

# KÜLTÜREL ESERLERİN ARTTIRILMIŞ GERÇEKLIK İLE SUNUMU: GERMİR PANAGİA RUM KİLİSESİ

M.A.Güven<sup>a,\*</sup>, M. Ç. Baydoğan<sup>b</sup>, E.Beşdok<sup>a</sup>,

<sup>a</sup> Erciyes Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 38039, Talas, Kayseri, Türkiye - (akif,ebesdok@erciyes.edu.tr

<sup>b</sup> Erciyes Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, 38039, Talas, Kayseri, Türkiye - caglar.baydogan@gmail.com

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** Arttırılmış Gerçeklik, Yersel Lazer Tarayıcı, 3 Boyutlu Modelleme, Germir Panagia Rum Kilisesi

## ÖZET:

Son yıllarda ülkemizde tarihi ve kültürel varlıkların 3 boyutlu modellenmesi çalışmalarında lazer tarama sistemlerinin ve fotogrametrik yöntemlerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Pek çok kültürel mirasa ev sahipliği yapan ülkemizde eserlerin korunması, belgelenmesi ve oluşturulan modellerin farklı ortamlarda kullanılması teknoloji ile gelişmektedir. Ölçme ve belgeleme tekniği olan mimari rölöve çalışmaları, son dönemde yaşanan bilim ve teknoloji alanındaki gelişmeler ile yerini 3 boyutlu modelleme, sayısal olarak arşivleme ve belgelemeye olanak veren sayısal fotogrametri tekniklerine bırakmaya başlamıştır. Kültürel eserler, çevresel kirlilik, bakım şartlarının yetersizliği, eğitimsiz kitle ve turizmin olumsuz getirileri nedeniyle deformasyona uğrayabilmektedir. Kültürel eserlerin belgelenmesinden sonra görsel olarak sunulması, gelecek nesillere aktarılmasında ve üretildiği dönemin şartlarını ve mimari özelliklerini gözler önüne sermesi bakımından önemlidir. Bu çalışmada amacı; yersel lazer tarayıcı ve yersel/havai fotogrametrik yöntemiyle, nokta bulutu elde edilen Germir Panagia Rum Kilisesi'nin 3 boyutlu modelinin oluşturulması, modelin arttırılmış gerçeklik ortamında sunulması olarak belirlenmiştir.

## PRESENTATION OF CULTURAL HERITAGE BY AUGMENTED REALITY: GERMİR PANAGİA RUM CHURCH

**KEY WORDS:** Augmented Reality, Terrestrial Laser Scanner, 3D Modeling, Germir Panagia Greek Church

## ABSTRACT:

In recent years, the use of laser scanning systems and photogrammetric method have become increasingly widespread in the 3D modeling of historical and cultural heritage in our country. In our country, which hosts many cultural heritage, preservation, documentation of the relics and using these objects 3D models in different fields are developing with the technology. With the recent developments in science and technology, the architectural survey studies, which are the measurement and documentation techniques have begun to give way to digital photogrammetry techniques that allow for 3D modeling numerical archiving and documentation. Cultural heritages can be deformed due to environmental pollution, insufficient maintenance conditions, untrained people and negative returns of tourism. After the documentation of cultural heritages, it is important to transfer them to future generations and to reveal the conditions and architectural features of the period in which they were produced, with visual presentation. In this context, the aim of this study; preparing and presenting with augmented reality techniques of the Germir Panagia Greek Church's 3-D model which obtained from the point cloud determined by the terrestrial laser scanner and terrestrial/aerial photogrammetry.

### 1. GİRİŞ

Kültür Mirasını koruma ve bu konu ile ilgili çalışmalar, son dönemde insanlığın ortak çabası olarak kabul edilen ve üzerinde önemle durulan bir olgudur. Teknoloji ve iletişimde yaşanan hızlı gelişim ve küreselleşme, ortak mirasa sahip çıkılmasını, bu mirasların buldukları coğrafyada yaşayan halkların sorumluluklarının artmasını zorunlu kılmaktadır. Bu sorumluluklar kültür mirası korumada tüm dünya ülkelerinin aynı anlayış ve sorumluluğa sahip olmasını beraberinde getirmiştir.

Kültürel miraslar, çevresel kirlilik, doğal afetler, insanların verdiği zararlar, bakım şartlarının yetersizliği, eğitimsiz kitle ve turizmin olumsuz getirileri nedeniyle zaman içinde sürekli aşınmış ve yıpranmışlardır. Günümüz insanının sorumluluğu tarihi mirasın gelecek nesillere zarar vermeden aktarılmasıdır. Tarihi, arkeolojik, mimari, mühendislik uygulamaları ve

belgeleme için yapılan ölçümler bir bütün olarak bu yapıları anlamak ve korumak için bilgi ve yeni teknikler geliştirmek amacındadırlar. Bu bağlamda fotogrametrik teknikler, yıllardır arkeolojik ölçümler ve tarihi eserlerin dokümantasyonu için kullanılan kullanılmaktadır. Dijital tekniklerin gelişimiyle fotogrametri, mimari eserlerin belgelenmesinde ve korunmasında daha verimli, hassas ve ekonomik bir teknik haline gelmiştir. Son yıllarda dijital fotogrametri ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ile binaların üç boyutlu modellerinin üretimi güncel araştırma konuları içinde yer almıştır. 3 boyutlu yapı modelleri, şehir planlama ve turizm için zorunlu hale gelmektedir (Duran & Toz, 2002; Suveg, Vosselman, & sensing, 2000). Dijital fotogrametri yöntemlerinden lazer tarama teknolojisi ve yersel/havai fotogrametri yöntemleri günümüzde kültürel miras ile ilgili yapılan birçok çalışmada, araştırma projelerinde ve yüksek doğrulukta mekânsal veri gerektiren tüm mühendislik uygulamalarında gün geçtikçe kullanım alanı artmaktadır. Bu yaygın kullanıma rağmen, kültürel miras yönü

ile zengin Türkiye’de bu teknolojiler daha çok geomatik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmakta ve eğitimi bu kapsamda verilmektedir. Türkiye’de bu teknolojilere önemli derecede gereksinim duyan ve aktif olarak çok sayıda uygulama gerçekleştirebilecek mimarlık disiplini ve görsel tasarım olmasına rağmen, bu alandaki uzmanlarca ve serbest çalışanlarca kullanılan oranı oldukça düşüktür.

Bu çalışmanın amacı; yersel lazer tarayıcı ve fotogrametrik yöntem ile ayrı ayrı nokta bulutları elde edilerek tarihi ve mimari öneme sahip Germir Panagia Rum Kilisesi’nin 3 boyutlu üç boyutlu modelinin oluşturulması ve entegre edilmesidir. Oluşturulan modelin gelecek nesillere aktarımını sağlamak ve koruma belgeleme alanında farkındalık yaratmak için yapının üç boyutlu modelinin artırılmış gerçeklik ortamında sunulması olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada Germir Panagia Rum Kilisesi’nin 3D belgeleme çalışmaları için iki farklı yöntem ile üretilerek entegre edilmiş nokta bulutu kullanılarak yapılmıştır. Belgeleme çalışmasında izlenen yöntem ve çalışma aşamaları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. İş Akış Şeması

1	Ön hazırlık	Alan İncelemesi, Uçuş Planlaması, Lazer Tarayıcı Oturum Planlaması Ve Topografik Ölçümler.
2	Literatür taraması	Germir Panagia Rum Kilisesi ve ölçüm yöntemine ilişkin veri toplama.
3	Nokta bulutu filtreleme	Düzenli ve yumuşak ağ yüzeyler oluşturulması ve aykırı değerlerin yok edilmesi için Gaussian ve Optimizasyon temelli nokta bulutu filtresi uygulanması.
4	Verilerin Kaynaştırılması	Farklı yöntemlerden elde edilen nokta bulutlarının çakıştırılması
5	Ağ model oluşturma ve düzenleme	Nokta bulutun ağ yüzeylere dönüştürülmesi.
6	.obj uzantılı dosya için raster (kaplama) hazırlama	Nokta bulutu verisindeki renk bilgisinin ağ yüzey kaplaması için kullanılması.
7	Dosya dönüşüm işlemleri ve doku kaplama	.obj dosyası boyutunun ve. skp dosyasının hazırlanması.
8	Oluşturulan ağ yüzeylere artırılmış gerçeklik uygulamalarına yüklenmesi.	Artırılmış gerçeklik uygulamaları için Augment <sup>1</sup> (Cloud (bulut) tabanlı yazılım) ve Sketchup Viewer (AR) <sup>2</sup> uygulamaları kullanılmıştır.
9	Her iki uygulamada modelin test edilmesi	İşaretçi (marker) ve işaretçi olmadan programın hazırlanmış 3 boyutlu modelin dıştan ve içinden görüntülenmesi
10	Sonuç ürün	Her iki uygulamadan görüntü alınması

<sup>1</sup> **Augment:** Ticari artırılmış gerçeklik uygulamasıdır. Yapılan çalışma İOS platform için eğitim versiyonu kullanılarak yapılmıştır. (<https://www.augment.com/>)

<sup>2</sup> **Sketchup Viewer** Sketchup (skp) uzantılı dosyaları taşınabilir cihazlarda görüntülemeyi ve bu dosyaları artırılmış gerçeklik ortamında görmeyi sağlayan ayrıca mimarlık ortamında kullanılan bir ticari paket programdır. Çalışmada Sketchup Viewer İOS eğitim sürümü kullanılmıştır. (<https://www.sketchup.com/products/sketchup-viewer>)

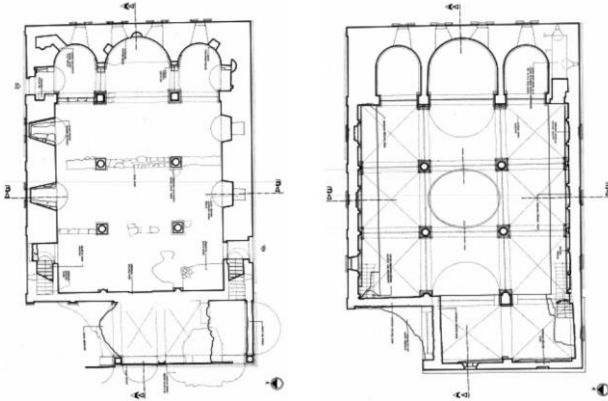
## 2. UYGULAMA ALANI VE ÖN HAZIRLIK

Germir Mahallesi’nin çok yakın gelecekte yoğun kent dokusu ve imar baskısı altında kalma riski olması, mimari değer – karakter olarak özgün ve iyi olan yapının kötü olan fiziki durumunun uzun yıllardır değişmemesi, şehir merkezine yakın fakat tanınırlığının az olması gibi nedenler Germir Panagia Rum Kilisesi üzerinde çalışma yapılmasında etkili olmuştur. Rum, Ermeni ve Türk nüfusun birlikte yaşadığı köylerden birisi olan Germir, Kayseri’ye 5 km. uzaklıkta, Sivas yolu üzerinde bir vadiye bulunmaktadır. Germir’ de yerleşik hayat, Kayseri’ye paralel olarak, Hititler, Kapadokyalılar, Roma-Bizans, Selçuklular ve Osmanlılar dönemini kapsayan geniş yelpazede zaman dilimini kapsamakta olup, Germir Kapadokya’nın en önemli merkezlerinden olan Derevenk Vadisi içinde bulunmaktadır. Adının kökeni kesin olarak bilinmemekle birlikte, Ermenice Kırmızı anlamına gelen Garmir kelimesinden geldiği kaynaklarda belirtilmektedir (Açıkgöz 2007). Germir 12.-13. Yüzyıllardan 20. Yüzyılın ilk çeyreğine kadar, daha çok Hristiyanlardan oluşan, Ortodoks Rumlar, Apostolik ve Ortodoks Ermeniler, Müslüman Türklerden oluşan üç kültürün bir arada yaşadığı bir yerleşim yeri olarak günümüze gelmiştir (Gündüz 2011). 1500 senesinde yapılan tahrirlerde Germir’ de bulunan halkın tamamına yakınının gayrimüslim olduğu, Germir Köyünün sekiz mahallesinde Rumların, dört mahallesinde Ermenilerin, bir mahallesinde Müslümanların, üç mahallesinde de Rumlar ve Ermeniler birlikte yaşadıkları belirtilmiştir (Keskin, 1998). 1900’lü yılların başlarında gayrimüslim nüfusa sahip halkın göç hareketleri sonucunda bu kesime ait nüfus giderek azalmıştır (Gündüz 2011).

Panagia Rum Kilisesi’nin konumu; Köyün batısındaki tepe üzerinde bulunan kilise, kaba yonu örgülü yüksek duvarlarla çevrilmiş bir bahçe içindedir. Panagia Kilisesi 1837 yılında inşa edilmiştir. Kapı lentosu üzerindeki kitabenin muhtemelen çalınmış olduğu düşünülmektedir. Kesme taştan yapılan iki katlı kilisenin merdivenlerle ikinci katına, oradan da kubbesine kadar çıkılmaktadır. Kilisenin yaklaşık 10 m. uzağında da taştan inşa edilmiş çan kulesi bulunmaktadır. Özneli taş işçiliği ile bezenmiş kilisenin birçok yerinde taş kemerler kullanılmıştır. Kiliseye giriş kapısı dikdörtgen biçimlidir ve geniş taş sövelerle sınırlandırılmıştır (Açıkgöz 2007).

Mübadeleden sonra özel mülkiyete geçen kilise, 1938-1975 yılları arasında iplik ve bez fabrikası olarak kullanılmıştır. Bugün işlevsiz ve terk edilmiş olan kilisede, yağma tekniğinde taş, demir, ahşap ve kireç harcı kullanılmıştır. Duvarlar, sütunlar, örtü öğeleri ve döşeme ve çatı kaplamaları taştandır. Kuzey ve güney duvarları 85-93 cm, batı duvarı 83 cm kalınlığında, sütunlar yaklaşık 45 cm çapındadır. Apsiste 55X55 cm boyutlarında iki ayak bulunmaktadır. Yapı, fabrika olarak kullanıldığı sırada pek çok müdahale görmüştür. Betonarme, briket ve demir kullanılarak yapılan ekler ve yıkılan kısımlar yapıya büyük zarar vermiştir. Doğu, kuzey ve güneybatısına duvarlar eklenmiş, güneyinde; briket ve taş kullanılarak örülen duvarlarla ek yapılar elde edilmiştir. Çatı üzerinde, briket duvarlarla yükselen bir ek bulunmaktadır. Girişte, briket duvarlar ve betonarme döşeme ile iki katlı büro birimi yapılmıştır. Sütunlar üzerine betonarme ekler yapılarak demir profiller yerleştirilmiştir. Kapı ve kuzey duvarındaki iki üst pencere ile, güney duvarındaki alt pencereler, batı duvarındaki kuzey alt penceresi örülerek kapatılmıştır. Kuzey duvarındaki alt pencereler kapıya dönüştürülmüş, batı duvarına düzensiz pencereler açılmıştır. Batı avlusunda sonradan örülmüş ayaklar ve yapının kuzey duvarına yük aktaran betonarme bir kemer

bulunmaktadır (Suveg et al., 2000). Kiliseye ait planlar Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Panagia Rum Kilisesi planları (Taniş, 2006).

Germir'de bulunan diğer kiliselere kıyasla daha gösterişli bir durumda olan kilise, köye hâkim kayalık bir yamaçta yer almaktadır. Diğer kiliselerin aksine, sağlam kalmış yüksek kasnaklı kubbesi ve çan kulesiyle kendini göstermektedir (Taniş, 2006). XIX. yüzyıla tarihlendiği belirlenen yapı, çalışmada yukarıda sayılan özellikleri nedeniyle seçilmiştir.

### 3. NOKTA BULUTU YAKALAMA

#### 3.1 Yersel Lazer Tarayıcılar

Lazer teknolojisinin son yıllarda oldukça ilerlemesi ile birlikte saniyede milyonlarca nokta yakalayabilme yeteneğine sahip yersel lazer tarayıcılar üretilebilmektedir. Lazer tarayıcılar ortam aydınlatmasından bağımsız olarak küçük nesnelere kadar büyük yapılara kadar birçok nesneyi temsil eden nokta bulutunu 3 boyutlu olarak üretebilmektedir. Tarayıcıların marka ve modeline bağlı olarak üretilen nokta bulutunun kalitesi ve çözünürlüğü değişmektedir (Slob & Hack, 2004). Yersel lazer tarayıcılar diyottan çıkan lazer ışını ile nesne yüzeyine çarptığı nokta arasındaki mesafeyi ölçerek azimuth ve zenith açılarına hesaplar. Üretilen nokta bulutu lazer tarayıcı bilinen noktaya tesis edilmemişse veya GNSS destekli bir sistem ile çalışmıyorsa ise lokal koordinat sisteminde veri üretmektedir. Tarayıcılar yatay ekseninde pan-tilt motoru yardımıyla dönerken, lazer ışığının dağıtılması için düşey yönde dönen döner aynaya sahiptir. Bu aynanın konumlandırılması ve dönüklüğü sistemin başarısı ve tarama alanı için belirleyicidir. Lazer tarayıcılar Faz farkı ve Time of Flight(ToF) olmak üzere iki farklı yöntem ile nokta bulutu üretirler (Boehler, Vicent, Marbs, & Sciences, 2003; Günen, Çoruh, & Beşdok, 2017). Bu çalışmada yakın fotogrametrik uygulamalarda ToF yöntemine göre daha başarılı sonuç üreten ve faz farkı yöntemi ile çalışan Faro x130 yersel lazer tarayıcı kullanılmıştır. Faro x130'a ait önemli teknik özellikler **Tablo 2'**de verilmiştir.

Tablo 2. Faro x130'a ait teknik özellikler

Ölçüm mesafesi	0.6 m-130m arası ölçüm
Ölçme hızı (nokta sayısı/saniye)	122000-976000
Ölçüm hatası	±2mm
Kamera Çözünürlüğü	70 mega piksel üstü renk
Düşey/Yatay Ölçüm Açısı	300°/360°
Düşey/Yatay Step size	0.009°
Max düşey ölçüm hızı	5.820 rpm veya 97 Hz
Lazer Sınıfı	Lazer Sınıfı I

Dalga Boyu	1550 nm
Yükseklik Sensörü	Barometre ile rölatif yükseklik
Batarya Ömrü	4.5 saat
Ağırlık	5.2 kg
Boyut	240 x 200 x 100 mm

Yersel lazer tarayıcı ile 78 tarama noktasından Germir Panagia Rum Kilisesi'nin taraması yapılmıştır. Çakıştırma işleminin ardından görsel yorumlamayı arttırmak için veriler renklendirilmiştir. Kiliseye ait lazer tarama ile elde edilen nokta bulutu Şekil 2'de sunulmuştur.



(a)



(b)

Şekil 2. Yersel Lazer Tarayıcı ile elde edilen nokta bulutu a) Dış mekan b) İç mekan

#### 3.2 Fotogrametrik Yöntem

Nesnelere ait görüntüler elde edilirken 3D nesnelere 2D görüntülere projekte edilirler. Bundan dolayı RGB görüntüler üzerinden derinlik bilgisi elde edilememektedir. Aynı sahneye ait farklı açılarda çoklu görüntüler yakalanarak derinlik bilgisi üretilebilmektedir. Fotogrametrik yöntemler sahneye ait 3D nokta bulutunun üretilmesi için görüntü renk bilgisi kullanılarak. Structure from motion yöntemi çoklu görüntüler kullanarak sahneye ait nokta bulutu düşük maliyetli ve hızlı üretmeyi sağlayan fotogrametrik yöntemdir. SfM yönteminde çoklu görüntüler arasındaki eşlenik noktalar kullanılarak, kamera kalibrasyon parametrelerinin varlığına ve kamera çekim anındaki konumların doğru elde edilmesine bağlı olarak görüntülerin mutlak veya rölatif konumları belirlenir. Eşlenik noktaların tayin edilebilmesi için görüntüler belirli bindirme oranında elde edilmeleri gerekmektedir. Yöntemin doğru çalışması için ölçme tasarımının iyi planlanması, kalibrasyon parametrelerinin doğru üretilmesi, kamera konum ve dönüklük bilgilerinin oldukça yaklaşık elde edilmesi gerekmektedir (Günen, Atasever, Taşkanat, & Beşdok; Günen et al., 2017).

Uygulama kapsamında görüntü elde edilmesi için ZENMUSE X4s model kameraya sahip DJI Inspire 2 insansız hava aracı kullanılmıştır. Ürüne ait teknik bilgiler Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. DJI Inspire 2 ve Zenmuse X4s kamear özellikleri

Kalkış Ağırlığı (max)	4250 gr
Max Açısal Hız	Pitch:300°/s Yaw: 150°/s
Max Rüzgar Dayanımı	10 m/s
Oto-Pilot Desteği	Evet
Çalışma Sıcaklığı	-20°/40° C
Engel Tanıma Sensörleri	Evet (0-5 m)
Sensör Özellikleri	CMOS / 20Mp 13.2 x 8.8 mm
Lens Özelliği	8.8 mm
FoV	84°
Max Görüntü Çözünürlüğü	5472×3078

54 görüntü kullanılarak 3D mekansal nokta bulutu SfM yöntemi ile üretilmiştir. 30 metre yükseklikten, yanal yüzeylerin elde edilmesi için kamera 30°’ye ayarlanarak oblik uçuş gerçekleştirilmiştir. Fotogrametrik yöntem ile elde edilen nokta bulutu Şekil 3’de sunulmuştur.



Şekil 3. Fotogrametrik yöntem ile elde edilen nokta bulutu

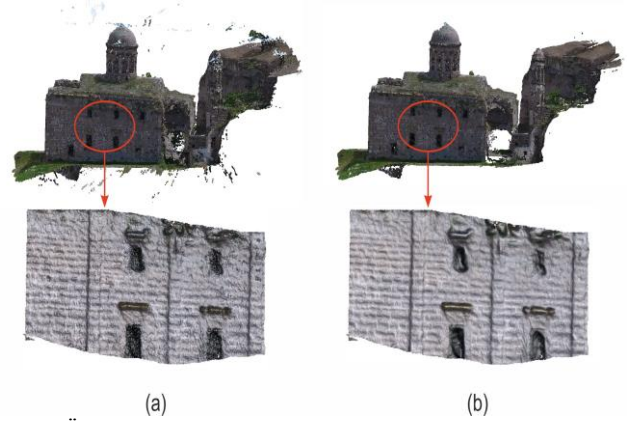
### 3.3 Nokta Bulutlarının Filtrelenmesi

Ölçme sistemleri doğaları, donanım karakteristikleri, ölçme ortamının dinamik yapısı (ısı dalgalanmalar, toz, nem ve diğer koşullardan dolayı oluşan) ve veri işleme süreçlerinde kullanılan yöntemlerin yapısına bağlı olarak ölçü veya sonuç ürün formunda gürültü ile yüküldür. En genel haliyle literatürde gürültü bastırma işlemi iki farklı yaklaşım kullanılarak yapılmaktadır: nokta bulutu formunda veri işleme ve diferansiyel yüzey elemanları formunda veri işleme. Her iki yaklaşımda vertekslerin komşularıyla birlikte tanımladıkları topolojik ilişkilerden yararlanılmaktadır. Genel olarak her iki yaklaşımda verteks noktalarını belirli kriterlere göre hareket ettirmeye dayanmaktadır. Bir veri içerisindeki gürültü, o veriden elde edilmek istenen bilginin kalitesini etkiler ve ilgili bilgiye erişimi kısıtlar veya güçleştirir (Kalkan, Potts, & Bilgi, 2016; Monserrat & Crosetto, 2008). Bildiri kapsamında düzgün formulu ağ yüzeyler oluşturmak ve verilerin düzgün çakıştırılması için lazer nokta verisi ve fotogrametrik nokta verisi ayrı ayrı filtrelenmiştir. Veri ilk önce Gaussian filtre ile filtrelenmiş ardından optimizasyon tabanlı düzlem uydurma filtresi ile filtrelenmiştir. Optimizasyon tabanlı düzlem uydurma filtresinde parametrelerin belirlenmesi için Çivicioğlu ve arkadaşları tarafından önerilen Ağırlıklandırılmış Diferansiyel Arama Algoritması (WDE) kullanılmıştır. WDE algoritması kontrol parametresine sahip olmayan diferansiyel gelişim algoritmasının geliştirilmiş halidir. WDE,

unimodel/multimodel, ayrılabilir, ölçeklenebilir ve karma problemlerin çözümünde etkin olarak kullanılan bir algoritmadır (Civicioglu, Besdok, Gunen, & Atasever, 2018). Düzlem denkleminin elde edildiği işlem adımları aşağıdaki gibidir.

- 1)  $ax+by+cz+d=0 \mid c=1$  düzlemi temsil etmek üzere
- 2) Noktanın komşuluk değerini belirle
- 3) Her nokta için aşağıdaki işlemleri tekrar et
  - ✓ Noktanın kendine en yakın komşularını belirle
  - ✓ Düzlem parametrelerini bu noktalar için belirlenen yöntemle hesaplamak için WDE algoritmasını kullan
  - ✓ Noktanın belirlenen düzleme iz düşümünü hesapla
  - ✓ Noktanın yeni konumunu hafızaya al
- 4) İşlemi sonlandır (Civicioglu, 2013; Kurban, 2014).

Filtreleme sonuçlarının görsel gösterimi için fotogrametrik yöntem ile elde edilen nokta bulutuna 20 komşuluk için ve  $\sigma = 0.1$  mm için sırası ile Gaussian ve Optimizasyon tabanlı filtre uygulanmıştır. Şekil 4’de filtreleme öncesi ve filtreleme sonrası nokta bulutu ve ağ yüzeyleri verilmiştir.



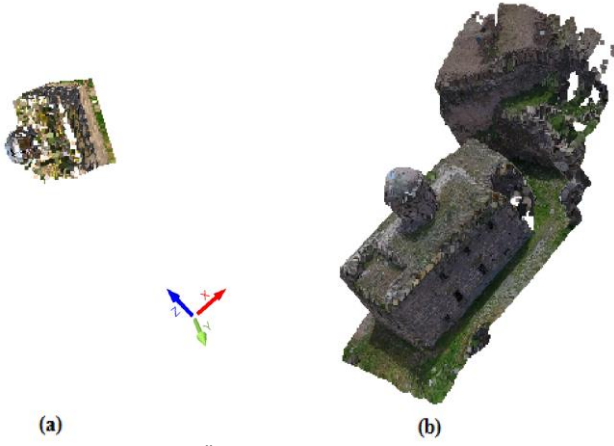
Şekil 4. Önerilen filtreleme yöntemleri a) uygulanmadan önce b) uygulandıktan sonraki gösterimi.

### 3.4 Nokta Bulutunun Çakıştırılması

Veri kaynaştırmak ve analiz yapabilmek için farklı kordinat sistemlerinde üretilen verilerin aynı koordinat sisteminde ifade edilmeleri gerekmektedir. Lazer tarayıcı ile üretilen nokta bulutu ile fotogrametrik olarak üretilen nokta bulutunun çakıştırılması için deterministik ve oldukça hızlı çalışan iteratif en yakın noktalar (ICP) algoritması kullanılmıştır. ICP yöntemi farklı koordinat sistemlerinde üretilen verilerin arasındaki mesafeyi minimize etmeyi amaçlamaktadır. ICP yöntemi ile hassas sonuç üretilebilmesi için nokta bulutları yaklaşık manuel çakıştırılmalıdır. Aksi halde algoritma robust sonuç üretmemektedir. Temel ICP yöntemi adımları şu şekildedir;

1. İki nokta bulutundan çakıştırma yapılacak noktaların seçilmesi
2. Referans nokta bulutundaki noktaların karşılaştırma nokta bulutundaki karşılığının belirlenmesi
3. Eşleşen noktaların mesafesine göre ağırlıklandırılması
4. Hesaba katılmayacak nokta çiftlerinin belirlenmesi
5. Eşleşen noktaların eşleşme kriterinin belirlenmesi
6. Hatanın minimize edilmesi (Besl & McKay, 1992).

Nokta bulutları çakıştırılmadan önce kartezyan koordinat sisteminde gösterilmesi Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. Çakıştırma Öncesi Nokta Bulutları a)Lazer tarama ile elde edilen nokta bulutu b)Fotogrametrik yöntem ile elde edilen nokta bulutu

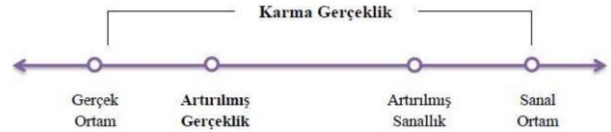
Nokta bulutları filtrelendikten çakıştırma işlemi yapılmıştır. Daha sonra hatalı ağ yüzeyler belirlenerek iki nokta bulutunda daha başarılı olan ağ yüzeyler tercih edilmiş ve tercih edilmeyen ağ yüzeyler manuel olarak silinmiştir. Kaynaştırması yapılan fotogrametrik ve lazer tarayıcı ile elde edilen nokta bulutlarının farklı açılardan gösterimi Şekil 6’da yapılmıştır.



Şekil 6. Kaynaştırılmış verilerin farklı açılardan gösterimi

#### 4. ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK

Artırılmış gerçeklik (AG), gerçek ve sanal nesnelere birleştirilen ve aralarında eş zamanlı etkileşim sağlayan bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır (Azuma & Environments, 1997). Sanal ve gerçeklik arasında bir köprü oluşturan AG, geliştirilmiş ve artırılmış bir gerçeklik hissi oluşturur. Başka anlatımla, gerçek dünya algısını yardımcı donanım ve yazılımlar aracılığıyla olumlu yönde değiştirerek zenginleştirilmiş gerçek algısı yaratır (Milgram, Takemura, Utsumi, & Kishino, 1995). Bu algısal illüzyonu oluşturabilmek için, bilgisayar ortamında oluşturulmuş fotoğraf, ses, video gibi verilerin, gerçek zamanlı olarak fiziksel çevreyle birleştirilmesi gerekmektedir (Kipper & Rampolla, 2012). AG, bilgisayar üretimi karma verilerin, gerçek dünyada, gerçek zamanlı, dolaylı olarak gözlemlenmesi şeklinde tanımlanabilir. Başka bir tanımlamaya göre AG, gerçek ve sanal nesnelere (SG), üç boyutlu olarak gerçek ortamda birleştirilen etkileşimli sistemdir. İçerisinde sanal nesnelere barındırması ve benzer kullanımlara sahip olması nedeniyle AG'nin, SG kavramıyla ayrımının yapılması gerekmektedir. SG sistemlerinde nesnelere sanal ortamda görüntülenirken, AG’de gerçek zaman ve ortamda görüntülenmektedir. Bu temel farklılık ile AG teknolojisi, SG’den ayrılmaktadır. SG’de, dijital bilgiler tamamen sentetik uzamsal mekanda görüntülenirken, AG sistemlerinde sanal ve gerçek nesnelere birlikte kullanımı ve gerçek fiziksel çevrede oluşması esastır. SG teknolojisi, kullanıcılara tamamen sentetik, gerçek dünyanın algılanmadığı bir dünya sunarken, AG teknolojisi, gerçek dünyaya gerçek zamanlı sanal veriler yerleştirilerek, gerçeklik hissini artırır (Furht, 2011). Gerçeklik ve Sanallık süreçlerini ifade eden şema Şekil 7’de sunulmuştur.



Şekil 7. Gerçeklik – Sanallık Süreci (Milgram et al., 1995)

Artırılmış Gerçeklik teknolojisi, 1960’lardaki ilk çalışmalardan günümüze kadar birçok alanda ve uygulamada kullanılıyor olmasına rağmen Türkiye’de yeni gelişen ve anlaşılan bir teknolojidir. Günümüzde AG teknolojisiyle geliştirilen uygulamalar genelde eğitim ve eğlence alanlarında bulunmaktadır. Bu alanların dışında, üretim, tasarım, pazarlama, görselleştirme, askeri, spor, turizm, tıp gibi diğer alanlar da kullanılmaktadır. Son yıllarda ülkemizde tarihi ve kültürel varlıkların 3 boyutlu modellenmesi çalışmalarında lazer tarama sistemlerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Pek çok kültürel mirasa ev sahipliği yapan ülkemizde eserlerin korunması, belgelenmesi ve oluşturulan modellerin farklı ortamlarda kullanılması teknoloji ile gelişmektedir. Ölçme ve belgeleme tekniği olan mimari röleve çalışmaları, son dönemde bilim ve teknoloji alanındaki gelişmeler ile yerini 3 boyutlu modellere, sayısal olarak arşivleme ve belgelemeye olanak veren sayısal fotogrametri ve yersel lazer tarama tekniklerine bırakmaya başlamıştır.

Röleve bir yapının, kent dokusunun veya kültürel mirası oluşturan herhangi bir tarihi eserin yakından incelenmesi, belgelenmesi, arşivlenmesi ve mimari açıdan restitüsyon, restorasyon projelerinin hazırlanabilmesi için yapılan bir çalışmadır. Günümüzde kültürel mirasın belgelenmesine yönelik yapılan çalışmalar teknolojinin getirdiği yenilikler ile birlikte gelişerek röleve projelerinin hazırlanmasında kullanılan klasik mimari röleve teknikleri yerini daha teknolojik ve modern yöntemlere bırakmıştır. Gelişen bilgisayar teknolojileri

ile birlikte klasik mimari rölöve alımında oldukça zahmetli ve zaman alan çizim işlemleri sayısal fotogrametri yöntemiyle daha kolay, daha hızlı, daha hassas ve görsel açıdan daha zengin olarak elde edilmektedir. Bu yöntemle elde edilen sonuç ürünlerin sayısal olması bu ürünlerin bilgisayar ortamında rahatlıkla yönetilmesine, paylaşımına ve saklanmasına imkân tanımaktadır. Bu yeni teknoloji özelliklerle;

- Fotogrametri ile çizimi ve üç boyutlu modellemesi güç olan karmaşık geometriye sahip obje yüzeylerinde,
- Süre yönünden kısıtlamaların bulunduğu büyük çalışmalarda, tercih edilmektedir.

Bu çalışma ile yersel lazer tarama sistemi ve fotogrametrik rölöve çalışmalarına yönelik oluşturulan Germir Panagia Rum Kilisesi'nin verileri üzerinden modelleme yöntemlerini denemek ve oluşturulan modelin AR uygulamalarıyla birlikte gelen deneyim ve öğrenme sürecini sorgulamak ve tartışmaktır. Diğer bir anlatımla, çalışma, nokta bulutu taramalarının ve bu veri üzerinden elde edilen modellerin mimarlık alanında temel kullanımın dışında hangi alanlarda kullanılabileceğine ilişkin fikir vermek amaçındadır.

Elde edilen veriler, tarihi ve kültürel varlıkları koruma, belgeleme ve restorasyon gibi eylemler için kullanılabileceği gibi nokta bulutu verilerinden ileriye dönük olarak;

Ağ yüzey (mesh) ve katı modeller (solid modeller) oluşturmada,

Nokta bulutu verileri ve ortofoto ile üretilen malzeme ve kaplamaların tamamının oluşturulacak katı modellerde kullanımında,

3B yazıcılar ile üretilen modellerin makete dönüştürülmesinde (korunacak yapıların belgelenmiş verisinin farklı fiziki ortamlarda kullanılması),

Modelin sanal gerçeklik karma ve artırılmış gerçeklik gibi ortamlarda sunulmasında

Farklı programlarda mimari canlandırma-görselleştirme mimari simülasyon ortamlarında kullanılmasında,

VR ve AR oyunlarında kullanmada (farkındalığın artırılması amaçlı – ciddi oyunlar (serious games)),

Tanıtım ve bilgilendirme amaçlı sunumların hazırlanmasında, Modellerin ve/veya nokta bulutun 3B sorgulanabilir kent bilgi sistemi içinde yer alması ve bu uygulamaları internet üzerinden kullanıcıların erişimine sunulmasında, kullanılabileceği öngörülmektedir.

Yukarıda sayılanların dışında elde edilen veriler birçok farklı disiplinin çalışmalarına temel oluşturacak nitelikte bilgi içermektedir. Çalışma bu anlamda işlenen bilginin yayılması ve kullanılabilirliği üzerine düşüncelerden yola çıkarak, ölçme bilgisinin mimari koruma alanında ürettiği bilginin yeniden ve farklı bir yorumla üretilmesinin nasıl mümkün olabileceğini sorgulamaktadır.

Bu çalışmanın yöntemi; alan çalışmasında üretilen veriyi mimari modele eksiksiz bir biçimde dönüştürmek ve oluşturulan modeli farklı kullanım alanlarında-ortamlarında denemek üzerine kurulmuştur. Kapsam literatürde bu alanla ilgili yapılanlar üzerine sınıflamalar üzerinden nokta bulut verisinin modelle dönüştürülmesi, bu modelin kaplanması, gerçekçi görüntülenmesi ile ilgili aşamaları, farklı ortamlara kullanılması ile ilgili tüm süreci içermektedir.

Koruma alanında Artırılmış Gerçekliğin ve diğer bilişim teknolojileri kullanımı "Sayısal Miras" kavramı ile bağlantılıdır. Sayısal miras, UNESCO tanımında bilgi ve insan ifade edilmesi alanlarında sayısal bir tarzda oluşturulan ve analog tarzdan sayısal tarza dönüştürülen kültürel, bilimsel, eğitim, yönetsel, teknik, tıbbi ya da herhangi eşsiz kaynaklardır.

Tanımlamaya göre sayısal miras olarak çeşitli elektronik formatlar metinden veri tabanları, sabit ve canlandırılmış resimler, sesli ve grafiksel kayıtlar, yazılımlar ve web sayfalarına kadar sayılabilmektedir (<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000133171>, Erişim Tarihi: 2018). Çağdaş uzaktan algılama teknolojileri ve sanal teknikler aracılığıyla kültürel miras ve onun içerdiği özellikleri dijitalleştirilmesi ve 3B basımı; Artırılmış Gerçeklik, Sanal Gerçeklik gibi ortamlarda kültürel mirasın iletimi ve yayılması; arkeolojik araştırmalar için dijitalleştirilmiş miras ve özellikleri kullanımı dijital kültürel mirasın korunmasının temeli oldukları değerlendirilebilmektedir.

ICOMOS gelecek nesillere mirasın değerinin aktarılması ve anlatımının gereği ve korunmanın toplumsal farkındalığının artırılması için 2008 yılında ilan edilen Kültürel Sitlerin Yorumlanması ve Anlatımının Tüzüğü'nde yedi prensip ortaya koymuştur:

1. Erişim ve anlatım
2. Bilgi kaynakları
3. Çevre ve bağlama gösterilen özen
4. Özgünlüğün korunması
5. Sürdürülebilir planlama
6. Kapsayıcı bir anlayış
7. Araştırma, eğitim ve değerlendirme.

Bu prensiplere göre yedi amaç ortaya konmuştur:

- 1.Kültürel Miras alanlarının erişimi ve daha iyi anlaşılmasını sağlayarak kitlelerin farkındalığını arttırmak ve korunmasındaki rolünü arttırmak,
- 2.Kültürel Miras alanlarının farklı kitlelere göre özenli, bilimsel ve akademik yöntemlerle önemini belgelemek ve yaşayan geleneklerle bağlantısını sağlamak,
- 3.Somut ve somut olmayan değerlerin kültürel miras alanlarında doğal ve kültürel çevreleriyle aynı zamanda da sosyal bağlamda da korunmasını sağlamak
- 4.Kültürel miras alanlarının anlatımını özgünlüğünü bozmamak, anlatım amacıyla, kullanışsız, zorlama ve korunmasını engelleyici alt yapılar kurulmasını önlemek, alanlardaki ziyaretçi baskısını, doğru veya uygun olmayan anlatımlardan korumak,
- 5.Kültürel miras alanlarını ve süre giden koruma çalışmalarını tanıtmak ve katılımın artırılmasıyla uzun dönemde bakım, anlatım alt yapısı ve anlatı içeriğinin düzenli değişim maliyetlerinin karşılanmasını sağlamak,
- 6.Alanla ilgili farklı paydaş ve ilgili toplulukların katılımını da kapsayan anlatım programlarını sağlamak
- 7.Miras anlatımı ve sunumu için, sürdürülebilir ve sosyal bağlamda uygun, teknik ve profesyonel prensipler geliştirerek teknolojik araştırma ve eğitimi konularında gelişimi sağlamak.

Tüzüklerde belirttiği prensipler ve literatürde olan örnekler dikkate alarak mimari koruma alanında AG kullanımı şu şekilde özetlenebilmektedir:

Nesnelerin 3B dijital replikası sunulması: Dijital ortamda 3B dijital replikalar çeşitli amaçlar özellikle eğitim ve bilgilendirme için AG sistemlerinde sunulmaktadır.

Yapıların dijital bütünleme sunulması (virtual restoration, rekonstrüksiyon): Nesnelerin hasarlı veya yok olmuş kısımlarının dijital ortamda tamamlanmasıdır.

Arkeolojik sitlerde sosyal veya doğal çevre simülasyonu - sanal yeniden yaratımı

Bilimsel kullanımda sentetik modeller üzerinde restorasyon tekniklerini denemesi: Nesnelerin yok olmuş kısımları üzerinde hipotezler incelemek ve yerinde eserler analize etmektir (De la Fuente Prieto, Perea, & Arroyo, 2017; De la

Fuente Prieto, Perea, Arroyo, & Sciences, 2017; ICOMOS, 2008; Part, 2008).

#### 4.1 Uygulama

Çalışma kapsamında nokta bulutu elde edilen Germir Panagia Rum Kilisesi'nin modeli artırılmış gerçeklik uygulamalarına aktarılmadan önce geçirdiği işlemler ve bu aşamalarda kullanılan programlar aşağıda sıralanmıştır.

MeshLab programında Ply veya txt uzantılı nokta bulutunun işlenmesi: (temizleme işlemi) nokta bulutun manuel olarak çevresi temizlenmiştir.

MeshLab programında mesh yüzeye dönüştürülmesi. (obj uzantılı dosyaya dönüştürülmüştür).

MeshLab programında Vertex ve face (polygon) sayısının azaltılması (uygulamalarda kullanılabilmesi için 500000 yüzey ve 387728 noktali bir model oluşturulmuştur).

Oluşturulan mesh modelin kaplamasının düzenlenmiştir. (png formatında texture 4096 x 4096 px boyutunda (blueprint) oluşturulmuştur.)

.mtl dosyası, .obj dosyası ve kaplamanın uygun dosya boyutuna getirilerek sıkıştırılmıştır.

Modelin Augment Web arayüzü vasıtasıyla cloud'a dosya aktarımı ve Sketch Up programına aktarımı yapılmıştır.

Artırılmış gerçeklik uygulamasının çalıştırılması.

#### 4.2 Oluşturulan uygulamanın kullanımı

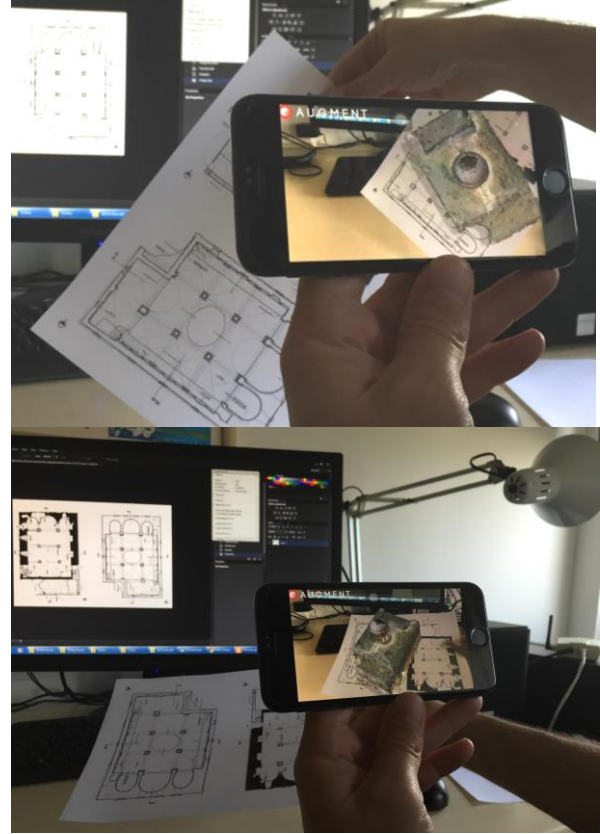
Oluşturulan, çakıştırması yapılan ve Şekil 8'de gösterilen ağ model (obj uzantılı dosya), kaplama ve materyal dosyası ile birlikte Augment uygulamasına aktarılmıştır. Aktarılan dosya web hizmeti arayüzü ile taşınabilir görüntüleme cihazına (ios işletim sistemli cep telefonu) aktarıldıktan sonra, ios üzerinde bulunan uygulama ile artırılmış gerçeklik uygulamasında görüntülenebilmektedir.



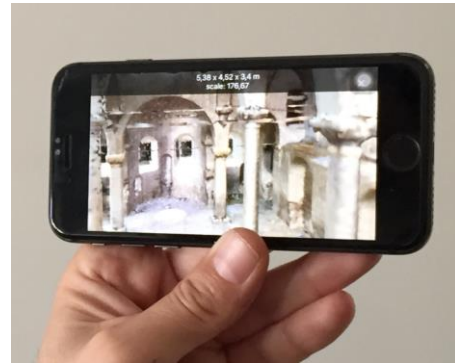
Şekil 8. Oluşturulan modelin optimizasyonu (face, vertex sayısı optimizasyonu)



Şekil9. İşaretçi olmadan görüntüleme (markerless)



Şekil 10. İşaretçi (Marker vasıtasıyla) görüntüleme



Şekil 11. İç mekangörüntüsü

#### 5. SONUÇ

Günümüzde hızla gelişmekte olan ve kullanım alanları her geçen gün artan artırılmış gerçeklik teknolojisinin mimarlık tarihi eğitiminde, koruma belgeleme, restorasyon eğitimi ve çalışmalarında yersel lazer tarama ile etkin olarak kullanılması alana olumlu katkılar sağlayacaktır. Yersel lazer tarama sistemi ve yersel/havai fotogrametrik yöntemlerin entegre edilmesi ile rölye çalışmalarına yönelik oluşturulan Germir Panagia Rum Kilisesi'nin verileri üzerinden modelleme yöntemlerini denemesi ve oluşturulan modelin farklı noktalarda kullanılabilirliği sorgulanmıştır. Önerilen yöntem ile nokta bulutu verileri yüzey modele dönüştürülmüş ve artırılmış gerçeklik ortamında kullanılmıştır. Bu çalışma sonuç itibarıyla iki farklı alan olan geomatik mühendisliği ve mimarlık arasında gelecekte verinin kullanılması adına köprü kurmaktadır.

Artırılmış gerçeklik, mimari koruma alanında genellikle görselleştirilme aracı olarak kullanılmaktadır. Bu araç kullanımıyla kültürel mirasın sanal restorasyonu, sanal anastylosis, sanal rekonstrüksiyonu ve sitlerin sanal yeniden yaratımı profesyonel ve profesyonel olmayan hedef kitleye iletilmektedir. Bu AG dijital içerikleri oluşturulması, değerlendirilmesi ve güvenilirliği sağlamak üzere başta ICOMOS Kültürel Sitlerin Yorumlanması ve Anlatımının Tüzüğü, Londra Kültürel Mirasın Bilgisayar Tabanlı Görselleştirilmesi Tüzüğü ve Sevilla Tüzüğü'nün belirttiği prensipler göz önünde bulundurulmaktadır. Mimari koruma alanında AG'nin kullanımı mirasın erişimi ve anlatımı, özgünlüğün korunması ve farkındalığa katkıda bulunmaktadır. Çalışmanın genel anlamda ortaya koyduğu geleceğe dönük çıkarımları aşağıda sunulmuştur.

- Dijital 3D modelleme sayesinde binalar kendi fiziksel konumlarından farklı olarak görselleştirilebilir, algılanabilir ve anlaşılabilir.
- Ortaya çıkarılan verinin eğitimde veya farklı ortamlarda sunumu mümkün görmektedir.
- 3D veri elde etmede modern tekniklerin gelişmesiyle birlikte, nokta bulutu verileri farklı alanlarda görsel olarak kullanılabilir.
- Mimari rölevalerde geometrik veri üzerinden 3D model üretilmesi, kültürel miras alanındaki çalışmalarda farklı veri toplama ve paylaşma yöntemlerine öncülük edecektir.
- 3D modeller genel olarak kültür mirası olan yapılar hakkında bilgi vermek için, multimedya ortamlarında, sanal müzelerde, sergilerde ve profesyonel çalışmalarda bilgi yayılımı ve paylaşımında kullanılabilir.
- Kültür miraslarına olan ilginin ve farkındalığın artırılmasında bu tür yöntemler bilginin erişilebilirliği açısından önem arz etmektedir.

## KAYNAKLAR

Açıkgöz , G. (2007). *Kayseri Ve Çevresindeki 19. Yüzyıl Kiliseleri Ve Korunmaları İçin Öneriler*. (Doktora Tezi Doktora Tezi), İTÜ, İstanbul.

Azuma, R. T. J. P. T., & Environments, V. (1997). A survey of augmented reality. *6*(4), 355-385.

Besl, P. J., & McKay, N. D. (1992). *Method for registration of 3-D shapes*. Paper presented at the Sensor Fusion IV: Control Paradigms and Data Structures.

Boehler, W., Vicent, M. B., Marbs, A. J. T. I. A. o. P., Remote Sensing, & Sciences, S. I. (2003). Investigating laser scanner accuracy. *34*(Part 5), 696-701.

Civicioglu, P. (2013). Backtracking search optimization algorithm for numerical optimization problems. *Applied Mathematics and Computation*, *219*(15), 8121-8144.

Civicioglu, P., Besdok, E., Gunen, M. A., & Atasever, U. H. (2018). Weighted differential evolution algorithm for numerical function optimization: a comparative study with cuckoo search, artificial bee colony, adaptive differential evolution, and backtracking search optimization algorithms. *J Neural Computing Applications*, 1-15.

De la Fuente Prieto, J., Perea, E. C., & Arroyo, F. L. (2017). Augmented reality in architecture: Rebuilding archeological heritage. *J The International Archives*

*of Photogrammetry, Remote Sensing Spatial Information Sciences*, *42*, 311.

De la Fuente Prieto, J., Perea, E. C., Arroyo, F. L. J. T. I. A. o. P., Remote Sensing, & Sciences, S. I. (2017). Augmented reality in architecture: Rebuilding archeological heritage. *42*, 311.

Duran, Z., & Toz, G. J. S. Ü. J. v. F. M. Ö. Y. S. (2002). Tarihi Eserlerin Fotogrametrik Yöntemle 3D Modellenmesine Örnek.

Furht, B. (2011). *Handbook of augmented reality*: Springer Science & Business Media.

Gündüz , B. (2011). *Kayseri İli Germir Mahallesi Köseoğlu Konağı Restorasyon Önerisi* (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi, Ankara.

Günen, M. A., Atasever, Ü. H., Taşkanat, T., & Beşdok, E. J. N. S. (2019). Usage Of Unmanned Aerial Vehicles (Uavs) In Determining Drainage Networks. *14*(1), 1-10.

Günen, M. A., Çoruh, L., & Beşdok, E. J. G. (2017). Oyun Dünyasında Model ve Doku Üretiminde Fotogrametri Kullanımı. *2*(2), 86-93. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000133171>. (Erişim Tarihi: 2018).

ICOMOS. (2008). Kültürel Miras Alanların Algılanması ve Sunumu Tüzüğü. Retrieved from [http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR\\_en0066198001536912401.pdf](http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_en0066198001536912401.pdf) / son erişim tarihi 01.04.2019)

Kalkan, Y., Potts, L. V., & Bilgi, S. (2016). Assessment of Vertical Deformation of the Ataturk Dam Using Geodetic Observations. *Journal of Surveying Engineering*, *142*(2). doi:10.1061/(asce)su.1943-5428.0000148

Keskin, M. (1998). *1247-1277 Tarihli (Kayseri) Müfredat Defterine Göre Kayseri ve Tabii Yerleşim Yerlerinde Nüfus Dağılımı (1831-1860)*: na.

Kipper, G., & Rampolla, J. (2012). *Augmented Reality: an emerging technologies guide to AR*: Elsevier.

Kurban, T. (2014). *3 Boyutlu Nesnelerin Modellenmesi İçin Nokta Bulutlarının Sezgisel Optimizasyon Yöntemleri İle İşlenmesi*. (Doktora Tezi), Erciyes Üniversitesi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1995). *Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum*. Paper presented at the Telemanipulator and telepresence technologies.

Monserrat, O., & Crosetto, M. (2008). Deformation measurement using terrestrial laser scanning data and least squares 3D surface matching. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *63*(1), 142-154.

Part, J. (2008). The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.

Slob, S., & Hack, R. (2004). 3D terrestrial laser scanning as a new field measurement and monitoring technique *Engineering Geology for Infrastructure Planning in Europe* (pp. 179-189): Springer.

Suveg, I., Vosselman, G. J. I. a. o. p., & sensing, r. (2000). 3D reconstruction of building models. *33*(B2; PART 2), 538-545.

Taniş, Ö. (2006). *Germir Kiliseleri ve Panagia "KimisisTis Theotoku" Kilisesinin Günümüz Koşullarında Değerlendirilmesi*. Mimar Sinan University, Istanbul.