4Dmapper programında ykn hata payları.

GCP Name	Accuracy XY/Z (m)	Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)	Projection Error (pixel)	Verified/Marked
P.101 (3D)	0.020/0.020	-0.002	0.003	0.006	0.445	24/24
P.102 (3D)	0.020/0.020	0.011	0.003	-0.007	0.548	36/36
P.103 (3D)	0.020/0.020	-0.026	0.009	0.004	0.547	33/33
P.104 (3D)	0.020/0.020	-0.001	0.003	0.001	0.559	27/27
P.105 (3D)	0.020/0.020	0.012	0.011	-0.001	0.350	34/34
P.106 (3D)	0.020/0.020	0.007	-0.029	0.002	0.482	43/43
Mean (m)		0.000039	0.00014	0.000749		
Sigma (m)		0.012688	0.013295	0.004216		
RMS Error (m)		0.012688	0.013296	0.004282		

Programda hava fotoğrafların eklenmesi ile YKN eklendikten sonra nokta bulutu (Şekil 5.7) ve mesh model (Şekil 5.8) oluşturulmuştur.



Şekil 5.7. Pix4Dmapper programında üretilen nokta bulutu.

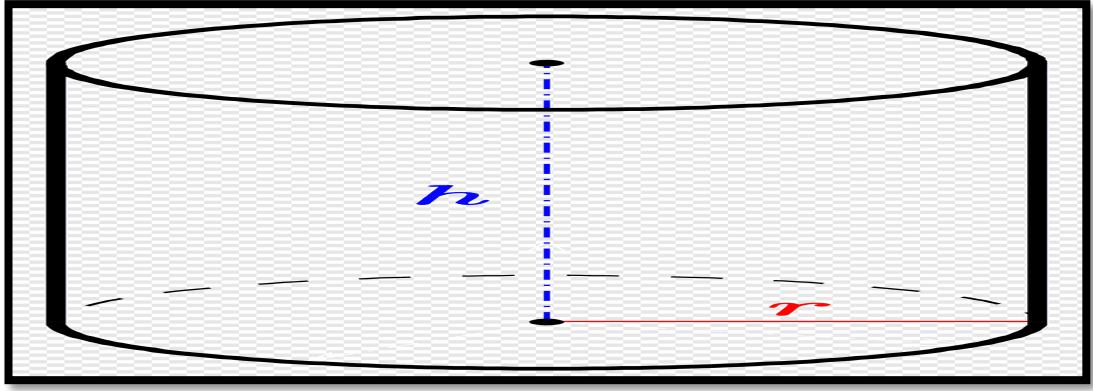


Şekil 5.8. Pix4Dmapper programında üretilen mesh model.

Hacim hesabı yapılacak çalışma alanında toplam 24 adet aynı kapasite ve ölçülere sahip SİLO bulunmaktadır. SİLO'ların birbirine çok yakın olması üç boyutlu model oluşturmada ve hacim hesaplama işleminde olumsuz sonuçlara neden olmaktadır.

Bu nedenle hacim hesaplama işlemi aşamasında yüksek doğruluk elde edilmesi için taban alanının çevrelenmesinde sağlanan kolaylık nedeniyle çalışma alanının güneybatı cephesinde yer alan tek bir SİLO baz alınmış ve hacim hesaplama işlemi bu SİLO üzerinden yapılmıştır. Ancak SİLO'nun taban alanın çevrelenmesinde SİLO'lar arası mesafenin çok yakın olması ve SİLO'lar üzerinde yer alan boşaltım tünellerinin oluşturulan üçgen yüzeye dahil edilmesi nedeniyle program bünyesinde yer alan “Hacim Hesaplama Modül”ün yüksek hatalı sonuç verdiği görülmüştür. Bu nedenle SİLO'ların hacim hesaplama işlemleri aşağıda belirtilen şekilde yapılmıştır.

Hacmi hesaplanacak SİLO'lar geometrik olarak taban kotundan saçak yüksekliğine kadar silindir; saçak yüksekliğinden tepe yüksekliğine kadar konik yüzey şekline sahiptir. Bu nedenle hacim hesaplanması aşamasında aşağıda Şekil 5.9' da belirtilen silindir hacmi formülü (5.1) ve Şekil 5.12'de belirtilen dik konik yüzey hacmi formülü (5.2) ile hesaplanmıştır.



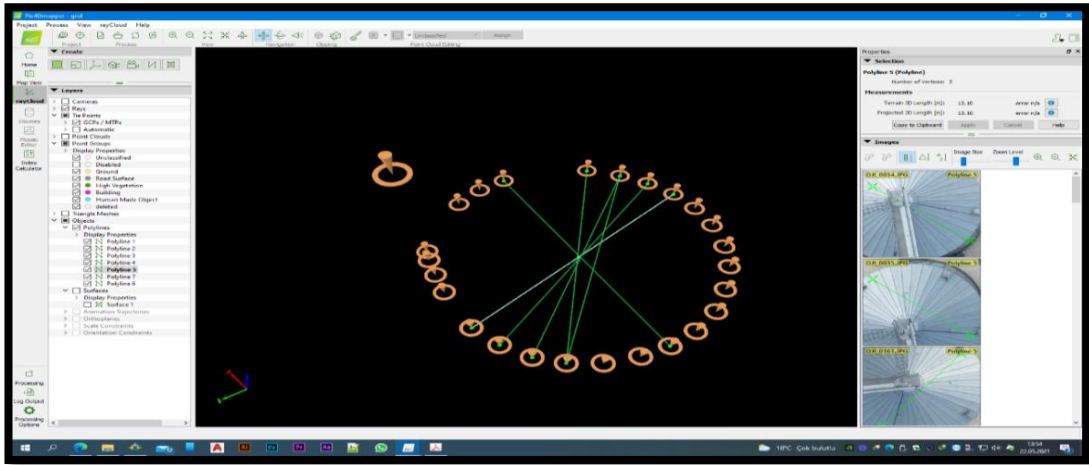
Şekil 5.9. Silindir prizma yüzeyi.

Silindir prizma hacim formülü ise aşağıda belirtilmiştir:

$$V_{\text{silindir}} = \pi r^2 h \quad (5.1)$$

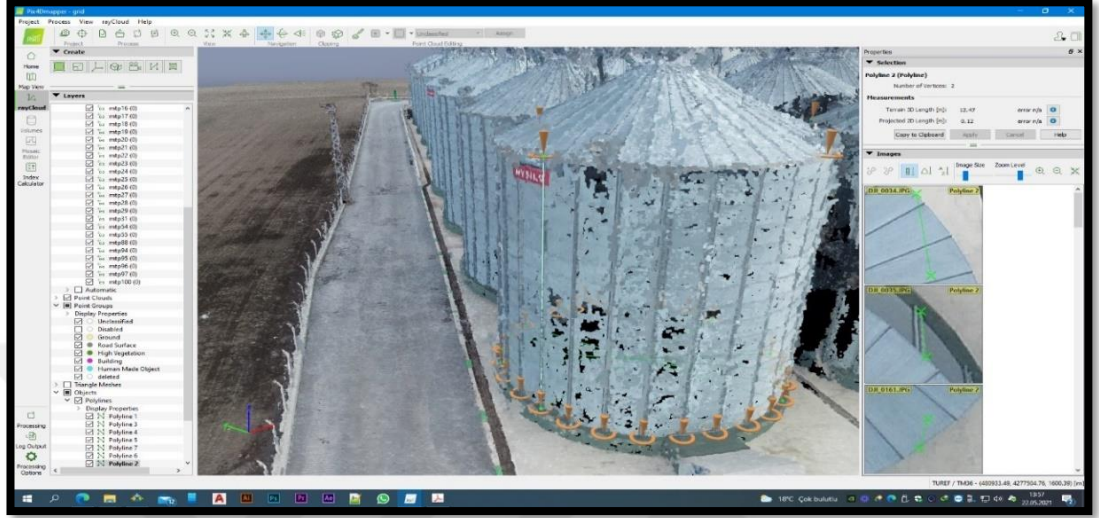
Burada h taban ile tavan arasındaki yükseklik, r ise taban yarıçapıdır.

İlk olarak Pix4Dmapper programı ile elde edilen üç boyutlu modelde taban çapı birkaç ayrı noktadan hesaplanmış ve ortalama 13.10 m olarak bulunmuş olup, bu sonuca dıştan dışa ölçüm (Şekil 5.10) ile ulaşılmıştır. Hacmi hesaplanacak SİLO'ların teknik verilerinde 65 mm sac kaplama ve 10 cm şerit mastikler bulunmaktadır. Bu veriler programda her iki taraftan Pix4Dmapper programı ile elde edilen dıştan dışa ölçüm sonucundan çıkarılmış ve silonun taban çapı 12.77 m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.10. Pix4Dmapper programında hesaplanan taban çapı gösterimi.

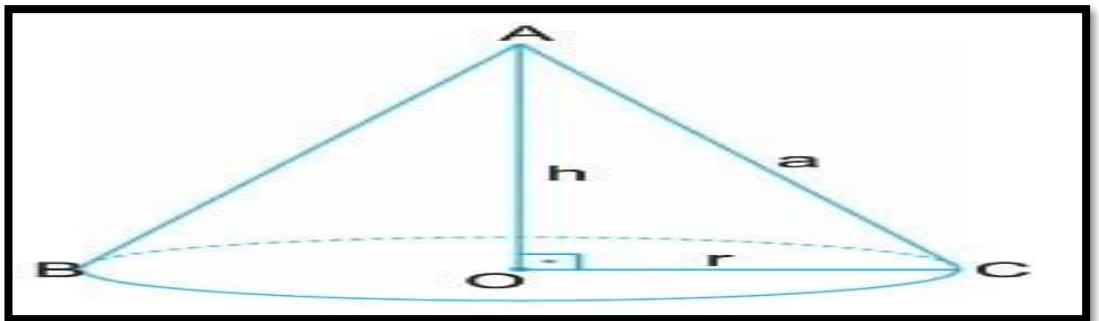
(5.1)'de belirtilen hacim formülünde ihtiyaç duyulan yükseklik ise saçak yüksekliği olarak kabul edilmiş ve Pix4Dmapper programında zemin noktasından 15. Ring bölümünün üst sınırına kadar olan yükseklik olarak hesaplanmış ve saçak yüksekliği 12.47 m olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.11).



Şekil 5.11. Pix4Dmapper programında hesaplanan saçak yüksekliği gösterimi.

Elde edilen veriler (5.1)'de belirtilen silindir prizma hacim formülünde kullanılarak $V_{silindir} = 1.594,62 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

İkinci olarak ise SİLO'nun üst kısmında yer alan konik yüzeyin hacmi hesaplanmıştır. Dik konik yüzeyin (Şekil 5.12) hacminin hesaplanması için aşağıda belirtilen formül (5.2) kullanılmıştır.



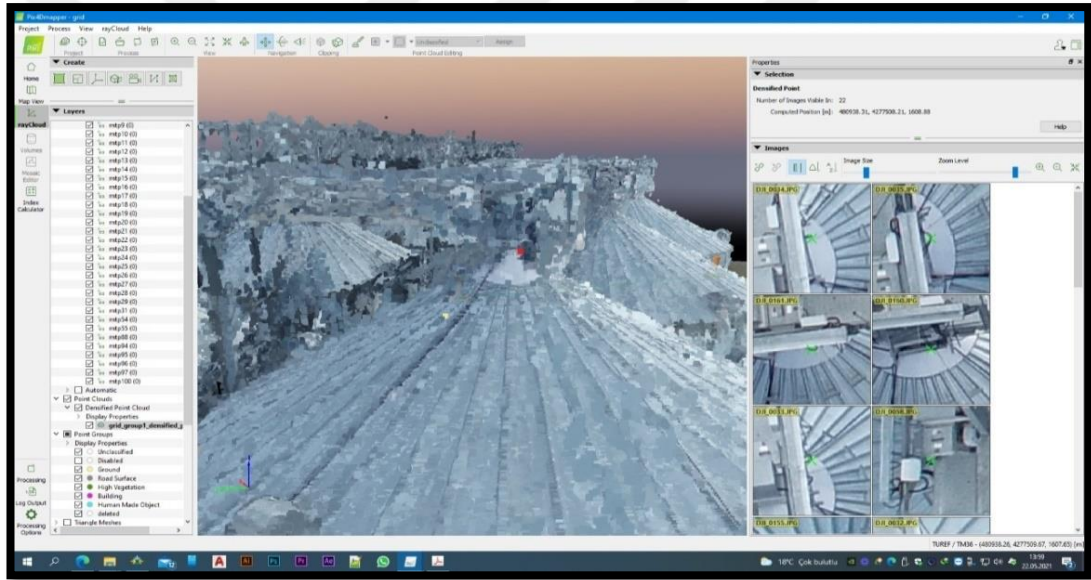
Şekil 5.12. Dik koni yüzeyi

Dik konik prizma hacim formülü ise aşağıda belirtilmiştir:

$$V_{koni} = \frac{1}{3} \pi r^2 h \quad (5.2)$$

Burada h tepe noktası ile saçak yüksekliği arasındaki yükseklik farkı, r ise taban yarıçapıdır.

Burada taban yarıçapı Pix4Dmapper programında Şekil 5.10'da belirtildiği şekliyle belirlenen ve silindir prizma yüzeyi kısmında açıklanan taban çapı olan 12.47 m'den faydalanılarak hesaplanmıştır. Yükseklik hesabı için ise Pix4Dmapper programında üç boyutlu modeli yapılan SİLO'nun en üst kısmında bir adet nokta atılmış ve kotu incelenmiştir (Şekil 5.13).



Şekil 5.13. Pix4Dmapper programında tepe yüksekliğinin bulunması.

Bu işlem ile atılan noktanın kotu 1608.88 olarak hesaplanmıştır. Aynı hesaplama işlemi esnasında SİLO'nun taban kotunun ise 1592.40 olduğu görülmüş olup, tepe noktasının yüksekliği iki kotun farkı alınarak 16.48 m olarak hesaplanmıştır. Daha sonra SİLO'nun Şekil 5.11'de gösterildiği şekliyle silindir yüzeyinde hesaplanan saçak yüksekliği olan 12.47 m, hesaplanan tepe yüksekliği olan 16.48 m'den çıkarılarak koninin yüksekliği hesaplanmıştır.

Bulunan bu sonuçlar (5.2)'de belirtilen dik konik yüzey hacim formülünde kullanılarak $V_{koni} = 170.92 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

SİLO'nun toplam hacmi ise silindir yüzeyinin hacmi ve dik koni yüzeyinin hacminin toplamı (5.3)'de belirtilen formül ile bulunmuştur:

$$V_{SİLO} = V_{silindir} + V_{koni} \quad (5.3)$$

$$V_{SİLO} = 1.594,62 \, m^3 + 170.92 \, m^3$$

$$V_{SİLO} = 1.765,54 \, m^3$$

Sonuç veri olarak aşağıda yer alan Çizelge 5.3 'te gösterilmiştir:

Çizelge 5.3. Pix4Dmapper programı ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

	TABAN ÇAPI (m)	SACAĞ YÜKSELİĞİ(m)	TEPE YÜKSELİĞİ(m)	KAPASİTE (m3)
Silo Teknik Bilgileri	12.83	12.68	16.29	1782
Elde Edilen Veriler	12.77	12.47	16.48	1765.54
FARK	-0.06	-0.21	0.19	-16.46

Yapılan işlemler neticesinde Pix4Dmapper Programında yapılan ölçümlerde SİLO'nun teknik bilgilerine göre taban çapı ölçüsünde -0.06 m; saçak yüksekliğinde -0.21 m, tepe yüksekliğinde +0.19 m fark; kapasite miktarında ise -16.46 m³fark tespit edilmiştir.

Pix4Dmapper programında yapılan ölçümler neticesinde doğruluk aşağıda (5.4) ile belirtilen formül ile hesaplanmıştır:

$$\text{Doğruluk Oranı} = \frac{V_{Hesaplanan} \cdot 100}{V_{SİLO}} \quad (5.4),$$

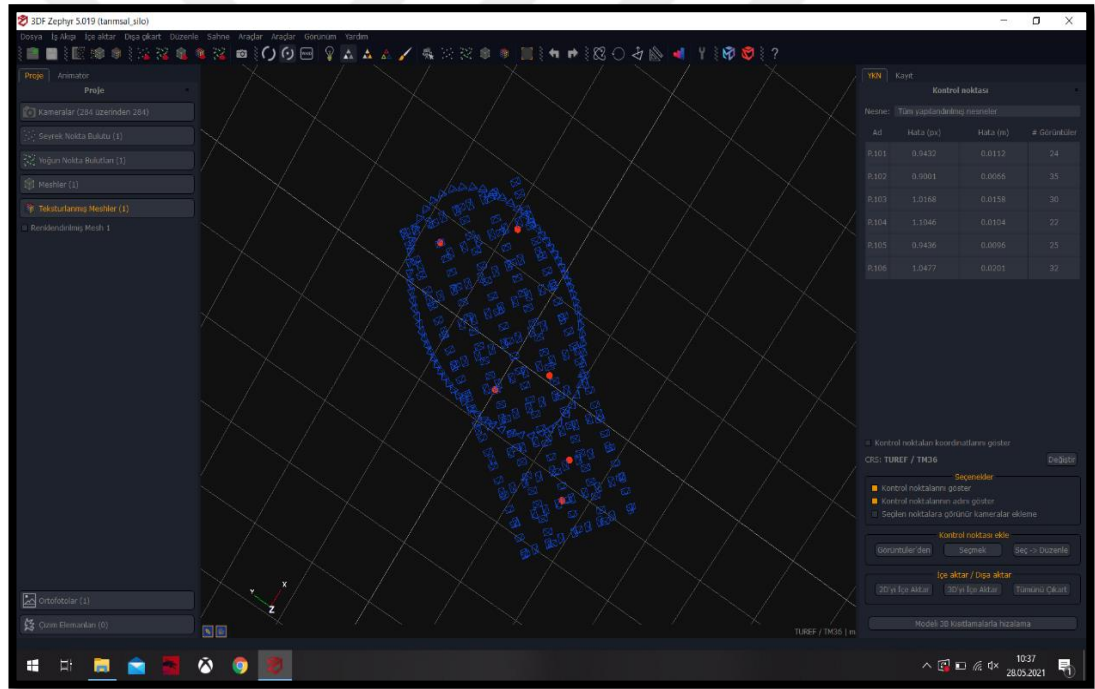
$$\text{Doğruluk Oranı} = \frac{(1765.54 \, m^3) \cdot 100}{1782 \, m^3}$$

$$\text{Doğruluk Oranı} = \%99.07$$

Eşitlikten Doğruluk Oranı = %99.07 olarak hesaplanmıştır. Formülde belirtilen $V_{Hesaplanan}$ Pix4Dmapper programında hesaplanan hacim miktarını, $V_{SİLO}$ ise SİLO'ların teknik kapasitesinde belirtilen hacim miktarını göstermektedir.

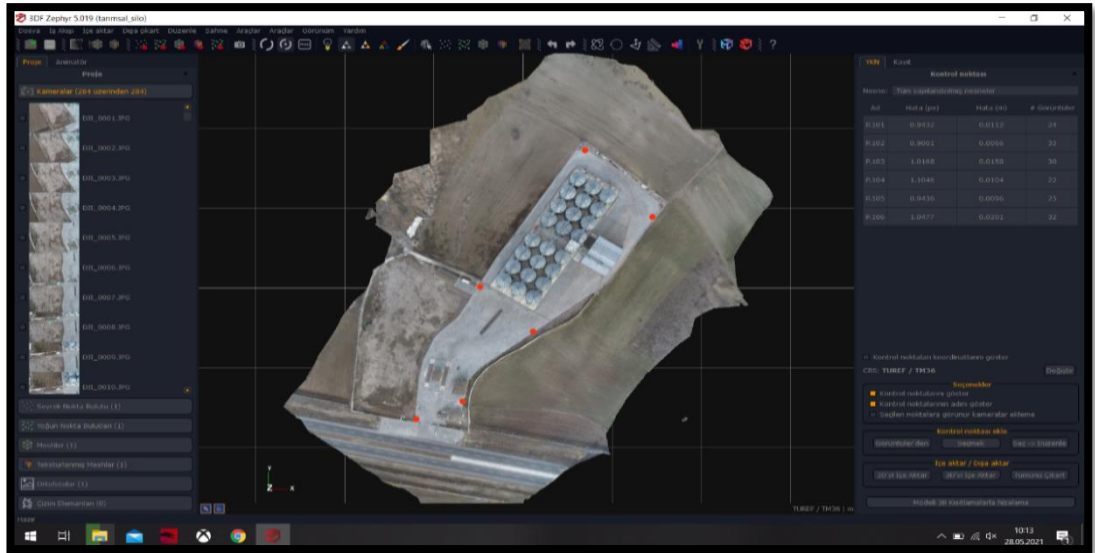
3DF Zephyr programı ile yapılan hacim hesabı

Arazi çalışması ile elde edilen yer kontrol noktaları ve hava fotoğrafları değerlendirilmesi ikinci olarak 3DF Zephyr programında gerçekleştirilmiştir. 3DF Zephyr programı ortofoto, kesitler ve eş yükseklik eğrileri, SYM, SAM, yükseklik profili oluşturma, çok bantlı ve küresel görüntüleme yeteneği ve mesafe, açı, alan ölçümleri ile hacim hesabı işlemleri yapabilme yeteneğine sahiptir. Pix4Dmapper programında yapılan işlemlerin benzeri 3DF Zephyr yazılımı ile yapılmış ve arazi çalışması ile elde edilen hava fotoğrafları yazılıma aktarılarak sırasıyla nokta bulutu oluşturma, mesh yüzeyi ve SYM oluşturma işlemleri yapıldıktan sonra hacim hesaplaması yapılmıştır. Şekil 5.14’de elde edilen verilerin 3DF Zephyr programında durumu gösterilmiştir.

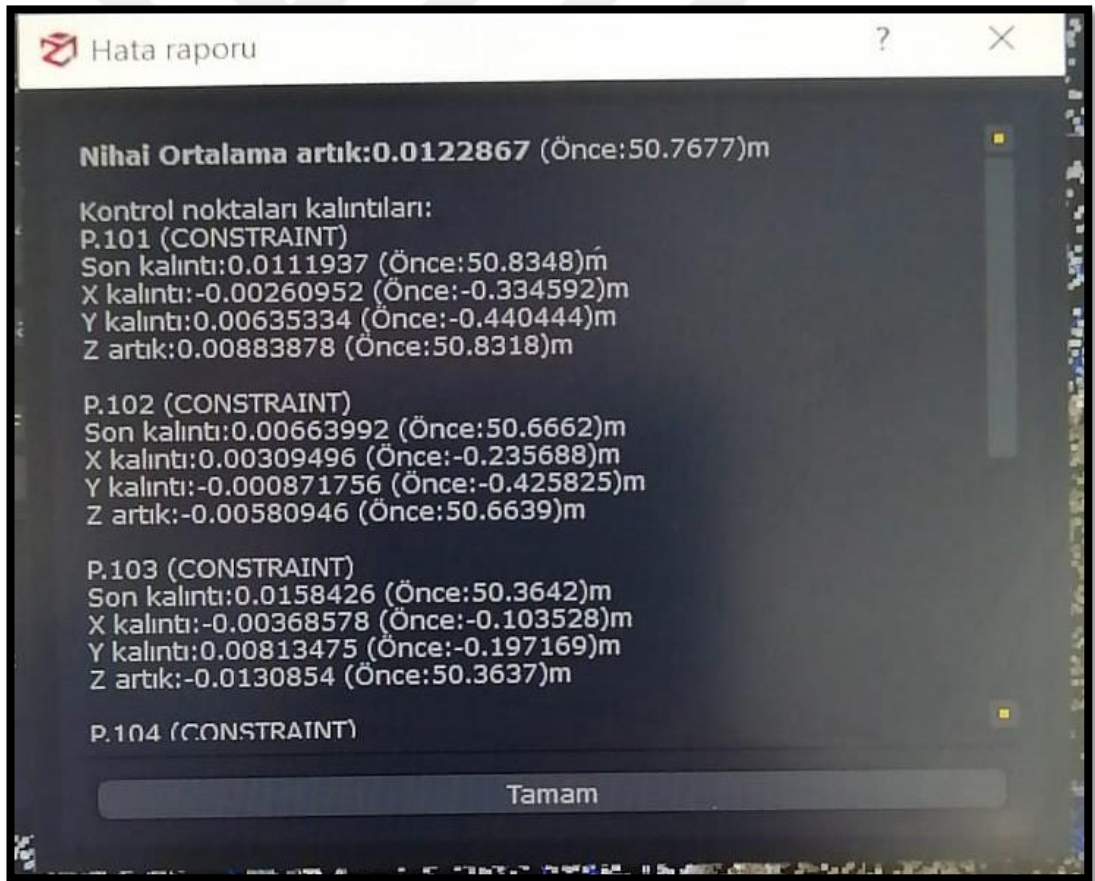


Şekil 5.14. 3DF zephyr programındaki uçuş planı.

Çizelge 5.1’ de gösterilen YKN değerleri (Şekil 5.15)’de gösterildiği üzere 3DF Zephyr programına aktarılmış fotoğraflar ile eşleştirmeleri yapılarak Şekil 5.16’da gösterildiği üzere nihai 0.0122867 m hata payına ulaşılmıştır. Ayrıca YKN hata payları Çizelge 5.4’te gösterilmiştir.



Şekil 5.15. 3DF zephyr programında yer kontrol noktaları.

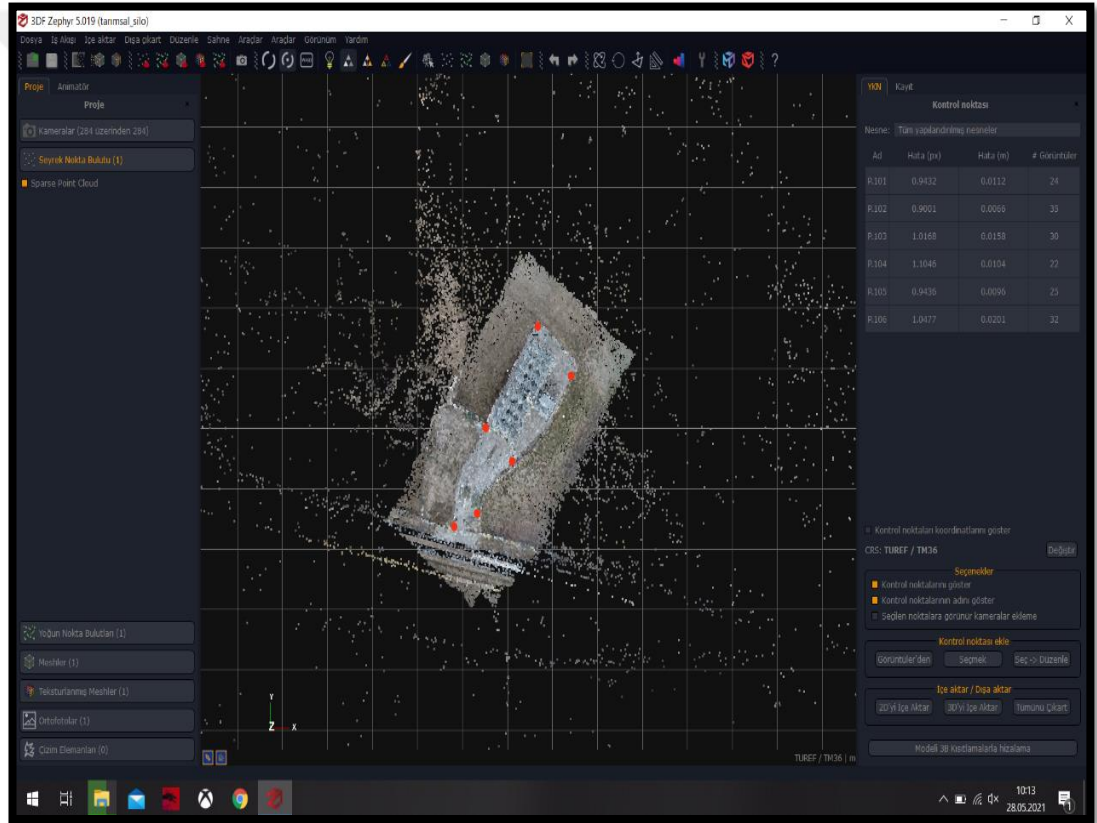


Şekil 5.16. 3DF zephyr programında ykn'na ait nihai hata payı.

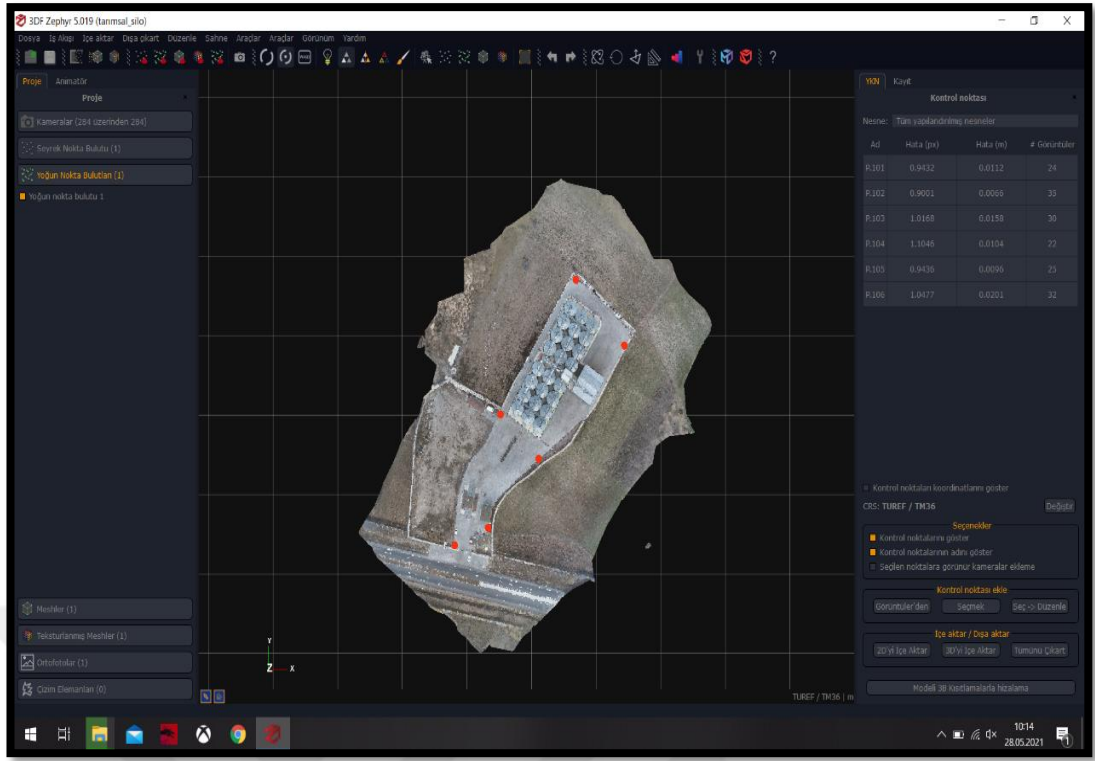
Çizelge 5.4. 3DF zephyr ykn hata payları.

AD	Hata (piksel)	Hata (m)	Görüntüler
P.101	0.9432	0.0112	24
P.102	0.9001	0.0066	35
P.103	1.0168	0.0158	30
P.104	1.1046	0.0104	22
P.105	0.9436	0.0096	25
P.106	1.0477	0.0201	32

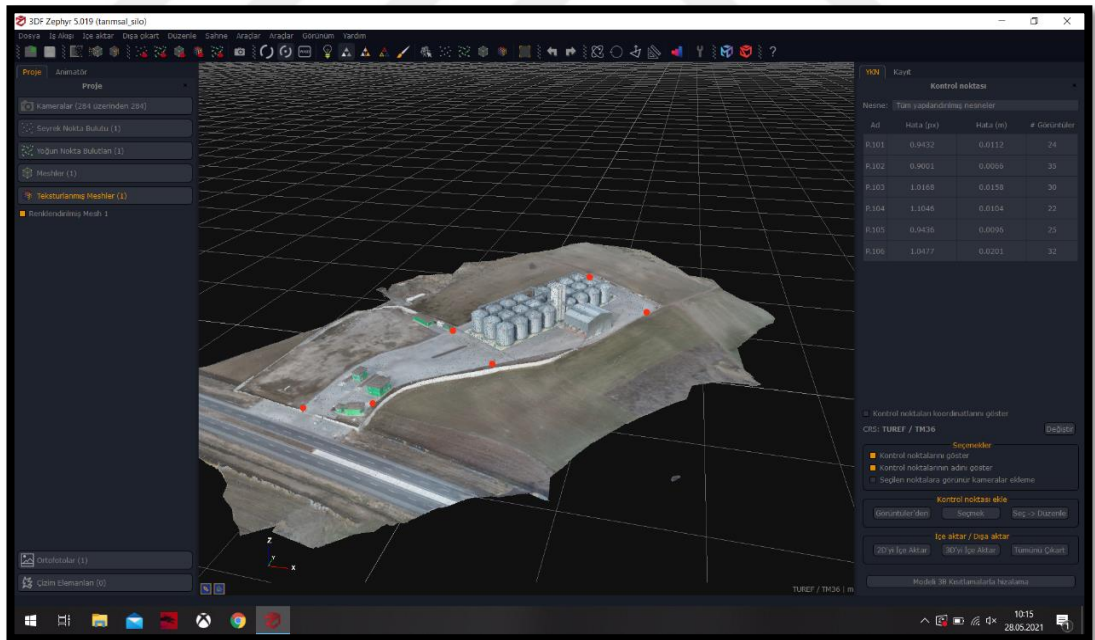
YKN ile hava fotoğrafların eşleştirilmesi tamamlandıktan 3DF Zephyr programı özellikleri kullanılarak sonra sırasıyla seyrek nokta bulutu (Şekil 5.17), yoğun nokta bulutu (Şekil 5.18) ve mesh yüzey (Şekil 5.19) tanımlanmıştır.



Şekil 5.17. 3DF Zephyr programında üretilen seyrek nokta bulutu.



Şekil 5.18. 3DF zephyr programında üretilen yoğun nokta bulutu.

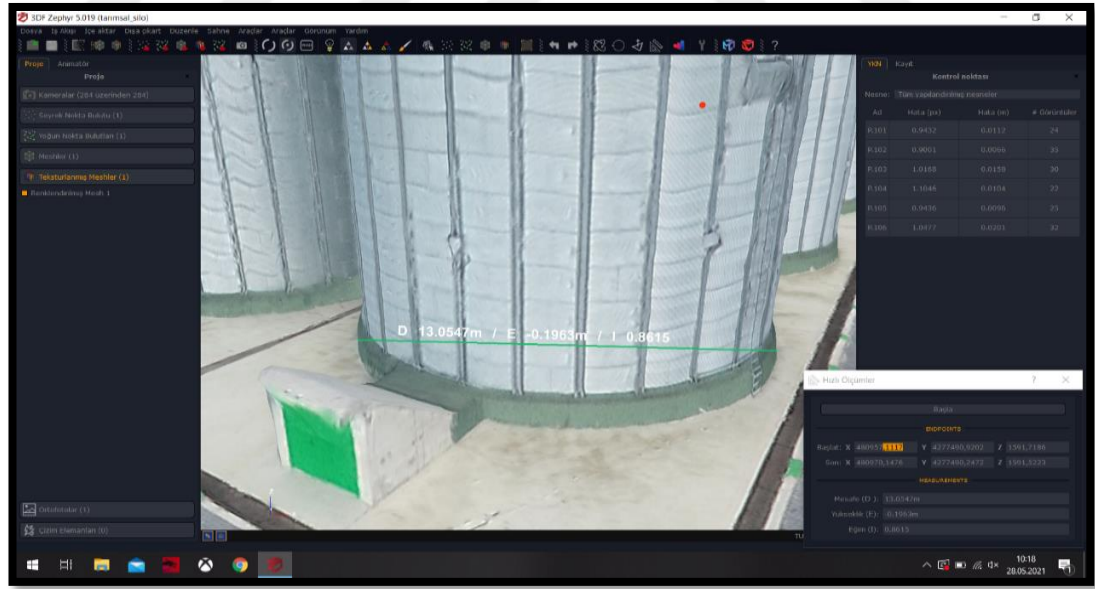


Şekil 5.19. 3DF zephyr programında üretilen mesh model.

Hacim hesabı yapılacak çalışma alanında toplam 24 adet aynı kapasite ve ölçülere sahip SİLO bulunmaktadır. SİLO'ların birbirine çok yakın olması üç boyutlu model oluşturmada ve hacim hesaplama işleminde olumsuz sonuçlara neden olmaktadır.

Bu nedenle hacim hesaplama işlemi aşamasında yüksek doğruluk elde edilmesi için ve Pix4Dmapper programı ile yapılan ölçümle kıyaslanması amacıyla taban alanının çevrelenmesinde sağlanan kolaylık nedeniyle çalışma alanının güneydoğu cephesinde yer alan tek bir SİLO baz alınmış ve hacim hesaplama işlemi bu SİLO üzerinden yapılmıştır. Ancak SİLO'nun taban alanın çevrelenmesinde SİLO'lar arası mesafenin çok yakın olması ve SİLO'lar üzerinde yer alan boşaltım tünellerinin oluşturulan üçgen yüzeye dahil edilmesi nedeniyle program bünyesinde yer alan Hacim Hesaplama Modülün yüksek hatalı sonuç verdiği görülmüştür. Bu nedenle SİLO'ların hacim hesaplama işlemleri esnasında 3DF Zephyr programı bünyesinde yer alan ölçüm aracı kullanılarak taban çapı, saçak yüksekliği ve tepe yüksekliği ölçümleri yapılmış ve aşağıda belirtilen matematiksel formüller ile hacim hesabına ulaşılmıştır.

İlk olarak SİLO'nun silindir yüzeyine ait hacim hesaplaması işlemi yapılmıştır. Bu formülde ihtiyaç duyulan taban çapı ve saçak yüksekliği 3DF Zephyr programında yer alan ölçüm aracı ile bulunmuştur. Şekil 5.20'de gösterildiği üzere ilk olarak taban çapı bulunmuştur.

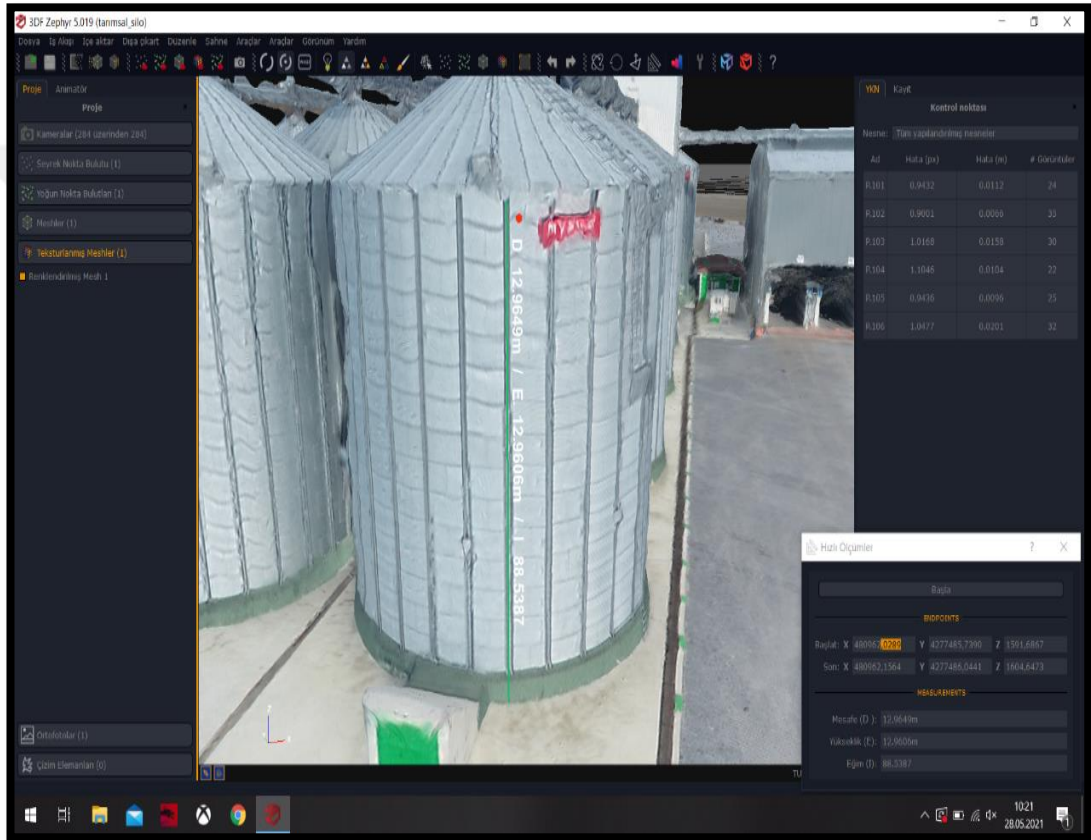


Şekil 5.20. 3DF zephyr programında hesaplanan taban çapı gösterimi.

Taban çapı ölçümleri birkaç farklı noktadan gerçekleştirilmiş ve ortalama 13.05 m olarak bulunmuş olup, bu sonuca dıştan dışa ölçüm ile ulaşılmıştır (Şekil 5.20). Hacmi hesaplanacak SİLO'ların teknik verilerinde 65 mm sac kaplama ve 10 cm

şerit mastikler bulunmaktadır. Bu veriler programda her iki taraftan 3DF Zephyr programı ile elde edilen dıştan dışa ölçüm sonucundan çıkarılmış ve silonun taban çapı 12.72 m olarak hesaplanmıştır.

(5.1)'de belirtilen hacim formülünde ihtiyaç duyulan yükseklik ise saçak yüksekliği olarak kabul edilmiş ve 3DF Zephyr programında zemin noktasından 15. Ring bölümünün üst sınırına kadar olan yükseklik olarak hesaplanmış ve saçak yüksekliği 12.96 m olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.21).

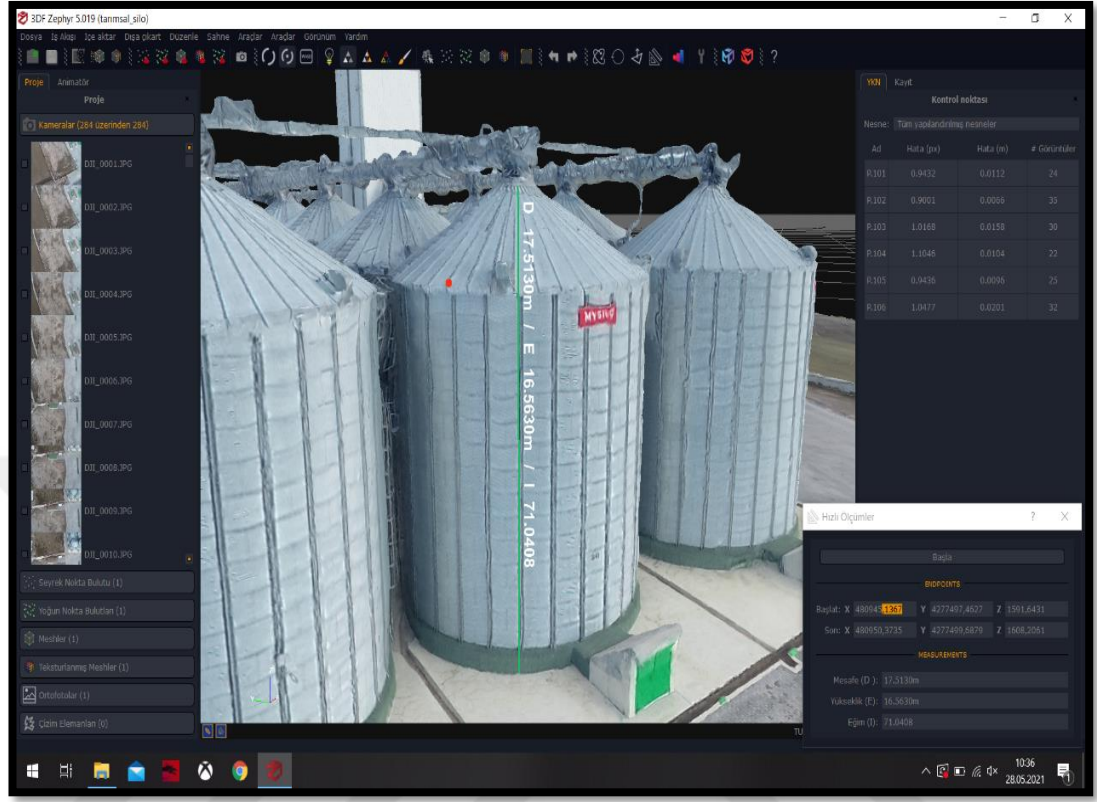


Şekil 5.21. 3DF zephyr programında hesaplanan saçak yüksekliği gösterimi.

Elde edilen taban çapı ve saçak yüksekliği (5.1)'de belirtilen formülde kullanılarak $V_{silindir} = 1.615,97 m^3$ olarak hesaplanmıştır.

İkinci olarak ise SİLO'nun üst kısmında yer alan konik yüzeyin hacmi hesaplanmıştır. Formülde ihtiyaç duyulan taban çapı 3DF Zephyr programında 12.72 m olarak hesaplanmış olup, h ise tepe yüksekliği ile saçak yüksekliği arasındaki fark olarak kabul edilmiştir. SİLO'nun tepe yüksekliği hesabı için 3DF Zephyr

programında SİLO'nun en üst noktasına nokta atılmış ve bu noktanın kotu ile zemin kotu arasındaki fark koni yüksekliği olarak kabul edilmiştir (Şekil 5.22).



Şekil 5.22. 3D Zephyr programında tepe yüksekliğinin hesaplanması.

Bu işlem ile atılan SİLO'nun tepe noktasının kotu 1608.20 olarak hesaplanmıştır. Aynı hesaplama işlemi esnasında SİLO'nun taban kotunun ise 1591.64 olduğu görülmüş olup, tepe noktasının yüksekliği iki kotun farkı alınarak 16.56 m olarak hesaplanmıştır. Daha sonra SİLO'nun Şekil 5.21'de gösterildiği şekliyle silindir yüzeyinde hesaplanan saçak yüksekliği olan 12.96 m, hesaplanan tepe yüksekliği olan 16.56 m'den çıkarılarak koninin yüksekliği hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar (5.2)'de belirtilen formülde kullanılarak $V_{koni} = 152.49 m^3$ olarak hesaplanmıştır.

Yapılan bu işlemlerin ardından SİLO'nun toplam hacmi (5.3) ile belirtilen formül kullanılarak $V_{SİLO} = 1.768,46 m^3$ olarak hesaplanmıştır. Sonuç veri olarak aşağıda yer alan Çizelge 5.5 hazırlanmıştır:

Çizelge 5.5. 3DF zephyr programı ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

	TABAN ÇAPI (m)	SAÇAK YÜKSELİĞİ(m)	TEPE YÜKSELİĞİ(m)	KAPASİTE (m3)
Silo Teknik Bilgileri	12.83	12.68	16.29	1782
Elde Edilen Veriler	12.72	12.96	16.56	1765.54
FARK	-0.11	0.28	0.27	-16.46

Yapılan işlemler neticesinde 3DF Zephyr Programında yapılan ölçümlerde SİLO'nun teknik bilgilerine göre taban çapı ölçüsünde -0.11 m; saçak yüksekliğinde +0.28 m, tepe yüksekliğinde +0.27 m fark; kapasite miktarında ise -16.46 m³fark tespit edilmiştir.

3DF Zephyr programında yapılan ölçümler neticesinde doğruluk oranı aşağıda (5.4)'de belirtilen formül kullanılarak Doğruluk Oranı = %99.07 olarak hesaplanmıştır. Formülde belirtilen $V_{Hesaplanan}$ 3DF Zephyr programında hesaplanan hacim miktarını, $V_{SİLO}$ ise SİLO'ların teknik kapasitesinde belirtilen hacim miktarını göstermektedir.

Agisoft metashape programı ile yapılan hacim hesabı

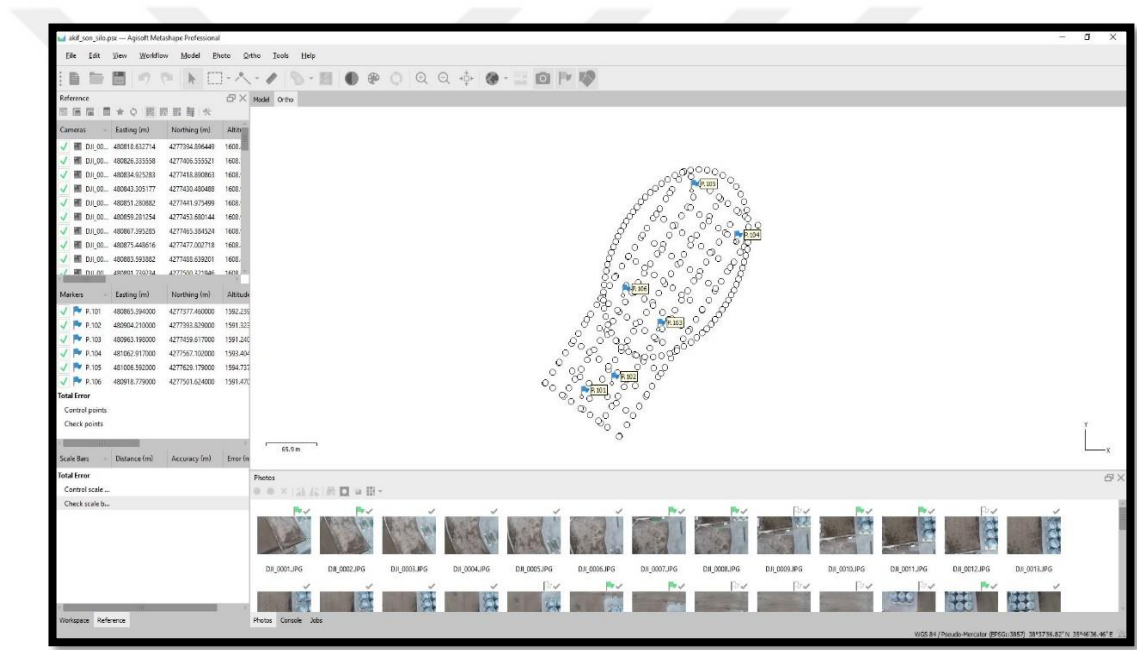
Verilerin değerlendirilmesi işlemi üçüncü olarak Agisoft Metashape programında gerçekleştirilmiştir. Agisoft Metashape programı dijital görüntülerin fotogrametrik işlemlerini gerçekleştiren ve CBS uygulamalarında, kültürel miras dokümantasyonunda ve görsel efekt üretiminde ayrıca çeşitli ölçeklerdeki nesnelerin dolaylı ölçümlerinde kullanılmak üzere üç boyutlu model verilerini üreten bağımsız bir yazılım ürünüdür. Pix4Dmapper ve 3DF Zephyr programlarında yapılan işlemlerin benzeri Agisoft Metashape ile yapılmış ve arazi çalışması ile elde edilen hava fotoğrafları yazılıma aktarılarak sırasıyla nokta bulutu oluşturma, mesh yüzeyi ve SYM oluşturma işlemleri yapıldıktan sonra hacim hesaplaması yapılmıştır. Aşağıda yer alan Şekil 5.23'de Agisoft Metashape programında fotoğrafların eklenmesi ve yer kontrol noktaları gösterilmiştir.

Çizelge 5.1'de gösterilen YKN değerleri Agisoft Metashape programına eklenmiş ve aşağıda yer alan Çizelge 5.6'da belirtilen hata oranlarına ulaşılmıştır.

Çizelge 5.6. Agisoft metashape programında ykn hata payları.

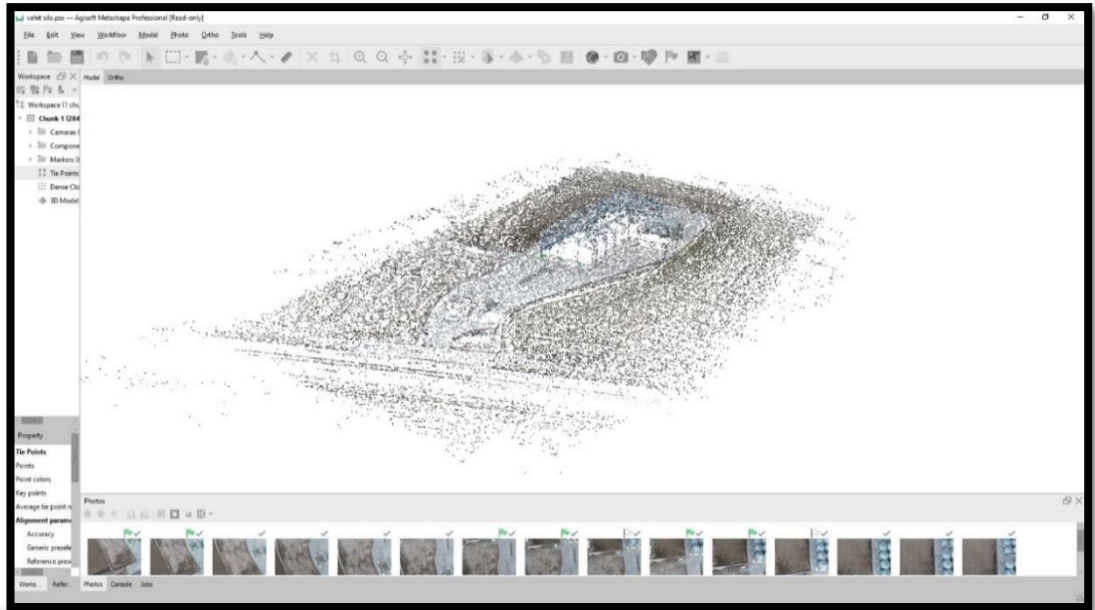
MARKERS	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (Pix)
P.101	480865.394	4277377.46	1592.239	0.005	0.00529	9	0.429
P.102	480904.21	4277393.829	1591.323	0.005	0.006305	8	0.422
P.103	480963.198	4277459.617	1591.24	0.005	0.005933	8	0.191
P.104	481062.917	4277567.102	1593.404	0.005	0.002406	7	0.339
P.105	481006.592	4277629.179	1594.737	0.005	0.005681	7	0.511
P.106	480918.779	4277501.624	1591.47	0.005	0.009879	7	0.391
Control Points					0.006306		0.392

Yapılan işlem neticesinde YKN ortalama hata oranı 0.006306 m olarak hesaplanmıştır.

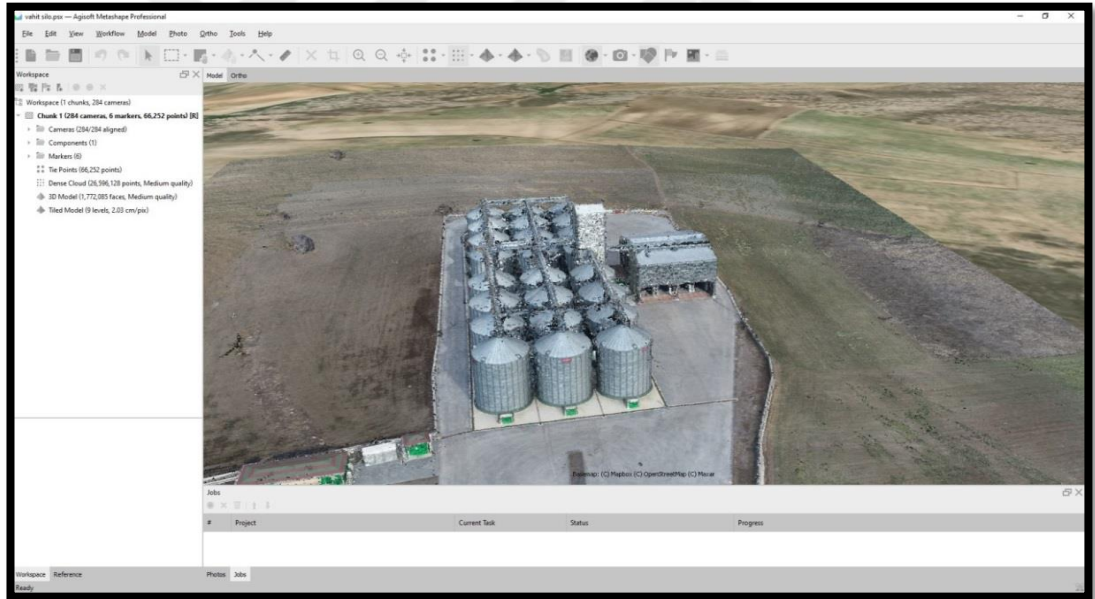


Şekil 5.23. Agisoft metashape programında resim konumları ve ykn noktaları.

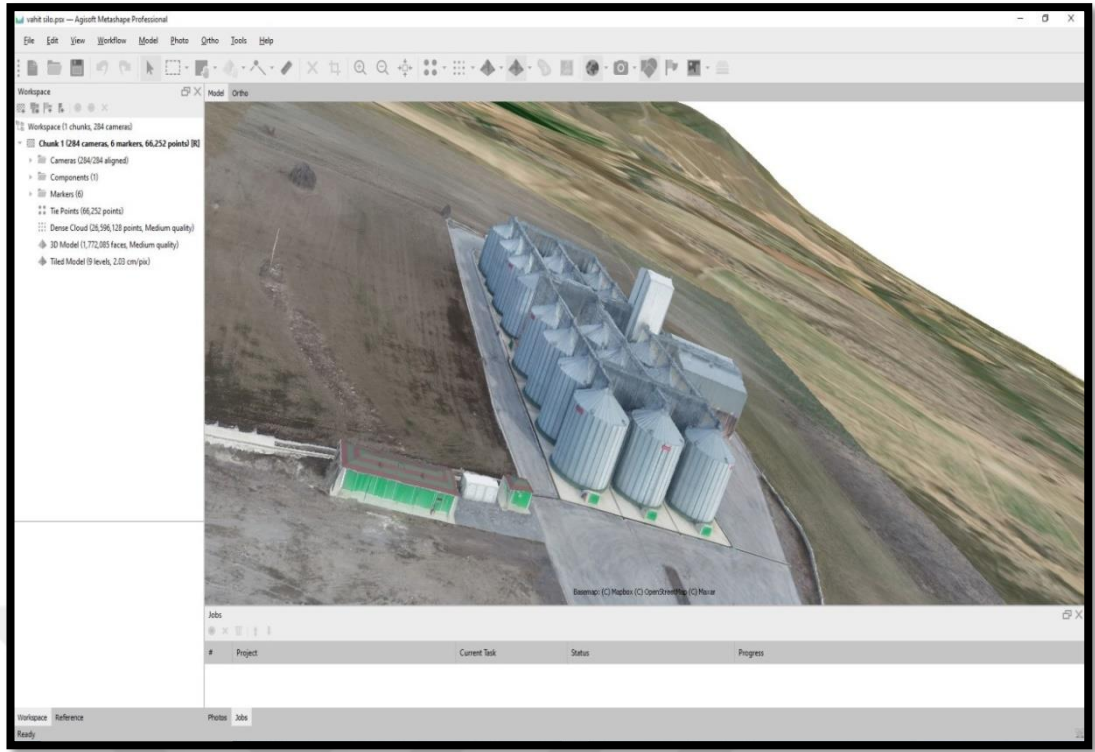
YKN'ler ve hava fotoğraflarının eklenmesinin ardından Agisoft Metashape programında nokta bulutu (Şekil 5.24), yoğun nokta bulutu (Şekil 5.25) ve 3 boyutlu model (Şekil 5.26) oluşturulmuştur.



Şekil 5.24. Agisoft metashape programında üretilen nokta bulutu.



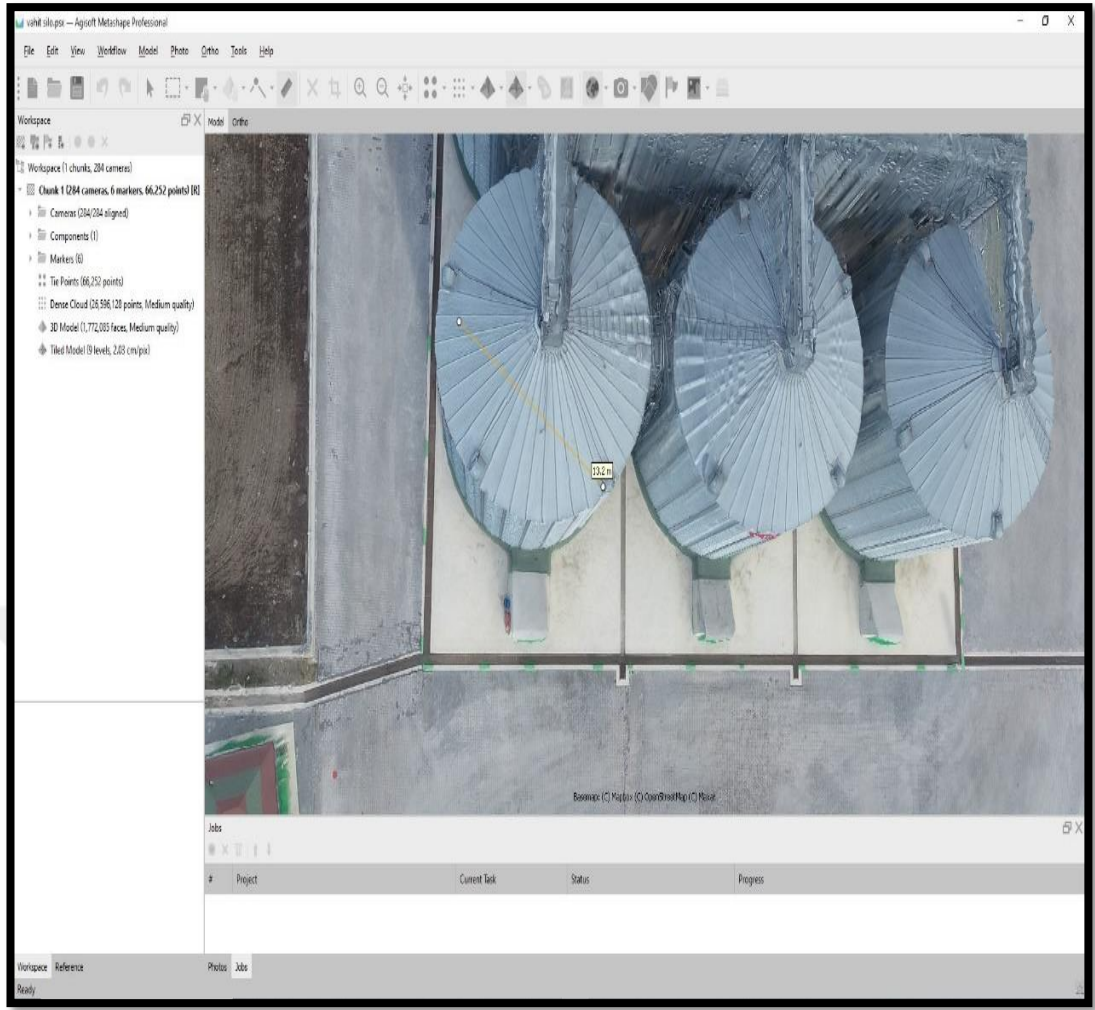
Şekil 5.25. Agisoft metashape programında üretilen yoğun nokta bulutu.



Şekil 5.26. Agisoft metashape programında üretilen üç boyutlu model.

Agisoft Metashape Programında modelleme işlemleri tamamlandıktan sonra hacim hesaplama işlemine geçilmiştir. Ölçüm işlemlerinde çalışma alanının güneydoğu cephesinde yer alan tek bir SİLO baz alınmış ve hacim hesaplama işlemi bu SİLO üzerinden yapılmıştır. Ancak SİLO'nun taban alanın çevrelenmesinde SİLO'lar arası mesafenin çok yakın olması ve SİLO'lar üzerinde yer alan boşaltım tünellerinin oluşturulan üçgen yüzeye dahil edilmesi nedeniyle program bünyesinde yer alan Hacim Hesaplama Modülün yüksek hatalı sonuç verdiği görülmüştür. Bu nedenle SİLO'ların hacim hesaplama işlemleri esnasında Agisoft Metashape programı bünyesinde yer alan ölçüm aracı kullanılarak taban çapı, saçak yüksekliği ve tepe yüksekliği ölçümleri yapılmış ve aşağıda belirtilen matematiksel formüller ile hacim hesabına ulaşılmıştır.

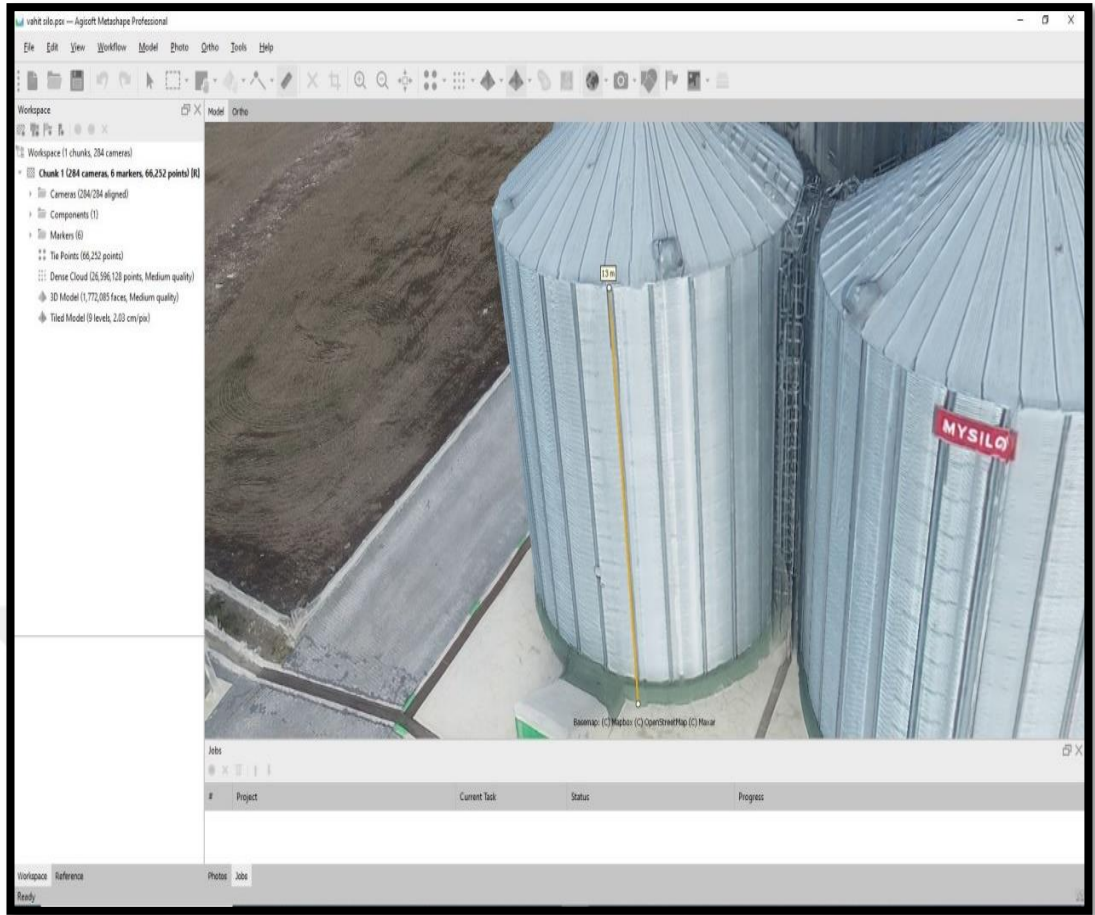
İlk olarak SİLO'nun silindir yüzeyine ait hacim hesaplaması işlemi yapılmıştır. Bu formülde ihtiyaç duyulan taban çapı ve saçak yüksekliği Agisoft Metashape programında yer alan ölçüm aracı ile bulunmuştur. Şekil 5.27'de gösterildiği üzere ilk olarak taban çapı bulunmuştur.



Şekil 5.27. Agisoft metashape programında taban çapı ölçümü.

Taban çapı ölçümleri birkaç farklı noktadan gerçekleştirilmiş ve ortalama 13.20 m olarak bulunmuş olup, bu sonuca dıştan dışa ölçüm ile ulaşılmıştır (Şekil 5.27). Hacmi hesaplanacak SİLO'ların teknik verilerinde 65 mm sac kaplama ve 10 cm şerit mastikler bulunmaktadır. Bu veriler programda her iki taraftan Agisoft Metashape programı ile elde edilen dıştan dışa ölçüm sonucundan çıkarılmış ve silonun taban çapı 12.87 m olarak hesaplanmıştır.

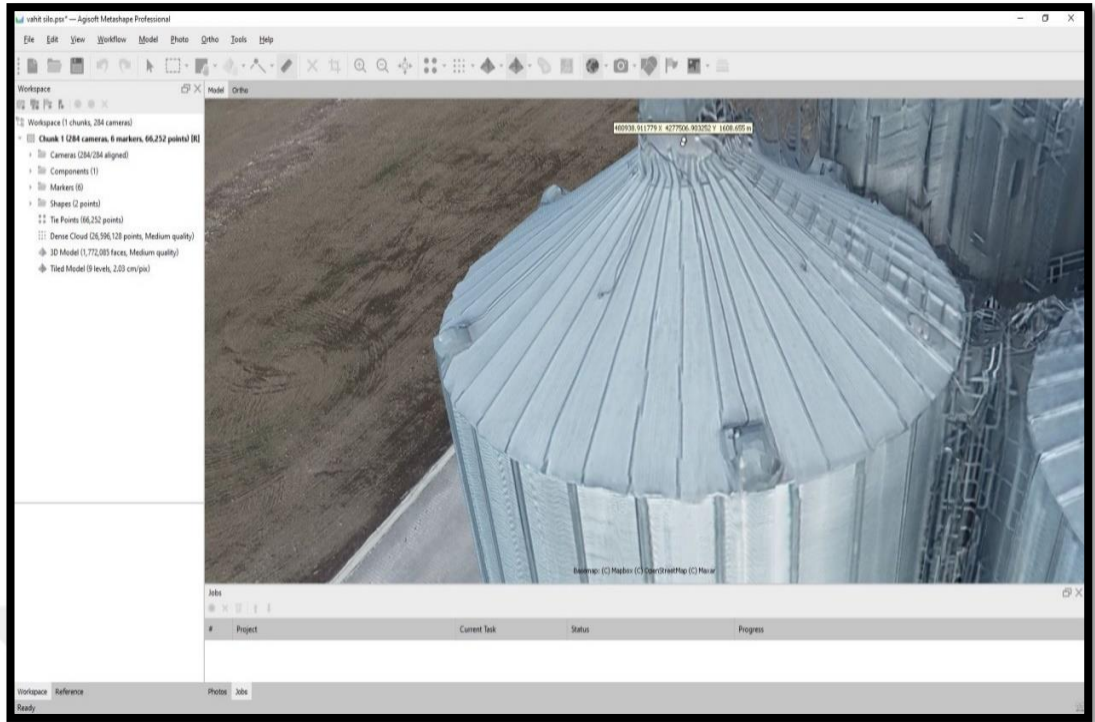
(5.1)'de belirtilen formülde ihtiyaç duyulan yükseklik ise saçak yüksekliği olarak kabul edilmiş ve Agisoft Metashape programında zemin noktasından 15. Ring bölümünün üst sınırına kadar olan yükseklik olarak hesaplanmış ve saçak yüksekliği 13.00 m olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.28).



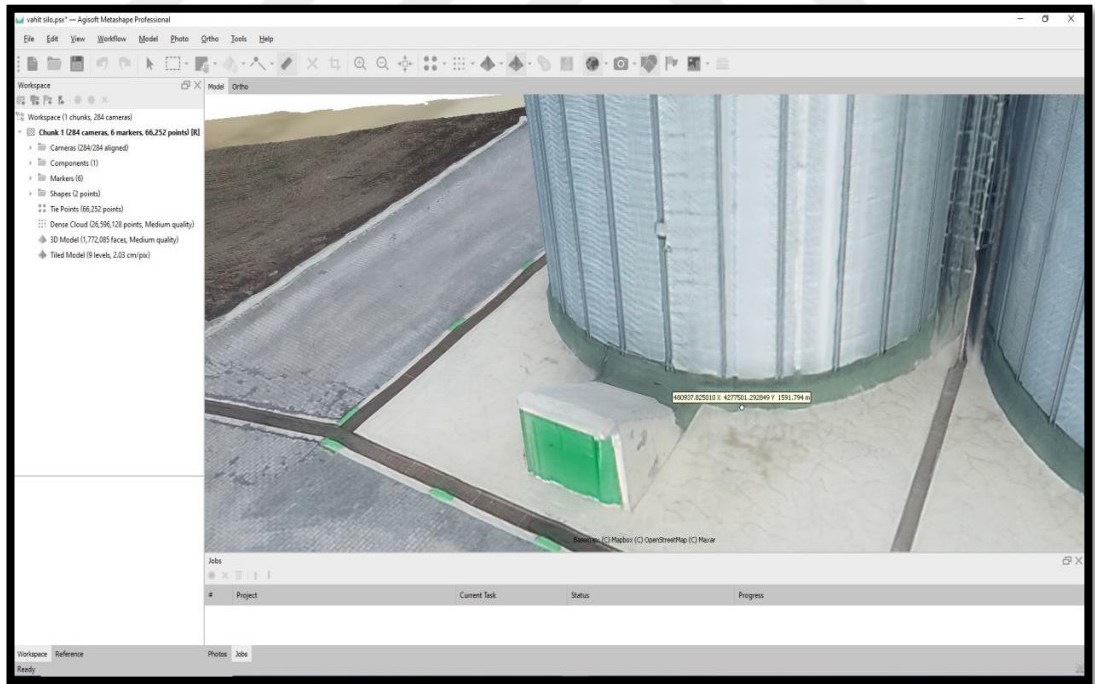
Şekil 5.28. Agisoft metashape programında saçak yüksekliği ölçümü.

Yapılan ölçümler ile elde edilen taban çapı ve saçak yüksekliği (5.1)'de belirtilen formülde kullanılarak $V_{silindir} = 1.688,55 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

İkinci olarak ise SİLO'nun üst kısmında yer alan konik yüzeyin hacmi hesaplanmıştır. Bu formülde ihtiyaç duyulan taban çapı Agisoft Metashape programında 12.87 m olarak hesaplanmış olup, h ise tepe yüksekliği ile saçak yüksekliği arasındaki fark olarak kabul edilmiştir. SİLO'nun tepe yüksekliği hesabı için Agisoft Metashape programında SİLO'nun en üst noktasına nokta atılmış (Şekil 5.29) ve bu noktanın kotu ile zemin kotu (Şekil 5.30) arasındaki fark koni yüksekliği olarak kabul edilmiştir.



Şekil 5.29. Agisoft metashape programında tepe noktası kotu ölçümü.



Şekil 5.30. Agisoft metashape programında zemin noktası kotu ölçümü.

Bu işlem ile atılan SİLO'nun tepe noktasının kotu 1608.65 olarak hesaplanmıştır. Aynı hesaplama işlemi esnasında SİLO'nun taban kotunun ise 1591.79 olduğu

görülmüş olup, tepe noktasının yüksekliği iki kotun farkı alınarak 16.86 m olarak hesaplanmıştır. Daha sonra SİLO'nun Şekil 5.28'de gösterildiği şekliyle silindir yüzeyinde hesaplanan saçak yüksekliği olan 13.00 m, hesaplanan tepe yüksekliği olan 16.86 m'den çıkarılarak koninin yüksekliği hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar (5.2)'de belirtilen formülde yerine konulmuş ve $V_{koni} = 167.12 m^3$ olarak hesaplanmıştır.

Yapılan bu işlemlerin ardından SİLO'nun toplam hacmi ise (5.3) ile belirtilen formül kullanılarak $V_{SİLO} = 1.855,67 m^3$ olarak hesaplanmıştır. Sonuç veri olarak aşağıda yer alan Çizelge 5.7 hazırlanmıştır:

Çizelge 5.7. Agisoft metashape programında ulaşılan sonuçların karşılaştırılması.

	TABAN ÇAPI (m)	SAÇAK YÜKSELİĞİ(m)	TEPE YÜKSELİĞİ(m)	KAPASİTE (m3)
Silo Teknik Bilgileri	12.83	12.68	16.29	1782
Elde Edilen Veriler	12.87	13.00	16.86	1855.67
FARK	0.04	0.32	0.57	73.67

Yapılan işlemler neticesinde Agisoft Metashape Programında yapılan ölçümlerde SİLO'nun teknik bilgilerine göre taban çapı ölçüsünde +0.04 m; saçak yüksekliğinde +0.32 m, tepe yüksekliğinde +0.57 m fark; kapasite miktarında ise +73.67 m^3 fark tespit edilmiştir.

Agisoft Metashape programında yapılan ölçümler neticesinde SİLO'nun teknik kataloğundaki hacmi ile program bünyesinde hesaplanan hacmi arasında tespit edilen +73.67 m^3 fark kullanılarak yapılan işlemin doğruluğu (5.4)'de belirtilen formül kullanılarak Doğruluk Oranı = %95.87 olarak hesaplanmıştır.

Formülde belirtilen $V_{Hesaplanan}$ Agisoft Metashape programında hesaplanan hacim miktarı ile SİLO teknik kataloğunda belirtilen hacim miktarı arasındaki farkı, $V_{SİLO}$ ise SİLO'ların teknik kapasitesinde belirtilen hacim miktarını göstermektedir.

5.2 Dolgu Alanı Hacim Hesaplama Çalışması

5.2.1 Çalışma alanı

İkinci çalışma alanı olarak Kayseri İli, Melikgazi İlçesi, Mimarsinan Mahallesi'nde yer alan Melikgazi Belediyesi'ne ait Asfalt Üretim Tesisleri tercih edilmiştir. İlgili tesiste 2020 yılı itibarıyla 170 bin ton asfalt üretimi gerçekleştirilmiştir. Proje için seçilen saha devamlı olarak ana malzeme depolanmasının yapıldığı alanda düz bir zemin yapısına sahip bölge belirlenmiş ve çalışma alanına ait uydu görüntüsü (Şekil 5.31) ve çalışma alanı içerisinde elde edilen görüntü (Şekil 5.32) aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 5.31. İkinci hacim hesabı için belirlenen çalışma alanı uydu görüntüsü.



Şekil 5.32. İkinci hacim hesabı için belirlenen çalışma alanına ait görüntü.

5.2.2 Arazi çalışması

Çalışma alanımızda Comnav T300 marka jeodezik GPS kullanılarak RTK yöntemi ile 4 adet YKN (Çizelge 5.8) atılmıştır. Çalışma alanının düz bir zemin yapısına sahip olması ve çalışma esnasında hava şartlarının uygun olması, YKN atım işlemini kolaylaştırmıştır.

Çizelge 5.8.İkinci çalışma için tesis edilen ykn bilgileri.

YKN NUMARASI	X DEĞERİ	Y DEĞERİ	Z DEĞERİ
P.101	467297.800	4287364.772	1419.735
P.102	467310.438	4287370.688	1419.801
P.103	467317.176	4287350.383	1420.075
P.104	467287.657	4287337.396	1419.401

YKN atımı tamamlandıktan sonra DJI Phantom 4 Pro marka İHA kullanılarak çalışma alanının hacim hesabı yapılacak malzemenin dökülmesi yapılmadan önce ve hacim hesabı yapılacak malzemenin dökülmesinin ardından 2 kez uçuş yapılmış ve hava fotoğrafları çekimi tamamlanmıştır. İşlem esnasında İHA ile 50 metre yükseklikten %80 ön ve %60 yan bindirme oranı toplam 226 adet fotoğraf

çekilmiştir. Yapılan uçuş işlemlerinde Pix4Dcapture yazılımı kullanılmıştır. Uçuş işlemlerinde kullanılan DJI Phantom 4 Pro marka İHA (m / 36.5) cm / piksel yer örnekleme aralığına sahip olup, yapılan uçuş 50 m yükseklikten gerçekleştirilmiş olması nedeniyle yer örnekleme aralığı 1.40 cm/piksel olarak kabul edilmiştir.

Yapılan çekim esnasında hava durumunun açık ve rüzgârsız olması uçuş işlemlerini olumlu yönde etkilemiş ve uçuş yaklaşık 10 dakika içerisinde tamamlanmıştır.

Yapılan uçuş işleminde ilk olarak çalışma alanı boş iken uçuşlar gerçekleştirilmiş ve 111 adet fotoğraf elde edilmiştir (Şekil 5.33).



Şekil 5.33. Çalışma alanını boş iken iha ile elde edilen fotoğraf örneği.

Çalışma alanı boş iken yapılan İHA uçuşu tamamlandıktan sonra hacim hesabı yapılacak malzeme çalışma alanına 2 ayrı araç ile taşınması planlanmıştır. İlk aracın kasa ölçüleri çelik metre yardımıyla ölçülmüş (Şekil 5.34) ve tonaj hesabı kantar ile yapılmıştır (Şekil 5.35). İkinci aracın kasa ölçüleri yine çelik metre yardımıyla ölçülmüş (Şekil 5.36) ve tonaj hesabı kantar ile yapılmıştır (Şekil 5.37).



Şekil 5.34. Birinci araç.

Şekil 5.34’de gösterildiği üzere ilk aracın kasa kısmı çelik metre yardımıyla ölçülmüş ve kasa eni uzunluğu 2.5 m, kasa boyu 1.7 m ve kasa uzunluğu 5.10 m olarak ölçülmüştür.

MELIKGAZI BELEDİYESİ ASFALT SANTIYESİ MIMARSINAN KAYAPUL MAH. HACI ARIF BEY CD. NO:135 KAYSERİ			
GİRİŞ TARİHİ	10.11.2020	ÇIKIŞ TARİHİ	10.11.2020
GİRİŞ SAATİ	14:53:04	ÇIKIŞ SAATİ	14:58:32
PLAKA NO	38ZR498		
KULLANICI	tunaylar		
MALZEME			
FİRMA	ALÇUM		
BELDİĞİ YER			
GİTTİĞİ YER			
SOFOR ADI			
KANTAR MEM	EROL ÖZBEK		
AÇIKLAMA			
2. TARTIM	012350	KG	
1. TARTIM	35050	KG	
NET	22700	KG	

Şekil 5.35. Birinci araç tonaj hesabı.

Şekil 5.35’te gösterildiği üzere birinci aracın taşıdığı malzemenin ağırlığı kantar vasıtasıyla tespit edilmiş olup, elde edilen kantar sonucu 22.700 kg malzeme getirildiği görülmüştür.



Şekil 5.36. İkinci araç.

Şekil 5.36’da gösterildiği üzere ikinci aracın kasa kısmı ise çelik metre yardımıyla ölçülmüş ve kasa eni uzunluğu 2,5 m, kasa boyu 1,9 m ve kasa uzunluğu 8,60 m olarak ölçülmüştür.

MELIKGAZI BELEDİYESİ ASFALT SANTIYESİ MIMAR SINAN KAYAPUL MAH. HACI ARIF BEY CD. NO:135 KAYSERİ			
GİRİŞ TARİHİ	10.11.2020	ÇIKIŞ TARİHİ	10.11.2020
GİRİŞ SAATİ	14:51:21	ÇIKIŞ SAATİ	15:03:32
PLAKA NO	38D3880		
KULLANICI	tunaylar		
MALZEME	TEMEL MALZEME		
FİRMA			
GELDİĞİ YER	NURDAL MERMER		
GİTTİĞİ YER			
SOFOR ADI			
KANTAR MEM	EROL GZBEK		
AÇIKLAMA			
2. TARTIM	017500	KG	
1. TARTIM	67100	KG	
NET	49600	KG	

Şekil 5.37. İkinci araç tonaj hesabı.

Şekil 5.37’de ise gösterildiği üzere ikinci aracın taşıdığı malzemenin ağırlığı kantar vasıtasıyla tespit edilmiş olup, elde edilen kantar sonucu 49.600 kg malzeme getirildiği görülmüştür.

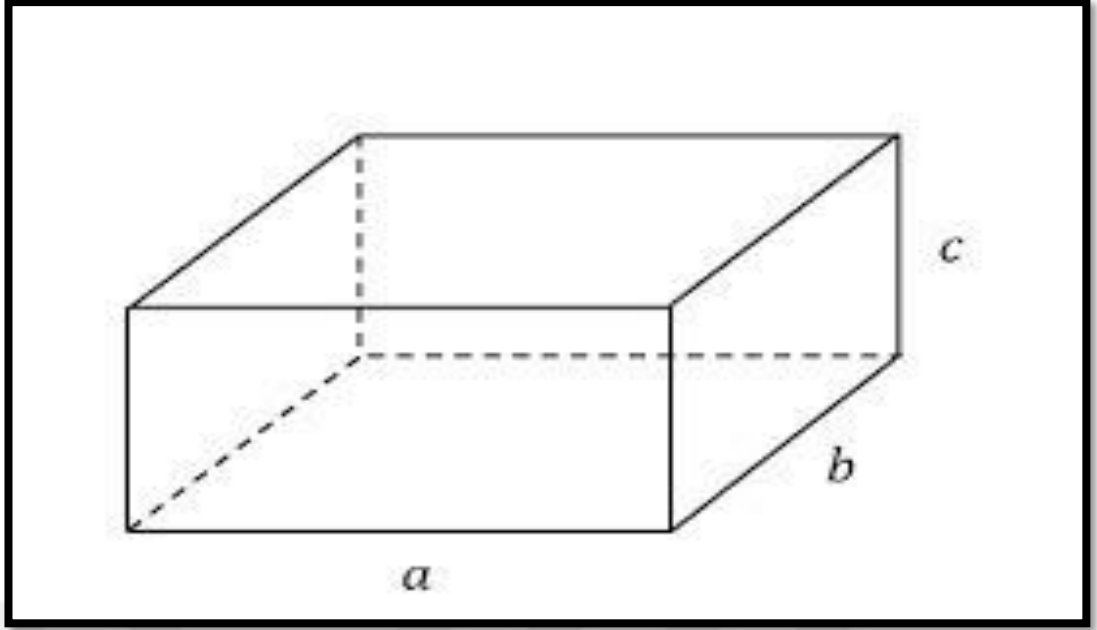
Çalışma alanına getirilen hacmi hesaplanacak malzemeye ait görüntü Şekil 5.38’de gösterilmiştir.



Şekil 5.38. Çalışma alanına taşınan malzeme.

Malzeme taşıma işlemi tamamlandıktan sonra hacim hesabı yapılabilmesi için malzemenin yoğunluk bilgisine ihtiyaç duyulmuştur. Hacim hesabı yapılacak malzemenin aynı ebat ve ölçülerde homojen olmayan yapıya sahip olması nedeniyle yoğunluk hesabı yapılabilmesi için dikdörtgen prizma yüzey yapısına sahip bir adet eni 11.6 cm, boyu 15 cm ve yüksekliği 31 cm olan yağ tenekesi kullanılmıştır. Söz konusu tenekeye malzemeden doldurulmuş, kantar vasıtasıyla ağırlığı ölçülmüş ve 9.35 kg olarak ölçülmüştür.

Yapılan ölçüm sonucu aşağıda Şekil 5.39’da gösterilen dikdörtgen prizma hacim hesaplama formülünde (5.5) kullanılarak malzemenin hacmi hesaplanmış ve (5.6)’da belirtilen yoğunluk formülü yardımıyla malzemenin yoğunluğuna ulaşılmıştır.



Şekil 5.39. Dikdörtgen prizma.

Dikdörtgen prizmanın hacim formülü aşağıda gösterilmiştir:

$$V = a \times b \times c \quad (5.5)$$

Bu formülde a dikdörtgen prizmanın boyu, b dikdörtgen prizmanın eni, c ise dikdörtgen prizmanın yüksekliğidir.

Malzemenin yoğunluğu aşağıda belirtildiği şekilde hesaplanmıştır:

$$d = \frac{m}{v} \quad (5.6)$$

Bu formülde D yoğunluk, m malzemenin kütlesi, v ise malzemenin hacmidir.

$$d = \frac{9.35 \text{ kg}}{(11,6 \text{ cm} \times 31 \text{ cm} \times 15 \text{ cm})}$$

$$d = 0.001733 \text{ kg} / \text{cm}^3$$

olarak hesaplanmıştır. Yoğunluk birimi ton birimine uyarlanması yapılarak ve $d = 1.73 \text{ ton} / \text{m}^3$ olarak bulunmuştur.

Çalışma alanına taşınan malzemenin toplam hacmine ise (5.6)'da belirtilen yoğunluk formülü kullanılarak ulaşılmış olup, çalışma alanına taşınan malzemenin hesaplanan yoğunluk değerine oranı alınarak Bu formülde 41.79 m^3 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan hacim değeri çalışma kapsamında yapılacak hesaplamalarda referans olarak kabul edilmiştir.

Saha çalışmasının üçüncü aşamasında ise çalışma alanına hacmi hesaplanacak malzeme getirilmesinin ardından İHA ile uçuş gerçekleştirilerek 115 adet fotoğraf elde edilmiştir (Şekil 5.40). Yapılan iki ayrı uçuş ile arazi çalışması tamamlanmıştır.



Şekil 5.40. Hacmi hesaplanacak malzemenin iha ile elde edilen fotoğraf örneği.

5.2.3 Büro çalışması

Arazi çalışmaları sonucu elde edilen veriler ofis ortamında üç boyutlu modellerin üretilmesi aşamasında kullanılmıştır. Üç boyutlu modellerin elde edilmesi ve hacim hesabının yapılması için Pix4Dmapper, Agisoft Metashape ve 3DF Zephyr programları kullanılmış ve hacim hesaplamaları yapılmıştır. Ayrıca çalışma alanında iki ayrı ölçüm yapılmış olması ve iki ayrı SYM üretilecek olması nedeniyle Pix4Dmapper, Agisoft Metashape ve 3DF Zephyr programlarında üretilen nokta bulutları veya SYM'ler, yüzeyler arası hacim hesaplama imkanı sağlayan Global Mapper, Surfer ve 3D Survey programlarında değerlendirilerek hacim hesaplamaları yapılmıştır.

Pix4Dmapper programı ile yapılan hacim hesaplama işlemi

Dolgu alanının hacim hesaplanması ilk olarak Pix4Dmapper programında yapılmıştır.

Pix4Dmapper programında ilk olarak Çizelge 5.8'de belirtilen YKN değerleri eklenmiş ve aşağıda Çizelge 5.9'da belirtilen hata paylarına ulaşılmıştır. Pix4Dmapper programında ortalama X değeri hata payı 0.002196 m, Y değeri hata payı 0.005469 m ve Z değeri hata payı ise 0.017886 m olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 5.9. Pix4Dmapper programında ykn hata payları.

GCP Name	Accuracy XY/Z (m)	Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)	Projection Error (pixel)	Verified/Marked
P.101 (3D)	0.020/0.020	0.001	0.009	0.023	0.841	10/10
P.102 (3D)	0.020/0.020	-0.002	-0.004	-0.024	1.108	10/10
P.103 (3D)	0.020/0.020	-0.002	-0.003	0.01	0.986	10/10
P.104 (3D)	0.020/0.020	0.004	-0.003	-0.008	0.873	12/12
Mean (m)		0.00027	0.000051	-0.0000021		
Sigma (m)		0.002179	0.005469	0.017886		
RMS Error (m)		0.002196	0.005469	0.017886		

Çalışma alanında malzemenin getirilmesinden önce ve sonra iki ayrı uçuş yapılmış olması nedeniyle Pix4Dmapper programında iki ayrı modelleme yapılmıştır.

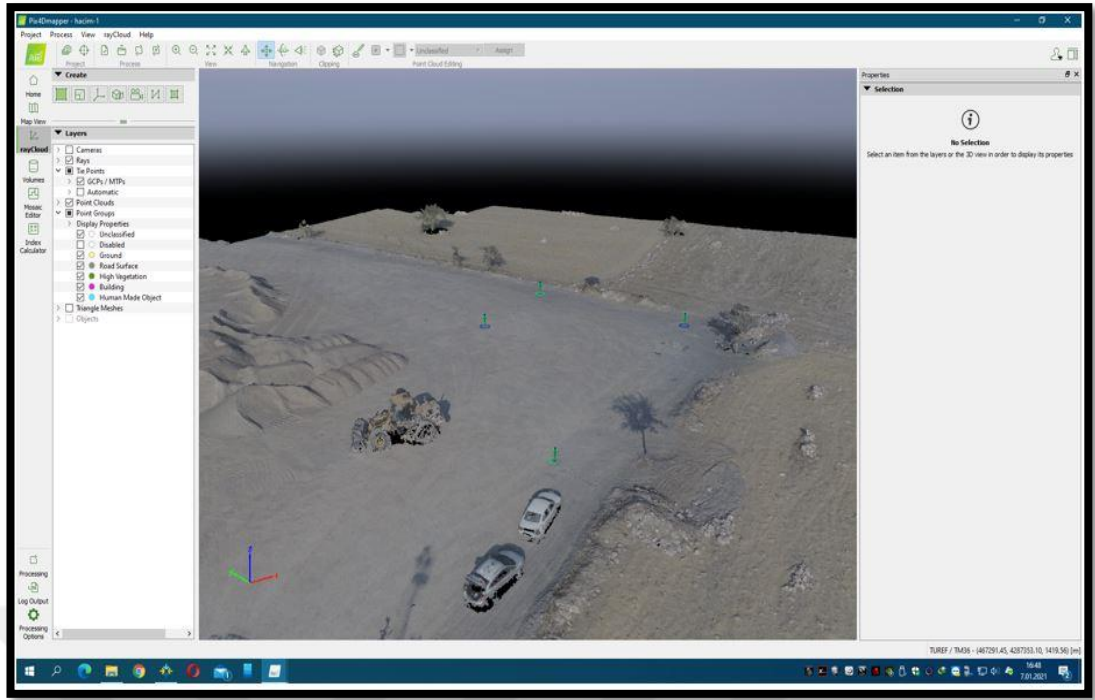
3D modelleme işlemi ilk olarak çalışma alanının ilk yüzeyine ait İHA ile elde edilen fotoğraflar yardımıyla Pix4Dmapper programında nokta bulutu (Şekil 5.41) ve mesh modellemesi (Şekil 5.42) yapılmıştır. Daha sonraki aşamada ise çalışma alanına hacmi hesaplanacak malzeme taşındıktan sonra elde edilen fotoğraflar yardımıyla nokta bulutu (Şekil 5.43) ve mesh modellemesi (Şekil 5.44) yapılmıştır.

Daha sonraki aşamada ise hacim hesabı yapılmıştır. İlk olarak Pix4Dmapper programında yazılımsal olarak tek yüzey üzerinden hacim hesabı yeteneği bulunması nedeniyle oluşturulan üç boyutlu model üzerinden hacim hesabı yapılmıştır.

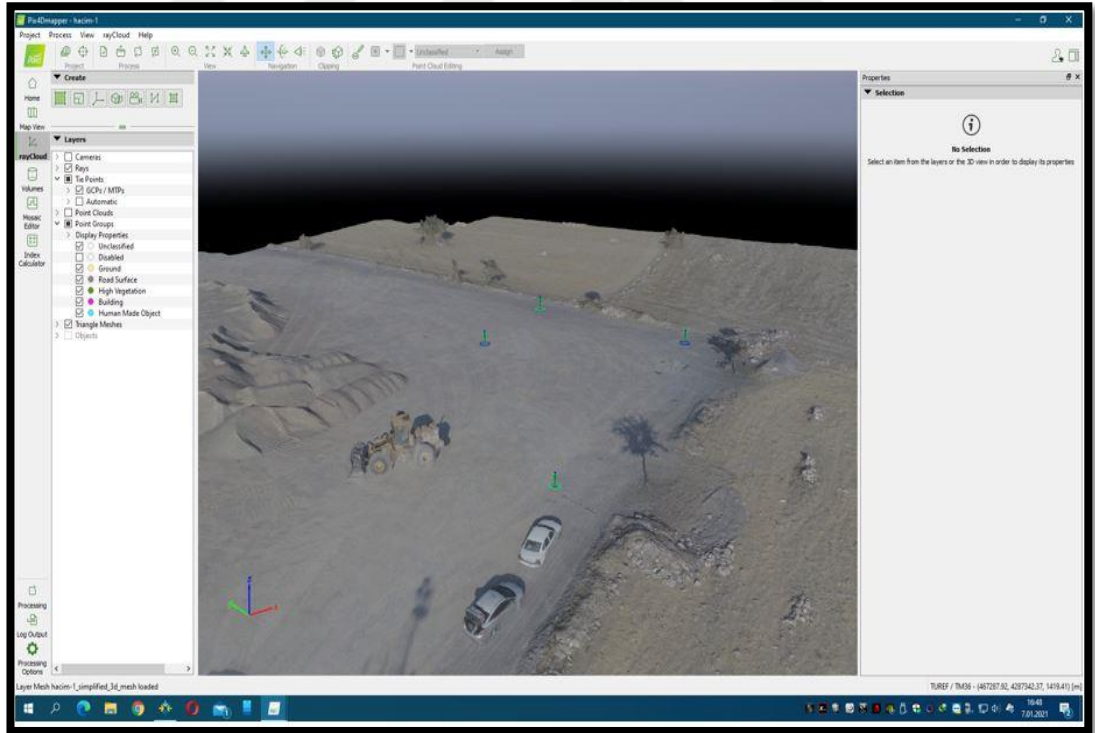
İkinci olarak ise Pix4Dmapper programında üretilen çalışma alanının ilk yüzeyine ait SYM ile ikinci yüzeyine ait SYM Global Mapper programına aktarılmış ve iki SYM karşılaştırılarak hacim hesabı yapılmıştır.

Üçüncü olarak ise Pix4Dmapper programında üretilen çalışma alanının ilk yüzeyine ait nokta bulutu ile çalışma alanının ikinci yüzeyine ait nokta bulutu 3D Survey programına aktarılmış ve söz konusu nokta bulutları kullanılarak 3D Survey programında çalışma alanının ilk yüzeyi ile ikinci yüzeyi için SYM'ler üretilmiş ve iki SYM karşılaştırılarak hacim hesabı yapılmıştır.

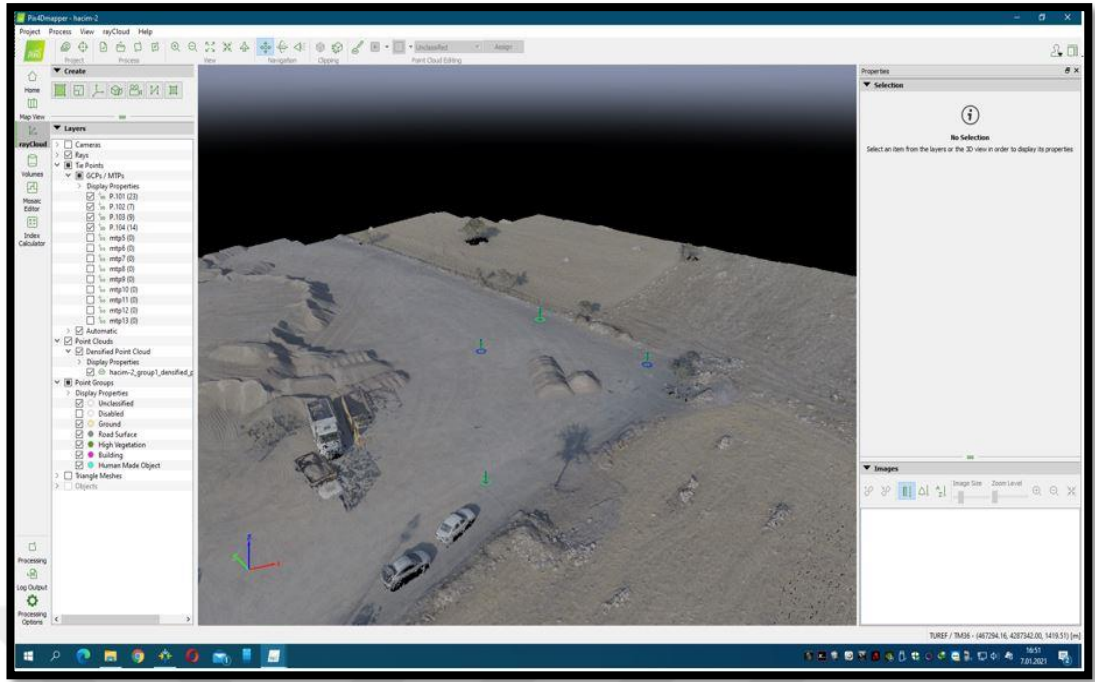
Dördüncü olarak ise Pix4Dmapper programında üretilen çalışma alanının ilk haline ait nokta bulutu ile çalışma alanının ikinci haline ait nokta bulutu Surfer programına aktarılmış ve söz konusu nokta bulutları kullanılarak Surfer programında çalışma alanının ilk yüzeyi ile ikinci yüzeyi için grid modeller üretilmiş ve iki grid model karşılaştırılarak hacim hesabı yapılmıştır.



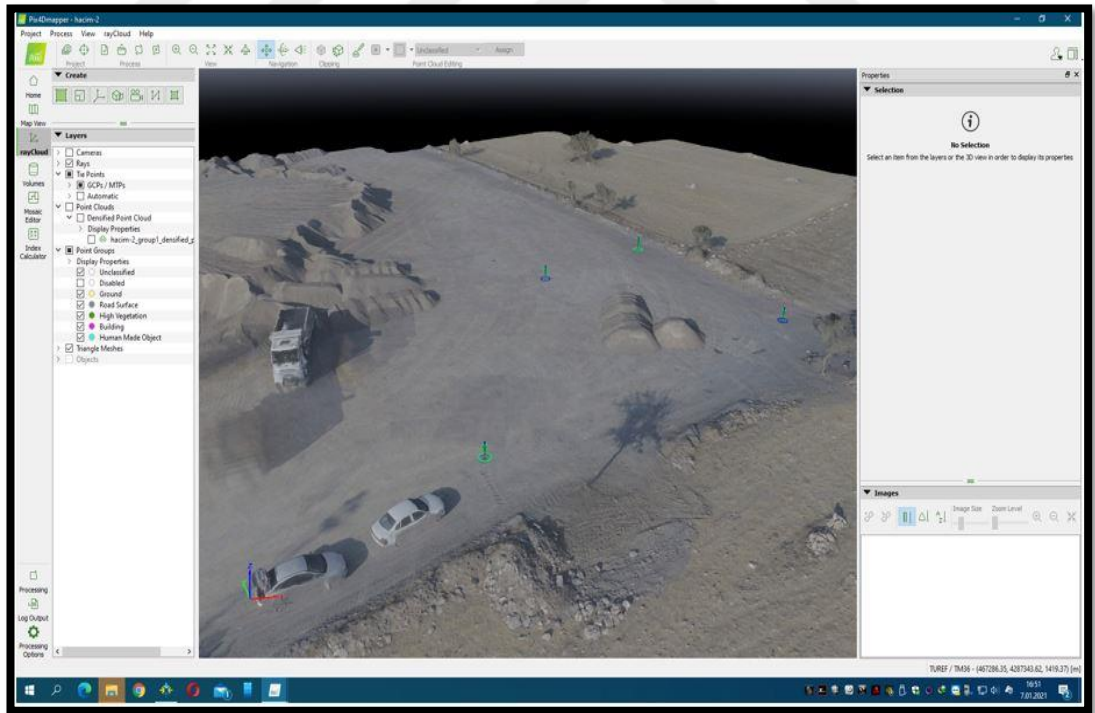
Şekil 5.41. Pix4Dmapper programında çalışma alanının ilk yüzeyine ait nokta bulutu.



Şekil 5.42. Pix4Dmapper programında alanının ilk yüzeyinin mesh modeli.

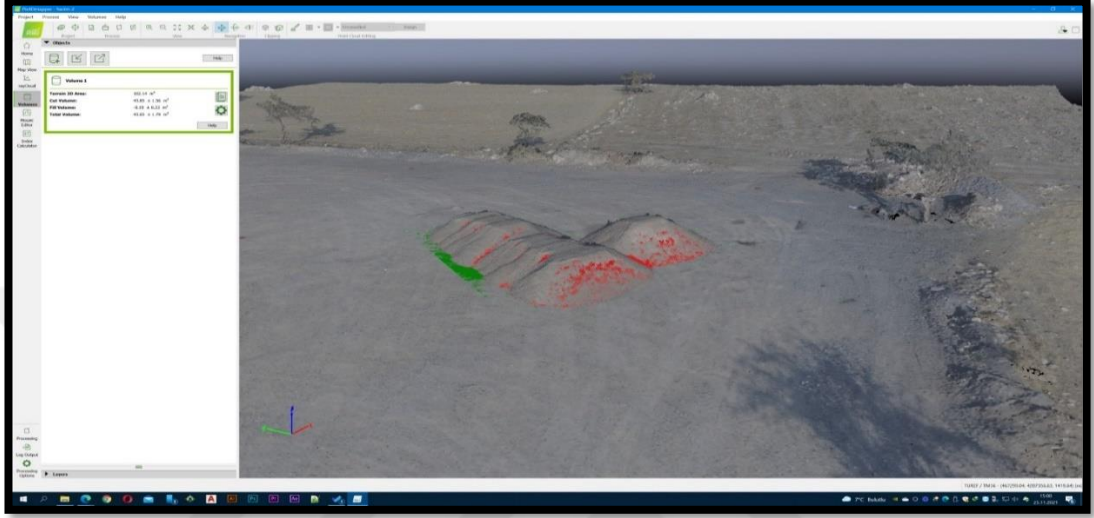


Şekil 5.43. Pix4Dmapper programında çalışma alanının ikinci yüzeyine ait nokta bulutu.



Şekil 5.44. Pix4Dmapper programında çalışma alanının ikinci yüzeyinin mesh modeli.

Hacim hesaplama aşamasında ilk olarak Pix4Dmapper programı bünyesinde yer alan hacim hesaplama aracı kullanılmıştır. Programda üretilen çalışma alanına ait üç boyutlu model üzerinden malzeme alanı çevrilerek belirlenen alandaki noktalar yardımıyla oluşturulan üç boyutlu model üzerinden hacim hesaplaması gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.45)



Şekil 5.45. Pix4Dmapper programında gerçekleştirilen hacim hesabı.

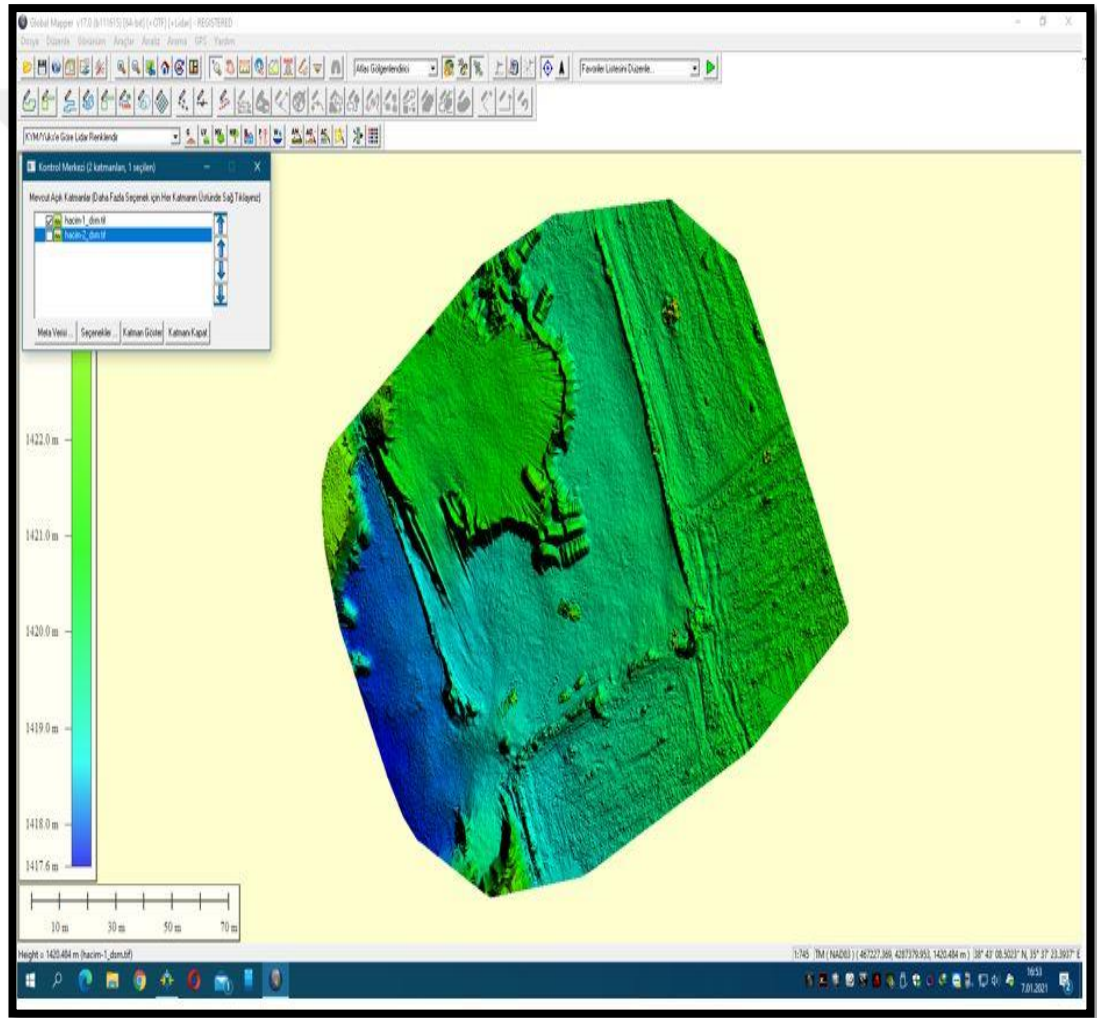
Yapılan hacim hesaplama işlemi sonucunda çalışma alanına getirilen malzemenin toplam hacmi 43.65 m^3 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.46)



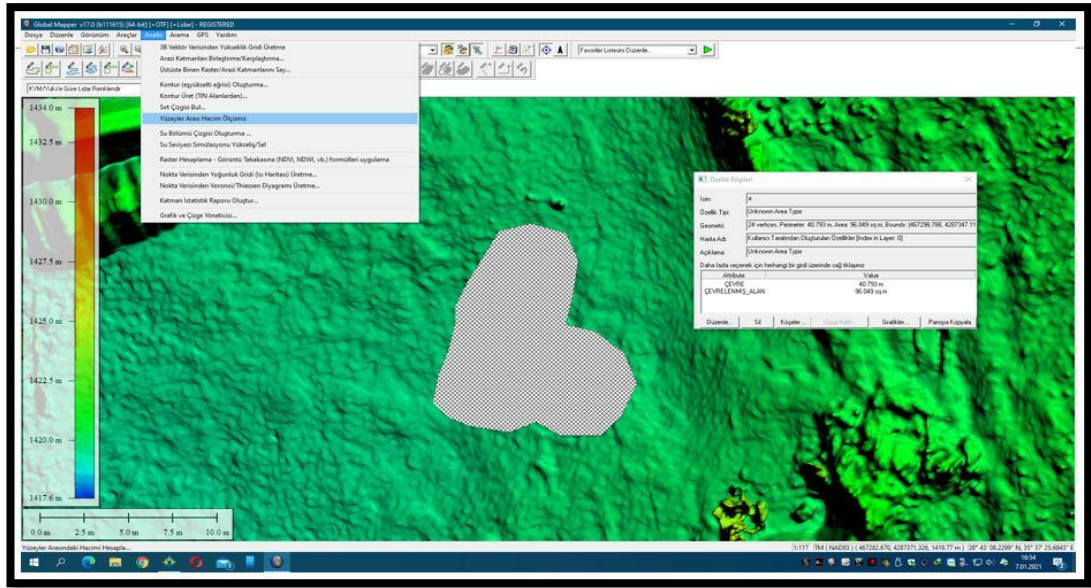
Şekil 5.46. Pix4Dmapper programında gerçekleştirilen hacim hesabı sonuç ekranı.

Hacim hesabı yapılacak malzemenin referans hacim miktarı ile Pix4Dmapper programında elde edilen hacim miktarı arasında 1.86 m^3 fark bulunmuş olup, hesaplanmış olup, Pix4Dmapper programında doğruluk oranı %95,55 olarak tespit edilmiştir.

İkinci olarak Pix4Dmapper programında yapılan hacim hesaplama işlemi tamamlandıktan sonra Pix4Dmapper programında elde edilen ilk yüzeyin SYM modeli (Şekil 5.47) ve ikinci yüzeyin SYM modeli (Şekil 5.48) Global Mapper programına aktarılmış ve hacim hesaplama işlemi yapılmıştır.

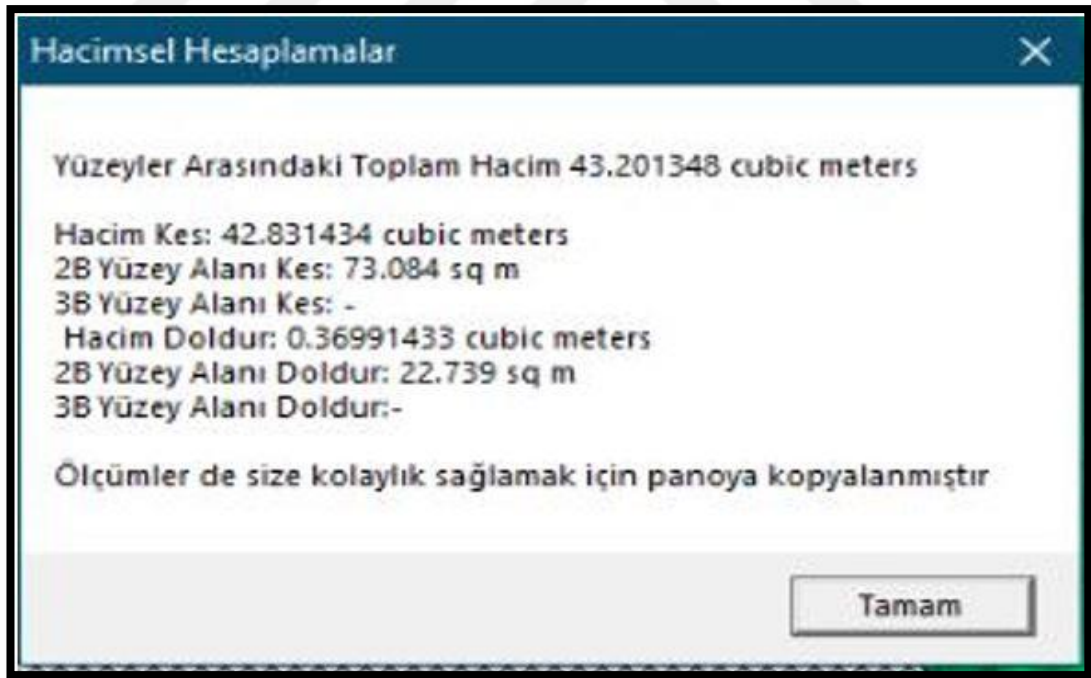


Şekil 5.47. Global mapper programına aktarılan çalışma alanının ilk yüzeyine ait sym modeli.



Şekil 5.50. Global mapper programında hacim hesabı.

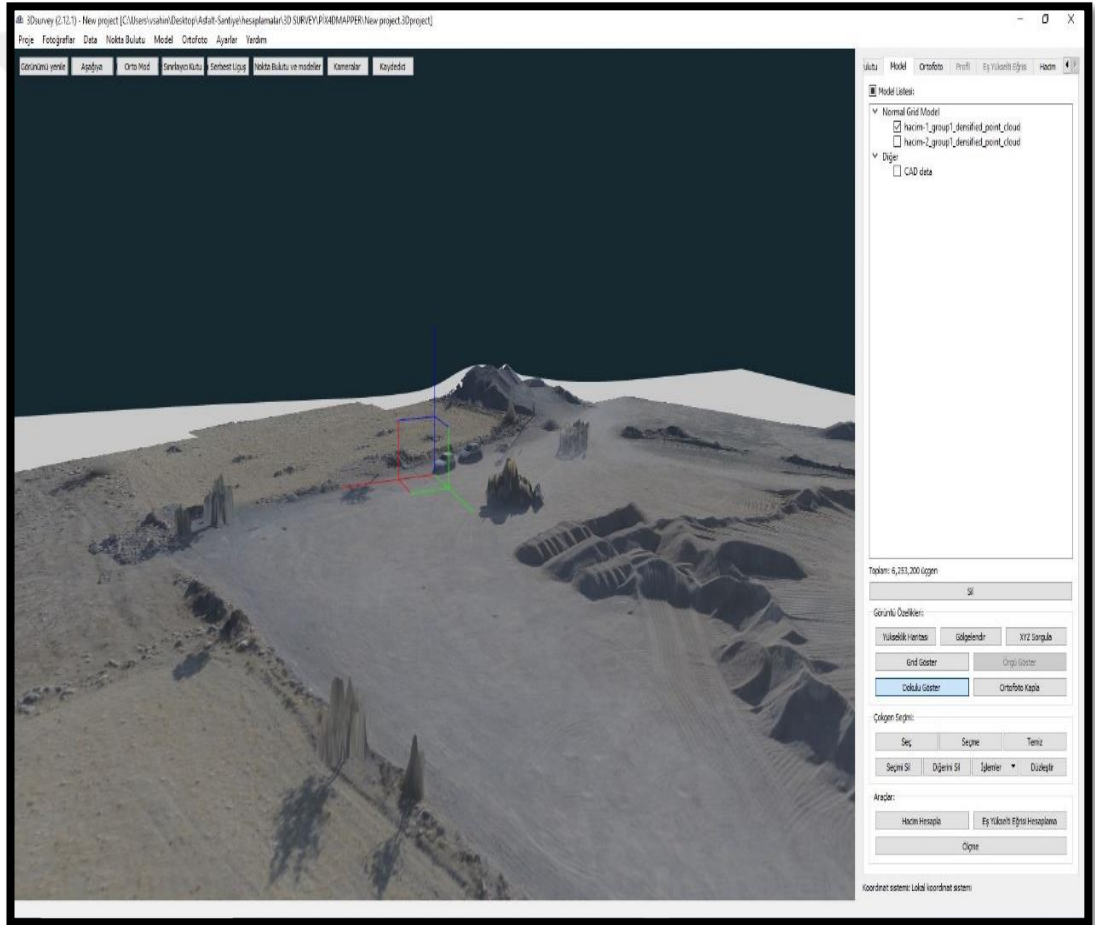
Global Mapper programı ile yüzeyler arasındaki hacim 43.20 m^3 olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.51).



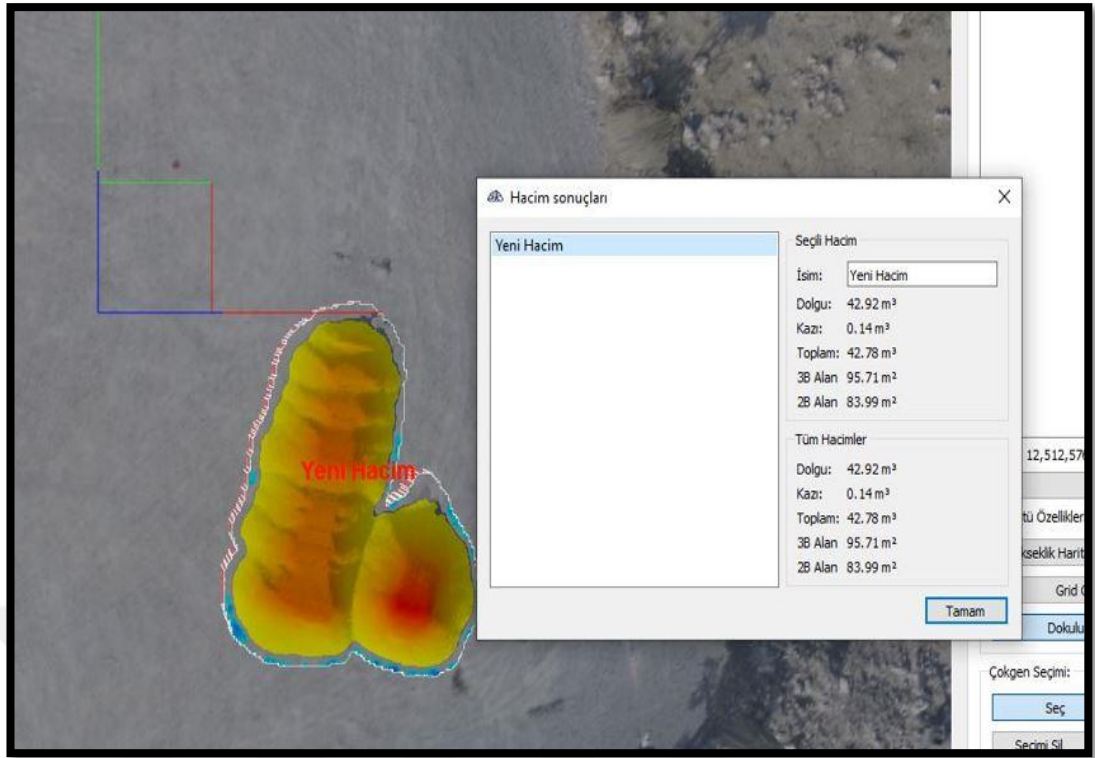
Şekil 5.51. Global mapper programında hacim hesabı sonuç ekranı.

Global Mapper programında elde edilen hacim miktarı ile referans alınan hacim miktarı arasında 1.41 m^3 fark bulunmuş olup, yapılan hacim hesaplaması sonucu Global Mapper programında doğruluk oranı %96,63 olarak tespit edilmiştir.

Global Mapper programında yapılan hacim hesaplaması tamamlandıktan sonra üçüncü olarak ise Pix4Dmapper programında üretilen çalışma alanının ilk yüzeyi ile ikinci yüzeyine ait nokta bulutları 3D Survey programına aktarılmıştır. Söz konusu nokta bulutları kullanılarak 3D Survey programında çalışma alanının ilk yüzeyine ait SYM (Şekil 5.52) ile çalışma alanının ikinci yüzeyine ait SYM (Şekil 5.53) üretilmiş ve iki SYM karşılaştırılarak hacim hesapı yapılmıştır.



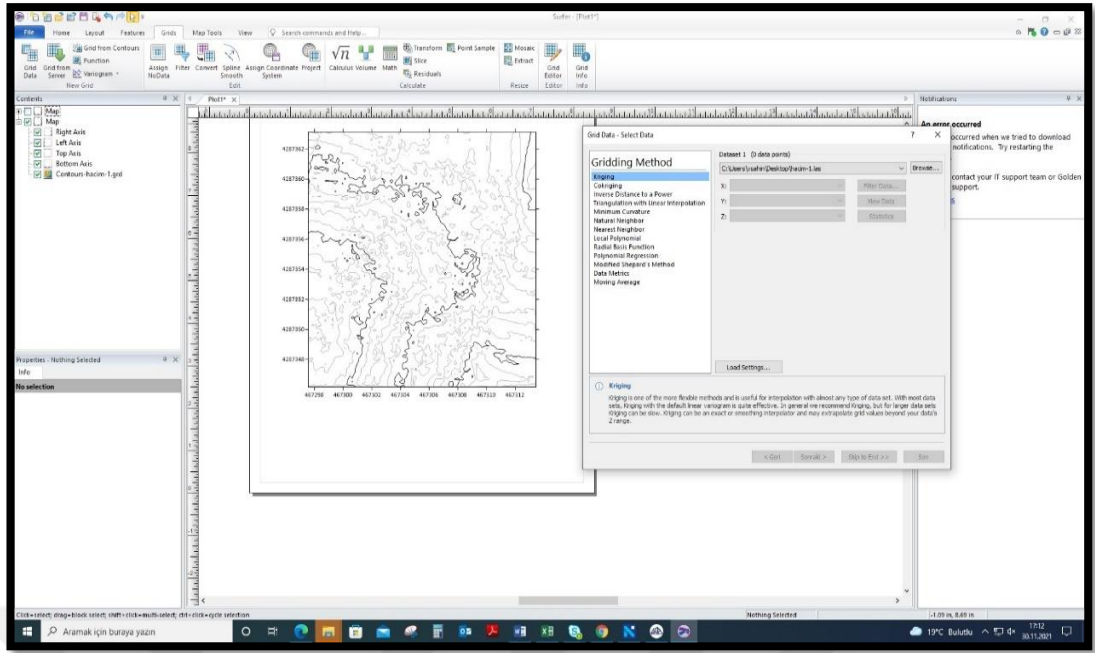
Şekil 5.52. 3D Survey programında üretilen çalışma alanının ilk yüzeyine ait sym.



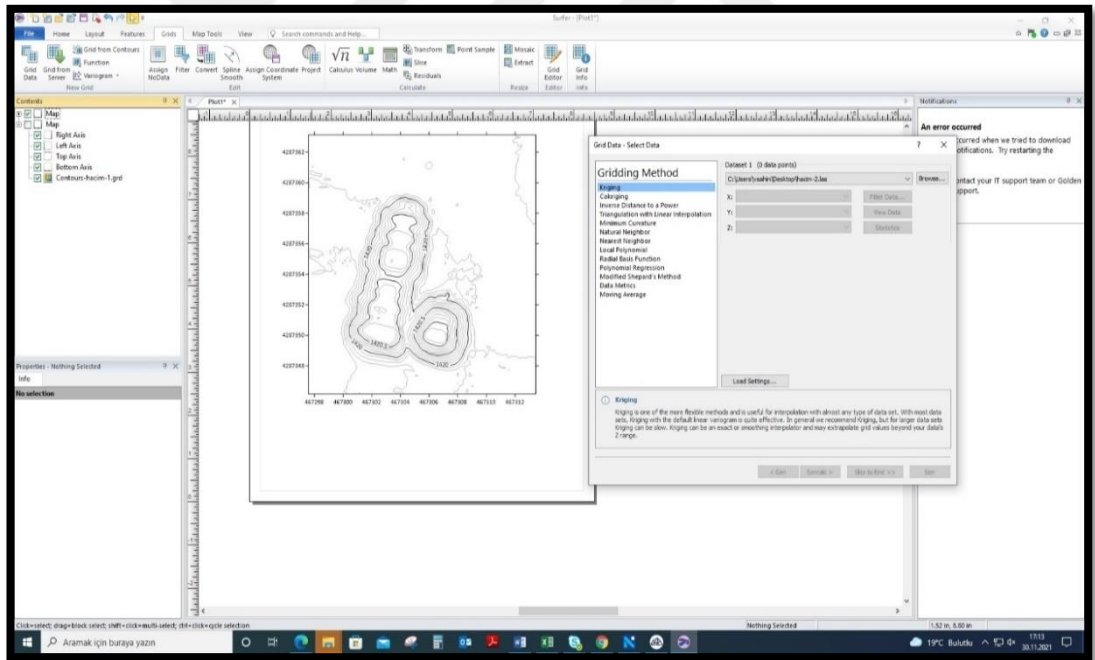
Şekil 5.55. 3D Survey programında hacim hesabı sonuç ekranı.

Yapılan hacim hesaplaması sonucu 3D Survey programında elde edilen hacim miktarı ile referans alınan hacim miktarı arasında 1.13 m^3 fark bulunmuş olup, 3D survey programında doğruluk oranı %97,30 olarak tespit edilmiştir.

Dördüncü olarak ise Pix4Dmapper programında üretilen çalışma alanının ilk yüzeyine ait nokta bulutu ile çalışma alanının ikinci yüzeyine ait nokta bulutu Surfer programında değerlendirilerek hacim hesabı yapılmıştır. Surfer programında ilk olarak Pix4Dmapper programında üretilen nokta bulutları değerlendirilerek çalışma alanının ilk yüzeyine ait Grid modeli (Şekil 5.56) ve çalışma alanının ikinci yüzeyine ait Grid modeli (Şekil 5.57) Surfer programında oluşturulmuştur. Surfer programında grid model oluştururken arazi yapısına en uygun enterpolasyon yöntemi olan Kriging Enterpolasyon Yöntemi kullanılmıştır. Surfer programında hacim hesaplaması yapılması için oluşturulan grid modellerin aynı boyutlara sahip olması gerekmektedir.



Şekil 5.56. Surfer programında üretilen çalışma alanının ilk yüzeyine ait grid model.

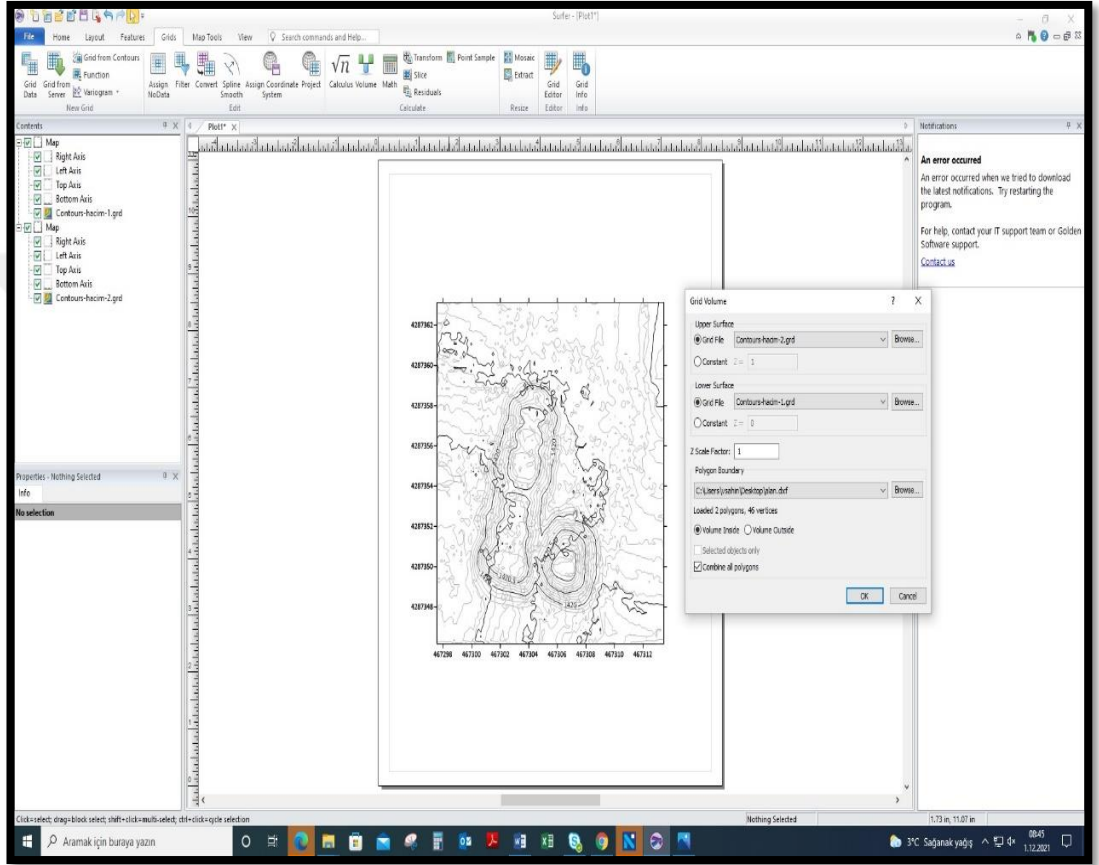


Şekil 5.57. Surfer programında üretilen çalışma alanının ikinci yüzeyi için üretilen grid model.

Grid modeller üretildikten sonra Surfer programı Grid Menüsü içerisinde yer alan “Volume” toolu kullanılarak hacim hesaplaması yapılmıştır. Söz konusu menü seçildikten sonra Surfer programında üretilen grid modeller seçilmiş ve hacmi

hesaplanacak malzemenin etrafını çevrildiği alan modeli hacim hesaplama menüsüne eklenerek hacim hesaplaması yapılmıştır (Şekil 5.58)

Hacim hesabı yapılırken alt yüzey olarak çalışma alanının ilk yüzeyine ait grid model, üst yüzey için ise çalışma alanının ikinci yüzeyi için oluşturulan grid model seçilmiştir.



Şekil 5.58. Surfer programında hacim hesaplama menüsü.

Yapılan hacim hesaplama işlemi sonucunda Surfer programında toplam hacim 42.17 m^3 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.59)

Volumes	
Z Scale Factor:	1
Total Volumes by:	
Trapezoidal Rule:	42.179394524811
Simpson's Rule:	42.164775694744
Simpson's 3/8 Rule:	42.184882662115
Cut & Fill Volumes	
Positive Volume [Cut]:	42.182047122819
Negative Volume [Fill]:	0.0026525980074974
Net Volume [Cut-Fill]:	42.179394524811

Şekil 5.59. Surfer programında hacim hesaplama sonuç ekranı.

Yapılan hacim hesabı sonucunda Surfer programında elde edilen hacim miktarı ile referans alınan hacim miktarı arasında hacim hesabı yapılacak malzemenin (5.6)'da belirtilen yoğunluk formülü ile hacmi 0.38 m^3 fark bulunmuş olup, Surfer programında doğruluk oranı %99,10 olarak tespit edilmiştir.

Agisoft metashape programı ile yapılan hacim hesaplama işlemi

Dolgu alanında yapılacak ikinci hacim hesabı için Agisoft Metashape Programı kullanılmıştır. Agisoft Metashape Programında ilk olarak Çizelge 5.8’de belirtilen YKN değerleri eklenmiş aşağıda Çizelge 5.10’da belirtilen hata paylarına ulaşılmış olup, Agisoft Metashape programında YKN nihai ortalama hata payı 0.010232 m olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 5.10. Agisoft metashape programında ykn hata payları.

MARKERS	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (Pix)
P.101	467297.8	4287364.772	1419.735	0.005	0.013738	15	1.428
P.102	467310.438	4287370.688	1419.801	0.005	0.008899	17	1.491
P.103	467317.176	4287350.383	1420.075	0.005	0.010853	10	1.317
P.104	467287.657	4287337.396	1419.401	0.005	0.005749	11	1.763
Control Points					0.010232		1.504

YKN’ler eklendikten sonra çalışma alanında hacmi hesaplanacak malzemenin getirilmesinden önce ve sonra iki ayrı uçuş yapılmış olması nedeniyle Agisoft Metashape programında iki ayrı modelleme yapılmıştır.

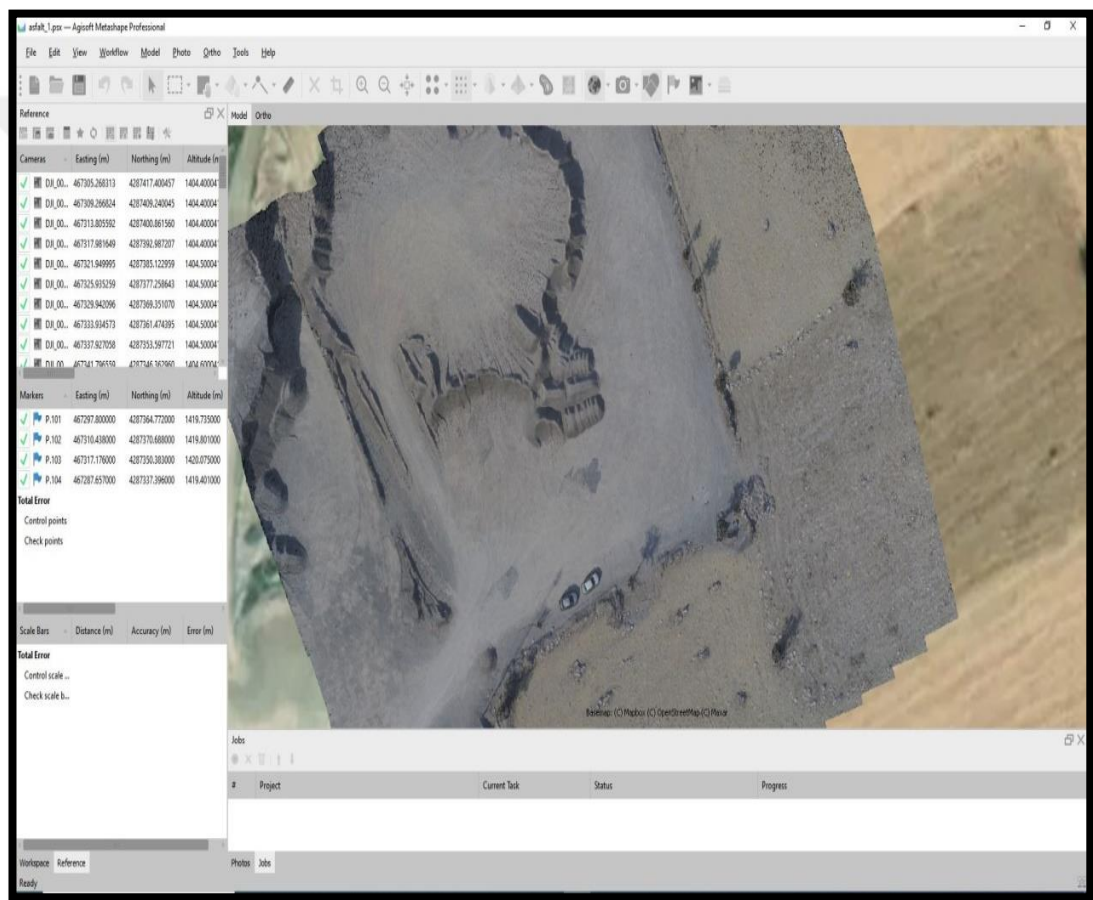
3D modelleme işlemi ilk olarak çalışma alanının ilk yüzeyine ait İHA ile elde edilen fotoğraflar yardımıyla Agisoft Metashape programında nokta bulutu ve mesh modellemesi (Şekil 5.60) yapılmıştır. Daha sonraki aşamada ise çalışma alanının ikinci yüzeyine fotoğraflar yardımıyla nokta bulutu ve mesh modellemesi (Şekil 5.61) yapılmıştır.

Daha sonraki aşamada ise hacim hesabı yapılmıştır. İlk olarak Agisoft Metashape programında yazılımsal olarak tek yüzey üzerinden hacim hesabı yeteneği bulunması nedeniyle oluşturulan 3 boyutlu model üzerinden hacim hesabı yapılmıştır.

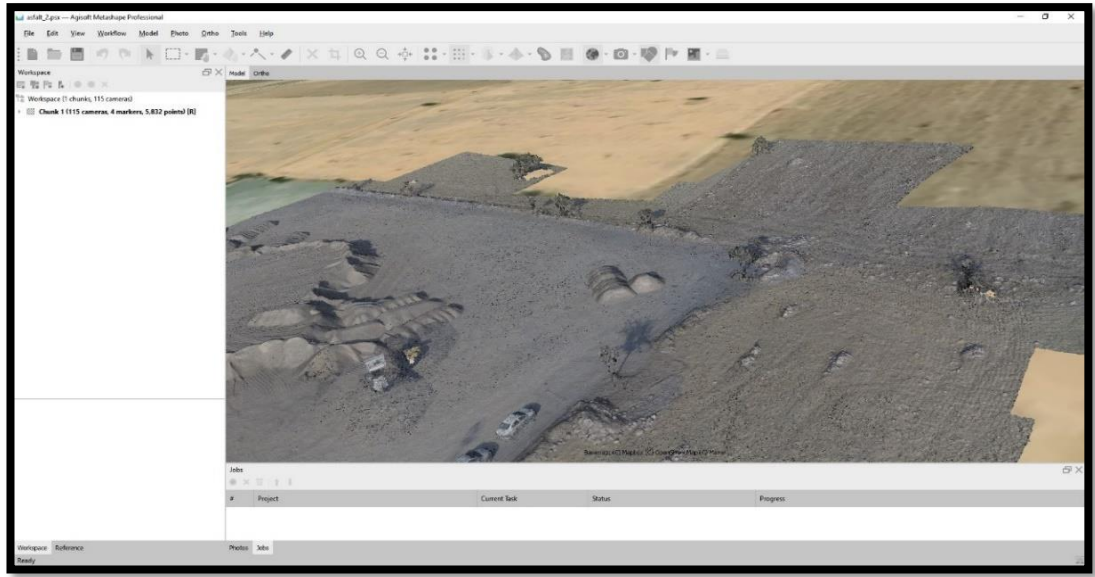
İkinci olarak ise Agisoft Metashape programında üretilen çalışma alanının ilk yüzeyine ait SYM ile çalışma alanının ikinci yüzeyine ait SYM Global Mapper programına aktarılmış ve iki SYM karşılaştırılarak hacim hesabı yapılmıştır.

Üçüncü olarak ise Agisoft Metashape programında üretilen çalışma alanının ilk yüzeyi ile çalışma alanının ikinci yüzeyine ait nokta bulutları 3D Survey programına

Dördüncü olarak ise Agisoft Metashape programında üretilen çalışma alanının ilk yüzeyine ait nokta bulutu ile çalışma alanının ikinci yüzeyine ait nokta bulutu Surfer programına aktarılmış ve söz konusu nokta bulutları kullanılarak Surfer programında çalışma alanının ilk yüzeyi ile çalışma alanının ikinci yüzeyi için grid modeller üretilmiş ve iki grid model karşılaştırılarak hacim hesabı yapılmıştır.

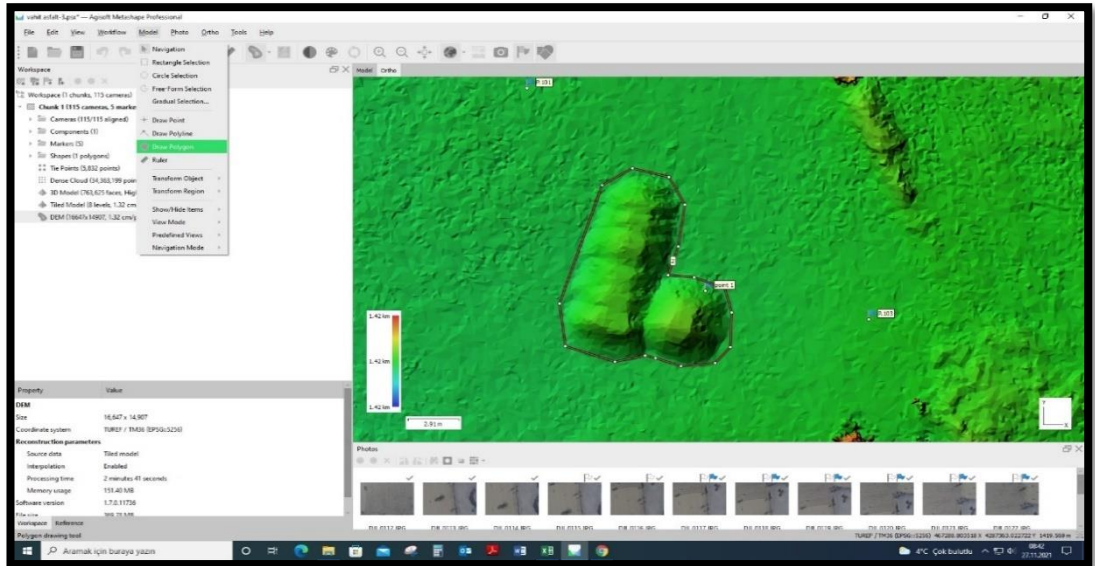


81



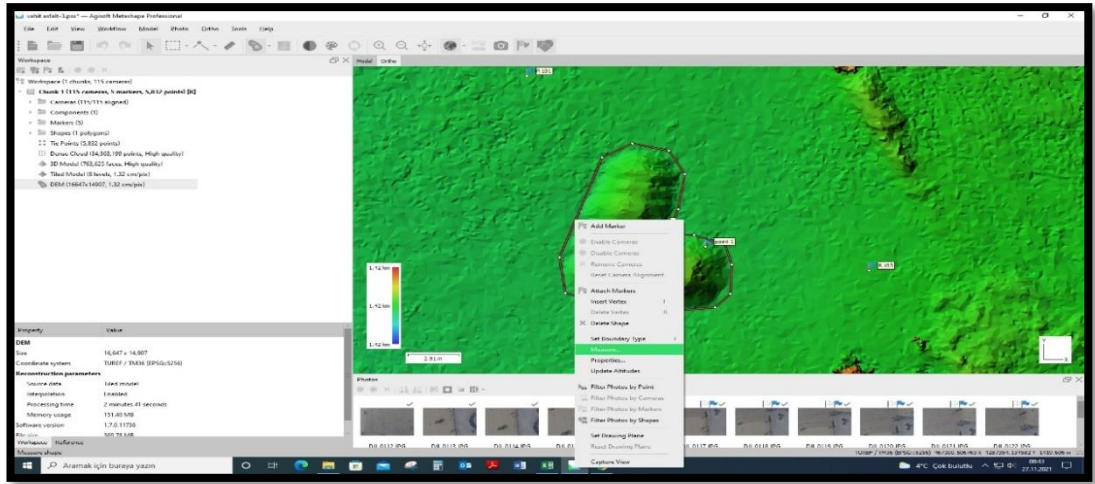
Şekil 5.61. Agisoft metashape programında çalışma alanının ikinci yüzeyine ait mesh modeli.

Hacim hesaplama aşamasında ilk olarak Agisoft Metashape programı bünyesinde yer alan ölçüm aracı kullanılmıştır. Programda üretilen çalışma alanına ait 3 boyutlu model üzerinden malzeme alanı çevrilerek hacim hesaplaması yapılacak bölge belirlenmiştir (Şekil 5.62).



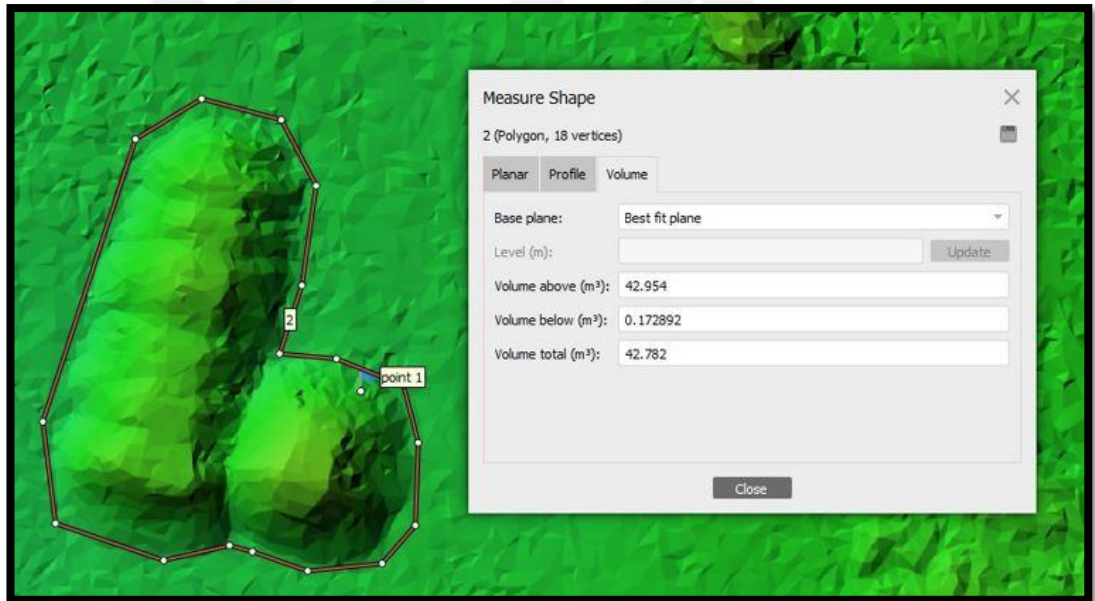
Şekil 5.62. Agisoft metashape programında hacim hesaplanacak alanın belirlenmesi.

Daha sonraki aşamada ise hacim hesaplaması için belirlenen alanda ölçüm yapılarak hacim hesaplaması gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.63)



Şekil 5.63. Agisoft metashape programında hacim hesaplama menüsü.

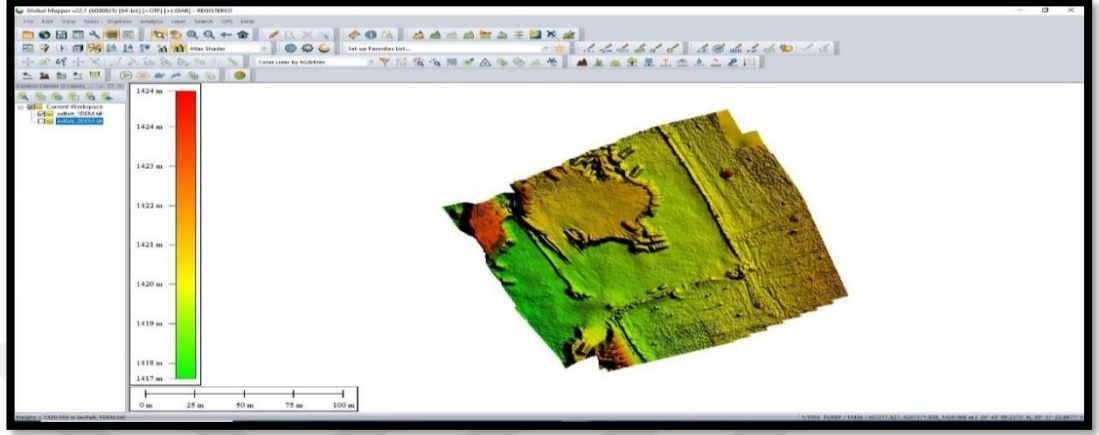
Yapılan hacim hesaplama işlemi sonucunda çalışma alanına getirilen malzemenin toplam hacmi 42.78 m^3 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.64)



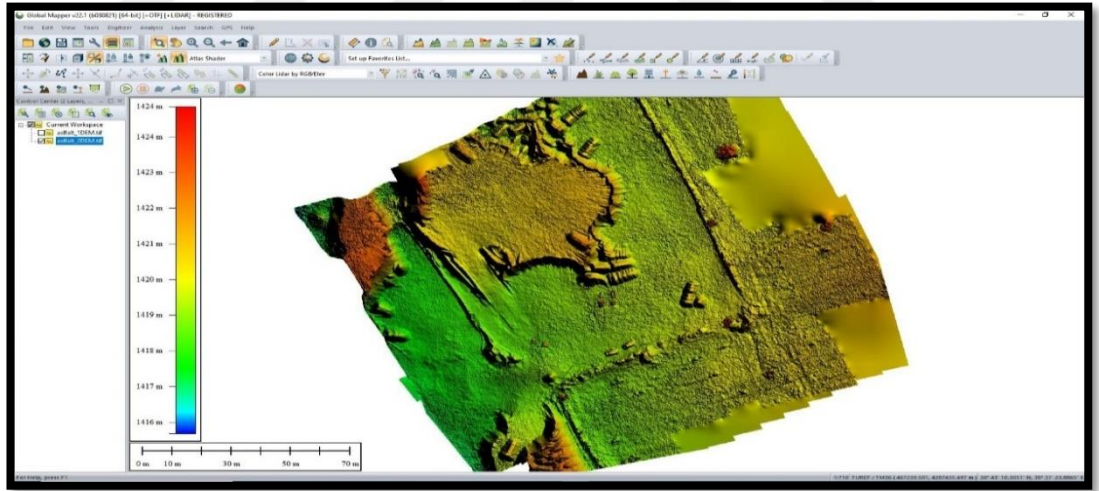
Şekil 5.64. Agisoft metashape programında gerçekleştirilen hacim hesabı sonuç ekranı.

Yapılan hacim hesaplaması sonucu Agisoft Metashape programında elde edilen hacim miktarı ile referans alınan hacim miktarı arasında 0.99 m^3 fark bulunmuş olup, Agisoft Metashape programında doğruluk oranı %97,64 olarak tespit edilmiştir.

İkinci olarak Agisoft Metashape Programında elde edilen çalışma alanının ilk yüzeyine ait SYM modeli (Şekil 5.65) ve çalışma alanının ikinci yüzeyine ait SYM modeli (Şekil 5.66) Global Mapper programına aktarılmış ve hacim hesaplama işlemi yapılmıştır.

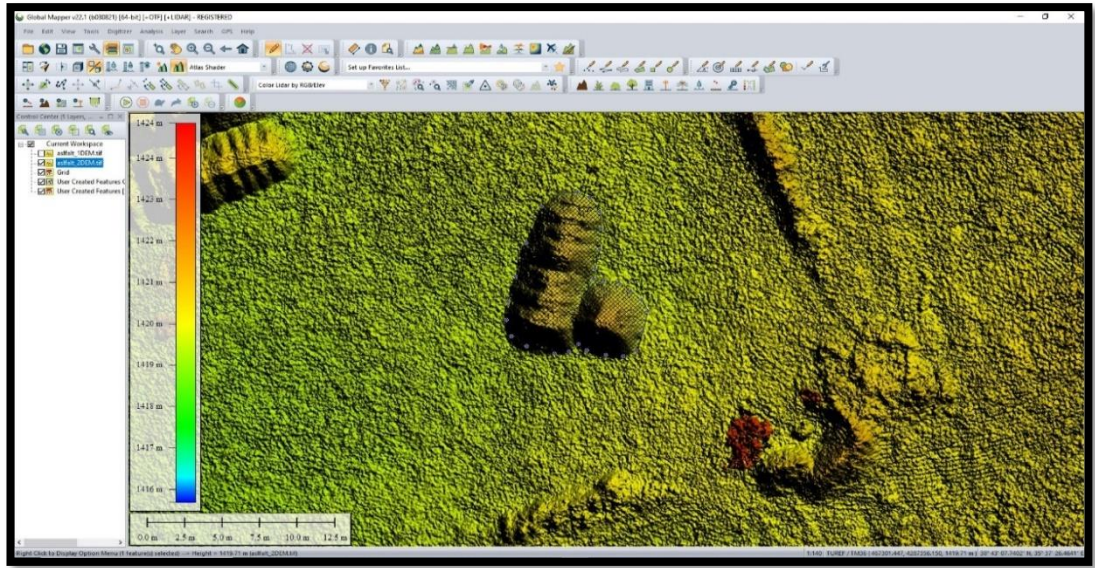


Şekil 5.65. Global mapper programına aktarılan çalışma alanının ilk yüzeyine ait sym modeli.

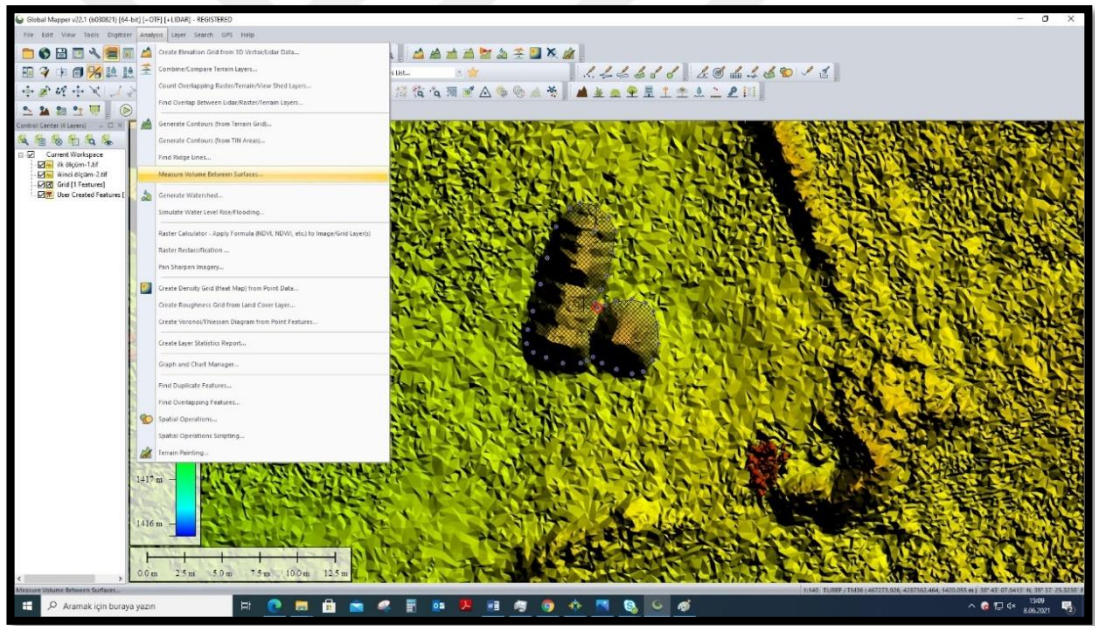


Şekil 5.66. Global mapper programına aktarılan çalışma alanının ikinci yüzeyine ait sym modeli.

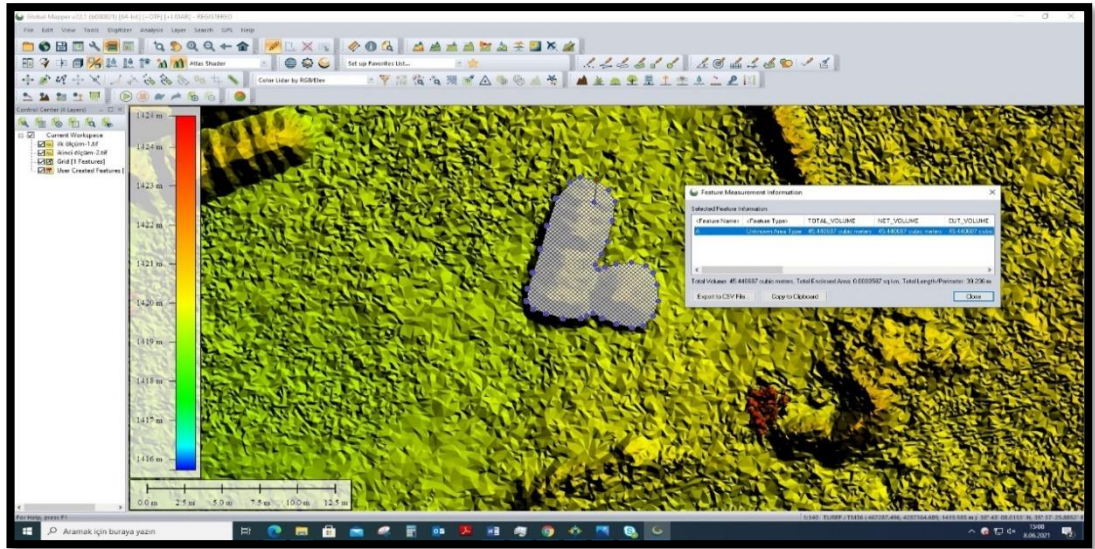
Oluşturulan modeller Global Mapper programına aktarıldıktan sonra hacim hesabı yapılacak bölge “Alan Çevirme” işlemi ile belirlenmiş (Şekil 5.67) ve “Yüzeyler Arası Hacim Ölçümü” aracı (Şekil 5.68) kullanılarak hacim hesabı (Şekil 5.69) yapılmıştır.



Şekil 5.67. Global mapper programında hacim hesabı yapılacak alanın belirlenmesi.

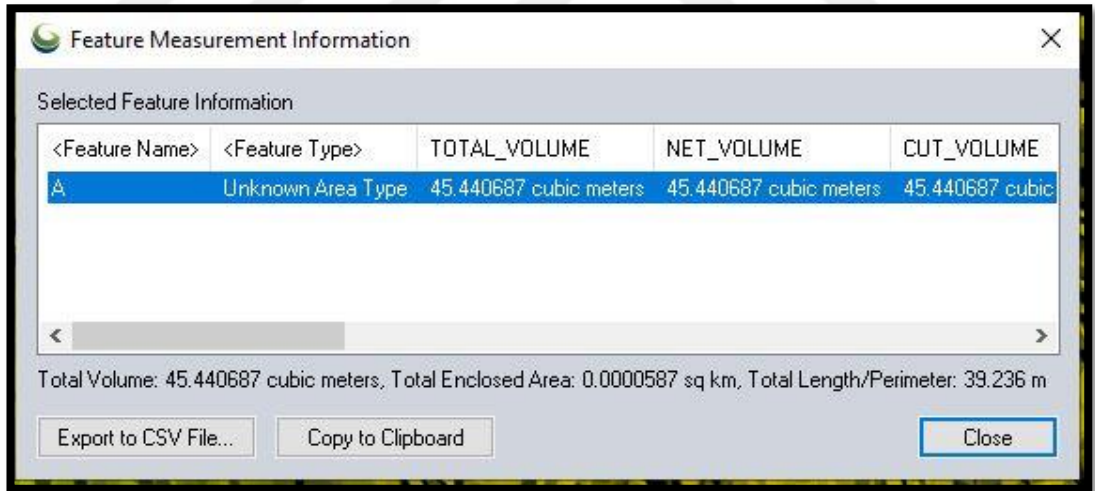


Şekil 5.68. Global mapper programında yüzeyler arası hacim hesabı aracı.



Şekil 5.69. Global mapper programında hacim hesabı.

Agisoft Metashape programında üretilen SYM'lerin Global Mapper programı ile kullanılması ile yüzeyler arasındaki hacim 45.44 m^3 olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.70).



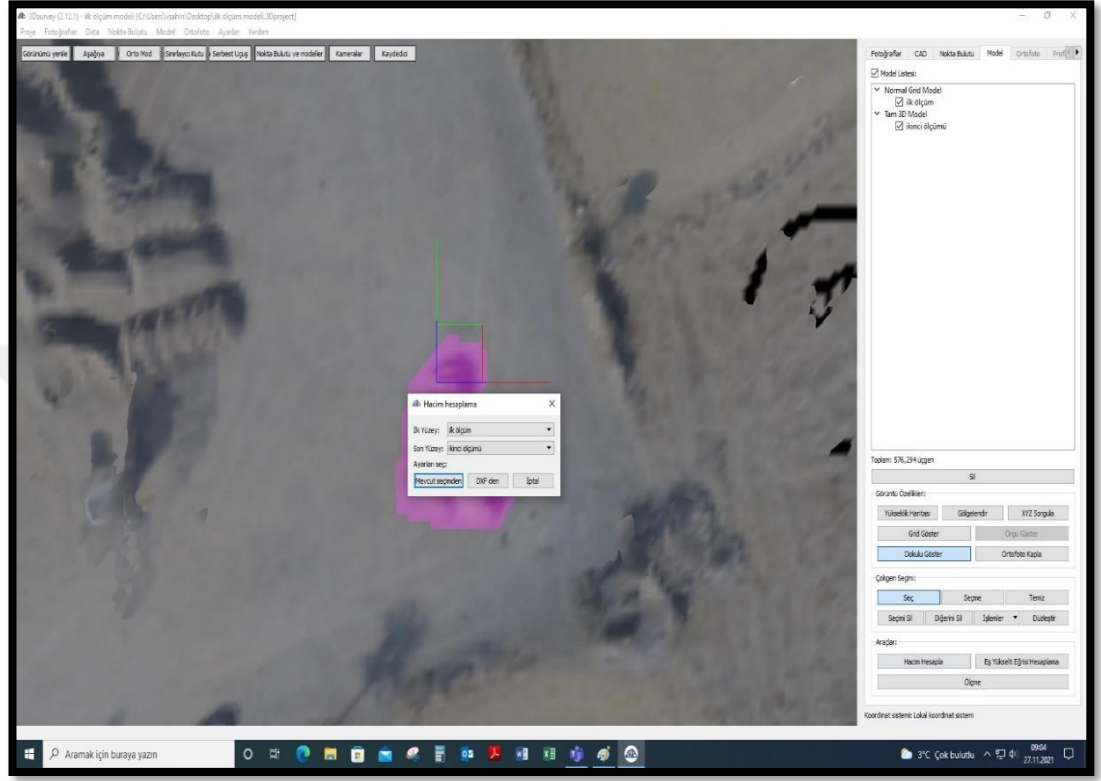
Şekil 5.70. Global mapper programında hacim hesabı ekranı.

Yapılan hacim hesaplaması sonucu Global Mapper programında elde edilen hacim miktarı ile referans alınan hacim miktarı arasında 3.65 m^3 fark bulunmuş olup, Global Mapper programında doğruluk oranı %91,27 olarak tespit edilmiştir.

Üçüncü olarak ise Agisoft Metashape programında elde edilen çalışma alanının ilk yüzeyine ait nokta bulutu ve çalışma alanının ikinci yüzeyine ait nokta bulutu 3D

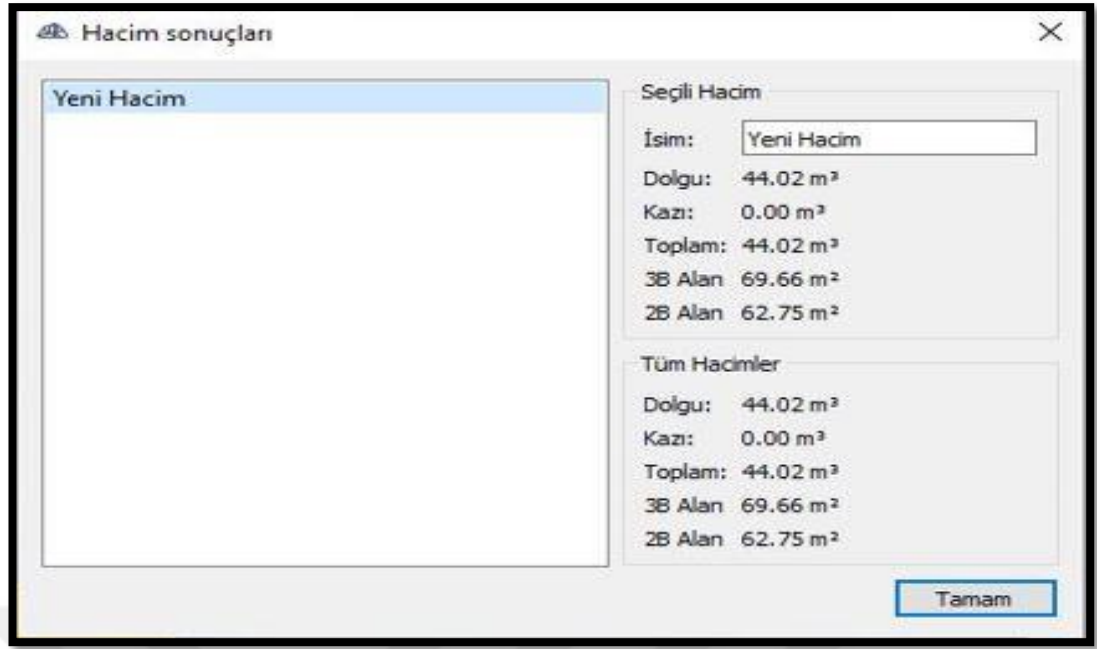
87

3D Survey programında SYM'ler oluşturulduktan sonra hacim hesabı yapılacak bölge “Seç” butonu ile belirlenmiş ve çalışma alanının boş haline ait SYM ilk yüzey, malzeme taşındıktan sonra oluşturulan SYM ise ikinci yüzey olarak belirlenerek hacim hesabı yapılmıştır (Şekil 5.73)



Şekil 5.73. 3D survey programında hacim hesabı yapılacak alanın belirlenmesi.

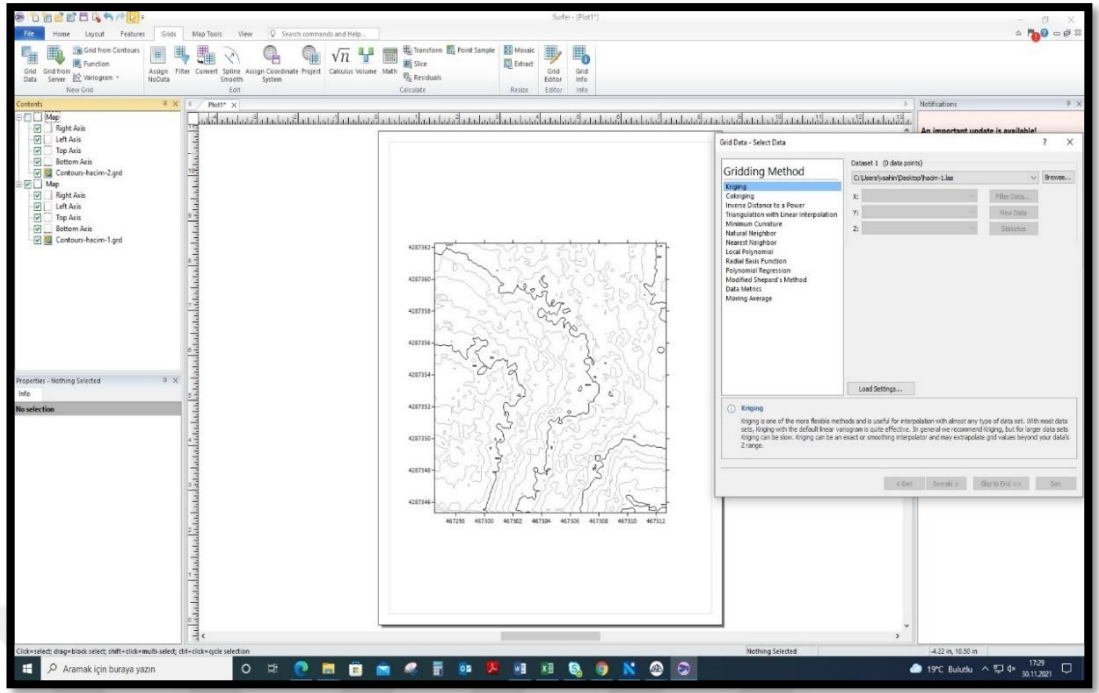
Yapılan hacim hesaplaması işlemi sonucunda 3D Survey programında yüzeyler arasındaki hacim hesaplaması sonucunda dolgu alanı hacmi $44.02 m^3$ olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.74).



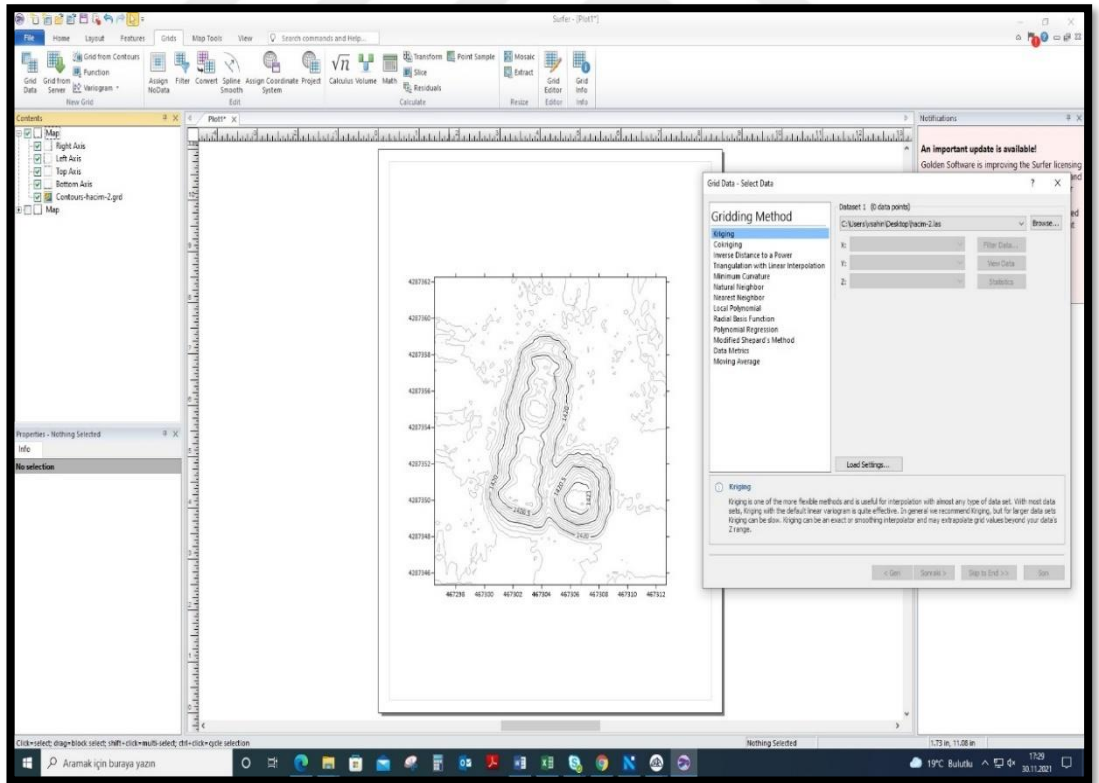
Şekil 5.74. 3D survey programında hacim hesaplaması sonuç ekranı.

Hacim hesabı sonucu 3D Survey programında elde edilen hacim miktarı ile referans alınan hacim miktarı arasında 2.23 m^3 fark bulunmuş olup, 3D Survey programında doğruluk oranı %94,67 olarak tespit edilmiştir.

Hacim hesaplaması dördüncü olarak ise Surfer programında yapılmıştır. İlk olarak Agisoft Metashape programında üretilen nokta bulutları değerlendirilerek çalışma alanının ilk yüzeyine ait Grid modeli (Şekil 5.75) ve çalışma alanının ikinci yüzeyine ait Grid modeli (Şekil 5.76) Surfer programında oluşturulmuştur. Surfer programında grid model oluştururken arazi yapısına en uygun enterpolasyon yöntemi olan Kriging Enterpolasyon Yöntemi kullanılmıştır. Surfer programında hacim hesaplaması yapılması için oluşturulan grid modellerin aynı boyutlara sahip olması gerekmektedir.



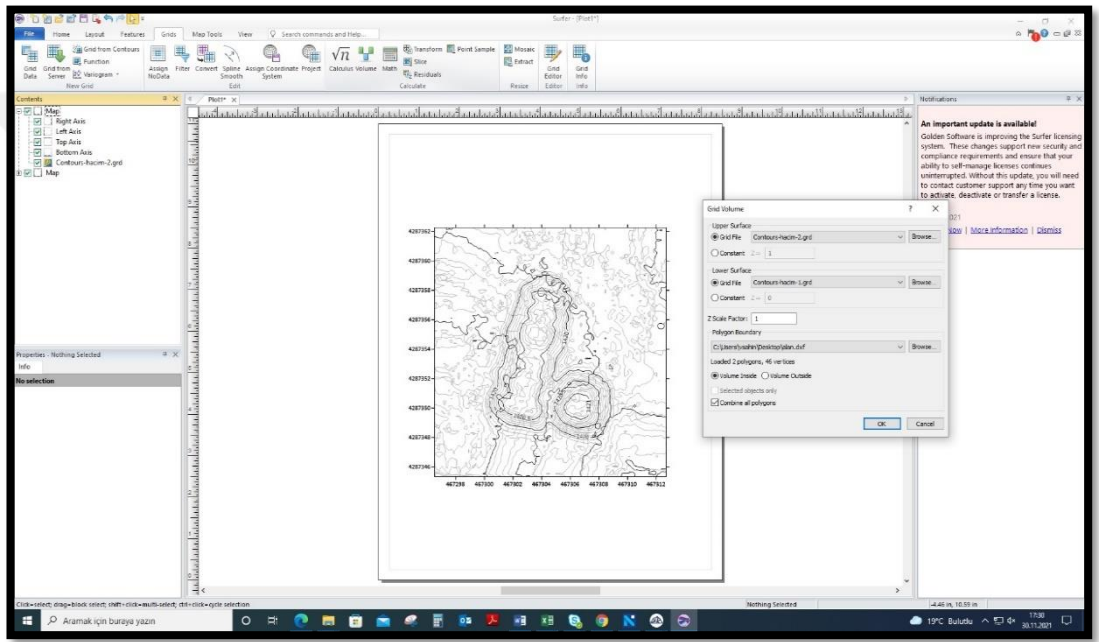
Şekil 5.74. Surfer programında üretilen çalışma alanının ilk yüzeyine ait grid model.



Şekil 5.75. Surfer programında üretilen çalışma alanının ikinci yüzeyine ait grid model.

Grid modeller üretildikten sonra Surfer programı Grid Menüsü içerisinde yer alan “Volume” toolu kullanılarak hacim hesaplaması yapılmıştır. Söz konusu menü seçildikten sonra Surfer programında üretilen grid modeller seçilmiş ve hacmi hesaplanacak malzemenin etrafını çevrildiği alan modeli hacim hesaplama menüsüne eklenerek hacim hesaplaması yapılmıştır (Şekil 5.76)

Hacim hesabı yapılırken alt yüzey olarak çalışma alanının ilk yüzeyi için oluşturulan grid model, üst yüzey için ise çalışma alanının ikinci yüzeyi için oluşturulan grid model seçilmiştir.



Şekil 5.76. Surfer programında hacim hesaplama ekranı.

Yapılan hacim hesaplaması işlemi sonucunda Surfer programında yüzeyler arasındaki hacim hesaplaması sonucunda dolgu alanı hacmi 46.36 m^3 olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.77).

Volumes	
Z Scale Factor:	1
Total Volumes by:	
Trapezoidal Rule:	46.367466653969
Simpson's Rule:	46.382854854412
Simpson's 3/8 Rule:	46.377651896695
Cut & Fill Volumes	
Positive Volume [Cut]:	46.367485918809
Negative Volume [Fill]:	1.9264840035311E-05
Net Volume [Cut-Fill]:	46.367466653969

Şekil 5.77. Surfer programında hacim hesaplama sonucu.

Hacim hesabı sonucunda Surfer programında elde edilen hacim miktarı ile referans alınan hacim miktarı arasında 4.57 m^3 fark bulunmuş olup, Surfer programında doğruluk oranı %89,07 olarak tespit edilmiştir.

3DF zephyr programı ile yapılan hacim hesaplama işlemi

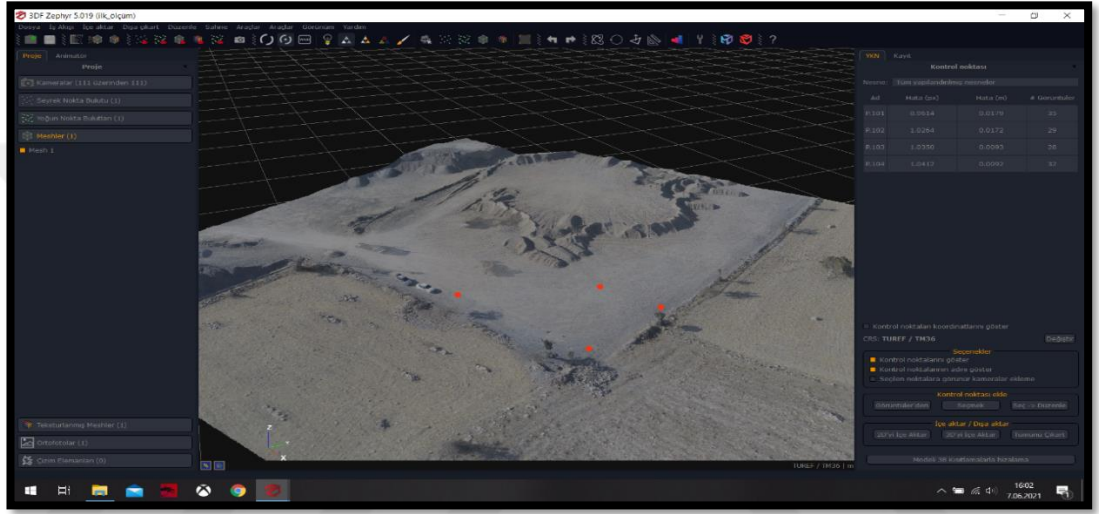
Dolgu alanının hacim hesaplaması üçüncü olarak 3DF Zephyr programında yapılmıştır. 3DF Zephyr programında ilk olarak Çizelge 5.8'de belirtilen YKN değerleri eklenmiş aşağıda Çizelge 5.11'de belirtilen hata paylarına ulaşılmış olup, 3DF Zephyr programında ise YKN nihai ortalama hata payı 0.0115159 m olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 5.11. 3DF zephyr programında ykn hata payları.

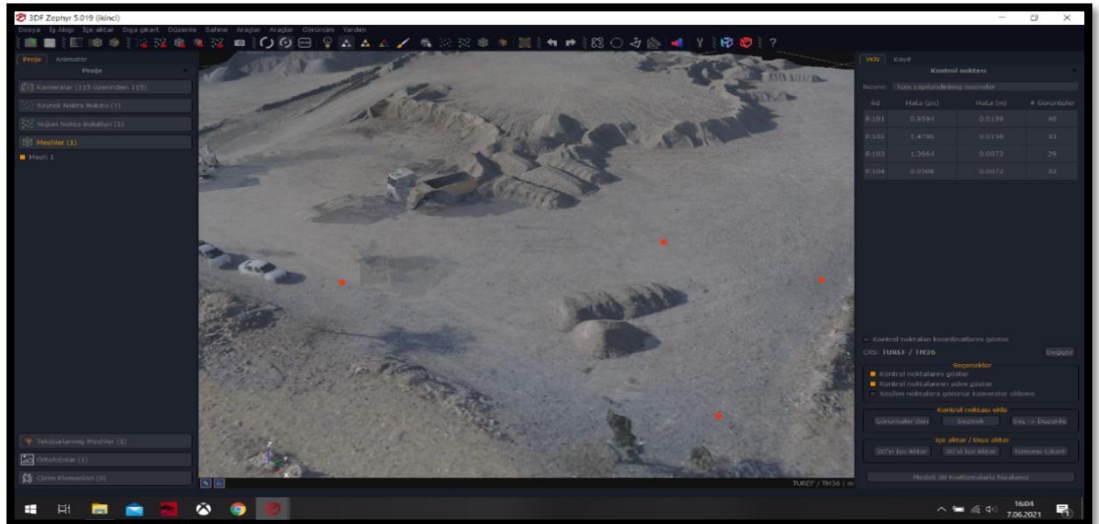
AD	Hata (piksel)	Hata (m)
P.101	0.9614	0.0179
P.102	1.0264	0.0172
P.103	1.035	0.0093
P.104	1.0412	0.0092
Nihai Ortalama Hata Payı		0.0115159

Pix4Dmapper ve Agisoft Metashape programları ile yapılan işlemlerin benzeri 3DF Zephyr programı ile yapılmıştır.

3 boyutlu modelleme işlemi ilk olarak çalışma alanının ilk yüzeyine ait İHA ile elde edilen fotoğraflar yardımıyla 3DF Zephyr programında nokta bulutu ve mesh modellemesi (Şekil 5.78) yapılmıştır. Daha sonraki aşamada ise çalışma alanının ikinci yüzeyine ait fotoğraflar yardımıyla nokta bulutu ve mesh modellemesi (Şekil 5.79) yapılmıştır.



Şekil 5.78. 3DF zephyr programında alanının ilk yüzeyine ait mesh modeli.



Şekil 5.79. 3DF zephyr programında alanın ikinci yüzeyine ait mesh modeli.

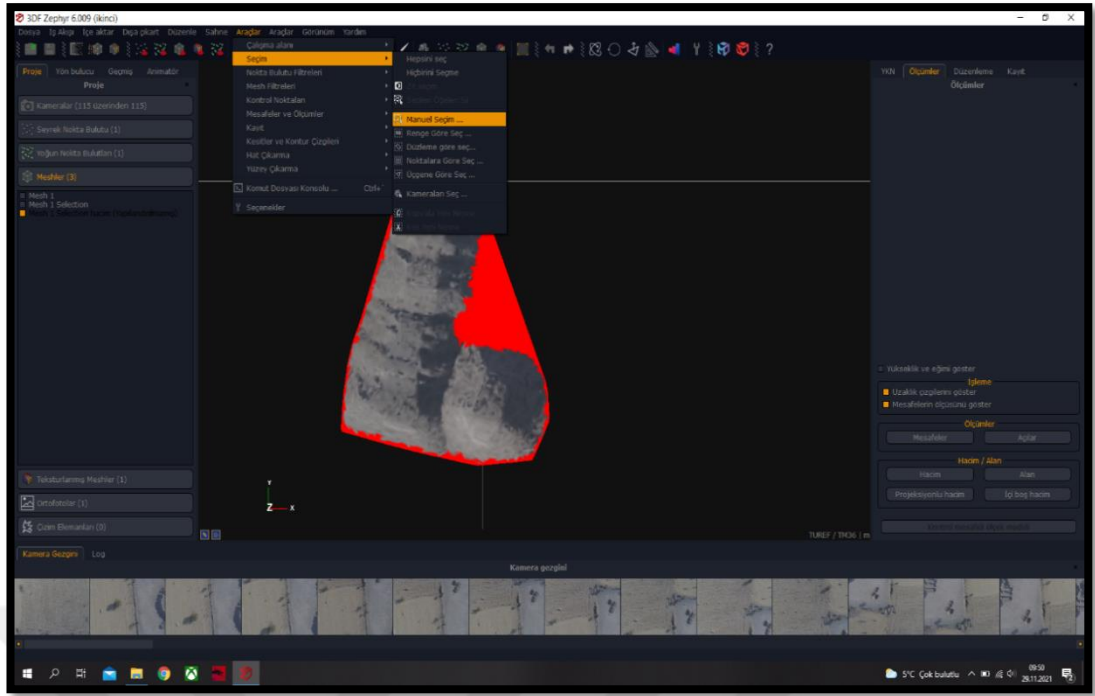
Daha sonraki aşamada ise hacim hesabı yapılmıştır. Ancak Agisoft Metahsape Pix4dmapper programına benzer şekilde 3DF Zephyr programında yazılımsal olarak oluşturulan tek model üzerinden hacim hesabı yapabilme imkânı bulunmakta olup, hacim hesabı ilk olarak 3DF Zephyr programı bünyesinde yer alan hacim hesaplama menüsünde yapılmıştır.

İkinci olarak ise 3DF Zephyr programında üretilen çalışma alanının ilk yüzeyine ait SYM ile çalışman alanının ikinci yüzeyine ait SYM Global Mapper programına aktarılmış ve iki SYM karşılaştırılarak hacim hesabı yapılmıştır.

Üçüncü olarak ise 3DF Zephyr programında üretilen çalışma alanının ilk yüzeyi ile çalışma alanının ikinci yüzeyine ait nokta bulutları 3D Survey programına aktarılmış ve 3D Survey programında çalışma alanının ilk yüzeyi ile çalışma alanının ikinci yüzeyi için 2 adet SYM modeli üretilmiştir. Daha sonra ise oluşturulan iki yüzey 3D Survey programında karşılaştırılarak hacim hesaplaması yapılmıştır.

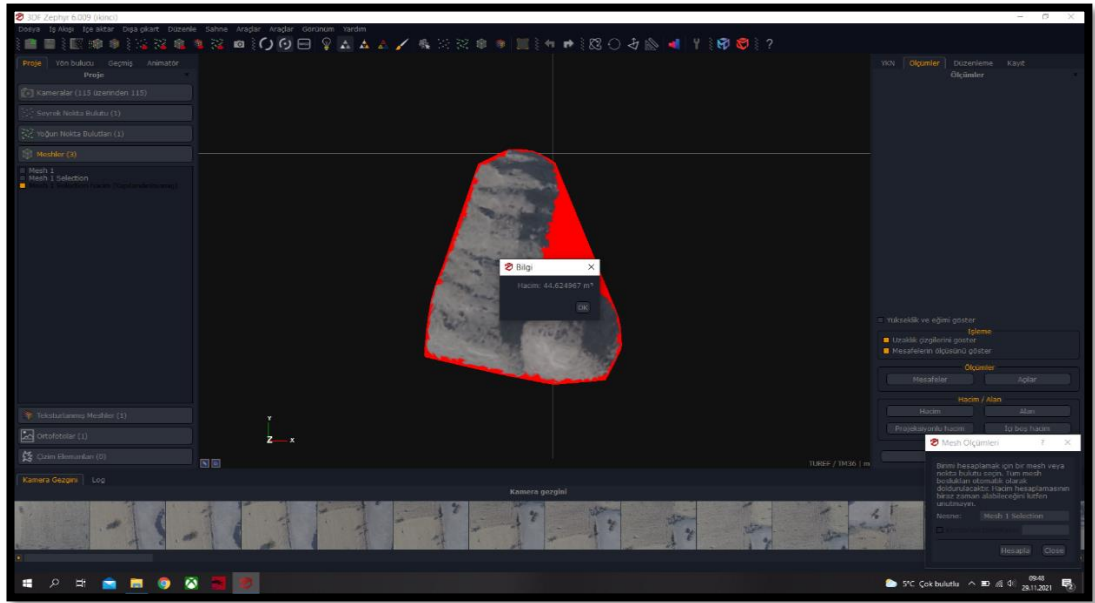
Dördüncü olarak ise 3DF Zephyr programında üretilen çalışma alanının ilk yüzeyine ait nokta bulutu ile çalışma alanının ikinci yüzeyi için elde edilen nokta bulutu Surfer programına aktarılmış ve söz konusu nokta bulutları kullanılarak Surfer programında çalışma alanının ilk yüzeyi ile çalışma alanının ikinci yüzeyi için grid modeller üretilmiş ve iki grid model karşılaştırılarak hacim hesabı yapılmıştır.

Hacim hesaplama aşamasında ilk olarak 3DF Zephyr programı bünyesinde yer alan ölçüm aracı kullanılmıştır. Programda üretilen çalışma alanına ait 3 boyutlu model üzerinden malzeme alanı çevrilerek hacim hesaplaması yapılacak bölge belirlenmiştir (Şekil 5.80).



Şekil 5.80. 3DF zephyr programında hacim hesaplanacak alanın belirlenmesi.

Daha sonraki aşamada ise hacim hesaplaması için belirlenen alanda ölçüm yapılarak hacim hesaplaması gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.81)



Şekil 5.81. 3DF zephyr programında hacim hesaplama menüsü.

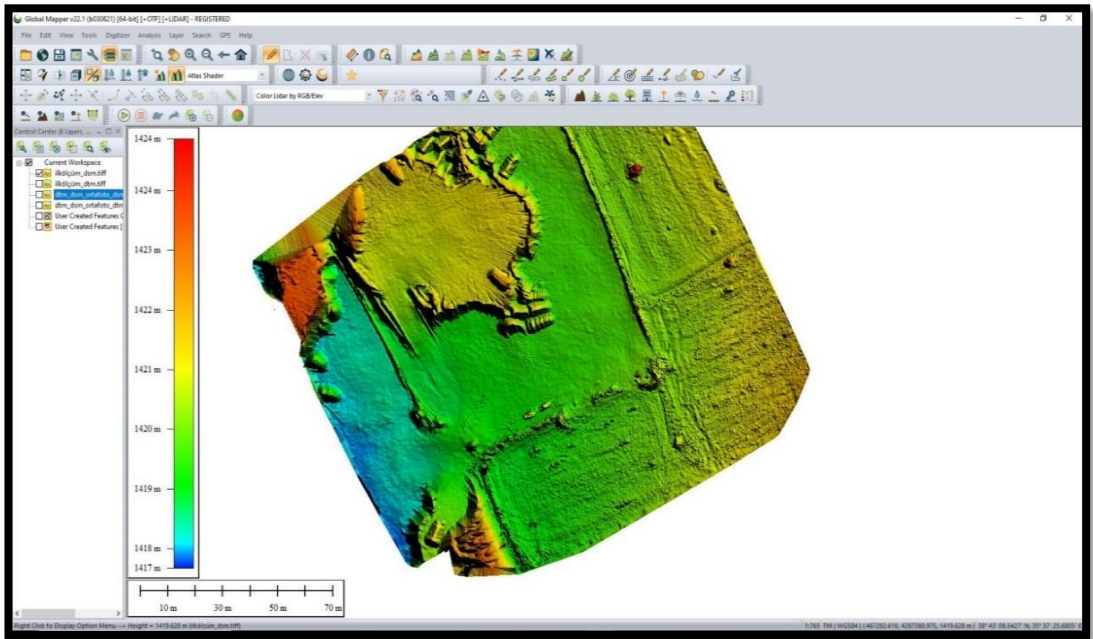
Yapılan hacim hesaplama işlemi sonucunda çalışma alanına getirilen malzemenin toplam hacmi 44.62 m^3 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.82).



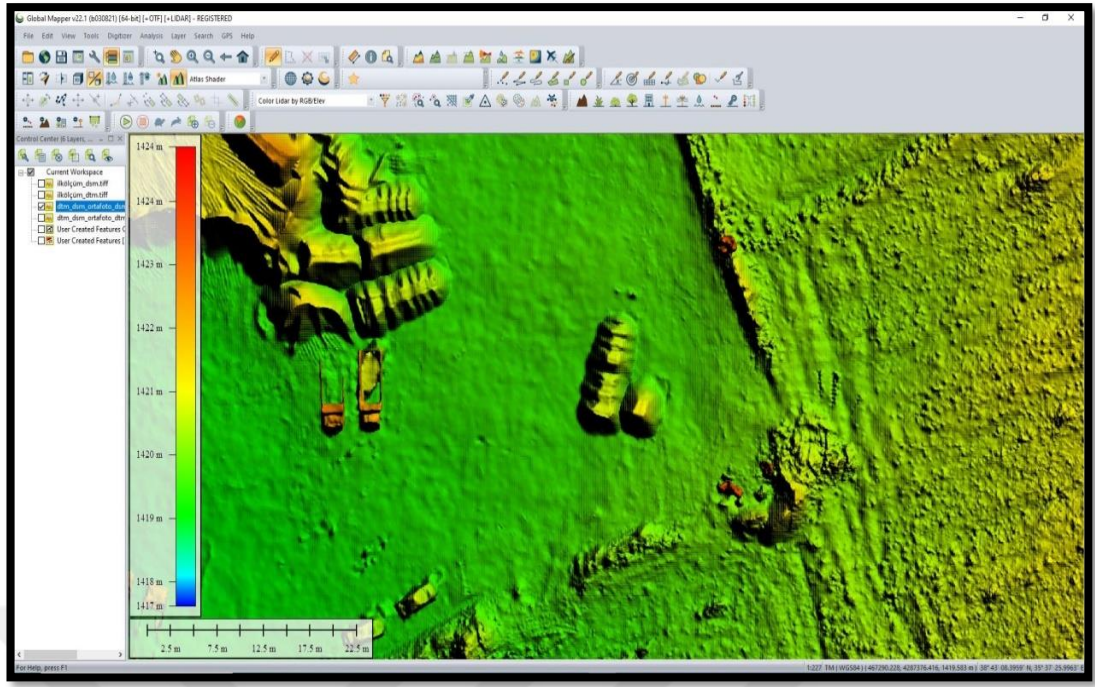
Şekil 5.82. 3DF zephyr programında gerçekleştirilen hacim hesabı sonuç ekranı.

Hacim hesabı sonucu 3DF Zephyr programında elde edilen hacim miktarı ile referans alınan hacim miktarı arasında 2.83 m^3 fark bulunmuş olup, 3DF Zephyr programında doğruluk oranı %93,23 olarak tespit edilmiştir.

İkinci olarak 3DF Zephyr programında elde edilen çalışma alanının ilk yüzeyine ait SYM modeli (Şekil 5.83) ve çalışma alanının ikinci yüzeyine ait SYM modeli (Şekil 5.84) Global Mapper programına aktarılmış ve hacim hesaplama işlemi yapılmıştır.

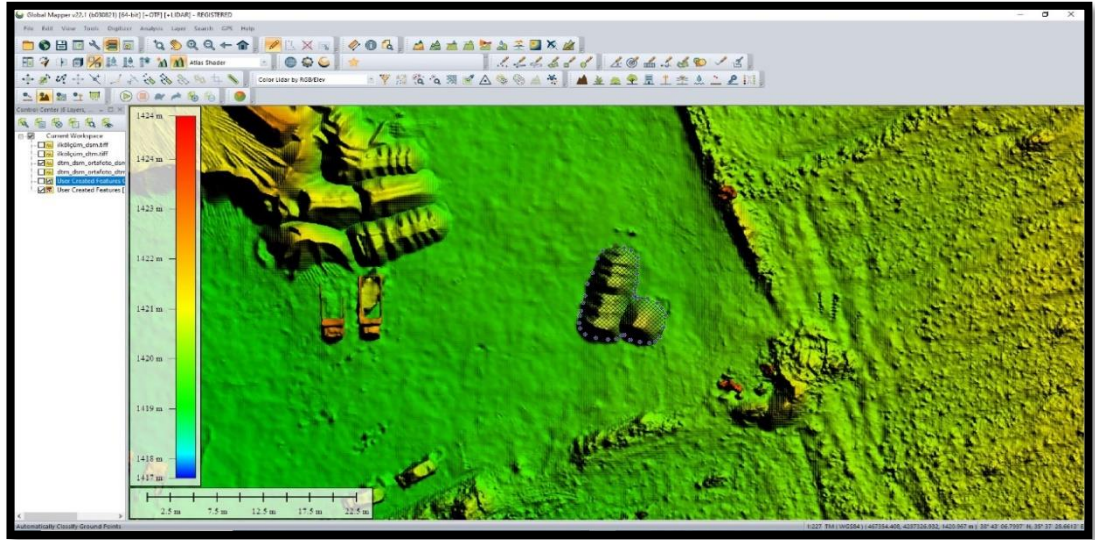


Şekil 5.83. Global mapper programında çalışma alanının ilk yüzeyi sym modeli.

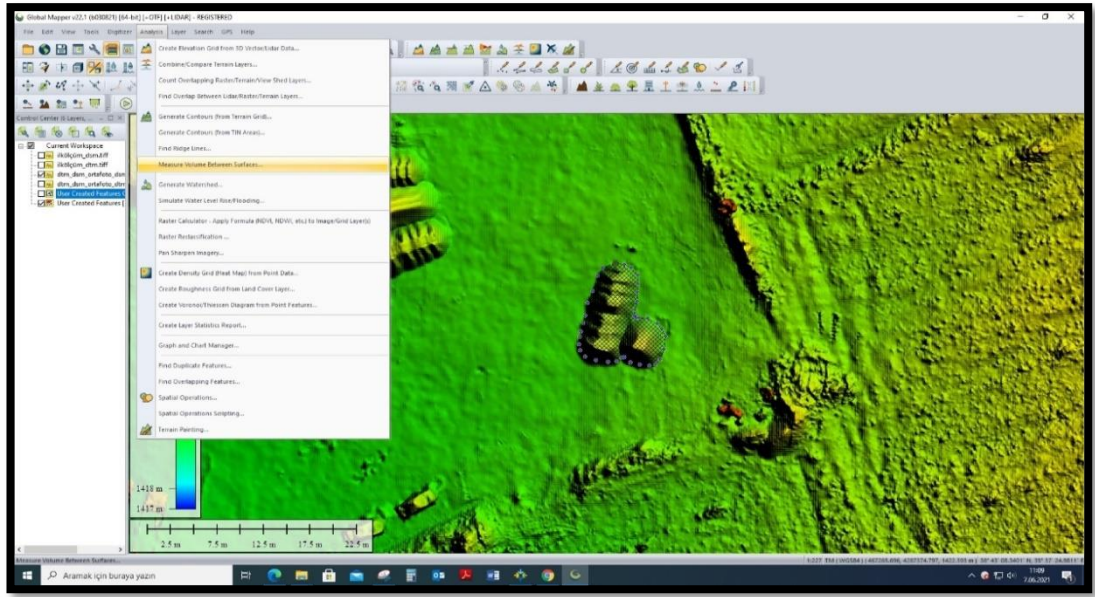


Şekil 5.84. Global mapper programına aktarılan çalışma alanının ikinci yüzeyine ait sym modeli.

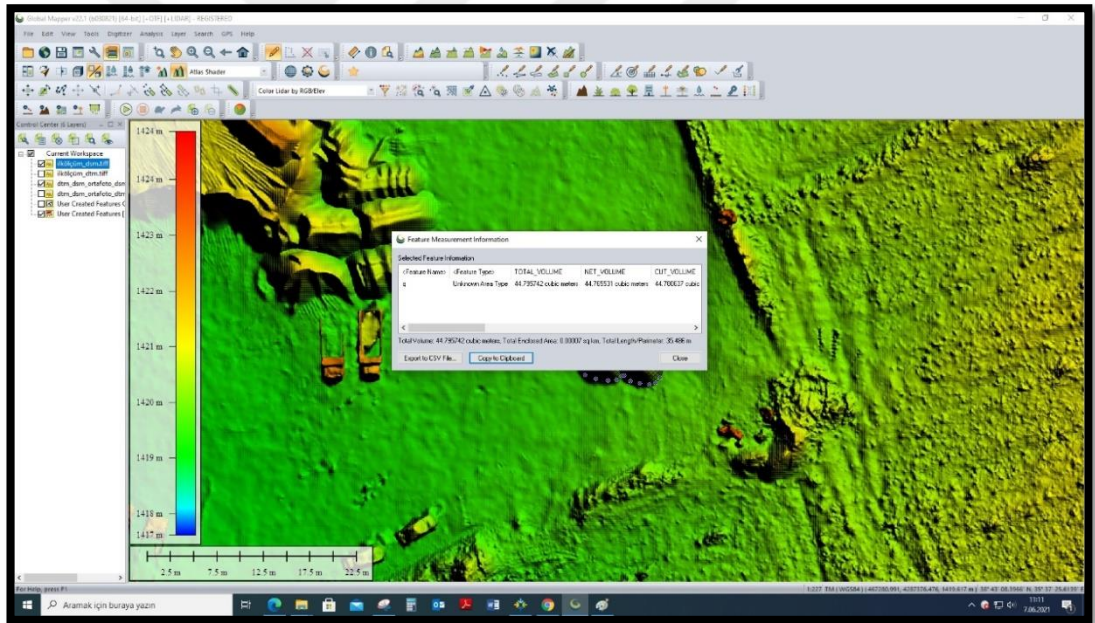
Oluşturulan modeller Global Mapper programına aktarıldıktan sonra hacim hesabı yapılacak bölge “Alan Çevirme” işlemi ile belirlenmiş (Şekil 5.85) ve “Yüzeyler Arası Hacim Ölçümü” aracı (Şekil 5.86) kullanılarak hacim hesabı (Şekil 5.87) yapılmıştır.



Şekil 5.85. Global mapper programında hacim hesabı yapılacak alanın belirlenmesi.

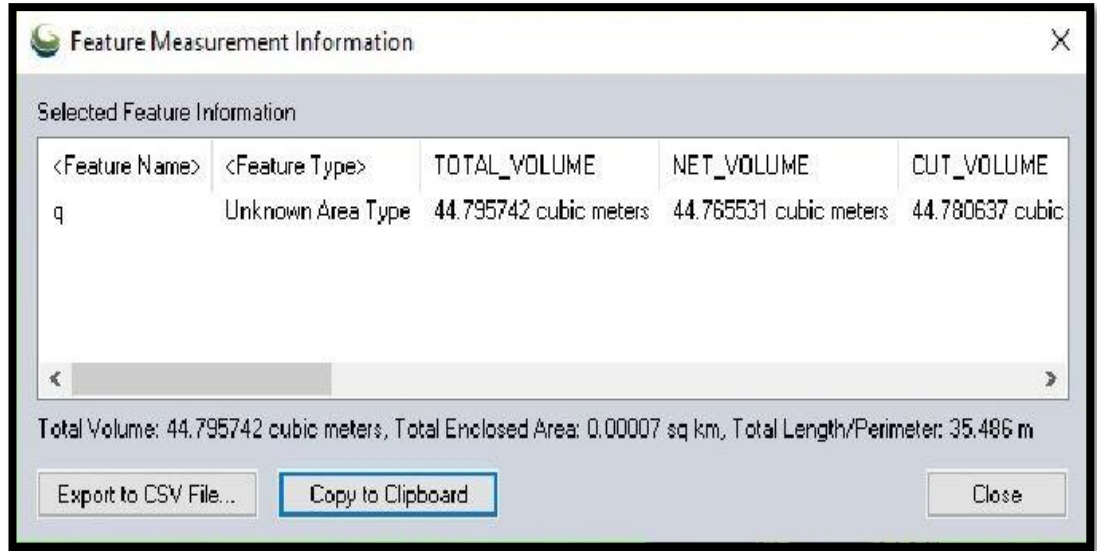


Şekil 5.86. Global mapper programında yüzeyler arası hacim hesabı aracı.



Şekil 5.87. Global mapper programında hacim hesabı.

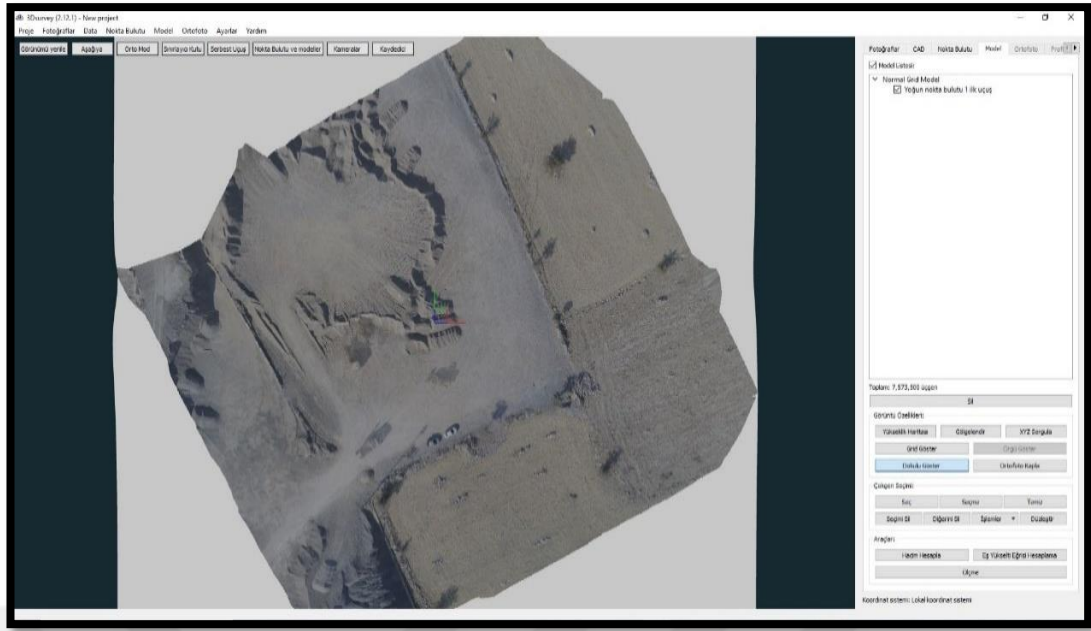
3DF Zephyr programında üretilen sayısal yükseklik modelleri yardımıyla Global Mapper programında yüzeyler arasındaki hacim 44.79 m^3 olarak tespit edilmiştir. (Şekil 5.88)



Şekil 5.88. Global mapper programında hacim hesabı ekranı.

Hacim hesabı sonucunda Global Mapper programında elde edilen hacim miktarı ile referans alınan hacim miktarı arasında $3.00 m^3$ fark bulunmuş olup, Global Mapper programında doğruluk oranı %92,82 olarak tespit edilmiştir.

Üçüncü olarak ise 3DF Zephyr programında elde edilen çalışma alanının ilk yüzeyine ait nokta bulutu ve çalışma alanının ikinci yüzeyine ait nokta bulutu 3D Survey programına aktarılmış ve bu nokta bulutu verilerinden faydalanarak 3D Survey programında çalışma alanının ilk yüzeyine ait SYM Modeli (Şekil 5.89) ve çalışma alanının ikinci yüzeyine ait SYM modeli (Şekil 5.90) üretilmiştir.

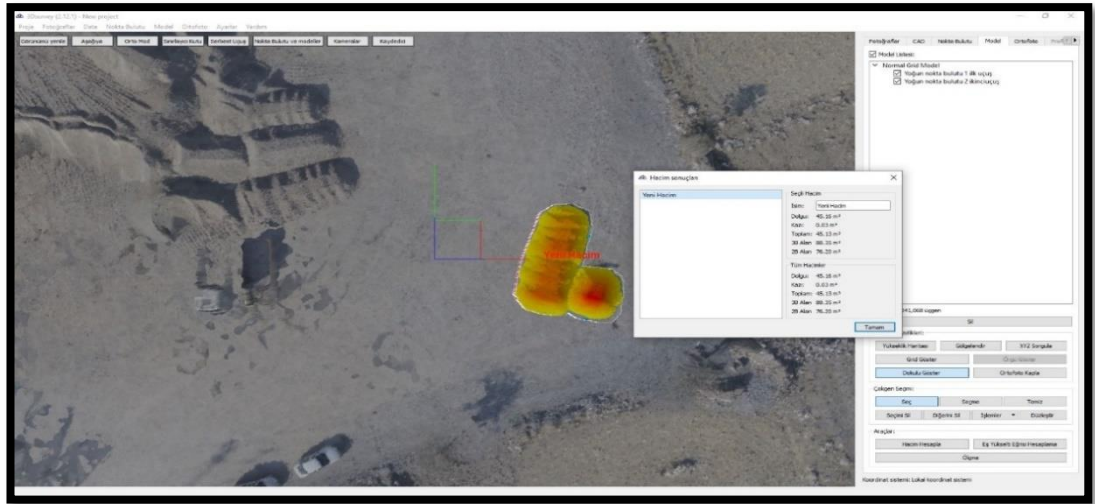


Şekil 5.89. 3D Survey programında üretilen çalışma alanının boş haline ait sym modeli.



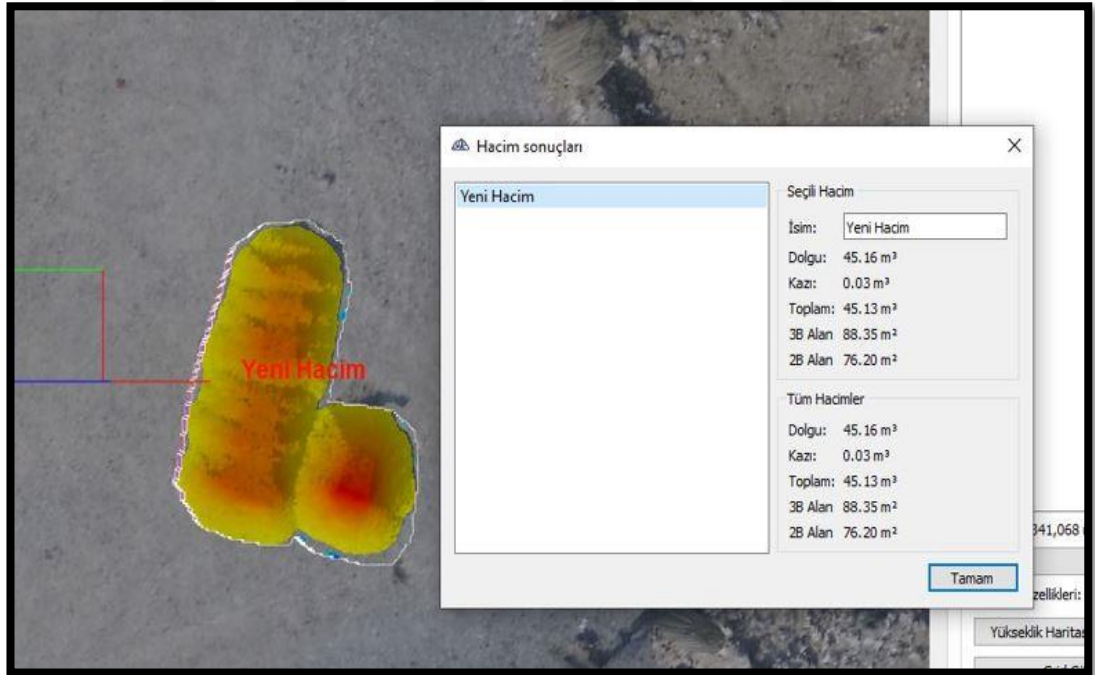
Şekil 5.90. 3D survey programında üretilen çalışma alanının ikinci yüzeyine ait sym modeli.

3D Survey programında SYM'ler oluşturulduktan sonra hacim hesabı yapılacak bölge "Seç" butonu ile belirlenmiş ve çalışma alanının boş haline ait SYM ilk yüzey, malzeme taşındıktan sonra oluşturulan SYM ise ikinci yüzey olarak belirlenerek hacim hesabı yapılmıştır (Şekil 5.91)



Şekil 5.91. 3D survey programında hacim hesabı yapılacak alanın belirlenmesi.

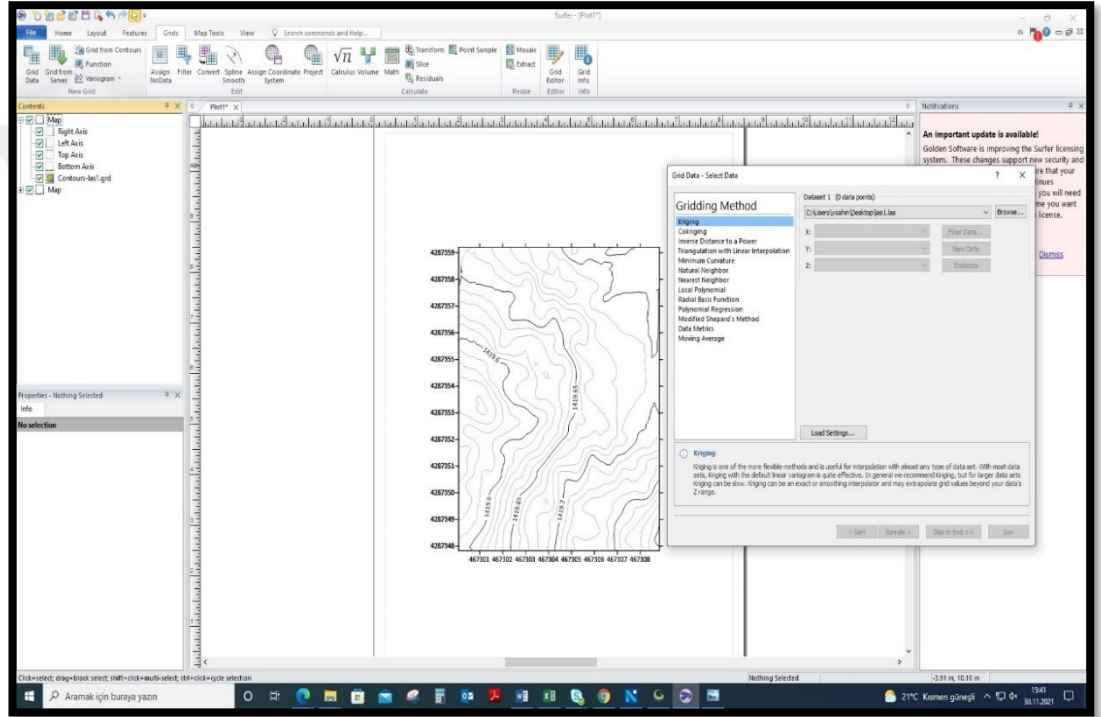
Yapılan hacim hesaplaması işlemi sonucunda 3D Survey programında yüzeyler arasındaki hacim hesaplaması sonucunda dolgu alanı hacmi 45.16 m^3 olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.92).



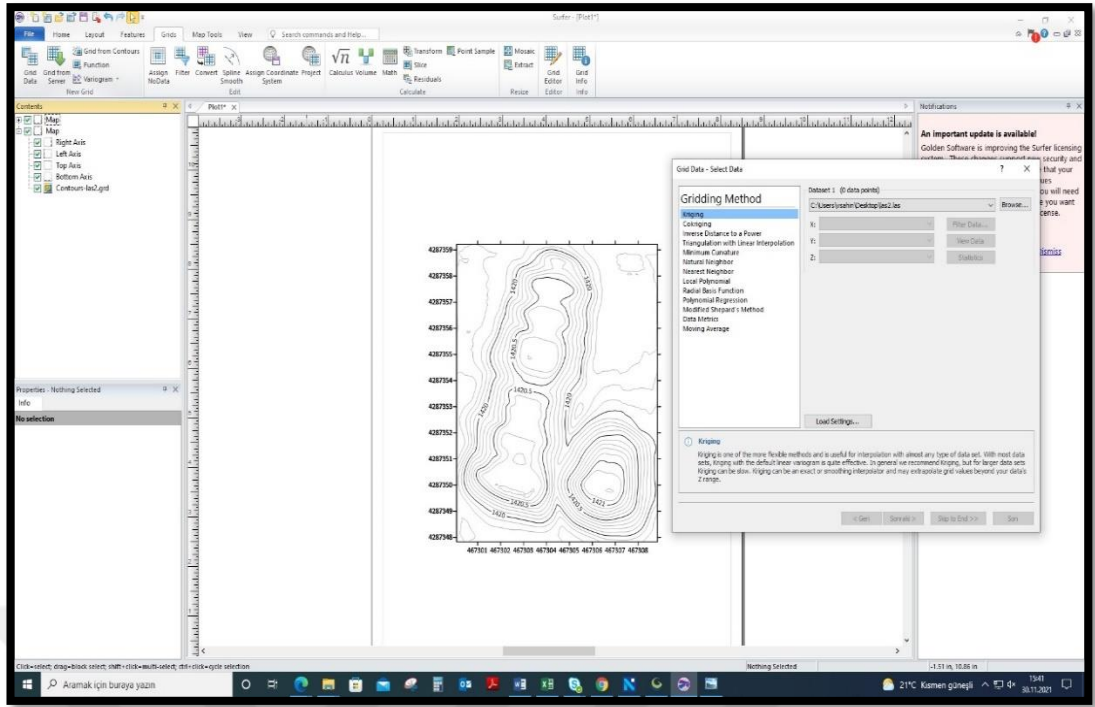
Şekil 5.92. 3D survey programında hacim hesaplaması sonuç ekranı.

Hacim hesabı sonucunda 3D Survey programında elde edilen hacim miktarı ile referans alınan hacim miktarı arasında 3.37 m^3 fark bulunmuş olup, 3D Survey programında doğruluk oranı %91,94 olarak tespit edilmiştir.

Hacim hesaplaması dördüncü olarak ise Surfer programında yapılmıştır. İlk olarak 3DF Zephyr programında üretilen nokta bulutları değerlendirilerek çalışma alanının ilk yüzeyine ait Grid modeli (Şekil 5.93) ve çalışma alanının ikinci yüzeyine ait Grid modeli (Şekil 5.94) Surfer programında oluşturulmuştur. Surfer programında grid model oluştururken arazi yapısına en uygun enterpolasyon yöntemi olan Kriging Enterpolasyon Yöntemi kullanılmıştır. Surfer programında hacim hesaplaması yapılması için oluşturulan grid modellerin aynı boyutlara sahip olması gerekmektedir.



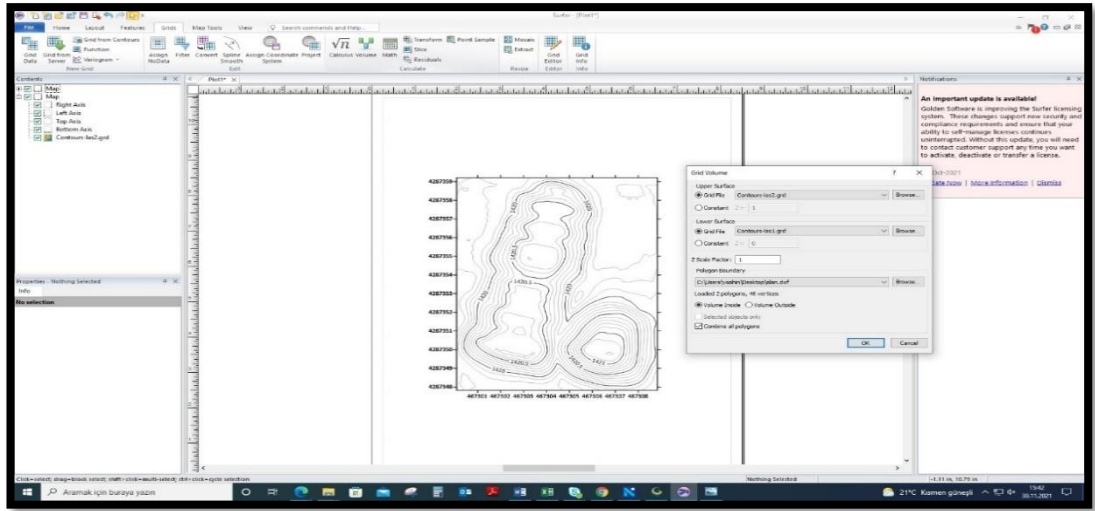
Şekil 5.93. Surfer programında üretilen çalışma alanının ilk yüzeyine ait grid model.



Şekil 5.94. Surfer programında üretilen çalışma alanının ikinci yüzeyine ait grid model.

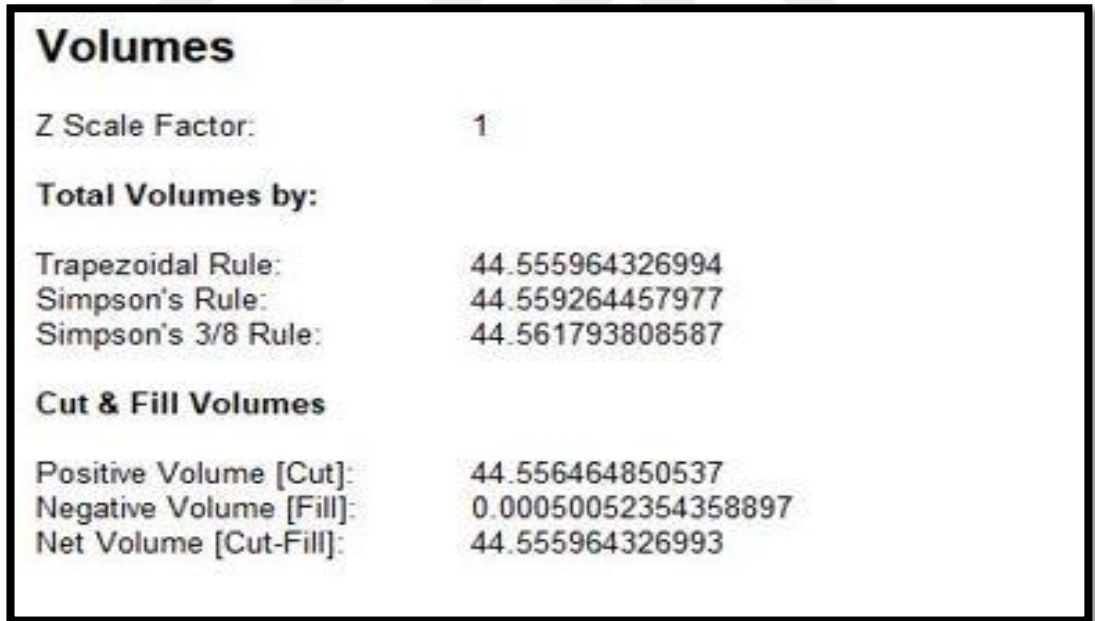
Grid modeller üretildikten sonra Surfer programı Grid Menüsü içerisinde yer alan “Volume” toolu kullanılarak hacim hesaplaması yapılmıştır. Söz konusu menü seçildikten sonra Surfer programında üretilen grid modeller seçilmiş ve hacmi hesaplanacak malzemenin etrafını çevrildiği alan modeli hacim hesaplama menüsüne eklenerek hacim hesaplaması yapılmıştır (Şekil 5.95)

Hacim hesabı yapılırken alt yüzey olarak çalışma alanının ilk yüzeyi için oluşturulan grid model, üst yüzey için ise çalışma alanının ikinci yüzeyi için oluşturulan grid model seçilmiştir.



Şekil 5.95. Surfer programında hacim hesaplama ekranı.

Yapılan hacim hesaplaması işlemi sonucunda Surfer programında yüzeyler arasındaki hacim hesaplaması sonucunda dolgu alanı hacmi 44.55 m^3 olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.77).



Şekil 5.96. Surfer programında hacim hesaplama sonucu.

Hacim hesabı sonucunda Surfer programında elde edilen hacim miktarı ile referans alınan hacim miktarı arasında 2.76 m^3 fark bulunmuş olup, Surfer programında doğruluk oranı %93,40 olarak tespit edilmiştir.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1 Tarımsal Ürün Depolama Tesisi (Silo) Hacim Hesabı Çalışması

Çalışma kapsamında iki ayrı hacim hesaplama işlemi bulunmakta olup, bu bölümde ilk olarak SİLO hacim hesabı işlemi açıklanmıştır. Yapılan büro çalışması ile elde edilen bilgiler Tablo 6.1’de gösterildiği üzere verilmiştir.

Çizelge 6.1. SİLO hacim hesabı işleminde büro çalışması ile elde edilen değerler.

	Taban Çapı (m)	Saçak Yüksekliği (m)	Tepe Yüksekliği (m)	Kapasite (m^3)	Doğruluk Oranı
A	12.83	12.68	16.29	1782	%99.07
B	12.77	12.47	16.48	1765.54	
FARK	-0.06	-0.21	0.19	-16.46	
A	12.83	12.68	16.29	1782	%99.07
C	12.72	12.96	16.56	1765.54	
FARK	-0.11	0.28	0.27	-16.46	
A	12.83	12.68	16.29	1782	%95.87
D	12.87	13	16.86	1855.67	
FARK	0.04	0.32	0.57	73.67	

Çizelge 6.1’de A satırı SİLO’ların teknik katalog bilgilerini, B satırı Pix4Dmapper programı ile elde edilen değerleri, C satırı 3DF Zephyr programı ile elde edilen değerleri, D satırı ise Agisoft Metashape programı ile elde edilen değerleri göstermektedir.

SİLO’ların hacim hesaplama işlemi ilk olarak Pix4Dmapper programında gerçekleştirilmiştir. Pix4Dmapper programında arazi çalışması ile elde edilen YKN değerleri ve İHA ile çekilen fotoğraflar kullanılarak nokta bulutu, mesh model ve üç boyutlu model elde edilmiştir. Pix4Dmapper programında yer alan ölçüm aracıyla ise sırasıyla taban çapı, saçak yüksekliği ve tepe yükseklikleri ölçülmüştür.

İlk olarak Pix4Dmapper programı ile elde edilen üç boyutlu modelde taban çapı birkaç ayrı noktadan hesaplanmış ve ortalama 13.10 m olarak bulunmuş olup, bu sonuca dıştan dışa ölçüm ile ulaşılmıştır. Hacmi hesaplanacak SİLO’ların teknik

verilerinde 65 mm sac kaplama ve 10 cm şerit mastikler bulunmaktadır. Bu veriler programda her iki taraftan Pix4Dmapper programı ile elde edilen dıştan dışa ölçüm sonucundan çıkarılmış ve silonun taban çapı 12.77 m olarak hesaplanmış ve yapılan hesaplama SİLO teknik kataloğunda yer alan taban çapı ile kıyaslanarak -0.06 m hata payına sahip olduğu görülmüştür.

Saçak yüksekliği Pix4Dmapper programında zemin noktasından 15. Ring bölümünün üst sınırına kadar olan yükseklik olarak hesaplanmış ve saçak yüksekliği 12.47 m olarak hesaplanmış ve yapılan hesaplama SİLO teknik kataloğunda yer alan saçak yüksekliği ile kıyaslanarak -0.21 m hata payına sahip olduğu görülmüştür.

Tepe yüksekliğinin bulunmasında ise Pix4Dmapper programında SİLO'nun en üst kısmında bir adet nokta atılmış ve kotu incelenmiştir. Bu işlem ile atılan noktanın kotu 1608.88 olarak hesaplanmıştır. Aynı hesaplama işlemi esnasında SİLO'nun taban kotunun ise 1592.40 olduğu görülmüş olup, tepe noktasının yüksekliği iki kotun farkı alınarak 16.48 m olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama sonucu SİLO teknik kataloğunda yer alan tepe yüksekliği ile kıyaslanarak +0.19 m hata payına sahip olduğu görülmüştür.

Pix4Dmapper programı ile elde edilen taban çapı, saçak yüksekliği ve tepe yüksekliği ölçülerinden faydalanılarak yukarıda (5.1)'de belirtilen silindir prizma hacim formülü ve (5.2)'de dik konik prizma hacim formülünde kullanılarak SİLO'nun hacmi hesaplanmış ve 1765.54 m^3 olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama sonucu SİLO teknik kataloğunda yer alan tepe yüksekliği ile kıyaslanarak -16.46 m^3 hata payına sahip olduğu görülmüştür. Yukarıda (5.4) ile belirtilen Doğruluk oranı yardımıyla Pix4Dmapper programında elde edilen hacim hesabının doğruluk oranı %99.07 olarak hesaplanmıştır.

SİLO'ların hacim hesaplaması büro çalışmasında ikinci olarak 3DF Zephyr programında yapılmıştır. Pix4Dmapper programında yapılan işlemlerin benzeri 3DF Zephyr programında da uygulanmış ve sırasıyla taban çapı, saçak yüksekliği ile tepe yüksekliği ölçülmüştür.

İlk olarak 3DF Zephyr programı ile elde edilen 3 boyutlu modelde taban çapı birkaç ayrı noktadan hesaplanmış ve ortalama 13.05 m olarak bulunmuş olup, bu sonuca dıştan dışa ölçüm ile ulaşılmıştır. Hacmi hesaplanacak SİLO'ların teknik verilerinde 65 mm sac kaplama ve 10 cm şerit mastikler bulunmaktadır. Bu veriler programda her iki taraftan 3DF Zephyr programı ile elde edilen dıştan dışa ölçüm sonucundan çıkarılmış ve silonun taban çapı 12.72 m olarak hesaplanmış ve yapılan hesaplama SİLO teknik kataloğunda yer alan taban çapı ile kıyaslanarak -0.11 m hata payına sahip olduğu görülmüştür.

Saçak yüksekliği 3DF Zephyr programında zemin noktasından 15. Ring bölümünün üst sınırına kadar olan yükseklik olarak hesaplanmış ve saçak yüksekliği 12.96 m olarak bulunmuş olup, yapılan hesaplama SİLO teknik kataloğunda yer alan saçak yüksekliği ile kıyaslanarak +0.28 m hata payına sahip olduğu görülmüştür.

Tepe yüksekliğinin bulunmasında ise 3DF Zephyr programında SİLO'nun en üst kısmında bir adet nokta atılmış ve kotu incelenmiştir. Bu işlem ile atılan noktanın kotu 1608.20 olarak hesaplanmıştır. Aynı hesaplama işlemi esnasında SİLO'nun taban kotunun ise 1591.64 olduğu görülmüş olup, tepe noktasının yüksekliği iki kotun farkı alınarak 16.56 m olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama sonucu SİLO teknik kataloğunda yer alan tepe yüksekliği ile kıyaslanarak +0.27 m hata payına sahip olduğu görülmüştür.

3DF Zephyr programı ile elde edilen taban çapı, saçak yüksekliği ve tepe yüksekliği ölçülerinden faydalanılarak yukarıda (5.1)'de belirtilen silindir prizma hacim formülü ve (5.2)'de dik konik prizma hacim formülünde kullanılarak SİLO'nun hacmi hesaplanmış ve $1765.54 m^3$ olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama sonucu SİLO teknik kataloğunda yer alan tepe yüksekliği ile kıyaslanarak $-16.46 m^3$ hata payına sahip olduğu görülmüştür. Yukarıda (5.4) ile belirtilen Doğruluk oranı yardımıyla 3DF Zephyr programında elde edilen hacim hesabının doğruluk oranı %99.07 olarak hesaplanmıştır.

Hacim hesaplaması üçüncü olarak ise Agisoft Metashape programında yapılmıştır. Agisoft Metashape programında da Pix4Dmapper ve 3DF Zephyr programlarında

yapılan uygulamaların benzeri yapılmış ve sırasıyla taban çapı, saçak yüksekliği ile tepe yüksekliği hesaplanmıştır.

İlk olarak Agisoft Metashape programı ile elde edilen üç boyutlu modelde taban çapı birkaç ayrı noktadan hesaplanmış ve ortalama 13.20 m olarak bulunmuş olup, bu sonuca dıştan dışa ölçüm ile ulaşılmıştır. Hacmi hesaplanacak SİLO'ların teknik verilerinde 65 mm sac kaplama ve 10 cm şerit mastikler bulunmaktadır. Bu veriler programda her iki taraftan Agisoft Metashape programı ile elde edilen dıştan dışa ölçüm sonucundan çıkarılmış ve silonun taban çapı 12.87 m olarak hesaplanmış ve yapılan hesaplama SİLO teknik kataloğunda yer alan taban çapı ile kıyaslanarak +0.04 m hata payına sahip olduğu görülmüştür.

Saçak yüksekliği Agisoft Metashape programında zemin noktasından 15. Ring bölümünün üst sınırına kadar olan yükseklik olarak hesaplanmış ve saçak yüksekliği 13.00 m olarak hesaplanmış ve yapılan hesaplama SİLO teknik kataloğunda yer alan saçak yüksekliği ile kıyaslanarak +0.32 m hata payına sahip olduğu görülmüştür.

Tepe yüksekliği ise Agisoft Metashape programında SİLO'nun en üst kısmında bir adet nokta atılmış ve kotu incelenmiştir. Bu işlem ile atılan noktanın kotu 1608.65 olarak hesaplanmıştır. Aynı hesaplama işlemi esnasında SİLO'nun taban kotunun ise 1591.79 olduğu görülmüş olup, tepe noktasının yüksekliği iki kotun farkı alınarak 16.86 m olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama sonucu SİLO teknik kataloğunda yer alan tepe yüksekliği ile kıyaslanarak +0.57 m hata payına sahip olduğu görülmüştür.

Agisoft Metashape programı ile elde edilen taban çapı, saçak yüksekliği ve tepe yüksekliği ölçülerinden faydalanılarak yukarıda (5.1)'de belirtilen silindir prizma hacim formülü ve (5.2)'de dik konik prizma hacim formülünde kullanılarak SİLO'nun hacmi hesaplanmış ve 1855.67 m^3 olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama sonucu SİLO teknik kataloğunda yer alan tepe yüksekliği ile kıyaslanarak $+73.67 \text{ m}^3$ hata payına sahip olduğu görülmüştür. Yukarıda (5.4) ile belirtilen Doğruluk oranı yardımıyla Agisoft Metashape programında elde edilen hacim hesabının doğruluk oranı %95.87 olarak hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplamalar neticesinde düzgün geometrik yapıya sahip SİLO'nun hacmi üç ayrı programda gerçekleştirilen hacim hesaplaması ortalamasına göre %98 doğrulukla hesaplanmıştır.

6.2 Dolgu Alanı Hacim Hesabı Çalışması

Çalışma Kapsamında ikinci hacim hesaplama işlemi ise dolgu alanında yapılan hacim hesabı işlemidir.

Arazi çalışmaları sonucu elde edilen iki ayrı uçuş verileri ofis ortamında üç boyutlu modellerin üretilmesi aşamasında kullanılmıştır. Üç boyutlu modellerin elde edilmesi ve hacim hesabının yapılması için Pix4Dmapper, Agisoft Metashape ve 3DF Zephyr programları kullanılmıştır. Söz konusu programlarda çalışma alanı boş iken ve çalışma alanına malzeme taşındıktan sonra elde edilen veriler kullanılarak iki ayrı yüzey modellemesi yapılmış ve sayısal yükseklik modelleri elde edilmiştir. Ancak Pix4Dmapper, Agisoft Metashape ve 3DF Zephyr programları yazılımsal olarak tek yüzey üzerinde hacim hesaplama özelliği bulunmaktadır. Bu nedenle hacim hesaplaması ilk olarak Pix4Dmapper, Agisoft Metashape ve 3DF Zephyr programları bünyesinde yer alan hacim hesaplama menüleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ise Pix4Dmapper, Agisoft Metashape ve 3DF Zephyr programlarında üretilen nokta bulutları veya SYM'ler, yüzeyler arası hacim hesaplama imkanı sağlayan Global Mapper, Surfer ve 3D Survey programlarında değerlendirilerek hacim hesaplamaları yapılmıştır.

Yapılan hacim hesaplamaları aşağıda Çizelge 6.2'de gösterildiği üzere verilmiştir.

Çizelge 6.2. Dolgu alanı hacim hesabı değerleri.

1. İŞLEM	Pix4Dmapper Programında Elde Edilen Veriler İle Yapılan Hacim Hesaplamaları			
	Pix4Dmapper	Global Mapper	3D Survey	Surfer
Referans Hacim (m^3)	41.79			
Hesaplanan Hacim (m^3)	43.65	43.20	42.92	42.17
FARK (m^3)	1.86	1.41	1.13	0.38
Doğruluk Oranı	%95,55	%96,63	%97,30	%99,10
2. İŞLEM	Agisoft Metashape Programında Elde Edilen Veriler İle Yapılan Hacim Hesaplamaları			
	Agisoft Metashape	Global Mapper	3D Survey	Surfer
Referans Hacim (m^3)	41.79			
Hesaplanan Hacim (m^3)	42.78	45.44	44.02	46.36
FARK (m^3)	0.99	3.65	2.23	4.57
Doğruluk Oranı	%97,64	%91,27	%94,67	%89,07
3. İŞLEM	3DF Zephyr Programında Elde Edilen Veriler İle Yapılan Hacim Hesaplamaları			
	3DF Zephyr	Global Mapper	3D Survey	Surfer
Referans Hacim (m^3)	41.79			
Hesaplanan Hacim (m^3)	44.62	44.79	45.16	44.55
FARK (m^3)	2.83	3.00	3.37	2.76
Doğruluk Oranı	%93,23	%92,82	%91,94	%93,40

Çizelge 6.2’de “1. İŞLEM” bölümünde gösterildiği üzere Pix4Dmapper programı ile elde edilen veriler yardımıyla yapılan hacim hesabı açıklanmıştır. Yapılan hacim hesaplama işleminde ilk olarak Pix4Dmapper programı bünyesinde yer alan hacim hesaplama menüsü kullanılarak çalışma alanına taşınan malzemenin toplam hacmi hesaplanmış ve referans alınan hacim miktarına göre Pix4Dmapper programında elde edilen doğruluk oranı %95,55 olarak tespit edilmiştir.

Hacim hesaplaması ikinci olarak ise Pix4Dmapper programı ile elde edilen çalışma alanının ilk yüzeyi ve çalışma alanının ikinci yüzeyine ait SYM’lerin Global Mapper çakıştırılarak değerlendirilmesi ile hacim hesabı yapılmıştır. Yapılan hacim

hesaplaması sonucunda referans alınan hacim miktarına göre Global Mapper programında elde edilen doğruluk oranı %96,63 olarak tespit edilmiştir.

Hacim hesaplaması üçüncü olarak ise Pix4Dmapper programı ile elde edilen çalışma alanının ilk yüzeyine ve çalışma ikinci yüzeyine ait nokta bulutlarının 3D Survey programında değerlendirilerek oluşturulan SYM'lerin karşılaştırılarak değerlendirilmesi ile hacim hesabı yapılmıştır. Yapılan hacim hesaplaması sonucunda referans alınan hacim miktarına göre 3D Survey programında elde edilen doğruluk oranı %97,30 olarak tespit edilmiştir.

Hacim hesaplaması dördüncü olarak ise Pix4Dmapper programı ile elde edilen çalışma alanının ilk yüzeyi ve çalışma alanının ikinci yüzeyine ait nokta bulutlarının Surfer programında değerlendirilerek oluşturulan grid modellerin karşılaştırılarak değerlendirilmesi ile hacim hesabı yapılmıştır. Yapılan hacim hesaplaması sonucunda referans alınan hacim miktarına göre Surfer programında elde edilen doğruluk oranı %99,10 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 6.2'de "2. İŞLEM" bölümünde gösterildiği üzere Agisoft Metashape programında elde edilen veriler yardımıyla yapılan hacim hesabı açıklanmıştır. Yapılan hacim hesaplama işleminde ilk olarak Agisoft Metashape programı bünyesinde yer alan hacim hesaplama menüsü kullanılarak çalışma alanına taşınan malzemenin referans alınan hacim miktarına göre Agisoft Metashape programında elde edilen doğruluk oranı %97,64 olarak tespit edilmiştir.

Hacim hesaplaması ikinci olarak ise Agisoft Metashape programı ile elde edilen çalışma alanının ilk yüzeyine ve çalışma alanının ikinci yüzeyine ait SYM'lerin Global Mapper karşılaştırılarak değerlendirilmesi ile hacim hesabı yapılmıştır. Yapılan hacim hesaplaması sonucunda referans alınan hacim miktarına göre Global Mapper programında elde edilen doğruluk oranı %91,27 olarak tespit edilmiştir.

Hacim hesaplaması üçüncü olarak ise Agisoft Metashape programı ile elde edilen çalışma alanının ilk yüzeyine ve çalışma alanının ikinci yüzeyine nokta bulutlarının 3D Survey programında değerlendirilerek oluşturulan SYM'lerin karşılaştırılarak değerlendirilmesi ile hacim hesabı yapılmıştır. Yapılan hacim hesaplaması

sonucunda referans alınan hacim miktarına göre 3D Survey programında elde edilen doğruluk oranı %94,67 olarak tespit edilmiştir.

Hacim hesaplaması dördüncü olarak ise Agisoft Metashape programı ile elde edilen çalışma alanının ilk yüzeyine ve çalışma alanının ikinci yüzeyine ait nokta bulutlarının Surfer programında değerlendirilerek oluşturulan grid modellerin karşılaştırılarak değerlendirilmesi ile hacim hesabı yapılmıştır. Yapılan hacim hesaplaması sonucunda referans alınan hacim miktarına göre Surfer programında elde edilen doğruluk oranı %89,07 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 6.2’de “3. İŞLEM” bölümünde gösterildiği üzere 3DF Zephyr programında elde edilen veriler yardımıyla yapılmış hacim hesaplaması açıklanmıştır. Yapılan hacim hesaplama işleminde ilk olarak 3DF Zephyr programı bünyesinde yer alan hacim hesaplama menüsü kullanılarak çalışma alanına taşınan malzemenin toplam hesaplanmış yapılan hesaplama sonucu referans alınan hacim miktarına göre 3DF Zephyr programında elde edilen doğruluk oranı %93,23 olarak tespit edilmiştir.

Hacim hesaplaması ikinci olarak ise 3DF Zephyr programı ile elde edilen çalışma alanının ilk yüzeyine ve çalışma alanının ikinci yüzeyine ait SYM’lerin Global Mapper karşılaştırılarak değerlendirilmesi ile hacim hesabı yapılmıştır. Yapılan hacim hesaplaması sonucunda referans alınan hacim miktarına göre Global Mapper programında elde edilen doğruluk oranı %92,82 olarak tespit edilmiştir.

Hacim hesaplaması üçüncü olarak ise 3DF Zephyr programı ile elde edilen çalışma alanının ilk yüzeyine ve çalışma alanının ikinci yüzeyine ait nokta bulutlarının 3D Survey programında değerlendirilerek oluşturulan SYM’lerin karşılaştırılarak değerlendirilmesi ile hacim hesabı yapılmıştır. Yapılan hacim hesaplaması sonucunda referans alınan hacim miktarına göre 3D Survey programında elde edilen doğruluk oranı %91,94 olarak tespit edilmiştir.

Hacim hesaplaması dördüncü olarak ise 3DF Zephyr programı ile elde edilen çalışma alanının ilk yüzeyine ve çalışma alanının ikinci yüzeyine ait nokta bulutlarının Surfer programında değerlendirilerek oluşturulan grid modellerin karşılaştırılarak değerlendirilmesi ile hacim hesabı yapılmıştır. Yapılan hacim hesaplaması

sonucunda referans alınan hacim miktarına göre Surfer programında elde edilen doğruluk oranı %93,40 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 6.2 incelendiğinde en yüksek doğruluk oranına Pix4Dmapper programı ile elde edilen çalışma alanının ilk yüzeyine ve çalışma alanının ikinci yüzeyine ait nokta bulutlarının arazi yapısına en uygun enterpolasyon yöntemi olan Kriging Enterpolasyon yöntemi ile Surfer programında değerlendirilerek oluşturulan grid model yüzeyleri arasında yapılan hacim hesabı ile elde edildiği görülmüş olup, %99,10 doğruluk oranı ile hacim hesaplaması yapılmıştır.

Yapılan hesaplamalar neticesinde dolgu alanında yapılan hacim hesaplama işleminin Pix4Dmapper, Agisoft Metashape ve 3DF Zephyr programları bünyesinde yapılan ve tek yüzey modeli üzerinden gerçekleştirilen hacim hesaplaması ortalamasına göre %95,47 doğrulukla hesaplanmıştır. Pix4Dmapper, Agisoft Metashape ve 3DF Zephyr programları ile üretilen ve çalışma alanının boş ve çalışma alanına malzeme taşınmasının ardından oluşturulan SYM veya nokta bulutlarının Global Mapper, 3D Survey ve Surfer programlarında değerlendirilmesi ve yüzeylerin karşılaştırılmasının ardından yapılan hacim hesaplaması sonucu ortalama %94,02 doğrulukla hesaplanmıştır. Özellikle Agisoft Metashape programında üretilen nokta bulutlarının düşük seviyede üretilmiş olması neticesinde söz konusu nokta bulutlarının Surfer programında değerlendirilmesi esnasında hassasiyet oranı düşük seviyede grid modeller oluşması nedeniyle elde edilen hacim doğruluk oranında diğer programlara göre yüksek hata elde edildiği görülmüştür.

Yapılan hesaplamalar neticesinde dolgu alanında gerçekleştirilen toplam ortalama hacim doğruluğunun %94,38 olarak hesaplanmıştır.

Literatürde Yılmaz ve Yakar (2008), Yılmaz vd. (2018), Kaya vd. (2019) ile Ulvi vd. (2020) tarafından yapılan çalışmalar da belirtildiği üzere İHA verilerinin hacim hesaplarında kullanılabilirliğinin hız, maliyet ve hassasiyet yönlerinden sağladığı avantajlar sayesinde yol projeleri kadastral detay ölçümleri, kübaj hesaplamaları vb. mühendislik projelerinde rahatlıkla kullanılabilir olduğu kanaatine varılmıştır.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Teknolojik gelişmeler ışığında sivil ve askeri alanda İHA kullanımı her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Erişilmesi zor bölgelerde sağladığı kolaylık, işlemlerin zaman açısından kısa sürelerde gerçekleştirilmesi, hassasiyet ve ekonomik yönlerden sağladığı imkanlar sayesinde mühendislik işlemlerinde İHA'ların kullanımı son yıllarda hızla artmaktadır. Mühendislik projelerinde hacim hesaplamaları son derece önemli işlemler arasında yer almaktadır. Hacim hesaplamaları günümüzde maden işletmelerinde, inşaat çalışmalarında, yol projeleri gibi çeşitli işlemlerde kullanılmaktadır.

Tez çalışmasında fotogrametrik yöntem ile hacim hesabı araştırması yapılmış ve hacmi bilinen yapılar ve dolgu alanında hacim hesaplama işlemlerinde İHA verilerinin kullanılabilirliği araştırılmıştır. İHA ile elde edilen veriler üç ayrı modelleme yazılımlarında değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. İlk olarak hacmi bilinen tarımsal depolama tesisi SİLO'ların hacim hesabı yapılmıştır. Yapılan arazi ve büro çalışmaları neticesinde elde edilen sonuçlar SİLO'ların teknik kataloğunda belirtilen hacim kapasitesiyle karşılaştırılmıştır. Arazi çalışmasında elde edilen veriler büro çalışması esnasında üç ayrı yazılım programında değerlendirilmiştir. Verilerin Pix4Dmapper yazılımında değerlendirilmesiyle SİLO'ların hacim miktarında elde edilen doğruluk oranı %99.07, 3DF Zephyr programında SİLO'ların hacim miktarında elde edilen doğruluk oranı %99.07 ve Agisoft Metashape programında SİLO'ların hacim miktarında elde edilen doğruluk oranı %95.87 olarak hesaplanmıştır. Üç programda elde edilen doğruluk oranının ise ortalama %98 olduğu tespit edilmiştir.

İkinci olarak ise dolgu alanında hacim hesaplaması yapılmıştır. Yapılan arazi ve büro çalışmaları neticesinde elde edilen sonuçlar çalışma alanına getirilen malzemenin tonaj hesabı ve yoğunluk formülü ile elde edilen toplam hacmi karşılaştırılmıştır. Arazi çalışmasında elde edilen veriler büro çalışması esnasında altı farklı yazılım programında değerlendirilmiştir. Hacim hesaplamasında kullanılan yazılımlardan Pix4Dmapper, Agisoft Metashape ve 3DF Zephyr programları çalışma alanının boş hali ve çalışma alanına malzeme taşındıktan sonraki hali için nokta bulutları, mesh modeller, üç boyutlu modeller ve SYM üretilmesi kullanılmıştır. Ayrıca

Pix4Dmapper, Agisoft Metashape ve 3DF Zephyr programları bünyesinde yer alan hacim hesaplama menüleri kullanılarak çalışma alanına malzeme taşındıktan sonraki hali için üretilen SYM'ler üzerinden hacim hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan hacim hesaplamaları sonucunda Pix4Dmapper yazılımında hacim hesaplaması doğruluk oranı %95.55, Agisoft Metashape programında hacim hesaplaması doğruluk oranı %97.64 olarak ve 3DF Zephyr programında hacim hesaplaması doğruluk oranı ise %93.23 olarak hesaplanmıştır. Üç programda elde edilen doğruluk oranının ise ortalaması ise %95.47 olduğu tespit edilmiştir. Dolgu alanında yapılan hacim hesaplamasında ayrıca iki ayrı yüzeyi karşılaştırarak hacim hesaplama imkânı sağlayan Global Mapper, 3D Survey ve Surfer yazılımları kullanılmıştır. Söz konusu programlarda ihtiyaç duyulan çalışma alanının boş hali ile çalışma alanına malzeme taşındıktan sonraki hali için SYM veya nokta bulutları ise Pix4Dmapper, Agisoft Metashape ve 3DF Zephyr programları ile üretilen verilerden yararlanılmıştır. Yapılan hesaplamalar neticesinde Global Mapper programında Pix4Dmapper, Agisoft Metashape ve 3DF Zephyr programları ile üretilen verilerden yararlanılarak yapılan hacim değeri doğruluk oranı ortalama %93,57 olarak, 3D Survey programında Pix4Dmapper, Agisoft Metashape ve 3DF Zephyr programları ile üretilen verilerden yararlanılarak yapılan hacim değeri doğruluk oranı ortalama %94,63 olarak ve Surfer programında Pix4Dmapper, Agisoft Metashape ve 3DF Zephyr programları ile üretilen verilerden yararlanılarak yapılan hacim değeri doğruluk oranı ortalama %93,85 olarak hesaplanmıştır.

Özellikle hacmi bilinen yapılarda İHA verileri ile elde edilen hacim değerlerinin yüksek doğruluk sağladığı ve literatürde yapılan çalışmalar ile de desteklenen hacim hesaplamalarında beklenen doğruluk oranını karşıladığı görülmüştür. Hacmi tam olarak bilinmeyen düzensiz objelerde ise hacmi hesaplanacak malzemenin aynı yoğunlukta olmaması, geometrik olarak düzgün bir yüzey şeklinde olmaması gibi nedenlerden dolayı İHA verileri ile yapılan hacim hesaplamalarının doğruluk oranının hacmi bilinen düzenli yapılara göre daha düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle dolgu alanlarında İHA verileri ile yapılacak hacim hesaplarında aynı yoğunluğa sahip homojen objelerde daha yüksek doğruluk oranına sahip olacağı ve % 90 'ın üzerinde bir doğruluk oranına ulaşılacağı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Açıkgöz, M., 2002. İzmit Deprem Anı Yer Değiştirmelerinin Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aktaş, H., Birdal, A.C., Çınar, M.C., ve Türk, T., 2016. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2016), İnsansız Hava Araçları (İha) İle Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesinde Yaygın Kullanılan Yazılımların Karşılaştırılması, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
- Alkanalka, E., 2005. Kestirim Metodlarının Sayısal Yükseklik Modeli Üzerindeki Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 88 s.
- Arslanoğlu, M. ve Özçelik, M., 2005. Sayısal Arazi Yükseklik Verilerinin İyileştirilmesi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 28 Mart-1 Nisan 2005, Ankara.
- Avcı, Ü., 2010. İki Yüzey Arasında Hacim Hesabı Yapan Program ve Algoritma Geliştirme, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Becker, C., d'Angelo, E., Häni, N., Rosinskaya, E. ve Strecha, C., 2018. Classification of Aerial Photogrammetric 3D Point Clouds. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 84, 287-295.
- Bektaş, S., 2005. Endirekt ve Koşullu Ölçülerle Dengeleme Hesabı, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yayınları, Samsun, 207 s.
- Boogaart, K. G. van den, ve Schaeben, H., 2002. Kriging of Regionalized Directions, Axes and Orientations I. Directions and Axes, Mathematical Geology, Vol. 34, No. 5, 479-503.
- Chiabrando, F., F. Nex. Vd. 2011. "UAV And RPV Systems For Photogrammetric Surveys in Archaeological Areas: Two Tests in The Piedmont Region (Italy)", Journal Of Archaeological Science 38(3): 697-710.
- Çolak, M. ve Taştan, H., 1999. Sayısal Arazi Yükseklik Modellerinde Doğruluk Araştırması, Harita Dergisi, sayı: 121, sayfa: 54-68.
- Eisenbeiss, H., 2009. UAV Photogrammetry, ETH Zurich for the degree of Doctor of Science, ISSN 0252-9335 . ISBN: 978-3-906467-86-3.
- Ekinci, F., 2011. Sayısal Arazi Modelleri İle Hacim Hesaplarında Farklı Enterpolasyon Yöntemlerinin ve Parametrelerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Gençerk, E.Y., 2016. İnsansız Hava Aracı Fotogrametrisi Uygulaması ile İnşaat Projesi İmalat Durumunun Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Isaaks, E. ve Srivastava, R.M., 1989. An Introduction to Applied Geostatistics, Oxford University Press, Oxford, 561 s.
- İnal, C. ve Yiğit, C., 2003. Jeodezik Uygulamalarda Kriging Enterpolasyon Yönteminin Kullanılabilirliği, TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, 24-25-26 Eylül 2003, Konya.
- Jung, S. 2004. Design ve Development Of A Micro Air Vehicle (MAV): Test-Bed For Vision-Based Control. Abstract of Thesis Presented to the Graduate School of the University of Florida in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science.
- Kara, B.C., 2018. İnsansız Hava Aracı Fotogrametrisi ile Alansal Deformasyonların İzlenebilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
- Karaağaç, C., 2014. Millî Güvenlik ve Askerî Bilimler Akademik Dergisi Journal of National Security and Military Sciences Yaz/Summer 2014, Cilt/Volume 1, Sayı/No 3, 181-211.
- Karakış, S., 2011. Küçük Alanlarda Model Uçaklarla Haritalama Amaçlı Veri Üretim Olanaklarının Araştırılması, Doktora Tezi, Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.
- Kaya, Y., Akça, Ş., Memduhoğlu, A., Şenol, H.İ., Polat, N. ve Ulukavak, M., 2019. Hacim Hesaplarında İHA Kullanımı: Osmanbey Kampüsü Örneği, Türkiye Fotogrametri Dergisi, 1(1); 07-10.
- Keçeci, S.B., 2011. Sayısal Yükseklik Modellerinin Oluşturulmasında Kullanılan Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- 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, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul. 101 s.
- Leberl, F., 1973. Interpolation in a Square Grid DTM, ITC Journal Vol.5, 756-807.
- Li, Z., Gold, C. ve Zhu, Q., 2005. Digital Terrain Modeling, Principles and Methodology, CRC Press, Florida, 318 s.

- Mahmod, A.A ve Yılmaz, H.M., 2018. Generating to Three Dimensional Models from Taken Photos in Vertical Position with Unmanned Aerial Vehicles: Aksaray University Campus Mosque, Aksaray J. Sci. Eng. Volume 2, Issue 2, pp. 144-160.
- Özemer, I. ve Uzar, M., 2016. “İHA İle Fotogrametrik Veri Üretimi”, VI. UZAL-CBS Sempozyumu, Adana.
- Rawat, K. S. ve Lawrence E. E., 2014. A mini-UAV VTOL Platform for Surveying Applications. International Journal of Robotics and Automation (IJRA) Vol. 3, No. 4, pp. 259~267.
- Saripalli, S., Montgomery J.F. ve Sukhatme, G.S., 2003. Visually guided landing of an unmanned aerial vehicle. IEEE Transactions on Robotics and Automation 19(3): 371-380.
- Seki, M., 2017. İnsansız Hava Araçlarının Hacim Hesaplarında Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- Sharma, A., Basnayaka, C.M.W. ve Jayakody, D.N.K., 2020. Communication and networking technologies for UAVs: A survey". Journal of Network and Computer Applications, 168. s.
- Tahar, K. N., 2012. A New Approach On Slope Data Acquisition Using Unmanned Aerial Vehicle. IJRRAS, (3) 13, 780-785.
- Takeuchi, D. ve Nakanishi, S., 2019. An Artificial Neural Network Model to Estimate Grain Size on a River Bed From UAV Photographs and DEMs.
- Tercan, E., 2018. Karayolu ölçmelerinde insansız hava araçlarının kullanılması: okurcular şehir merkezi örneği, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7 (2): 649-660.
- Torun, A., 2017. İnsansız Hava Aracı (İHA) Sektöründe Trend: İHA Fotogrametrisi Bakışıyla. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Özel Sayı(35-52).
- Turner, D., A. Lucieer, vd. 2011. Development Of An Unmanned Aerial Vehicle (UAV) For Hyper-Resolution Vineyard Mapping Based On Visible, Multispectral And Thermal Imagery.
- Türkeş, M. ve Erkonak, H., 1999. Türkiye Sıcaklık Verileri CBS İle Analizi, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Uysal, M. ,. Polat N. ve Toprak A.S., 2015. İnsansız Hava Araçları İle Sayısal Arazi Modeli Üretimi, TUFUAB 2015.
- Winnefeld, J. A. ve Kendall, F., 2013. Unmanned Systems Integrated Road map FY2013-2038, Approved for Open Publication Reference Number: 14-S-0553.

- Yakar, M., Mutluoğlu Ö. ve Yılmaz, H.M. 2009. Hacim Hesaplamalarında Laser Tarama ve Yersel Fotogrametrinin Kullanılması, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 11-15 Mayıs 2009, Ankara.
- Yakar, M., Toprak, A.S., Ulvi, A. ve Uysal, M., 2015. Konya Beyşehir Bezariye Hanının (Bedesten) İHA ile Fotogrametrik Teknik Kullanılarak Üç Boyutlu Modellenmesi, 15. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Yakar, M. ve Doğan, Y., 2017. Silifke Aşağı Dünya Obruğunun İHA Kullanılarak Üç Boyutlu Modellenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, özel sayı, 94-101.
- Yanalak, M., 1997. Sayısal Arazi Modellerinden Hacim Hesaplarında En Uygun Enterpolasyon Yönteminin Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 110 s.
- Yanalak, M., 2002. Sayısal Arazi Modellerinde Yükseklik Enterpolasyonu, Harita Dergisi. Sayı 128, 44-58, Ankara.
- Yanalak M., 2002. Yön ve Ters Uzaklık Ağırlıklı Ortalama ile Enterpolasyon, Harita Dergisi, Sayı 127, 55, Ocak, Ankara.
- Yanmaz, E., Bettstetter C., Hellwagner H., Rinner B., ve Yahyanejad S., 2017. Drone Networks: Communications, Coordination, and Sensing, Ad Hoc Networks, doi:10.1016/j.adhoc.2017.09.001.
- Yastıklı, N. ve Jacobsen, K., 2003. Automatic Digital Elevation Model Generation, Problems and Restrictions in Urban Areas, YTÜ Dergisi, İstanbul.
- Yılmaz, H.M., 2007. The effect of interpolation methods in surface definition: an experimental study, Wiley InterScience, Earth Surface Processes and Landforms Earth Surf. Process. Landforms 32, 1346–1361, DOI: 10.1002/esp.1473.
- Yılmaz, H.M. ve Yakar M., 2008. Computing of Volume of Excavation Areas by Digital Close Range Photogrammetry, The Arabian Journal for Science and Engineering, Volume 33, Number 1A.
- Yılmaz, H.M., 2010. Close Range Photogrammetry in Volume Computing, "Experimental Techniques ", 34, s.48-54.
- Yılmaz, H.M, Bilgilioğlu S.S., Mutluoğlu Ö., Ulvi A. ve Yaman A. 2018. İnsansız Hava Aracı ile Ortofoto Üretimi ve Aksaray Üniversitesi Kampüsü Örneği, Geomatik Dergisi, 3(2);129-136.

Zhan-Ji.Y., 1998. Precise Determination Of Local Geoid And Its Geophysical Interpretation, Doctoral Thesis, Hong Kong Polytechnich University, Hong Kong, 144 s.

URL-1<<https://www.defenceturk.net/baykar-teknik-muduru-selcuk-bayraktar-akinci-tiha-hakkinda-aciklamalarda-bulundu>>, Eriřim Tarihi: 12.08.2021.

URL-2< <https://www.asrteknoloji.com.tr/burkut-ihha> >, Eriřim Tarihi: 12.08.2021.

URL-3<<https://haber.aero/savunma/doner-kanatli-vurucu-ihha-kargu-teslim-edildi/>>, Eriřim Tarihi: 12.08.2021.

URL-4<<https://tr.sputniknews.com/20151021/incirlik-predator-ihha-abd-hatay-suriye-1018494268.html>>, Eriřim Tarihi: 12.08.2021.

URL-5< <https://en.wikipedia.org/wiki/Entomopter>>, Eriřim Tarihi: 12.08.2021.

URL-6<<https://cryptome.org/eyeball/daiichi-npp/daiichi-photos.htm>>, Eriřim Tarihi: 12.08.2021.

URL-7<<https://www.istockphoto.com/tr/foto%C4%9Fraf/d%C3%BC%C5%9Fen-u%C3%A7ak-kirli-ve-%C3%A7im-suyu-bir-quadrocopter-bulunmaktad%C4%B1r-gm681586358-126281325>>, Eriřim Tarihi: 12.08.2021.

URL-8<https://tkgm.gov.tr/sites/default/files/202012/ek_ihha_kullanim_esaslari.pdf>, Eriřim Tarihi: 06.09.2021.

URL-9<<https://vizyonergenc.com/icerik/turkiye-nin-i-hha-seruveni-ve-anka-aksungurun-konumu>>, Eriřim Tarihi: 05.10.2021.

URL-10<https://tr.wikipedia.org/wiki/Kategori:T%C3%BCrkiye%27nin_insans%C4%B1z_hava_ara%C3%A7lar%C4%B1>, Eriřim Tarihi: 06.10.2021.

URL-11<https://tr.wikipedia.org/wiki/Baykar_Bayraktar_Ak%C4%B1nc%C4%B1>, Eriřim Tarihi: 07.10.2021.

URL-12< <https://www.baykarsavunma.com/ihha-14.html>>, Eriřim Tarihi: 07.10.2021.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : VAHİT ŞAHİN

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Erciyes Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 2011-2016

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, 2018-

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Erciyes Harita / Yaz Stajı
2. Melikgazi Belediyesi / Yaz Stajı
3. Kıta Gayrimenkul Değerleme Limited Şirketi / Gayrimenkul Değerleme Uzmanı
4. Prime Gayrimenkul Değerleme Anonim Şirketi / Gayrimenkul Değerleme Uzmanı
5. Net Kurumsal Gayrimenkul Değerleme Anonim Şirketi / Gayrimenkul Değerleme Uzmanı
6. Melikgazi Belediyesi / Harita Mühendisi (Devam Ediyor.)

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

1. Hacim Hesaplarında İnsansız Hava Aracı (İHA) Verilerinin Kullanılabilirliğinin Araştırılması - TÜRKİYE İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI DERGİSİ, e-ISSN 2687-6094, Cilt: 3 Sayı: 2