



**MİMARİ MODEL ÜRETİMİNDE  
İLERİ TEKNOLOJİ  
YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Serhan TUNCER**

**Eskişehir, 2019**

**MİMARİ MODEL ÜRETİMİNDE İLERİ TEKNOLOJİ  
YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**Serhan TUNCER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Uğur AVDAN**

**Eskişehir**

**Eskişehir Teknik Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Ocak 2019**

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Serhan TUNCER'in "Mimari Model Üretiminde İleri Teknoloji Yöntemlerinin Karşılaştırılması" başlıklı tezi 10/01/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

<u>Jüri Üyeleri</u>	<u>Unvanı Adı Soyadı</u>	<u>İmza</u>
Üye (Tez Danışmanı)	: Doç. Dr. Uğur AVDAN	.....
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Hakan UYGUÇGİL	.....
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Resul ÇÖMERT	.....

**Prof.Dr. Ersin YÜCEL**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü**

## ÖZET

### MİMARİ MODEL ÜRETİMİNDE İLERİ TEKNOLOJİ YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Serhan TUNCER

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ocak, 2019

Danışman: Doç. Dr. Uğur AVDAN

Bu çalışmada ileri teknoloji yöntemlerinden yersel lazer tarama, hava fotogrametrisi ve yersel fotogrametri kullanılarak, analiz yöntemlerinin ihtiyaç duyduğu farklı yapılardaki katı model üretimleri için en etkili yöntemin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında Eskişehir Odunpazarı ilçesinde bulunan Kurşunlu Külliye camisinin, konvansiyonel yöntemlerle ölçülerek çizilmiş plan ve kesitlerinden faydalanılarak oluşturulacak katı modelin yanı sıra ileri teknoloji yöntemler kullanılarak analize uygun katı model üretiminde en etkili yöntem araştırılmıştır. Çalışma sonucunda yapının yayınlanmış çizimlerinde analiz sonuçlarını etkileyecek hatalar bulunmuştur. Bu hataların bazılarının genel olarak literatürde tekrarlandığı görülmüş ve kubbeli yapı çiziminde bazı mimari elemanların eksik ve yanlış gösterildiği ortaya konulmuştur. Çalışma kapsamında değerlendirilen analiz yöntemlerinin ihtiyaçlarına yönelik etkili belgeleme yöntemleri avantaj ve dezavantajları ile birlikte değerlendirilerek analiz türlerine göre etkin yöntem önerilerinde bulunulmuştur.

**Anahtar Sözcükler:** Yersel lazer tarama, İnsansız hava aracı, Fotogrametri, Mimari model üretimi.

## ABSTRACT

### COMPARISON OF ADVANCED TECHNOLOGY METHODS IN THE CREATION OF ARCHITECTURAL MODELS

Serhan TUNCER

Department of Remote Sensing and Geographical Information Systems

Eskişehir Technical University, Graduate School of Sciences, January, 2019

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Uğur AVDAN

This study aims to determine the most efficient method for the creation of solid models of varying structures that are required by methods of analysis by utilizing advanced technology tools such as terrestrial laser scanning, aerial photogrammetry and terrestrial photogrammetry. Within the scope of the study, along with solid models to be created by making use of plans and cross-sections sketched based on conventional measurement techniques of the Külliye mosque in Odunpazarı, Eskişehir, the objective was to determine the most efficient technique to be used for the creation of solid models in adherence with the analysis carried out by using advanced technology methods. As a result of the study, errors were identified in the published sketches of the structure which inevitably affect the outcome of analyses. It has been noted that some of these errors have been repeated in literature and that sketches of dome structures present certain architectural elements in an incomplete or inaccurate manner. Efficient documentation methods serving the needs of the methods of analysis evaluated within the scope of the study have been assessed both in terms of their advantages and disadvantages; and efficient methods have been suggested according to the nature of the analysis.

**Keywords:** Terrestrial laser scanner, Unmanned aerial vehicle, Photogrammetry, Architectural model production.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde desteğini paylaşan tez danışmanım Doç. Dr. Uğur AVDAN'a, çalışma boyunca bilgi ve desteklerini her koşulda sunan Dr. Öğr. Üyesi Hakan UYGUÇGİL ve Dr. Öğr. Üyesi Resul ÇÖMERT'e, çalışma sürecinde saat sınırı olmadan beraber çalıştığımız, fikir ve mimari çizimleriyle destek olan Hacer YÜKSELİR'e, uzun çalışma saatlerine beraber dayanarak yükümü paylaşan arkadaşlarım Buse BALOĞLU ve H. Celil YELKEN'e bu süreçteki katkıları nedeniyle teşekkürü borç bilirim.

Tüm zorlu süreçlerde maddi, manevi desteğiyle yanımda olduğunu daima hissettiğim, sorunlara karşı dik durarak pes etmemi sağlayan Setenay ŞEKERCİOĞLU'na, sonu gelmeyen eğitim hayatımda değişmez şekilde bana destek olmuş, araştırma ve çalışma hayatıma devam etmem için ellerinden gelenin fazlasını yapan, maddi, manevi desteklerinin yanı sıra bilgi birikim ve tecrübeleriyle beni yönlendiren ailem; babam Orhan, annem Feyhan ve ablam Dr. Nihan TUNCER'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Serhan TUNCER

Şubat 2019

## **ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ**

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

BAŞLIK SAYFASI.....	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	Error! Bookmark not defined.
ÖZET .....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR .....	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ .....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLolar DİZİNİ .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	1
2. ANALİZ İÇİN MODELLEME .....	2
2.1. Rölöveye Yönelik Belgeleme .....	2
2.2. Akustik Analiz İçin Model Üretimi.....	4
2.3. Statik Analiz İçin Model Üretimi .....	5
2.4. Yapı İçi Gün Işığı Analizi İçin Model Üretimi.....	6
3. ÇALIŞMA ALANI .....	8
4. MATERYAL .....	11
4.1. Yersel Lazer Tarayıcı.....	11
4.2. İnsansız Hava Aracı.....	12
4.3. Fotoğraf Makinası .....	12
4.4. Çalışmada Kullanılan Bilgisayar ve Yazılımlar.....	13
5. UYGULAMA .....	14
5.1. Yersel Lazer Tarayıcı ile Belgeleme .....	14
5.1.1. Ofis çalışması .....	18



5.2. İnsansız Hava Aracı ile Belgeleme .....	20
5.2.1. Ofis çalışması .....	22
5.3. Fotoğraf Makinası ile Belgeleme .....	24
5.3.1. Ofis çalışması .....	24
6. ELDE EDİLEN SONUÇ ÜRÜNLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	29
6.1. Ölçüm Sonuçlarının Doğruluklarının Kontrol Edilmesi .....	29
6.2. Rölöve İçin Ortofoto Üretimi .....	30
6.2.1. Yersel lazer tarayıcı verisi ile üretilmiş ortofoto .....	31
6.2.2. İnsansız hava aracı verisi ile üretilmiş ortofoto .....	32
6.2.3. Fotoğraf makinası ile üretilmiş ortofoto .....	34
6.3. Analizler İçin Üretilen Modeller .....	36
6.3.1. Yapının yayınlarda kullanılan çizimleri üzerinden modelleme .....	37
6.3.2. Ölçümlerden üretilen plan ve kesitler .....	39
6.3.3. Çizilen plan ve kesitler üzerinden üretilen modeller .....	44
7. ANALİZ İÇİN ÜRETİLEN MODELLERİN DENENMESİ .....	47
7.1. Akustiğe Yönelik Analizler .....	47
7.2. Yapı Statiği Analizleri .....	48
7.3. Yapı İçi Gün Işığı Analizi .....	49
8. SONUÇ, DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER .....	51
8.1. Sonuç ve Değerlendirme .....	51
8.2. Öneriler .....	58
KAYNAKÇA .....	61
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	

## TABLÖLAR DİZİNİ

<b>Tablo 5.1</b> <i>Tarama pozisyon bilgileri</i> .....	<b>18</b>
<b>Tablo 6.1</b> <i>Ölçüm sonuçları karşılaştırması</i> .....	<b>29</b>



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b>Şekil 2.1</b> Duvar açtı ve açıklıklarını çelik metre ile ölçmede kullanılan üçgenleme yöntemi (Ahunbay, 2016).....	3
<b>Şekil 2.2</b> Jalon ve çekül ile yükseklik ölçme yöntemi (Ahunbay, 2016).....	3
<b>Şekil 2.3</b> Revit yazılımında gerçekleştirilmiş bir gün ışığı analizi (http-1).....	7
<b>Şekil 3.1</b> Eskişehir Kurşunlu Külliye vaziyet planı (http-2) .....	8
<b>Şekil 3.2</b> Kurşunlu Külliye Camisi planı (İnce, 1990).....	9
<b>Şekil 3.3</b> Kurşunlu Külliye doğu-batı kesiti (Müderrişoğlu, 1993) .....	10
<b>Şekil 4.1</b> Riegl VZ-2000 yersel lazer tarayıcı .....	11
<b>Şekil 4.2</b> DJI Phantom 4 Professional insansız hava aracı .....	12
<b>Şekil 4.3</b> Çalışmada kullanılan fotoğraf makinası.....	13
<b>Şekil 5.1</b> Kurşunlu Külliye Camisi tarama yersel lazer çalışması.....	15
<b>Şekil 5.2</b> Vaziyet planı üzerinde dış cephe tarama pozisyonları.....	16
<b>Şekil 5.3</b> Yapının planı üzerinde giriş ve harim tarama pozisyonları .....	17
<b>Şekil 5.4</b> Birleştirilmiş ve temizlenmiş nokta bulutu verisi ve yazılımın ekran görüntüsü .....	20
<b>Şekil 5.5</b> İHA verisinden üretilmiş nokta bulutu, güneydoğu aksonometrik görüntüsü .	23
<b>Şekil 5.6</b> Nokta bulutundan üretilmiş 3B model batı cephe .....	23
<b>Şekil 5.7</b> İHA verisinden üretilmiş nokta bulutu kuzey cephe .....	24
<b>Şekil 5.8</b> İç hacimden çekilmiş fotoğraflardan oluşturulmuş hizalanmış nokta bulutu..	25
<b>Şekil 5.9</b> İç hacimden çekilmiş fotoğraflar ile oluşturulmuş yoğun nokta bulutu.....	25
<b>Şekil 5.10</b> Agresif (Aggressive) derinlik filtresi ile oluşturulmuş yoğun nokta bulutu ...	26
<b>Şekil 5.11</b> Hafif (Mild) derinlik filtresi ile oluşturulmuş yoğun nokta bulutu.....	27
<b>Şekil 5.12</b> Yapının batı cephesine ait hizalanmış nokta bulutu ve işaretletmiş noktalar	28
<b>Şekil 5.13</b> Batı cephe için oluşturulmuş model .....	28
<b>Şekil 6.1</b> Elle yapılan ölçümlerin konumları .....	30
<b>Şekil 6.2</b> Üretilmiş ortofoto görüntüsü .....	31
<b>Şekil 6.3</b> Ortofoto üzerinde gerçekleştirilen rölöve çizimi .....	32
<b>Şekil 6.4</b> Sonuç rölöve çizimi (Mimar Hacer Yükselir) .....	32
<b>Şekil 6.5</b> İHA verisinden üretilmiş ortofoto.....	33
<b>Şekil 6.6</b> Ortofoto üzerinde gerçekleştirilen rölöve çizimi .....	33
<b>Şekil 6.7</b> Sonuç rölöve çizimi (Mimar Hacer Yükselir) .....	34

<b>Şekil 6.8</b> Elle çekilen fotoğraflardan üretilmiş ortofoto .....	<b>35</b>
<b>Şekil 6.9</b> Ortofoto üzerinden gerçekleştirilen rölöve çizimi .....	<b>35</b>
<b>Şekil 6.10</b> Sonuç rölöve çizimi (Mimar Hacer Yükselir) .....	<b>36</b>
<b>Şekil 6.11</b> Caminin yayınlarda kullanılan planları üzerinden çizilmiş 3 boyut modeli .....	<b>38</b>
<b>Şekil 6.12</b> Caminin modelinin aksonometrik kesiti .....	<b>38</b>
<b>Şekil 6.13</b> Üst örtü geçiş elemanları arasında oluşan boşluk .....	<b>39</b>
<b>Şekil 6.14</b> PointSense Heritage eklentisi ile oluşturulmuş XY eksenindeki katmanlar ..	<b>40</b>
<b>Şekil 6.15</b> PointSense Heritage eklentisi ile alınmış kesitlerin aksonometrik görüntüsü .....	<b>40</b>
<b>Şekil 6.16</b> Nokta bulutu katmanları üzerinden plan çizimi .....	<b>41</b>
<b>Şekil 6.17</b> Nokta bulutu üzerinden çizilmiş sonuç planı .....	<b>42</b>
<b>Şekil 6.18</b> PointSense Heritage eklentisi ile oluşturulmuş XZ eksenindeki katmanlar ..	<b>43</b>
<b>Şekil 6.19</b> PointSense Heritage eklentisi ile alınmış XZ kesitlerin aksonometrik görüntüsü .....	<b>43</b>
<b>Şekil 6.20</b> Nokta bulutu katmanlarından elde edilmiş doğu-batı kesiti .....	<b>44</b>
<b>Şekil 6.21</b> Ölçümleme sonuçlarından üretilmiş plan ve kesit yardımıyla oluşturulmuş katı model .....	<b>45</b>
<b>Şekil 6.22</b> Üst örtünün geçirimsiz geçiş elemanlarının yapı içinden görünümü .....	<b>45</b>
<b>Şekil 6.23</b> Yapının güneydoğu-kuzeybatı aksonometrik kesiti .....	<b>46</b>
<b>Şekil 6.24</b> Akustik analiz için üretilmiş yüzeylerden oluşan model .....	<b>46</b>
<b>Şekil 7.1</b> Odeon Auditorium yazılımından modelin ekran görüntüsü .....	<b>47</b>
<b>Şekil 7.2</b> Odeon Auditorium yazılımdan üst örtü görüntüsü .....	<b>48</b>
<b>Şekil 7.3</b> Abaqus yazılımından modelin üst örtü görüntüsü .....	<b>48</b>
<b>Şekil 7.4</b> Abaqus yazılımından modelin aksonometrik görüntüsü .....	<b>49</b>
<b>Şekil 7.5</b> Revit yazılımında, Insight eklentisi ile çalıştırılmış yapı içi gün ışığı analizi uygulaması .....	<b>50</b>
<b>Şekil 8.1</b> Solda yayınlarda kullanılan plandan, sağda ise çalışmada çizilen plandan tromp detayı .....	<b>52</b>
<b>Şekil 8.2</b> Haseki Hürrem Sultan Külliyesi planı (Kuban, 1997) .....	<b>53</b>
<b>Şekil 8.3</b> Tekirdağ Rüstem Paşa Camisi planı (http-3) .....	<b>53</b>
<b>Şekil 8.4</b> Gebze Çoban Mustafa Paşa Külliyesi Camisi Planı (Kuran, 1986) .....	<b>54</b>
<b>Şekil 8.5</b> Solda Şemsi Ahmet Paşa Camisi (Şenyurt, 2018) yarım kubbe geçişleri, sağda Kurşunlu Külliye Camisi tromp geçişleri .....	<b>54</b>

**Şekil 8.6** *Nokta bulutu verisinden alınan kesitte görünen kasnak, eğrisel çardak ve ana kubbe kesitleri .....55*



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

İHA : İnsansız Hava Aracı

YLS : Yersel Lazer Tarayıcı

GPS : Global Positioning System

$\mu\text{m}$  : Mikrometre

MSA : Multi Station Adjustment

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Çalışmanın Amacı

Mimarlık, insanın bilinçli şekilde eylemleştirdiği, sayısız kararları ve seçimleri barındıran bir hacim yaratma sanatıdır (Roth, 2000). Louis Kahn yapı tasarımını “Büyük bir bina ölçülemez ile başlamalı, tasarlanırken ölçülebilir yollardan geçmeli ve sonunda ölçülmemelidir.” diyerek tanımlar. Mimar tasarladığı hacmi sınırlayan yapının hiçbir etken tarafından yıkılmamasını hedeflerken, tasarım aşamasında kullanıcıda yaratmak istediği etkiyi de planlamaktadır. Aslında belki de Kahn’ın ölçülmemeli dediği tasarım ögesi de yapının kullanıcıda yarattığı bu etkidir. Mimar Jonathan Hill bir mimari tasarımın kullanıcıda yarattığı etkiyi “maddesiz tasarım elemanı” olarak tanımlar. Mimari tasarımda ışık, ses, hava gibi yapı fiziğine dair elemanların, çoğu zaman somut olmayan etkileri “maddesiz” olarak tanımlanmaktadır. Hill’e göre bir hacmi kullanan insanların hacim algısı da maddesiz bir mimari tasarım ögesidir. İlerleyen teknoloji sayesinde insanlığın inşa ettiği yapılar, kısa sürelerde ve bire bir sayısal ortama aktarılabilirken, bu yapılardaki maddesiz tasarım elemanlarının bazıları da sayısal ortamda analiz edilebilmektedir. Bir yapıdaki kullanılabilir iç hacim, yapıdaki ışık miktarı ve kapalı hacimdeki ses hareketleri bilgisayar yardımıyla modellenilebilmektedir. Söz konusu analizler için ise her analiz farklı hassasiyette katı modele ihtiyaç duymaktadır.

Bu çalışmada ileri teknoloji yöntemlerinden yersel lazer tarama, hava fotogrametrisi ve yersel fotogrametri kullanılarak, analiz yöntemlerinin ihtiyaç duyduğu farklı yapılardaki katı model üretimleri için en etkili yöntemin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında Eskişehir Odunpazarı ilçesinde bulunan Kurşunlu Külliye camisinin, konvansiyonel yöntemlerle ölçülerek çizilmiş plan ve kesitlerinden faydalanılarak oluşturulacak katı modelin yanı sıra ileri teknoloji yöntemler kullanılarak analize uygun katı model üretiminde en etkili yöntem araştırılacaktır.

## 2. ANALİZ İÇİN MODELLEME

Gelişen teknolojinin sağladığı imkânlar doğrultusunda, mimaride yapı fiziğine dair elemanlar, yerinde ölçümler dışında, çeşitli yazılımlar sayesinde sayısal ortamda modellenilebilmektedir. Bir yapıdaki ses olayları yerinde alınacak ölçümler yerine, benzer ortam yaratarak simüle edilebilmektedir ya da bir yapının çeşitli güçler karşısındaki statik dayanıklılığı yine aynı şekilde bilgisayar yazılımları kullanılarak modellenilebilmektedir. Bu analizlerin gerçeğe yakın sonuçlar verebilmesi için ilgili yapının doğru ve hassas bir şekilde modellenmesi gerekmektedir.

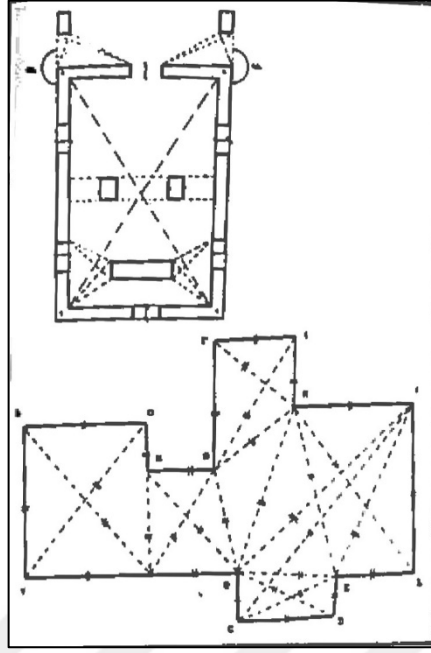
Mimari modellerde gerçekleştirilecek her analiz farklı özelliklere ihtiyaç duymaktadır. Bu çalışmada yapıların akustik, statik ve ışık analizlerine yönelik üç boyutlu model üretim sürecinin ve ihtiyaca yönelik rölöve altlığı elde etmenin en etkili yöntemle gerçekleştirilmesi için bir yaklaşım aranmaktadır. Bu doğrultuda her bir analizin gerek duyduğu model özellikleri ayrıca araştırılmıştır.

### 2.1. Rölöveye Yönelik Belgeleme

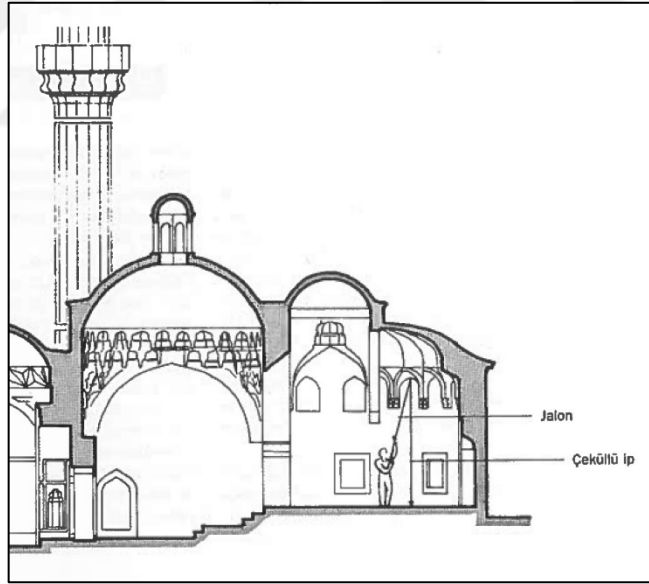
Günümüzde belgeleme yöntemlerinin en etkin şekilde kullanıldığı alanlardan birisi kuşkusuz mimari belgelemedir. Özellikle tarihi yapıların restorasyonunda yapıya ait ayrıntılı bir rölöve üzerinden proje çizilmektedir. Rölöve, bir binanın mevcut durumunun ölçekli çizimlerle (plan, kesit, görünüş) ayrıntılı olarak anlatılmasıdır (Ahunbay, 2016).

Bu çizimlerin yapılmasından önce, çelik metre, su terazisi, çekül gibi araçların kullanılmasıyla gerçekleştirilen konvansiyonel ölçmeler, birden fazla insan gücüne ihtiyaç duymakta ve hata payı yüksek sonuçlar vermektedir (Şekil 2.1, Şekil 2.2). Bu alanda ileri teknolojilerin kullanımı son yıllarda artış göstermektedir. Ancak ileri teknoloji kullanımının sağladığı hız ve hassasiyetin yanı sıra maliyeti oldukça artırdığı da bir gerçektir. Bu nedenle ihtiyaç duyulan veriye uygun belgeleme yönteminin seçilmesi büyük önem taşımaktadır.





**Şekil 2.1** Duvar açığı ve açıklıklarını çelik metre ile ölçmede kullanılan üçgenleme yöntemi (Ahunbay, 2016)



**Şekil 2.2** Jalon ve çekül ile yükseklik ölçme yöntemi (Ahunbay, 2016)

İleri teknolojiler kapsamında rölöve çiziminde altlık veri olarak kullanılan ürünlerden birisi de ortofotodur. Ortofoto; bir fotoğraf ya da fotoğraflar bütünüdür, fotoğraf makinasının lensinden, yükseklik farkı, eğiklik ve dönüklükten kaynaklanan geometrik ve perspektif bozulmaların düzeltildiği, sabit bir ölçeğe sahip fotoğraftır. (Özbalmumcu, 2007). Bu fotoğraflar bilgisayar ortamında yapılacak rölöve çizimlerinde

altlık olarak kullanılmaktadırlar. Çalışma kapsamında yersel lazer tarayıcı ve fotogrametri yöntemlerinin her biri ile ortofoto üretilerek, ihtiyacı karşılayacak, hassasiyet ve maliyet açısından en etkili yöntem araştırılmıştır.

## 2.2. Akustik Analiz İçin Model Üretimi

Yapıların akustik ölçümleri, kâğıt üstündeki hesapların yanı sıra inşa edilmiş yapılardaki fiziksel ölçümlerle de sağlanabilmektedir. 1930'lu yıllarda ilk ölçekli modeller üretilmiş, bu modellerde ses analizleri gerçekleştirilmiştir. Basit yapılarda ölçekli modeller olumlu sonuçlar verirken daha karmaşık ve büyük yapılarda, başka çözümlere ihtiyaç duyulmuştur. 1967 yılında ilk bilgisayar tabanlı akustik modelleme gerçekleştirilmiş, 1990'lı yıllarda ise oldukça hassas sonuçlar veren yazılımlar üretilmeye başlanmıştır (Rindel, 2002).

Ölçekli modellerin kullanımındaki sorunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Oluşturulacak modellerin yapı ile birebir aynı detaylara sahip olması analiz sonuçları için önemlidir.
- Yapıda kullanılmış malzemelerin boyutları ve montaj biçimleri modelde birebir temsil edilmelidir.
- Ölçekli modeller detaylı çalışma gerektirmektedir. Bu da işçilik ve zaman açısından maliyeti beraberinde getirmektedir (Kul, 2018).

Özellikle tarihi yapıların akustik özelliklerinin modellenerek araştırılması tarihsel anlamda oldukça geniş bir hareket alanı yaratmaktadır. Örneğin 16. yüzyılda inşa edilmiş bir caminin akustik performansı araştırılırken o dönemdeki yapı kullanımının yanı sıra dönem halıları, duvar kaplamaları ve orijinal malzemelerin hesaba katılması oldukça önemlidir. Bunun dışında yapının kullanım yoğunluğu da yapı içerisindeki ses hareketlerini etkileyen özelliklerden birisidir. 16. Yüzyılda, Şeyhülislam Ebu Suud Efendi'nin fetvalarıyla, tüm vakit namazlarının cemaatle beraber camilerde kılınması buyrulmuştur (Necipoğlu, 2005). Bu bilgiye dayanarak camilerin her vakitte dolu olduğu varsayılmalı ve akustik hesaplamalarda, kapalı bir hacimdeki önemli yutuculardan birisi olan insan vücudu, mutlaka değerlendirilmelidir. Bunun dışında 16. yüzyıl halılarının da oldukça kalın ve dolayısıyla yutucu özellikler gösterdiği bilinmektedir. Ayrıca özellikle

Mimar Sinan camilerinde duvar çinilerini yapıştırma için kullanılan kırık horasan harcının, çinileri birer akustik panel olarak kullanılmasını sağladığı düşünülmektedir (Tuncer, 2014). Tüm bu değişkenlerin gerek yerinde ölçümlerde gerekse ölçekli modellerde hesaplanması sorun teşkil edecektir. Ancak bilgisayar ortamında oluşturulmuş üç boyutlu bir modelde 16. yüzyıl camilerinin bu özellikleri hassas bir biçimde değerlendirmeye katılabilmektedir.

Bilgisayar ortamında analiz için en çok tercih edilen yazılımlar *CATT*, *EASE*, *AURA* ve *ODEON* olarak sıralanabilir. Bu çalışma kapsamında *ODEON 14 Auditorium* yazılımında kullanılacak üç boyutlu modelin gereksinimleri esas alınmaktadır. Bu yazılımda katı model kabul edilmemekte, analiz edilecek yapının tüm yüzeylerinin “surface” olarak modellenmesi istenilmektedir. Bunun dışında modelin tam anlamıyla geçirimsiz şekilde oluşturulması gerekmektedir. Yani birleşen tüm yüzeyler birbiriyle kusursuz şekilde temas etmelidir.

### **2.3. Statik Analiz İçin Model Üretimi**

Yapı mühendisliğinin amacı, yapıları belirli bir emniyet ve yeterli rijitlik altında amacına en uygun şekilde boyutlandırmaktır. Yapının emniyet ve rijitliği de yapının statik davranışını oluşturur (Akköse, 2016). Modern yapılarda bu hesaplamalar henüz tasarım aşamasında gerçekleştirilmelidir ve yapı, statik kurallarına göre inşa edilmelidir.

Yapı statik davranışında malzemenin yük karşısındaki davranışı sayısız değişkene bağlıdır ve bu değişkenlerin hesaplanması bir mühendislik problemidir. Mühendislik problemleri genel olarak fiziksel durumların matematiksel modelleridir. Pek çok mühendislik probleminin matematiksel modeli, ilgili sınır ve başlangıç şartlarını içeren diferansiyel denklemlerdir. Bu denklemlerin analitik çözümlerinin elde edilmediği birçok mühendislik problemi bulunmaktadır. Bunun sebebi temel denklemin karmaşık yapısından kaynaklanır. Bu karmaşık yapı da bölüntüleme ya da ayrıklaştırma yöntemi ile modellenilebilir. Bir bölgeyi ayrıklaştırmanın yolu onu küçük parçalara, ünitelere, bölmektir. Bu küçük parçalar bir araya gelerek orijinal yapıyı temsil ederler. Böylece tüm yapıyı bir seferde çözmek yerine, bu küçük üniteler için çözüm yapıp bir araya getirilerek orijinal bölgeye ait çözüm elde edilebilmektedir. Bu çözümler arasında en yaygın olarak kullanılanı ise sonlu elemanlar analizidir (Moaveni, 2015).

Bu yöntemin temelleri 1900'lü yıllara kadar dayanmaktadır. Ancak modern anlamda sonlu elemanlar yöntemini geliştiren kişi Courant'tır. 1940'lı yılların başında yayınlanan bir makalede burulma problemlerini araştırmak için üçgen şeklindeki alt bölümlerde parçalı polinom interpolasyonu kullanmıştır. 1950'li yıllarda Boeing uçak kanatlarını modellemede üçgen gerilme elemanları kullanılmıştır. Bu noktadan sonra da sonlu elemanlar analizi oldukça yaygın şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Moaveni, 2015).

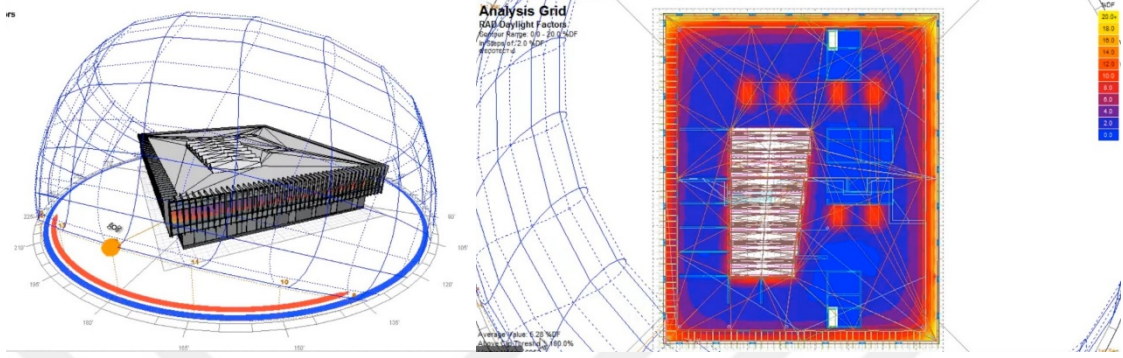
Günümüzde sonlu elemanlar analizlerini yapabilen *SAP2000*, *ANSYS*, *Abaqus* gibi yazılımlar mevcuttur. Bu yazılımlarda yapıların geçirimli, katı modellerine ihtiyaç vardır. Bu çalışmada üretilecek model için *Abaqus* yazılımı temel alınmıştır.

#### **2.4. Yapı İçi Gün Işığı Analizi İçin Model Üretimi**

Louis Kahn mimarlığı; “doğanın yapamadığı şey” olarak tanımlanmaktadır (Kahn, 1965). İnsanın bilinçli bir şekilde ve belirli kriterlere dayanarak yarattığı üretimlerde, tanımlanabilen, ayırt edilebilen bir dil görülmektedir. Bu dili görünür kılan da mekânın kendisidir. Her yapı, bir ihtiyacı karşılamak üzere, inşa edildiği dönemin teknik yeterliliğine dayalı olarak üretilmiş ya da doğadan edinilmiş malzemelerle, bir alanı tanımlaması sonucunda oluşmuştur. Bu alan da mekân olarak tanımlanır. Bir insan mekânı öncelikle görme duyusu ile algılandı için, o mekânı aydınlatan ışık, mekânın niteliğini oluşturmada önemli faktörlerden biridir. Işık, sınırları belirgin yapar veya belirsizleştirir, biçim veya dokuyu vurgular, bir özelliği gizler veya açığa çıkarır, mesafeleri küçültür veya büyütür (Altan, 1993). Bu nedenle ışık mimari tasarımda büyük bir öneme sahiptir.

Günümüz teknolojisinde henüz tasarım aşamasında olan ya da inşa edilmiş bir yapıda gün ışığı kullanımını analiz etmek mümkündür. Bu analiz, tasarım aşamasında mimarlara büyük kolaylıklar sağladığı gibi tarihi yapılarda dönem ve mimari özelliklerin tespitinde de büyük faydalar sağlamaktadır. Bu analizi yapabilmek için yine yapının katı modeline ihtiyaç vardır. Özellikle ışığın içeri girmesini sağlayan pencere açıklıkları, bu açıklıkların konumları, en, boy ve derinlik oranlarının hassas bir biçimde modellenmiş olması, analizin temel gereksinimlerindedir.

Gün ışığı analizini gerçekleştirebilmek için *Autodesk* firmasının ürettiği *Revit* yazılımı kullanılacaktır. Yazılımda içeri aktarılan katı model, ayarlanabilen güneş konumu ve açısına göre analiz edilebilmektedir (Şekil 2.3).

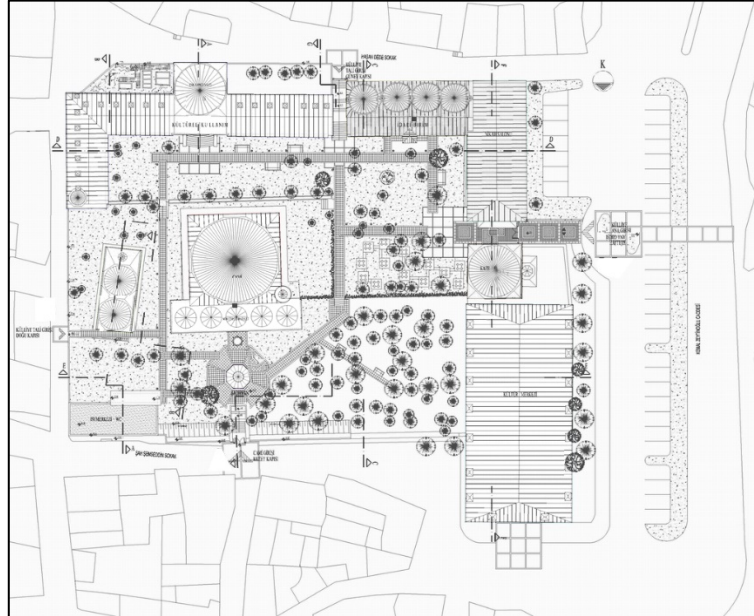


Şekil 2.3 Revit yazılımında gerçekleştirilmiş bir gün ışığı analizi (<http-1>)

### 3. ÇALIŞMA ALANI

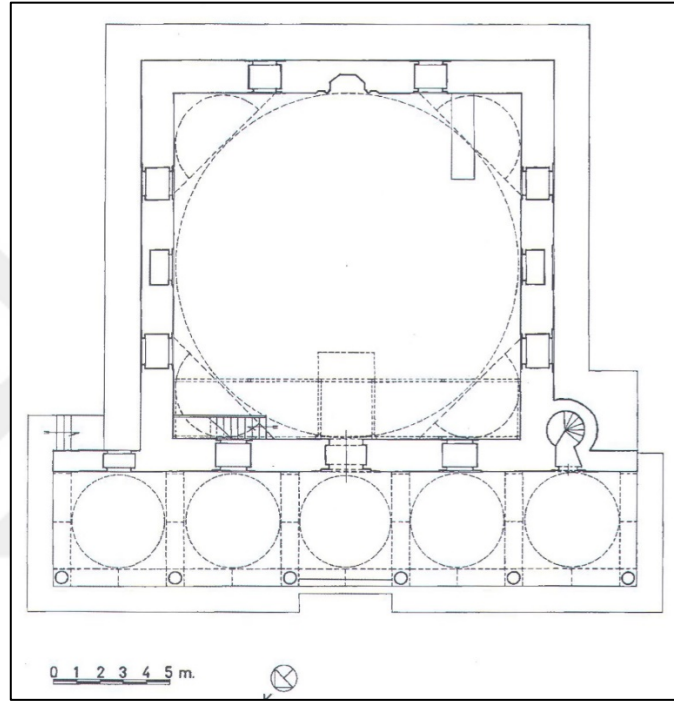
Çalışma için Eskişehir'in en eski yerleşim yerlerinden biri olan Odunpazarı ilçesinde bulunan bir 16. yüzyıl yapısı olan Kurşunlu Külliye camisi seçilmiştir. Kurşunlu Külliyesi'nin inşa tarihi olarak caminin giriş kapısı üzerindeki kitabeden ebcelele hesapla 1524-25 tarihi çıkmaktadır. Yine aynı şekilde kitabede bani olarak Çoban Mustafa Paşa'nın adı geçmektedir. Kaynaklarda yapının inşa tarihinde olduğu gibi mimarı üzerinde de birtakım tartışmalar bulunmaktadır. Genellikle Acem Ali'ye atfedilen yapı bazı kaynaklarda Mimar Sinan'a, bazı kaynaklarda da Acem Ali'den farklı olarak Mimar Ali'ye atfedilmektedir. Külliye 1832, 1955, 1968 ve 2009 yıllarında onarım görmüştür (İnce, 1990).

Kurşunlu külliyesi merkezde cami, caminin güneydoğusunda "L" biçiminde bir zaviye, bunun kuzeyinde matbah-ı şerif, külliyenin güneybatısında yine "L" biçiminde imaret, imaretin kuzeyinde mutfak, mutfağın kuzeyinde de kervansaray bulunmaktadır. Külliyeye sonradan eklenen kervansaray dışında simetrik ve düzenli bir külliye görüntüsü vardır (Şekil 3.1).



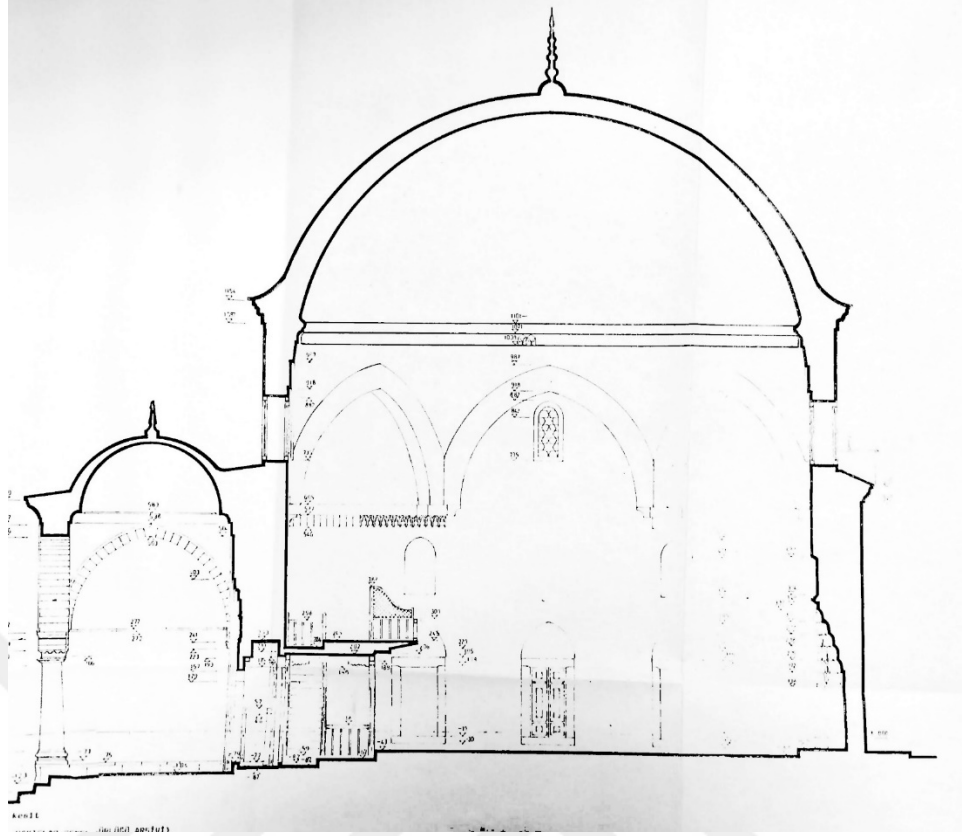
Şekil 3.1 Eskişehir Kurşunlu Külliye vaziyet planı (http-2)

Kurşunlu Camisi kare tabana oturmuş merkezi kubbeli bir plan tipine sahiptir. Harim 14,90x14,90 metre ölçülerindedir. Kuzeyinde sivri kemerlerle birbirine bağlanmış altı sütunlu, beş gözlü bir son cemaat yerine sahiptir. Son cemaat yeri doğu ve batı yönlerinde dışa taşkındır. Minare ise son cemaat yerinin batısındadır. Caminin kubbesi sivri kemerli tromplarla geçilmiş ve sekizgen bir kasnağın üzerine yerleştirilmiştir. Kasnak yüksekliği 11,11 metre, kubbe yüksekliğiyse 17,8 metredir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Kurşunlu Külliye Camisi planı (İnce, 1990)

Caminin kubbesinde hiçbir pencere açıklığı yoktur. İçeriden tromplar arasındaki sivri kemerlerin ortasında dışarıdan ise kasnağın her iki yüzünden birinin ortasına denk gelen 1x1,5 metre boyutlarında 4 tane sivri kemerli pencere açıklığı bulunmaktadır. Bunun dışında harim duvarlarında kasaları zeminle bitişik, üzerlerinde kör sivri kemerleri bulunan, açıklık kısımları yine 1x1,5 metre olan, doğu ve batı duvarlarında üçer, güney duvarında ise iki adet pencere açıklığı bulunmaktadır. Zemindeki ilk ve son pencerelerin üzerinde ise kasnaktaki pencerelerin kopyası, her duvarda iki adet olmak üzere toplamda sekiz adet olarak yer almaktadır. Caminin harim duvarlarının kalınlığı yaklaşık 3 metredir (Şekil 3.3).



**Şekil 3.3** Kurşunlu Külliye doğu-batı kesiti (Müderrişoğlu, 1993)



#### 4. MATERYAL

Bu bölümde çalışmada kullanılan donanım ve yazılımlar tanıtılmaktadır. Kurşunlu Külliye camisinin konvansiyonel yöntemlerle ölçülerek çizilmiş planları için Kasım İnce'nin "Eskişehir Kurşunlu Külliyesi" kitabında yayımladığı plan ve Fatih Müderrisoğlu'nun doktora tezinde yayımladığı Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilmiş kesit çizimleri kullanılmıştır. Caminin belgelenmesinde ise *Riegl VZ-2000* yersel lazer tarayıcı, *DJI Phantom 4 Professional* insansız hava aracı ve *Nikon D5100* profesyonel fotoğraf makinası kullanılmıştır.

##### 4.1. Yersel Lazer Tarayıcı

Kurşunlu Külliye'nin yersel lazer tarayıcı ile belgeleme çalışması için Riegl marka VZ-2000 model 3B lazer tarayıcı kullanılmıştır. Bu lazer tarayıcı, lazer ışını gidiş geliş zamanı ilkesine göre çalışmaktadır. Normal ışık ve yansıtma şartları altında 50 metre mesafede 5 mm hassasiyete sahip ve 1 - 2000 metre arasında ölçüm yapabilmektedir. Tarayıcıdan çıkan lazer ışını yakın kızılötesi ve  $0,7 \mu\text{m} - 1,3 \mu\text{m}$  arasında değişen dalga boyuna sahiptir. Tarayıcı  $100^\circ$  düşey eksen ve  $360^\circ$  yatay eksen yönünde dönme kabiliyetine sahiptir. Cihazın açısal çözünürlüğü  $0.001^\circ$  değerine kadar artırılabilir, saniyede 400.000 nokta verisi elde edebilme kapasitesine sahiptir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Riegl VZ-2000 yersel lazer tarayıcı

#### 4.2. İnsansız Hava Aracı

DJI Phantom 4 Professional 1388 gr ağırlığında, pervaneleri dışında, çaprazlama 350 mm genişliğinde, maksimum hızı 20 metre/saniye olan, kendi eksenini çevresinde dönebilen ve 6 yönde hareket edebilen, uzaktan kumanda ile kontrol edilebilir ya da programlanabilir uçuş modları olan bir insansız hava aracıdır. 5472x3648 piksel çözünürlüğü olan, dengeleme yatağına bağlı bir kameraya bağlı bir kameraya sahiptir. Kamera 90° dönüş yapabilmektedir. İHA küresel konumlama sistemlerine bağlanabilmekte ve ortalama 30 dakika kesintisiz uçuş yapabilmektedir. Phantom 4 Professional'in Phantom 3 Professional'dan en önemli farkı algılayıcı sistemleridir. Phantom 4 Professional'da 3 yönde (aşağı, ileri ve geri) çalışan optik algılayıcı ve 2 yönde (Dikey ve yatay) kızılötesi algılayıcı bulunmaktadır. Optik algılayıcılar 70 cm – 30 m, kızılötesi algılayıcılar da 20 cm – 7 m'ye kadar nesne algılayabilmektedirler (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 DJI Phantom 4 Professional insansız hava aracı

#### 4.3. Fotoğraf Makinası

Yersel fotogrametri çalışması için Nikon D5100 marka fotoğraf makinası kullanılmıştır. Kamera 17 milyon piksele sahiptir ve çalışmada Nikkor 18-300 mm lens ile birlikte kullanılmıştır.



Nikon D5100 / Nikkor 18-300 mm

**Şekil 4.3** Çalışmada kullanılan fotoğraf makinesi

#### **4.4. Çalışmada Kullanılan Bilgisayar ve Yazılımlar**

Çalışma kapsamında tüm verilerin işlenmesinde, plan, kesit ve model çizimlerinde ve analiz aşamasında *Intel Xenon 2,66 Ghz* çift çekirdekli işlemciye sahip 64 Gb RAM bulunan *HP* marka çalışma istasyonu kullanılmıştır. Çalışmada mevcut planların katı modele çevrilmesinde *AutoCAD 2019* yazılımı kullanılmıştır. Yersel lazer tarayıcı ile toplanan verilerin birleştirilmesi, renklendirilmesi ve işlenmesi için *Riscan Pro 2.5.1* yazılımı kullanılmıştır. Buradan üretilen nokta bulutu, *Autodesk ReCap* yazılımı ile indekslenmiştir. Yersel ve hava fotogrametrik ölçümlerinin değerlendirilmesi için *Agisoft PhotoScan 1.4.4* yazılımı ile yapılmış, yersel lazer tarama ve İHA ile yapılan ölçümlerin birleştirilmesi ise *CloudCompare* yazılımı ile birleştirilmiştir. Bunun dışında akustik modelleme için *ODEON Auditorium*, statik modelleme için *Abaqus*, ışık ölçümleri için ise *Autodesk Revit* yazılımları kullanılmıştır. Akustik model için gereken yüzey modeli ise *Sketchup 2018* yazılımı ile oluşturulmuştur. Birleştirilmiş nokta bulutu verilerinden plan ve kesit üretimi için ise *AutoCAD 2016* yazılımı ve bu yazılıma eklenen *PointSense Heritage* eklentisi kullanılmıştır.

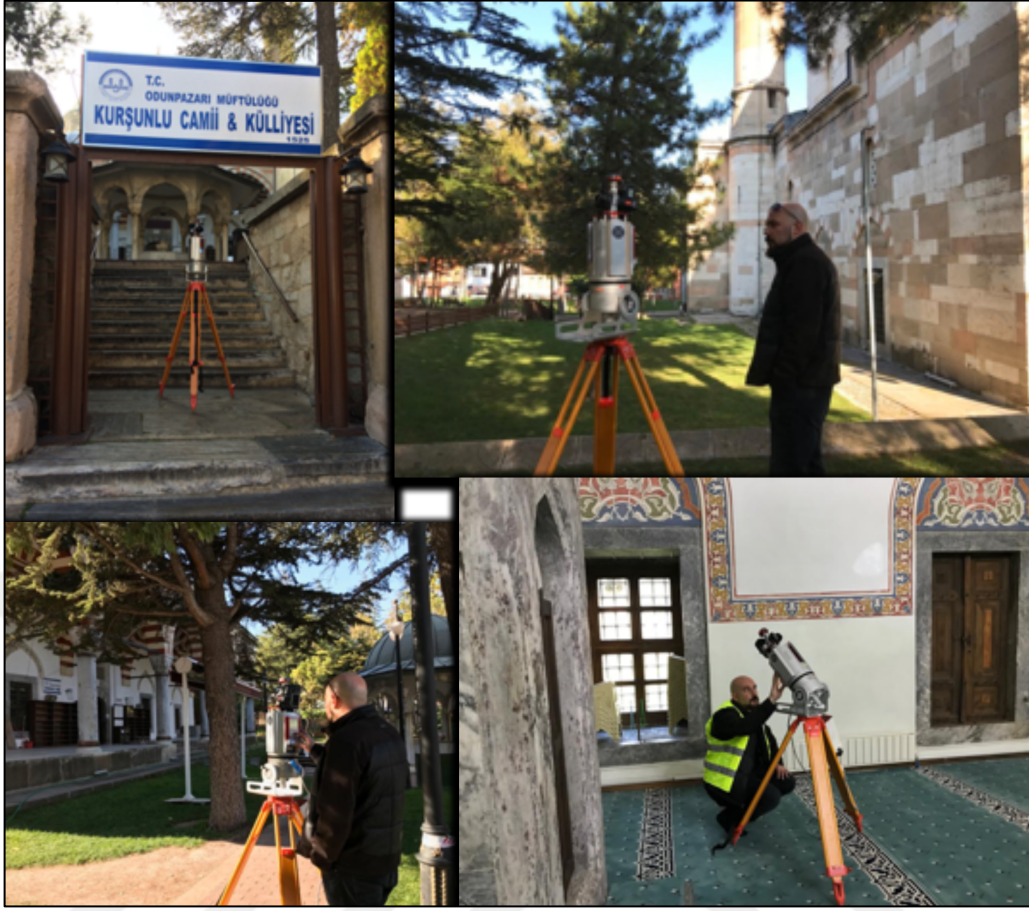
## **5. UYGULAMA**

Mimari yapıların mevcut durumdaki özelliklerinin tespit edilmesi ve bu verilerin kayıt altına alınması, gelişen teknolojinin de yardımıyla oldukça hızlı ve hassas bir biçimde gerçekleştirilebilmektedir. Gelişen teknolojik imkânlar kullanıcıya birden fazla belgeleme yöntemi sunmaktadır. Ancak var olan yöntemlerin birbirlerine karşı bir takım üstünlük ve dezavantajları da bulunmaktadır. Kullanılacak yöntem, çalışmanın kapsamı, belgelenecek alanın ya da varlığın boyutları, istenilen hassasiyet seviyesi ve maliyete bağlı olarak belirlenebilmektedir.

Eskişehir Kurşunlu Külliye Camisi, model üretimine yönelik üç farklı yöntem kullanılarak belgelenmiştir. Bu yöntemler sırasıyla yersel lazer tarama, insansız hava aracı ile belgeleme ve fotoğraf makinası ile belgelemedir. Her bir yöntem için yapının iç ve dış olarak tümünün belgelenmesi amaçlanmıştır.

### **5.1. Yersel Lazer Tarayıcı ile Belgeleme**

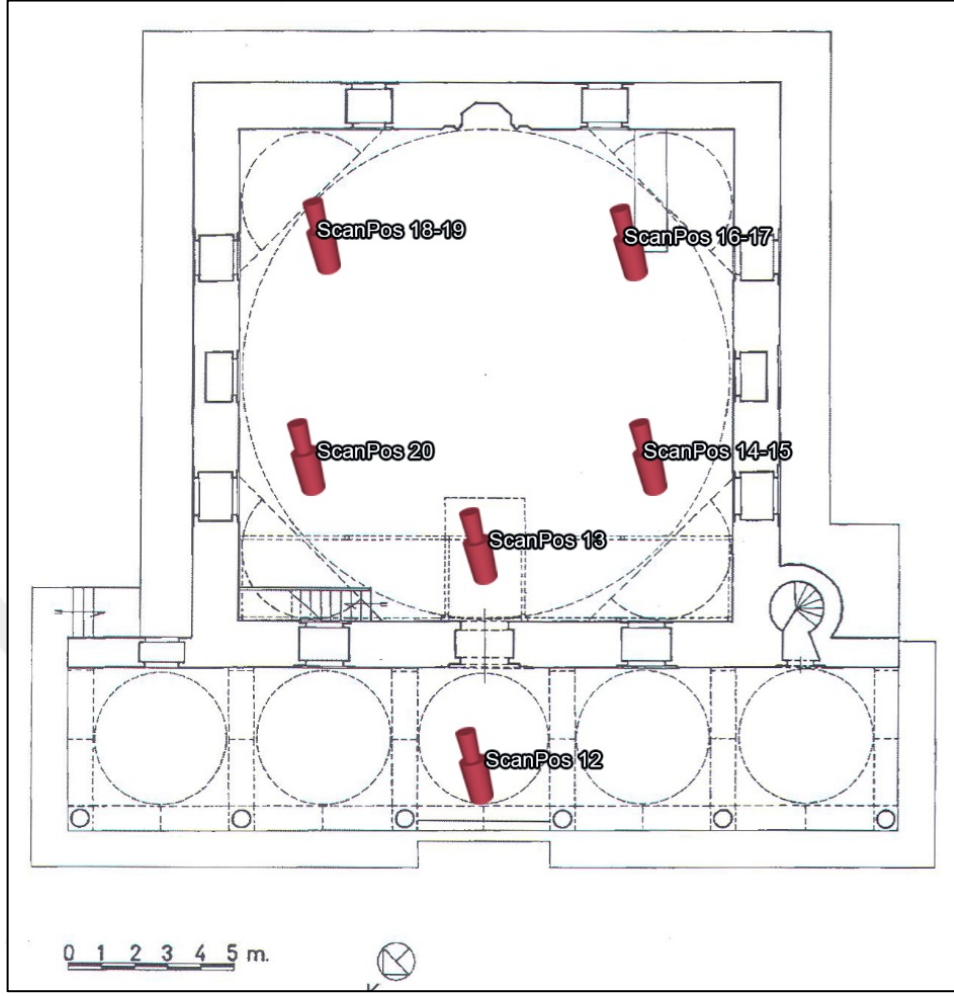
Bahsedildiği gibi Kurşunlu Külliye, Eskişehir'in en çok ziyaret gören ilçelerinden biri olan Odunpazarı ilçesinde bulunmaktadır. Külliye Eskişehir merkezindeki en eski tarihi yapılardan birisi olması dolayısıyla da ilgi çekmektedir. Belgeleme çalışmasının etkilenmemesi için lazer tarayıcı ile yapılan ölçümlemeye mümkün olduğu kadar az sayıda insanın bulunduğu gün ve saat tercih edilmeye çalışılarak 09.11.2018 Pazartesi günü saat 09:30'da başlanmıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Kurşunlu Külliye Camisi tarama yersel lazer çalışması

Yapının dış cepheleri ve iç hacmi, toplamda 20 istasyondan taranmıştır. Her tarama pozisyonu 0,040°'lik açısal çözünürlüğe sahiptir ve tüm pozisyonların taraması toplamda yaklaşık 1 saat 40 dakika sürede gerçekleştirilmiştir. Yapının bulunduğu konum lazer tarama işlemi için birtakım zorluklar yaratmıştır. Bu zorlukların başında külliye arazisinin yüksek ve geçirimsiz ağaçlarla kaplı olması gelmektedir. Bunun dışında caminin bir külliyeyle ait olması nedeniyle yapı çevresinde farklı işlevde yapılaşmalar bulunmaktadır ve bu durum kurulacak tarama istasyonlarının konumlarını etkilemektedir. Bu etkenler ardışık tarama istasyonlarının her zaman yeterince ortak yüzey görmemesine sebep olmaktadır. Bu sorunun önüne geçebilmek için dışarıda yapılan tüm taramalar 360°'lik bir açı ile gerçekleştirilmiştir. Bu sayede istasyonların gördüğü ortak nokta sayısı artırılmıştır. Caminin dış cepheleri için 11 farklı istasyondan tarama yapılmıştır (Şekil 5.2), iç hacim için ise 6 farklı istasyondan 9 adet tarama yapılmıştır (Şekil 5.3). Harim bölümüne kurulan 3 istasyonda ise tarayıcının dikey açısı 45° değiştirilerek üst örtü ile ilgili veri toplanmıştır. Lazer tarayıcının kendi yazılımı *Riscan Pro*'nun 2.5.1 sürümünde,





**Şekil 5.3** Yapının planı üzerinde giriş ve harim tarama pozisyonları

Arazi çalışması 12:30 sularında tamamlanmış, tüm pozisyonların toplam tarama süresi ise 45 dakika olarak kaydedilmiştir. Her bir pozisyonda ortalama 7,5 milyon nokta toplanmış, 20 istasyondan elde edilen veride herhangi bir temizleme işlemi yapılmadan bulunan nokta sayısı ise toplamda 222.448.595 olarak kaydedilmiştir (Tablo 5.1).

**Tablo 5.1** Tarama pozisyon bilgileri

İstasyon No	Açısal Çözünürlük (°)	Süre	Nokta Sayısı	Konum
ScanPos 1	0,040	0' 18"	7.177.573	Küllüye Girişi
ScanPos 2	0,040	0' 18"	7.613.153	Cami Çevresi
ScanPos 3	0,040	0' 18"	7.550.618	Cami Çevresi
ScanPos 4	0,040	0' 18"	9.149.538	Cami Çevresi
ScanPos 5	0,040	0' 18"	8.951.578	Cami Çevresi
ScanPos 6	0,040	0' 18"	8.031.634	Cami Çevresi
ScanPos 7	0,040	0' 18"	9.048.638	Cami Çevresi
ScanPos 8	0,040	0' 18"	8.175.406	Cami Çevresi
ScanPos 9	0,040	0' 18"	7.689.361	Cami Çevresi
ScanPos 10	0,040	0' 18"	8.274.197	Cami Çevresi
ScanPos 11	0,040	0' 18"	7.532.907	Cami Çevresi
ScanPos 12	0,040	0' 18"	8.118.683	Cami Girişi
ScanPos 13	0,040	0' 18"	8.179.199	Harim
ScanPos 14	0,040	0' 53"	23.304.316	Üst Örtü
ScanPos 15	0,040	0' 53"	23.206.039	Harim
ScanPos 16	0,040	0' 18"	8.048.521	Üst Örtü
ScanPos 17	0,040	0' 18"	8.044.096	Harim
ScanPos 18	0,040	0' 53"	23.000.158	Üst Örtü
ScanPos 19	0,040	0' 18"	8.121.183	Harim
ScanPos 20	0,040	0' 53"	23.231.797	Üst Örtü
Toplam Nokta Sayısı			222.448.595	

### 5.1.1. Ofis çalışması

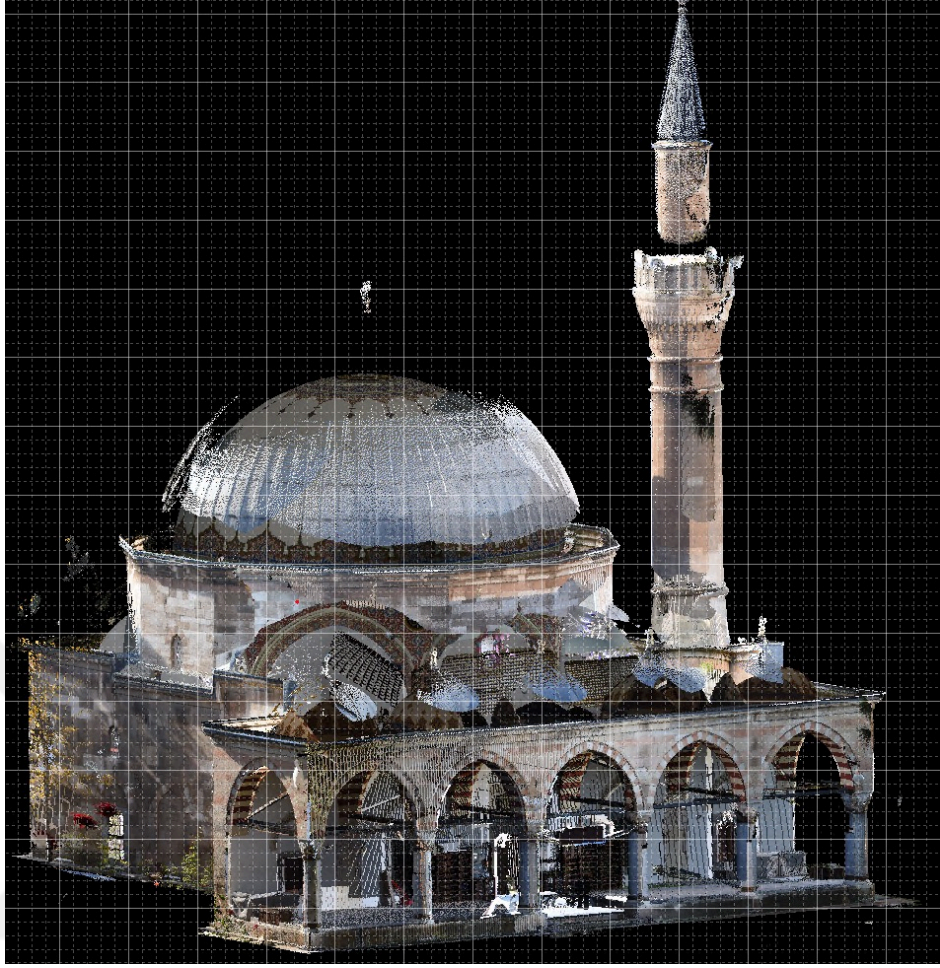
Elde edilen nokta bulutu verileri *Riscan Pro 2.5.1* yazılımı ile ofis ortamında işlenmiştir. İlk pozisyondan 11. pozisyona kadar olan nokta bulutları, yazılımın “çoklu istasyon ayarlama” (Multi Station Adjustment - MSA) algoritması ile konumlandırılmıştır. *Riscan Pro* yazılımı temel olarak reflektör tabanlı eş nokta bulutları olarak çalışmaktadır. Ancak bu yöntem kullanıldığında reflektör ve çevresinde doğruluk oranı yüksekken, alan genişledikçe hata oranı artmaktadır. Bunu engellemek için geliştirilmiş



MSA algoritması temel olarak merkezi bir nokta çevresinde verilen çaplarda arama yaparak, eşleştirme gerçekleştirmektedir. Yöntem olarak büyük yarıçaptan küçüğe doğru ilerleyerek standart sapmanın düşmesi sağlanmaktadır. Bu algoritmanın çalışabilmesi için nokta bulutlarının mümkün olduğu kadar yakın konumlarda bulunması ve dönüklük hatasının mümkün olduğu kadar az olması gerekmektedir. Konumlandırma sonuçları ikili pozisyonlar arasında 1,2 mm ile 3 mm arasında standart sapmaya sahiptir. 12. ve 13. pozisyonlarda yapılan reflektör yardımıyla bağlama işleminde ise 1,6 mm standart sapma bulunmaktadır.

Harimde yapılan ölçümlerde ise yersel lazer tarayıcının GPS özelliği etkili şekilde çalışmadığı için tarayıcının kendisini konumlandırması ile ilgili bazı sorunlar yaşanmıştır. Eğim ve GPS sensörleri yardımıyla yapılan cihaz konumlandırması, kapalı mekân istasyonlarında oldukça fazla konum ve dönüklük hatası yaratmıştır. Bu hatalar yazılımının Kaba Eşleme (Coarse Registration) yöntemi ile giderilmiştir. Bu yöntemde ilgili 3 boyutlu nokta bulutları 2 boyutlu şekilde projekte edilerek kullanıcı tarafından ortak noktaların işaretlenmesiyle eşleştirme gerçekleştirilmektedir. Ortak nokta sayısının mümkün olduğu kadar fazla ve 2 boyutlu görsele mümkün olduğu kadar homojen yayılmış olmasının, eşleştirmede doğruluk yüzdesini artırmakta faydalı olduğu gözlemlenmiştir. Kaba eşleme ile standart sapma santimetre seviyesine çekildikten sonra yeniden MSA algoritması çalıştırılmış ve standart sapma 1,2 mm ile 2 mm arasına çekilebilmiştir.

Tüm pozisyonların en haz hata ile birleştirilmesinin ardından yapının ana kütlesi ile ilgisi olmayan noktalar temizlenmiş ve tüm pozisyonlar tarama esnasında tarayıcı tarafından çekilen fotoğraflar kullanılarak renklendirilmiştir. Sonuç olarak şekildeki konumlandırılmış nokta bulutu toplamda 116.821.366 nokta ile oluşturulmuştur (Şekil 5.4).



*Şekil 5.4 Birleştirilmiş ve temizlenmiş nokta bulutu verisi ve yazılımın ekran görüntüsü*

## **5.2. İnsansız Hava Aracı ile Belgeleme**

Kurşunlu Külliyesi Camisi çalışma kapsamında insansız hava aracı ile de belgelenmiştir. 11/2005 tarihli ve 5431 sayılı Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun ve 14/10/1983 tarihli 2920 sayılı Türk Sivil Havacılık Kanununa dayanarak çıkarılan İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı (SHT – İHA) hükümleri çerçevesinde, Türk Sivil Hava Sahasında işletilecek veya kullanılacak sivil İnsansız Hava Aracı (İHA) sistemlerinin uçuşa elverişliliği ve İHA operasyonlarına ilişkin usul ve esasları Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tarafından düzenlenmektedir. Bu talimatlara göre Türk hava sahasında ağırlığı 500 gr ve üzeri tüm İHA'lar için İHA pilotu olma şartı ve uçuş yapılacak meskûn mahaller için Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'nden izin alınması gerekmektedir. Kurşunlu Külliye'nin bulunduğu Eskişehir Odunpazarı bölgesi, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tarafından uçuşa yasaklı bölge ilan edilmiştir. Bu durumda uçuşa yasaklı bölgelerde yukarıda bahsedilen tüm koşullar

sağlansa dahi Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'nden izin alınması mümkün değildir. Bu sebeple Eskişehir Valiliği ve Odunpazarı Kaymakamlığı'ndan özel izin talep edilmiştir (Ek-1). Bu izin kapsamında *DJI Phantom 3 Professional*, 4 pervaneli insansız hava aracı ile 8 Kasım 2018 Salı günü sabah saat 09:00'da Kurşunlu Külliye Camisi üzerinde ilk uçuş gerçekleştirilmiştir. Uçuşun saati ve günü de hava koşullarının yanı sıra bölgenin en az kalabalık olduğu aralık araştırılarak seçilmiştir.

DJI Phantom 3 Professional 1280 gr ağırlığında, pervaneleri dışında çaprazlama 388 mm genişliğinde, maksimum hızı 16 metre/saniye olan, kendi eksenini çevresinde dönebilen ve 6 yönde hareket edebilen, uzaktan kumanda ile kontrol edilebilir ya da programlanabilir uçuş modları olan bir insansız hava aracıdır. 4000x3000 piksel çözünürlüğü olan, dengeleme yatağına bağlı bir kameraya sahiptir. Kamera 90° dönüş yapabilmektedir. İHA 0°-40° arası sıcaklıklarda, en fazla 46 km/s rüzgâr hızında uçuş yapabilmekte ve küresel konumlama sistemlerine bağlanabilmekte ve ortalama 23 dakika kesintisiz uçuş yapabilmektedir. Bunun dışında İHA'nın altında bulunan ve zemin yüksekliğini kontrol eden bir optik algılayıcısı bulunmaktadır.

Bahsedildiği gibi meskûn mahalde bulunan ve Eskişehir'in en çok ziyaret alan bölgelerinden birisi olan Kurşunlu Külliye'de herhangi tehlikeli bir durum yaşanması olasılığına karşın uçuş saati ve günü titizlikle belirlenmiştir. Uçuş anında gezi için külliye'ye gelmiş olan öğrenci grubunun bölgeyi terk etmesi beklenmiş ve saat 09:15 civarında uçuş gerçekleştirilmiştir. Bunun dışında pilot kaynaklı hatanın önüne geçilmesi için de önceden belirlenmiş bir güzergahta otomatik uçuş yapılmasına karar verilmiştir. İnsansız hava aracını kontrol etmek için *Iphone 5s* mobil telefona kurulmuş *Pix4dCapture* uygulaması kullanılmıştır. Bu yazılım "Poligon, Grid, Çift Grid, Dairesel ve Serbest Uçuş" modlarında uçuş planı yapabilmekte ve insansız hava aracı üzerindeki kameranın görüntüsünü mobil telefona aktarabilmektedir. Caminin belgelemesi için dairesel mod tercih edilmiştir. Bu modda İHA uydu görüntüsü üzerinde seçilmiş dairesel alan çevresinde, kamerasını merkeze bakacak şekilde 45°'lik bir eğimle ayarlayarak bindirmeli fotoğraflar çekmektedir. İHA'nın zeminden yüksekliği ve fotoğrafların bindirme oranı kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Herhangi bir kaza olasılığından kaçınmak için yükseklik, yersel lazer tarayıcı verilerinden ölçülen ve külliye'deki en yüksek cisim olan 32 metrelik minarenin 3 metre üzerinde verilmiş, yani uçuş yüksekliği

35 metre olarak girilmiştir. Bu yükseklikten daha fazlasının tercih edilmeme sebebi yeterli çözünürlükte veri elde edebilmektir. Uçuş güzergahı olan daire hat ise camiyi içine alacak genişlikte tercih edilmiştir. Bütün bu ayarlamalardan sonra uçuş planı İHA'ya yüklenmiş ve uçuş başlatılmıştır. Ancak başlangıç noktasına maksimum hızıyla giden İHA minarenin yaklaşık 20 metre olan şerefe üstündeki kısma çarparak tahrip olmuş ve herhangi bir veri elde edilememiştir.

*DJI Phantom 3 Professional* İHA'nın hasar görmesi sebebiyle ikinci uçuş yine DJI marka *Phantom 4 Professional* model İHA ile gerçekleştirilmiştir. Bölüm 4.2'de bahsedildiği gibi söz konusu İHA'nın farklı yönlerde çalışan optik ve kızıl ötesi algılayıcıları bulunmaktadır. Bu algılayıcılar sayesinde İHA karşılaştığı engellerden kaçabilmektedir. Sahip olduğu algılayıcılara rağmen uçuş tekrar riske atılmamış ve elle kontrol edilerek gerçekleştirilmiştir.

İlk uçuşta olduğu gibi uçuş için Külliye'nin en sakin olduğu gün ve saat seçilmiştir. 12 Kasım Pazartesi saat 09:55'te uçuş gerçekleştirilmiştir. Uçuş elle kontrol edildiği için bindirmeli fotoğraf çekmek yerine video görüntüsü alınarak cami çevresinde belgeleme gerçekleştirilmiştir. Cami binasının dışı için gerçekleştirilen uçuş 10:08'de tamamlanmıştır. Yapının iç hacminin İHA ile ölçülmemesinin temel nedeni, kullanılan İHA'nın kamerasının dikeyde 45° hareket edebilmesi, dolayısıyla yatayda 360° dikeyde ise 90° görüntü alınabilmesidir. Bu koşullarda yapının üst örtüsünden görüntü alma ihtimali olmaması sebebiyle iç hacmin ölçümü elle çekilecek fotoğraflar ile gerçekleştirilmiştir.

### **5.2.1. Ofis çalışması**

Yapılan uçuşta toplam 13 dakika 18 saniyelik video kaydı alınmıştır. Bu görüntü *Agisoft Photoscan 1.4.4* yazılımında işlenmiştir. Yazılımında video görüntüleri belirlenen aralıklarla "jpeg" formatında karelere ayrılabilir. Bu özellik kullanılarak video 60 karede bir görüntü üretmek üzere ayarlanmış ve toplamda 325 kare fotoğraf üretilmiştir.

Fotoğraflar herhangi bir referans kullanılmadan hizalanmıştır. Hizalama 66.715 ortak nokta ile tamamlanmış, bu noktaların kullanımıyla fotoğraflar yoğun nokta bulutu üretimine tabi tutulmuştur. İşlem sonucunda 21.023.345 nokta üretilmiştir. Yapının

çevresindeki yapı ve yüksek ağaçların engel olması sebebiyle yan cephelerden yeterli sayıda fotoğraf alınamamış, dolayısıyla sonuç nokta bulutunda bu cephelerde büyük boşluklar meydana geldiği görülmüştür.



**Şekil 5.5** İHA verisinden üretilmiş nokta bulutu, güneydoğu aksonometrik görüntüsü



**Şekil 5.6** Nokta bulutundan üretilmiş 3B model batı cephe



Şekil 5.7 İHA verisinden üretilmiş nokta bulutu kuzey cephe

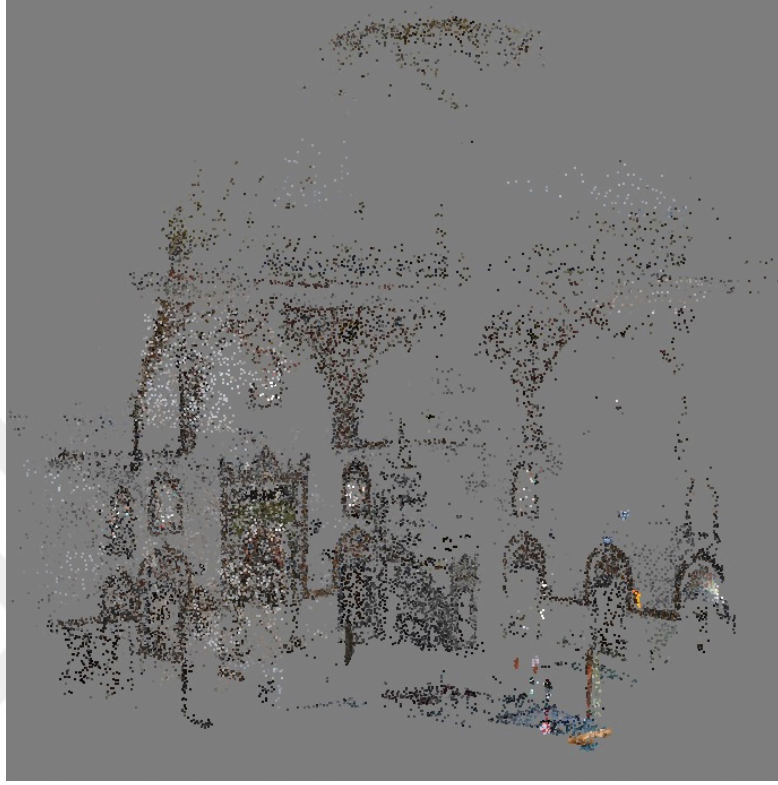
### 5.3. Fotoğraf Makinası ile Belgeleme

Bahsedildiği gibi İHA ile iç hacmin üst örtüsünün ölçümlenme ihtimalinin olmaması sebebiyle yapı bir de fotoğraf makinası ile belgelenmiştir. Benzer şekilde fotoğraf makinası ile de üst örtünün dışarıdan bütüncül olarak belgelenmesi söz konusu değildir. Bunun için yalnızca yapı içinde çekimler yapılmıştır. Elle yapılan fotoğraf çekimlerinde bindirme oranı mümkün olduğu kadar fazla tutulmuştur. Bunun dışında yapının yalnızca batı cephesi rölöve için altlık üretebilmek için ayrıca fotoğraflanmıştır.

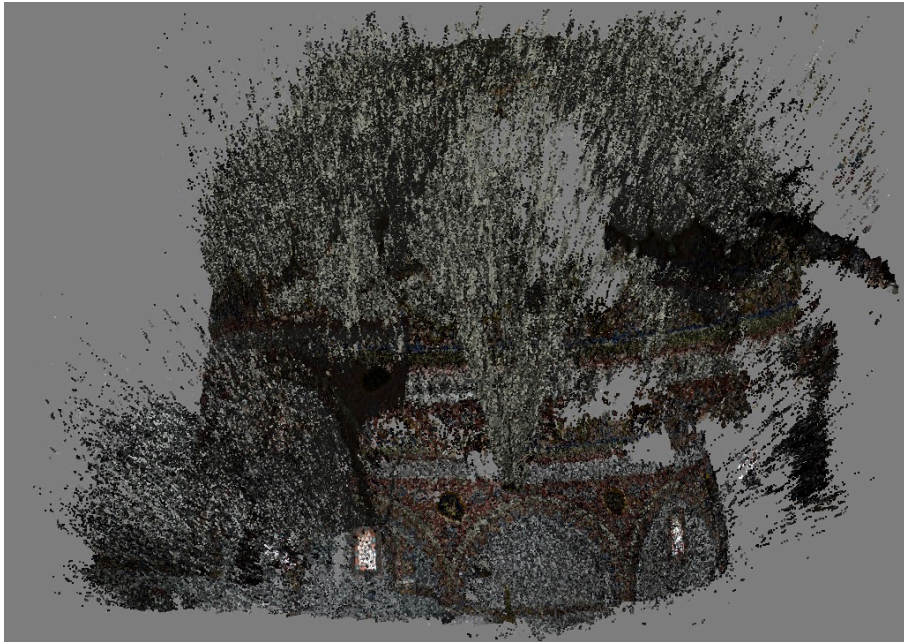
#### 5.3.1. Ofis çalışması

Yapı içinden toplamda 80 kare fotoğraf çekilmiş ve işlenmiştir. Fotoğraflar *Agisoft Photoscan 1.4.4* yazılımı kullanılarak, herhangi bir referans kullanılmadan hizalanmıştır. Toplamda 18.558 ortak nokta ile hizalanmış bulutta herhangi bir konumsal hata bulunmamaktadır (Şekil 5.8). Bu noktalar kullanılarak toplamda 5.232.512 noktalık yoğun nokta bulutu oluşturulmuştur. Yoğun nokta bulutu oluşturma parametrelerinde kalite “Yüksek” (High), derinlik filtrelemesi ise “Agresif” (Aggressive) olarak

ayarlanmıştır. Ancak yoğun nokta bulutu oluşturulduğunda model okunmayacak kadar fazla gürültü oluştuğu görülmüştür (şekil 5.9).



**şekil 5.8** İ hacimden çekilmiş fotoğraflardan oluşturulmuş hizalanmuř nokta bulutu



**şekil 5.9** İ hacimden çekilmiş fotoğraflar ile oluşturulmuş yoğun nokta bulutu

Bu sonuçların ardından çekilmiş fotoğraflar kalitelerine göre ayıklanmış, netliği bozuk ve kötü ışıklandırılmalı kareler temizlenmiştir. Bunun ardından kalan 63 kare fotoğraf ile yüksek kalitede ve agresif derinlik filtresi ayarları kullanılarak yeniden yoğun nokta bulutu oluşturulmuştur. İşlem sonucunda yapının beyaz yüzeyleri ile ilgili problemler olduğu görülmüştür. Yazılım bu yüzeylerde derinlik algılamakta zorluk çekmektedir ve bu yüzeyleri boşluk olarak tanımlamaktadır (Şekil 5.10). Bu sebeple derinlik filtresi ayarları bir alt seviyeye indirilerek “Hafif” (Mild) olarak ayarlanmış ve yeniden model oluşturulmuştur. Bu modelde ise beyaz yüzeyler algılanmış ancak ilk örnekte olduğu gibi kabul edilemeyecek oranda gürültü oluşmuştur (Şekil 5.11).



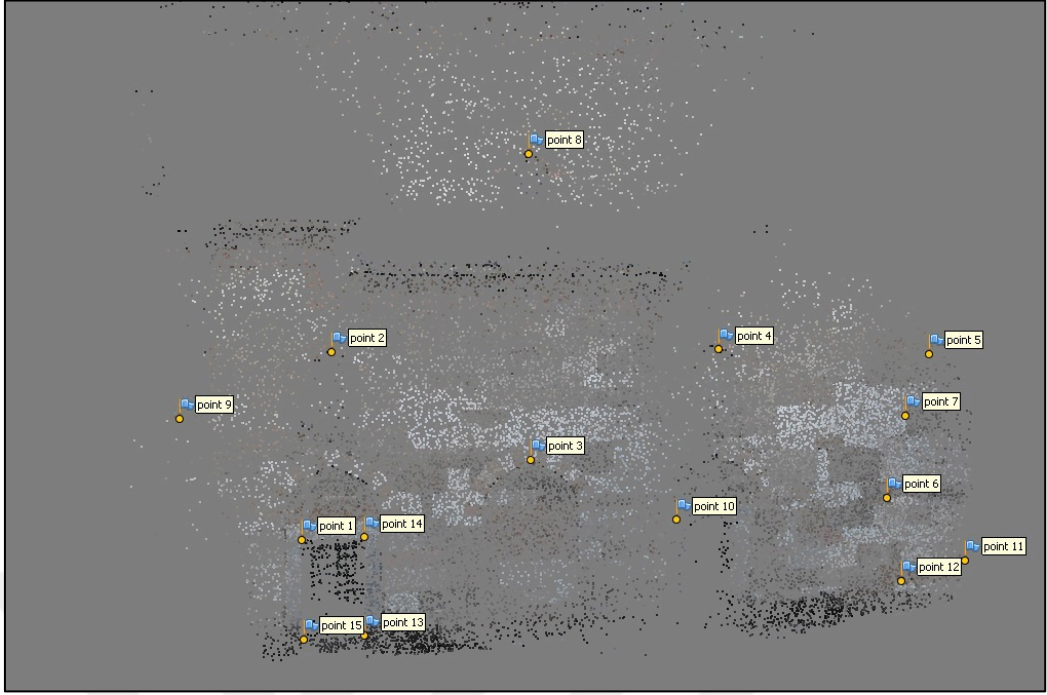
**Şekil 5.10** Agresif (Aggressive) derinlik filtresi ile oluşturulmuş yoğun nokta bulutu



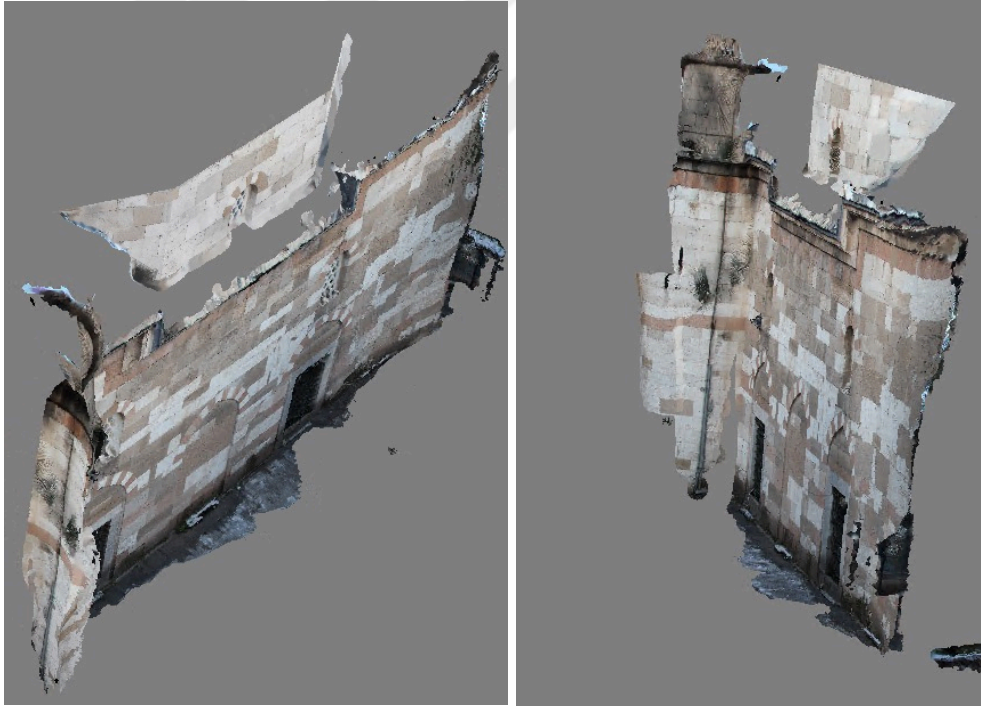


**Şekil 5.11** Hafif (Mild) derinlik filtresi ile oluşturulmuş yoğun nokta bulutu

Elle çekilen fotoğraflarda yapının batı cephesi mümkün olduğu kadar yüksek ölçüde bindirme sağlanacak şekilde toplamda 40 adet fotoğraf ile belgelenmiştir. Bu fotoğraflar da *Agisoft PhotoScan 1.4.4* yazılımında eşleştirilmiştir. Arazi şartları gereği fotoğraflar cepheye yakın ve dar açı ile çekildiği için yazılım eşlenik nokta bulma işleminde zorlanmıştır. Bu nedenle çekilen fotoğraflar üzerinde elle 12 adet nokta işaretlenmiş ve eşleştirme gerçekleştirilmiştir. Hizalama 57.317 nokta ile gerçekleşmiş, yoğun nokta bulutu ise 16.337.334 nokta ile oluşturulmuştur (Şekil 5.12, Şekil 5.13).



**Şekil 5.12** Yapının batı cephesine ait hizalanmış nokta bulutu ve işaretlemiş noktalar



**Şekil 5.13** Batı cephe için oluşturulmuş model

## 6. ELDE EDİLEN SONUÇ ÜRÜNLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

### 6.1. Ölçüm Sonuçlarının Doğruluklarının Kontrol Edilmesi

Önceki bölümde bahsedildiği gibi çalışmada kullanılmış her belgeleme yönteminin farklı veri işleme yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemleri birbiri ile kıyaslayabilmek için de sonuç doğruluklarının karşılaştırılması gerekmektedir. Bunun için yapının belirli yüzeyleri, yerinde çelik metre ile ölçülmüş, elde edilen sonuçlar kullanılan belgeleme yöntemleri sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Kontrol alanı olarak yine her üç yöntemde de ortak alan olan yapının batı cephesi seçilmiştir. Bu yüzeyde iki kenara yakın olan yapının pencere açıklıkları, pencere sövesi baz alınarak yatay, düşey ve çapraz olarak ölçülmüştür.

Bahsedildiği gibi hava ve yersel fotogrametri yöntemlerinde gerçekleştirilen ölçümler herhangi bir koordinat bilgisi kullanılmadan işlenmiştir. Dolayısıyla bu yöntemlerin sonuç ürünleri kendi içlerinde tutarlı ancak gerçek ölçülerden farklı sonuçlar üretmektedir. Bu ürünlerin kullanılabilmesi için bilinen bir uzunluğa göre ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Bunun için yapının batı cephesindeki sol pencere sövesinin kısa kenar uzunluğu kullanılmış ve üretilmiş veriler bu ölçüye göre ölçeklendirilmiştir. Doğruluk kontrolleri de bu ölçeklendirilen veriler üzerinden gerçekleştirilmiştir (Tablo 6.1, Şekil 6.1).

**Tablo 6.1** Ölçüm sonuçları karşılaştırması

	Çelik metre ile yapılmış ölçüm (cm)	Yersel Lazer Tarama Verisi (cm)	İHA verisi (cm)	Yersel Fotogrametri Verisi (cm)
1. Sol pencere sövesi kısa kenar	166	166,3	166	166
2. Sol pencere sövesi uzun kenar içi	183	183,4	182,8	182,6
3. Sol pencere sövesi köşegen	211	211,3	213,6	213,4
4. Sağ pencere sövesi kısa kenar içi	110	110,9	109,6	109,8
5. Sağ pencere sövesi uzun kenar içi	183	183	182,8	182,4
6. Sağ pencere sövesi köşegen	212	212,8	212,5	211,9



*Şekil 6.1 Elle yapılan ölçümlerin konumları*

Bu sonuçlar göstermektedir ki kullanılan yöntemlerin hemen hepsinde mimari modelleme ve altlık veri üretimi için gereken hassas ölçüm sonuçları elde edilebilmektedir.

## **6.2. Rölöve İçin Ortofoto Üretimi**

Bahsedildiği gibi çalışma kapsamında yapılan her ölçüm maliyet, zaman ve hassasiyet açısından farklı niteliklere sahiptir. Aynı şekilde ölçümleme sonuçlarının değerlendirilmesi de ihtiyaca göre farklılıklar göstermektedir. Örneğin bir yapının gün ışığı analizi için bütüncül bir ölçümlemeye ihtiyaç duyulurken, bir sokak sağıklaştırma çalışmasında yapıların sadece cephe rölövelerine ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu bölümde cepheye dayalı bir rölöve çalışması baz alınarak, kullanılan belgeleme yöntemleri etkinlik açısından karşılaştırılacaktır. Bu amaçla her üç yöntemle de veri toplanabilmiş olan Kurşunlu Külliye camisinin batı cephesi değerlendirmeye alınmıştır ve cephenin her yöntem için ortofotoları üretilmiştir.

### 6.2.1. Yersel lazer tarayıcı verisi ile üretilmiş ortofoto

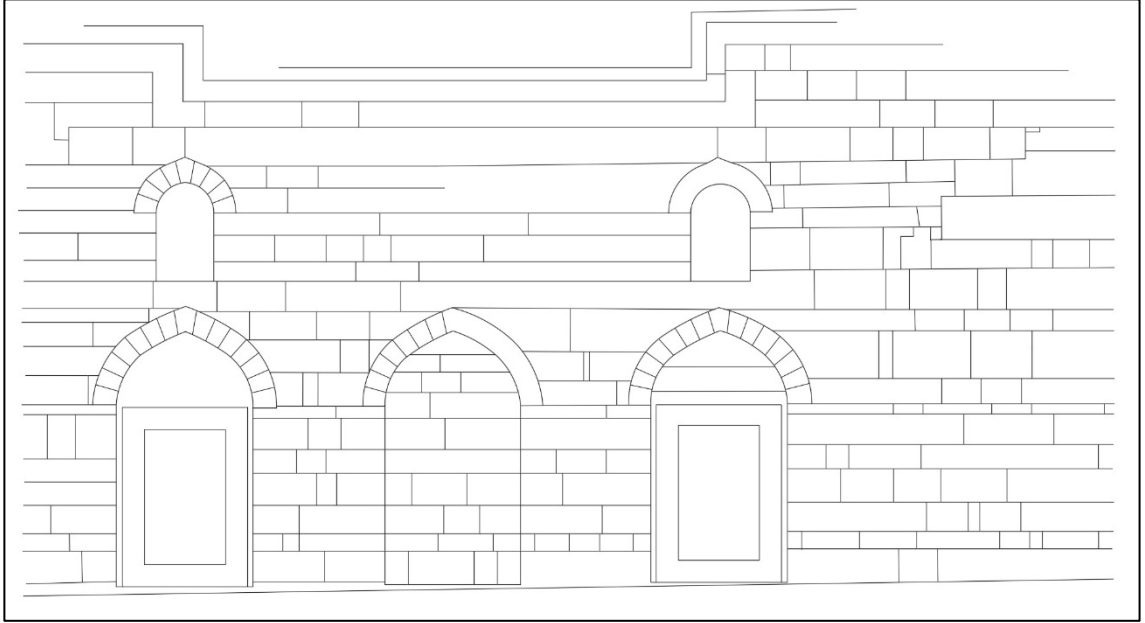
Yersel lazer tarayıcı verisinden ortofoto üretimi, tarayıcının kendi yazılımı olan Riscan Pro yazılımının ortofoto eklentisi ile üretilmiştir. Bu işlem için yazılım ortofoto üretilecek alanı gören pozisyonların üçgenleme yöntemiyle oluşturulmuş modellerine ihtiyaç duymaktadır. Bu modeller oluşturulduktan sonra aynı alanın fotoğraflarının lens kaynaklı bozulmalarının düzeltildiği “undistortion” işlemi yapılmaktadır. Ardından ilgili alanın ortofotosu üretilebilmektedir. Üretilen ortofotoda cephenin genel detayları okunabilse de ortofotonun noktalar üzerinden üretilmesinden kaynaklı düşük çözünürlük, sonuç verisinin altlık olarak kullanılabilmesini etkilemektedir (Şekil 6.2, Şekil 6.3, Şekil 6.4).



Şekil 6.2 Üretilmiş ortofoto görüntüsü



Şekil 6.3 Ortofoto üzerinde gerçekleştirilen rölöve çizimi



Şekil 6.4 Sonuç rölöve çizimi (Mimar Hacer Yükselir)

### 6.2.2. İnsansız hava aracı verisi ile üretilmiş ortofoto

Bölüm 5.2’de bahsedilen İHA ile üretilmiş modelden, yine *Agisoft PhotoScan 1.4.4* yazılımı ile ortofoto üretimi gerçekleştirilmiştir. Ortofoto üretimi için oluşturulmuş yoğun nokta bulutundan öncelikle 3 boyutlu model üretimi ardından da bu modele fotoğraf giydirilerek oluşturulan “tiled model” üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemlerin

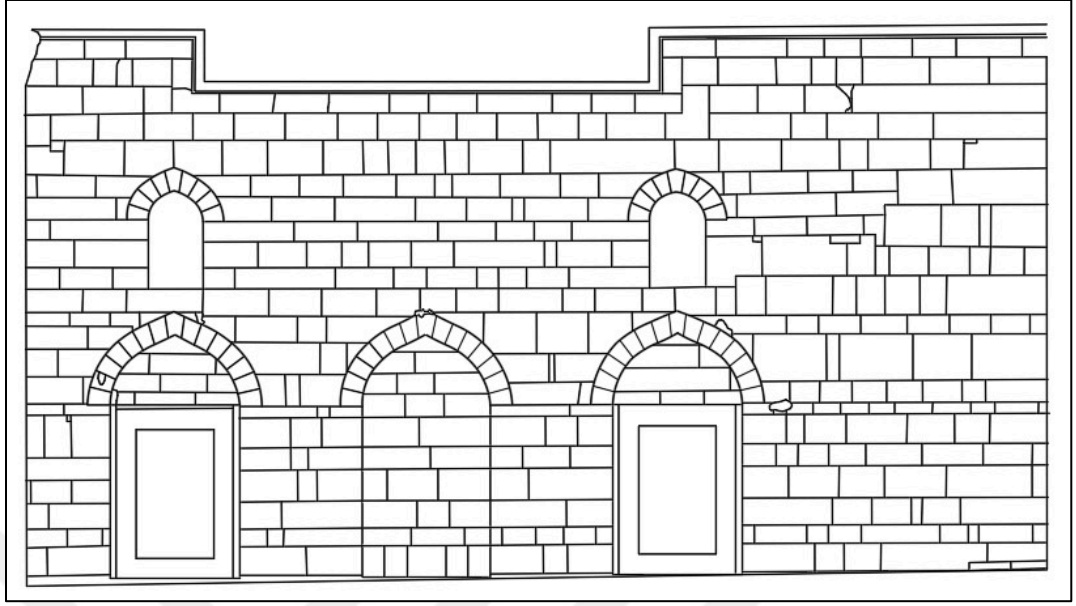
ardından yazılımın “*orthomosaic*” aracı ile yapının batı cephesinin ortofotosu üretilmiştir (Şekil 6.5). Üretilen ortofotoda cephenin bütün detayları oldukça net bir biçimde okunabilmektedir (Şekil 6.6, Şekil 6.7).



Şekil 6.5 İHA verisinden üretilmiş ortofoto



Şekil 6.6 Ortofoto üzerinde gerçekleştirilen rölöve çizimi



Şekil 6.7 Sonuç rölöve çizimi (Mimar Hacer Yükselir)

### 6.2.3. Fotoğraf makinası ile üretilmiş ortofoto

Bölüm 5.2’de bahsedilen, fotoğraf üzerinden üretilmiş model kullanılarak yapının batı cephesinin rölöve çalışması için ortofoto üretimi de yine *Agisoft PhotoScan 1.4.4* yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. İHA verisinde yapılan işlemler bu veri üzerinde de tekrar edilmiş, yoğun nokta bulutunun öncelikle 3 boyutlu modeli üretilmiş sonrasında “tiled” model üretimi gerçekleştirilerek ortofoto oluşturulmuştur (Şekil 6.8). Üretilen ortofoto cephe üzerindeki detayların en net şekilde okunduğu ürünü ortaya koymuştur. Ancak ortofotoda fotoğraf çekiminden kaynaklı boş ve bozuk alanların olduğu görülmektedir (Şekil 6.9, Şekil 6.10). Bunların sebebi hakkında sonuç bölümünde bilgi verilecektir.

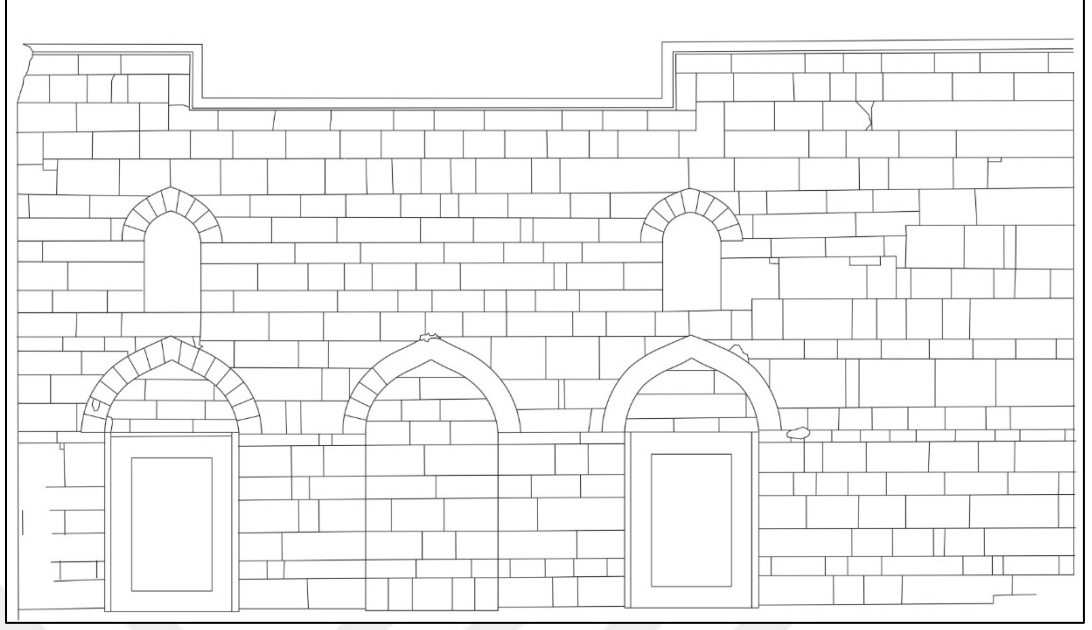




**Şekil 6.8** Elle çekilen fotoğraflardan üretilmiş ortofoto



**Şekil 6.9** Ortofoto üzerinden gerçekleştirilen rölöve çizimi



**Şekil 6.10** Sonuç rölöve çizimi (Mimar Hacer Yükselir)

### 6.3. Analizler İçin Üretilen Modeller

İleri teknoloji yöntemleriyle yapılan belgeleme çalışmasında hiçbir yöntemin tek başına bütüncül model üretimi için yeterli olmadığı görülmüştür. Yersel lazer tarayıcı ile yapılan belgelemede, yapının beden duvarları, minaresi ve iç mekânın tüm alanları eksiksiz ve hassas bir biçimde ölçülmüş ancak yapının dışarıdan ölçümlerinde giriş revakları ve ana kubbenin dış çeperinin ölçülmesi mümkün olmamıştır.

İnsansız hava aracı ile yapılan ölçümlemede ise yapının üst örtüsü ile ilgili yeterli derecede veri toplanmış ancak beden duvarları ve yapı içerisinden veri alınması mümkün olmamıştır. Yapı içerisinde İHA ile ölçüm yapılsa dahi aracın hareket kapasitesinin kısıtlı olması sebebiyle üst örtüden veri toplanılamayacağı ortadadır.

Fotoğraf makinası ile yapılan belgelemede ise yapının dış cephelerinin oldukça hızlı ve hassas şekilde belgelenebildiği ortaya konulmuş ancak fotogrametrik değerlendirmenin iç hacimdeki beyaz renkli yüzeylerde yeterli değerde sonuç üretemediği görülmüştür.

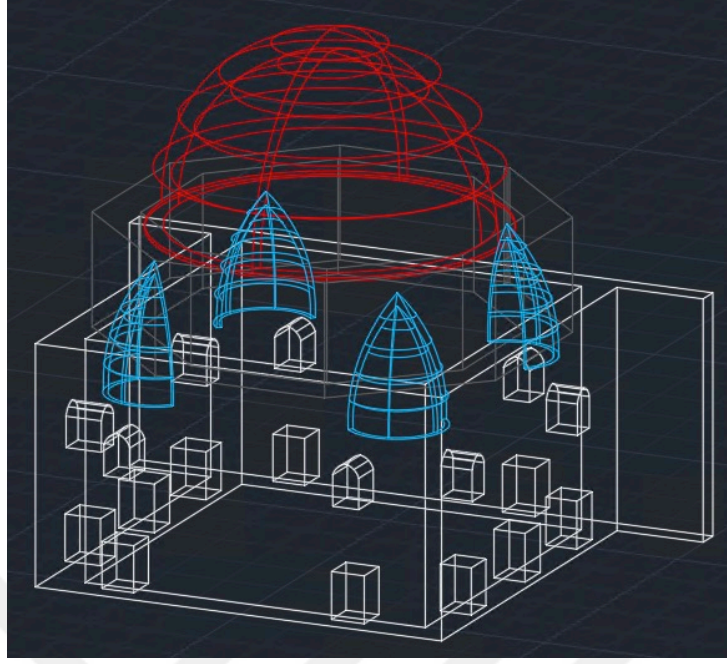
Bu nedenle bütüncül modelleme için farklı yöntemlerle gerçekleştirilmiş ölçüm sonuçlarının birleştirilmesi gereği doğmaktadır. Birleştirme işlemi için *CloudCompare*

yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılımda mevcut nokta bulutlarının ortak noktaları el ile işaretlenerek, aynı alana ait iki nokta bulutu verisi çakıştırılabilmektedir. Analizlere yönelik model oluşturmada bu birleştirilmiş nokta bulutu esas alınmıştır. Yalnızca cephe rölövesine yönelik analizde her ölçüm yöntemi kendi içinde değerlendirilecektir.

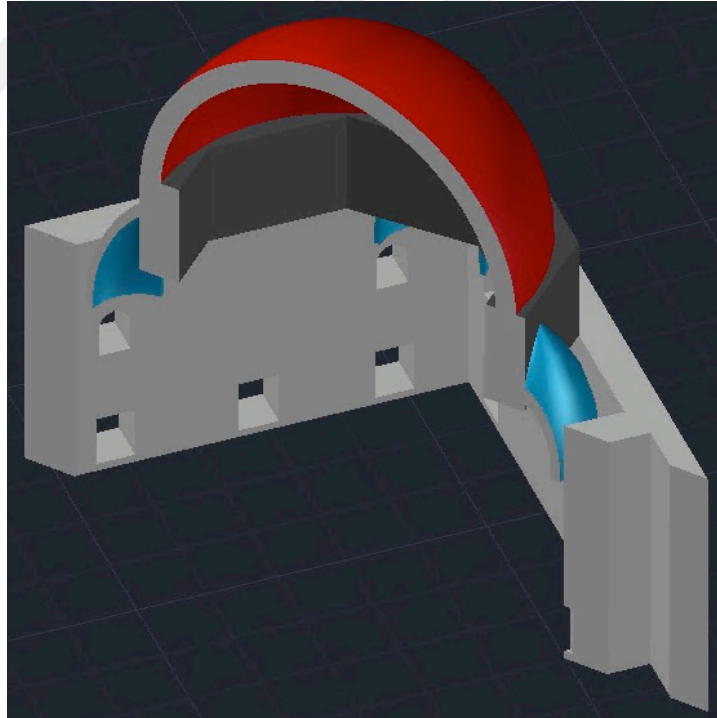
### **6.3.1. Yapının yayınlarda kullanılan çizimleri üzerinden modelleme**

Bu aşamada Eskişehir Kurşunlu Külliye ile ilgili yapılmış yayınlarda kullanılan plan ve kesit çizimleri üzerinden, çalışmada değerlendirilen analizler için ihtiyaç duyulan 3 boyutlu modellerin üretilmesine çalışılmıştır. Yapının duvar kalınlıkları ve üst örtü elemanları, yayınlanan plan çiziminin *AutoCAD* yazılımında ölçekli altlık olarak kullanılmasıyla çizilmiştir. Yapının yüksekliği, pencere açıklıklarının konumları ve üst örtü elemanları da yapının kesit çiziminin altlık olarak kullanılması ile elde edilmiştir.

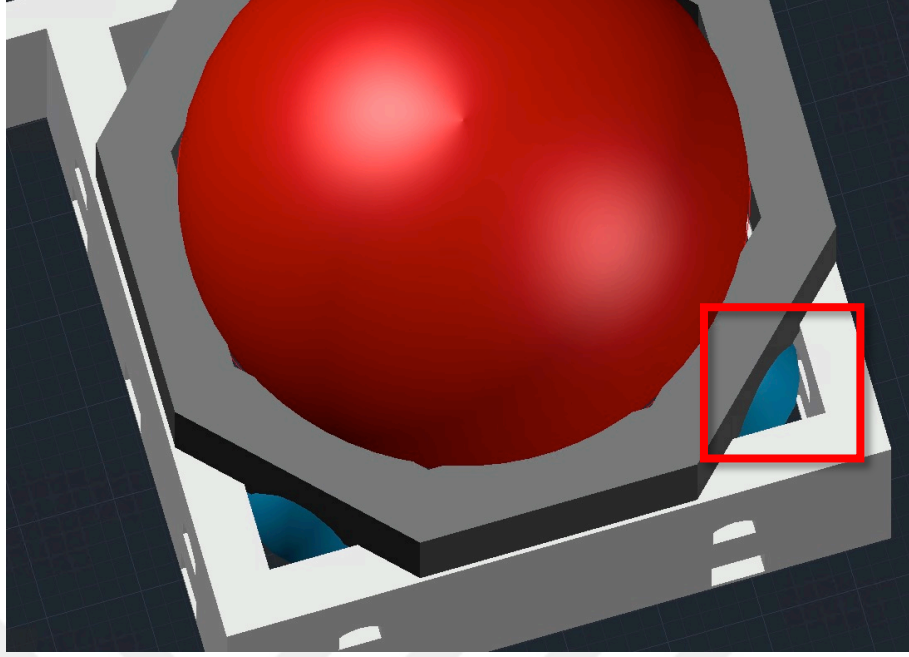
Analizlerde kullanılması amacıyla yapı *AutoCAD* yazılımında üç boyutlu olarak kaldırılmıştır (Şekil 6.11, Şekil 6.12). Yayılardaki bu çizimler kullanılarak oluşturulan modelde yükseklik dışındaki ölçülerde plan çizimi temel alınmıştır. Ancak üst örtü sistemine gelindiğinde yapıda boşluk alanlar kaldığı görülmüştür. Yapının kubbeye geçiş elemanı olarak tasvir edilmiş sivri kemerli kubbeleri ile dış kasnak yapısı arasında kâgir mimari ile geçilmesi mümkün olmayan boşluklar oluşmuştur (Şekil 6.13). Yapılan ölçüleme sonucunda boşlukların oluşmasının nedeninin plan çiziminde geçiş elemanlarının yanlış tasvir edilmesi olduğu görülmüştür. Bu konu sonuç bölümünde detaylı bir biçimde ele alınacaktır.



**Şekil 6.11** Caminin yayınlarda kullanılan planları üzerinden çizilmiş 3 boyut modeli



**Şekil 6.12** Caminin modelinin aksonometrik kesiti



**Şekil 6.13** Üst örtü geçiş elemanları arasında oluşan boşluk

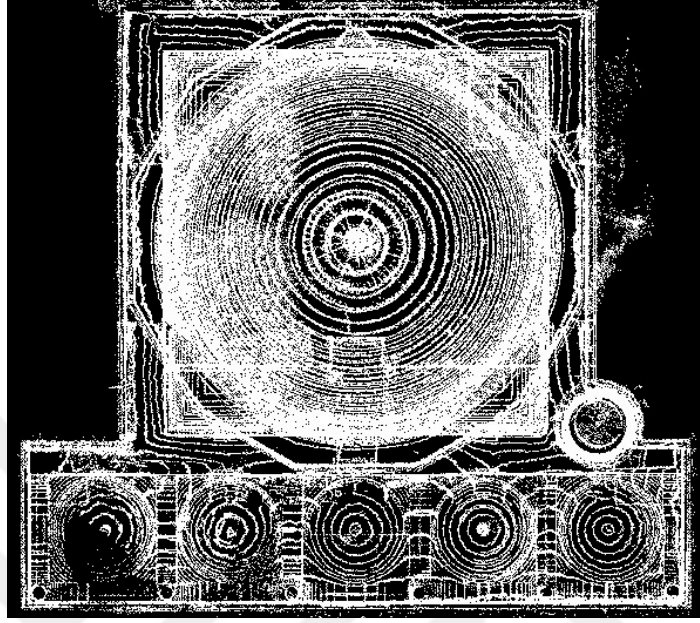
### 6.3.2. Ölçümlerden üretilen plan ve kesitler

Kurşunlu Külliye camisinin plan ve kesit çizimleri için yapının entegre edilmiş nokta bulutu kullanılmıştır. *CloudCompare* yazılımı ile birleştirilen yersel lazer tarayıcı sonuç verisi ile İHA sonuç verisi *Autodesk ReCap* yazılımı ile indekslenmiştir. Bu indeksleme sonucunda 126.014.376 noktadan oluşan nokta bulutu verisi oldukça hızlı ve kullanışlı bir biçimde *AutoCAD* yazılımına aktarılabilir.

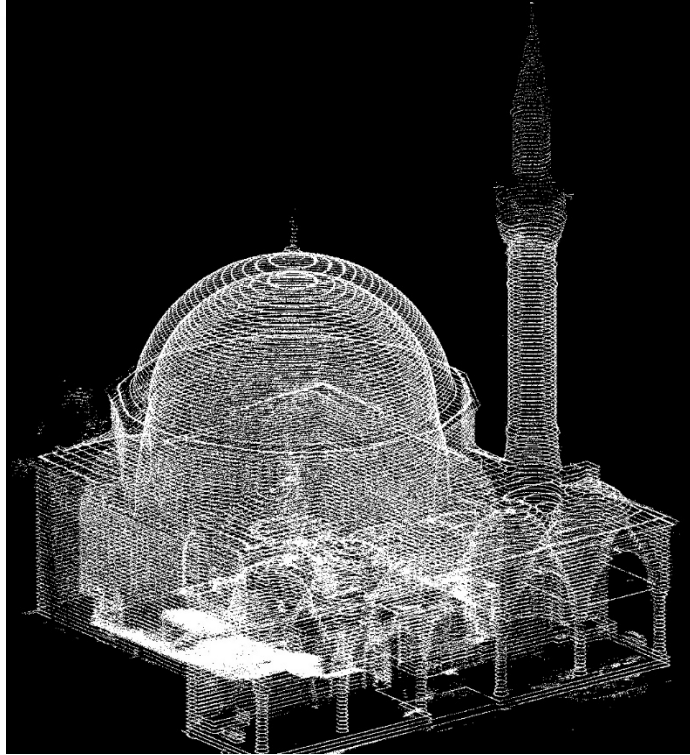
*AutoCAD* yazılımında nokta bulutunu işleyebilmek için FARO firmasının ürettiği *PointSense Heritage 17.5* eklentisi kullanılmıştır. Bu eklenti nokta bulutunu belirlenen ölçü ve akslarda kesitlere ayırabilmekte, yapılan çizimleri noktalar ile eşleştirebilmekte ve nokta bulutlarından ortofoto üretebilmektedir. Bu çalışmada plan ve kesit çiziminde eklentinin kesit alma ve nokta yakalama özellikleri etkin olarak kullanılmıştır.

Birleştirilmiş nokta bulutu verisi, eklenti yardımıyla öncelikle XY düzleminde 20 cm’de bir olmak üzere 2 cm kalınlığında dilimlere ayrılmıştır (Şekil 6.14). Eklenti bu dilimleri ayrı birer katman olarak oluşturmaktadır (Şekil 6.15). Sonrasında bu katmanlar ihtiyaca göre görünür kılınarak üzerlerinden çizim yapılabilir. Eklenti, çizim esnasında oluşturulan vektör çizgileri açık olan katmandaki ilgili noktaya

çakıştırmaktadır. Bu sayede var olan yapı elemanları üst seviyede hassasiyetle çizilebilmektedir.

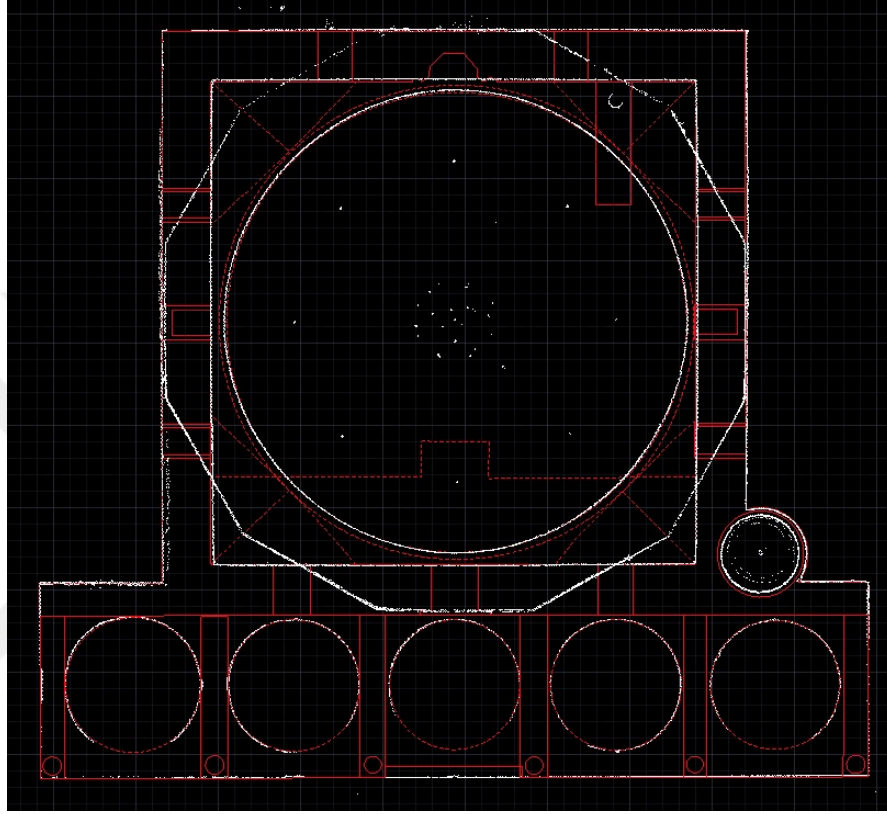


Şekil 6.14 PointSense Heritage eklentisi ile oluşturulmuş XY eksenindeki katmanlar



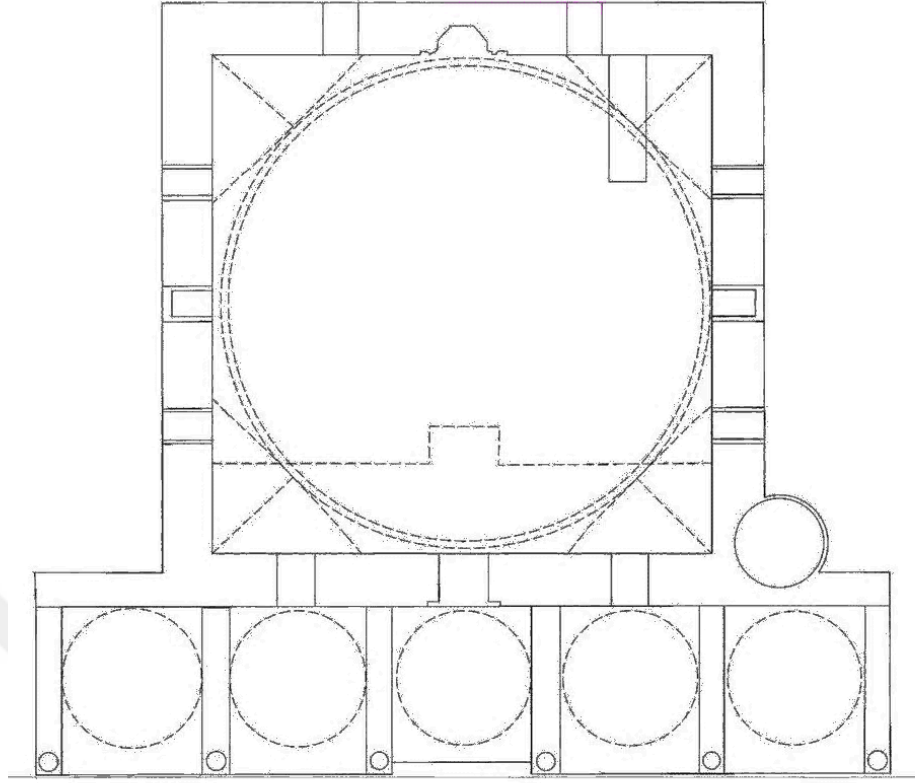
Şekil 6.15 PointSense Heritage eklentisi ile alınmış kesitlerin aksonometrik görüntüsü

Elde edilen katmanlardan ilgilileri üzerine çizilen plan, yine eklentinin “flatten (düzleme)” özelliğiyle aynı düzleme getirilebilmektedir (Şekil 6.16). Plan çiziminde caminin yayınlarda kullanılan çizimlerinin üst örtü tasvirlerinde hata olduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 6.16** Nokta bulutu katmanları üzerinden plan çizimi

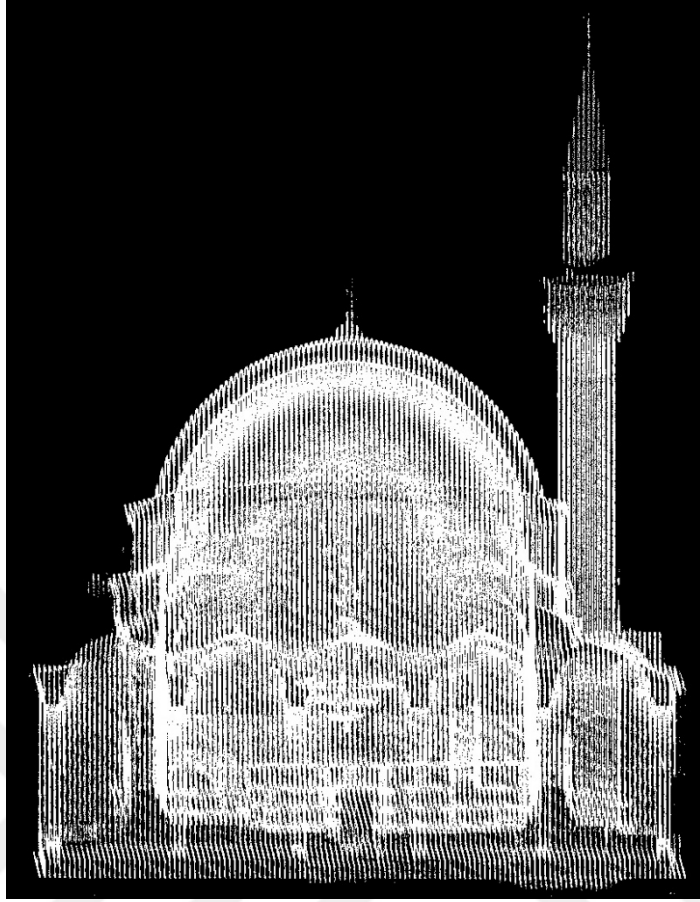
Orijinal çizimde yapının geçiş elemanları birer yarım kubbe olarak tanımlanmıştır. Dolayısıyla bir önceki bölümde modelin kaldırılmasında yaşanan çözümsüz boşluk probleminin bir bölümünün buradan çıktığı görülmüştür. Yapının tromp geçişli olduğu bilinse de literatürde bu geçiş elemanına sahip pek çok yapının benzer bir gösterimi olmasından dolayı bu durum dikkat çekmemiştir. Ancak bu iki mimari elemanın yük taşıma özellikleri birbirlerinden tamamen farklı çalışmaktadır. Bunun dışında ana kubbenin tromp kemerlerinin üzerine oturabilmesi için ikinci bir dairesel yüzeyin olduğu yine nokta bulutu üzerinde görülmektedir. Kesitte yine kubbe gibi daire şeklinde okunan bu eleman da çalışma sonucundan üretilen veri üzerine çizilen planda vurgulanmıştır (Şekil 6.17).



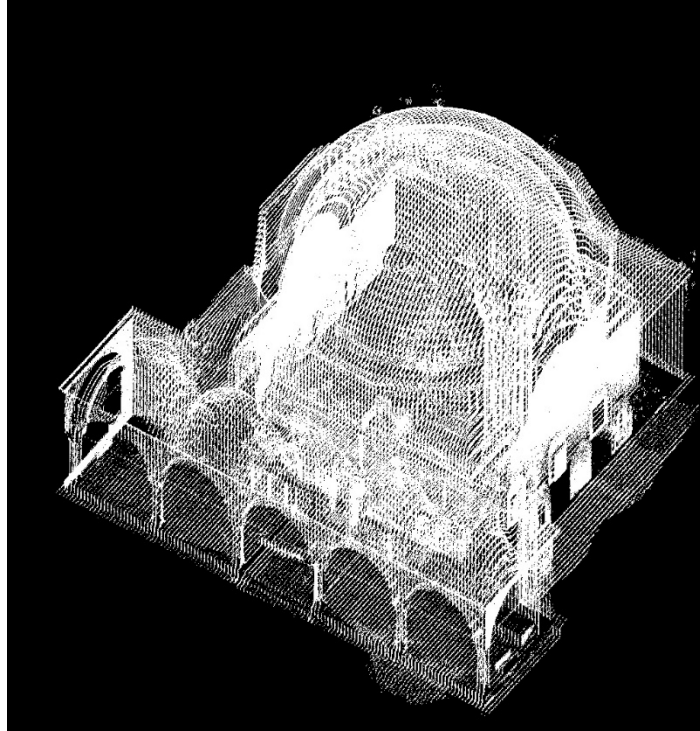
**Şekil 6.17** Nokta bulutu üzerinden çizilmiş sonuç planı

Yapının kesiti de aynı şekilde *PointSense Heritage* eklentisi yardımıyla oluşturulmuştur. Bu sefer oluşturulacak katmanlar XZ düzleminde 20 cm’de bir olmak üzere 2 cm’lik dilimler olarak ayarlanmıştır (Şekil 6.18, Şekil 6.19). Oluşturulan bu katmanlar üzerinden yine ihtiyaç duyulan katman açık bırakılarak, eklentinin yakalama özelliği ile kesit görünüşü çizilmiştir.

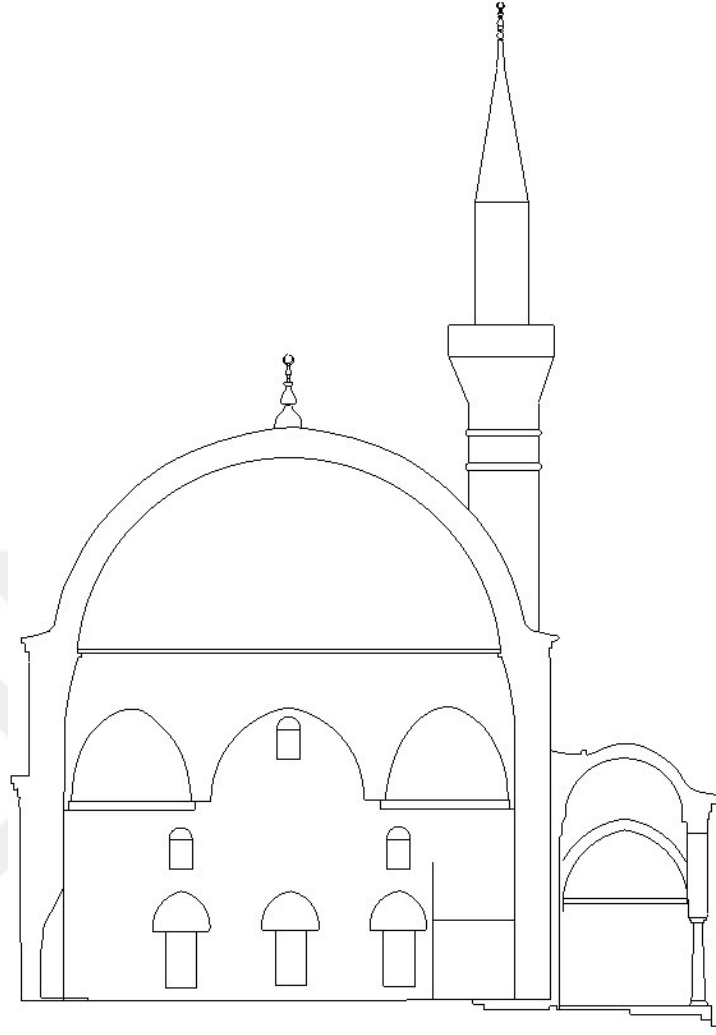




Şekil 6.18 PointSense Heritage eklentisi ile oluşturulmuş XZ eksenindeki katmanlar



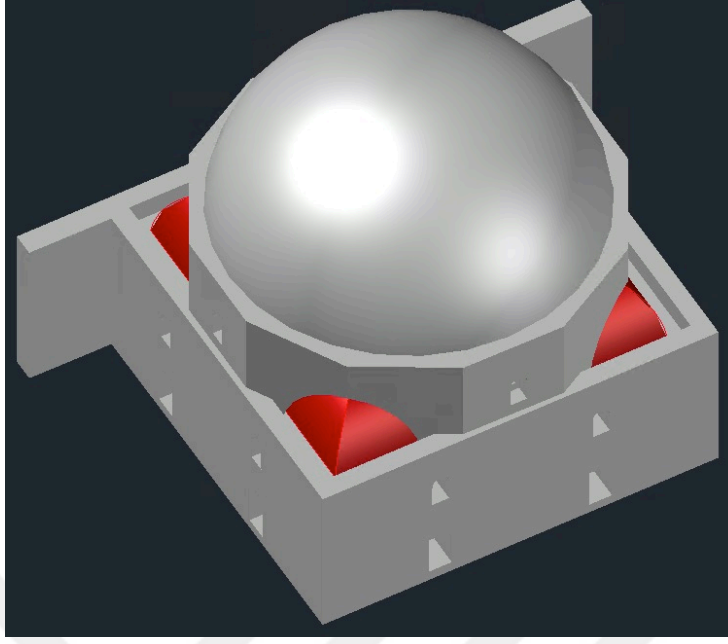
Şekil 6.19 PointSense Heritage eklentisi ile alınmış XZ kesitlerin aksonometrik görüntüsü



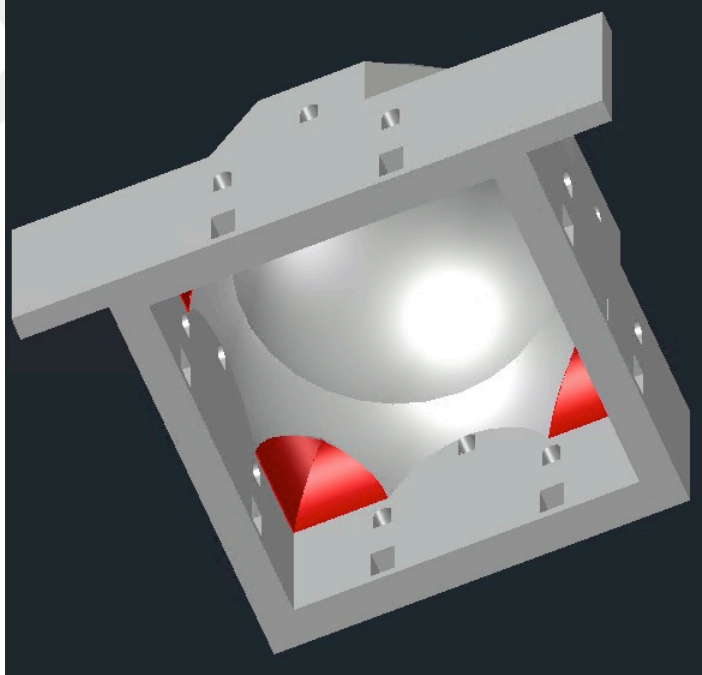
**Şekil 6.20** *Nokta bulutu katmanlarından elde edilmiş doğu-batı kesiti*

### **6.3.3. Çizilen plan ve kesitler üzerinden üretilen modeller**

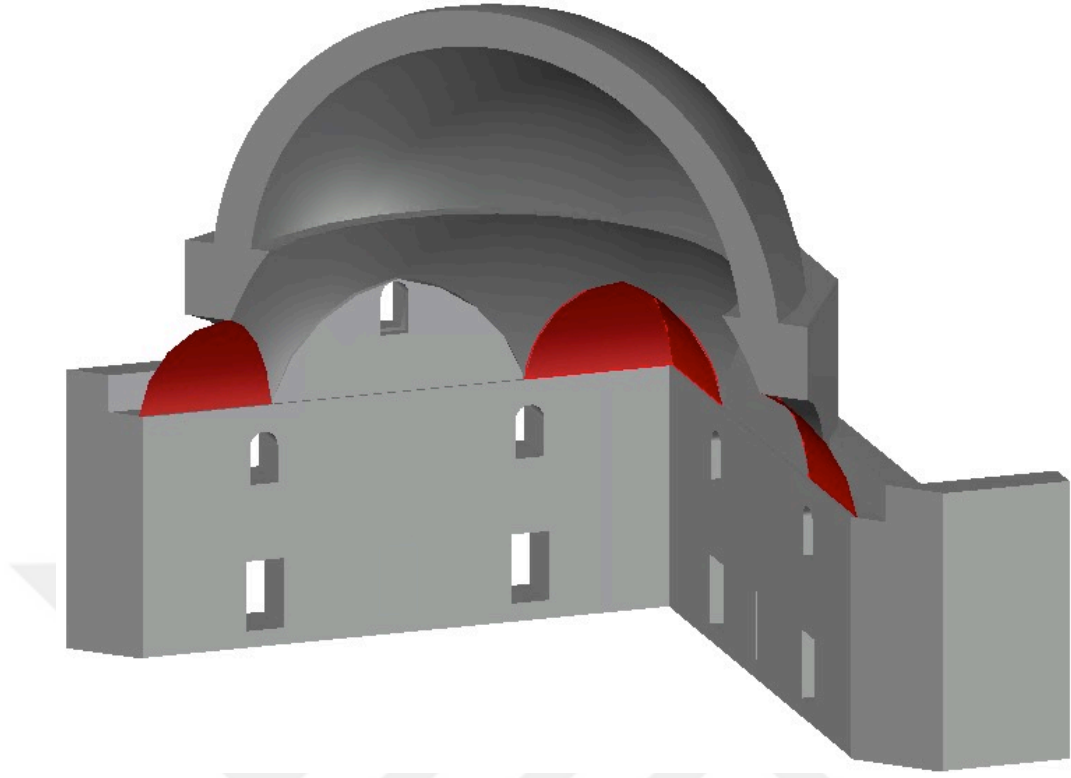
Üretilen çizim ve kesitler üzerinden Kurşunlu Külliye camisinin 3 boyutlu modelleri üretilmiştir. Bahsedildiği gibi bu çalışma için referans alınan analizler farklı tip modellere ihtiyaç duymaktadır. Statik ve ışık analizleri için ihtiyaç duyulan katı modeller (Şekil 6.21, Şekil 6.22, Şekil 6.23) ve akustik analiz için ihtiyaç duyulan yüzey modelleri *SketchUp 2018* yazılımında oluşturulmuştur (Şekil 6.24).



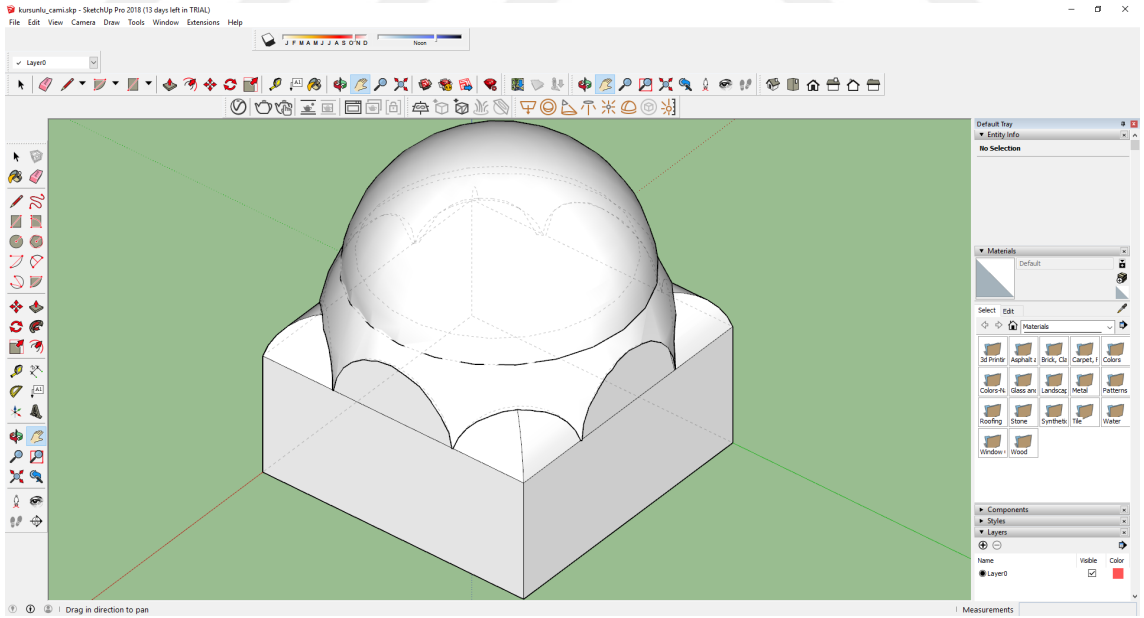
**Şekil 6.21** Ölçümleme sonuçlarından üretilmiş plan ve kesit yardımıyla oluşturulmuş katı model



**Şekil 6.22** Üst örtünün geçirimsiz geçiş elemanlarının yapı içinden görünümü



Şekil 6.23 Yapının güneydoğu-kuzeybatı aksonometrik kesiti



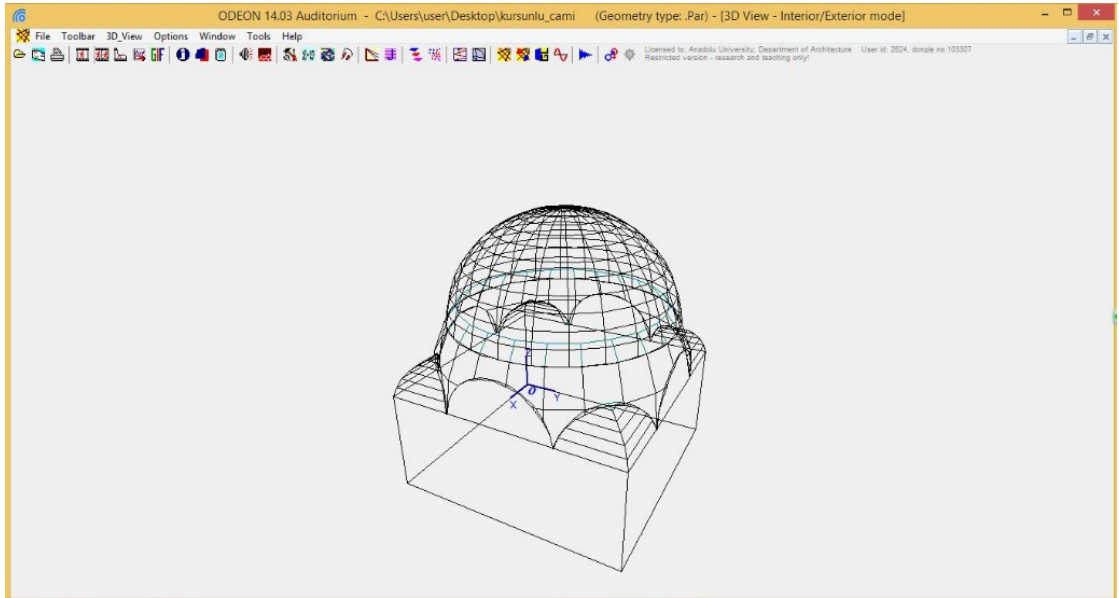
Şekil 6.24 Akustik analiz için üretilmiş yüzeylerden oluşan model

## 7. ANALİZ İÇİN ÜRETİLEN MODELLERİN DENENMESİ

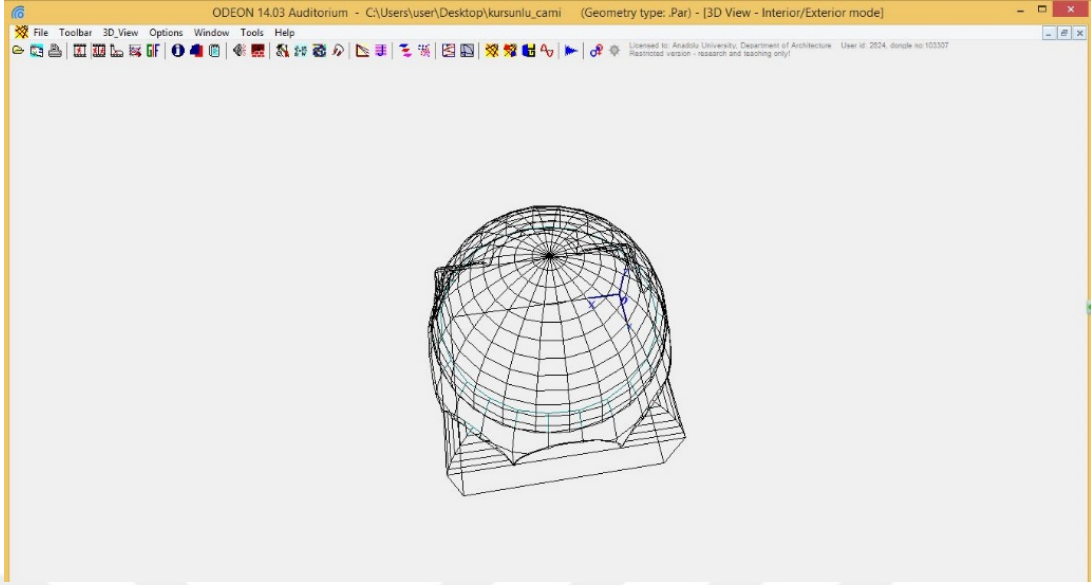
Çalışmanın bu bölümünde üretilen ortofotoların ve modellerin akustik, statik ve gün ışığı analiz yazılımlarına uygunlukları araştırılmaktadır. Bu aşamada bu analizlerin çalıştırılmasına gerek duyulmamış, yazılımın modelleri analiz edilebilir şekilde kabul edip etmediği temel kriter olarak alınmıştır.

### 7.1. Akustiğe Yönelik Analizler

Kapalı hacimdeki ses olaylarını analiz etmek için *Odeon Auditorium 14.03* yazılımı kullanılmıştır. Yazılım özellikleri gereği katı model değil yüzey modele gereksinim duymaktadır. Bu sebeple öncelikle *AutoCAD* yazılımında oluşturulmuş model patlatılarak sadece iç yüzeyleri bulunan bir model haline getirilmiştir. Ancak yazılım bu geometriyi kabul etmemiştir. Bu sebeple *Sketchup 2018* yazılımında yapı yeniden modellenmiş ve bu şekilde Odeon yazılımına girilmiştir. Odeon yazılımı geçirimli yüzeylerde analiz gerçekleştirememektedir. Ancak oluşturulan model hiçbir sorun oluşturmadan yazılıma eklenebilmiştir (Şekil 7.1, Şekil 7.2).



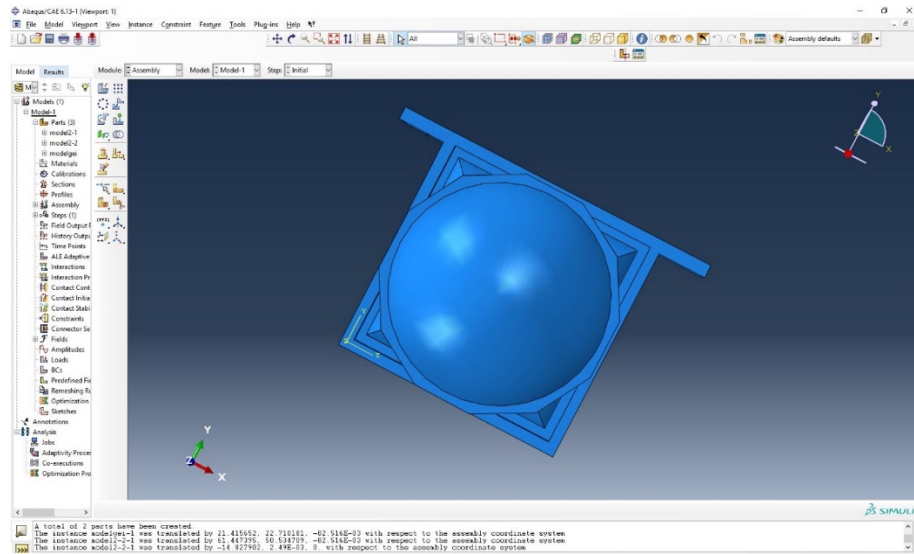
Şekil 7.1 Odeon Auditorium yazılımından modelin ekran görüntüsü



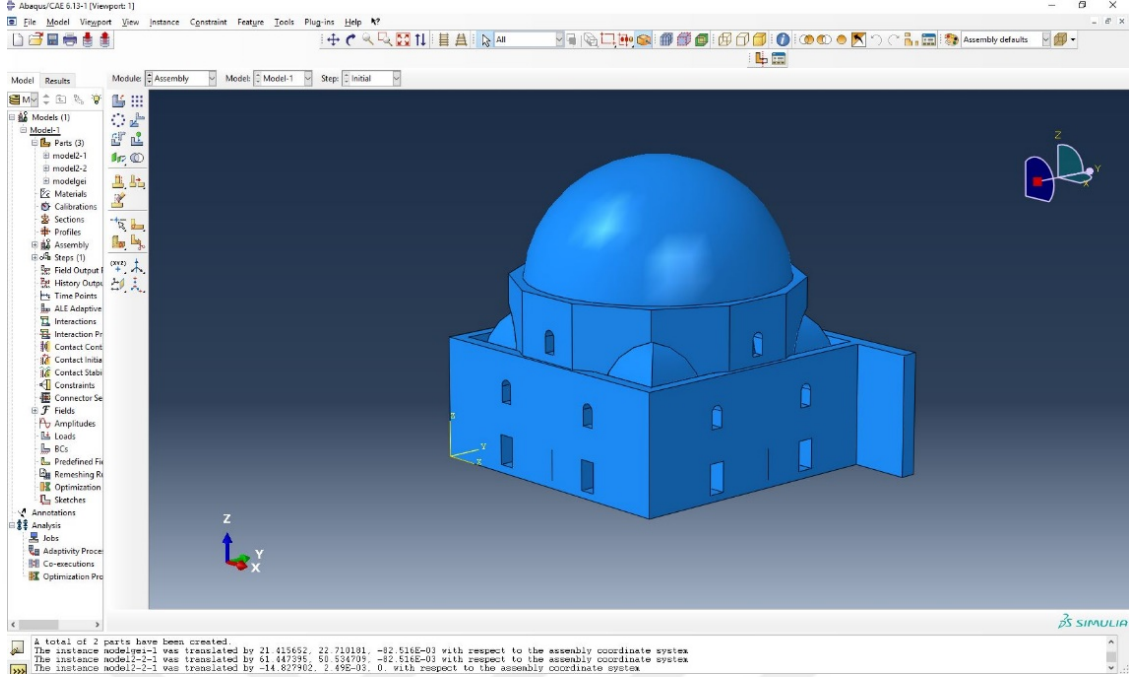
Şekil 7.2 Odeon Auditorium yazılımdan üst örtü görüntüsü

## 7.2. Yapı Statiği Analizleri

Yapı statikine yönelik sonlu elemanlar analizi için bahsedildiği gibi *Abaqus* yazılımı temel alınmıştır. *AutoCAD* ile üretilmiş modelde yapı elemanları ayrıştırılarak katı model haline getirilmiş ve yazılıma parça parça eklenmiştir. Bunun sebebi her bir yapı elemanının inşa malzemesi ve özelliklerinin ayrı ayrı tanıtılması gerekliliğidir. Oluşturulan modelde en karmaşık parçalar olan tromp ve kubbe geçiş çardağı dahi herhangi bir sorun olmadan aktarılmış, *Abaqus* yazılımında analiz edilebildiği ortaya konmuştur (Şekil 7.3, Şekil 7.4).



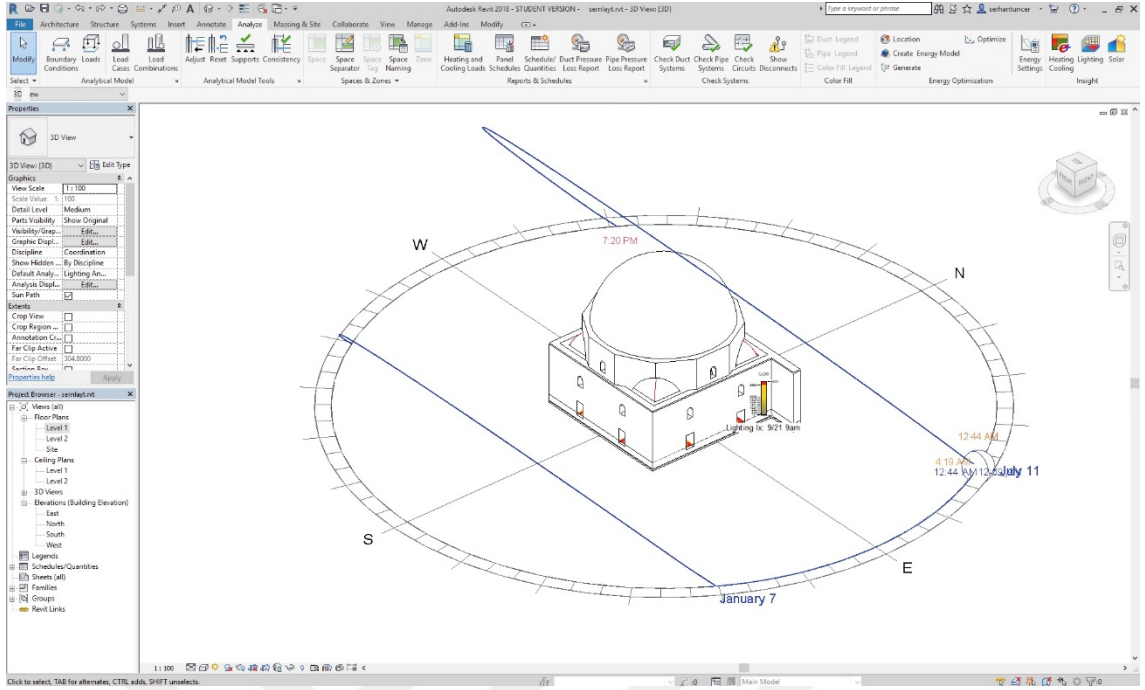
Şekil 7.3 Abaqus yazılımdan modelin üst örtü görüntüsü



Şekil 7.4 Abaqus yazılımından modelin aksonometrik görüntüsü

### 7.3. Yapı İçi Gün Işığı Analizi

Bahsedildiği gibi yapı içi gün ışığı analizi için *Autodesk Revit* yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılıma gün ışığını hesaplayabilmek için *Insight* eklentisi kurulması gerekmektedir. Eklenti ile gün ışığını analiz edebilmek için oluşturulmuş modelin katı yani “solid” yapıda olması gerekmektedir. Ayrıca yapının pencere açıklıkları dışında herhangi bir açıklığı olmaması yani geçirimsiz olması gerekmektedir. Bunun için de modelin tüm parçalarının birbirine tam olarak oturması ihtiyacı vardır. Kagir mimari ile inşa edilmiş Kurşunlu Külliyesi camisinin özellikle üst örtüsü bu anlamda problemleri bir yapıya sahiptir. Özellikle kubbeden geçiş elemanı olarak kullanılan, bir kemer türevi olan tromplar ve bunların üzerinde kubbe çapından çok az daha büyük inşa edilen çardak sistemi hassas çizilmelidir. Nokta bulutu verisi kullanılarak bu hassasiyet elde edilmiş ve model Revit yazılımına sorunsuz bir biçimde eklenebilmiştir. Modelin eklenmesinin ardından eklenti de çalıştırılmış herhangi bir sorunla karşılaşılmamıştır (Şekil 7.5).



Şekil 7.5 Revit yazılımında, Insight eklentisi ile çalıştırılmış yapı içi gün ışığı analizi uygulaması



## 8. SONUÇ, DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında Eskişehir Kurşunlu Külliye camisinde yapılmış uygulamalar, konvansiyonel yöntemlerin zaman, doğruluk ve hassasiyeti ile karşılaştırılmış, kullanılan ileri teknoloji yöntemleri elde edilmek istenen sonuç ürünleri bazında değerlendirilmiştir. Bunun dışında çalışma sonucunda ortaya çıkan bulgular doğrultusunda, ileride yapılacak çalışmalarda kullanılacak analiz türlerine göre kullanılacak ileri teknoloji yöntemlerine yönelik önerilerde bulunulmuştur.

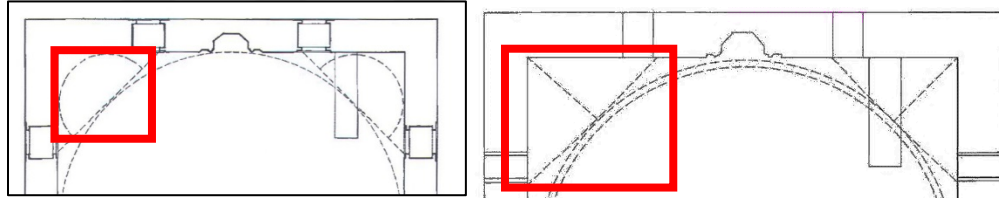
### 8.1. Sonuç ve Değerlendirme

Çalışmanın 2.1 bölümünde belirtildiği gibi bir yapının rölöve çalışmalarının konvansiyonel yöntemlerle yapılması ile ileri teknolojik yöntemler arasında öncelikle belirgin şekilde arazide geçirilen zaman farkının mevcut olduğu ortaya çıkmaktadır. Konvansiyonel yöntemlerle yapılacak ölçümlemede zamanın kısıtlı olduğu varsayıldığında bir günün gündüz vaktinde ölçüm alınması, gece ölçüm sonuçlarının kâğıda aktarılması, ertesi gün de düzeltmelerin yine yerinde yapılması gerekmektedir (Ahunbay, 2016). Bu da aslında arazide geçirilecek iki günü ifade etmektedir. Ancak kullanılan ileri teknoloji yöntemleri arasında, arazide en uzun süre geçirilen yersel lazer taramada dahi toplamda 1 saat 40 dakikada yapının iç ve dış ölçümleri tamamlanabilmiştir. Bunun dışında söz konusu cephe rölövesi ise fotoğraf makinası ile yapılacak ölçümleme sayesinde çok daha kısa sürelerde tamamlanabilmektedir.

Konvansiyonel yöntemlerle yapılacak bir belgeleme çalışmasında genellikle araziye dağılmış üçlü guruplar tercih edilmektedir. İki kişi ölçüm aletini sabitlerken bir kişi de okumayı gerçekleştirir (Ahunbay, 2016). Bu da arazi ekibinin en az üç kişiden oluşması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu çalışma kapsamında yapılan tüm ölçümler tek kişi tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu durumun da maliyet ve süre üzerinde etkisi olduğu düşünülebilir.

Çalışma sonucunda ortaya konulan bir diğer sonuç ise Eskişehir Kurşunlu Külliye camisinin plan ve kesit çizimlerindeki gösterim hatalarıdır. Caminin kubbeye geçiş elemanları, çizilen planda yarım kubbe olarak tasvir edilmiştir. Ancak geçiş elemanlarının tromp olduğu, yapı içerisinden açıkça görülmekte ve bunun dışında yayınlarda da ifade

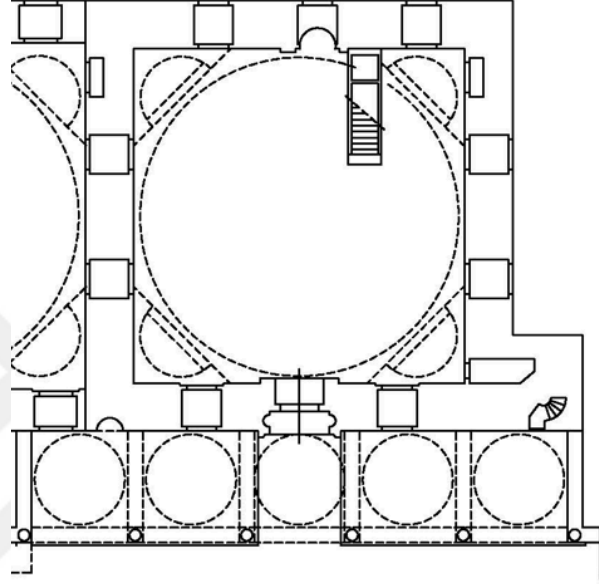
edilmektedir. Bu noktada çizimde yapılan bu hata, geçiş elemanının türünün yanlış bilinmesinden farklı bir durum olmalıdır. Tromp, kare planlı bir yapının köşelerine yerleştirilerek yapıyı sekizgen hale getiren ve daire kesitli olan kubbenin oturabilmesi için daha elverişli yüzey oluşturan bir geçiş elemanıdır. Tromp temelde birbirine dik açı yapan iki tane kemerden oluşmaktadır ve sistemin yük aktarımını sağlayan asıl elemanlar bu kemerlerdir. Yarım kubbe ise yarım bir kemerin üst noktası merkez alınarak, kendi eksenini etrafında 180° döndürülmesiyle oluşmaktadır. Aslında sürekli bir kemer formu olan yarım kubbe, yük aktarımını bütün yüzeyleriyle gerçekleştirmektedir. Bu elemanlar arasındaki en temel fark oturdukları duvarda oluşturdukları yüzeylerdir. Tromp tam olarak köşeye oturur ve kemer başlangıcından köşeye kadar düz devam eder. Yarım kubbe ise tüm yüzeylerinde olduğu gibi duvara oturması gereken yerde de eğriseldir. Bu, yarım kubbeden duvar köşesine bir geçiş elemanı ihtiyacı daha doğrudur. Dolayısıyla her ne kadar benzer görünseler de iki geçiş elemanı arasında oldukça büyük farklar mevcuttur (Şekil 8.1).



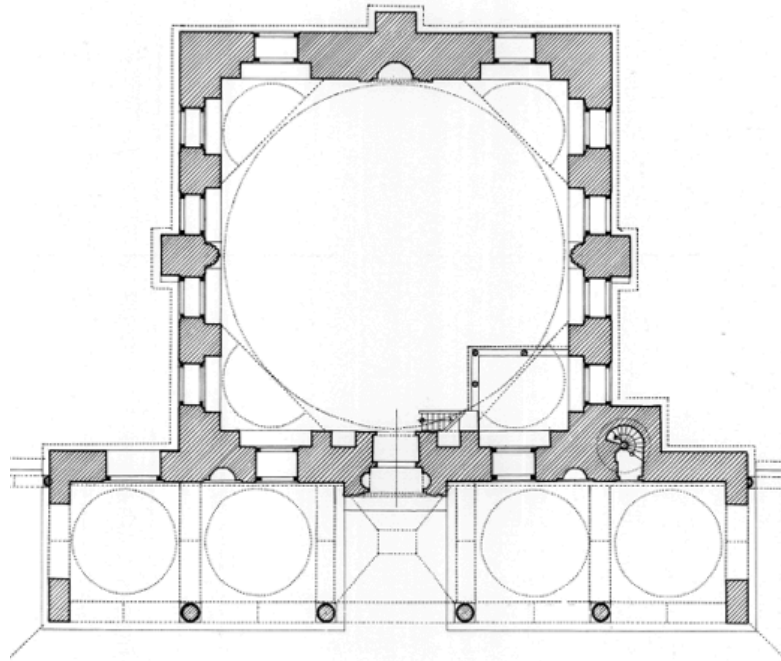
**Şekil 8.1** Solda yayınlarda kullanılan plandan, sağda ise çalışmada çizilen plandan tromp detayı

Bu gösterim farklılığı literatürde benzer plan tipinde olan başka yapılarda da görülmektedir. Örneğin çalışmada ele alınan yapı ile yakın döneme tarihlenen Gebze Çoban Mustafa Paşa Külliyesi, daha sonraki dönemlerde inşa edilmiş, Mimar Sinan'a atfedilen Haseki Hürrem Sultan ve Tekirdağ Rüstem Paşa camileri de benzer plan tipli ve tromp geçişli yapılardır (Şekil 8.2, Şekil 8.3, Şekil 8.4). Farklı araştırmacılarca çizilmiş planlarda dahi bu gösterim hatasını görmek mümkündür. Bu çizim hatasının, trompun izdüşümünün yanlış algılanmasından kaynaklandığı görülmektedir. Görsellerde de görüldüğü üzere ilk bakışta eğrisel yüzeyi dikkat çeken trompun kesiti alınırken plana dairesel olarak yansıtacağı düşünülüyor olmalıdır (Şekil 8.5). Ancak çalışmada bahsedilen yöntemler kullanılarak nokta bulutundan kesit alınarak oluşturulan plan çiziminde, bu elemanın izdüşümünün birbirini dik kesen iki çizgi olduğu açıkça

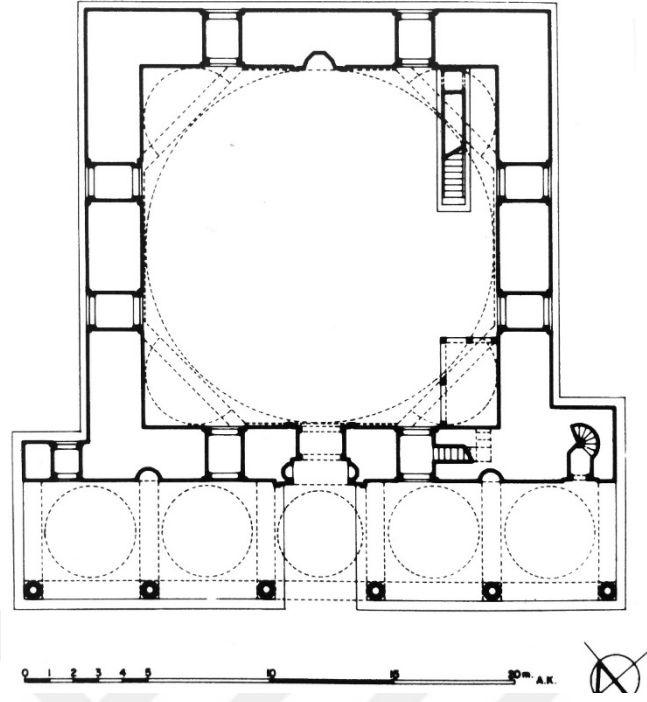
görülmektedir. Bu gösterim hatasının, plandan üretilen modelde de büyük bir soruna yol açtığı bölüm 6.2.1’de görülmektedir. Burada, sivri kemerli bir kubbe olarak modellenen geçiş elemanı, geçirimsiz katı model olarak oluşması gereken yapıyı bozarak boşluklar meydana getirmiştir. Geçiş elemanının kubbeye birleşmesi gereken yerde de büyük boşluklar oluşmuştur.



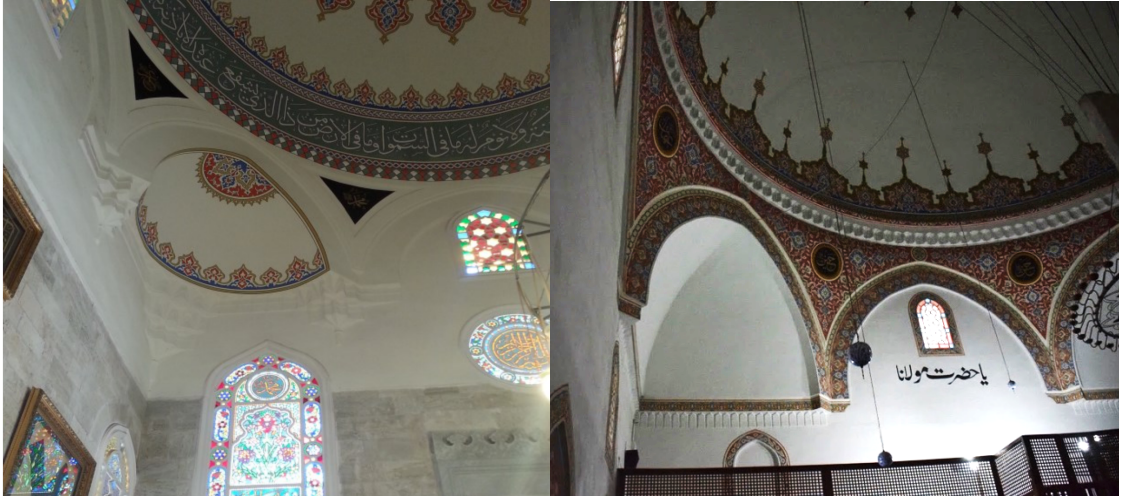
Şekil 8.2 Haseki Hürrem Sultan Külliyesi planı (Kuban, 1997)



Şekil 8.3 Tekirdağ Rüstem Paşa Camisi planı (http-3)



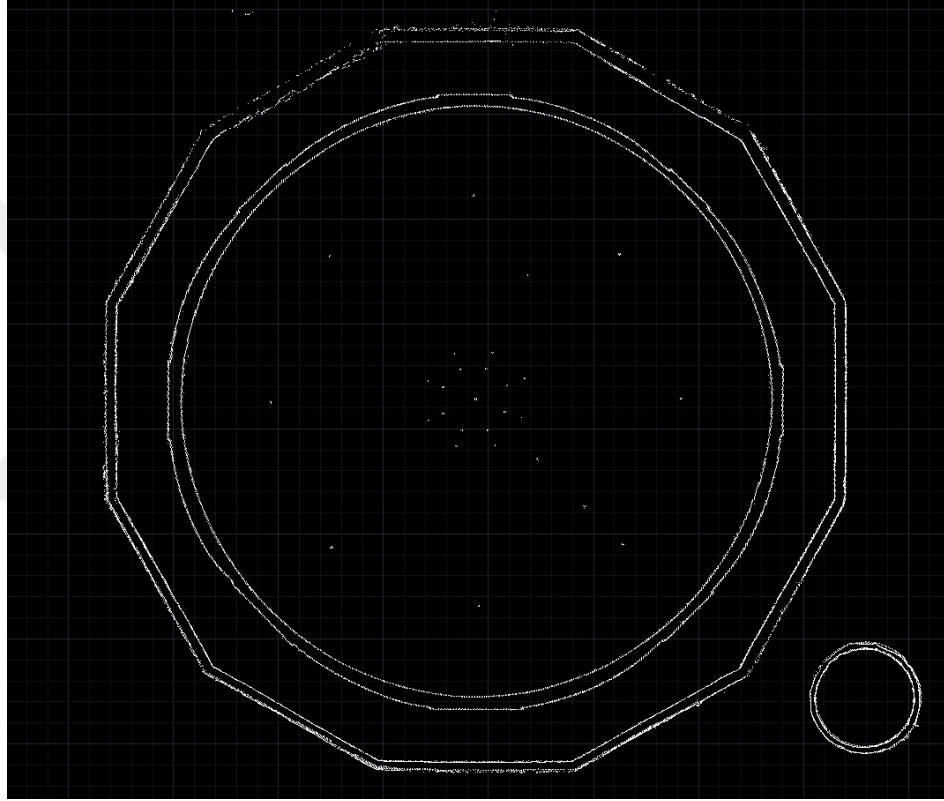
Şekil 8.4 Gebze Çoban Mustafa Paşa Külliyesi Camisi Planı (Kuran, 1986)



Şekil 8.5 Solda Şemsi Ahmet Paşa Camisi (Şenyurt, 2018) yarım kubbe geçişleri, sağda Kurşunlu Külliye Camisi tromp geçişleri

Modelde oluşan, kubbeye geçişteki büyük boşlukların temel sebebi ise kubbenin hemen altında oluşması gereken alanın, yayınlardaki plan ve kesitlerde gösterilmemesinden kaynaklanmaktadır. Yapı içerisinde de gözlemlenebildiği gibi kubbenin çapı, trompların oluşturduğu sekizgenin çevresel çember çapından küçüktür. Bu sebeple kubbenin oturtulabilmesi için ikinci ve daha geniş bir eğrisel çardağa ihtiyaç

duyulmaktadır. Bu çardak göz ardı edilerek çizilen modelde, üst örtünün havada kaldığı ve sekizgenin köşelerinin boş kaldığı görülmüştür. Bu durum aslında tüm literatürde karşılaşılan bir durumdur. Kubbeli kagir yapıların hemen hepsinde bu ikinci çardak mevcuttur. Literatürde çizilmiş yapı kesitlerinin de büyük bölümünde bu bölüm vurgulanmaktadır. Ancak hiçbir plan kesitinde bu geçiş elemanı çizilmemektedir. Bu çalışmada üst örtü çizimlerinde kubbe ile beraber eğrisel çardağın da kesit olarak çizilmesi gerektiği ortaya konulmaya çalışılmıştır.



**Şekil 8.6** Nokta bulutu verisinden alınan kesitte görünen kasnak, eğrisel çardak ve ana kubbe kesitleri

Çalışmada kullanılan üç farklı belgeleme yönteminde de tek başlarına bütüncül model üretecek kadar veri toplanmasının mümkün olmadığı görülmektedir. Yersel lazer tarayıcı herhangi bir yükseklik ya da yükseltici sağlanmadığı müddetçe yapının dışından üst örtüye dair veri toplayamamaktadır. Çalışma için seçilen Kurşunlu Külliye camisi oldukça eğimli bir topografyaya yerleşmiş olmasına rağmen yapı çevresinde bu ölçümü sağlayacak bir yükseklik mevcut değildir. Ayrıca bu cami, dönem Osmanlı yapılarıyla karşılaştırıldığında küçük ölçekli bir yapıdır. Dolayısıyla özellikle anıtsal yapıların

bütüncül belgelemede yersel lazer tarayıcının tek başına yeterli olacağını söylemek mümkün değildir.

İnsansız hava aracı ile yapılan belgeleme çalışmasında, arazi koşulları oldukça büyük engeller teşkil etmiştir. Cami çevresindeki yapı ve doğal engeller, yapının eksiksiz şekilde modellenmesini engellemiştir. Ancak yapının dış çeperi ve üst örtüsünden, modelleme ile ilgili ihtiyacı karşılayacak kadar hassas veri üretimi sağlanabilmiştir. Veri işleminde özellikle yapı köşelerinde hassasiyet kaybı olduğu gözlenmektedir.

Yersel fotogrametrik yöntemlerle yapılan belgeleme çalışmasında ise yapı içerisinden elde edilen verilerin değerlendirilmesi mümkün olmamıştır. Yapı içerisinde çok fazla tek renk ve sürekli yüzey bulunması, sonuç ürünlerinin oluşturulmasında sorun yaratmıştır.

Sonuç olarak anıtsal bir mimari yapının bütüncül olarak belgelenebilmesi için tek bir yöntemin kullanılmasının çok mümkün olmadığı görülmüştür. Bu nedenle çalışma öncesi belgelenecek yapının özelliğine ve elde edilmek istenen sonuç ürününün türüne göre kullanılacak yöntemlerine karar verilmesi önem arz etmektedir.

Elde edilen sonuç ürünlerinin hassasiyetleri karşılaştırıldığında, kullanılan her yöntemle mimari model ve rölöveye yönelik yeterli hassasiyette veri üretilebildiği görülmüştür. Özellikle yersel lazer tarayıcı ile elde edilen veri, herhangi başka bir işlem gerektirmeden yapının gerçek ölçülerini verebilmektedir. Ancak koordinatsız şekilde yapılan fotogrametrik belgeleme çalışmasında hem üretilen modellerde hem de ortofoto ürünlerinde ölçek sıkıntıları olduğu görülmüştür. Bu sorunu çözebilmek için ürünlerin bilinen bir uzunluğa göre ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Bu da yapıda ayrı bir ölçüm gerektirmektedir. Bu ölçüm üzerine yapılan ölçeklendirme sonrasında sonuç ürünlerinin kendi içlerinde tutarlı oldukları görülmüştür.

Çalışma kapsamında kullanılan ileri teknoloji yöntemlerinin herhangi birisi ile bütüncül veri üretilemediği için bu yöntemlerin birbirleri ile karşılaştırılması söz konusu olamamıştır. Ancak her üç belgeleme yöntemi ile de gerçekleştirilebilmiş ortofoto üretimi, doğruluk, hız, hassasiyet ve maliyet açısından yöntemler arası karşılaştırma

yapılabilmesini sağlamıştır. Bu karşılaştırmada ortofoto üzerinde mimari çizim üretiminin hızı ve doğruluğunu değerlendirmek için mimari rölöve çiziminde tecrübeli bir mimardan yardım alınmıştır. Bu sayede çizim sürecinin toplam süreye olan etkisinin değerlendirme dışı bırakılması amaçlanmıştır.

Yersel lazer tarama uygulaması, kullanılan yöntemler arasında ölçümleme açısından en doğru sonucu veren yöntem olmuştur. Bu yöntemde arazide fazladan herhangi bir ölçme işlemine ihtiyaç duyulmadan gerçek ölçeklerde hassas veri toplanabilmiştir. Ancak ortofoto üretiminde diğer yöntemlere göre daha başarısız olduğu görülmüştür. Üretilen ortofotonun kalitesi, üzerinden çizim yapılmasını engelleyecek kadar düşüktür. Cephe üzerindeki detayların okunamaması, yer yer boşlukların oluşması sonuç çiziminin kalitesini ve üretim hızını olumsuz etkilemiştir. Yersel lazer tarayıcının kendi yazılımında ortofoto üretimi oldukça uzun veri işleme süresi sonucunda gerçekleştirilebilmektedir. Yöntemin maliyeti de düşünüldüğünde özellikle ortofoto üretiminde diğer yöntemlere kıyasla oldukça geride kaldığı görülmektedir.

Veri üretimi ve işlenmesi anlamında İHA ve fotoğraf makinası ile belgeleme aynı fotogrametrik temellere sahip belgeleme yöntemleridir. Dolayısıyla her iki yöntem için de aynı yazılım ve veri işleme yöntemleri kullanılmıştır. Ancak sonuç ortofotoları ele alındığında bu yöntemler arasında da farklılıklar olduğu ortaya çıkmaktadır.

Fotoğraf makinası ile gerçekleştirilmiş belgeleme sonucunda üretilmiş ortofoto, üç ürün arasında cephe detaylarının en rahat şekilde okunduğu ve üzerinden çizim yapılması en rahat sonuç ürünü olmuştur. Ancak ortofotoda cephenin kuzeyine doğru birtakım bozulmalar olduğu gözlemlenmiştir. Bu bozulmaların güney kısımda olmaması, çekilen fotoğrafın yüzeye dik olması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Cephenin kuzey köşesinde bulunan oldukça büyük ağaç bu bölgenin tam karşıdan, yüzeye dik bir açıyla fotoğrafının çekilmesini engellemiştir. Çekilen fotoğraflardaki bindirme oranının kontrolsüz bir biçimde kullanıcı tarafından ayarlanması ve çekilen fotoğraf sayısının az olması, üretilen ortofotoda boş alanlar ve bozulmalara sebep olmuştur. Yersel fotogrametri yönteminde elde edilen sonuç ürünün ölçek sorunundan yukarıda bahsedilmiştir. Bu sorunun çözülmesi için ölçülen alanda boyutları bilinen işaretçiler kullanılması ya da çekilen fotoğrafların koordinatlandırılması gerekmektedir. Bu çalışmada sonuç ürünün

ölçeklendirilmesi cephede alınan fazladan bir ölçüm sonucuna göre gerçekleştirilmiştir. Cephe rölövesi için altlık üretiminde maliyet ve zaman açısından en efektif yöntem olarak öne çıkan yersel fotogrametride, yeterli doğruluk ve hassasiyeti elde edebilmek için arazi tecrübesi ve fazladan ölçümlere ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.

İnsansız hava aracı ile elde edilmiş verilerden üretilmiş ortofoto, üzerinden kolaylıkla çizim yapılabilecek şekilde net ve okunabilen bir sonuç üretmiştir. Yersel fotogrametri ile benzer bir biçimde bu yöntemde de ölçek sorunu ile karşılaşmıştır. Ancak bu, İHA'ların entegre GPS özellikleri sayesinde koordinatlı fotoğraf çekmesi ile aşılabilecek bir sorundur. Yersel fotogrametri ile üretilmiş ortofotoda yaşanan bozulma ve kayıp alanlar, bu yöntemle üretilen ortofotoda bulunmamaktadır. Videodan üretilmiş fotoğrafların bindirme oranı ve fotoğraf sayısının çokluğu bu sorunların yaşanmasına engel olmuştur. 5.2. bölümde bahsedildiği gibi insansız hava aracı ile yapılan ilk belgelemede ciddi bir kaza yaşanmıştır. Yapılan uçuşta yazılım ya da kullanıcı hatası, İHA'nın tahrip olmasına sebep olmuş ancak tercih edilen uçuş zamanının riske atılmaması sayesinde başka herhangi bir can ya da maddi hasar meydana gelmemiştir. Yaşanan bu olay göstermektedir ki büyük ve yoğun ziyaret edilen kentlerde kontrolsüz şekilde İHA kullanımı çok büyük risk taşımakta, hatta can tehlikesi yaratacak boyutlarda sorun teşkil etmektedir. Tüm bu veriler değerlendirildiğinde bu yöntem maliyet, hız ve ihtiyaç duyulan tecrübe yönünden dezavantajlı olsa da sonuç ürününün doğruluğu açısından cephe rölövesi için en etkili yöntem olarak öne çıkmaktadır.

## 8.2. Öneriler

Çalışma sonucunda ulaşılan sonuçlar değerlendirildiğinde, yapılacak analiz çalışmasının niteliğine göre tercih edilebilecek yöntemler zayıf ve güçlü yanları ile aşağıdaki gibi listelenmiştir:

**Rölöve:** Değerlendirilen yöntemler arasında önce çıkanlar fotogrametrik yöntemler olmuştur.

- *Konvansiyonel yöntemler:* İş gücü gerektirmektedir, hassasiyeti düşük ve zaman açısından dezavantajlıdır.



- *Yersel lazer tarayıcı:* Maliyeti diğer yöntemlere göre çok yüksektir, ürettiği verinin boyutları sebebiyle işleme zor ve sonuç ürününün kalitesi düşüktür.
- *İnsansız hava aracı:* Maliyeti yersel fotogrametriye göre yüksektir ve pilotaj yetkinliği gerektirmektedir. Ancak koordinatlı veri üretebilmesi ve tutarlı bindirme yöntemi sayesinde sonuç ürünün kalitesi, hızlı ve doğru şekilde çizim yapılmasını sağlamaktadır.
- *Yersel fotogrametri:* Maliyeti ve gerektirdiği yetkinlik en düşük yöntemdir ancak sonuç ürününde fazladan ölçme ve veri üretiminde tecrübe gerektirmektedir. Yine de doğru yöntemlerle çalışıldığında düşük maliyetle istenilen sonuç elde edilebilecektir.

**Yapı Statiği Analizleri:** Analiz için bütüncül model üretimi gerekmektedir ve bütüncül veri hiçbir yöntemle tek başına elde edilememiştir. İstenen veri hassasiyeti ile birlikte bütüncül veri üretimi yersel lazer tarayıcı ve insansız hava aracı ile üretilen verilerin entegre edilmesi ile ortaya çıkmıştır.

- *Konvansiyonel yöntemler:* İş gücü gerektirmektedir, ölçüm süresi uzundur ve veri hassasiyetinde hata olasılığı yüksektir.
- *Yersel Lazer Tarayıcı:* Yapı içi ve dışından yüksek hassasiyette veriyi kısa süre içerisinde toplayabilmektedir ancak yapının üst örtüsü ile ilgili veriyi toplamak mümkün değildir.
- *İnsansız Hava Aracı:* Kullanımı tecrübe gerektirmektedir ancak yüksek yapıların üst örtüsü ile ilgili veriyi toplamanın en etkili yöntemidir. Yapı içerisinde veri üretimi için etkin değildir.
- *Yersel Fotogrametri:* Yapı içerisinde veri elde edilebilmesi koşullara bağlıdır, bütüncül model üretiminde etkin değildir.

**Yapı Akustiği Analizleri:** Sadece yapı içi belgelemeye ihtiyaç duymaktadır. Bu veri en etkin ve hassas şekilde yersel lazer tarayıcı ile elde edilebilmektedir.

- *Konvansiyonel yöntemler:* Basit ölçümlerle kaba bir model üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Ancak özellikle iç bükey yüzelerde tahmine dayalı çizimlere ihtiyaç duyulacağı için hassasiyet kaybı olacaktır.
- *Yersel Lazer Tarayıcı:* Yapı içerisinde en doğru, en hassas ve en hızlı ölçümlemeyi gerçekleştirebilen yöntemdir.
- *İnsansız Hava Aracı:* Yapı içerisinde veri toplaması koşullara bağlıdır. Hareket kabiliyetinin sınırlı olması sebebiyle yapı içerisinde üst örtüden veri toplayamamaktadır. Ayrıca fotogrametrik yöntemin tek renkli homojen yüzelerde problem yarattığı ortaya konulmuştur.
- *Yersel Fotogrametri:* İnsansız hava aracının aksine yapı içinde her noktadan veri elde edilmesi mümkündür ancak üst örtüsü daha yüksek olan yapılarda çözünürlük kaybı yaşanacaktır. Bunun dışında insansız hava aracında olduğu gibi yapı içerisinde tek renkli ve homojen yüzelerde problem yaratmaktadır.

**Yapı içi Gün Işığı Analizi:** Yapı statığında olduğu gibi bütüncül modele ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla yine yersel lazer tarayıcı ve insansız hava aracı verilerinin entegrasyonu en etkili yöntem olarak öne çıkmıştır.

- *Konvansiyonel yöntemler:* İş gücü gerektirmektedir, ölçüm süresi uzundur ve veri hassasiyetinde hata olasılığı yüksektir.
- *Yersel Lazer Tarayıcı:* Yapı içi ve dışından yüksek hassasiyette veriyi kısa süre içerisinde toplayabilmektedir ancak yapının üst örtüsü ile ilgili veriyi toplamak mümkün değildir.
- *İnsansız Hava Aracı:* Kullanımı tecrübe gerektirmektedir ancak yüksek yapıların üst örtüsü ile ilgili veriyi toplamanın en etkili yöntemidir. Yapı içerisinde veri üretimi için etkin değildir.
- *Yersel Fotogrametri:* Yapı içerisinden veri elde edilebilmesi koşullara bağlıdır, bütüncül model üretiminde etkin değildir.

## KAYNAKÇA

- Ahunbay, Z. (2016). *Tarihi Çevre Koruma ve Restorasyon*. İstanbul: YEM Yayın.
- Akköse, M., Ateş, Ş., Adanur, S. (2016). *Yapı Statiği - I*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Altan, İ. (1993). Mimarlıkta Mekan Kavramı. *Psikoloji Çalışmaları/Studies in Psychology*, 19, 75-88.
- İnce, K. (1990). *Eskişehir ve Çevresindeki Osmanlı Devri Yapıları*. Doktora, Erzurum: Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Kahn, L. (1965). Remarks. JStor Retrieved 7.05.2017, from The MIT Press
- Kuban, D. (1997). *Sinan'ın Sanatı ve Selimiye: Türkiye Ekonomik ve Toplumsal Tarih Vakfı*.
- Kul, H. (2018). *Eskişehir'deki Salonların Akustik Envanter Çalışması ve A.Ü. AKM Opera ve Bale Salonu'nun Akustik Rapor Değerlendirmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kuran, A. (1986). *Mimar Sinan*. İstanbul: Hürriyet Vakfı Yayınları.
- Moaveni, S. (2015). *Sonlu Elemanlar Analizi: Teori ve ANSYS ile Uygulamalar*. Ankara: Palme Yayıncılık.
- Müderrişoğlu, F. (1993). *16. yüzyılda Osmanlı İmparatorluğu'nda inşa edilen menzil külliyeleeri*. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ankara: Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Necipoglu, G. (2005). *Sinan Çağı Osmanlı İmparatorluğu'nda Mimari Kültür* (G. Ç. Güven, Trans.). İstanbul: Bilgi Üniversitesi Yayınları.
- Özbalımcu, S. (2007). *Fotogrametrik Yöntemle Ortofoto Harita Üretiminin Temel Esasları, Ortofotonun Yararları ve Kullanım Alanları*. Paper presented at the TUFUAB, İstanbul.
- Rindel, J. H. (2002). Modelling in Auditorium Acoustics - From Ripple Tank and Scale Models to Computer Simulations. *Keystone Lecture*.
- Roth, L. M. (2000). *Mimarlığın Öyküsü* (E. Akça, Trans.). İstanbul: Kabalcı Yayınevi.
- Şenyurt, O. (2018). Şemsi Ahmed Paşa'nın Üsküdar'daki Yapıları Üzerine Bir Değerlendirme. *KOSBED*, 35, 163-192.

Tuncer, S. (2014). *Mimar Sinan Camilerinde Kubbenin Akustik Açısından Belgelenmesi: Kadirga Sokollu Mehmet Paşa Camii Örneği*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

http-1: <https://www.youtube.com/watch?v=L3x15tcRJCg> (ET: 05.01.2019)

http-2: [http://odunpazarihouses.com/wp/wpcontent/uploads/2011/04/kulliye\\_vaziyet.jpg](http://odunpazarihouses.com/wp/wpcontent/uploads/2011/04/kulliye_vaziyet.jpg)  
(ET: 28.12.2018)

http-3:

[http://www.mimarsinaneserleri.com/mimari\\_cizimler/Tekirdag%20Rustem%20Pasa%20Camii/slides/Levha024\\_Tekirdag\\_Rustem\\_Pasa\\_Camii\\_Planı.html](http://www.mimarsinaneserleri.com/mimari_cizimler/Tekirdag%20Rustem%20Pasa%20Camii/slides/Levha024_Tekirdag_Rustem_Pasa_Camii_Planı.html) (ET: 29.12.2018)



## EKLER

T.C.  
ODUNPAZARI KAYMAKAMLIĞI  
İlçe Yazı İşleri Müdürlüğü

Sayı : 63031034-000-E.5350  
Konu : Uçuş İzni

05/11/2018

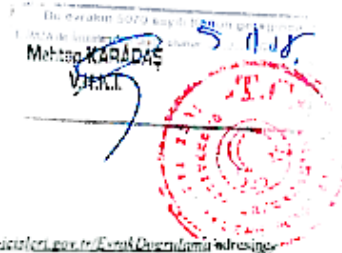
Serhan TUNCER  
Eskişehir Teknik Üniversitesi  
Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü  
İki Eylül Kampüsü  
Tepebaşı/ESKİŞEHİR

İlgi : Eskişehir Valiliği İl Yazı İşleri Müdürlüğü'nün 24.10.2018 tarihli ve 17020 sayılı yazısı.

Valiliğimize vermiş olduğunuz dilekçenize istinaden; İlçemiz Kurşunlu Köllüyesi çevresinde İHA uçuşu yapılmasında Kaymakamlığımızca herhangi bir sakınca bulunmamaktadır.

Gereğini arz ederim.

Turgay Hakan BİL.GİN  
Kaymakam



\*Bu belge elektronik imzalıdır. İmzalı suretinin aslını görmek için <https://www.goc.gov.tr/EsnekOdevrulumu> adresine girerek (T:4444000-114) Lo-UkPgwr-wlM4PT-ay/UQnyu) kullana yazınız.

İslyel Cad. Pk Çikman Merkez Pk Binası K:1 Okazyonun Eskişehir  
Telefon No: (222)220 21 81 Faks No: (222)220 34 09  
e-Posta: [odunpazarilicikaymakam@goc.gov.tr](mailto:odunpazarilicikaymakam@goc.gov.tr) İnternet Adresi: <http://www.odunpazarilicikaymakam.gov.tr>

Bilgi için: Alio ÇUKURMEN  
VERGİ HAZIRLAMA VE KONTROL BİREMLERİ  
Telefon No:

## ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : Serhan TUNCER  
Yabancı Dil : İngilizce  
Doğum Yeri ve Yılı : Ankara / 1982  
E-posta : serhan.tuncer@gmail.com

### Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2005, Topkapı Sarayı Müzesi, Duvar Çinisi Veritabanı Projesi
- 2009, Lisans, Hacettepe Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Sanat Tarihi Bölümü
- 2011-2019, Anadolu Üniversitesi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, Araştırmacı
- 2014, Yüksek Lisans, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık ABD
- 2016 – Devam ediyor, Doktora, Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sanat Tarihi ABD

### Yayınları ve Bilimsel Faaliyetleri:

- Serhan Tuncer, Emre Şenkal, Resul Çömert, "Yersel Lazer Tarama Tekniği İle Üretilen Verilerin Restorasyon Çalışmalarında Kullanımı (Eskişehir, Seyitgazi Sincan Cezaevi Örneği)" Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu (TUFUAB 2013), 23-25 Mayıs 2013, KTÜ, Trabzon, 25/05/2013
- Serhan Tuncer, Resul Çömert, Merve Ersoy, vd., "Application Of Terrestrial 3D Laser Scanning in Cultural Heritage Documentation: Example of "Armenian Bath"", 32nd EARSeL Symposium Advances in Geosciences, Mykonos Island, Greece., 21/05/2012
- Serhan Tuncer, Emre Şenkal, Resul Çömert, Uğur Avdan "İnsansız Hava Aracı İle Oluşturulan Verilerin Doğruluk Analizi" V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu Ekim 2014

- Serhan Tuncer, Uğur Avdan, Resul Çömert, "Üst Örtü Belgeleme Çalışmalarında Yersel Lazer Tarayıcıların Kullanımı: İstanbul Kadirga Sokollu Mehmet Paşa Camisi Örneği" 7. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu Ekim 2014
- Serhan Tuncer, Uğur Avdan, Resul Çömert, "Dome Documentation of Historical Buildings Utilizing Terrestrial Laser Scanner: Kadirga Sokollu Mehmet Pasa Mosque" Scientific Methods in Cultural Heritage, Gordon Research Conferences, 2016, Newry, Maine, USA
- Serhan Tuncer, Resul Çömert "Tarihi Yapıların Belgelenmesinde Farklı Yöntemlerle Elde Edilen Verilerin Entegrasyonu" VII. UZAL-CBS Sempozyumu, Eskişehir, 18-21 Eylül 2018

