



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**KÜLTÜREL MİRAS KORUMA**  
**ÇALIŞMALARINDA YERSEL LAZER**  
**TARAMA (TLS) VE İNSANSIZ HAVA**  
**ARAÇLARI (UAVS) VERİLERİNİN**  
**KULLANIMI**

**Recep SAYAR**

**YÜKSEK LİSANS**

**Mimarlık Anabilim Dalı**

**Haziran-2022**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Recep SAYAR tarafından hazırlanan “Kültürel Miras Koruma Çalışmalarında Yersel Lazer Tarama (TLS) ve İnsansız Hava Araçları (UAVs) Verilerinin Kullanımı” adlı tez çalışması 24/06/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Doç. Dr. Fatih CANAN

#### Danışman

Dr. Öğr. Üy. Armağan GÜLEÇ KORUMAZ

#### Üye

Doç. Dr. H. Hale KOZLU

### İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN  
Enstitü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

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

## **DECLARATION PAGE**

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

Recep SAYAR  
Tarih:

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS

#### TEZ BAŞLIĞINI BURAYA YAZINIZ

**Recep SAYAR**

**Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Mimarlık Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğr. Üy. Armağan GÜLEÇ KORUMAZ**

**2022, 103 Sayfa**

**Jüri**

**Dr. Öğr. Üy. Armağan GÜLEÇ KORUMAZ  
Doç. Dr. Fatih CANAN  
Doç. Dr. H. Hale KOZLU**

Son yıllarda teknoloji alanındaki gelişmeler kültürel miras belgeleme alanına da sıçramış, bu alanda yeni yöntem ve tekniklere öncülük etmiştir. Bu yöntem ve teknikler Kültür miraslarının belgeleme süreçlerini de etkilemiş, paralel olarak geleneksel yöntemlere alternatif yöntemler doğmuştur. Topoğrafya, Yersel Lazer Tarama ve Uzaktan Algılama gibi yöntemlere ilaveten son yıllarda büyük bir ilgi gören bir tür İnsansız Hava Aracı olan Dronlar da zamanla arkeolojik alanların belgeleme süreçlerine dahil olmuşlardır. Arkeolojik alanların belgelenmesinde daha önce birçok yöntem kullanılmıştır. Fakat yapılan çalışmalar dikkatle incelendiğinde, geleneksel ve modern yöntemler de dahil hiçbir yöntemin tek başına yeterli olmadığı görülmektedir. Bütüncül bir dokümantasyon farklı yöntemlerin birleştirilmesinden elde edilebilmektedir. Bu çalışmanın amacı, son yıllarda kültürel miras dokümantasyonu alanında sıkça kullanılan Yersel Lazer Tarama yöntemiyle elde edilen yersel veriler ile Dron aracılığıyla havadan elde edilen verileri birleştirerek bütüncül bir dokümantasyon için yöntem geliştirmektir.

Çalışmada metod olarak temelde Yersel Lazer Tarama ve Dron Hava Fofotogrametrisi olmak üzere iki farklı yöntem kullanılacaktır. İlk adımda çalışma alanının belirlenmesinin ardından Yersel Lazer Tarama işlemi gerçekleştirilmiştir. Yersel Lazer Taramadan elde edilen nokta bulutlarıyla sırasıyla, nokta bulutlarının birleştirilmesi ve fazla verilerin temizlenmesi işlemleri yapılmıştır. Devamında, çalışma alanı dronla uçuş için uygun hale getirilerek ve planlanan uçuş gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerin kalitesi kontrol edilerek, ilgili yazılımda veriler işlenmiş ve veriler yersel lazer taramadan elde edilen verilerle birleştirilmiştir. Sonuç ürünler, 3D modeller, yüzey modelleri ve ortofotolar halinde sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Hava Fotogrametrisi, Kültürel Miras, Mimari Belgeleme, Selime Sultan Türbesi, Yersel Lazer Tarama

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **CULTURAL HERITAGE DOCUMENTATION STUDIES USE OF TERRESTRIAL LAZER SCANNING AND UNMANNED AERIAL VEHICLE DATA**

**Recep SAYAR**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Architecture**

**Advisor:Asst.Prof.Dr. Armağan GÜLEÇ KORUMAZ**

**2022, 103 Pages**

**Jury**

**Asst.Prof.Dr. Armağan GÜLEÇ KORUMAZ**

**Associate Prof. Dr. Fatih CANAN**

**Associate Prof. Dr.H. Hale KOZLU**

Technological developments in recent years have also spread in the field of cultural heritage documentation and have led to new methods and techniques. These innovations have also influenced archeological heritage documentation methods and consequently alternative tools and techniques have started to be used. In addition to methods like topography, terrestrial laser scanning, remote sensing and photogrammetry, UAV (Unmanned Aerial Vehicles) Drones has great interest in last years and have been included in archaeological sites documentation process. Several methods have been used for documentation of archaeological sites in the past and today. However when studies have been examined carefully, neither traditional nor modern techniques seems enough by itself. Complete documentation has always requires the combination of different methods. The purpose of this study is to develop a methodology for a complete documentation of archaeological sites by combining two different methods; TLS (Terrestrial Laser Scanning) and Drone Photogrammetry. In the context of this study, two different data – terrestrial and aerial- will be combined in order to get a complete documentation for archaeological sites.

In the project mainly two different methods will be used; TLS and UAV Drone Photogrammetry. After the definition of the case study, TLS method will be applied. The results of TLS point clouds will be aligned and cleaned. Later, the study area will be prepared for scheduled flight. Then the quality of obtained data will be checked, processed and will be combined with data obtained from TLS. The final results will be presented as 3D models, surface models and orthophotos.

**Keywords:** Aerial Photogrammetry, Architectural Documentantation, Cultural Heritage, Selime Sultan Türbesi, Terrestrial Laser Scanning

## ÖNSÖZ

Akademik çalışmamda, emeği geen, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve tm alışmalarımda yardımcı olan ok değerli danışman hocam Armağan GLE KORUMAZ' a ve bana hayatım boyunca desteklerini sunan aileme sonsuz teşekkrlerimi sunuyorum.

Recep SAYAR  
KONYA-2022



# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>KISALTMALAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1.Çalışmanın Amacı.....	2
1.2. Çalışmanın Kapsamı .....	3
1.3. Materyal ve Yöntem .....	4
1.3.1. Materyal .....	4
1.3.2. Yöntem.....	7
<b>2. GÜNÜMÜZDE KULLANILAN KÜLTÜREL MİRAS BELGELEME YÖNTEMLERİ.....</b>	<b>8</b>
2.1. Kültürel Miras Tanımı .....	8
2.2. Kültürel Miras Belgeleme.....	9
2.3. Belgeleme Teknikleri.....	10
2.3.1. Doğrudan Ölçüm Yöntemleri .....	14
2.1.2 Dolaylı Ölçüm Yöntemleri .....	15
<b>3. YERSEL LAZER TARAMA VE İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ KÜLTÜREL MİRAS BELGELEME ALANINDA KULLANILMASI.....</b>	<b>17</b>
3.1. Yersel Lazer Tarama Yöntemi.....	20
3.1.1. Lazer Tarama Cihazlarının Çalışma Prensipleri .....	22
3.1.2 Kullanım Alanları .....	24
3.1.3 Yersel Lazer Taramanın Limitleri .....	24
3.2. Hava Fotogrametrisi .....	25
3.2.1. Hava Fotogrametrisinin Avantaj ve Limitleri.....	28
3.3. Hava Fotogrametrisi ve Yersel Lazer Tarama Verilerinin Kombinasyonun Kültürel Miras Belgelemesinde Kullanımı .....	30
<b>4. ALAN ÇALIŞMASI .....</b>	<b>31</b>
4.1. Çalışma Alanı Genel Tanıtımı .....	31
4.1.1. Selime Sultan Türbesi Tarihi ve Mimari Özellikleri .....	31
4.2. Çalışmanın Kapsamı .....	33
4.3. Arazi Çalışmaları .....	33
4.3.1. Kontrol Noktalarının Yerleştirilmesi .....	34
4.3.2. Yersel Lazer Tarama Cihazı İle Veri Toplama.....	34
4.3.3. Dron İle Hava Fotogrametrisi .....	36

4.4. Ofis Çalışmaları .....	39
4.4.1. Yersel Lazer Tarama Verilerinden 3D Model Üretilmesi .....	39
4.3.2 Dron Verilerinden 3D Model Üretilmesi .....	41
4.3.3 Drone ve YLT Modellerinin Birleştirilmesi .....	46
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>54</b>
5.1 Sonuçlar .....	54
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>57</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>64</b>





## **KISALTMALAR**

3D: Üç Boyutlu

CBS: Coğrafi Bilgi Sistemi

DEM: Digital Elevation Model

DSM: Digital Surface Model

GIS: Geographic Information System

GPS: Global Positioning System

GNSS: Global Navigation Satellite System

LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

LiDAR: Light Detection and Ranging

İHA: İnsansız Hava Aracı

YLT: Yersel Lazer Tarama

YKN: Yer Kontrol Noktası

SYM: Sayısal Yükseklik Modeli

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda teknoloji alanındaki gelişmeler kültürel miras belgeleme alanına da sıçramış, bu alanda yeni yöntem ve tekniklere öncülük etmiştir. Bu yöntem ve teknikler koruma alanlarının belgeleme süreçlerini de etkilemiş, paralel olarak geleneksel yöntemlere alternatif yöntemler doğmuştur. Topoğrafya, Yersel Lazer Tarama ve Uzaktan Algılama gibi yöntemlere ilaveten son yıllarda büyük ilgi gören bir tür İnsansız Hava Aracı olan Dronlar da zamanla koruma alanlarının belgeleme süreçlerine dahil olmuşlardır. Koruma alanların belgelenmesinde daha önce birçok yöntem kullanılmıştır. Fakat yapılan çalışmalar dikkatle incelendiğinde, geleneksel ve modern yöntemler de dahil hiçbir yöntemin tek başına yeterli olmadığı görülmektedir. Bütüncül bir dokümantasyon farklı yöntemlerin birleştirilmesinden elde edilebilmektedir.

Kültürel miras belgeleme çalışmalarında kullanılan geleneksel yöntemler, eserin bir bütün olarak belgelenmesinde veri temini açısından eksikliklere neden olmakta, ayrıca uzun süre ve yüksek maliyeti de beraberinde getirmektedir. Kültürel mirasın belgelenmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanan Yersel Lazer Tarama yöntemi sağladığı faydalar sebebiyle belgeleme çalışmalarında alternatif bir yöntem olarak görülmektedir.

Geleneksel ölçüm yöntemleri ile kıyaslandığında, bu ölçme tekniği ile 3B nokta bulutu verileri, yüksek hızda kısa sürede elde edilmektedir. Bu nokta bulutlarından 2B ve 3B çizimler, ortofotolar ve yüzey modelleri üretilebilmektedir.

Kültürel miras belgelenmesinde daha önce de kullanılan yakın resim fotogrametrisi ve yersel tarama teknolojileri, 3D veri elde edilmesinde, yüksek seviyede detaylı bilgi, doğruluk ve etkili sonuçlar elde edilmesi bakımından en çok kullanılan teknikler arasındadır. Fakat bu tekniklerin her zaman yeterli olduğunu söylemek zordur. Cami, medrese, külliye, türbe gibi karmaşık geometrilere sahip yüksek yapılarda bu tekniklerle sadece yersel veriler elde edilebilmekte, hava verileri eksik kalmaktadır. Bu eksiklikleri tamamlamak için dronlar fiyat ve yetenekleri göz önüne alındığında, kültürel miras belgelenmesi için alternatif çözümler haline gelmektedir.

Önceleri gözlem ve savunma amaçlı kullanılan dronlar, zamanla sivil ve ticari alanlarda da kullanılmaya başlamıştır. Günümüz gelişmeleri ile birlikte drone sistemlerine ve yazılımlarına ulaşım kolaylaşmıştır. Dronların bu yaygın kullanım alanlarına son yıllarda fotogrametrik teknikler ile birlikte mimarlık alanı da dahil olmuş, özellikle kültürel miras belgelemesinde erişilmesi zor ve tehlikeli olan bölümlerde

tercih edilmeye başlanmışlardır. Teknolojik avantajları sayesinde eseri daha yakından ve yüksek çözünürlüklü fotogrametrik veriler toparlayabilen dronlar bu sayede tarihi binanın karakterini daha detaylı bir şekilde kayıt altına alabilmektedir.

Tarihi yapılara yapılacak müdahale kararları proje üzerinden olmaktadır. Kararların doğru ve yerinde verilebilmesi için proje üretilen verinin doğruluk hassasiyetinin yüksek olması gerekmektedir. Geleneksel ölçüm yöntemleri, lazer tarama tekniği, yersel fotogrametri ve drone teknolojilerinden herhangisi istenilen hassasiyette veri elde etmek için tek başına kullanıldığında yetersiz kalmaktadır.

### 1.1.Çalışmanın Amacı

Çalışma yersel lazer tarama ve dron teknolojisinin kültürel miras dokümantasyonunda birlikte kullanılmasını içermekte, farklı kaynaklardan gelen verilerin bütüncül bir dokümantasyon için bir metodoloji geliştirmeyi, bu iki teknolojinin birleşiminden 3D model üretilmesini amaçlamaktadır.

1. Kültür mirasının bütüncül bir dokümantasyonu için belirli bir metot henüz bulunmamaktadır. Bu çalışma kültür mirasının metrik dokümantasyonu için bir metodoloji geliştirmek amacı taşımaktadır.
2. Proje ile yersel lazer tarama ve dron teknolojilerinin kültürel miras belgelenmesindeki potansiyellerini, eksik ve avantajlı yönlerini açığa çıkarmak amaçlanmıştır.
3. Farklı rölöve ve dokümantasyon tekniklerini bir araya getirip bu entegrasyondan bütüncül bir yaklaşım elde etmek projenin amaçları arasındadır.
4. Karar verme süreci, sağlıklı bir dokümantasyona bağlıdır. Proje korumacılar ve karar vericilere, bu süreçte karar vermelerine yardımcı olabilecek ve bu süreci hızlandıracak veriler sağlamak amacı taşımaktadır.
5. Kültürel miras belgeleme çalışmaları hem çalışanlar hem de miras için potansiyel tehlikelerin olduğu alanlardır. Önerilen proje ile, muhtemel zararları ve tehlikeleri minimuma indirebilmek için uygun bir çözüm bulmak amaçlanmıştır.
6. Hava fotogrametrisinin alanlarına göre daha küçük alanlarda

kullanılmak üzere daha ucuz bir sistemle ekonomik katkılar elde etmek düşünülmektedir.

7. Kültür mirasına yönelik yüksek çözünürlüklü, farklı ölçeklerde çalışmaya ve mimari çizimlere imkan verebilen haritalar elde etmek amaçlanmıştır.
8. Gelecekteki çalışmalar için farklı yöntemlerin de bu belgeleme sürecine nasıl dahil edilebileceği, projede elde edilen sonuçlar üzerinden sunmak hedeflenmiştir.

Kültür mirasının tek ve benzersizliği belgelemenin öneminin daha da artırmaktadır. Oluşturulmuş olan 3D model yalnızca müdahale kararlarına altlık oluşturmayacak kültürel mirasın çeşitli nedenlerle zarar görme ya da yok olma riskine karşı yüksek doğrulukta ve hassasiyete dijital ortamda depolanmasını sağlamıştır. Eserin oluşturulacak 3D modeli ile tüm plan, kesit, görünüş ve analiz paftalarını ölçekli olarak hazırlayabilecek ortografik görseller elde edilebilmektedir. Bu bilgi ve belgeler dijital platformlarda çeşitli uzantılar ile paylaşılabilir olması farklı mesleki disiplinlerinde katkı sağlayacağı şekilde çalışmasına ortam oluşturabilecektir. Elde edilen model farklı uzantılar sayesinde çeşitli yazılımlar arasında transfer edilerek ve karar verme sürecine doğrudan etki eden ısı, performans, strüktürel analiz gibi analizler yapılabilmektedir. Kültürel mirasın bu yöntemle üretilmiş 3D modeli 3D üretim yapabilen yazıcılar ile istenilen ölçekte maketi oluşturulabilmektedir.

Bu gelişmelerin sağladığı avantajlara rağmen belgeleme süreci her aşamasında yapıya ve çevresel etkenlere göre farklı parametreleri barındırmaktadır. Dron uçuş süresi, uçuşun yüksekliği, araca entegre kamera özellikleri, GPS desteği ve stabilizasyonu elde edilen sonuç ürünün doğruluk ve hassasiyetine doğrudan etki etmektedir. Benzer şekilde YLT için de yapı yüksekliği, tarama istasyonları ile yapı arasındaki uzaklık, çevre yapılar, hava durumu, tarama parametrelerine yön vermekte ve veri kalitesini doğrudan etkilemektedir.

## 1.2. Çalışmanın Kapsamı

Çalışma kapsamı temelde iki bölümde ele alınmıştır.

1. Teorik Kapsam: Yersel Lazer tarama ve dronların arkeolojik alan belgelenmesinde kullanıldığı örnekler, geleneksel yöntemlere göre avantaj ve dezavantajları, bu yöntemlerle elde edilen sonuç ürünlerin neler olduğu ve bu ürünlerin

mimaride nasıl kullanılabilceği, çalışmada kullanılan yontemlerin arkeolojik alan belgelemesine getirdiği katkılardan oluşan bir literatür araştırması yapılmıştır. Oluşturulan teorik çerçeve ile uygulama için bir alt yapı oluşturulmuştur.

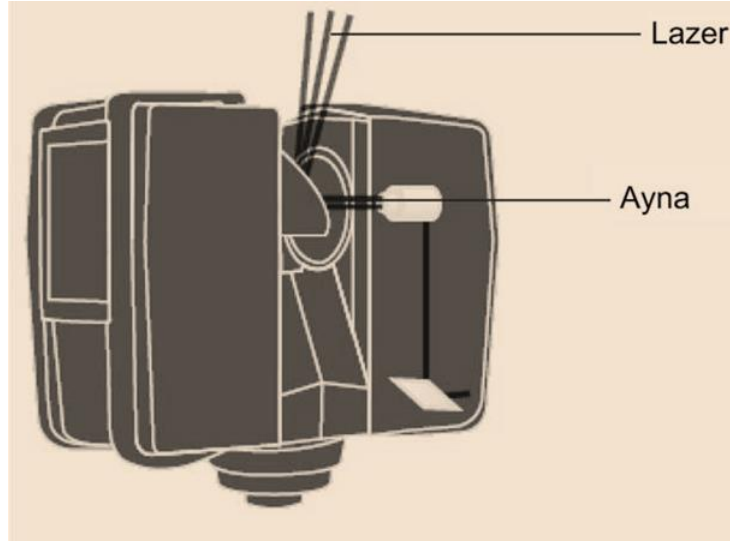
2.Uygulama Kapsamı: Uygulama bölümünde yersel lazer tarama (YLT) ve drone teknolojileri kullanılarak geliştirilen mimari belgeleme metodu alan çalışması olan Aksaray İli Selime Kasabası'nda yer alan Selime Sultan Türbesi belgeleme ve projelendirme çalışmalarıyla ele alınmıştır.Ayrıca veri toplama, veri işleme ve birleştirme süreçleri detaylıca ele alınmış, yontemlerden elde edilen veriler sunulmuştur.

3.Sonuç: Tezin son bölümünde tezin kısa bir özeti verilirken, elde edilen sonuçlar üzerinden genel değerlendirmeler yapılmıştır. rnek alan çalışmasının çıktılarına göre, üzülen problemler ve ihtiyaç duyulanlar önerilmiştir.

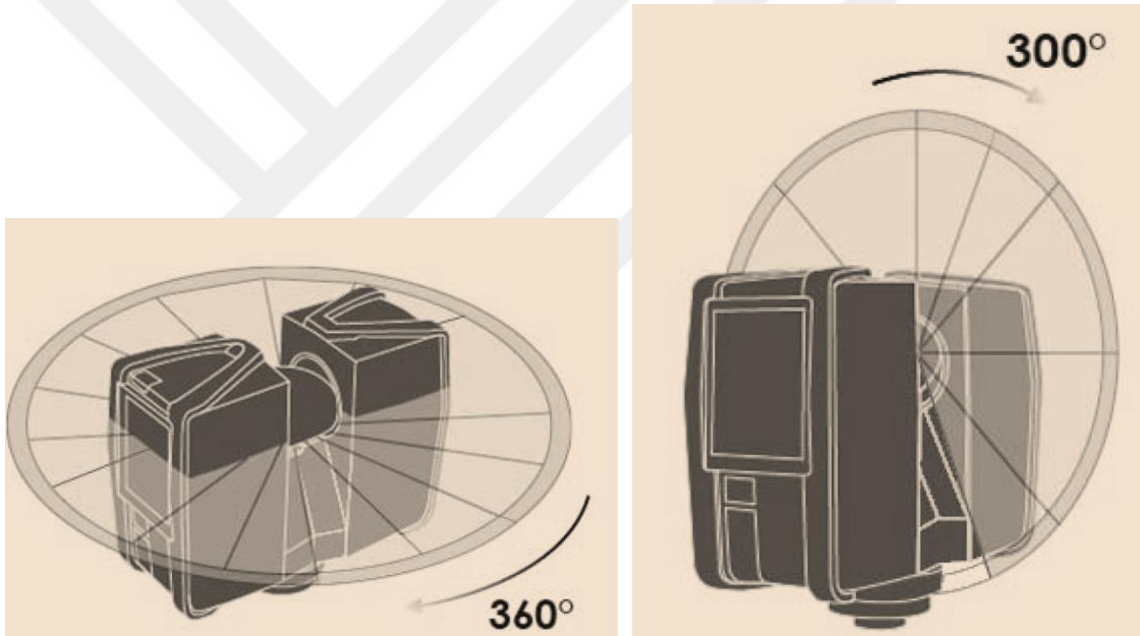
### **1.3. Materyal ve Yontem**

#### **1.3.1. Materyal**

Alan çalışmasında kullanılan tüm tüm lazer tarama işlemleri FARO S120 lazer tarama cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. FARO S120 lazer tarama cihazı faz farkına göre değerlendirme yaparak ölüm yapmaktadır. Yatay eksende 360° ve düşeyde 305° kapsama alanı ile tek istasyondan yapılan taramada oldukça yüksek görüş açısına sahiptir. Cihaz üzerinde 45 ° aı ile yerleştirilmiş ayna düzeneği ile taranacak objeye yöneltilen kızıl ötesi lazer işınları milyonlarca noktanın dakikalar içerisinde llmesini sağlamaktadır. Ayrıca entegre kamera kombinasyonu sayesinde çekilen fotoğraflar sayesinde noktaların RGB kodlarını da nokta verisi üzerine işlemek mümkün olmaktadır.



Şekil 1.1. Lazer Işınının Saptırılması



Şekil 1.2 Lazer tarama cihazının lazer yönlendirme açıları

Hava fotoğraflarının elde edilmesi için DJI marka 4 kollu hava aracı kullanılmıştır. Bu hava aracı entegre GPS sistemi ile otonom uçuşlar gerçekleştirebilmektedir. Hava aracı üzerinde entegre 20 megapixel çözünürlüğünde dijital kamera yer almaktadır. Cihazın uçuşa hazır ağırlığı 907 gr. dır. Rüzgarsız havada maksimum verimli uçuş süresi 25-30 dk arasındadır. 29-38 km/s rüzgar direncine sahip cihaz rüzgarlı havalarda bile oldukça stabil uçuş gerçekleştirebilmektedir.

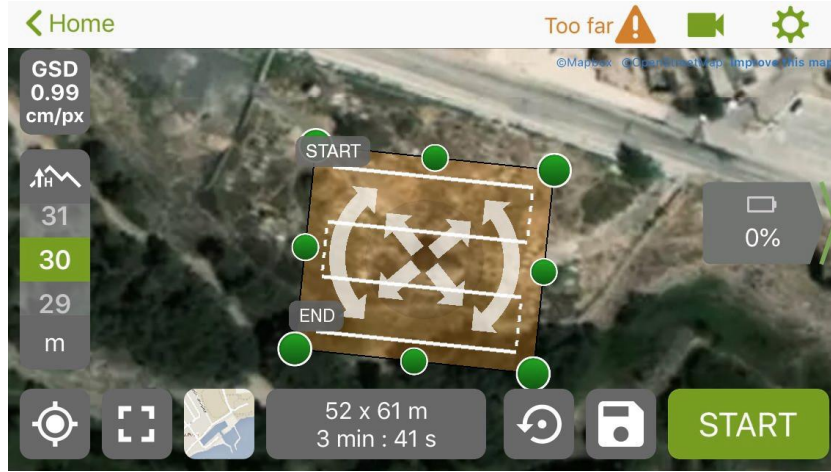


Şekil 1.3.Dji mavic 2 pro marka model dron

Çalışmanın kontrol noktalarının topografik ölçümleri için Topcon marka Cors ve Topcon GPt 3007 Total Station kullanılmıştır. Çalışmanın bu kısmında profesyonel hizmet alımı yapılmıştır.

Alan çalışmasında kullanılan ekipmanlar ile toparlanan verilerin değerlendirilmesi için çeşitli bilgisayar yazılımları kullanılması gerekmektedir. Lazer tarama verilerinin koordinat sistemi üzerinde çakıştırılması ve nokta bulutunun işlenmesi için FARO S120 Lazer Tarama cihazı için önerilen SCENE 5.0 yazılımı kullanılmıştır. Yazılım ile tarama verileri işlemenin yanı sıra farklı nokta bulutu verileri SCENE Webshare Cloud ile saklanabilir ve farklı kullanıcılar ile paylaşılabilir.

Otonom uçuş sırasında uçuş planlamasını yapmak amacıyla Pix4D yazılımı kullanılmıştır. Yazılım ile birlikte hava aracının uçuş yüksekliği, fotoğraf bindirme oranı, uçuş rotası, kamera açısı uçuş öncesinde belirlenebilmektedir. Hava aracı tarafından sabit bindirme oranları ile çekilen fotoğraflar Agisoft Photoscan yazılımı ile hizalanmıştır. Yazılımın tam otomatik iş akışı ile kullanımı oldukça kolay ve hassas nokta bulutu, sayısal yüzey modeli, 3D model ve orto fotolar üretme konusunda oldukça başarılıdır.



Şekil 1.4 Pix4d Yazılımı otonom uçuşun planlanması

Oluşturulan ofotolardan ölçekli çizim paftalarının oluşturulması için Autodesk firmasının AutoCad yazılımı kullanılmıştır.

### 1.3.2. Yöntem

“Kültürel Mirasın Mimari Belgelenmesi” konusuna derinlemesine inilerek, ihtiyaçlar tezin probleminin tanımlanmasına yardımcı olmuştur. İhtiyaç duyulan dokümanlar, farklı araçların entegrasyonu ile sağlanabilir. Kapsamlı bir literatür taramasından sonra, Yersel Lazer Tarama ve İHA Fotogrametrisi tekniklerinin tanımı, kavramları, kullanım alanları, saha çalışması ve veri işleme adımları ile anlatılarak teorik altyapı oluşturulmuştur. Bu adımlar, projenin amacının tanımlanmasından ve teknoloji seçiminden sonra alan çalışmasında uygulandı. Alan çalışması veri toplama, veri işleme ve sonuçların değerlendirilmesini içeren her adımıyla birlikte ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Çalışmamızda Yersel Lazer Tarama cihazı ile elde edilen nokta bulutu verileri ve Dron ile havadan çekilen fotoğraflardan elde edilen nokta bulutu verileri bütüncül bir mimari belgeleme çalışması yapabilmek amacıyla birleştirilmiştir. Birleştirilen nokta bulutu verilerinden katı model oluşturulacak ve bu katı model üzerine texture kaplanarak ölçekli ortografik görüntüler elde edilmiştir. Kültür mirasını koruma ve onarım sürecinden karar vericilere sağladığı faydalar değerlendirilmiştir. Ayrıca sonuç ürün olan 3D dijital dokümanın nasıl değerlendirilebileceği tartışılacaktır.



## 2. GÜNÜMÜZDE KULLANILAN KÜLTÜREL MİRAS BELGELEME YÖNTEMLERİ

### 2.1. Kültürel Miras Tanımı

Kültürel mirasın tanımı tarih boyunca gelişmiş ve genişlemiş, dolayısıyla tarihsel süreç içindeki kapsamı zamanla farklılaşmıştır. Bu tanım, koruma kavramının ilk aşamalarında sadece önemli anıtsal yapılarla sınırlı kalmış ve zamanla sivil yapılar, kentsel ve kırsal alanlar, hatta kültür-sanat gibi soyut kategorileri de içine almıştır. Kültürel miras tanımının yaygınlaşmasında tarihsel süreç içerisinde önemli olaylar belirleyici olmuştur. 18. yüzyıldaki Fransız Devrimi, miras kavramını anlamada önemli bir kilometre taşıdır. Aynı zamanda bu dönem, kültürel mirasın önemli olduğu, koruma ve restorasyon politikalarının geliştirildiği bir dönem olmuştur. İlk olarak 1931 yılında Atina Tüzüğü 1 ile uluslararası kuruluşlar tarafından kullanılmaya başlanan kültürel miras tanımı, II. Dünya Savaşı sonrasında çıkarılan 1964 Venedik Tüzüğü ile daha da önem kazanmıştır. Bu tarihten sonra insanlığın mirası olarak algılanmaya başlanmıştır (ICOMOS, 1931); (ICOMOS, 1964). 1970'lerde tanımın kapsamı eski ve kırsal yerleşimleri de içerecek şekilde daha da genişledi. Zamanla maddi varlıkların yanı sıra maddi olmayan varlıkları da dahil ederek genişlemeye devam etti. Avrupa Konseyi (1985), Washington Tüzüğü (1987) ve UNESCO 1989 Tavsiye toplantıları bu genişlemede çoğunlukla etkili olmuştur (Europe, 1985); (ICOMOS, 1987); (UNESCO, 1989). 2000'li yıllarda peyzaj öğeleri de kültürel miras tanımının bir parçası haline gelmiş, ardından kültürel ve doğal miras tanımlarına da yer verilmiştir.

Zamanla kültürel mirasın ne olduğu yerine nasıl yönetilir soruları sorulmaya başlandı. Zamanla "Dünya Mirası" kavramı gelişmiş, doğal ve kültürel miras alanlarının sadece buldukları yerde değil tüm insanlığın mirası olduğu düşüncesi yaygınlaşmış ve kabul görmüştür. Günümüzde somut ve somut olmayan kültürel miras kavramlarının yanı sıra modern miras, dijital miras ve e-miras gibi yeni kavramlar ortaya çıkmış ve bunların nasıl korunacağı ve belgeleneceği konusunda çalışmalar başlamıştır. Miras kavramlarının bu denli çeşitlenmesi, miras deneyimi ve belgeleme alanında da devam etmiş ve çok katmanlı bir yapıya dönüşmüştür. Kültürel mirasın tanımındaki ve kapsamındaki değişim, zaman içinde topluluklar için korunmasını ve aktarılmasını daha önemli hale getirmiştir.

Kültürel mirasın aktarılması için belgeleme esastır ve kaçınılmazdır. Kültürel mirastaki çeşitlilik ile ilgili olarak kültürel miras tanımına paralel belgeleme teknikleri de gelişmiş, değişmiş ve yeni belgeleme teknikleri ortaya çıkmıştır.

## 2.2. Kültürel Miras Belgeleme

Kültürel mirasın korunması ve onarımı, farklı uzmanlar tarafından üretilen bilgilere ihtiyaç duyan disiplinler arası bir yaklaşımı gerektirir.

Kültürel miras dokümantasyonu, ölçme, test etme, analiz etme, toplama ve izleme gibi bir dizi faaliyeti içeren karmaşık bir süreçtir. D'Ayala ve Smars'ın dokümantasyon açıklaması olarak; “Nesnenin geometrisi, kaydedilecek tek parametre değildir. Nesneyi benzersiz kılan tüm özellikler anlamlıdır; tüm potansiyel değerler - mimari, sanatsal, tarihi, bilimsel ve sosyal özellikleri dikkate alınması gereken parametrelerdir” sadece nesnenin geometrisini belgelemek yeterli değildir (D'Ayala & Smars, 2003).

Ayrıca D'Ayala & Smars'ın tanımına göre, kültürel mirasın belgelenmesi, bir anıtın konumunun ve biçiminin ve boyutunun belirlenmesi için gerekli verilerin elde edilmesi, işlenmesi, sunulması ve kaydedilmesi eylemi olarak tanımlanabilir. Geometrik belgeleme, anıtların zaman içinde şekillenen mevcut durumunu kayıt altına almakta ve geçmişlerinin yanı sıra gelecekleri için yapılacak çalışmalar için gerekli alt yapıyı oluşturmaktadır (Yılmaz, Yakar, Güleç ve Dülgerler, 2007). Bir dokümantasyon projesinin sonunda, fotoğraflar, fotografik panoramalar, düzeltilmiş fotoğraflar, ortofotolar, teknik çizimler, nokta bulutları dahil olmak üzere çeşitli 3B geometrik modeller ve diğer tür veriler gibi bina bilgilerini içeren devasa bir multimedya veritabanı oluşturulur.

Mimari dokümantasyon projesinin kapsamı, fiziki alanın etüdü, etütlerin amacı, elde edilecek ürünlerin özellikleri, veri ve medya formatları dikkate alınarak, üstlenilen işin nicel ve nitel yönleriyle genel karakterini içerir.

HABS 2'ye göre, belgelemenin amacı tarihi özelliklerin, müdahalelerin, değişikliklerin doğru bir kaydını korumaktır ve kültürel mirasın korunması ve araştırılmasında her şey kullanılabilir (HABS, 1990).

Mimari belgelemedeki metodolojinin burada özetlenebilecek başlıca beş bölümden oluştuğu söylenebilir:

- Genel planlama aşaması: İşin tüm yönlerini ve bunun için nesnel koşulları, ayrıca mali destek ve diğer kaynakların oluşturulması,
  - Veri toplama ve saha çalışması: Yerinde yapılan çalışmalarla ham birincil verilerin elde edilmesi veya ikincil kaynaklardan miras ile ilgili edinilen bilgiler,
  - İşleme veya manipülasyon dahil olmak üzere veri işleme ve analiz: Toplanan veriler (birincil veya ikincil) istenen ürünleri veya bilgileri oluşturmak için işlenmesi,
  - Veri yönetimi: Üretilen veri ve bilgilerin indekslenmesi, saklanması, veri güvenliği, erişimi, yayılması ve yayınlanması,
  - Projenin kontrolü ve dokümantasyonu: Projenin uygulanmasına yönelik kontrollerin yapılması, gelecekteki çalışmalara yönelik planlamanın yapılması kaynakların araştırılması,
- Bölümlerinden oluşmaktadır.

Kültür mirasını belgelemek için aşağıdaki adımlara karar vermek gerekmektedir. Bu adımlar;

- Uygun belgeleme yöntemi,
  - Belgeleme yöntemi için gerekli yazılım ve donanımlar,
  - Uygun iş akışının planlanması,
  - Proje isteklerine uygun çıktıların sağlanması,
- Şeklindedir.

Tüm bu adımlara karar verebilmek içinse çalışmanın ölçeği, nesnenin boyutu, karmaşıklığı, istenilen ayrıntı düzeyi ve doğruluk parametreleri değerlendirilmelidir.

### 2.3. Belgeleme Teknikleri

Dijital teknolojilerin gelişimi kültürel mirasın belgelenmesini etkilemiştir. En önemli gelişmelerde belkide veri toplama aşamasında yaşanmıştır. Günümüzde birçok farklı teknolojik araç uygun fiyatlarla bulunabilir.

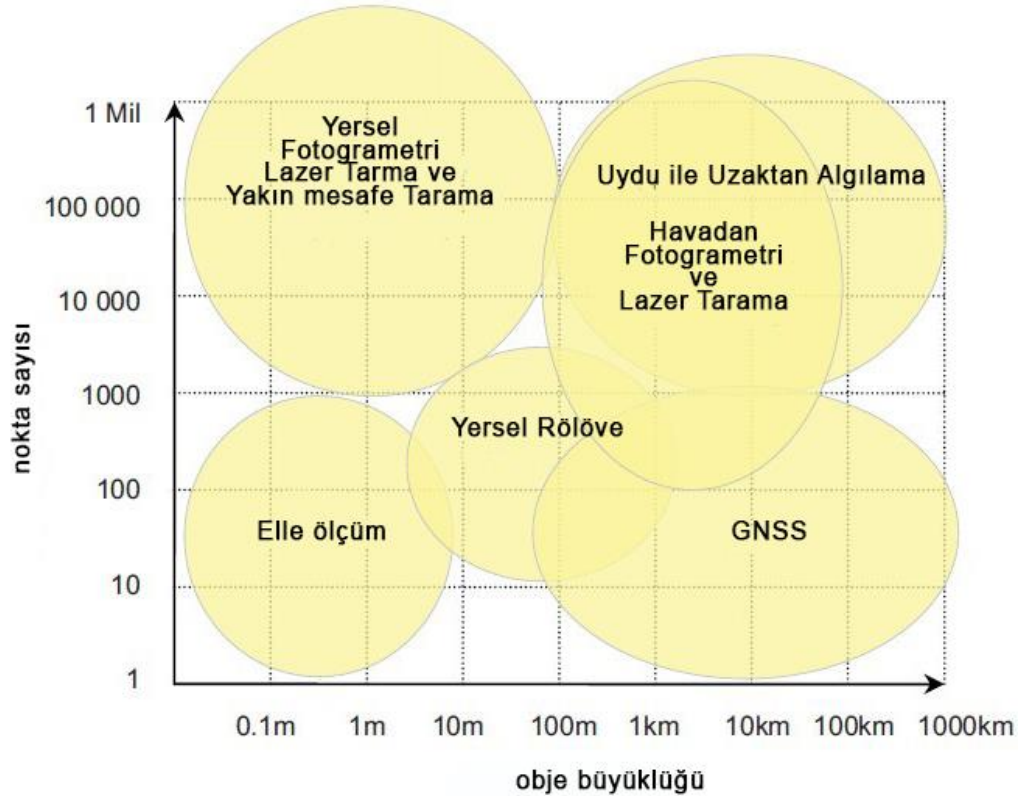
Bir belgeleme çalışmasında projenin ihtiyaçları ve amacı, kullanılacak teknolojiler ve ürünler üzerinde belirleyici olacaktır.

Kültürel mirasın belgelenmesi için uygun yöntem araştırma, analiz ve koruma ihtiyaçları göz önünde bulundurularak seçilmelidir. Çalışmada hangi yöntemin

kullanılacağı konusunda kesin bir yol yoktur. Proje parametreleri arasında denge kurularak seçilmelidir.

Önde gelen parametrelere bağlı olarak kültürel mirasın dokümantasyonu için kullanılacak birkaç teknoloji sınıflandırması vardır; nesnenin boyutu ve karmaşıklığı, ayrıntı düzeyi, gerekli ölçek ve doğruluk. Şekilde Böhler tarafından hazırlanan görsel, boyut ve nesne karmaşıklığı açısından bu tekniklerin özetini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi, birkaç metre boyutunda nesnelere ve alan büyüklükleri için elle ölçüm tekniği, yakın mesafe fotogrametrisi ve yersel lazer tarayıcı kullanmak daha doğru olabilir.

Hem havadan hem de karadan fotogrametri ve lazer tarama, daha geniş alanlar için veri sağlayabilir. GPS tekniği, havadan veya uzaydan elde edilen verilere kıyasla daha çok sınırlı sayıda nokta hakkında bilgi toplamak için kullanılır. İster havadan ister yerden lazer tarama, çok sayıda 3 boyutlu ölçümün hızlı bir şekilde yapılmasını sağlar (Heritage, 2011).



Şekil 2.1. Rölöve tekniklerinin Obje büyüklüğü ve nokta sayısına göre kıyaslanması (Heritage, 2011)

Gerekli doğruluk seviyesine göre teknolojilerin sınıflandırılması değişmektedir. Sonuç ürünün doğruluk düzeyine göre geleneksel ve dijital araçlar önerilebilir. Uygun doğruluk seviyesinin seçimi proje ihtiyaçlarına uygun olmalıdır. Aşağıdaki şekilde gerekli doğrulukla ilgili veri toplama araçlarının ve teknolojilerinin kullanımı için önerilen çerçeveyi göstermektedir. Bir dokümantasyon için düşük doğruluk yeterli olduğunda geleneksel araçlar olarak eskizler ve fotoğraflar, vektörel ölçülü çizimler, GPS, dijital fotoğraflar, fotoğrafların taraması, dijital video kaydı veri toplama araçları olarak kullanılabilir. Orta seviye doğrulukta dokümantasyon için, vektörel ölçülü çizim, GPS, düzeltilmiş fotoğraflara ek olarak, 3D modelleme kullanılabilir. Sayısal fotogrametri, total station, GPS ve lazer tarama teknikleri çoğunlukla yüksek doğruluk gerektiğinde tercih edilir. (Letellier, 2007).

<b>Miras Belgeleri</b>				
		<b>Düşük Doğruluk</b>	<b>Orta Doğruluk</b>	<b>Yüksek Doğruluk</b>
<b>Geleneksel Belgeler</b>		35mm Fotoğraflar Krokiler	Elle Ölçüm Büyük Format Fotoğraf Küçük Format Düzleştirilmiş Fotoğraf	Küçük Format Düzleştirilmiş Fotoğraf Elle Ölçüm Çok Fotoğraflı Fotogrametri
<b>Dijital Belgeler</b>	<b>Vektörel Belgeler</b>	Ölçülü Çizimler GPS	Ölçülü Çizimler GPS 3B Model	Dijital Fotogrametri Total Station GPS 3b Model 3B Lazer Tarama
	<b>Fotoğraf Tabanlı Belgeler</b>	Dijital Fotoğraf Taranmış Fotoğraf Dijital Video	Dijital Fotoğraf Yüksek Çözünürlüklü Video	3B Model OrthoFoto

**Şekil 2.2.** Miras belgelerinin doğruluk oranlarının karşılaştırılması (Letellier, 2007)

Dokümantasyon tekniklerinin bir başka sınıflandırması Hassani (2015) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmaya göre, temel olarak üç kategori vardır: görüntü tabanlı, görüntü tabanlı olmayan ve birleştirilmiş yöntemler. Görüntü tabanlı teknikler arasında fotogrametri (panorama, yakın mesafe ve İHA) ve IR kameralar bulunurken, görüntü tabanlı olmayan teknikler arasında geleneksel ölçüm yöntemleri ve lazer taramayı içerir. Bu iki tekniğin dışında farklı yöntemlerin birlikte kullanıldığı birleştirilmiş yöntemler olarak bir sınıflandırma daha yapılmıştır.

<b>Belgeleme Yöntemi</b>	<b>Fotoğraf Tabanlı Yöntemler</b>	Fotogrametri	Panoramik Fotoğraf Yakın Mesafe Fotogrametrisi Hava Fotogrametrisi
		IR Kameralar	
	<b>Fotoğrafsız Yöntemler</b>	Geleneksel Yersel Ölçüm	Elle Ölçüm Teodolit İle Ölçüm
		Lazer Tarama	Yersel Lazer Tarama Lidar
	<b>Birleştirilmiş Yöntemler</b>	Fotoğraf-Lazer Tarama	
		Yapılandırılmış Işık	Yapılandırılmış Işık David Lazer Tarama

**Şekil 2.3.** Belgeleme tekniklerinin görüntü tabanlı olup olmamasına göre sınıflandırılması (Hassani 2015)

Ölçüm tekniklerinin en çok atıfta bulunulan, kabul edilen ve ayrıntılı sınıflandırmalarından biri, Santana Quintero'nun aşağıdaki tabloda gösterilen çalışmasından uyarlanan bir çalışma olan English Heritage tarafından yapılmıştır (Bryan ve diğerleri, 2009). Bu çalışma ile tüm metrik ölçüm teknikleri “doğrudan” ve “dolaylı” olarak adlandırılan iki kısma ayrılmıştır. Bu doğrudan ve dolaylı teknikler, sonuç ürüne, uygulama alanlarına, nesne boyutuna ve kullanımlarındaki sınırlamalara göre sınıflandırılmıştır.

Metrik Rölöve Teknikleri				
Dolaylı Ölçüm Yöntemleri				
Teknik	Sonuç Ürün		Uygulama Alanı	Nesne Büyüklüğü
Uzaktan Algılama	3D	Büyük Alanlarda Arazi Belgeleme	Arazi izleme, Bitki sağlığı haritalama, Su içeriği	1-1500 km <sup>2</sup>
Hava Lidarı	3D	Topografik Harita	Arazi Haritalama ve izleme	1-500 km <sup>2</sup>
Hava Fotogrametrisi	3D			
Yersel Lazer Tarama	3D	Nokta Bulutu Yüzey Modeli	Yapı modelleme ve çizim	5-500 m <sup>2</sup>
Yakın Mesafe Fotogrametrisi	3D	Foto Haritalar CAD Çizimleri	Mimari cephe çizimi, Orthofoto, Yüzey modelleme	2-100 m <sup>2</sup>
Düzleştirilmiş Fotoğraf	2D	Durum Belgesi	Tek Cephe Belgeleme	2-50 m <sup>2</sup>
Eser Tarayıcı	3D	Nokta Bulutu Yüzey Modeli	Heykel, Kabartma vs.	1-5 m <sup>2</sup>
Doğrudan Ölçüm Yöntemleri				
GPS	3D	Topografik Harita Nokta Verisi	Arazi Rölövesi	1-20 km <sup>2</sup>
Total Station	3D	CAD Tel Çerçeve Nokta Verisi	Topografik Harita Yapı plan ve kesitleri	0.5-50 m <sup>2</sup>
Kotlandırma	2D	Nokta Yükseklik verisi	Yükseklik Ölçümü	1-50 m
Elle Ölçme	2D	Anahtar Detaylar Krokiler	Strüktürel notlar, Mimari hasarlar	0.25-5 m <sup>2</sup>

Şekil 2.4. Belgeleme tekniklerinin doğrudan ve dolaylı ölçüm olarak sınıflandırılması (Heritage, 2011)

### 2.3.1. Doğrudan Ölçüm Yöntemleri

Ölçülü çizim, GPS (Küresel Konumlandırma Sistemi), Total Station gibi doğrudan ölçüm teknikleri, esas olarak rölövecinin gözlem becerilerine ve yeterliliğine bağlı olan tekniklerdir. Doğrudan tekniklerin dolaylı teknikler gibi esnekliği yoktur ancak birçok çalışmada oldukça etkili sonuçlar verebilir.

Günümüzde bu geleneksel yöntem, rölövenin doğruluğunu artıran ve süreyi kısaltan lazer düzeçler, lazer metreler gibi dijital araçlar kullanılarak desteklenebilir. Sade ve süslemesiz nesnelere için bu yöntemin hala geçerli olduğu söylenebilir. Farklı açılara ve deformasyonlara sahip karmaşık yapılar için topografik ölçümlerle desteklenmesi gerekir. Bu yöntemin bir diğer sınırlaması ise yüksek binalarda iskele ihtiyacı olması, zaman alıcı olması ve kaza riski taşımasıdır. Uzman olmayanlar

tarafından uygulanabilen bu yöntemin basit olması, düşük maliyetli ekipman gerektirmesine ve görüşün sınırlı olduğu durumlarda yardımcı olmasına rağmen daha büyük nesnelere doğruluk oranı düşüktür. (Hassani, 2015). Bu gibi durumlarda hataları azaltmak, daha iyi boyutlar sağlamak için bu yöntemi topografik yöntemle desteklemek doğru olacaktır (Andrews vd., 2009) (Amorim, 2011).

Bir diğer doğrudan ölçüm yöntemi olan total station ile ölçme, nispeten hızlı ve hassas bir tekniktir. Nesne boyutuna ve karmaşıklığına bağlı olarak istasyon ve nokta sayısı değiştirilebilir. Bu teknik, nokta sayısı sınırlıysa uygun maliyetlidir ve kolay kullanım ile birlikte yüksek doğrulukta veriler elde eder. Ancak daha fazla veri elde edilmesi gerekiyorsa saha çalışması uzun sürebilir, ayrıca renkli verilerin belgelenmesi mümkün değildir ve yetenekli operatör gerektirir (Hassani, 2015).

Topografya, noktaların dünya üzerindeki koordinatının ölçülmesine yarayan bir yöntemdir. Doğrudan ölçüm yöntemleri arasında etkili bir yöntemdir. Ancak ölçülecek nokta sayısı ne kadar fazla olursa o ölçüde saha çalışması uzayacaktır. Ölçme aletlerinin otomatikleştirilmesi ile noktaların, mesafelerin ve koordinatların belirlenmesi büyük ölçüde basitleştirilmiştir. Bazı durumlarda topografya ve doğrudan ölçüm kombinasyonu başarılı bir şekilde kullanılabilir de çokgen olmayan yapılar ve karmaşık sümelere sahip anıtlarda ve 3 boyutlu belgelemeye ihtiyaç duyulduğunda yetersiz kalmaktadır.

### **2.1.2 Dolaylı Ölçüm Yöntemleri**

Fotogrametri ve lazer tarama gibi dolaylı ölçüm teknikleri her türlü metrik veriyi elde etmek için kullanılır, özellikle büyük ölçekli yapılarda ve yüksek yoğunlukta nokta verisi gerektirdiğinde ve bu teknikler dikkatli bir planlama ile kullanılır. Bu teknikler yüksek doğrulukta veriler ürettiğinden tarihi dokuya yönelik risk değerlendirmeleri yaparken hatalı karar verilmesinin önüne geçer.

Dolaylı tarama tekniklerinin bir parçası olan görüntü tabanlı teknikler, düzleştirilmiş fotoğraf, ve fotogrametri yöntemlerini kapsamaktadır. Düzleştirilmiş fotoğraf yönteminde sadece tek bir görüntü kullanırken, fotogrametri birden çok fotoğraf gerektirir. Bu teknikler, kameranın görüş alanına bağlı olduğundan iyi bir fotoğraf elde etmeye özen gösterilmeli ve fotoğraflardaki tüm detayların net bir şekilde görülebilmesi için tüm detayların net olarak fotoğraflanması gerekmektedir.



Düzleştirilmiş fotoğraf, nesnenin ana düzlemine yaklaşık olarak paralel olan kameranın görüntü düzlemi ile tekil fotoğrafların çekildiği bir rölöve türü olarak tanımlanabilir. Konu yüzeyi düz ve ayrıntılı olduğunda kullanışlıdır. Nesneye veya cepheye paralel olarak yüksek kaliteli kamera ile fotoğraf çekmek, lens distorsiyonu sonucu oluşan hataları azaltacaktır. Bu teknik, düşük maliyetli kamera ve yazılımlarla uygulanabilir ve profesyonel olarak uzman olmayı gerektirmez (Bryan vd., 2009).

Fotogrametri , temel olarak, aynı nesnenin kamera ile farklı konumlardan çekilmiş üst üste binen fotoğraflarından hassas ölçümler ve çizimler yapma tekniğidir. (Andrews ve diğerleri, 2009). Günümüzde kalibre edilmesi gereken dijital kameralar daha çok fotogrametri için kullanılmaktadır. Fotogrametri yerini zamanla dijital fatogrametiriye bırakmıştır. Dijital fotogrametri, daha basit veri işleme süreçlerine olanak tanımakta ve uzmanlık gereksinimini ortadan kaldırmaktadır. Böylece mühendisler kadar mimarlar tarafından da kullanılabilir. Bu basitleştirmelere ek olarak, fotogrametrinin ekipman, özel kamera, özel yazılım ve bilgisayar donanım gereksinimleri vardır.

Mimari amaçlar için temel olarak kullanılan iki tür fotogrametri tekniği vardır. Bunlar yakın mesafe fotogrametrisi ve İHA fotogrametrisidir. Yakın mesafe fotogrametrisi, nesnenin metrik verilerini farklı karmaşıklıklarda kısa sürede renk ve doku ile belgelemek için doğru bir tekniktir. Nesneye erişimin sınırlı olduğu veya nesne üzerindeki doğrudan ölçümün nesneye zarar vereceği durumlarda kullanılabilir. Küçük eserlerden arkeolojik alanlara kadar birçok alanda dokümantasyon amaçlı kullanılabilir. Bugün yeni kameralarla daha kolay ve uygun maliyetli hale gelmiştir. Ayrıca çizimler için kısa zamanda gerçek dokulu ve renki veriler elde etmek mümkündür. Elde edilen verilerin kalitesi kullanılan kameranın doğruluğuna ve çözünürlüğüne bağlıdır.

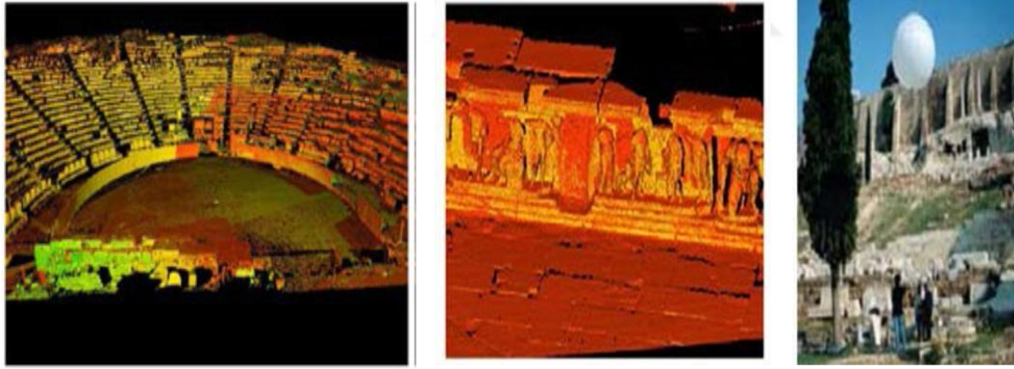
Benzer şekilde hava fotogrametrisi, dokulu ve renkli ve hızlı verileri elde edebilmektedir. Son yıllarda mimari ve arkeolojik alan belgelemesinde bu ölçme yönteminin kullanımı artmıştır. Bu sistem entegre dijital kameralı ve GNSS/INS sistemi barındıran düşük maliyetli hafif bir hava aracından oluşmaktadır.

Bu yöntem ile panoramik görüntüler, DSM (dijital yüzey modelleri), orthoto ve 3D modelleri yüksek doğrulukla oluşturma mümkündür.

### 3. YERSEL LAZER TARAMA VE İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ KÜLTÜREL MİRAS BELGELEME ALANINDA KULLANILMASI

Arkeoloji ve kültürel miras koruma projelerinde hızlı ve yüksek doğrulukta belgeleme çalışmanın karar verme sürecini doğrudan etkileyen en önemli parametredir. Süreç dinamik olduğu için, hızlı ve güvenilir belgeleme yöntemlerine ihtiyaç vardır. Kültür mirasının hızlı, doğru, düşük maliyetle modellenmesi ve projelerinin hazırlanarak koruma kararlarının verilmesi gerekmektedir. Ancak çeşitli durumlar belgeleme çalışmaları zorlaştırmaktadır. Bu durumların başında alanların kompleksliği ile geometrik özellikleri gelmektedir. Geleneksel belgeleme yöntemleri karmaşık geometriler, yüksek yapılar, strüktürel problemler bulunduran yapılarda yetersiz kalmaktadır. Bu yetersizlik yeni yöntem arayışlarını beraberinde getirmiştir.

Lazer taramanın fotogrametri ile birlikte koruma alanlarında kullanılması Vozikis ve ark. (2004)'te alternatif bir yöntem olarak belirtilmiştir. Yunanistan'da Dionysus tiyatrosunun yersel lazer tarama yöntemiyle belgelemesi yapılmış ilaveten alan üzerinde balon ile uçularak hava verileri elde edilmiştir.

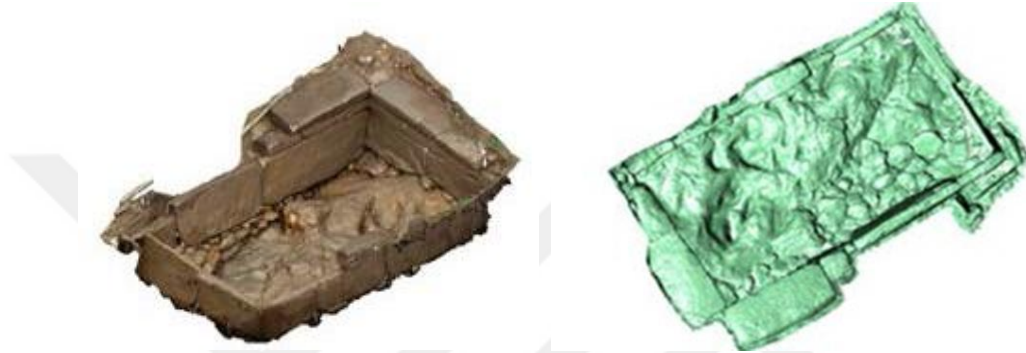


Şekil 3.1. Alanın Dokta Bulutu, Nokta Bulutu Detayı, ve Balonla Veri Toplama Yöntemi

Koruma alanlarında yersel lazer taramanın kullanımına yönelik bir örnek çalışma da, Kersten ve ark. (2010) tarafından yapılmıştır. Kazı alanında bir bölüm ve kazıdan elde edilen heykeller lazer tarama yöntemiyle taranmış, 3D modelleri üretilmiştir.

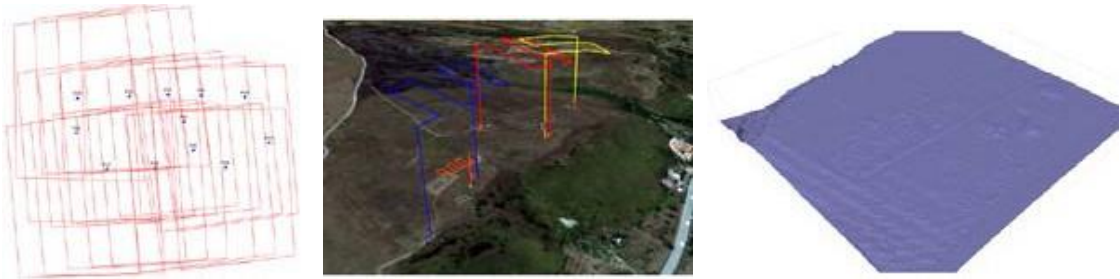


Şekil 3.2. Arkeolojik alan genel görünümü ve RGB nokta bulutu



Şekil 3.3. Fotorealistik-mesh model ve Alanın Ortogonal görüntüsü

Lo Brutto ve ark. (2012) çalışmalarında UAV sistemi Sicilya’da bir arkeolojik alan üzerinde kullanmışlardır. Alanın dokümantasyonunu yapmış, DYM ve ortofoto görüntülerini oluşturmuş ve sonuç görüntüleri işlemede iki farklı iş akışı izlemişlerdir; bunlardan biri fotogrametrik yöntem diğeri de bilgisayar tabanlı görüntüleme yöntemidir. Çalışmalarında 150 m ye kadar yükselebilen ve 20 dk havada kalabilen md4-200 quadcopter UAV kullanmışlardır.



Şekil 3.4. Blok dengeleme, uçuş planı ve PhotoScan’ de elde edilen dijital yüzey modeli



**Şekil 3.5.** Arkeolojik alanın ortofotosu

Lazer tarama ve fotogrametrinin denendiği ve değerlendirildiği bir başka çalışma Barsanti ve ark. (2013) tarafından yapılmıştır. Çalışmada 3D rölöve ve modelleme yöntemleri, İtalya’da Friuli Venezia Giulia bölgesindeki Aquileia arkeolojik alanın belgelenmesi üzerinden denenmiştir. Çalışmalarında, projede seçilecek olan tekniğin birçok faktöre bağlı olduğunu, her iki tekniğinde avantaj ve dezavantajlarının olduğunu belirtmişlerdir. Her iki teknolojinin de doğruluk ve çözünürlükte yakın aralıklara sahip olduğunu fakat bu tür kompleks alanlar için birden fazla metodun kombinasyonunun en iyi çözüm olacağını belirtmişlerdir.



YSL ile elde edilmiş ortofoto görüntüsü



Fotogrametri ile elde edilmiş ortofoto görüntüsü

**Şekil 3.6.**



YSL ile elde edilmiş ortofoto görüntüsü

İHA fotogrametrisi ile elde edilmiş ortofoto görüntüsü

Şekil 3.7

### 3.1. Yersel Lazer Tarama Yöntemi

Yersel Lazer Tarama cihazları 1960' lı yıllardan bu yana kullanılmaya başlanmış ve halen geliştirilmektedir 2000'li yılların başında ticari olarak kullanılmaya başlanan yersel lazer taryıcılar Farklı birçok disiplin tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Araştırmanın temelini oluşturan mimari belgeleme çalışmalarında Yersel Lazer Tarama cihazı dron ile birlikte kullanılmıştır

Yersel Lazer Tarama yöntemi, kısa sürede objelere ait 3D verilerin nokta bulutu halinde elde edilmesini sağlayan bir yöntemdir. Farklı yerlerden yapılan taramalar ile objeye lazer ışınları gönderilerek ışının objeden geri dönüş özellikleri değerlendirilerek verilerin elde edilmesi ve 3D modelinin oluşturulması şeklinde çalışmaktadır. Farklı istasyonlardan yapılan taramalarla elde edilen nokta bulutu verileri aynı koordinat sistemi üzerinde birleştirilir. Birleştirilen bu nokta bulutundan objenin geometrik modeli elde edilir. Oldukça kısa sürede çok sayıda noktanın ölçümünü gerçekleştirerek yüksek doğrulukta veriler elde etmeye imkan sağlamaktadır. Yeterli ışık altında lazer tarama cihazına entegre bir kamera sistemi varsa noktaların renk verilerini kaydederek renkli 3D görüntüler elde etmeye de imkan tanınmaktadır.



**Şekil 3.8.** Renklendirilmiş Nokta Bulutu

Etkin bir veri toplama yöntemi olan lazer tarayıcılar kullanıcılarına oldukça fazla avantajlar sağlamaktadır. Yersel lazer tarama yönteminin avantajları;

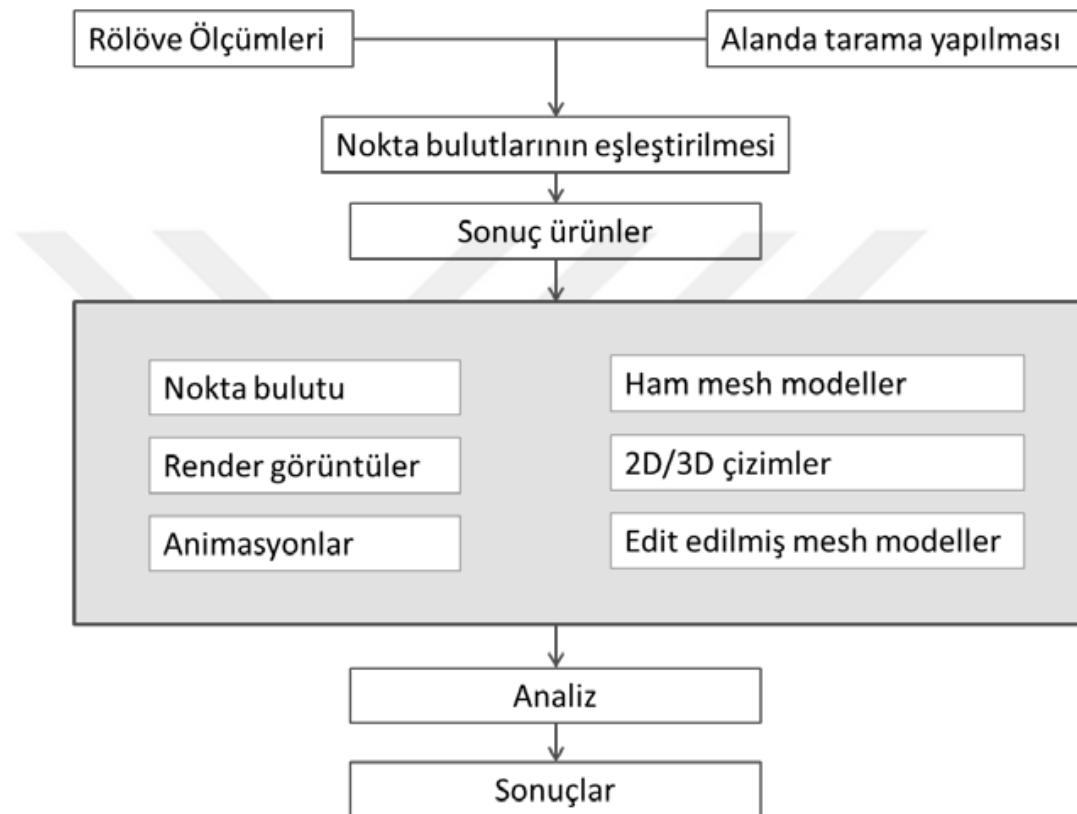
- Yüksek hızda veri toplama,
- ölçülecek objeye dokunmadan ölçebilme,
- Objenin yüzeyinde milyonlarca noktanın ölçülebilmesi,
- Strüktürel sorunları olan yapılarda güvenli veri elde etme,
- Yüksek soğrulukta veri toplama,
- Renkli ortofotolar üretebilebilmesi,

Olarak sıralanabilir (WAGGOT vd. 2005).

Yersel Lazer Tarama yöntemi ile kültürel mirasa yönelik verileri yüksek hızla ve doğrulukta toplamak mümkün olmaktadır. Ancak çalışmaya başlamadan önce kültür mirasının özellikleri analiz edilerek tüm yüzeylerin cihazın görüş açısında olacak şekilde tarama istasyonları belirlenmelidir. İstasyonların belirlenmesindeki bir diğer etken taranan yüzeylerin bindirmeli şekilde olmasıdır. Bindirmeli şekilde yapılan taramalar farklı koordinat sistemindeki istasyonlardan elde edilen nokta bulutu verilerinin hizalanmasını ve doğruluk hassasiyetinin artmasını sağlamaktadır. Yeterli bindirme oranı yakalanamayan iç ve dış mekan istasyonlarının birleştirilebilmesi için

hedef noktalar kullanılması gerekmektedir. Hizalanan nokta bulutu verilerinden yüzey modelleri, render görüntüler, hareketli animasyonlar hazırlanabilmektedir. Tüm bu avantajlarına rağmen erişilmesi zor ve tehlikeli noktalarda veri elde edilemediği durumlarda modelde tamamlanamayan noktalar oluşabilmektedir.

English Heritage, (2011) çalışmasında Lazer Tarama Yöntemi için aşağıdaki iş akış şemasını vermiştir.

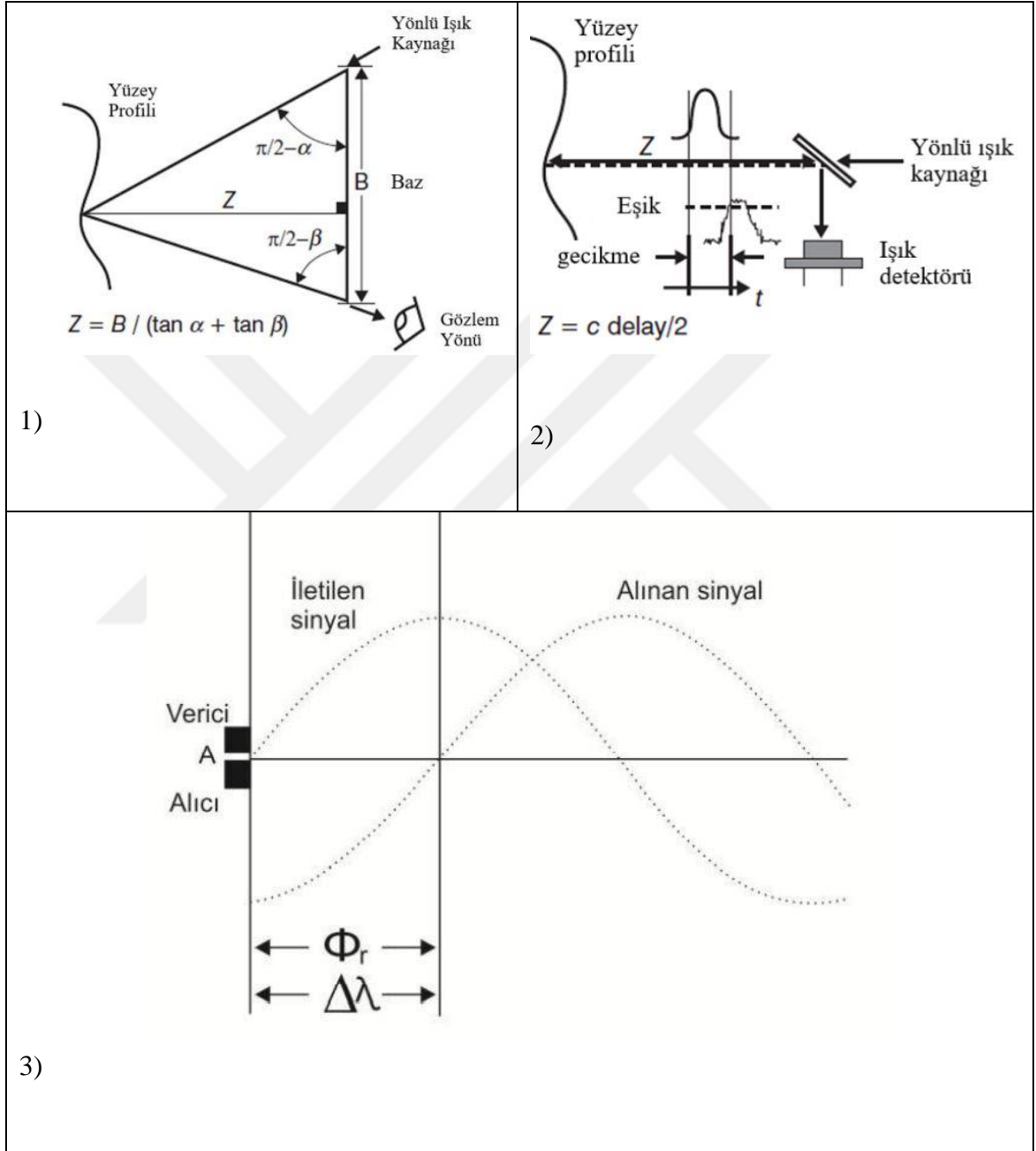


Şekil 3.9. Yersel Lazer Tarama Yöntemi Standart İş Akışı (English Heritage, 2011)

### 3.1.1. Lazer Tarama Cihazlarının Çalışma Prensipleri

Lazer tarama cihazları temelde üç yöntem ile çalışmaktadır. Bunlar uçuş zamanlı, üçgenleme ve faz karşılaştırma yöntemleridir. Uçuş zamanı yöntemi ile çalışan lazer tarayıcılar cihazdan gönderilen lazer ışının objeden yansıtılarak tekrar cihaza dönüş süresini ölçme prensibiyle çalışmaktadır. Üçgenleme yöntemi kullanan lazer tarayıcılarda kosinüs teoremi temel alınır. Cihazdan belli bir açı ile objeye gönderilen lazer ışınının tekrar cihaza dönmesiyle mesafe hesaplanır. Faz karşılaştırma yöntemi ise cihazdan çıkan ışın ve yansıyan ışının sinüs dalgasının faz farkının karşılaştırılmasıyla

veri elde edilmektedir. Diğer yöntemlerde hesaplama tek bir lazer ışını üzerinden yapılırken bu yöntemde objeye sürekli ışın yönlendirilmektedir.



1) Aktif üçgenleme yöntemi 2) Uçuş zamanlı yöntem 3) Faz karşılaştırma yöntemi  
(Vosselman ve Maas 2010).

Şekil 3.9.



### 3.1.2 Kullanım Alanları

Yersel lazer tarama cihazları mevcut durumun 3B olarak belgelenmesi gerek her durumda kullanılabilir. Aşağıda yersel lazer tarama cihazlarının kullanım alanları listelenmiştir.

- Madencilikte kazı dolgu miktarının hesaplanmasında,
- Endüstriyel yapıların belgelenmesinde,
- Arkeolojik alanların belgelenmesinde,
- Mimari yapıların mevcut durumunun belgelenmesinde,
- Ormancılık çalışmalarında,
- Topografik haritaların oluşturulmasında,
- Deformasyon ve hasar tespit çalışmalarında,
- Strüktürel izleme çalışmalarında,

Sıkça ve yüksek doğrulukta kullanılmaktadır.

### 3.1.3 Yersel Lazer Taramanın Limitleri

Yersel lazer tarama teknolojisi 3 boyutlu belgeleme çalışmalarında önemli avantajları olsa da belirli sınırlar çerçevesinde etkili olabilmektedir. yerden yapılan taramalarda yüksek yapıların üst kısımlarında veri kalitesinde düşüş ve deformasyonlar meydana gelmektedir. Böyle durumlarda cihazın yüzeye mümkün olduğunca dik ışın gönderebileceği şekilde iskele kurulması yada cihazın stabil konumlanacağı şekilde yüzey paralelinde yükseltilmesi gerekmektedir. Bu yöntemde lazer ışınlarının yüzeye doğrudan teması gerekmektedir. Eğerki cephe yüzeyinde yoğun bitkilenme var ve lazer ışınlarına engel oluyorsa bu noktalarda veri elde etmek mümkün değildir. Aynı şekilde yağışlı havalarda cihazın elektronik sisteminin zarar görebileceği ve yine lazer ışınlarını partiküllerin saptırması nedeniyle veri kalitesi ve doğruluğu etkilendiğinden bu hava şartlarında kullanılamamaktadır. Tarama sonrası renkli sonuçlar istenildiğinde entegre kamera sistemi devreye girmektedir. Bu durumda güneş taranacak yüzeyin arkasında olduğu saatlerde tarama yapılırsa sonuç üründe ışık patlamaları meydana gelmektedir.

### 3.2. Hava Fotogrametrisi

İnsansız hava araçları uçuş sırasında pilotun hava aracı içerisinde bulunmadan uzaktan kontrol edilebilen sistemler olarak tanımlanmaktadır. Hava aracı uçuşunu pilot tarafından anlık yönlendirmeler ile yada uçuş parametrelerinin önceden belirlenmesi ile otonom olarak da gerçekleştirebilir.

Teknoloji ilk etapta askeri amaçlarla gözetleme ve keşif görevlerini yerine getirmek için kullanılmış olsa da günümüzde sivil ve ticari birçok alanda kullanılmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte düşük maliyetli insansız hava araçları üretilmesi daha ulaşılabilir olmasını sağlamış ve kullanımı yaygınlaşmıştır. Dronlara sonradan entegre edilebilen dijital camera sistemleri yada cihaz üzerindeki bütünleşik kameralar ile havadan fotogrametrik verileri elde edilmektedir.

İnsansız hava araçları kullanım alanları tarım, çevre kontrolü, trafik denetleme, haritalama, arkeoloji ve mimarlık olarak özetlenebilir.

İnsanlı hava araçlarına göre daha maliyetsiz oluşunun yanı sıra erişilmesi zor, insan hayatını tehlikeye atan ve insanlı araçların uçuş yapamayacağı düşük irtifalı görevlerde kullanılabilmesi bir diğer avantajıdır. Koruma alanlarında ve kültürel miras belgelenmesinde hızlı ve yüksek doğrulukta veri toplama kullanılmaktadır.

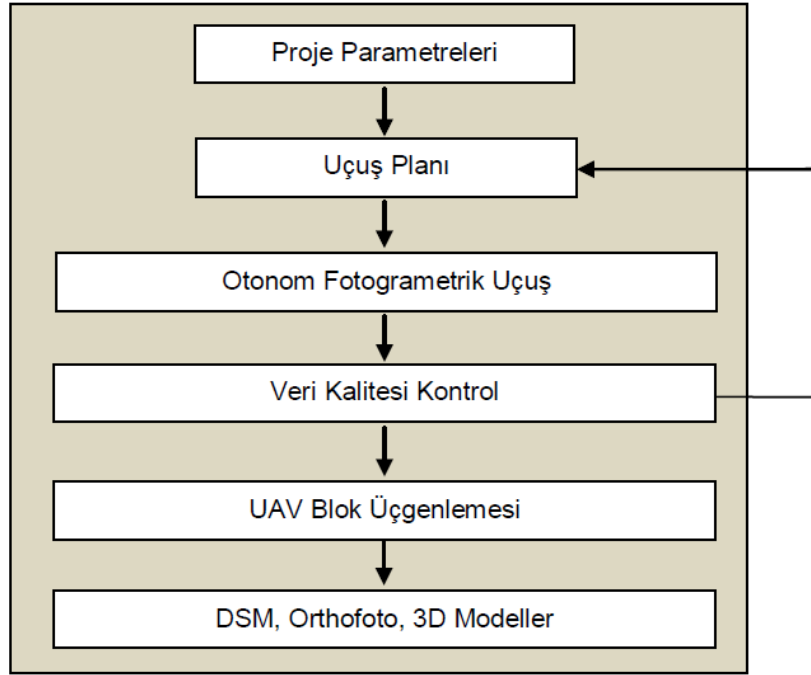
Dronlar taşıdıkları kamera sistemleri ile birlikte havadan elde edilen fotoğraflar ile çeşitli yazılımlar kullanılarak nokta bulutu üretilmektedir. Üretilen nokta bulutu verisi üzerinden yoğun nokta bulutu, yüzey modeli oluşturulabilir. Yüzey modeli üzerine fotoğrafların kaplanmasıyla renkli yüzey modeli üretilmektedir. Ayrıca elde edilen model üzerinden istenilen bakış yönüne göre ortofoto oluşturmak mümkündür. Bu 3B model çeşitli uzantılar ile yazılımdan dışa aktarılabilir ve farklı yazılımlarda çeşitli değerlendirmeler yapılabilir.

Drone ile hava fotogrametrisi iş akışını çevresel etmenler, kültürel mirasın mimari özellikleri, sonuç ürün olarak elde edilmek istenen veri kalitesi doğrudan etkilemektedir. Eisenbeiss (2009) çalışmasında aşağıdaki iş akış şemasına yer vermiştir. Hava fotogrametrisi iş akış şemasına göre proje parametrelerinin belirlenmesi ile başlayıp sonuç ürünler DYM (dijital yüzey modeli), ortofoto ve 3D model elde edilebilmektedir.

Klasik ölçüm metodlarından sayılan topografik ölçümler yüksek doğrulukta, hassas ölçümler yapılabilmektedir. Sınırlı sayıda belgelenen objenin referans noktalarının ölçülmesi ile elde edilen veriler CAD ortamında birleştirilmesi ile tel

çerçeve şeklinde gerek iki boyutlu gerekse de üç boyutlu sonuçlar elde edilebilmektedir. Fakat topografik ölçümler yoğun bir nokta bulutu oluşturmaz ve özellikle standart geometrilerin dışına çıkmış, amorf şekillerde ve özellikle arkeolojik alanlarda ve harabelerde topografya yetersiz kalmaktadır (Zischinsky,2000). Topografyadan daha detaylı sonuçlar elde edilebilen ve düşük maliyetli fotogrametri özellikle bina cephelerinde etkili sonuçlar vermektedir. Topoğrafya ve fotogrametrinin beraber kullanılmasına yönelik gerek iç mekanda gerekse de binanın tamamına yönelik farklı büyüklük ve ölçeklerde çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların yanında çeşitli büyüklükte objeler için çok detaylı ve hassas ölçümler yapabilen lazer tarama teknolojilerinin kullanımı günümüzde yaygınlaşmaktadır. Lazer tarama teknolojileri geleneksel yöntemlerle elde edilmesi oldukça güç ve zaman alan uygulamaları kısa sürede gerçekleştirebilmektedir (Mecca ve arkadaşları, 2013). Bu üç tekniğin beraber kullanılması elde edilen sonuçların hassasiyetini doğrudan etkilemekte ve belgeleme sürecine olumlu katkılar sağlamaktadır (Meyer ve ark,2006). Bu tekniklere ilaveten insansız hava araçları ile elde edilen fotoğraflar mimari belgelemede diğer tekniklerle beraber olumlu katkı sağlamakta verilerin yoğunluğunu ve doğruluğunu artırmaktadırlar.

Dron ile havadan edilen fotoğraflar fotogrametri yazılımları ile birleştirilerek nokta bulutları ve mozaik ortho resimler ve 3D modeller elde edilebilmektedir. Elde edilen sonuçlar amaç doğrultusunda kullanılabilen, internet ortamında paylaşılmaktan mimari rölöve projelerinin hazırlanmasına kadar geniş bir kullanım alanına hizmet edebilmektedirler.



**Şekil 3.10.** Hava Fotogrametrisi Yönteminde Standart İş Akışı (Eisenbeiss 2009)

**Proje parametreleri:** Belgenecek kültür mirasının özellikleri ve istenilen veri türüne göre hava aracının seçilmesi, uçuş izinlerinin alınması gibi hazırlık aşamalarını kapsamaktadır.

**Uçuş Planı:** Çalışma alanındaki çevresindeki yapı yükseklikleri, ağaçlar, elektrik hatları, belgenmek istenilen alanın büyüklüğü uçuşa başlamadan önce değerlendirilmesi gereken hususlardır.

**Otonom Fotogrametrik Uçuş:** Uçuşu gerçekleştirecek uzman tarafından kültür mirasının dokümantasyonu için uçuş rotasının, yüksekliğinin ve cihaza entegre kameranın açısının yazılım üzerinde ayarlanarak uçuşun gerçekleştirilmesidir.

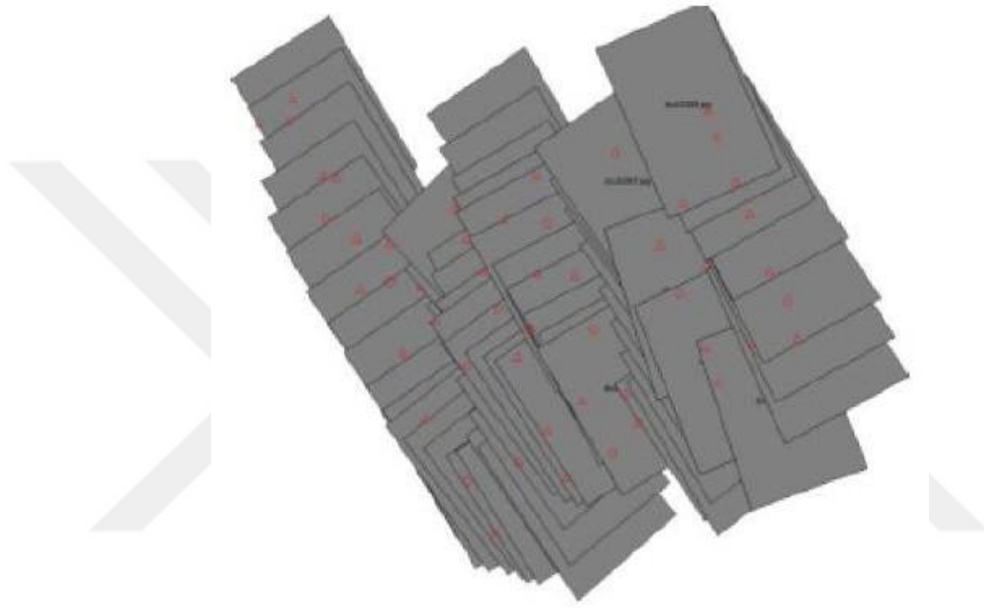


**Şekil 3.11.** Uçuş planı hazırlayan ve yöneten MikroKopter ve CineStar8 yazılımı (Casana et al. 2014).

**Veri Kalitesi Kontrol:** Gerçekleştirilen uçuşta elde edilen sonuçların planlanan ile uyumunun kontrol edilmesidir.

**Blok Üçgenleme:** Havadan çekilecek fotoğrafların otonom uçuş sırasında belirlenen oranlarda birbiri üzerine bindirilmesidir.

DYM, ortofoto, 3D model: Projenin amacına göre Hava fotogrametrisi farklı bilgiler içeren sonuç ürünler verebilmektedir. Dijital Yüzey Modeli, ortografik görüntüler ve texture kaplanmış 3D modeller elde edilebilmektedir.



Şekil 3.12. Blok Üçgenleme (Rinaudo et al. 2012).

### 3.2.1. Hava Fotogrametrisinin Avantaj ve Limitleri

#### 3.2.1.1 Hava Fotogrametrisinin Avantajları

İHA'lar esasında belirli görevler için tasarlanmıştır. Sistemin tasarımını doğrudan etkileyen gerekli nihai verilere karar verilmeli ve göreve bağlı olarak en uygun olanı seçilmelidir. İHA'ların insanlı uçak sistemlerine göre her zaman avantaj veya dezavantajları olduğu sonucuna varmak mümkün değildir.

İnsanlı uçak sistemlerine göre önemli avantajları vardır. Doğal afet bölgeleri, dağlık ve volkanik alanlar, taşkın ovaları, deprem bölgeleri, çöl alanları vb. insan hayatını tehlikeye atmadan yüksek riskli durumlarda uçabilirler. İnsanlı sistemlerin yapamadığı, cisme yakın alçak irtifada uçabilme yetenekleri, bu sistemlerin bir diğer

avantajıdır. Ayrıca erişimin zor olduğu, insanlı hava aracının bulunmadığı veya uçuş izninin verilmediği alanlarda da kullanılabilirler. Bulutlu ve çiseleyen hava koşulları engel değildir çünkü bulutların altında uçmak mümkündür ama insanlı uçaklarla veri almak mümkün değil. İHA'ların bir diğer avantajı hızlı veri toplamalarıdır (Eisenbeiß,2009). Daha küçük oldukları için daha çevreci çevrecidirler. Düşük ağırlıkları sayesinde daha az güce ihtiyaçları vardır. Dolayısıyla daha az emisyon ve gürültü ürettikleri söylenebilir (Austin, 2010). Hava mürettebatını riske atan nükleer veya kimyasal kontaminasyon için ortamın izlenmesi gibi hem askeri hem de sivil uygulamalar için kullanılabilirler. Bugün İHA'lar, toksik kimyasallarla tarımsal ilaçlama görevlerinde başarıyla kullanılmaktadır. Özellikle askeri görevlerde, boyutlarının daha küçük olması nedeniyle düşmanın tespit etmesi ve vurması daha zordur, insansız oldukları için hava mürettebatı saldırı tehdidi altında değildir (Austin, 2010).

Maliyet açısından pilotların ekonomik maliyetlerinin olmadığı bir sistemdir. Maliyetle ilgili bir diğer konu ise piyasadaki İHA'ların daha çok düşük maliyetli sistemlere odaklanmasıdır. İnsanlı uçak sistemleri ile kıyaslandığında daha ucuzdurlar ancak uygulamaya bağlı olarak maliyetler artabilir.

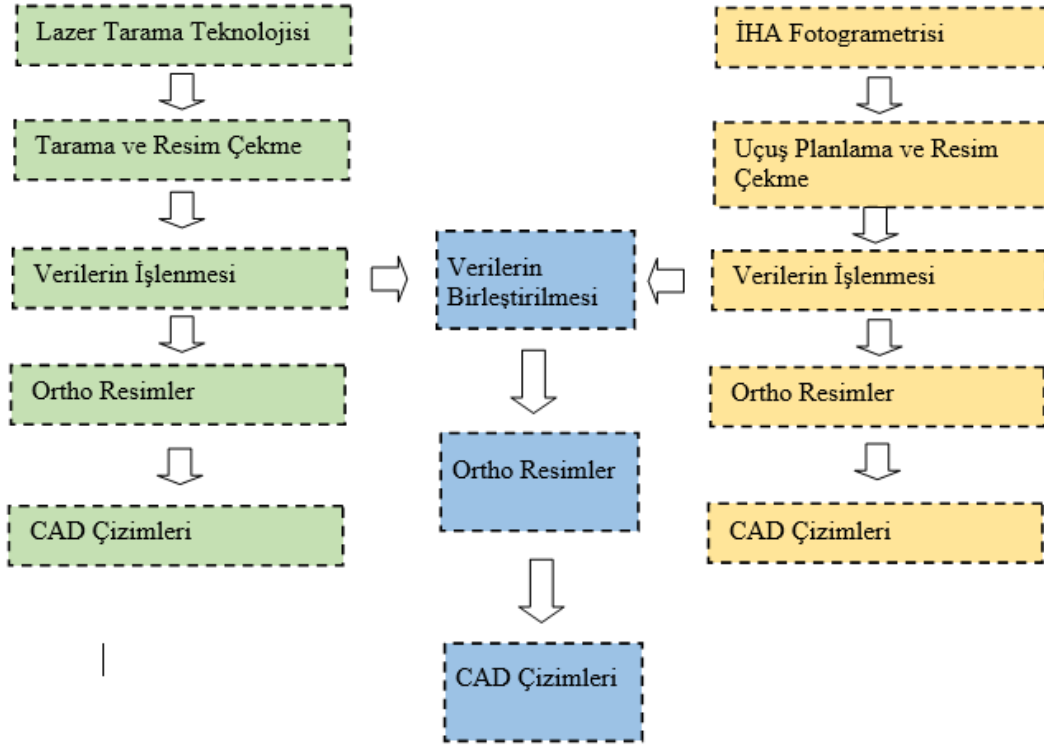
### **3.2.1.2. Hava Fotogrametrisinin Limitleri**

İnsansız hava araçları boyutlarına bağlı olarak, taşıma kapasitelerinde sınırlamalar vardır. Düşük ağırlıklı sensörler, çoğunlukla küçük veya orta büyüklükte kameralar taşıyabilirler. Ayrıca düşük maliyetli kameralar daha az kararlıdır ve bu da görüntü kalitesini düşürür. Yük sınırlamaları düşük ağırlıklı navigasyon ünitelerini gerektirir. Düşük maliyetli insansız hava araçları genellikle daha az güçlü motorla donatılırlar bu nedenle irtifa sınırlamaları vardır.

İHA'ların insan için bazı avantajları olsa da, insanın algılama ve zekasından yararlanamamaktadır. Beklenmedik durumlarda insan gibi tepki veremezler. Ek olarak, düşük maliyetli İHA'ların tam otomatik çalışan döner kanatlı İHA'lar gibi etkileyici uçuş yeteneklerinden tam olarak yararlanmak için güvenlik sorunları nedeniyle iyi eğitilmiş bir pilotun yönetimine ihtiyaç vardır. Pilot, istediği zaman sistemle etkileşime geçebilmeli ve manevra yapabilmelidir. Ayrıca, bölgenin yerel durumuna bağlı olarak, GCS ve UAV arasındaki iletişim için radyo frekansı dikkatli seçilmelidir, çünkü bazen radyo frekansları başka sistemler tarafından da kullanılabilir ve bu da sinyal sıkışmasına neden olabilir (Eisenbeiß, 2009).

### 3.3. Hava Fotogrametrisi ve Yersel Lazer Tarama Verilerinin Kombinasyonun Kültürel Miras Belgelemesinde Kullanımı

Yersel Lazer Tarama verileri ile model üzerinde tamamlanamayan noktalar Hava Fotogrametrisi ile toparlanan veriler ile tamamlanabilmektedir. tarama ve fotoğraf çekimi yapılmadan önce yere sabitlenen yer kontrol noktalarının GNSS ile koordinatları ölçülür. Önce planlanan istasyonlar üzerinde lazer tarama cihazı ile taramalar gerçekleştirilir. Sonrasında dron ile hava fotogrametrisi iş akışı şemasına göre otonom uçuş gerçekleştirilerek hava verileri elde edilir. İki farklı yöntemde de ortak olarak bulunan yer kontrol noktaları referans alınarak hava fotoğraflarından üretilen nokta bulutu ve yersel lazer taramada ile elde edilmiş nokta bulutu verisi ortak koordinat sistemi üzerinde hizalanır. Hizalanmış verileri ileriki aşamalarda çeşitli yazılımlar kullanılarak değerlendirilebilecektir.

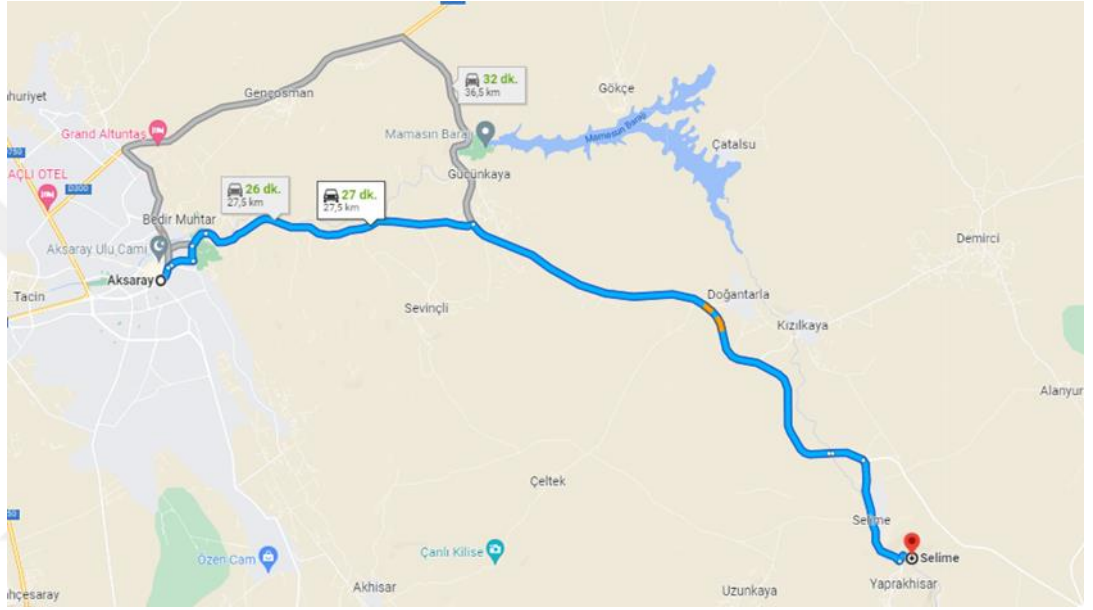


Şekil 3.13. Hava Fotogrametrisi ve Yersel Lazer Tarama Verilerinin Kombinasyonun Şematik İfadesi

## 4. ALAN ÇALIŞMASI

### 4.1. Çalışma Alanı Genel Tanıtımı

Bu tez çalışmasında alan çalışması olarak dron ve yersel lazer tarama teknolojilerinin mimari belgeleme çalışmalarında birlikte kullanımına yönelik değerlendirmeler Aksaray İli Selime Kasabası'nda yer alan Selime Sultan Türbesi'nin belgeleme süreciyle birlikte ele alınmıştır.



Şekil 4.1.Selime Kasabasının Konumu

Selime Kasabası Aksaray ilinin güney doğusunda yer almakta olup Güzelyurt ilçesine bağlıdır. Aksaray il merkezine 25 km, Güzelyurt ilçesine ise 13 km uzaklıktadır. Ihlara ve vadisinin sonlandığı noktada yer alan Selime birçok Kültür mirası ve doğal güzelliğe ev sahipliği yapmaktadır. Kasaba Konya Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu'nun 10.10.1991-1150 tarih ve sayılı kararıyla Kentsel ve III. Derece Arkeolojik sit alanı olarak koruma altına alınmıştır.

#### 4.1.1. Selime Sultan Türbesi Tarihi ve Mimari Özellikleri

Aksaray ili Güzelyurt İlçesine bağlı Selime Kasabasında bulunan yapı çeşitli yayınlarda Ali Paşa Türbesi, Selime Hatun Türbesi ve Selime Sultan Türbesi olarak geçmektedir. Türbe, sekizgen kaide üzerinde, içten kubbe dıştan piramidal külâhla örtülü iki katlı, taş ve tuğlanın birlikte kullanıldığı bir mezar yapısıdır. Türbenin girişi



kuzey cephesinde yüksek sivri kemerli bir niş içerisindedir. Giriş cephesi tuğlanın istif özelliğinden faydalanılarak oluşturulmuş geometrik bezemeler ile diğer cephelerden farklılaştırılmıştır. Giriş cephesi dışındaki tüm cephelerde sivri kemerler ile oluşturulmuş nişlerin içi düzgün kesme taş kaplamadır. Alt kattaki defin odasının girişi doğu cephesinde kaide üzerinde yer alan boşluktan sağlanmaktadır. Türbenin tarihlendirilmesine ilişkin herhangi bir kitabesi bulunmamaktadır. Benzer karakterde örnekler ve bu konuda yapılmış çalışmalardan türbenin 13. yüzyılın ilk çeyreğine ait bir Selçuklu eseri olduğu kabul edilmektedir.



**Şekil 4.2.** Türbenin harabe durumdaki fotoğrafı (Konya Vakıflar Bölge Müd. Arşivi)

## 4.2. Çalışmanın Kapsamı

Örnek Alan çalışmasına konu olan yapı Selime tarihi yerleşkesinde yer alan yapıyı 13. yy olarak tarihlendirilen Selime Sultan Türbesi ve türbenin yakın çevresidir.



Şekil4.3 Türbenin Giriş Cephesi

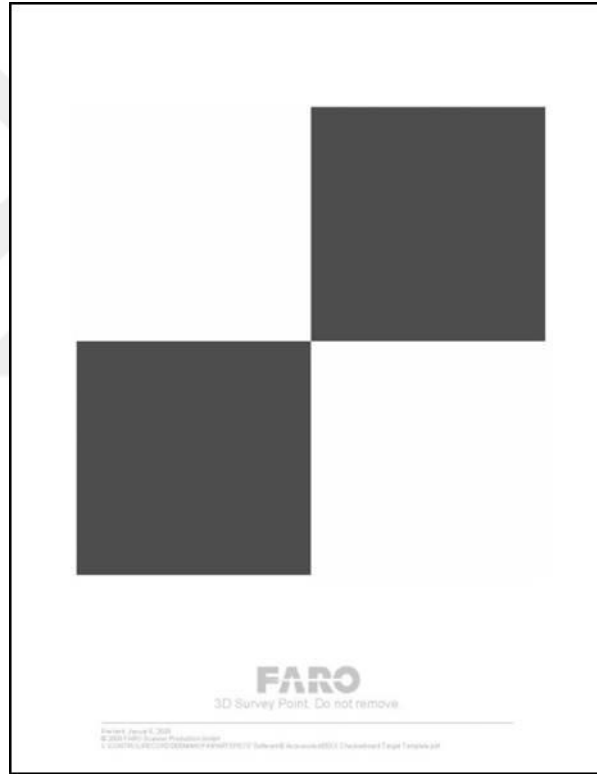
## 4.3. Arazi Çalışmaları

Alan çalışması arazi ve ofis çalışmaları olarak iki kısımdan oluşacaktır. Mimari belgeleme çalışması yapılacak olan Selime Sultan Türbesi'nin fiziksel koşulları gereği klasik belgeleme tekniklerinden ve sadece tek bir teknik kullanımından farklı olarak farklı iki teknik kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında yersel lazer tarama teknolojisi ile hava fotogrametrisi teknikleri beraber kullanılmıştır. Bu örnekte mimari belgelemede lazer tarama teknolojisinin sağladığı imkanların farkında olarak, bu teknolojinin de çalışılan objenin niteliklerine göre yeterli olmadığı, farklı teknikler ile beraber kullanılması ile sonuçlar olumlu yönde etkilendiği yapılan literatür araştırması sırasında kavranmıştır. Bu örnek belirlenirken özellikle doğrudan ulaşılması zor yükseklikte, ölçülmesi zor geometrik biçimlerin olduğu, sadece tek bir tekniğin belgeleme çalışması için yeterli olmadığı örnek seçilmesine özen gösterilmiştir.

Çalışmada Yersel lazer tarama tekniği ve hava fotogrametrisi beraber olarak kullanılmıştır.

#### 4.3.1. Kontrol Noktalarının Yerleştirilmesi

Yersel Lazer Tarama ve Drone ile uçuş gerçekleştirmeden önde her iki yöntemden üretilecek verilerin hizalanması için kontrol noktaları vazgeçilmezdir. 10x10 cm ebatlarından siyah ve beyaz 4 pixelden oluşan kontrol noktaları numaralandırılarak 6 adet yer ve 42 adet diğer yüzeyler olmak üzere toplamda 48 adet hedef yerleştirilmiştir.



Şekil 4.4. Hedef Nokta Görseli

#### 4.3.2. Yersel Lazer Tarama Cihazı İle Veri Toplama

Bu alan çalışmasında öncelikle yersel lazer tarama uygulaması gerçekleştirilmiştir. Yersel lazer tarama uygulaması günümüzde mimari belgelemede kullanımı gün geçtikçe yaygınlaştığı bilirse de henüz etkili bir şekilde kullanılmadığı mesleki uygulamalar gözlemlendiğinde anlaşılabilir. Bu çalışma kapsamında

gerçekleştirilen uygulamada yersel lazer tarama uygulaması standart iş akışına göre uygulanmıştır. Bu kapsamda, arazide ön tespitler ve tarama istasyonlarının belirlenmesi, yapılacak çalışmanın kapsamı ve içeriğine yönelik değerlendirmeler yapılmıştır. Bu yapılan değerlendirme ve stratejiler doğrultusunda lazer tarama uygulamasına başlanmıştır. Yapının iç mekanlarından ve çevresinden yaklaşık xx istasyondan ölçümler yapılmıştır. Ölçümler sırasında FARO S120 marka ve model tarayıcı kullanılmıştır. Bu veriler FARO Scene 5.0 programında birleştirip temizlendikten sonra nokta bulutu verileri elde edilmiştir.

Yersel lazer tarama tekniği ile ilgili karşılaşılan en önemli sorun kullanılan cihazın etkili kullanım alanı içerisinde tüm yüzeylerin cihaz tarafından algılanabilmesi gerekliliğidir. Özellikle yüksek ve parçalı kütlelerde ve ulaşılması güç yapılarda ölçülemeyen yüzeylerin olması muhtemeldir. Bu alan çalışmasında yüzeyler maksimum yüzeyde taranmıştır. Ancak külah yüzeyleri uygun açı ile taranmadığından eksik veriler oluşmuştur.



**Şekil 4.5.** Türbenin Cephe Taramasının Yapılması



Şekil 4.6. Türbenin İç Mekan Taramaları

### 4.3.3. Dron İle Hava Fotogrametrisi

Yersel lazer tarama teknolojisi ile türbenin külah kısmından sağlıklı veri elde edilemediğinden ilave olarak hava fotogrametrisinin sağladığı imkanlara gereksinim duyulmuştur. Günümüzde yazılım teknolojilerinin gelişmesi fotogrametrik belgeleme çalışmalarında kolaylıklar sağlamakta, tam otomatik iş akışı sağlayan yazılımlar sayesinde fotoğraf tabanlı hassas veriler elde edilebilmektedir. Son yıllarda özellikle yazılımlardaki gelişmeler neticesinde kullanıcı dostu yazılımlar giderek mimarlık hizmet alanında yer almakta ve yaygınlaşmaktadır. Fotogrametrik teknolojilerin mimarlık alanında kullanımındaki en önemli güçlük, teknolojinin henüz sadece cephe ölçeğinde çalışıyor olmasındandır. Yazılımlarının pahalılığı, yetişmiş ve bu konuda uzmanlaşmış personel yetersizliği bir diğer dezavantajlarıdır.

Kültürel miras belgeleme çalışmalarında hazırlanacak 3B modeller detaylı bir alan çalışması gerektirmektedirler. Bunun için çoğu zaman birden fazla tekniğin kullanılması gerekmektedir. Topografik ölçümler, lazer tarama ölçümleri ve fotogrametrik tekniklerin beraber kullanıldığı durumlarda ancak yüksek doğrulukta bir 3B model çalışması gerçekleştirilebilmektedir. Fakat bu tekniklerin kullanılabilmesi için kültürel mirasın ayakta olması ve çeşitli nedenlerle kaybedilmemiş olması

gerekmektedir. Kaybedilen kültür mirasının eldeki dijital ve analog fotoğraflar ile yeniden yapımına veya modellemesine yönelik çalışmalar olsa da yeterli verilerin olmadığı durumlarda 3B model elde etme sürecinde önemli sorunlar yaşanmaktadır

Veri elde edilmesi sırasında öncelikli olarak yeterli gün ışığının olması, ortamda toz ve yüksek nem olmaması, ters ışıktan kaynaklanan aşırı parlak fotoğrafların veya aşırı karanlık fotoğrafların olmamasına özen gösterilmelidir. Eğer özellikle fotoğraflar arasında keskin bir renk veya pozlanma süresi farkı var ise ilave yazılımlar kullanılarak fotoğrafların pozlama süreleri yaklaşık birbirlerine yakın hale getirilerek hava fotoğraflarını işleyen yazılımlar kullanılabilir.

Alan çalışması genel olarak sadece dron ile fotoğraf temini olmayıp sonuç ürünlerin nitelikli bir rölöve proje hazırlanması için gerçek ölçülerinde ve uygun koordinat sisteminde olacak şekilde uçuşların belirlenmesi gerekmektedir. Benzer şekilde hava fotogrametrisi ile elde edilemeyecek yapı detaylarının ölçülmesinde yine tamamlayıcı bir teknik olan yersel lazer tarama tekniği kullanılabilir. Bu çalışma kapsamında gerek lazer tarama verilerini gerekse de hava fotoğraflarını gerçek koordinat sisteminde elde etmek için ve ortografik görüntülerin gerçek ölçülerinde olabilmesi için çalışma alanına homojen bir şekilde dağıtılmış 6 adet yer kontrol noktası belirlenmiş ve uçuş öncesinde bu noktaların koordinatları topografya ile ölçülmüştür.

Arazi ölçümlerinde yer kontrol noktalarının sabitlenmesi sonrasında ise dron uçuşa hazır hale getirilmiştir. Bu çalışma kapsamında Mavic Pro II hava aracı ve bu aracın 20 milyon etkin pikseli 5472x3648 ebatlarında fotoğraf çekebilen bütünleşik kamerası kullanılmıştır.

Türbe ölçülmesi sırasında türbenin çevresinin açık olması, büyüklüğü ve geometrisi sebebiyle farklı yüksekliklerden uçuşlar gerçekleştirilebilmiştir. Her bir uçuşta türbe merkezli fotoğraflar çekilmiştir. Bu uçuş planlamalarının tamamı DJI Phantom Pro 2 ile bütünleşik olan Pix4d uygulaması ve dijital haritası kullanılmıştır.

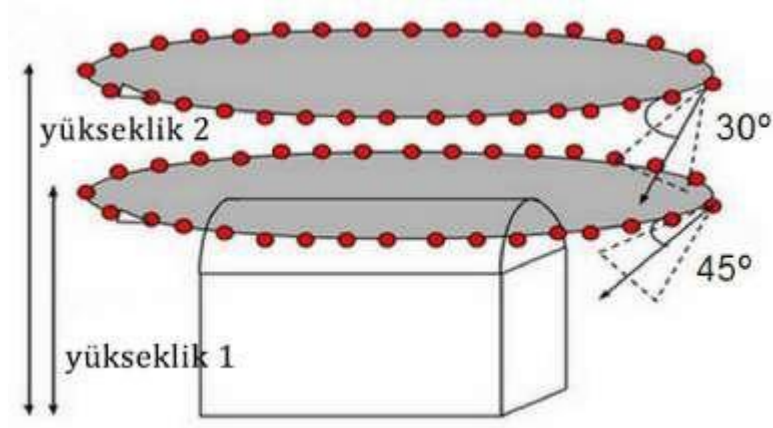
Yapılan ayarlarda mümkün olduğu kadar türbeye yakın uçulması, türbenin yanal yüzeylerinin de açık bir şekilde dron tarafından fotoğraflanabilmesi için yapı etrafında 3 farklı dairesel uçuş planlanmıştır. I. uçuş planında uçuş çapı 55m ve yüksekliği de 20m olacak şekilde yanal yüzeylerin dik fotoğraflanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda ilk uçuşta 36 adet fotoğraf elde edilmiştir. 20m altındaki uçuşlar çevredeki ağaçlar başta olmak üzere engel oluşturmuştur. II. uçuş ise çapı yaklaşık 43 m olacak şekilde, 36m yükseklikten uçulmuş ve 36 adet resim elde edilmiştir. Bu uçuşta türbenin daha çok külah bölümünden önceki beden duvarlarının üst kısımlarının fotoğraflanması

amaçlanmıştır. III. uçuş ise eğimli yükselen külah yüzeylerine dik fotoğraflar çekebilmek için 20m çapında ve 35m yükseklikten 18 adet fotoğraf çekilerek yapılmıştır. Toplamda türbenin modellenmesinde 90 adet fotoğraf kullanılmıştır.

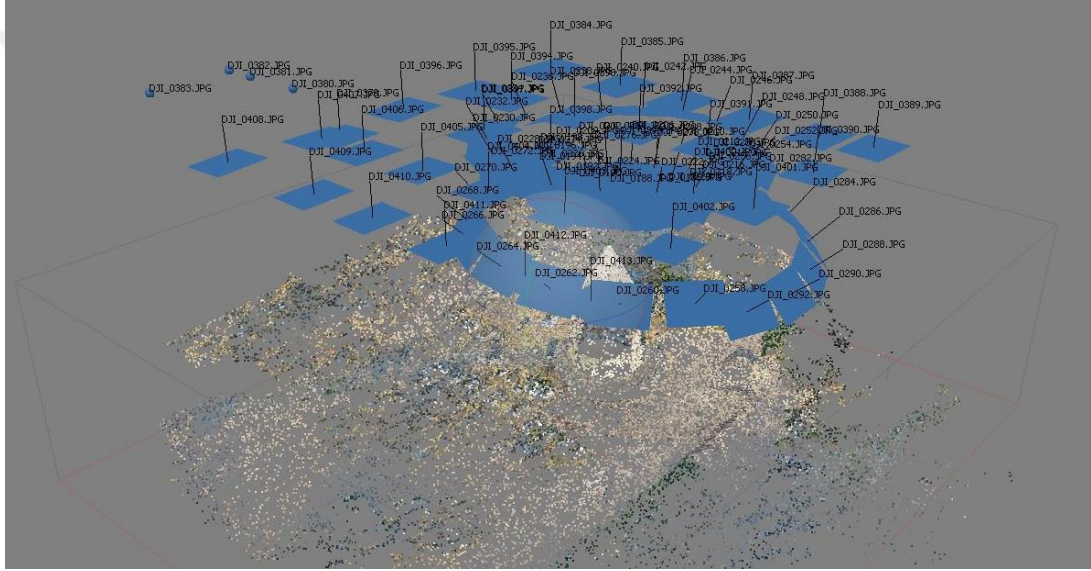


**Şekil 4.7.** Dron İle Uçuşun Gerçekleştirilmesi

Uçuş planlaması sırasında dikey duvarlar ve türbenin eğimli külahının nitelikli bir şekilde algılanması, yer kontrol noktalarının algılanması, farklı yüksekliklerden uçarken de fotoğraflar arasında belirgin bir çözünürlük farkı olmaması için, obje ile dron arasındaki mesafenin kontrollü değiştirilmesine ve dron batarya süresi ile uçuş planlamasının gerçekleştirilmesine dikkat edilmiştir. Dairesel uçuş tekniğinde uçuş planlamasında kullanılan Pix4d yazılımı, farklı yükseklikteki uçuşlardan elde edilecek fotoğraflarda yükseklik farkının birinin diğerinin iki katı olmamasını önermektedir. Bu öneri, fotoğraflar arasındaki yükseklik farkı artınca mesafeye bağlı olarak objeye ait düşük çözünürlüklü verilerin elde edilmesinden dolayıdır.



Şekil 4.8..Uçuş yüksekliklerine göre fotoğraf açıları



Şekil 4.9. Türbe Örneğinde Kamera Konumları

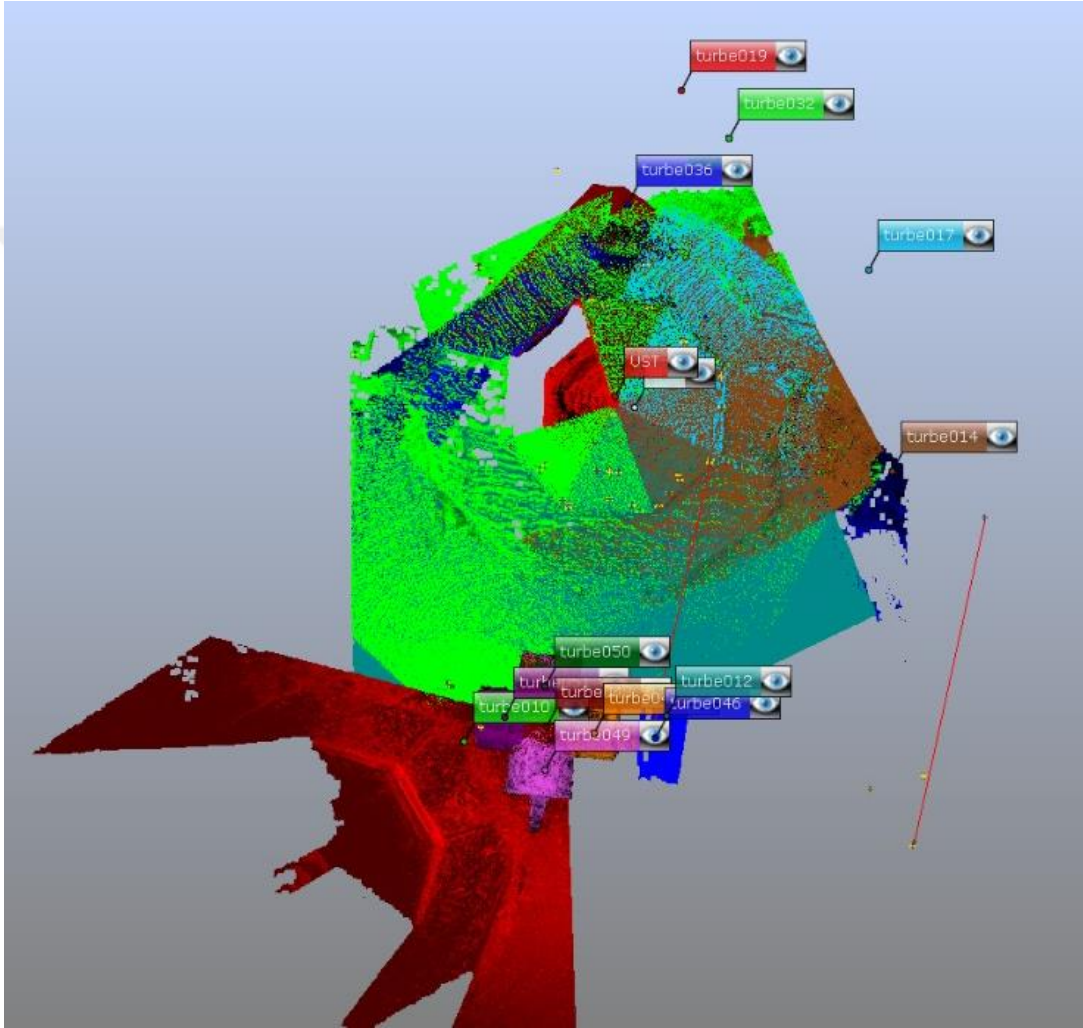
#### 4.4. Ofis Çalışmaları

##### 4.4.1. Yersel Lazer Tarama Verilerinden 3D Model Üretilmesi

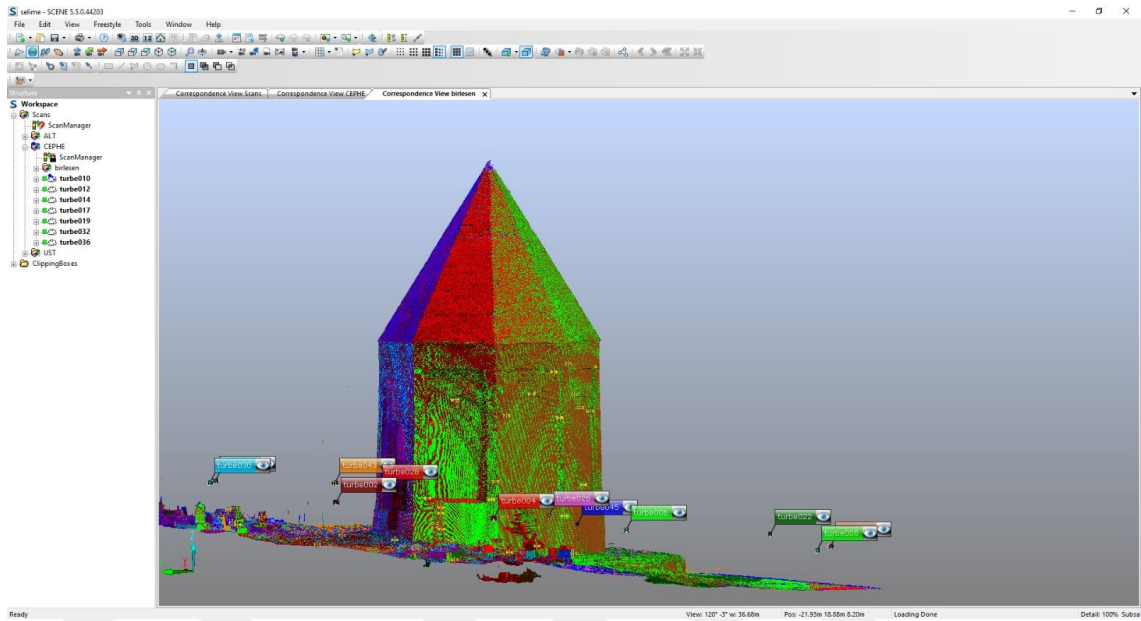
Lazer tarama ölçümlerinin yapılmasından sonra veriler bilgisayar ortamına aktarılmış ve 12 adet istasyondan toparlanmış veriler tek bir koordinat sistemine getirilerek hizalanmışlardır. Hizalandıktan sonra nokta bulutu modelin temizleme ve nokta bulutunun homojen hale getirilmesi çalışmaları yapılmıştır. Çalışma kapsamının dışında oluşan noktalar sonuç ürünlerinin kalitesini etkilediğinde bu işlem gereklidir.



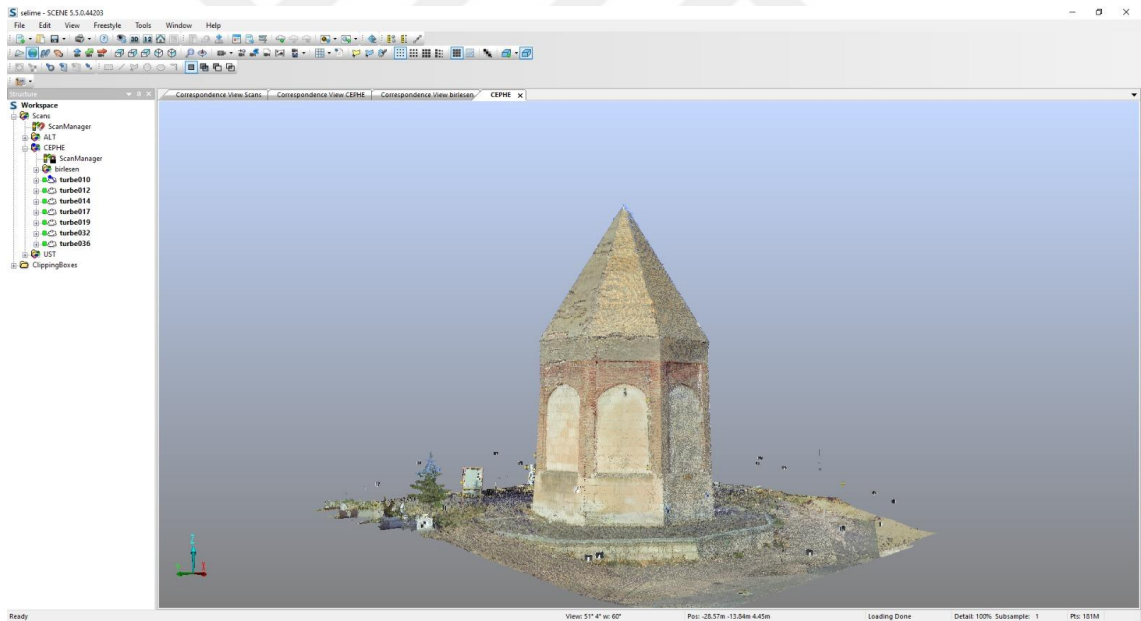
Bilgisayar ortamında elde edilen veriler incelendiğinde türbe yapısının külâh verilerinde eksikliklerin olduğu gözlemlenmiştir. Yüksek ve yersel lazer tarama cihazının doğrudan görüş alanının girmeyen noktaların olduğu bu ve benzeri durumlarda ilave bir teknik kullanılması gereklidir. Nokta bulutu olarak tamamlanmamış veriler hem yüzey modelleri ve ortografik görünüşler oluştururken yapı ile ilgili eksik bilgiler barındırır.



**Şekil 4.10.** Tarama verilerinin SCENE 5.0 yazılımına transferinden sonra dağılık nokta bulutu



Şekil 4.11. Tarama verilerinin SCENE 5.0 yazılımında hizalanmış tarama verileri

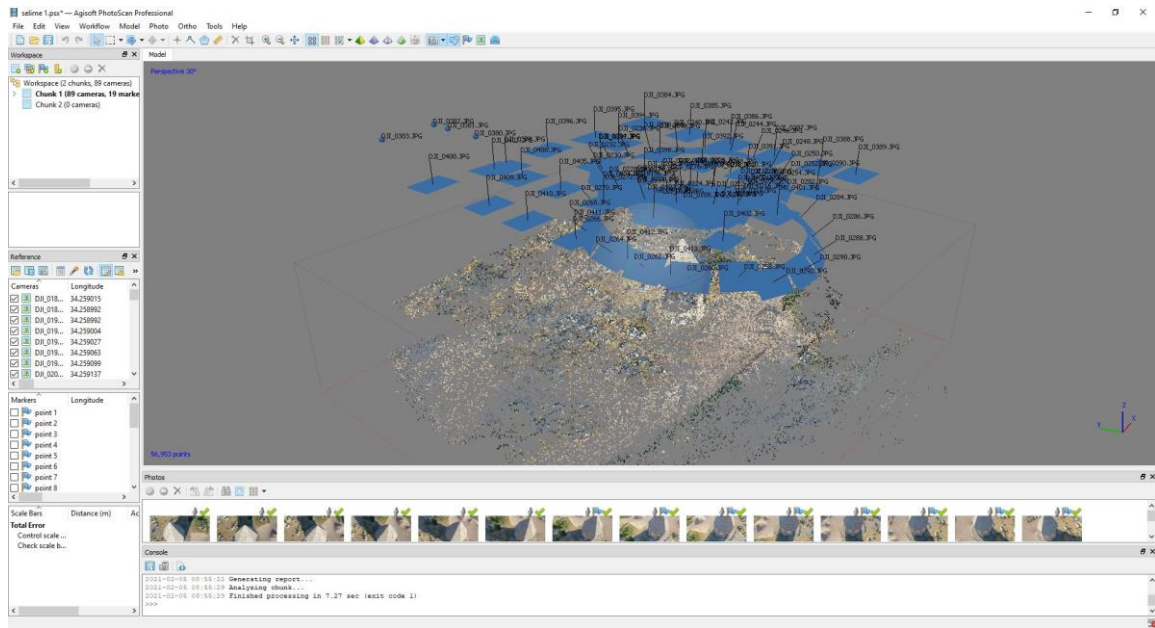


Şekil 4.12. SCENE 5.0 yazılımında renklendirilmiş nokta bulutu

### 4.3.2 Dron Verilerinden 3D Model Üretilmesi

Fotoğraf işleme aşamasında birbiri üzerine bindirilerek çekilmiş 2 boyutlu fotoğraflardan 3B objenin biçimini tayin eden ve bu fotoğraflardan nokta bulutu üreten bir algoritma ile yapılmaktadır . Resim işleme aşamasında Agisoft PhotoScan yazılımı

kullanılmıştır. Dron tekniği ile elde edilen fotoğrafları aynı zamanda Acute3D ve Pix4D yazılımları işleyebilmekte, yüksek hassasiyet ve kalitede sonuçlar elde edilebilmektedir. Arch3D veya 123DCath yazılımları ise sunuculara uygun teknikte çekilmiş resimler yüklendikten sonra, sunucu üzerinden çalışarak model elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Türbe uygulamasında ise dron ile elde edilen 90 adet fotoğraf PhotoScan yazılımına eklenerek hizalamaları yapılmıştır.

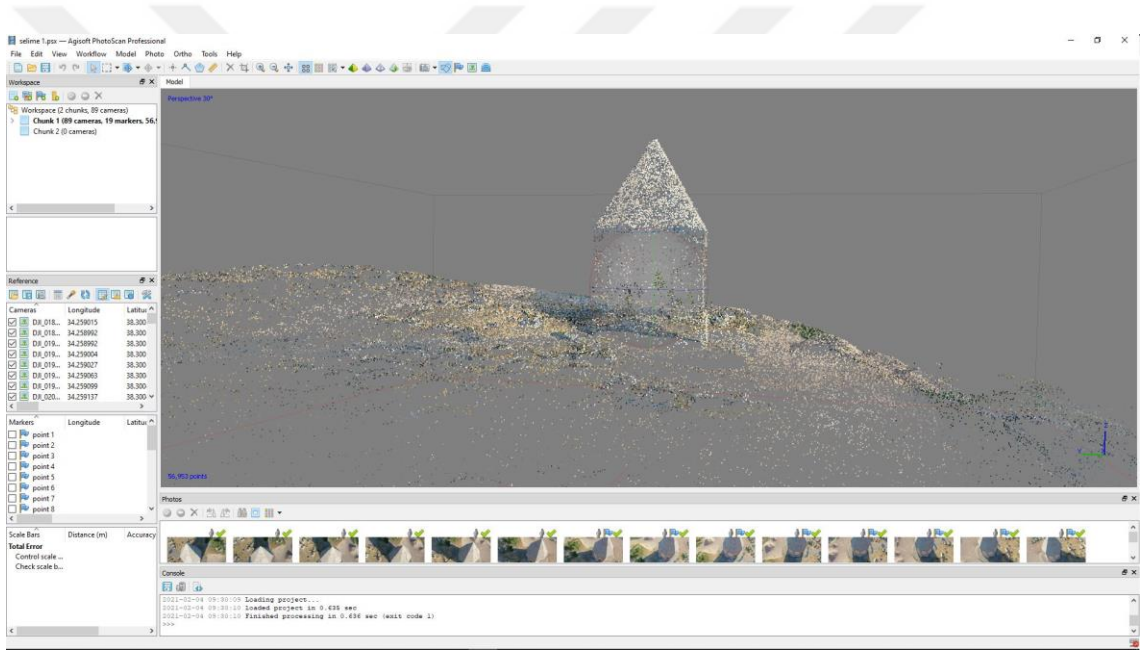


**Şekil 4.13.** PhotoScan yazılımında hizalanan fotoğraflar ve seyrek nokta bulutu

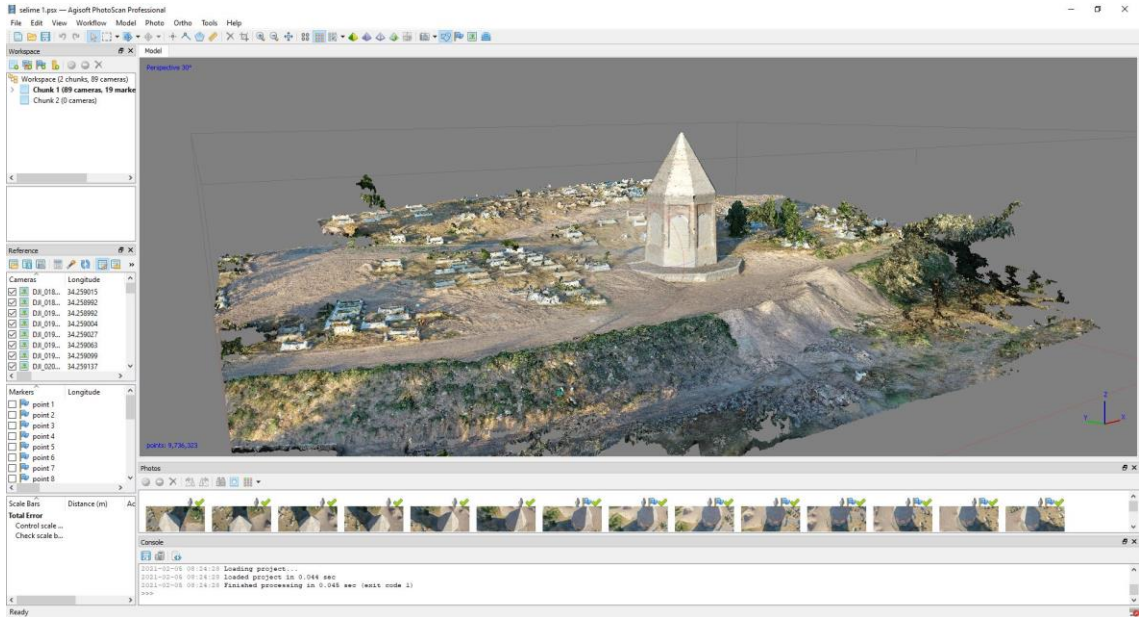
Otomatik bir iş akışı sunan yazılım sırası ile fotoğraf hizalama, nokta bulutu üretme, mesh model oluşturma, oluşturulan modelin fotoğraflar ile kaplanması ve son aşamada ise düzlem fotoğraf (ortofoto) elde etme aşamalarını kapsamaktadır.

Yoğun nokta bulutu (dense point cloud) üretme işlemi resimlerin 3D bileştirilmesi sonucunda yersel lazer tarama verisine benzer bir veri oluşturmaktadır. Türbe uygulaması sırasında hizalanan resimlerden 9,736,323 adet noktadan oluşan bir nokta bulutu elde edilmiştir. Sonrasında bu nokta bulutu E75 veya PTX gibi uzantılar ile lazer tarama verilerini işleyen platformlara transfer edilmiş ve lazer verileri ile birleştirilmiştir. 3D model elde edilmesindeki en önemli adımlardan birisi nokta bulutunun yüzey modele (mesh model) dönüştürülmesidir. Bu model nokta bulutunun üçgen yüzeyler oluşturacak şekilde model oluşturulması işlemidir. Bu işlem sonrasında

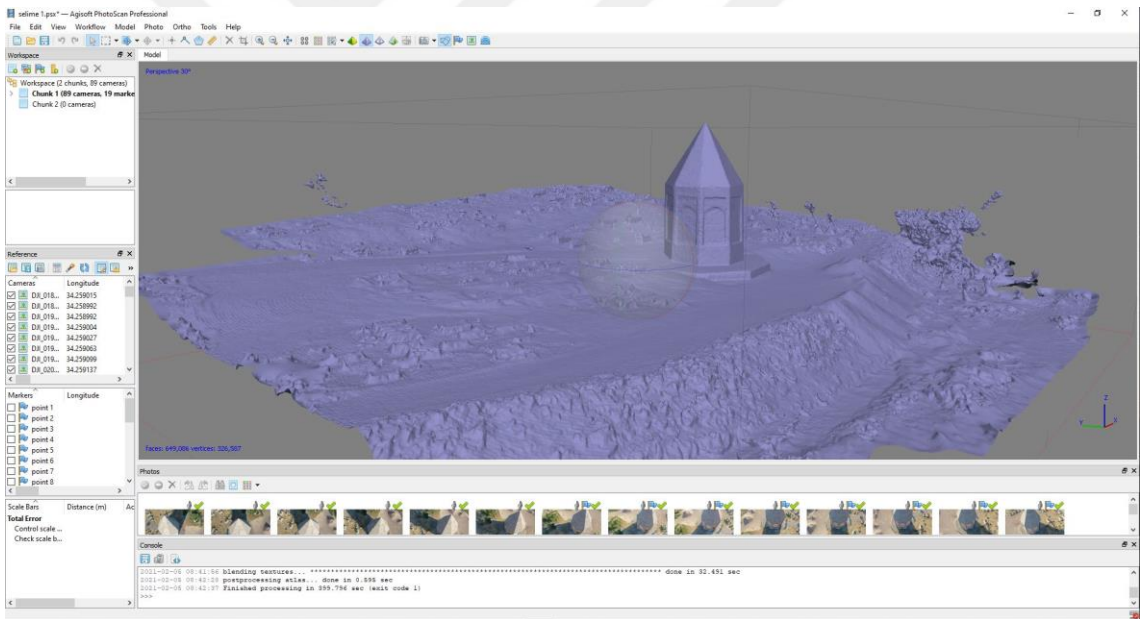
649,086 adet üçgen yüzeylerden oluşan bir yüzey modeli elde edilmiştir. Bu işlem sonrasında deforme olmuş yüzeyler, tamamlanmamış yüzeyler onarılabilmekte, boşluklar doldurulabilmektedir. Yüzey modellerinin yüzey sayısı arttığı oranda veri işleme süresi uzamakta, yüksek işlemci kapasitesine sahip (CPU) bilgisayarlara gereksinim duyulmaktadır. Bu sebeple amaca yönelik olarak buradaki yüzey modelin daha sadeleştirilmesi ve yüzey sayısının azaltılması yapılabilmektedir. Bu uygulama için ticari yazılımlar olabileceği gibi açık kaynak yazılımlar da verimli bir şekilde kullanılabilir. Yüzey modelin hizalanmış resimlerle kaplanması sonucu 3D doku ile kaplanmış model elde edilmektedir. Türbe uygulamasında hizalanan resimler elde edilen yüzey modele 4,096 x 4,096 piksel ebatlarında kaplanacak şekilde uygulanmıştır.



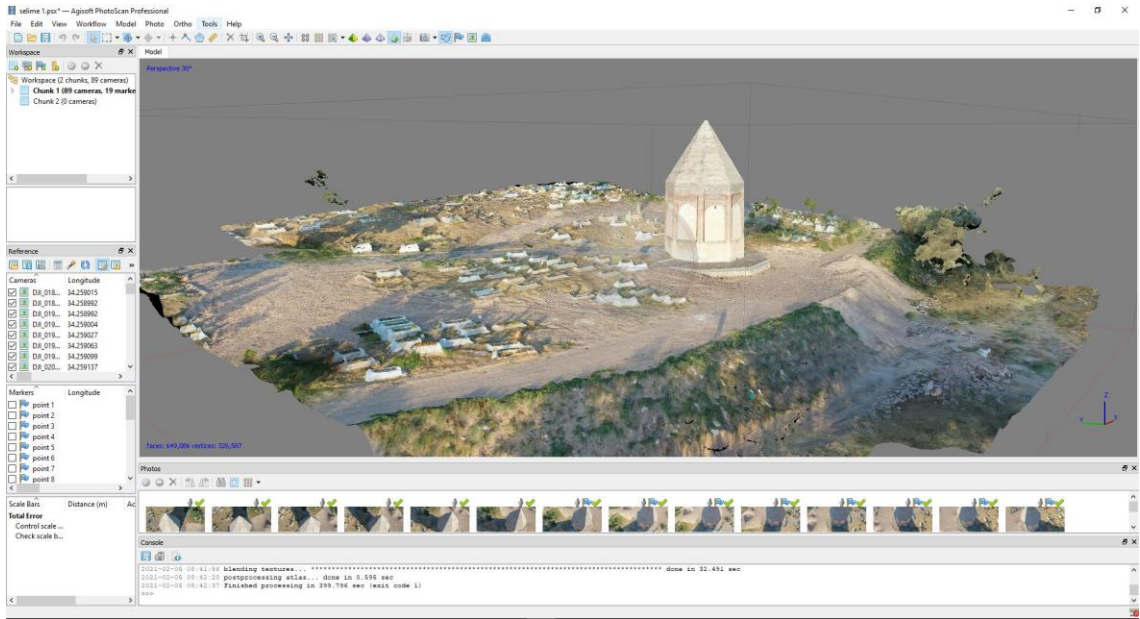
Şekil 4.14. PhotoScan yazılımında seyrek nokta bulutu



Şekil 4.15. PhotoScan yazılımında üretilen yoğun nokta bulutu



Şekil 4.16. PhotoScan yazılımında üretilen DYM



Şekil 4.17. PhotoScan yazılımında texture kaplanmış DYM

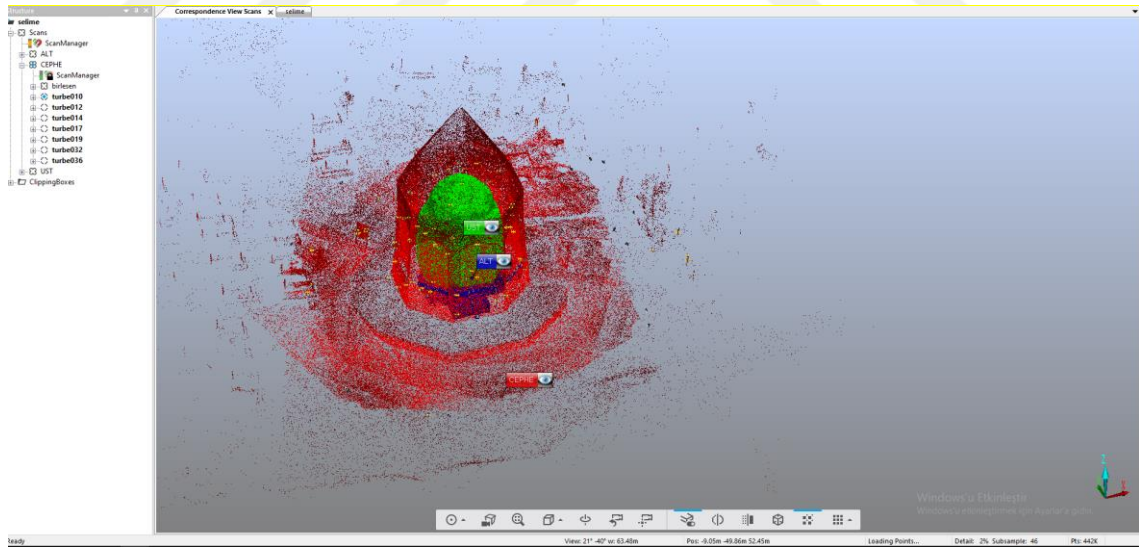


Şekil 4.18. PhotoScan X-Y Düzleminde oluşturulmuş ortofoto

### 4.3.3 Drone ve YLT Modellerinin Birleştirilmesi

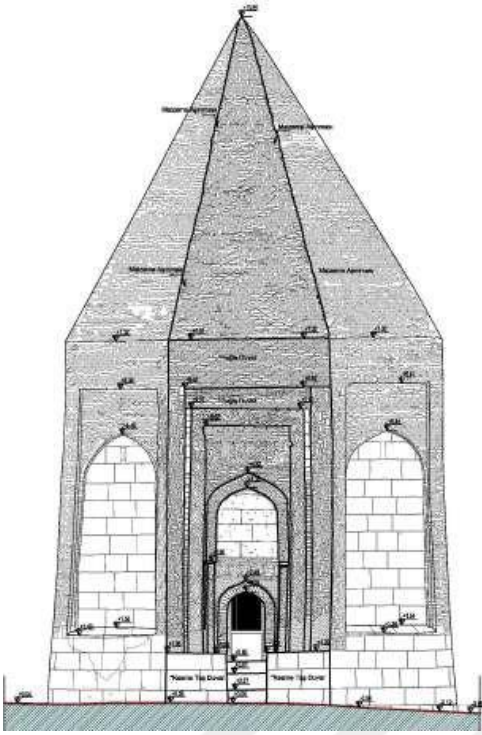
Lazer tarama teknolojisi ile elde edilen nokta bulutları ile hava fotogrametrisinden elde edilen veriler ortak bir koordinat sistemine bilgisayar ortamında getirilebilmektedir. Arazide belirlenen referans noktaların GNSS ile ölçümlerinin yapılması ile iki noktabulutunun bir araya getirilmesi sağlanacaktır. Bu iki farklı verinin birleştirilmesindeki en önemli faktörün ortak noktaların koordinatlarının oluşturulmasıdır.

Selime Sultan Türbesi örneğinde elde edilen yersel lazer tarama ve hava fotogrametrisi yöntemi ile oluşturulan nokta bulutlarının birleştirilmesi için SCENE 5.0 yazılımı kullanılmıştır. Türbenin Photoscan yazılımı ile oluşturulan 3D modeli E57. Formatında yersel lazer tarama verilerinin hizalandığı SCENE 5.0 yazılımına aktarılmıştır. Daha önceden GNSS ile ölçülen yer kontrol noktaları koordinatları ortak hedef noktalara girilmiştir. Yazılımda ortak iki farklı bulutun ortak noktaları referans olacak şekilde tekrar hizalama yapılmış ve her iki yöntemden elde edilen nokta bulutları birleştirilmiş ve ölçeklenmiştir.

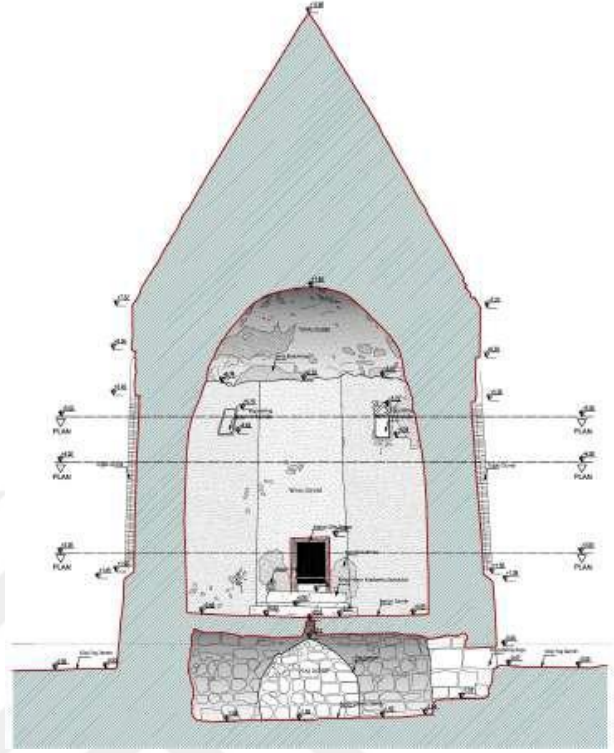


**Şekil 4.20.** Hava ve yerden elde edilen nokta bulutlarının birleştirilmesi  
(Kırmızı renk hava verileri mavi ve yeşil renkler yersel lazer tarama ile elde edilen veriler.)

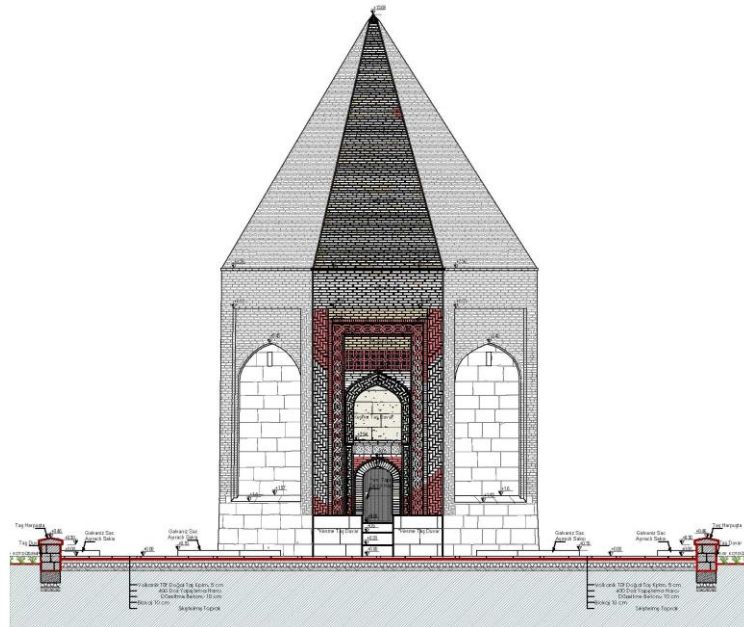
Birleştirme işleminden sonra mimari paftalara altlık oluşturacak kesit ve görünüşler alınmıştır. AutoCad yazılımı ile rölöve, restorasyon, restitüsyon projeleri bozulma ve müdahale analizleri yapılmıştır.



Şekil 4.21. Türbenin giriş cephesi rölövesi

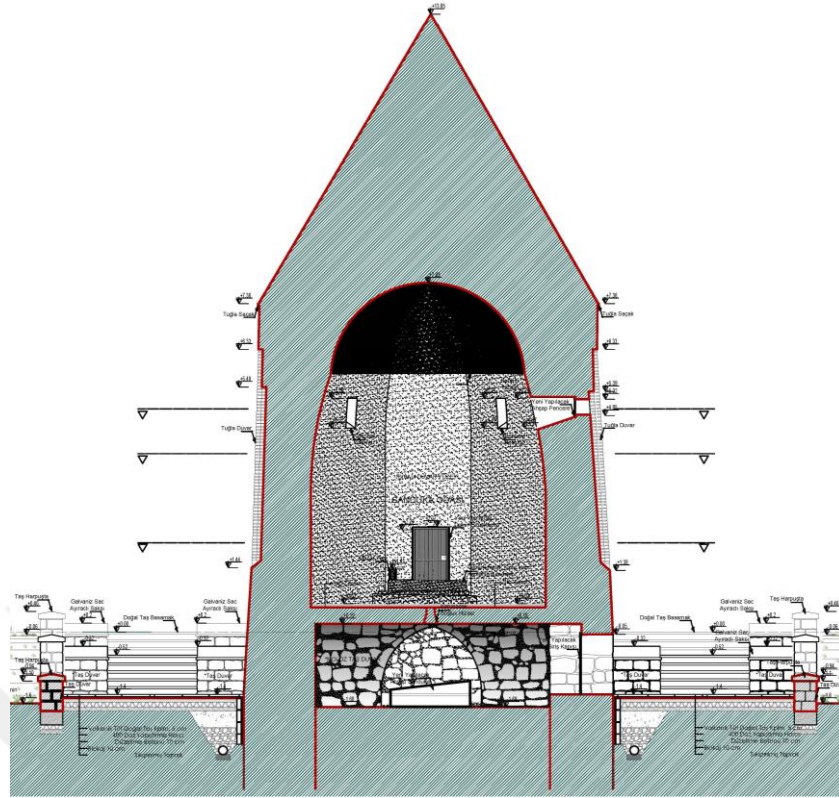


Şekil 4.22. Türbenin Kesiti

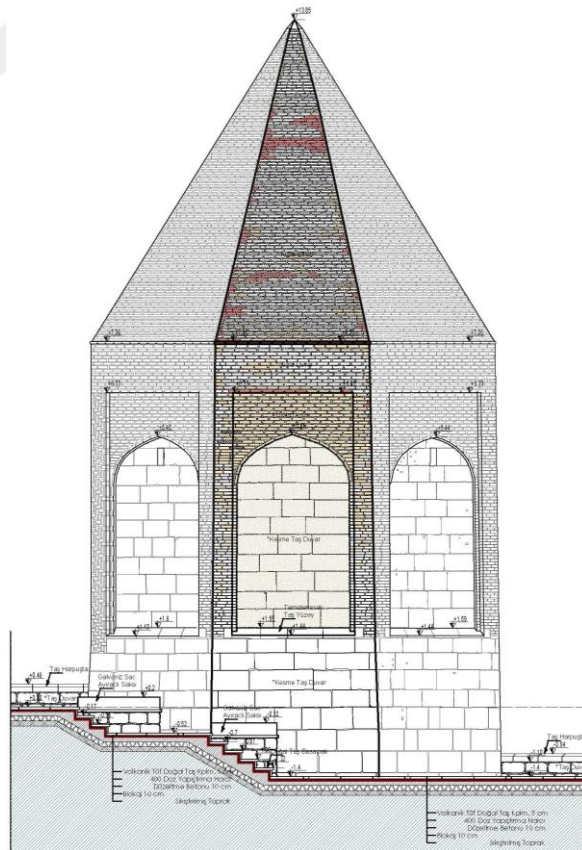


Şekil 4.23. Giriş cephesi restorasyon çizimi

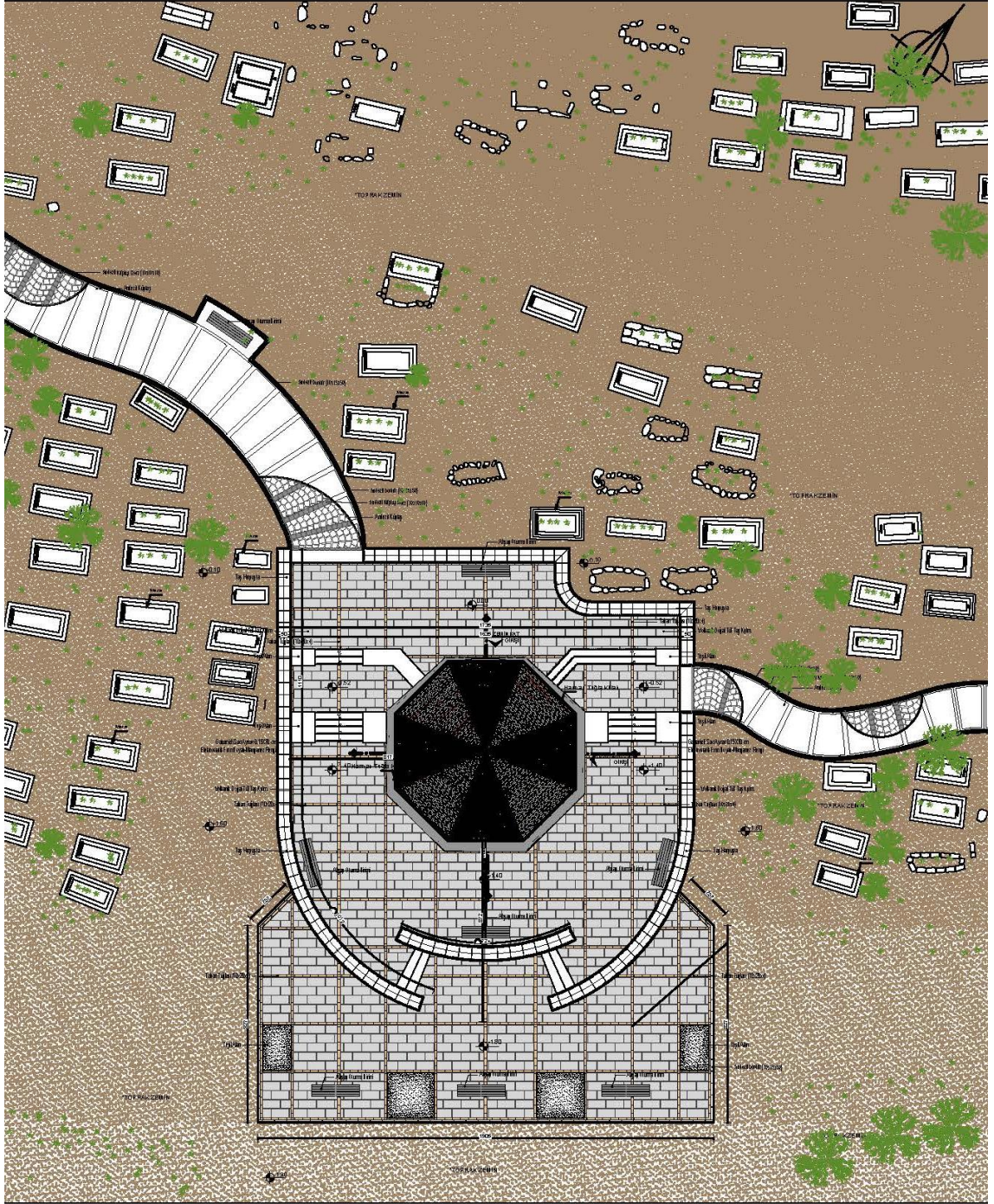




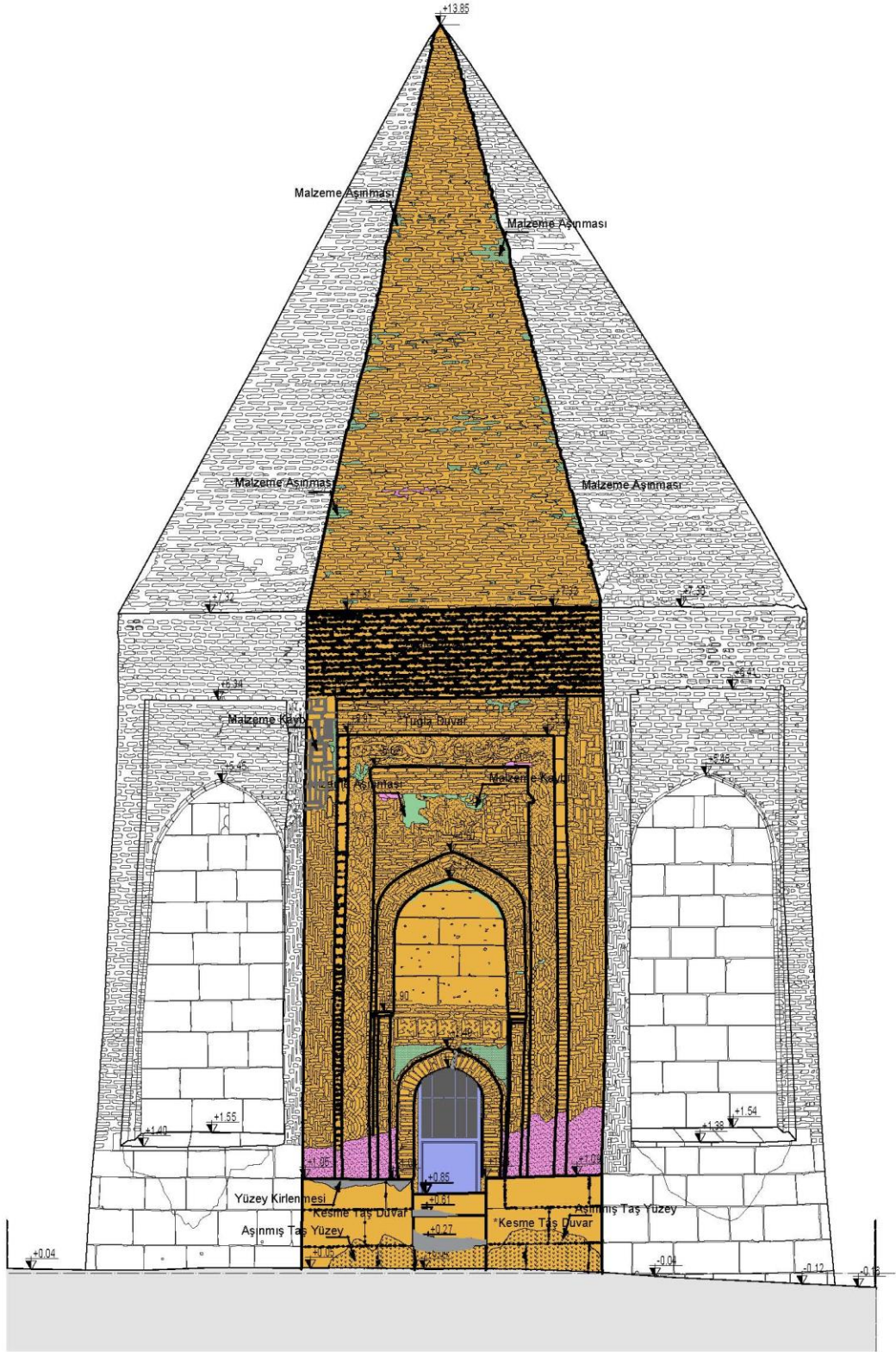
Şekil 4.24. Yapının kesit çizimi



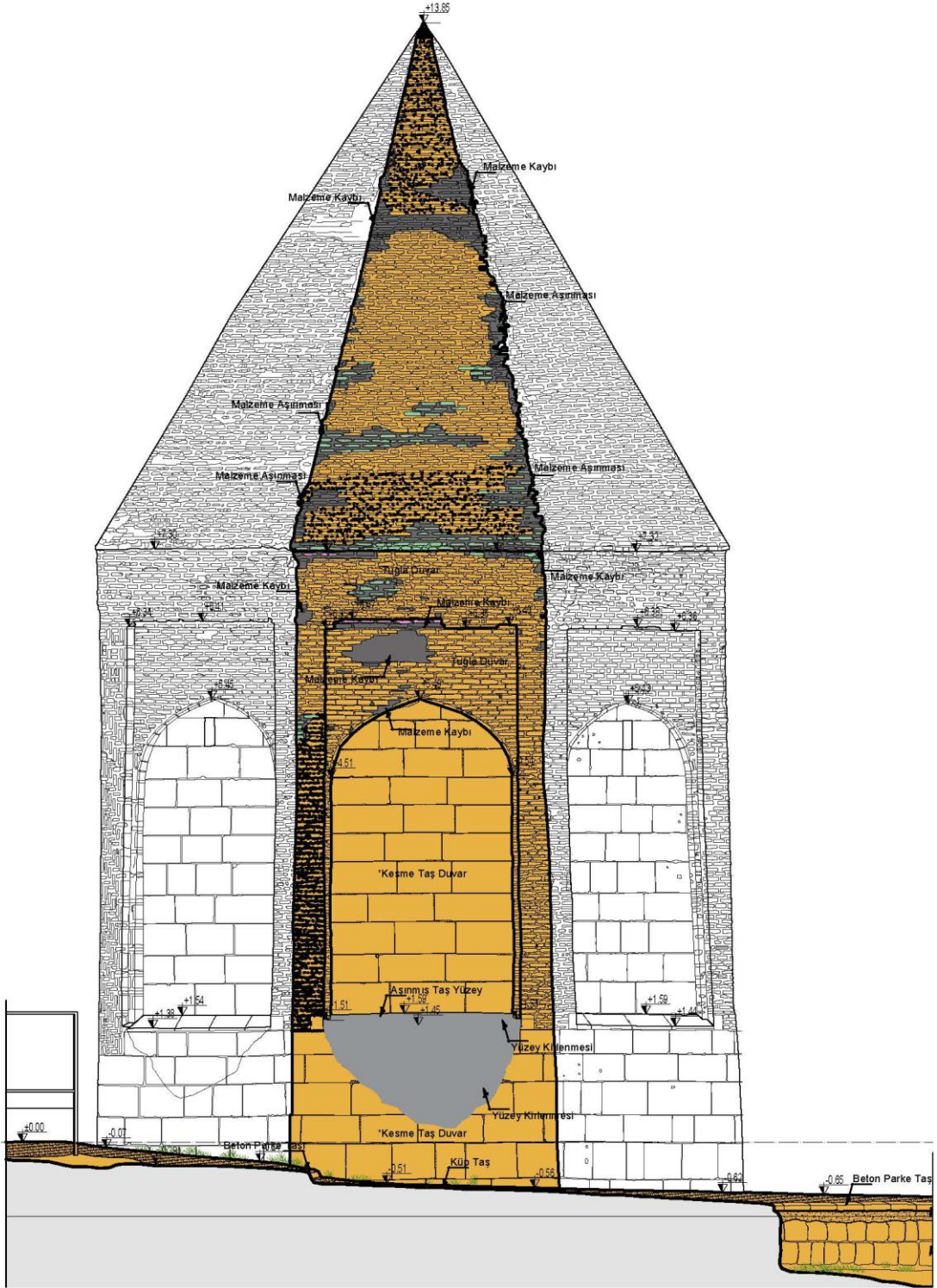
Şekil 4.25. Yapının sağ yan cephe restorasyon çizimi



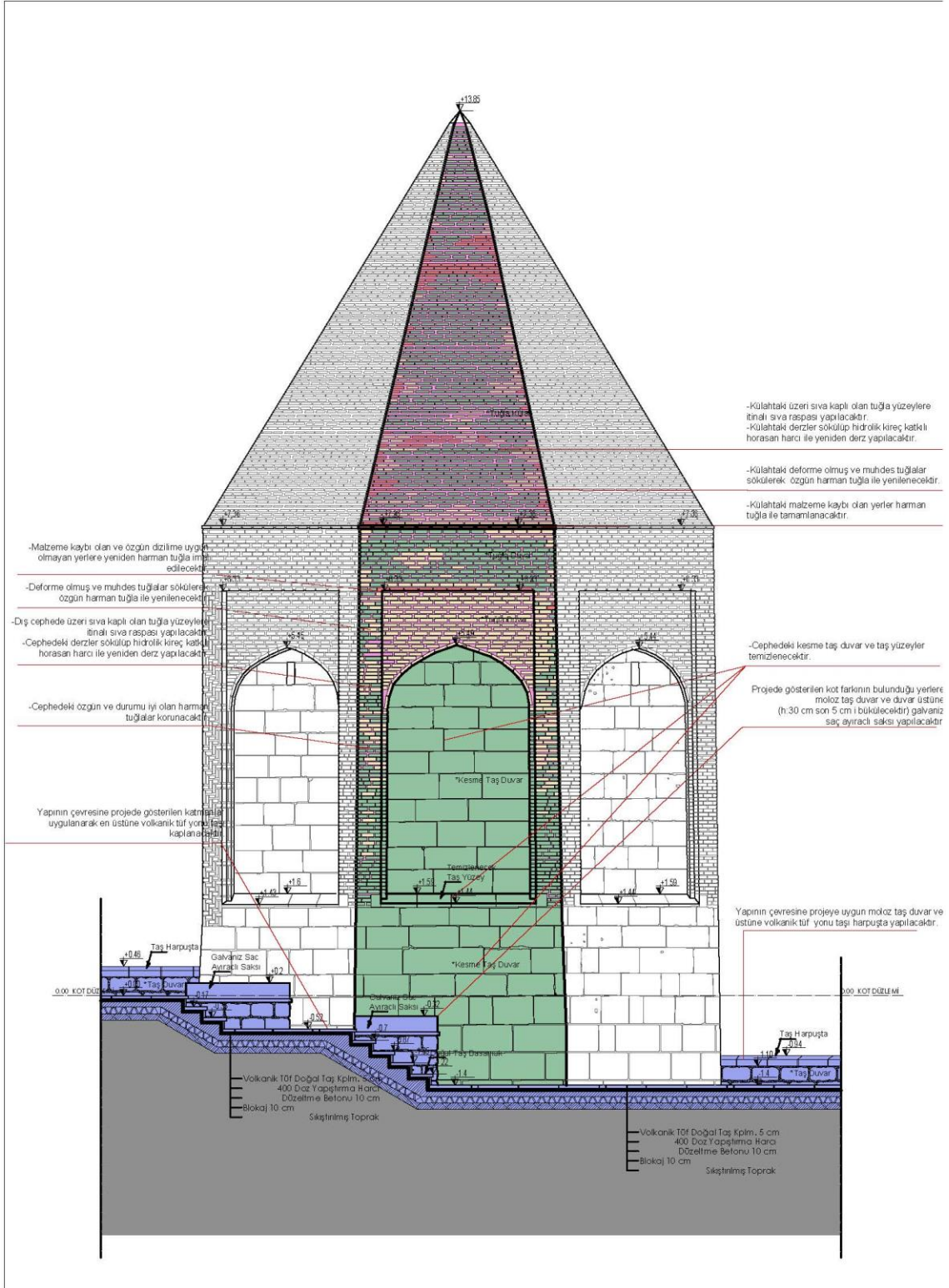
Şekil 4.26. Vaziyet planı çizimi



Şekil 4.27. Giriş cephesi bozulma analizi



Şekil 4.28. Sağ yan cephe bozulma analizi



Şekil 4.29. Sağ yan cephe müdahale analizi



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1 Sonuçlar

Lazer tarama verileri arkeolojik alanlarda ve harabe binalarda en büyük özelliği kısa sürede yoğun ve hassas veri toplayabilmesidir. Ancak Bu teknoloji ile entegre çalışan nokta bulutu işleme yazılımları pahalı ve özel olarak bu alan için geliştirilmişlerdir. Bundan dolayı hem yazılımın temin edilmesinde güçlükler bulunmakta hem de yaygın kullanılmayan uygulamalar olduğu için ancak eğitim birimlerinde ve yoğun mesleki aktiviteleri olan profesyonel çalışma ofislerinde bu yazılımlar kullanılabilir. Lazer tarama teknolojileri ile ilgili en önemli olumsuzluklardan birisi de belgelenen yapının hemen her yüzeyine lazer tarama cihazının temas edecek şekilde lazer ışınlarının gönderebilmesidir. Yüksek binalarda ve kompleks biçimli binalarda lazer tarama teknolojileri yeterli gelmemekte, lazer tarama teknolojisi ile belgelenemeyen bu yüzeyler için ek bir teknolojinin kullanımına gereksinim duyulmaktadır.

İnsansız hava araçlarının yaygınlaşması ile hava fotogrametrisi günümüzde özellikle akademik çevrelerde ve kamu kurumlarında kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Yapılan alan çalışması bu iki teknolojinin arkeolojik alan ve harabe binalarda kullanımına yönelik önemli faydalar sağladığı gözlemlenmiştir. Lazer tarama teknolojileri yapı bütününde, iç mekan ve dış mekanda yüksek hassasiyetli veriler elde etmiş, hassas mimarı proje üretilebilecek veriler toplanabilmiştir. Fakat türbe yapısının yüksek külâhının tepe bölümlerinin belgelenmesinde yetersiz kalmış bu bölümlerden veri toparlanamamıştır. Bu noktada hava fotogrametrisinin sağladığı imkanlar kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlar hem üç boyutlu modelleme düzeyinde hem de iki boyutlu mimari proje çiziminde yüksek doğrulukta ve nitelikli projelerin oluşturulmasına katkı sağlayacaktır. Bütüncül bir belgeleme çalışması gerçekleştirilerek bu çalışmanın dijital ortamda depolanması ile yapının mevcut durumuna yönelik hassas veriler elde edilecektir.

Bu veriler birçok amaçla yeniden kullanılabilir. Özellikle çalışılan yapının deformasyonlarının artması bir bölümünün kaybedilmesi, yıkılması, doğal afetlere maruz kalması gibi durumlarda mevcut durum ile belgeleme tarihindeki durumun

karşılaştırılmasında önemli kolaylıklar sağlanmaktadır. Yapıda hiçbir olumsuz durum yaşanmasa dahi belirli tarihler arasındaki verilerin karşılaştırılması ile etkili bir gözlem çalışmasına imkan verebilecektir.

Bütüncül bir kültürel miras belgelemesinin, arkeologlara, mimarlara, korumacı ve karar vericilere, mirasa dair karar verme, dokümantasyon ve müdahale süreçlerinde yardımcı olacağı düşünülmektedir. Mimar ve koruma uzmanlarının bu tür bilgilere sahip olması, mirasa dair kararların verilmesini kolaylaştırmakta ve müdahalelere yön vermektedir. Bu aynı zamanda kültürel miras yönetiminin de temelini oluşturmaktadır. Dron teknolojisi, yapıya ve çalışanlara tahribat vermeyen bir yöntem olduğundan, bozulmuş alanların tespit edilmesine, erişilmesi zor ya da tehlikeli bölgelerin gözlemlenmesine yardım etmektedir. Kültürel mirasın tehlike arz eden kısımları belgeleme sırasında çalışma ekibinin güvenliği tehdit etmektedir. Bu teknoloji, bu tür zararları önleyerek kültürel mirasın korunması için gerekli bilgilerin elde edilmesine yardımcı olmaktadır. Bu teknik aynı zamanda geniş alanların incelenmesinde, geleneksel yöntemlerin uzun süre alan çalışması gerektiği yerlerde güçlü bir yöntemdir.

Çalışma kapsamında, türbe yapısına yönelik yürütülen çalışmada hızlı bir şekilde veri elde edilmiş ve bu veriler yazılımda işlenerek yüksek doğrulukta düzlem fotoğraflar üretilmiştir. Bu düzlem fotoğrafların çözünürlüğünün 2B mimari proje üretiminde oldukça kolaylık sağladığı gözlemlenmiştir. Bu verilerle yapının biçimi, geometrisi kolaylıkla çizilebilmekte, yapı üzerindeki malzeme farklılıkları ve deformasyonlar görülebilmekte ve yüksek hassasiyette analitik haritalar oluşturulabilmektedir. Tüm bunlar 2B çizimlerin içeriğini zenginleştirmektedir.

Teknolojinin sunduğu avantajlara rağmen, uygun teknoloji ve yazılımlara ulaşım, veri işleme için gerekli donanım, uçuş için uzman gerekliliği, yazılım kullanımında uzmanlaşma gerekliliği bu teknolojinin kullanımındaki limitler arasında sayılabilmektedir. Tüm proje etaplarında çalışma konusu olan objeye yönelik planlama yapılması gerekmekte ve kullanıcının yeterli bilgi ve donanıma sahip olması gerekmektedir. Fotoğraf işleme ve doku kaplama süreçlerinde yüksek donanıma gereksinim duyulması bu teknolojinin kullanımını maliyet yönüyle düşündürmektedir. Ayrıca yüksek kalitede veri istendiğinde veri işleme süresinin uzunluğu, mesh model, doku kaplı modellerin oluşturulması ve nokta bulutlarının yönetimi yine uzmanlık



gerektirmektedir. Yasal olarak uçuşların yapılabilmesi için uçuş lisansı gerekliliği ve uçuşlar için izin alınma zorunlulukları da teknolojinin yasal zorlukları arasındadır.



## KAYNAKLAR

- Ali, U. L. V. İ., Yakar, M., YİĞİT, A. Y., & Yunus, K. A. Y. A. (2020). İha Ve Yersel Fotogrametrik Teknikler Kullanarak Aksaray Kızıl Kilisenin 3b Modelinin Ve Nokta Bulutunun Elde Edilmesi. *Geomatik*, 5(1), 19-26.
- Amorim, A. (2011). Methodological Aspects of Architectural Documentation. *Geoinformatics FCE CTU*, 6, 34-39.
- Andrews, D., Bedford, J., Blake, B., Bryan, P., Cromwell, T., & Lea, R. (2009). *Measured and Drawn: Techniques and Practice for the Metric Survey of Historic Buildings*. Swindon: English Heritage.
- Apollonio, F. I., Gaiani, M., Benedetti, B., 2011. "3D reality-based artefact models for the management of archaeological sites using 3D Gis: a framework starting from the case study of the Pompeii Archaeological Area". *Journal of Archaeological Science* 39 (2012) 1271-1287. FIG Working Week 2004, Athens, Greece, May 22-27, 2004.
- Ağca, M., Kaya, E., & Yılmaz, H. M. (2020). *Yersel ve Fotogrametrik Yöntemler ile Kaya Bloklarının Hacimlerinin Hesaplanması: Selime Örneği*, Aksaray.
- Barsanti G.S., Remondino, F., Visintini, D., 2013. "3D surveying and modelling of archaeological sites –some critical issues". *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume II-5/W1, 2013. XXIV International CIPA Symposium, 2 – 6 September 2013, Strasbourg, France.
- Barsanti, S. G., Remondino, F., & Visintini, D. (2013). 3D Surveying and Modelling of Archaeological Sites-some critical issues. *ISPRS photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, 5, W1.

- Bendea, H., Chiabrando, F., Giulio Tonolo, F., Marenchino, D., 2007. “*Mapping of Archaeological Areas Using a Low-Cost UAV The Augusta Bagiennorum Test Site*”. XXI International Cipa Symposium, 01-06 October 2007, Athens, Greece.
- Bryan, P., Blake, B., Bedford, J., Barber, D., & Mills, J. (2009). *Metric Survey Specifications for Cultural Heritage (D. Andrews Ed. Second Edition ed.)*. Swindon: English Heritage.
- Brown, R., K.A., Chalmers, A., Saigol, T., Green, C., D’Errico, F., 2001. “*An Automated Laser Scan Survey of the Upper Palaeolithic Rock Shelter of Cap Blanc*”. *Journal of Archaeological Science* 28 (3), 283–289.
- ÇELİK, M. Ö., HAMAL, S. N. G., & YAKAR, İ. (2020). Yersel Lazer Tarama (YLT) Yönteminin Kültürel Mirasın Dokümantasyonunda Kullanımı: Alman Çeşmesi Örneği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 2(1), 15-22.
- D’Ayala, D., & Smars, P. (2003). *Minimum requirement for metric use of non- metric photographic documentation*. Retrieved from Bath, UK:
- De Felice, G., Mangialardi, M.N., Sibilano, G.M., Volpe, G., 2007. CAA. 2007. “*Late Roman Villa at Faragola (Foggia, Italy):Laser Scanning for a Global Documentation Methodology During Field Research*” ,2007.
- Diaz-Andreu, M., Hobbs, R., Rosser, N., Sharpe, K., Trinks, I., 2005. “*Long Meg: Rock Art Recording Using 3D Laser Scanning*”. *Past: The Newsletter of the Prehistoric Society* 50, 2–6.
- Eisenbeiss, H. 2009. “*UAV Photogrammetry*”, Zurich. PhD thesis, A dissertation submitted to ETH ZURICH for the degree of Doctor of Sciences. ISSN 0252-9335, ISBN 978-3-906467-86-3.
- Eisenbeiss, H., Lambers, K., Sauerbier, M., Zhang, L., 2005. “*Photogrammetric Documentation of an Archeological Site (Palpa, Peru) Using an Autonomous*

*Model Helicopter*". International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 34 (5), 238e243.

English Heritage, 2011. "3D Laser Scanning for Heritage- Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture". English Heritage Publishing.

Erdoğan, A., KABADAYI, A., & AKIN, E. S. S. *Kültürel Mirasın Fotogrametrik Yöntemle 3B Modellenmesi: Karabıyık Köprüsü Örneği*. Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 3(1), 23-27.

Engström, T., Johansson, M., 2009. "The use of terrestrial laser scanning in archaeology evaluation of a Swedish project, with two examples". Journal of Nordic Archaeological Science 16, pp.3-13, 2009.

Europe, C. o. (1985). *Convention for the Protection of the Architectural Heritage of Europe*. Retrieved from Granada:

F. Chiabrando, F. Nex, D. Piatti, F. Rinaudo, 2011. "UAV and RPV systems for photogrammetric surveys in archaeological areas: two tests in the Piedmont region (Italy)". Journal of Archaeological Science 38 (2011) 697-710.

Gruenkemeier, A., 2010. "3D-Documentation Technologies for use in industrial archaeology applications". Commission WG V/2-Cultural Heritage Documentation.

Gümüş, K., Erkaya, H., & Tunalıoğlu, N. (2009). YERSEL LAZER TARAMA VERİLERİNDE ÇEVRESEL VE OBJESEL NEDENLERDEN KAYNAKLANAN HATALAR. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, 137-138.

Gümüş, K., & Erkaya, H. (2007). MÜHENDİSLİK UYGULAMALARINDA KULLANILAN YERSEL LAZER TARAYICI SİSTEMLER. YTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Bölümü, Ölçme Tekniği Anabilim Dalı, İstanbul.

HABS. (1990). *Secretary of the Interior's standard and guidelines for architectural and engineering documentation*. In U. D. o. Interior (Ed.). Washington, DC: US Department of Interior.

Hassani, F. (2015). Documentation of Cultural Heritage Techniques, Potentials and Constraints. Paper presented at the 25th International CIPA Symposium, Taipei, Taiwan.

Hendrickx, M., Gheyle, W., Bonne, J., Bourgeois, J., De Wulf, A., Goossens, R., 2011. "The Use of Stereoscopic Images Taken from a Microdrone for the Documentation of Heritage- An Example from the Tuekta Burial Mounds in the Russian Altay". *Journal of Archaeological Science* 38 (2011) 2968-2978.

Heritage, E. (2011). *3D Laser Scanning for Heritage*. Swindon: English Heritage.

ICOMOS. (1931). *The Athens Charter for the Restoration of Historic Monuments*. Retrieved from Athens:

ICOMOS. (1964). *The Venice Charter*. Retrieved from Venice:

ICOMOS. (1987). *The Washington Charter*. Retrieved from Washington, DC:

Ioannidis, C., Potsiou, C., Soile, S., Badekas, J., 2000. "Detailed 3D Representations of Archaeological Sites". *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 33 (B5), 642–649.

Jose' Luis Lerma, Santiago Navarro, Miriam Cabrelles, Valentin Villaverde, 2010. "Terrestrial laser scanning and close range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the Upper Palaeolithic Cave of Parpallo' as a case study". *Journal of Archaeological Science* 37 (2010) 499–507.

- Kaya, Y., Yiğit, A. Y., Ulvi, A., & Yakar, M. (2021). *Arkeolojik Alanların Dokümantasyonunda Fotogrametrik Tekniklerinin Doğruluklarının Karşılaştırmalı Analizi: Konya Yunuslar Örneği*. Harita Dergisi, 165, 57-72.
- Kersten, Th., Lindstaedt, M., Mechelke, K., Vogt, B. 2010. “*Terrestrial laser scanning for the documentation of archaeological objects and sites on Easter Island*”. Computer Applications and Quantitative Methods in Archeology – pp:1-8. CAA’2010.
- Korumaz, M. (2016). *Kültürel mirasın 3D belgelenmesinde yersel lazer tarama teknolojisinin kullanımı: Aksaray’da bir sivil mimarlık örneği*.
- Lerma, L. J., Navarro, S., Cabrelles, M., Villaverde, V., 2010. “*Terrestrial Laser Scanning and Close Range Photogrammetry for 3D Archaeological Documentation: The Upper Palaeolithic Cave of Parpallo’ As a Case Study*”. Journal of Archaeological Science 37 (2010) 499–507
- Letellier, R. (2007). *Recording, documentation, and information management for the conservation of heritage places : guiding principles* (R. Letellier Ed.). Los Angeles, US: The Getty Conservation Institute.
- Lo Brutto, M., Borruso, A., D’Argenio. A. “*UAV Systems For Photogrammetric Data Acquisition of Archaeological Sites*”. International Conference on Cultural Heritage, Oct. 29th-Nov.3rd.Lemesos, Cyprus,EUROMED 2012.
- Mozas-Calvache, A.T., Pérez-García, J.L., Cardenal-Escarcena, F.J., Mata-Castro, E., Delgado-García, J., 2012. “*Method for Photogrammetric Surveying of Archaeological Sites with Light Aerial Platforms*”. Journal of Archaeological Science 39 (2012) 521-530.
- Mozas-Calvache, A.T., Pérez-García, J.L., Cardenal-Escarcena, F.J., Delgado, J., Mata-deCastro, E., 2012. “*Comparision of low altitude photogrammetric methods for obtaining DEMs and orthoimages of Archaeological sites*”.

International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B5, 2012. XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September 2012, Melbourne, Australia.

Mozas-Calvache, A. T., Pérez-García, J. L., Cardenal-Escarcena, F. J., Mata-Castro, E., & Delgado-García, J. (2012). Method for photogrammetric surveying of archaeological sites with light aerial platforms. *Journal of Archaeological Science*, 39(2), 521-530.

Pritchard, D., Sperner, J., Hoepner, S., & Tenschert, R. (2017). Terrestrial laser scanning for heritage conservation: the Cologne Cathedral documentation project. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 4.

Polat, N , Önal, M , Kaya, Y , Memduhoğlu, A , Kaya, N , Ulukavak, M , Mutlu, S , Mutlu, S . (2021). *Harran Ören Yeri Kazısında Bulunan kabartma Yazıların Üç Boyutlu Olarak Modellenmesi* . Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi , 10 (2) , 594-601 . DOI: 10.17798/bitlisfen.881781

Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., & Sarazzi, D. (2011). UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling—current status and future perspectives. *International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, 38(1), C22.

SAFKAN, S., HAMARAT, H., DURAN, Z., AYDAR, U., & ÇELİK, M. F. YERSEL LAZER TARAMA YÖNTEMİNİN MİMARİ BELGELEMEDE KULLANILMASI.

UNESCO. (1972). *Photogrammetry applied to the survey of Historic Monuments, of Sites and to Archaeology* (UNESCO ed.): UNESCO.

UNESCO. (1989). *Recommendation on the Safeguarding of Traditional Culture and Folklore*. Retrieved from Paris:

Uzun, T., & Spor, Y. (2019). Yersel lazer (nokta bulut) tarama yöntemi ile rölöve–restitüsyon-restorasyon projesi hazırlama süreci ve bir örnek: Elazığ Harput Kale Hamamı.

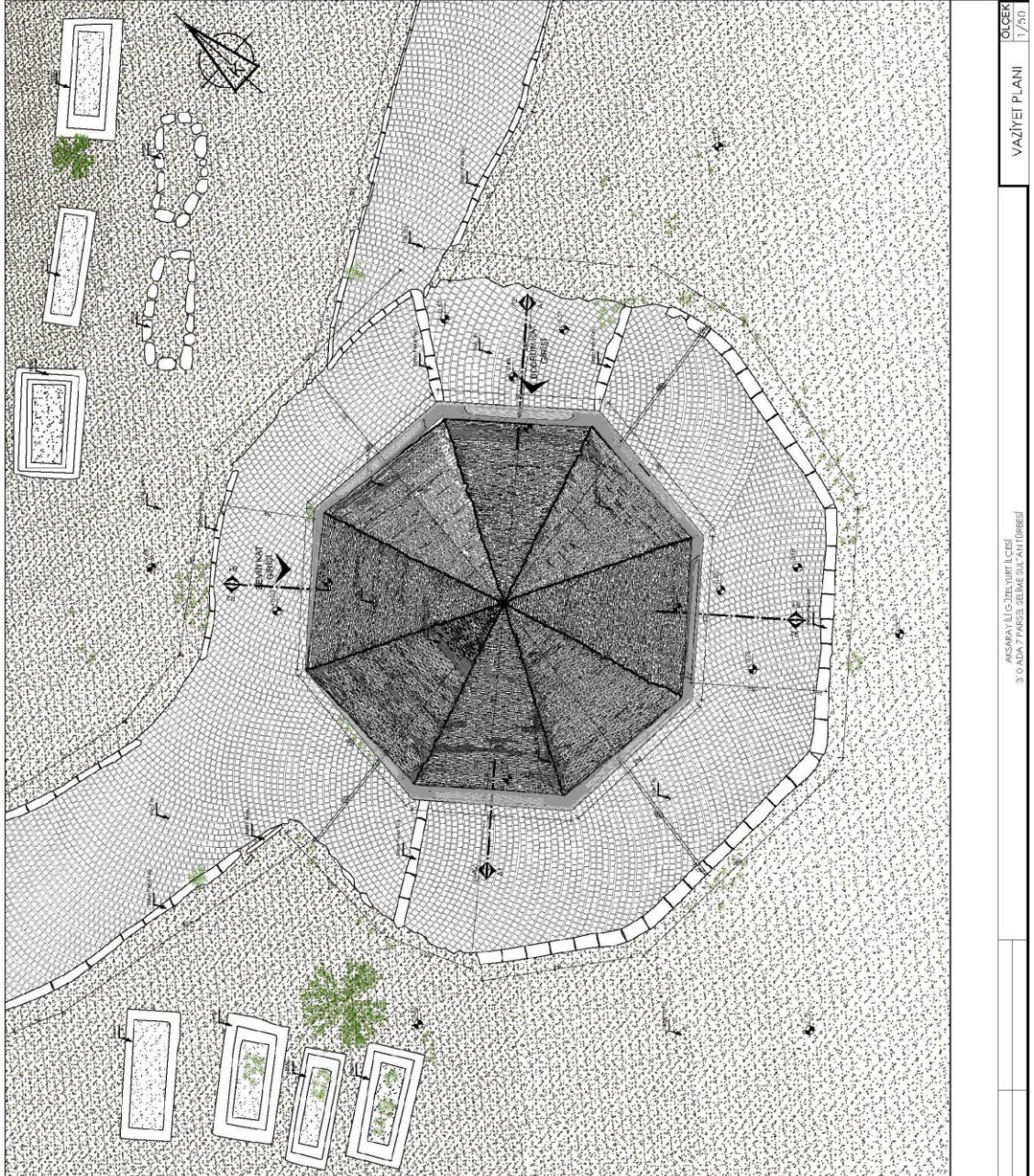
Yakar, İ , Çelik, M , Hamal, S , Bilgi, S . (2021). *Kültürel Mirasın Dokümantasyonu Çalışmalarında Farklı Yazılımların Karşılaştırılması: Dikilitaş (Theodosius Obeliski) Örneği* . Geomatik , 6 (3) , 217-226 . DOI: 10.29128/geomatik.761475

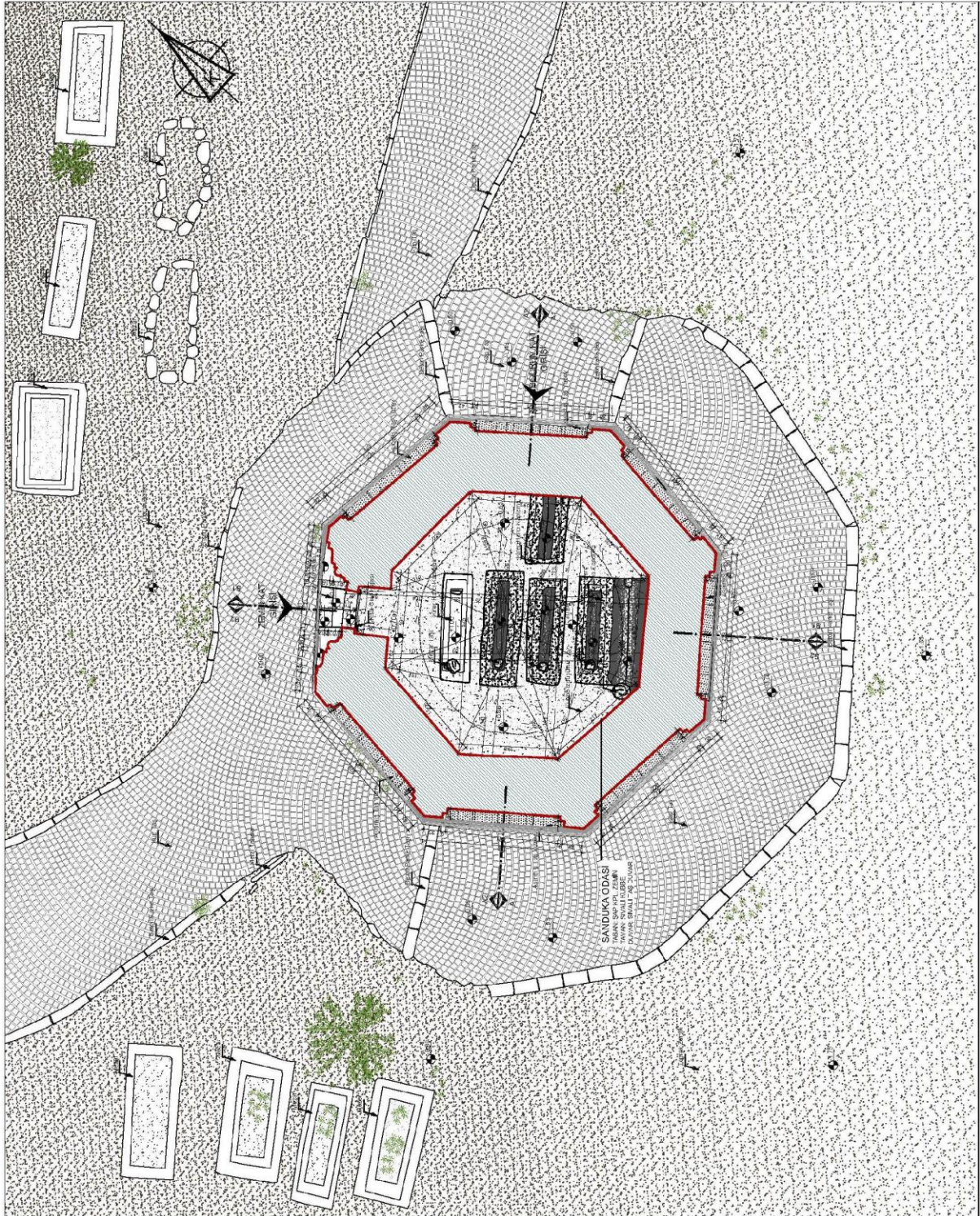
Yılmaz, H. M., Yakar, M., Gulec, S. A., & Dulgerler, O. N. (2007). *Importance of digital close-range photogrammetry in documentation of cultural heritage*. Journal of Cultural Heritage, 8, 428-433. doi:10.1016/j.culher.2007.07.004

Yiğit, A. Y., & Ulvi, A. İHA Fotogrametrisi Tekniği Kullanarak 3B Model Oluşturma: Yakutiye Medresesi Örneği. Türkiye Fotogrametri Dergisi, 2(2), 46-54.

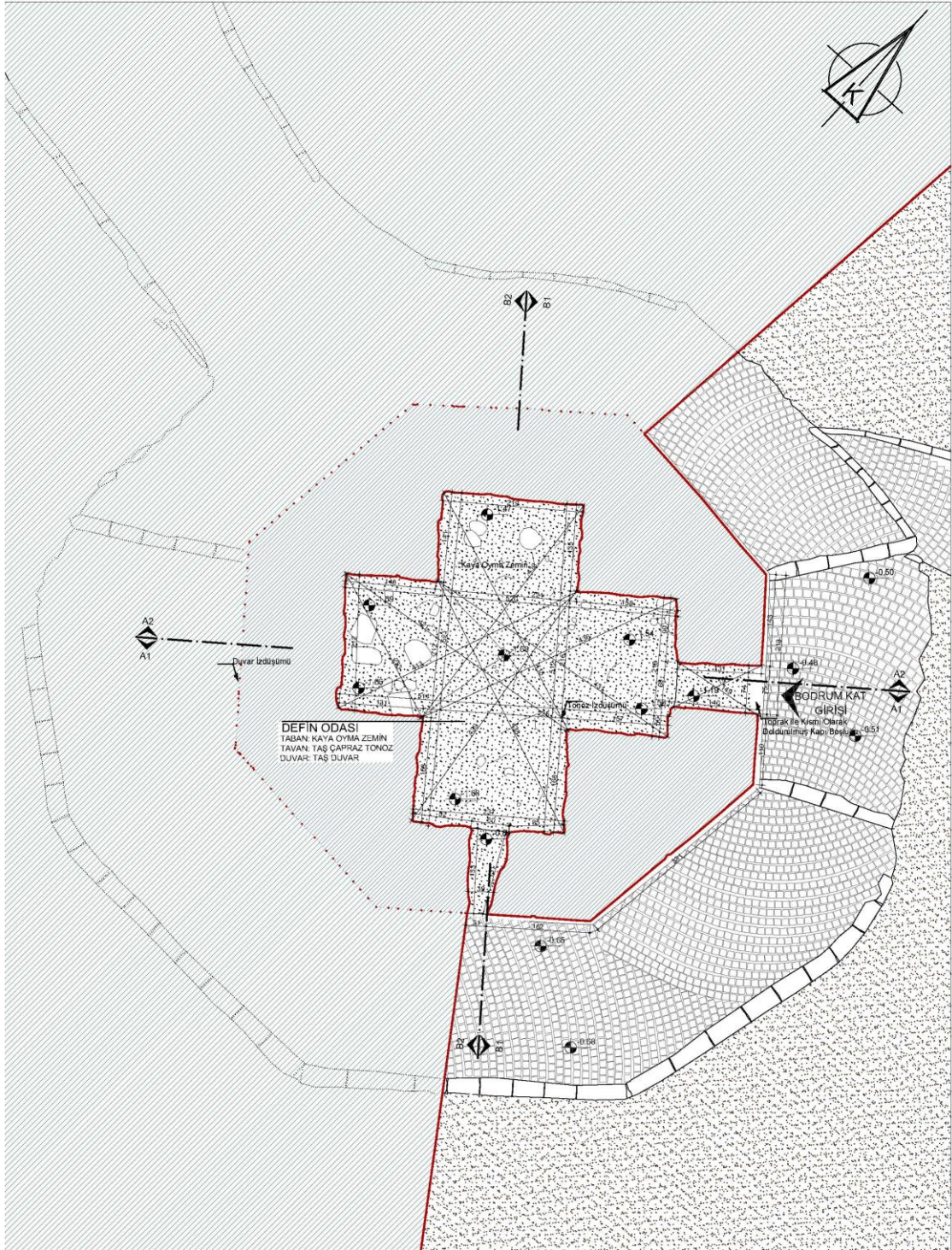
Waggot, S.M., Clegg, P., Jones, R.R. (2005). *Combining Terrestrial Laser Scanning, RTK GPS and 3D Visualisation: Application of Optical 3D Measurement in Geological Exploration. 7th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques: Applications in GIS, Mapping, Manufacturing, Quality Control, Robotics, Navigation, Mobile Mapping, Medical Imaging, VR Generation and Animation*. Vienna, Austria, October 3-5.



**EKLER****EK-1** Selime Sultan Türbesi rölöve, restorasyon, bozulma analizi paftaları.



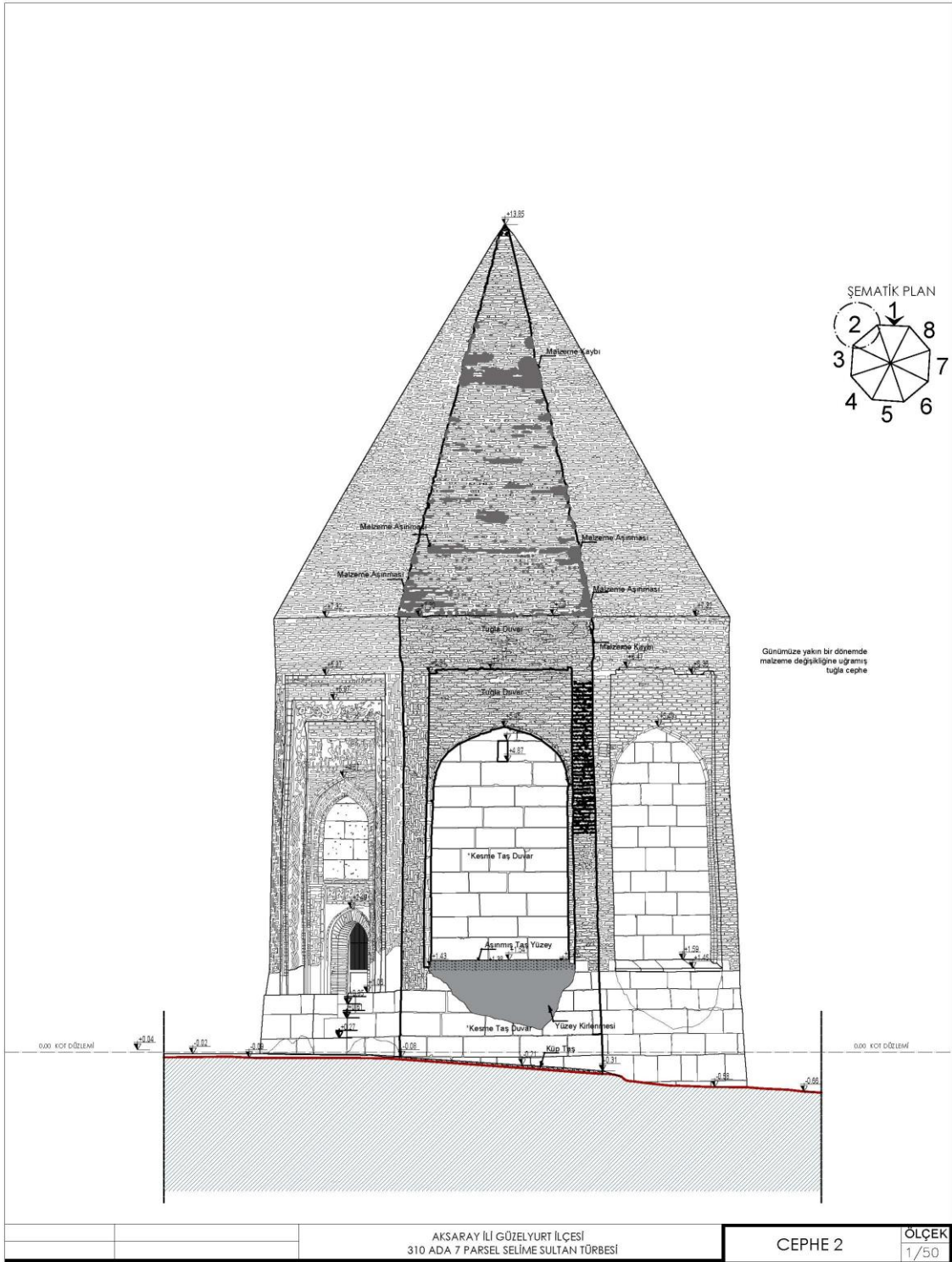
SARIDUKA ODASI  
TAMAM BINA VE DUVAR  
DUVAR BIRLIK VE DUVAR

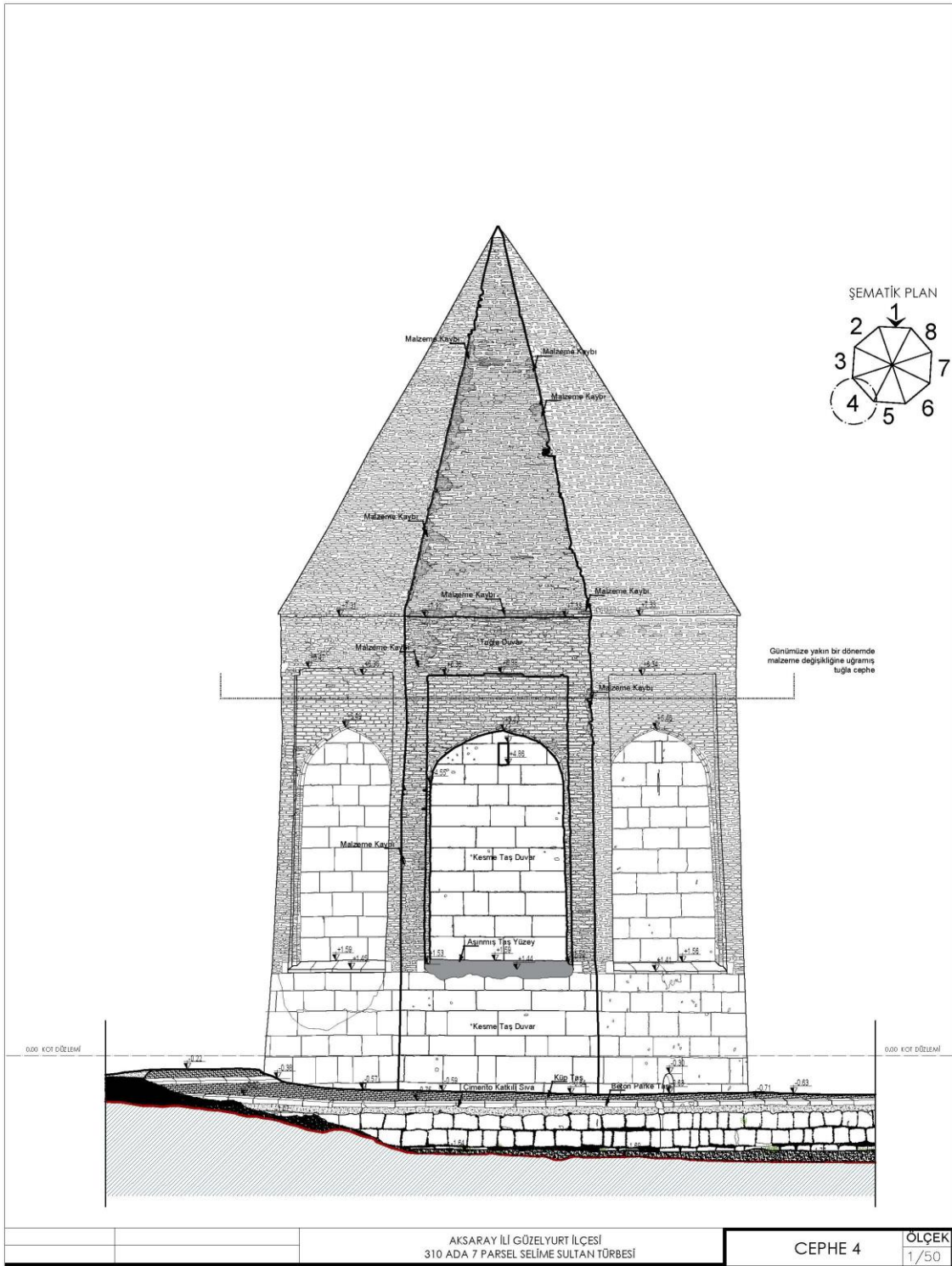


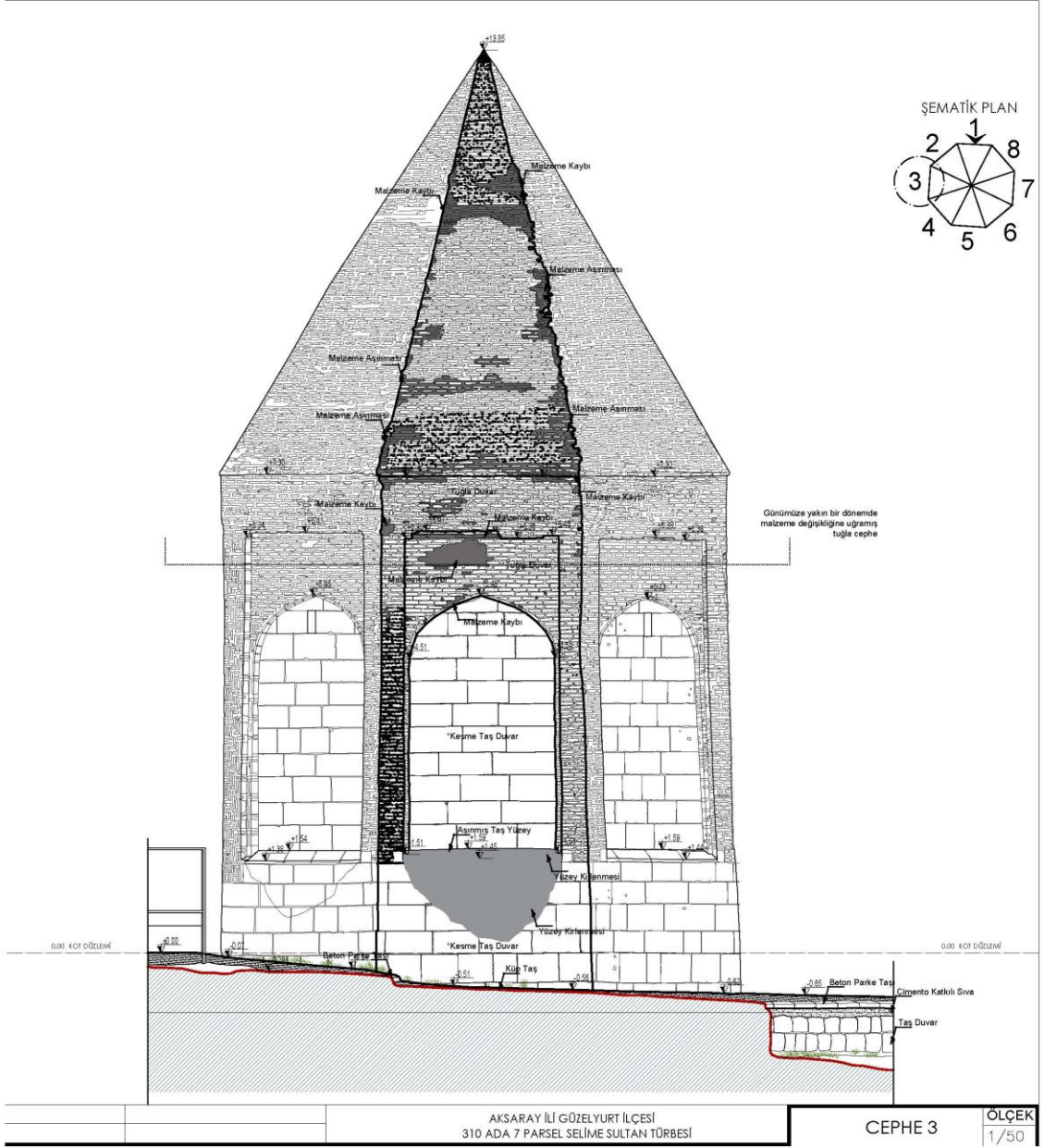
AKSARAY İLİ GÜZELYURT İLÇESİ  
310 ADA 7 PARSEL SELİME SULTAN TÜRBESİ

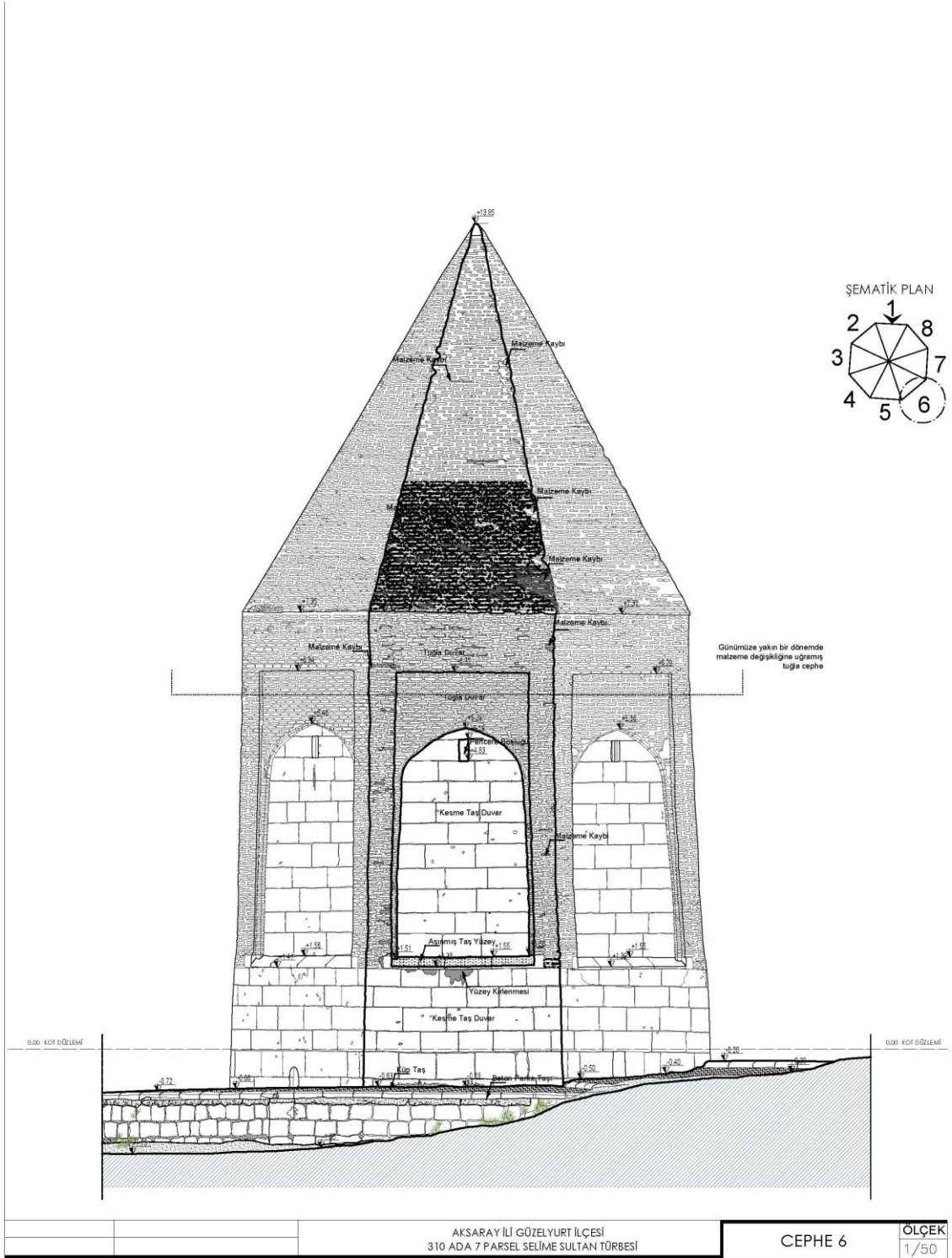
BODRUM KAT PLANI

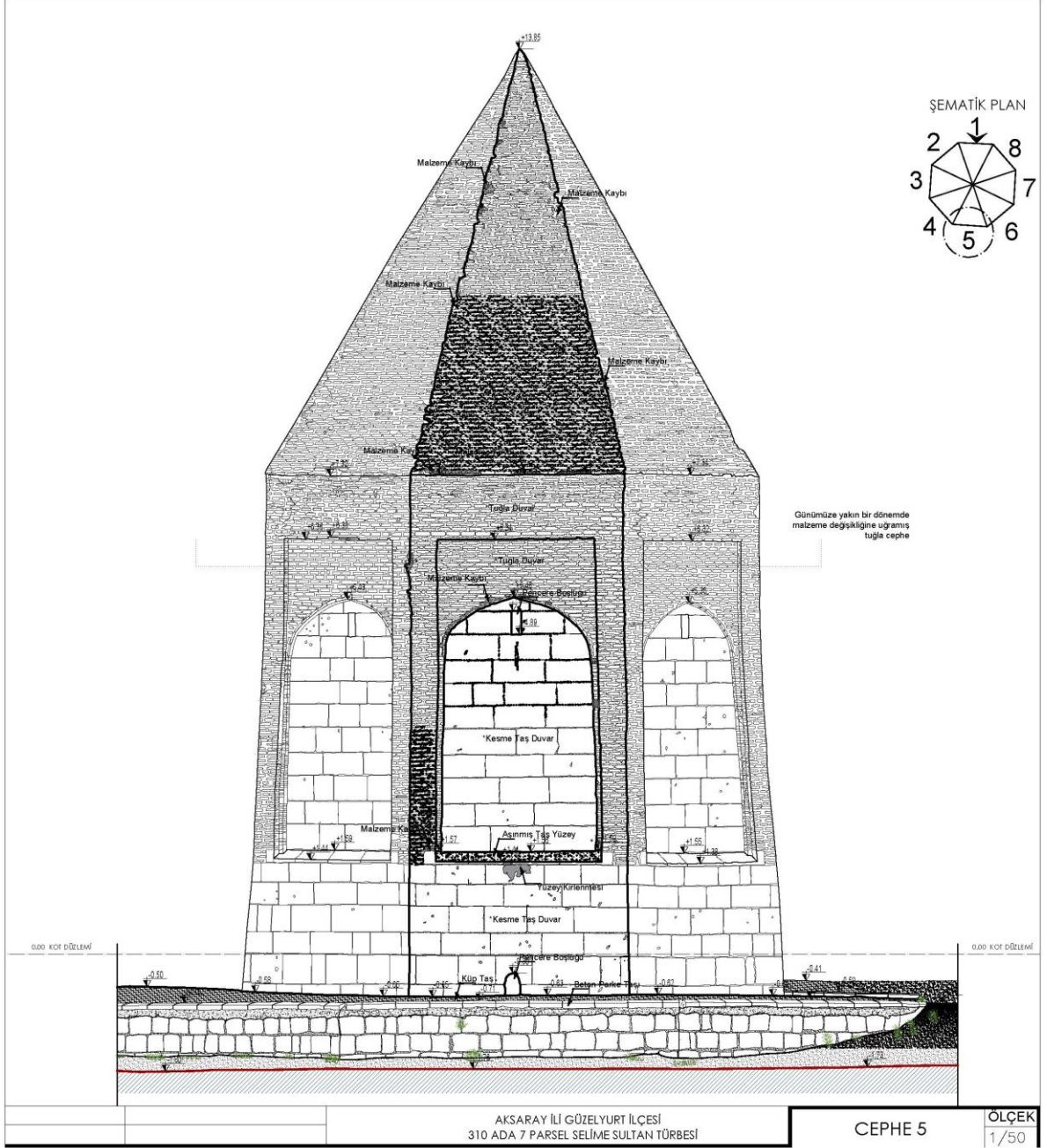
ÖLÇEK  
1/50



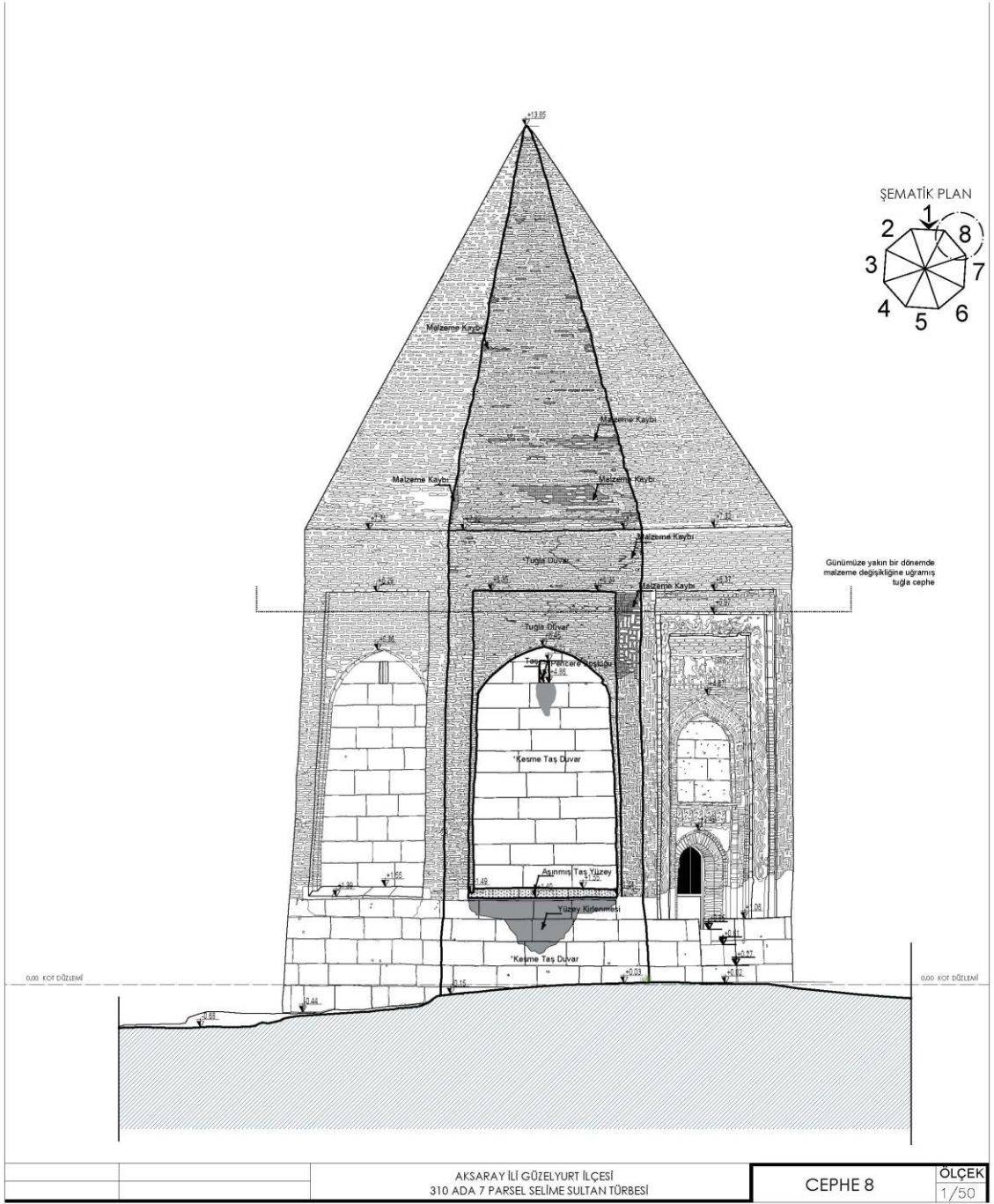


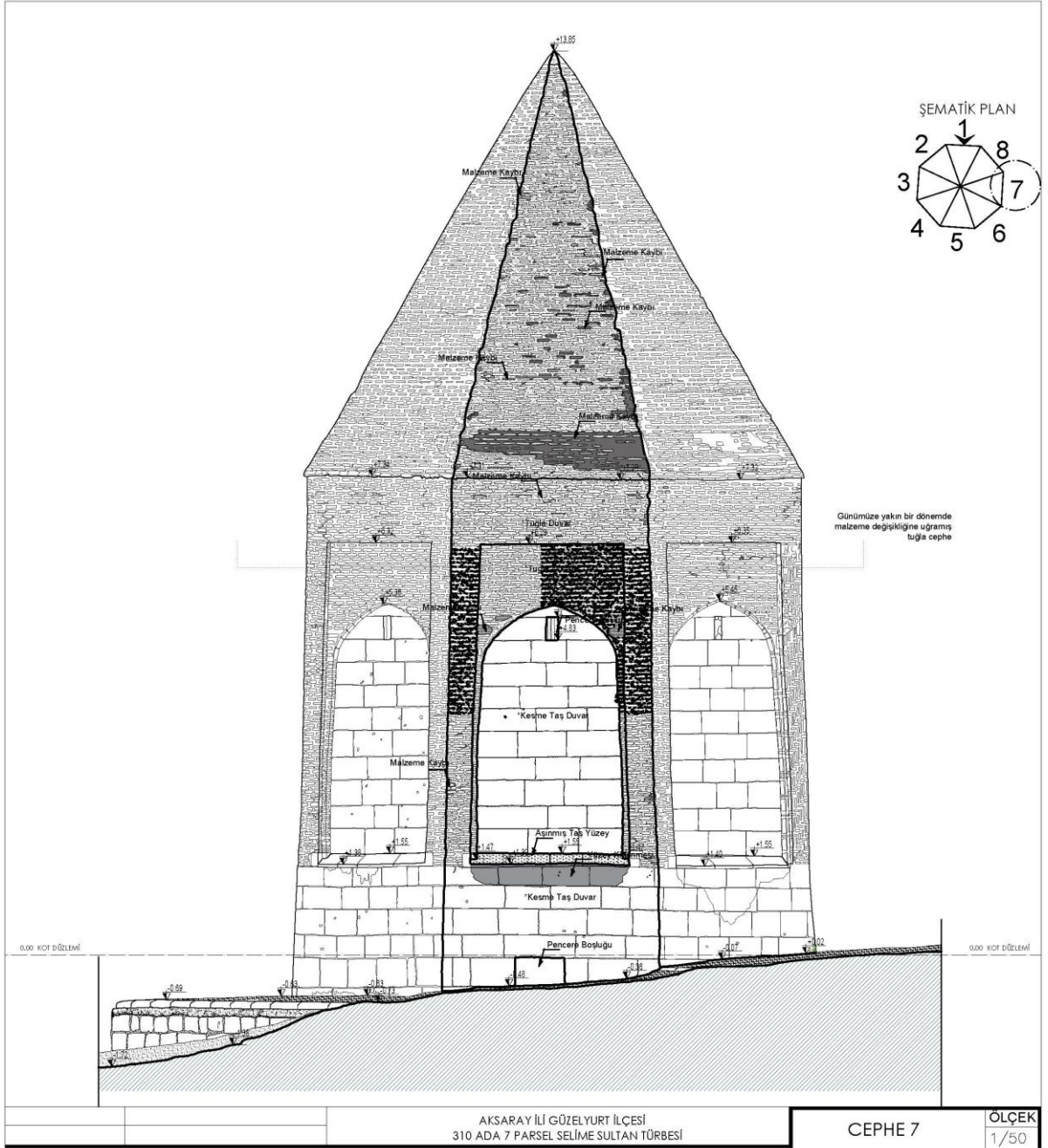




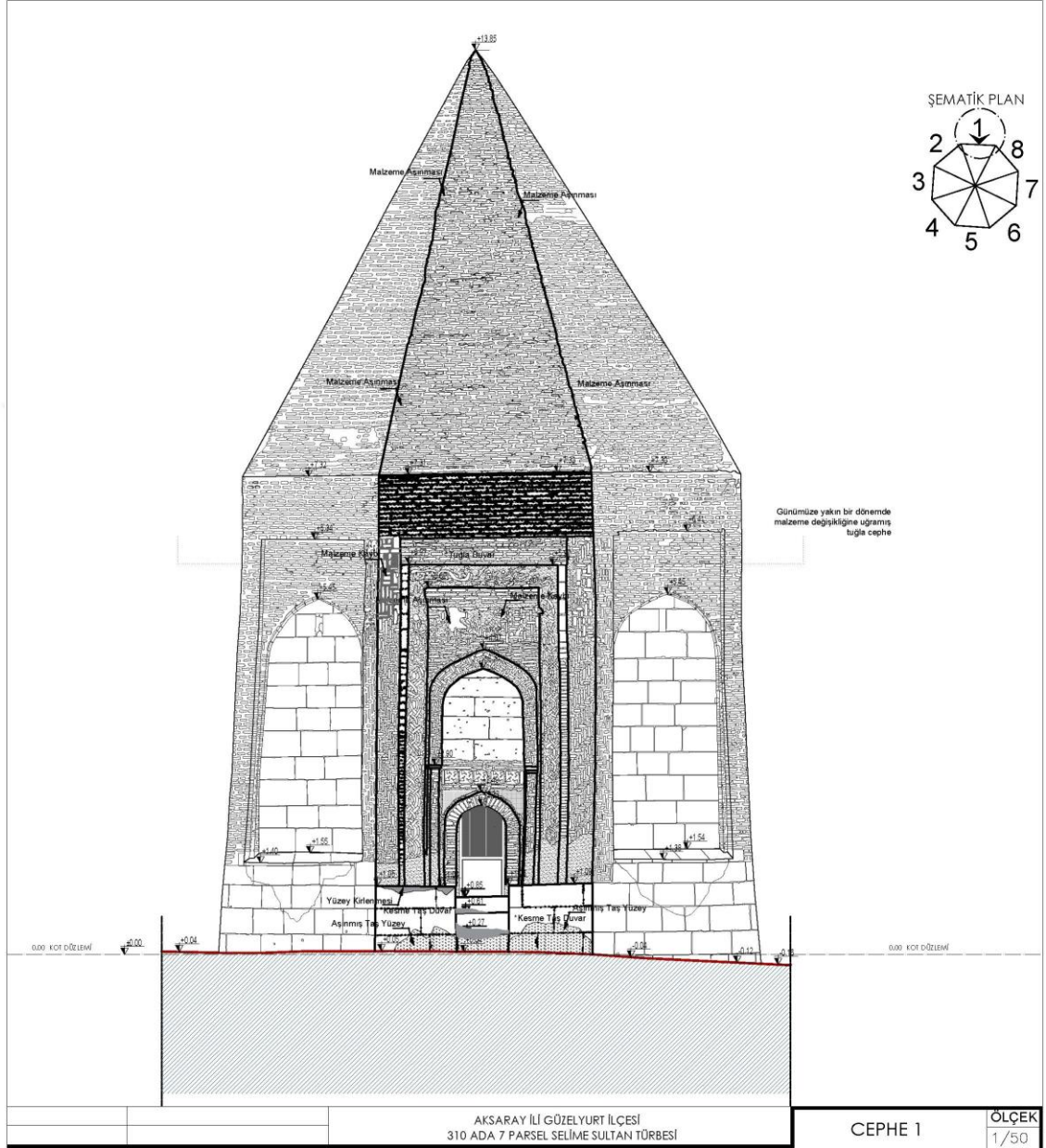


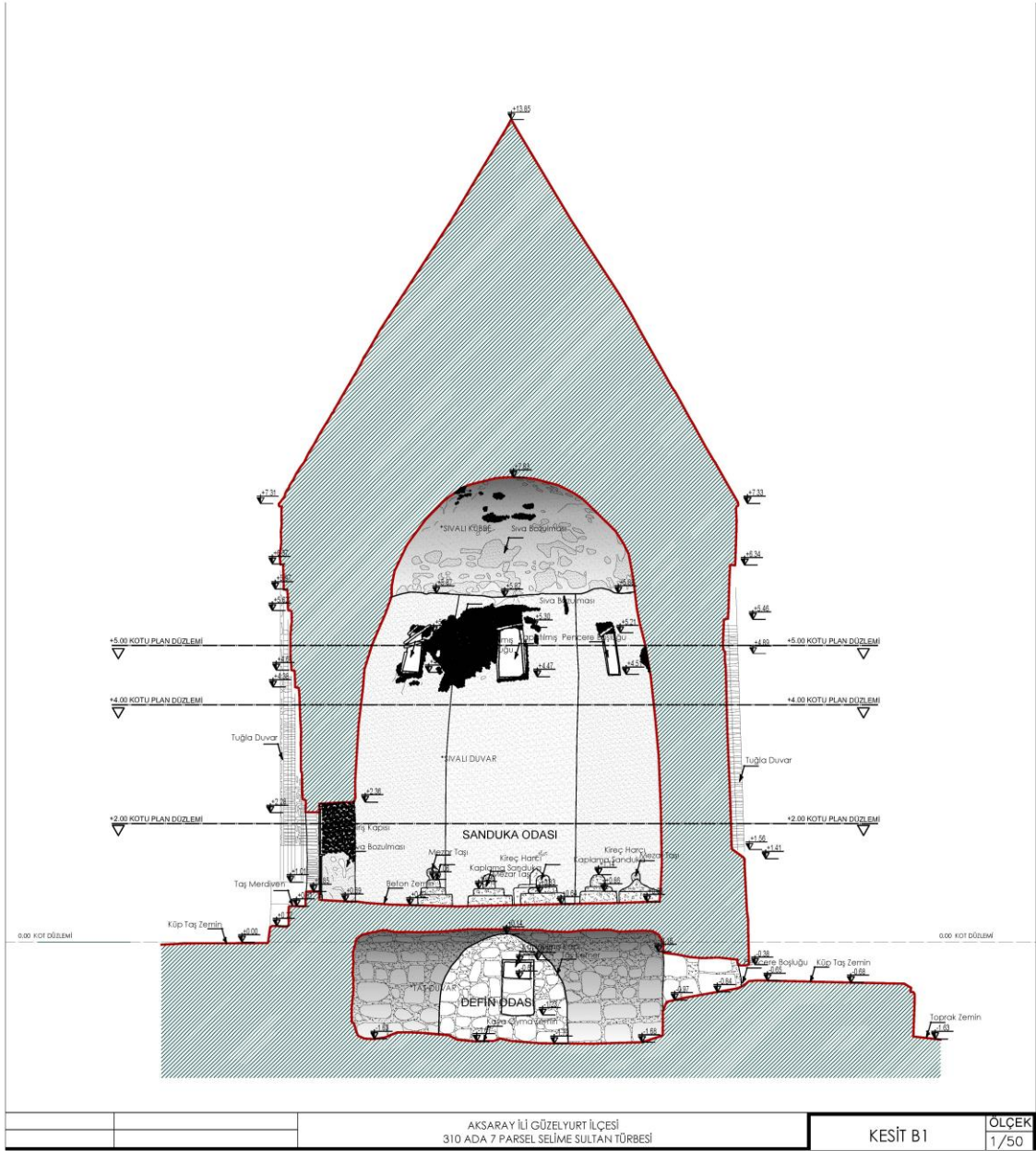


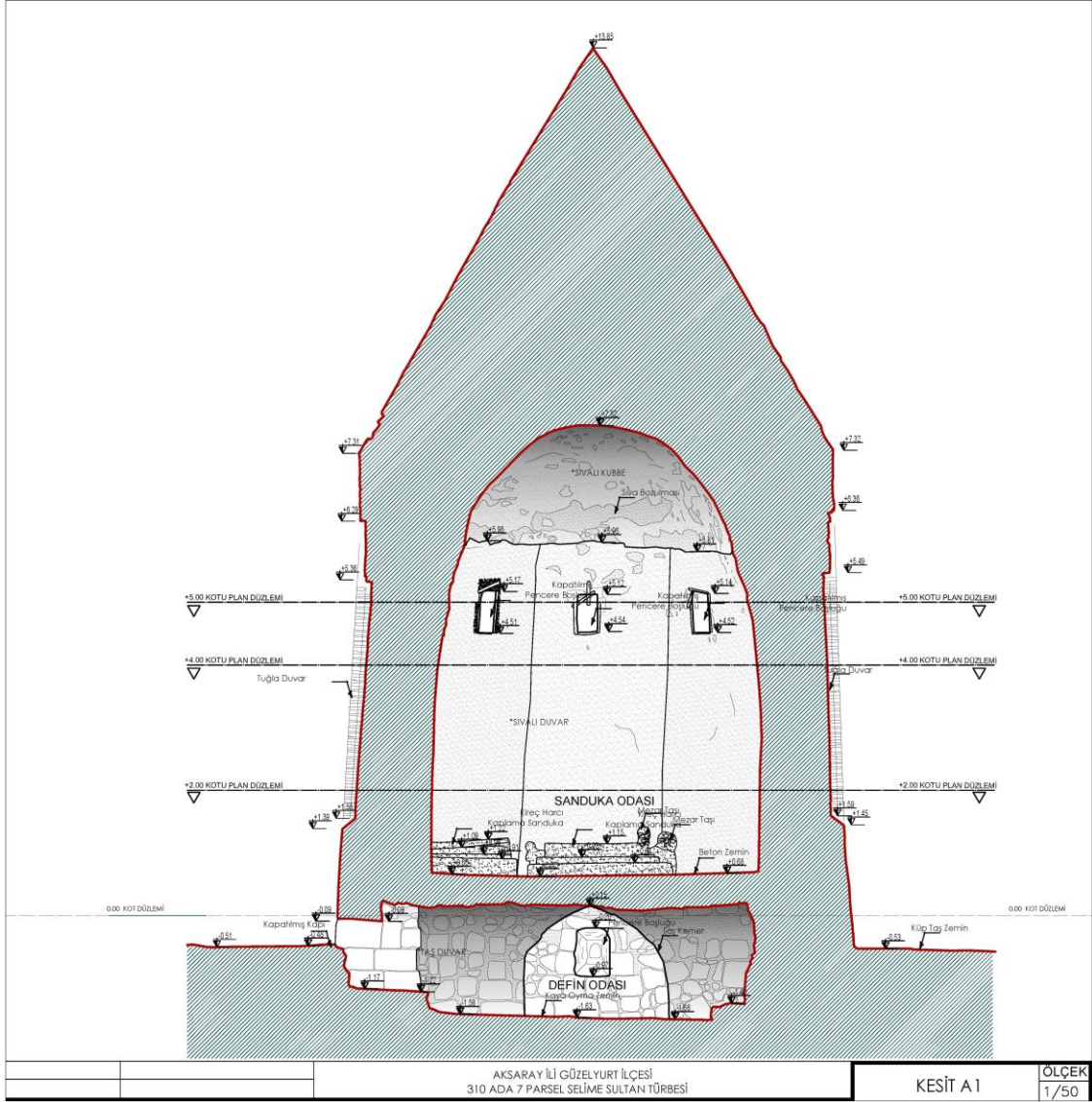


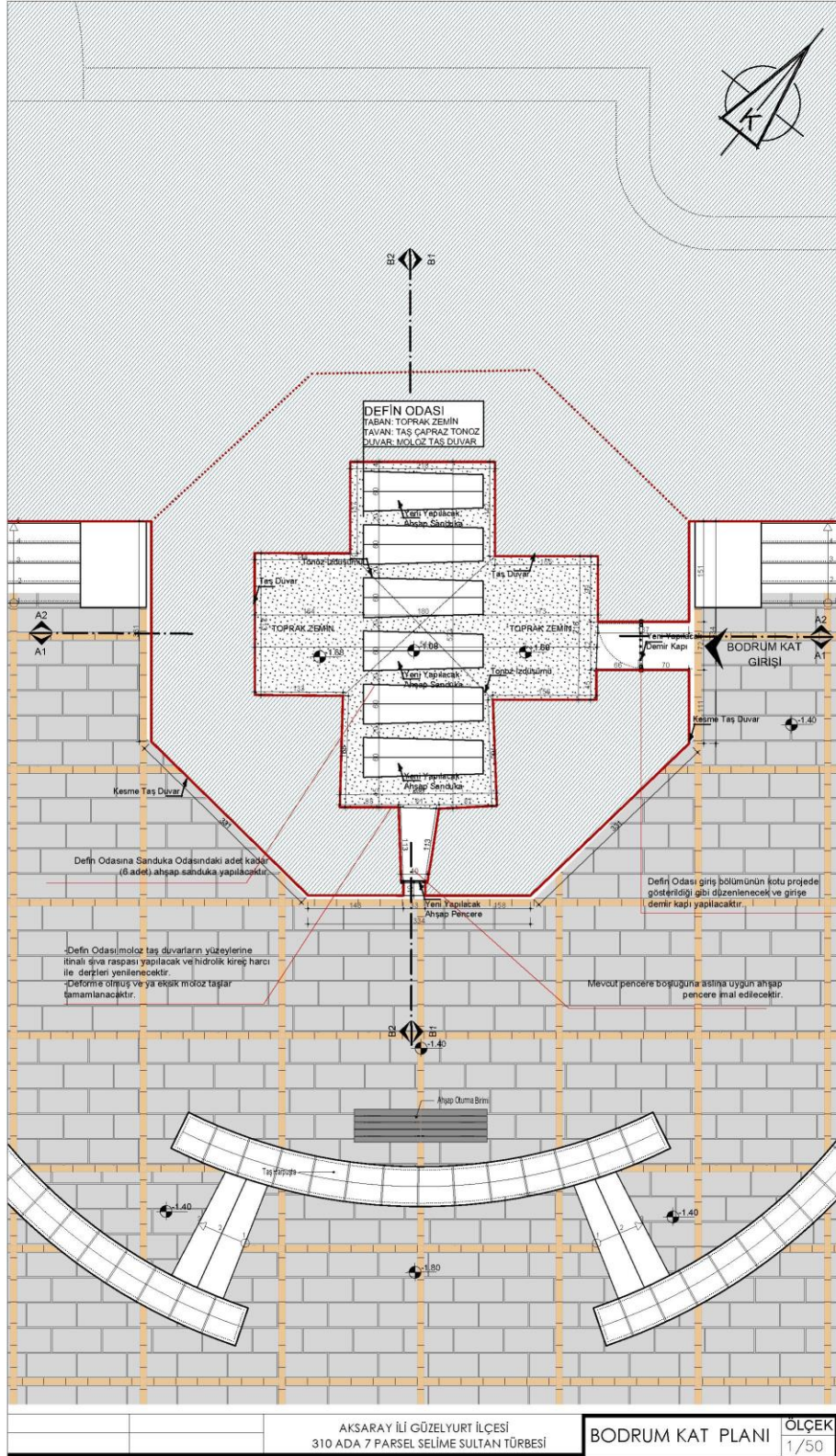


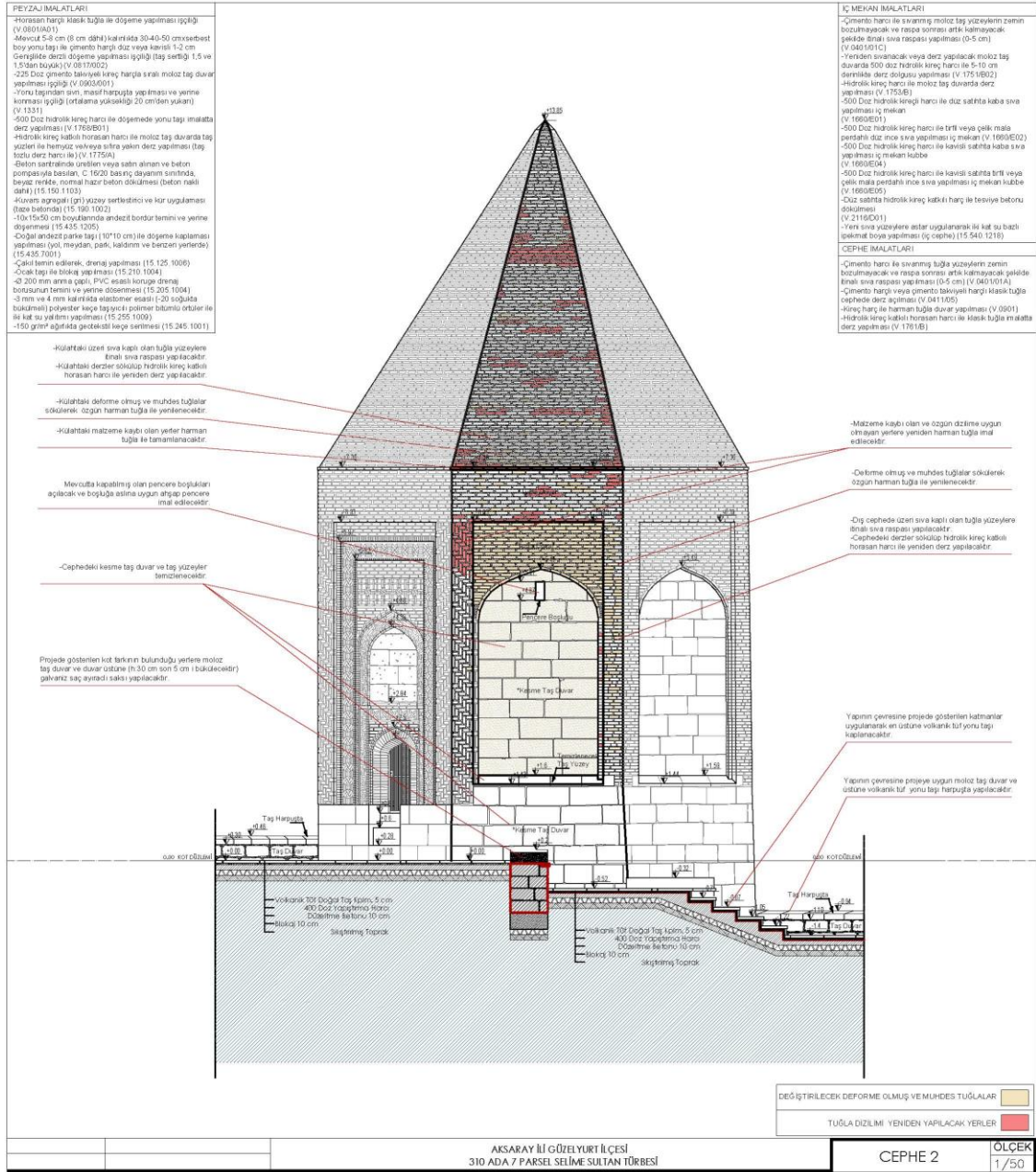




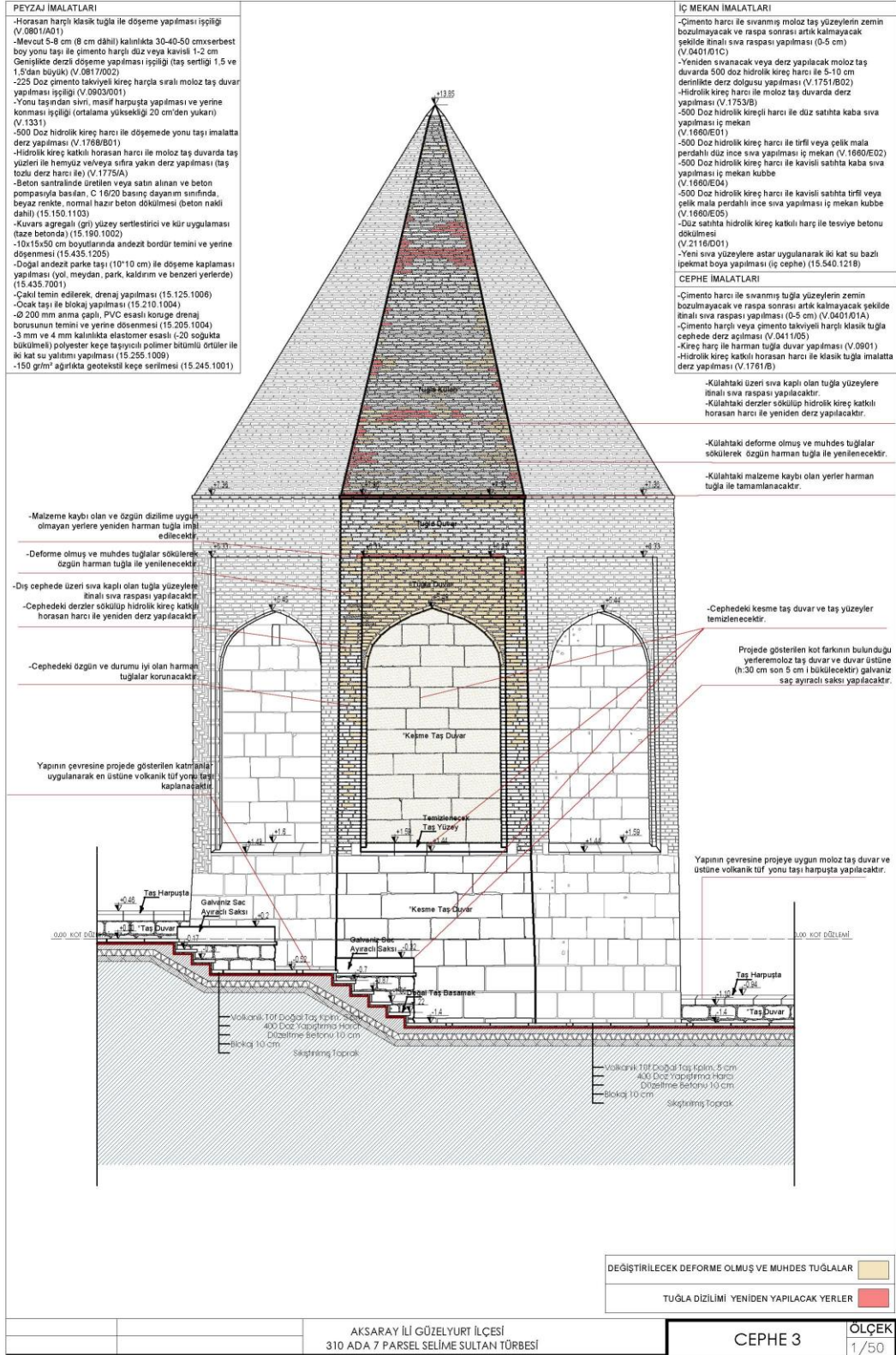


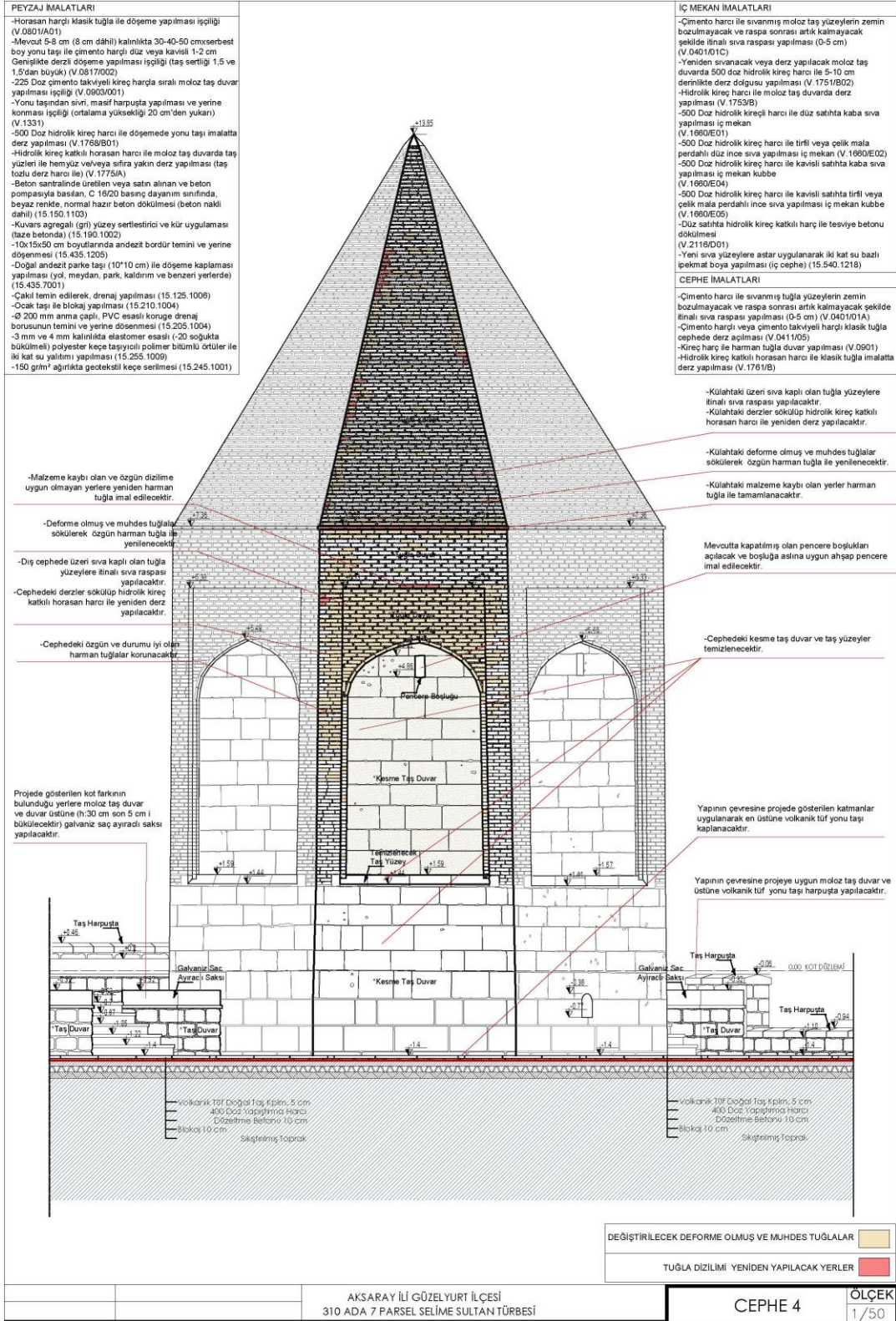


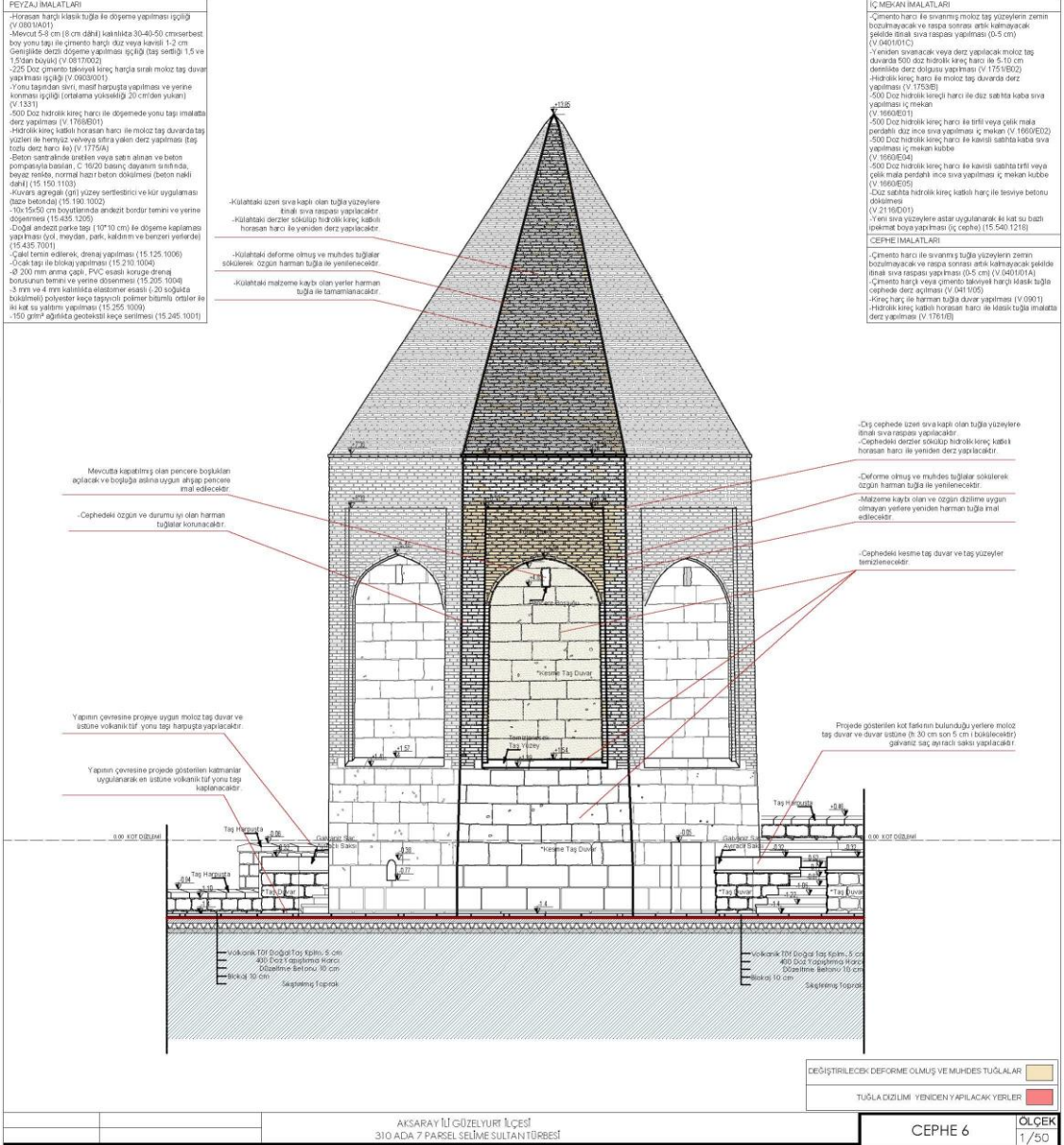


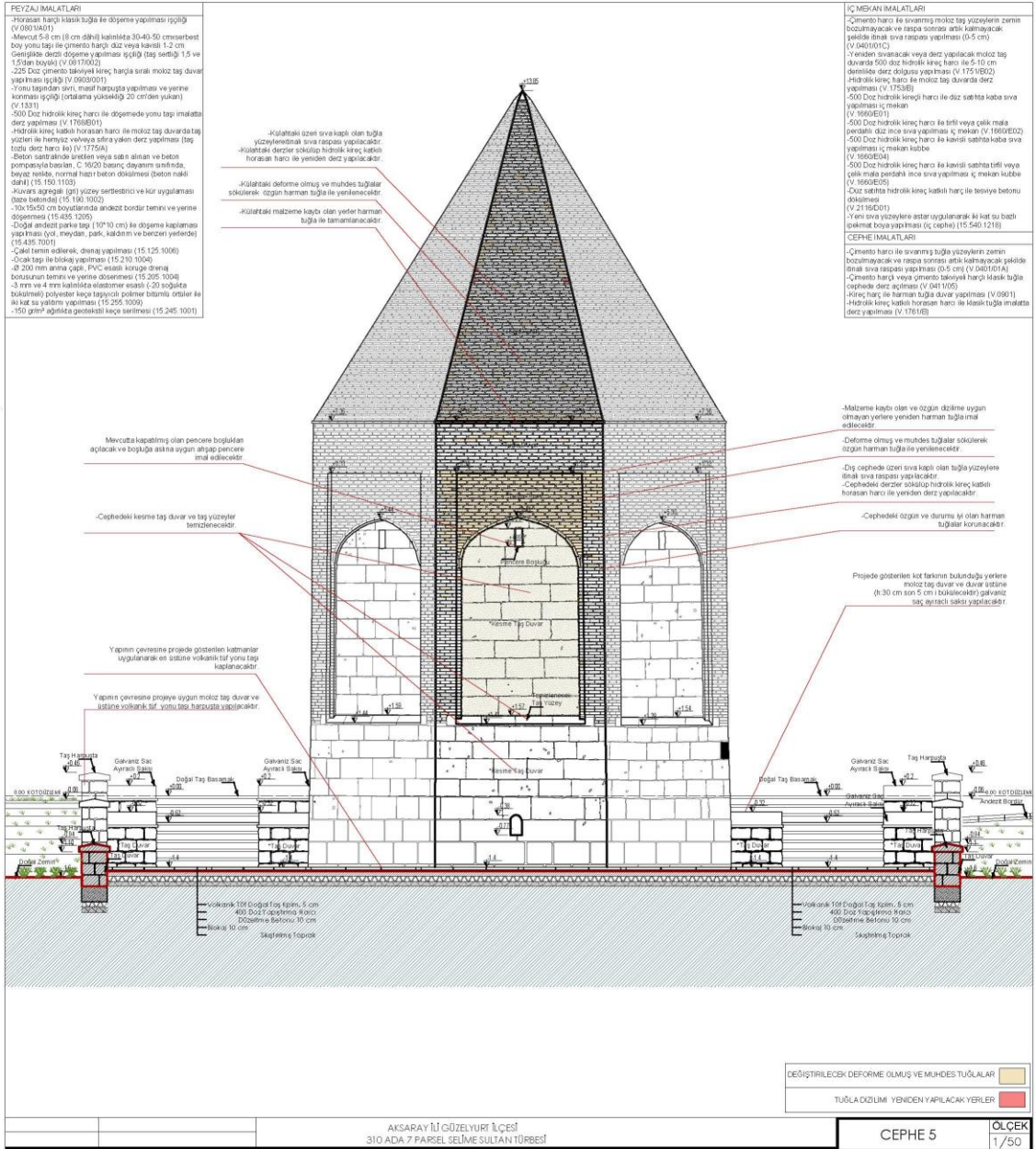


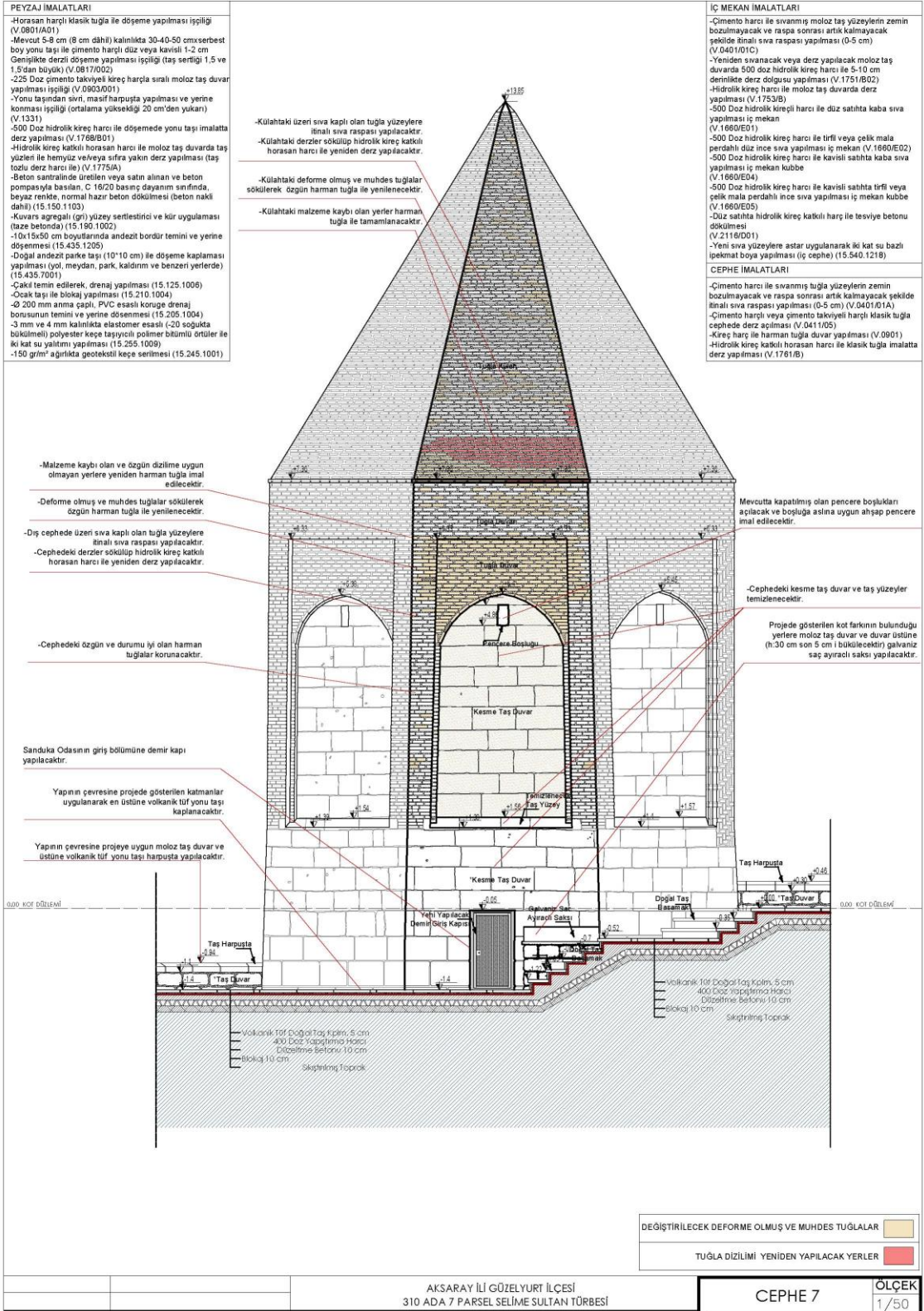






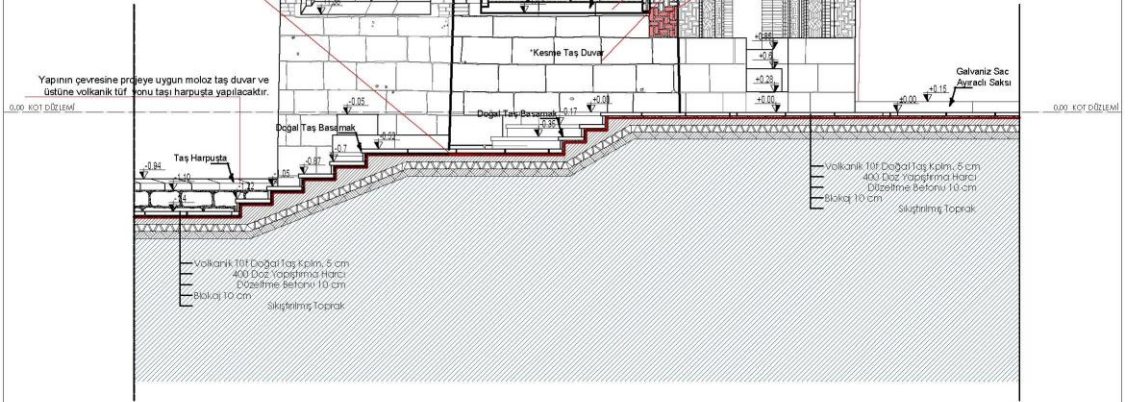






PEYZAJ İMALATLARI
-Horasan harçlı klasik tuğla ile döşeme yapılması işçiliği (V.0801/A01)
-Mevcut 5-8 cm (8 cm dâhil) kalınlıkta 30-40-50 cm serbest boy yonu taşı ile çimento harçlı düz veya kavslı 1-2 cm Genişlikte derz döşeme yapılması işçiliği (taş sertliği 1,5 ve 1,5'dan büyük) (V.0817/002)
-225 Doz çimento takviyeli kireç harçla sıralı moloz taş duvar yapılması işçiliği (V.0903/001)
-Yonu taşından sıvri, masif harpuşa yapılması ve yerine konması işçiliği (ortalama yüksekliği 20 cm'den yukarı) (V.1331)
-500 Doz hidrolik kireç harç ile döşemede yonu taşı imalatında derz yapılması (V.1768/B01)
-Hidrolik kireç katkılı horasan harç ile moloz taş duvarda taş yüzleri ile hemfız veya sıfıra yakın derz yapılması (taş tozlu derz harç ile) (V.1775/A)
-Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 16/20 basınç dayanım sınıfında, beyaz renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil) (15.150.1103)
-Kuvars agregalı (gr) yüzey sertleştirici ve kür uygulaması (taze betonda) (15.180.1002)
-10x15x50 cm boyutlarında andezit bordür temini ve yerine döşemesi (15.435.1205)
-Doğal andezit parke taşı (10*10 cm) ile döşeme kaplaması yapılması (yol, meydan, park, kaldırım ve benzeri yerlerde) (15.435.7001)
-Çakıl temin edilerek, drenaj yapılması (15.125.1006)
-Ocak taşı ile blokaj yapılması (15.210.1004)
-Ø 200 mm anma çapı, PVC esaslı koruyucu drenaj borusunun temini ve yerine döşemesi (15.205.1004)
-3 mm ve 4 mm kalınlıkta elastomer esaslı (-20 soğukta bükülmeli) polyester keçe taşıyıcılı polimer bitümlü örtüler ile iki kat su yalıtım yapılması (15.255.1009)
-150 gr/m <sup>2</sup> ağırlıkta geotekstil keçe serilmesi (15.245.1001)

-Kulahtaki üzeri sıva kaplı olan tuğla yüzeylerindeki sıva raspa yapılacaktır.
-Kulahtaki derzler sökülüp hidrolik kireç katkılı horasan harç ile yeniden derz yapılacaktır.
-Kulahtaki deforme olmuş ve muhdes tuğlalar sökülerek özgün harman tuğla ile yenilenecektir.
-Kulahtaki malzeme kaybı olan yerler harman tuğla ile tamamlanacaktır.
Mevcutta kapatılmış olan pencere boşlukları açılacak ve boşluğa asına uygun ahşap pencere imal edilecektir.
-Cephedeki özgün ve durumu iyi olan harman tuğlalar korunacaktır.
Yapının çevresine projede gösterilen katmanlar uygulanarak en üstüne volkanik tuf yonu taşı kaplanacaktır.
Yapının çevresine projeye uygun moloz taş duvar ve üstüne volkanik tuf yonu taşı harpuşa yapılacaktır.



İÇ MEKAN İMALATLARI
-Çimento harçlı ile sıvanmış moloz taş yüzeylerin zemin bozulmayacak ve raspa sonrası artık kalmayacak şekilde itinalı sıva raspa yapılması (0-5 cm) (V.0401/01C)
-Yeniden sıvanacak veya derz yapılacak moloz taş duvarda 500 doz hidrolik kireç harç ile 5-10 cm deriminde derz dolgusu yapılması (V.1751/B02)
-Hidrolik kireç harç ile moloz taş duvarda derz yapılması (V.1753/B)
-500 Doz hidrolik kireç harç ile düz sahitna kaba sıva yapılması iç mekan (V.1680/E01)
-500 Doz hidrolik kireç harç ile tırfı veya çelik mala perdahlı düz ince sıva yapılması iç mekan kubbe (V.1680/E02)
-500 Doz hidrolik kireç harç ile kavslı sahitna kaba sıva yapılması iç mekan kubbe (V.1680/E04)
-500 Doz hidrolik kireç harç ile kavslı sahitna tırfı veya çelik mala perdahlı ince sıva yapılması iç mekan kubbe (V.1680/E05)
-Düz sahitna hidrolik kireç katkılı harç ile tesviye betonu dökülmesi (V.2116/D01)
-Yeni sıva yüzeylere astar uygulanarak iki kat su bazlı ipkemat boya yapılması (iç cephe) (15.540.1218)

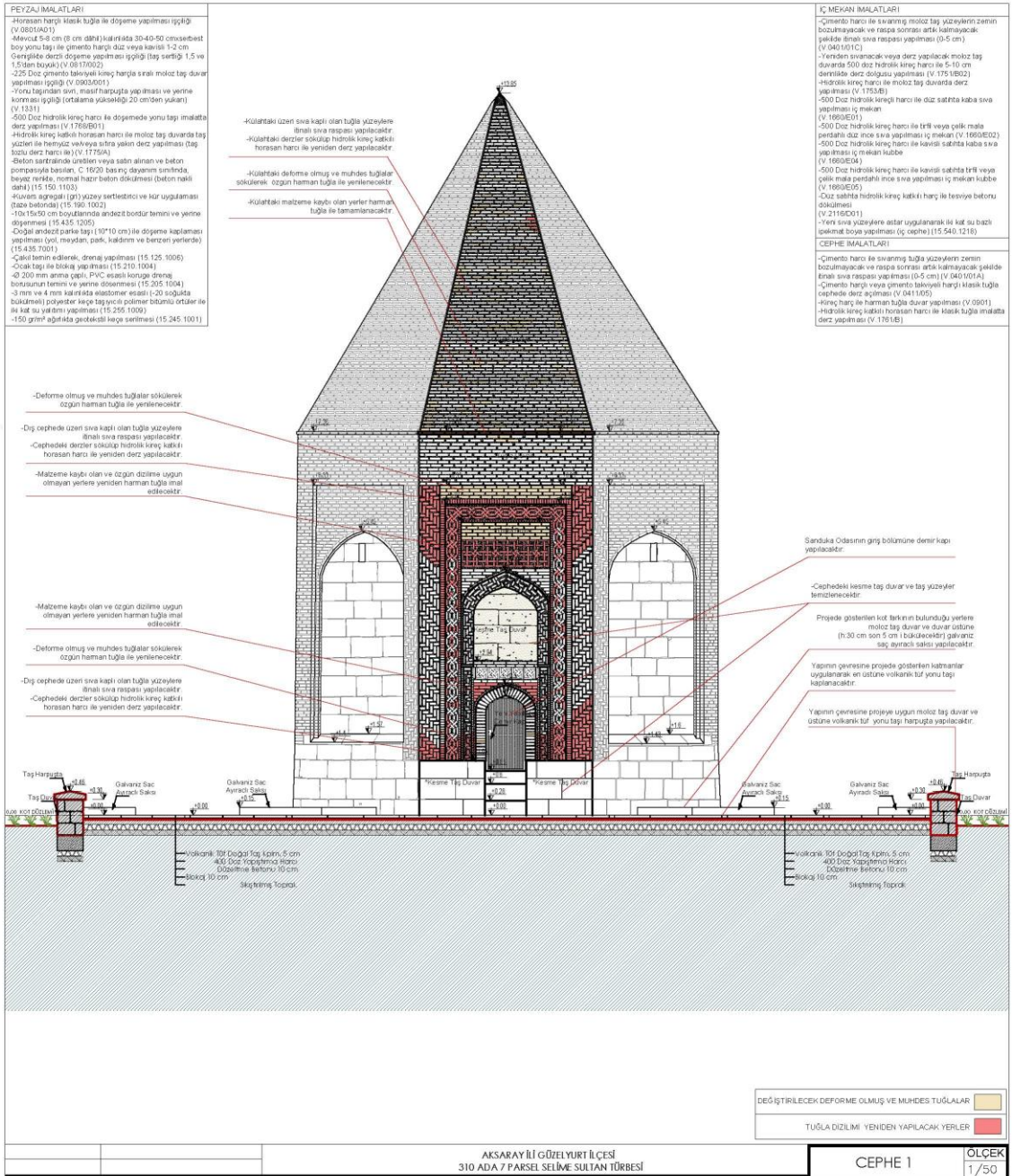
CEPHE İMALATLARI
-Çimento harçlı ile sıvanmış tuğla yüzeylerin zemin bozulmayacak ve raspa sonrası artık kalmayacak şekilde itinalı sıva raspa yapılması (0-5 cm) (V.0401/01A)
-Çimento harçlı veya çimento takviyeli harçlı klasik tuğla cephe derz açılması (V.0411/05)
-Kireç harç ile harman tuğla duvar yapılması (V.0901)
-Hidrolik kireç katkılı horasan harç ile klasik tuğla imalatında derz yapılması (V.1761/B)
-Dış cephe üzeri sıva kaplı olan tuğla yüzeyler itinalı sıva raspa yapılacaktır.
-Cephedeki derzler sökülüp hidrolik kireç katkılı horasan harç ile yeniden derz yapılacaktır.
-Deforme olmuş ve muhdes tuğlalar sökülerek özgün harman tuğla ile yenilenecektir.
-Malzeme kaybı olan ve özgün dizilime uygun olmayan yerlere yeniden harman tuğla imal edilecektir.
-Cephedeki kesme taş duvar ve taş yüzeyler temizlenecektir.
-Malzeme kaybı olan ve özgün dizilime uygun olmayan yerlere yeniden harman tuğla imal edilecektir.
Projede gösterilen kot farkının bulunduğu yerlere moloz taş duvar ve duvar üstüne 10-30 cm son 5 cm bükülecektir. Galvaniz sac ağızları sakısı yapılacaktır.

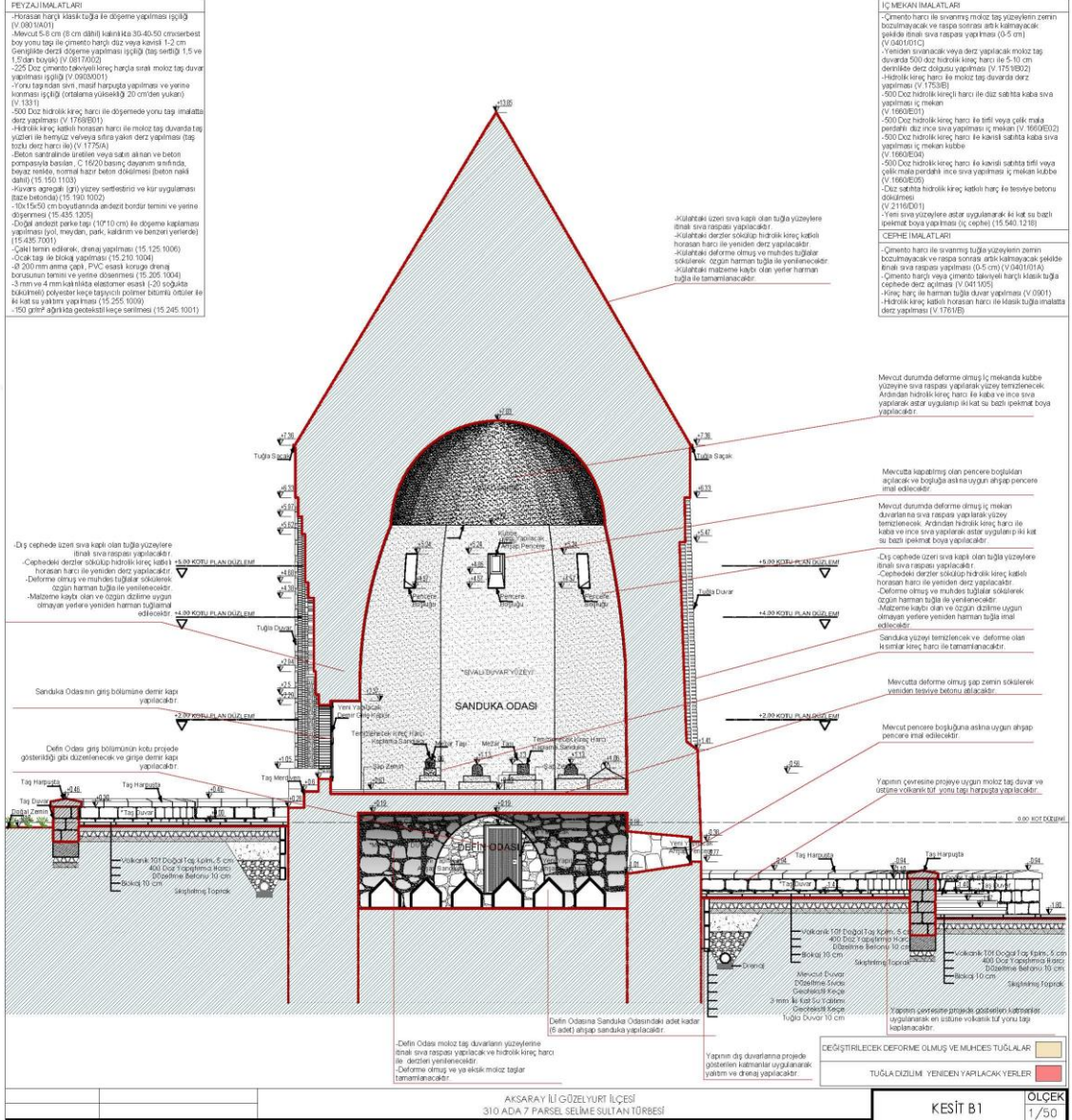
DEĞİŞTİRİLECEK DEFORME OLMUŞ VE MUHDES TUĞLALAR
TUĞLA DIZILIMI YENİDEN YAPILACAK YERLER

AKSARAY İLİ GÜZELYURT İLÇESİ  
310 ADA 7 PARSEL SELİME SULTAN TÜRBESİ

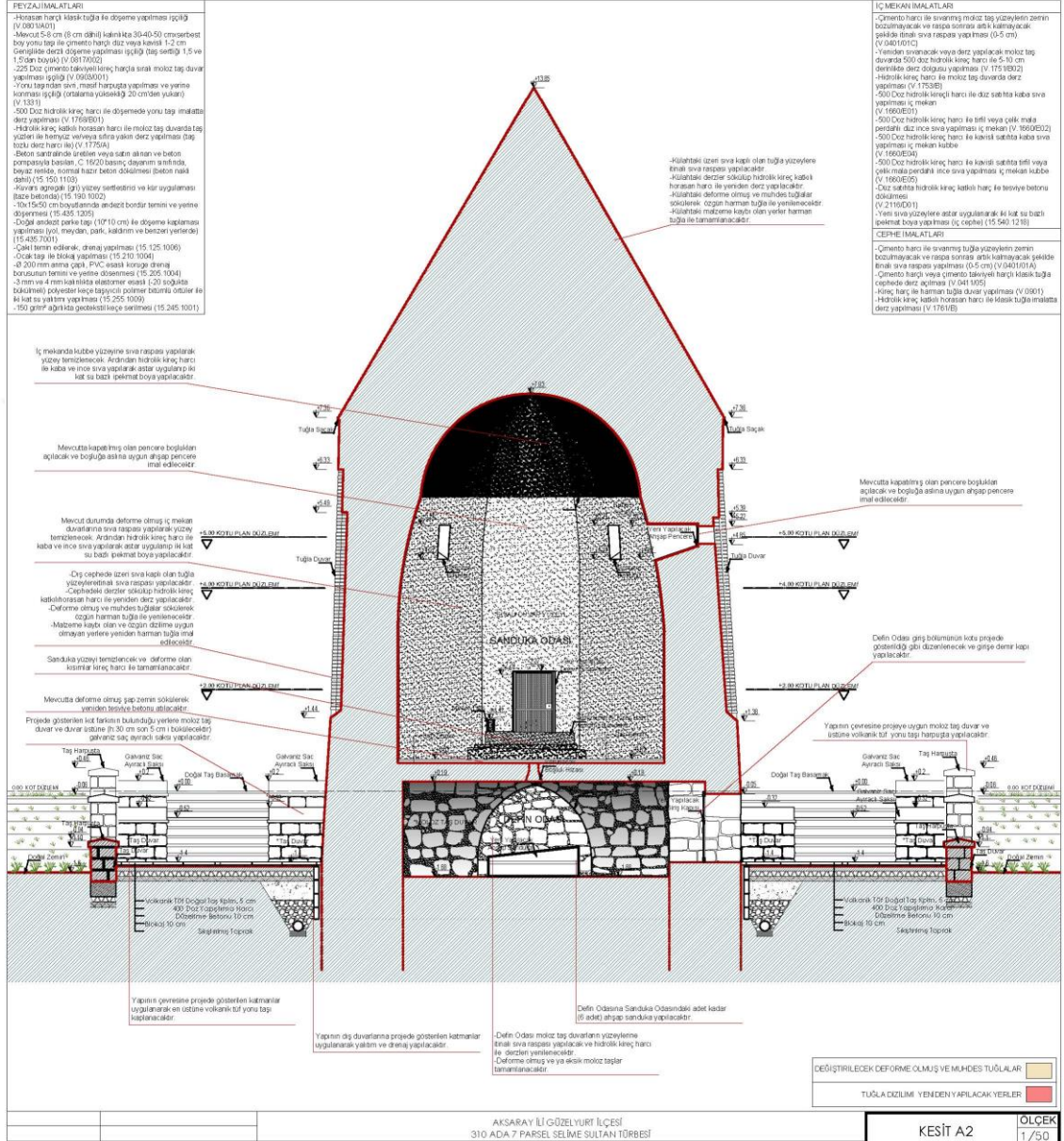
CEPHE 8

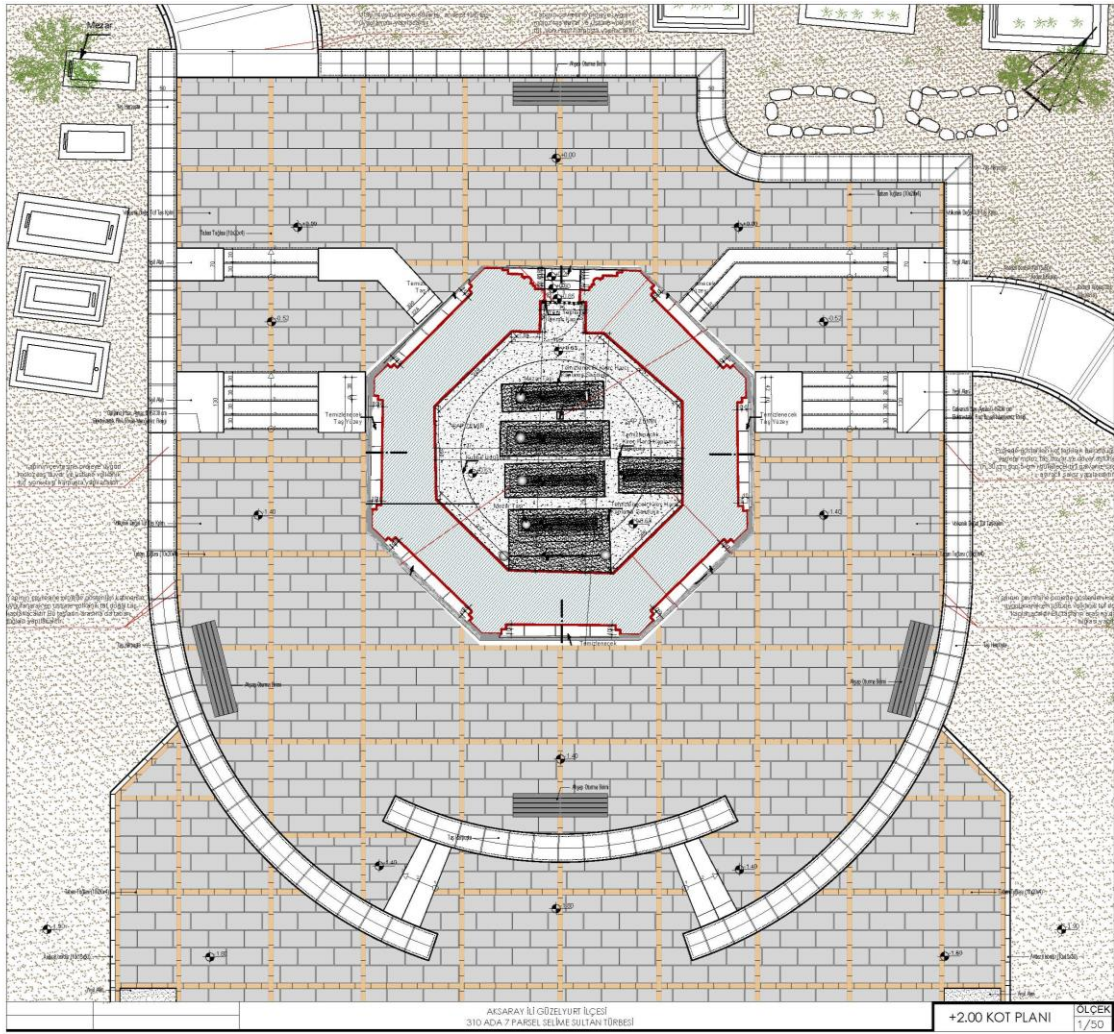
ÖLÇEK  
1/50

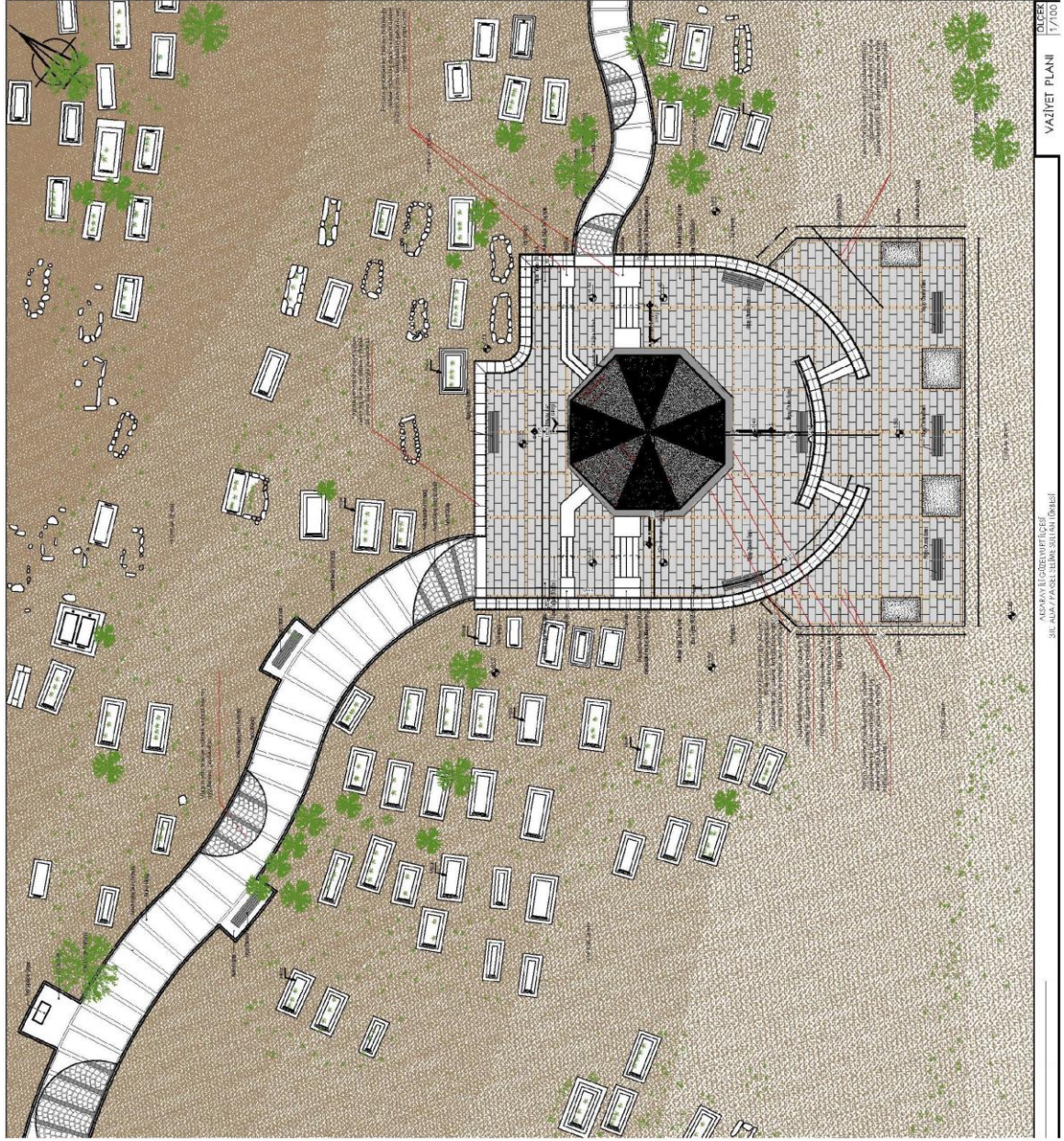


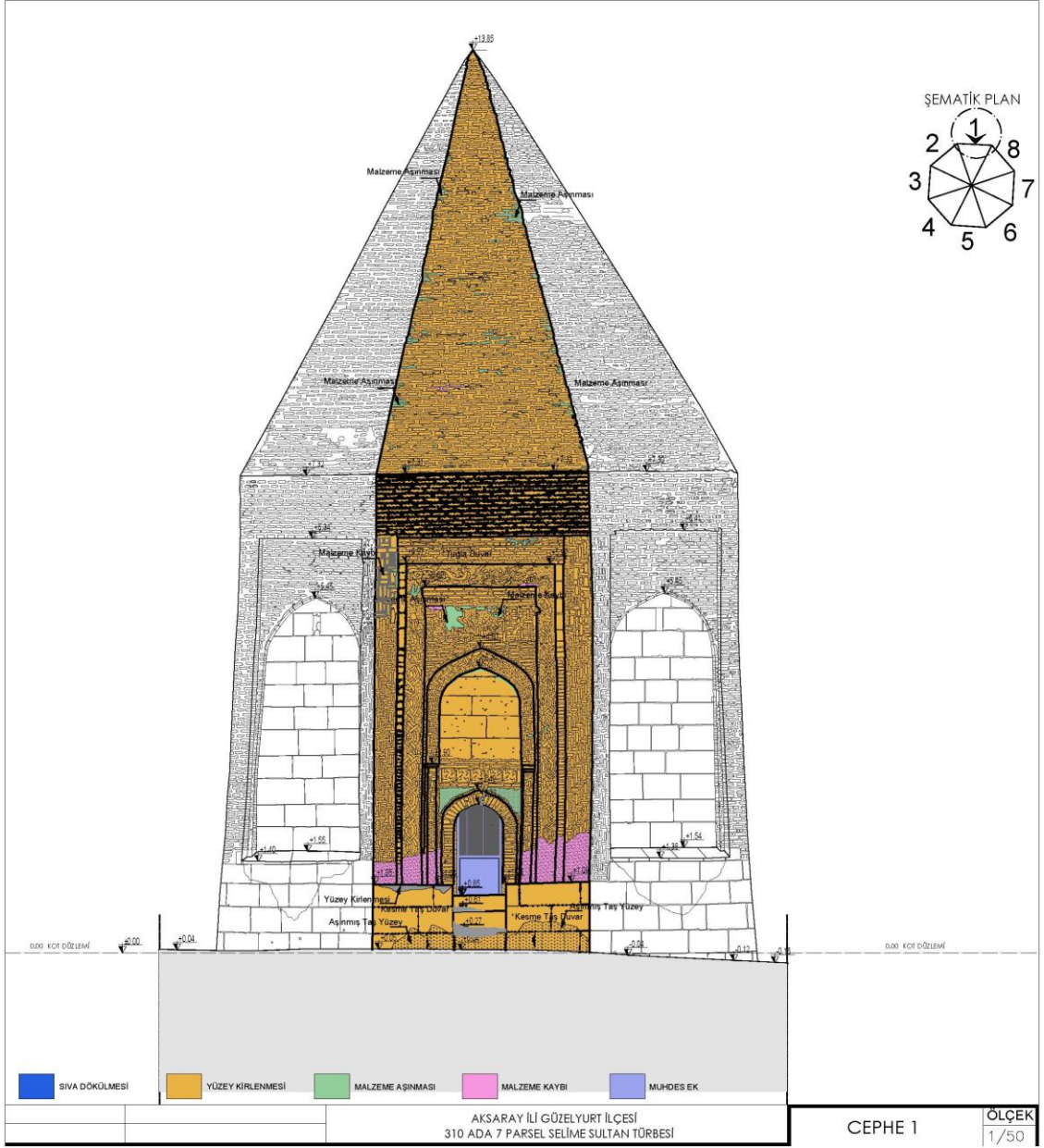








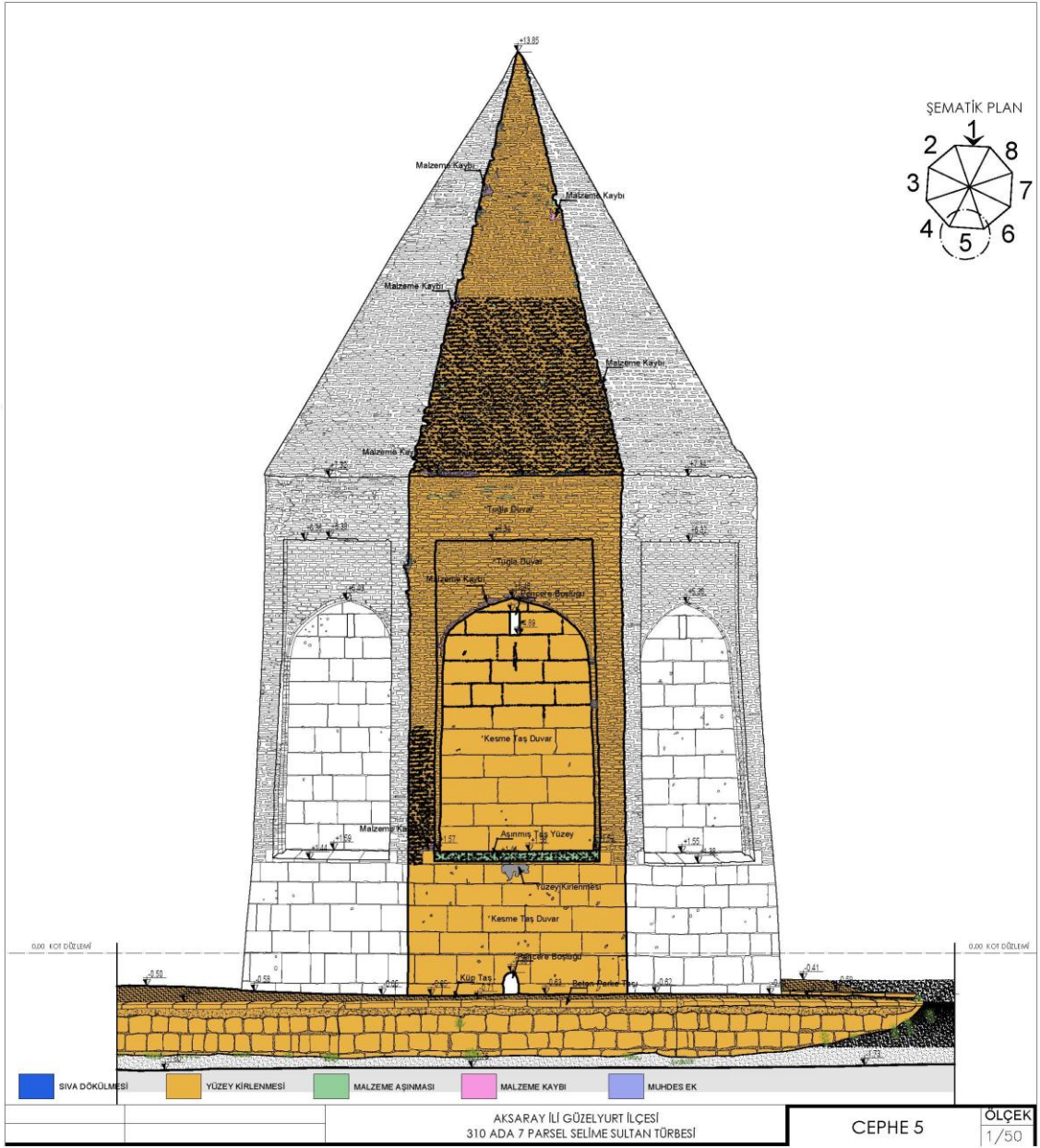




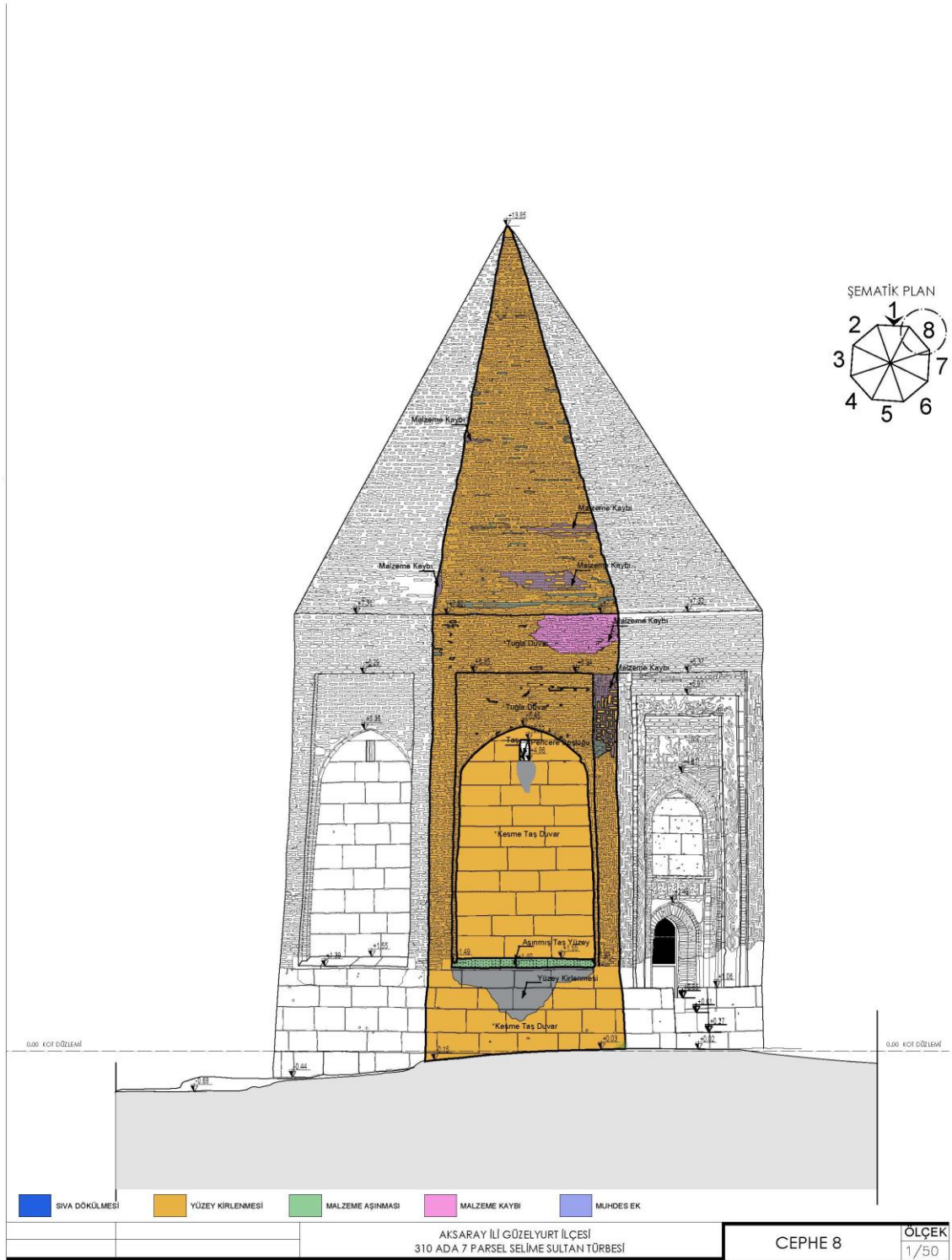


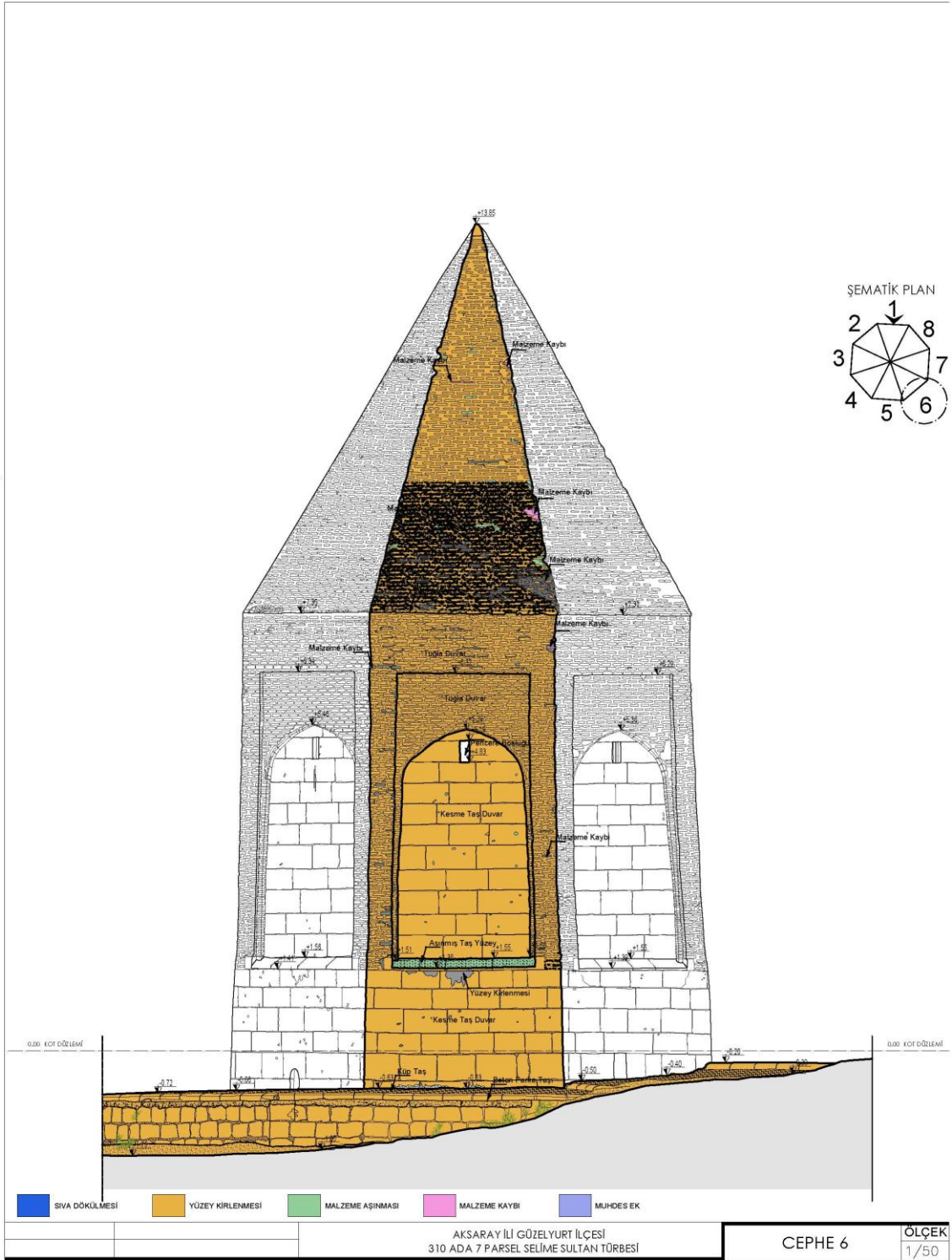


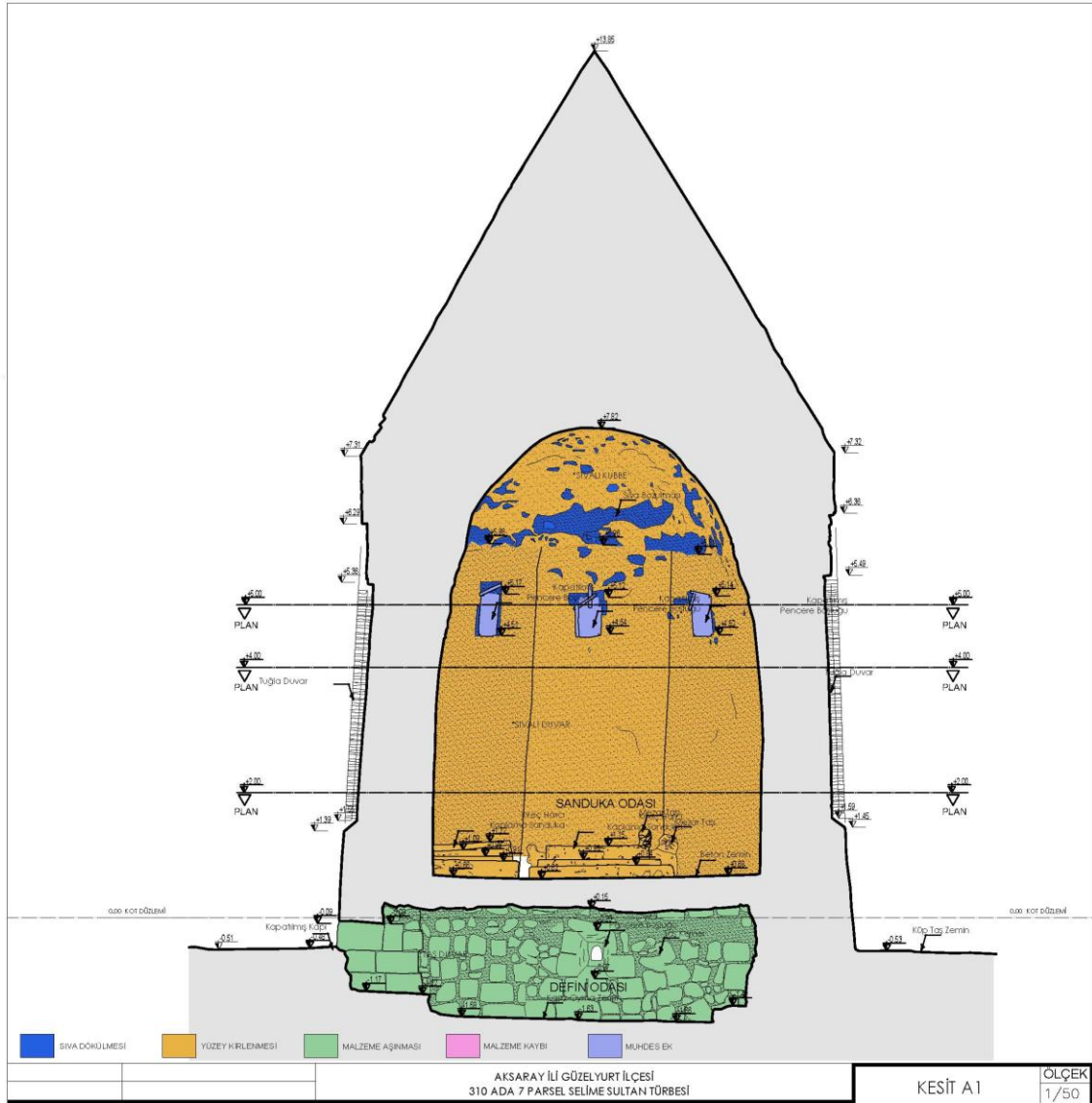


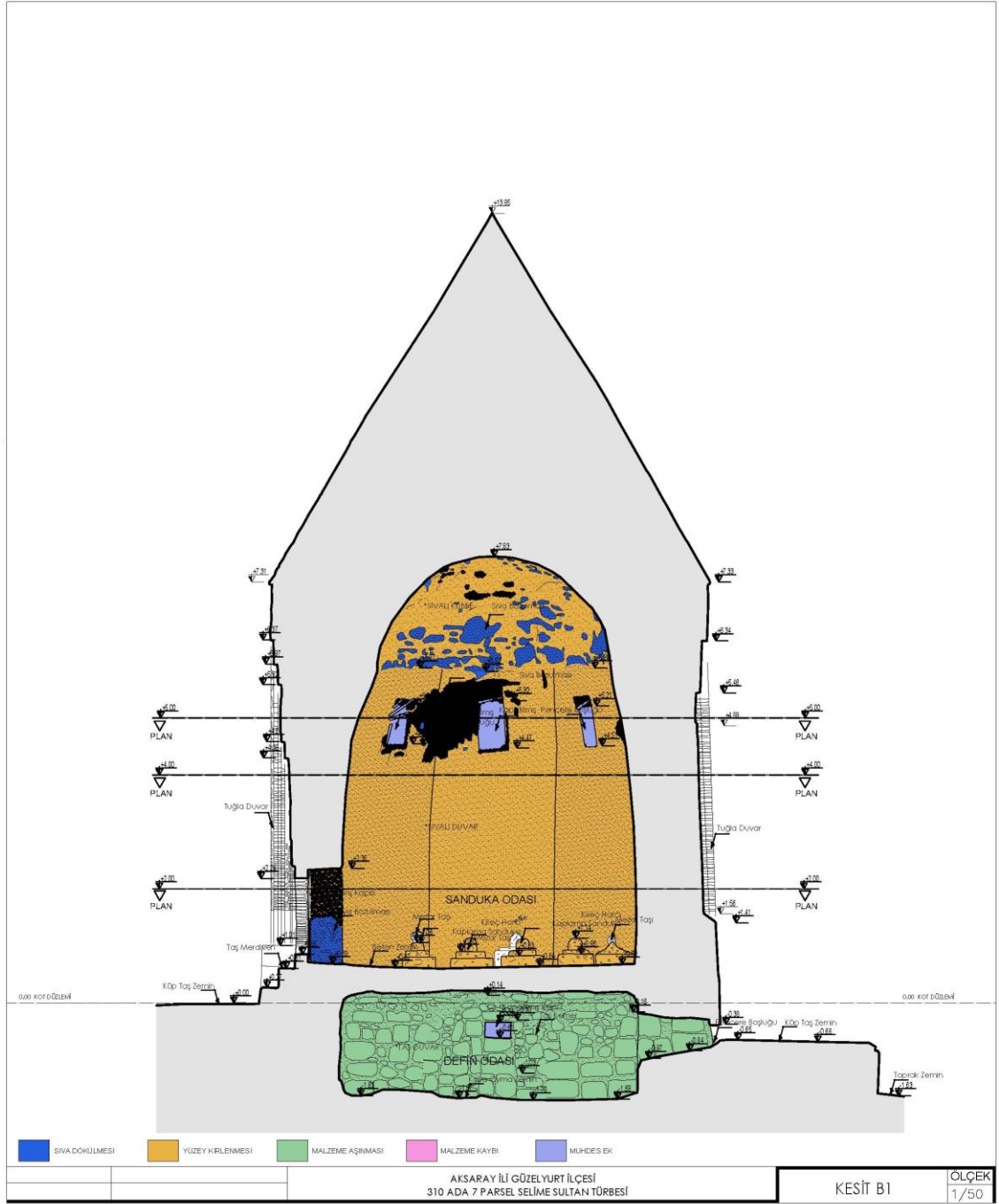


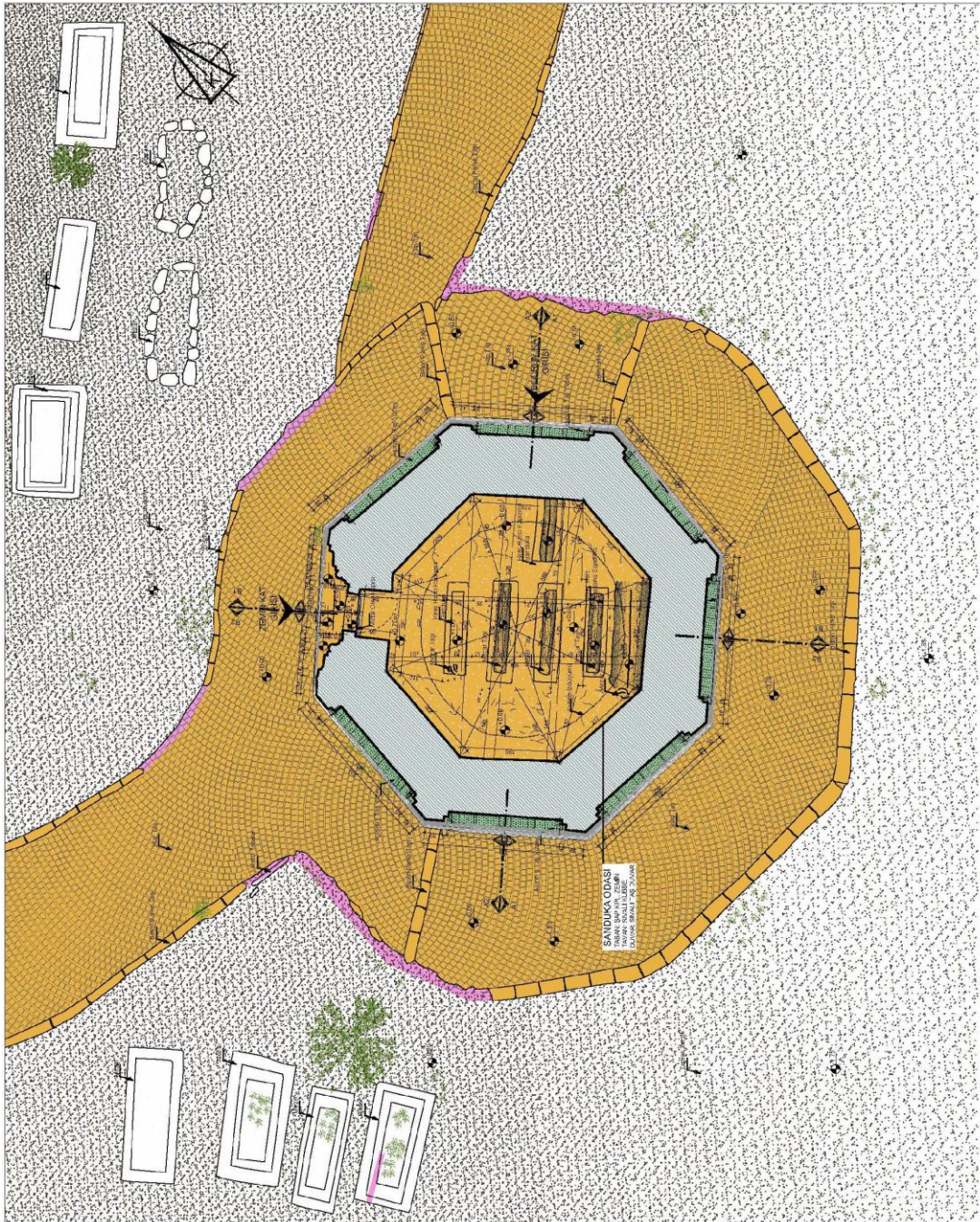










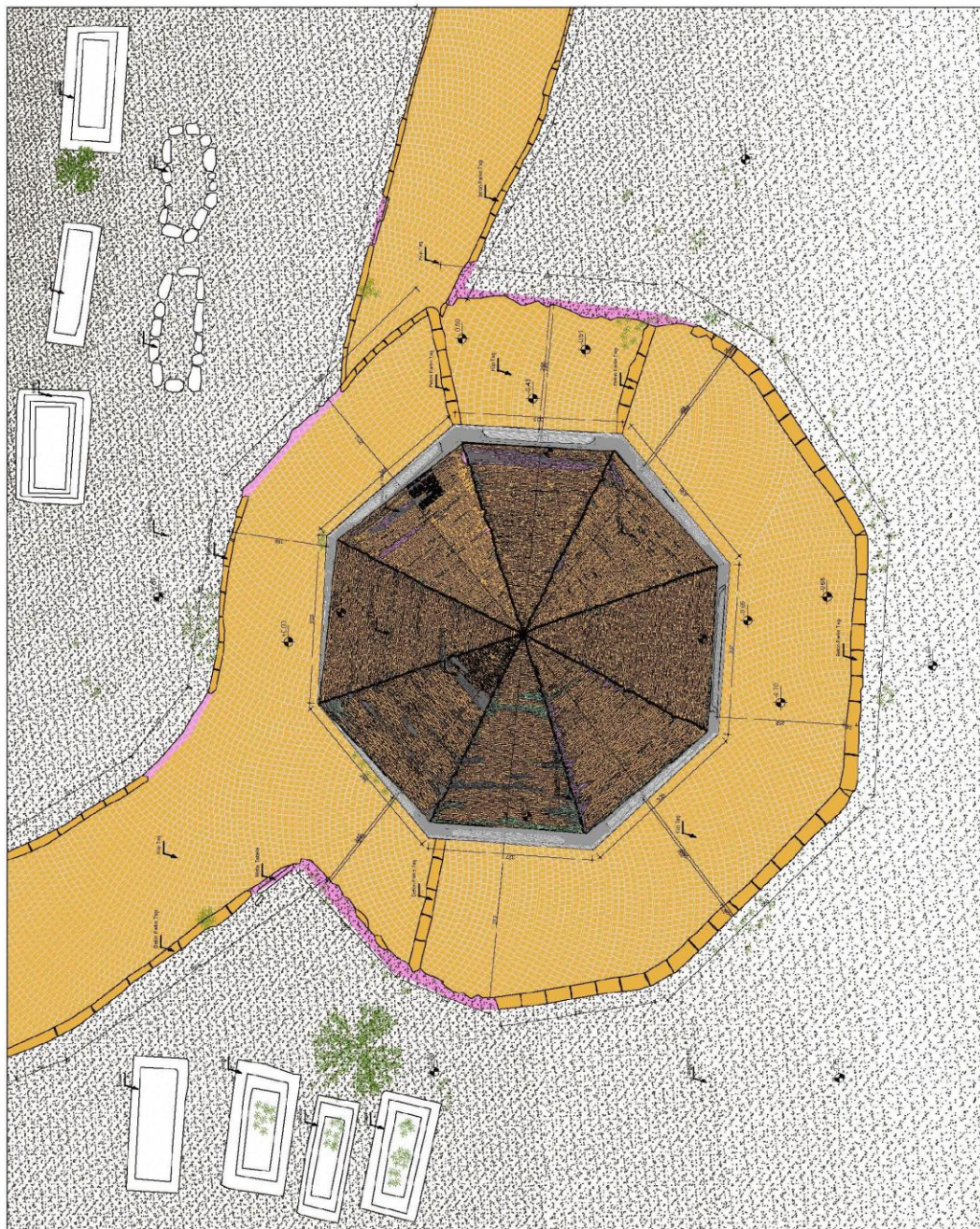


**LEGJENDA**

- HALIMAH PAVILION
- RUMAH KUNCI
- HALIMAH SPASIAL
- HALIMAH OVER
- HALIMAH

**ASAPAK - 11 GIZEL YURT IÇESİ**  
 310 ADA 7 PARSEL BELMELULIAN DİREKSİ

**ÖLÇEK**  
 42.00 KOT PLANI  
 1/50



- (Yellow) TRAVEL (PFLASTERUNG)
- (Pink) MAZURNE (WEG)
- (Blue) MAZURNE (WEG)
- (Green) MAZURNE (WEG)
- (Purple) MAZURNE (WEG)