

# KÜÇÜK BOYUTLU OBJELERİN CEP TELEFONU İLE ÜÇ BOYUTLU MODELLEMESİNDE KULLANILAN TEKNİKLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Fatih PULAT<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Öğr.Gör., Siirt Üniversitesi, Eruh Meslek Yüksekokulu, Harita ve Kadastro Programı, 56800, Eruh, Siirt, fatih.pulat@siirt.edu.tr

## ÖZET

Geçmişten günümüze kadar pek çok kültürel varlık yapısal bütünlüğünü koruyarak gelememiştir. Geçmişle olan bağımızın kopmaması adına bu kültürel eserlerin korunmasına yönelik olarak pek çok teknik geliştirilmiştir. Bu tekniklerden biri de harita mühendisliği disiplinin geliştirdiği objeler ile temas olmadan objenin fiziksel boyutlarının jeodezik olarak ölçülmesi ve fotografik kurallar dikkate alınarak fotoğraflarının çekilmesi ile bilgisayar ortamında üç boyutlu modelinin üretildiği fotogrametri tekniğine dayanmaktadır. Bu teknik sayesinde yapının tüm geometrik ve yapısal özellikleri, metrik bilgileri, malzeme türü gibi obje bütünlüğünün detayları ortaya çıkarılabilmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte modelleme teknikleri ve tarama yöntemleri de gelişmiştir. Son yıllarda üç boyutlu tarama teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte, fiziksel objelerin dijital ortama aktarılması oldukça kolaylaşmıştır. Bu yöntemler sayesinde, var olan bir obje hızla dijital ortama aktarılabilir ve daha sonra bu dijital model üzerinde değişiklikler yapılabilir veya üretim için hazırlık yapılabilir duruma gelinmiştir. Üç boyutlu modelleme, tasarım süreçlerini hızlandırır, maliyetleri düşürür ve üretim kalitesini artırır. Ayrıca, mühendislik, endüstri, jeoloji, arkeoloji, sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik uygulamalarında da yaygın olarak kullanılabilir. Bu çalışmada, bir iPhone 14 pro model cep telefonu lidar sensörü aracılığıyla günümüz gelişmiş tarama yöntemlerinden biri olan lidar tarama yöntemi ve aynı cep telefonu kamerası ile çekilen fotoğraflar kullanılarak küçük boyutlu bir objenin üç boyutlu modellemesi yapılmıştır. Modelleme, 3d Scanner App yazılımı kullanılarak yapılmış olup yazılımın imkan verdiği tarama teknikleri karşılaştırılmıştır. Her bir tarama tekniği ile elde edilen modele ait oluşturulma süreleri, kullanılan fotoğraf sayısı, model bütünlüğü ve keskinliği, obje üzerinden elde edilen referans ölçüler ile model üzerinden elde edilen ölçüler ile karşılaştırılmış bu veriler üzerinden istatistikî değerler elde edilmiştir. Bu veriler ışığında hangi tarama tekniği ve modelin daha iyi sonuçlar verdiği tartışılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Iphone 14 pro, Lidar, 3b modelleme, 3d scanner app.

## ABSTRACT

## COMPARİSON OF TECHNIQUES FOR 3D MODELİNG SMALL OBJECTS WITH A MOBILE PHONE

Many cultural assets have not survived from the past to the present without preserving their structural integrity. In order to maintain our connection with the past, many techniques have been developed to protect these cultural artifacts. One of these techniques is based on the photogrammetry technique, which is a technique developed by the discipline of surveying engineering, in which the physical dimensions of the object are measured geodetically without contact with the objects and their three-dimensional models are produced in a computer environment by taking their photographs considering photographic rules. Thanks to this technique, all the geometric and structural features of the structure, metric information, and details of the object's integrity such as material type can be revealed. Modeling techniques and scanning methods have also developed with developing technology. In recent years, with the development of three-dimensional scanning technologies, it has become quite easy to transfer physical objects to digital media. Thanks to these methods, an existing object can be quickly transferred to digital media and then changes can be made to this digital model or preparations can be made for production. Three-dimensional modeling accelerates design processes, reduces costs and increases production quality. In addition, it can be widely used in engineering, industry, geology, archaeology, virtual reality and augmented reality applications. In this study, a three-dimensional modeling of a small object was made using the lidar scanning method, which is one of the advanced scanning methods of today, and photographs taken with the same mobile phone camera using an iPhone 14 Pro model mobile phone lidar sensor. Modeling was done using the 3D Scanner App software and the scanning techniques allowed by the software were compared. The creation times of the model obtained with each scanning technique, the number of photographs used, the model integrity and sharpness, the reference measurements obtained from the object and the measurements obtained from the model were compared and statistical values were obtained from these data. In the light of this data, it was discussed which scanning technique and model gave better results.

**Keywords:** Iphone 14 pro, Lidar, 3d modeling, 3d scanner app.

## 1. GİRİŞ

Kültürel miras, geçmiş uygarlıklar ve bu uygarlıkların sahip oldukları yaşam tarzları, kültürel yapıları, gelenekleri, inanç biçimleri, günlük yaşam rutinleri ve yaşamış oldukları felaketler hakkında buldukları döneme ışık tutan çok önemli varlıklarıdır. Bu açıdan bu mirasın korunabilmesi, bakım ve onarımlarının yapılabilmesi ve sonraki kuşaklara aktarılabilmesi oldukça büyük bir öneme sahiptir. Aynı zamanda günümüzde de bu varlıkların uluslararası alanda ülkeye kattıkları hem ekonomik hem kültürel hem de tanıtım değeri oldukça yüksektir (Kaya ve Temel, (2022), Varol vd. (2018)). Bu açıdan kültürel miras ne kadar iyi muhafaza edilebilirse kattığı değer de o kadar yüksek olmaktadır.

Kültürel miras, yansıttığı değerler bakımından ait olduğu yer hakkında bir temsiliyete sahiptir. Bu yüzden bu varlıkların korunabilmesi ve tanıtımının yapılabilmesi için dokümantasyonu, görselleştirilmesi ve özelliklerinin daha iyi sunulması için sürekli farklı teknikler geliştirilmektedir (Aslan ve Polat, (2022), Korunmaz vd., (2011), Yakar ve Yılmaz, (2008), Alptekin ve Yakar, (2020)).

Son dönemlerde, küçük ölçekli eserlerin üç boyutlu belgelenmesi ve modellenmesi için çeşitli yöntemler ve yaklaşımlar geliştirilmiş ve bu konuda pek çok çalışma yapılmıştır. Küçük bir objenin sayısallaştırılmasının temel özellikleri, objenin boyutuna bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Bu varyasyonlar, kullanılan tekniklerin ve teknolojilerin objenin fiziksel özelliklerine ve ölçeğine göre nasıl adapte edileceğini belirlemektedir (Aslan, İ., Polat, N., 2022,7- Yakar vd., 2009).

Fotogrametri tekniği, kültürel mirasın dijital olarak belgelenmesi çalışmalarında sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde nesnelere ile fiziksel temas kurulmadan ölçme ve fotografik kurallara bağlı bir şekilde objeye ait resimlerin elde edilmesi sayesinde kültürel mirasa ait üç boyutlu model, görselleştirme, konum verisi, mekânsal analiz gibi çalışmalar yürütülmektedir. Bu teknik uzun zamandan beridir kültürel mirasın belgelenmesinde kullanılmakta olup son yaşanan teknolojik gelişmelerle birlikte maliyet açısından daha ergonomik, teknik açıdan daha kullanılabilir ve hassasiyet açısından daha hassas verilerin elde edilebildiği bir hale gelmiştir.

LIDAR (Light Detection and Ranging), birim zamanda binlerce, milyonlarca lazer sinyali göndererek taradığı nesne veya bölgeye ait 3b konum bilgisi içeren çok büyük nokta bulutu verisi üreten bir ölçme tekniğidir (Kuçak vd. (2023), Sanchez Diaz vd. (2022), Yakar vd. (2021)). LIDAR teknolojisi, ilk olarak 1960'lı yıllarda havacılık alanında yapılan uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır (Zeybek, 2019). 1970'li yıllara gelindiğinde ise uzaktan algılama sensörü işlevi görerek yer yüzeyinin haritalanmasında, denizler, ormanlar ve atmosfer gibi yerlerde çeşitli uygulamalarda kullanılmıştır (Özdemir vd. 2021). Günümüzde ise teknolojiye yaşanan devasa gelişmeler sayesinde LIDAR tekniği de aynı ölçüde gelişerek üzerinde çalışma yapılacak objeye veya alana göre hava, yersel ve mobil LIDAR olarak farklı teknikler kullanılarak üç boyutlu nokta verileri elde edilmekte olup bu veriler haritalama, mekânsal analiz, 3 boyutlu nesne modelleme, 3 boyutlu kentsel modelleme gibi imkanları sayesinde haritacılık, ormancılık, denizcilik, endüstri, mühendislik gibi bir çok disiplinde kullanılmaktadır (Aslan vd. (2022), Kabadayi ve Erdoğan, (2022), Kaçarlar ve Hamal, (2021)).

LIDAR teknolojisi, gelişen teknoloji ile birlikte uygulama alanlarında kullanılması uzmanlık isteyen, çıktı ürünler elde etmek için gelişmiş yazılım ve donanımlar gerektiren aynı zamanda maliyeti yüksek cihazlar olması LIDAR'a ulaşılabilirliği azaltmakta ve karmaşık olmayan tarama ve modelleme maliyetlerini oldukça arttırmaktadır. Son yıllarda teknoloji alanında yaşanan gelişmelerle birlikte LIDAR sensörünün akıllı telefon ve tabletlere entegre edilmesi ile mekânsal haritalamalar, üç boyutlu haritalama, 3b obje modelleme, sanal gerçeklik uygulamaları ve tersine mühendislik uygulamaları gibi daha az hassasiyet ve uzmanlık gerektiren çalışmalar düşük maliyetle ve kolaylıkla yapılmaya başlanmıştır (Günen vd. (2023), Günen ve Besdok, (2021), Günen vd. (2017), Kadkhodamohammadi vd. (2017)).

Bu çalışmada, Apple 14 pro modelinde bulunan LIDAR sensörü tarayıcısının ve kamerasının Apple uygulama mağazasından indirilen '3D Scanner App' uygulaması aracılığı ile kullanılabilirliği ve uygulamada bulunan tarama tekniklerinin uygulanabilirliği incelenmiştir. Taranan objelerin geometrik boyutları gerçek boyutları ile karşılaştırılarak doğrulukları araştırılmıştır. Bu sayede entegre LIDAR sensörünün ve diğer modelleme tekniklerinin 3b modellemelerde kullanılabilirliği ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

## 2. YÖNTEM

Çalışmada, uygulamayı gerçekleştirmek amacıyla Apple marka akıllı telefon serisinin iPhone 14 pro modeli kullanılmıştır. iPhone 14 Pro, Apple'ın 2022'de tanıttığı bir model ve kamera ile LIDAR sensörü açısından oldukça güçlü özellikler sunmaktadır. Aşağıda bu kamera ve sensöre (Şekil 1. iPhone 14 pro kamera ve sensör sistemi) ilişkin özellikler sıralanmıştır. Çalışmanın gerçekleştirildiği mobil uygulama ise Apple store mağazasından indirilen '3D Scanner App' uygulamasıdır.

### 2.1.Kamera Özellikleri

#### Ana Kamera (Wide Lens):

Çözünürlük: 48 MP, f/1.78 diyafram açıklığı

Sensör: Geniş formatta, 24 mm eşdeğer odak uzunluğu

#### Ultra Geniş Kamera:

Çözünürlük: 12 MP, f/2.2 diyafram açıklığı

Sensör: 13 mm eşdeğer odak uzunluğu

#### Telefoto Kamera:

Çözünürlük: 12 MP, f/2.8 diyafram açıklığı

Sensör: 77 mm eşdeğer odak uzunluğu

Özellikler: 3x optik zoom, optik görüntü sabitleyici (OIS), 4K Dolby Vision HDR video kaydı (Apple, 2024).



Şekil 1. iPhone 14 pro kamera ve sensör sistemi (Günen ve ark., 2023)

## 2.2 LIDAR Sensörü

LIDAR Sensör: iPhone 14 Pro, arka kamera sisteminde bir LIDAR (Light Detection and Ranging) sensörü bulunduruyor. Bu sensör, ortamın derinliğini ölçmek için lazer ışını kullanarak yüksek doğrulukta 3D haritalama yapar.

### Özellikler:

**Otomatik Odaklama:** Özellikle düşük ışık koşullarında daha hızlı ve doğru otomatik odaklama sağlar.

**Portre Modu:** Portre çekimlerinde derinlik algısını artırarak daha doğal ve keskin arka plan bulanıklığı (bokeh) sağlar.

**AR Uygulamaları:** Artırılmış gerçeklik (AR) uygulamalarının daha iyi çalışmasını destekler, çevredeki nesnelere daha iyi algılar ve konumlandırır (Apple, 2024).

## 2.3 3d Scanner App

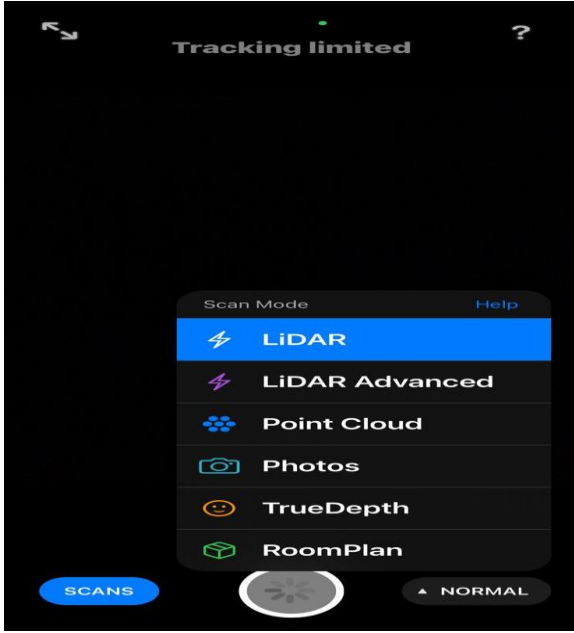
3d Scanner App yazılımı, dakikalar hatta saniyeler içinde nesnelere ve mekanların 3 boyutlu modellerini oluşturmak için basit bir araçtır. Bu sayede yüksek hassasiyet gerektirmeyen sanal gerçeklik, tersine mühendislik, hobi amaçlı ve çeşitli meslek disiplinlerinde ihtiyaç duyulan üç boyutlu obje modelleme ve mekânsal analizler için pahalı aynı zamanda taşınması ve kullanımı zahmetli ölçme cihazları yerine kullanılacak bir aplikasyon olması hedeflenerek geliştirilmiştir.

### 3d Scanner App özellikleri

Scan mode	LIDAR, LIDAR Advance, Point Cloud, Photos, TrueDepth
Scan settings	Resolution, max depth
Processing options	HD, Fast, Custom
Processing steps	Smoothing, simplifying, texturing
Export as	Point cloud, mesh
Export formats	PCD, PLY, LAS, e57, PTS, XYZ, OBJ, KMZ, FBX etc.

Şekil 2. 3d Scanner App özellikleri

Uygulama ara yüzüne bakıldığında Şekil 3.'de gösterildiği üzere uygulama imkânı sağlayan LIDAR, LIDAR advanced, Point Cloud ve Photos gibi tarama modları bulunmaktadır. Bu çalışmanın hangi tarama modunun hem görsel hem de hassasiyet açısından hangi tarama modunun daha iyi sonuçlar verdiğinin ortaya konulmasıdır. Bu amaçla belirtilen her bir tarama modu kullanılarak Şekil 4.'de verilen sanduka objesi taranmıştır.



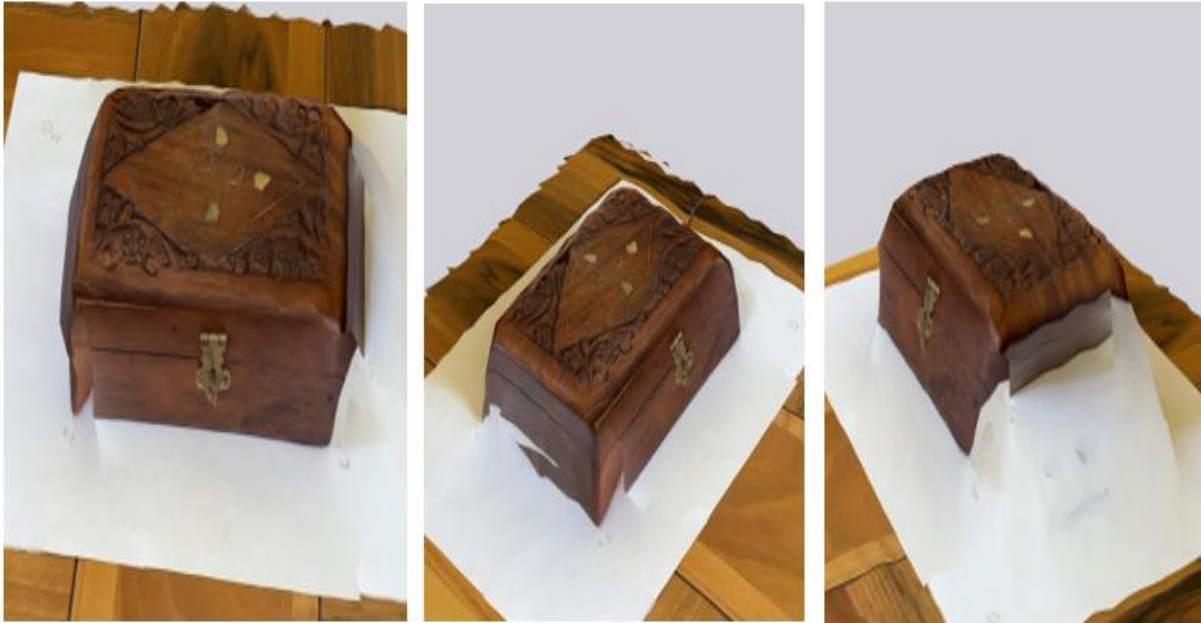
Şekil 3. 3d Scanner App yazılımı tarama modları



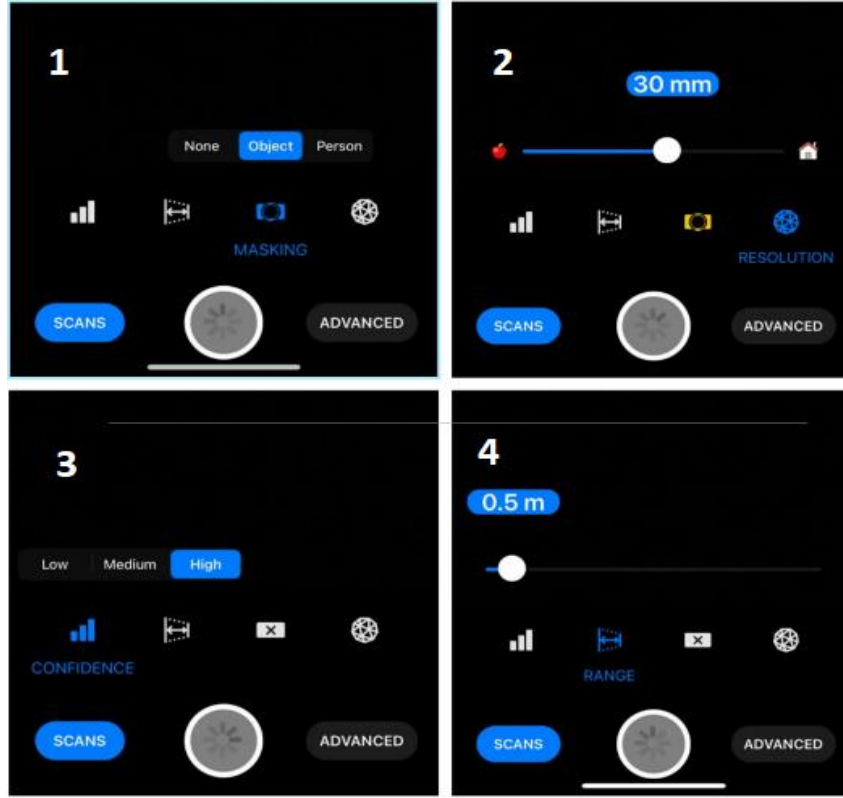
Şekil 4. Taramaya konu olan sanduka objesi

## 2.4 Uygulama

Çalışmada ilk olarak Şekil 3.'de görülen tarama modlarından birincisi olan LIDAR'ın normal modunda tarama yapılmıştır. Bu tarama modunda objenin taranmasına yönelik ayar yapmaya imkân veren herhangi bir ayar düzeltmesi bulunmamaktadır. Objeye bir zemin üstünde sabitlenerek obje etrafında tarama yapılmıştır. Tarama bitirildikten sonra proses ve texture işlemleri akabinde Şekil 5.'te gösterildiği üzere 3b model oluşturulmuştur. Objeye sabit bir şekilde tutularak etrafında yavaş hareketlerle tarama işlemi gerçekleştirilmiştir. Tarama esnasında obje ile kamera arasında yaklaşık 30-50 cm mesafe aralığında tutulmuştur. Tarama bittikten sonra proses ve texture işlemleri yaklaşık 46 sn sürmüştür bu işlemler sırasında 35 adet fotoğraf çekimi üzerinden tarama gerçekleştirildiği görülmüştür.



Şekil 5. LIDAR normal ile oluşturulan model görseli



Şekil 6. LIDAR Advanced tarama ayarları

Şekil 6.'da gösterilen resimde 1 nolu karede 'MASKING' butonu kullanılarak taranacak nesnenin türü belirlenir, 2 nolu karede 'RESOLUTION' butonu ile objenin yaklaşık büyüklüğü belirlenir, 3 nolu karede 'CONFIDENCE' ile kalite ayarı ve 4 nolu karede belirtilen 'RANGE' butonu ile objenin tarama uzaklığı belirlenir. Tarama uzaklığı, tarama yapılacak obje için oldukça önem arz etmektedir. Mobil uygulama özellikleri dikkate alındığında en iyi tarama mesafesinin nesneye bir kol boyu uzaklıkta yani yaklaşık olarak 0,5-1 m arasında olduğu belirtilmektedir (Şekil 7. LIDAR tarama kalitesi aralığı).



Şekil 7. LIDAR tarama kalitesi aralığı

Şekil 7.'de belirtilen tarama mesafesi dikkate alınarak obje ile nesne arası uzaklığın yaklaşık olarak 30-50 cm arasında olmasına özen gösterilmiş ve Şekil 6.'da gösterilen tarama ayarları düzenlenerek tarama yapılmaya başlanmıştır. Tarama yapılırken maskeleyen olarak obje seçeneğinin seçilmiş olması ve tarama mesafesinin objenin boyutuna göre uygun seçilmesi tarama esnasında istenmeyen objelerin taranmaması dolayısıyla veri boyutu, proses ve texture işlem

sürelerini kısaltmıştır. Bu işlemler yaklaşık olarak 10 sn gibi kısa bir sürede gerçekleştirilmiştir. Bu tarama esnasında 137 adet resim çekilmiştir. Tarama işlemi sonunda elde edilen 3b model **Şekil 8.**'de verilmiştir.



**Şekil 8.** LIDAR Advanced tarama modu ile elde edilen 3b model görseli

Point cloud modu kullanarak objeye ait tarama sonucunda nokta bulutu **Şekil 9.**'da gösterildiği gibi oluşturulmuştur. Tarama mesafesi önceki taramalarda olduğu gibi 30-50 cm aralığında tutulmuştur. Bu esnada 113 adet resim çekimi yapılmıştır. Nesne tarama mesafesi olan 'RANGE' modülünün bu tarama seçeneğinde olmamasından dolayı obje dışında kalan alanların da taranmasının önüne geçilememiştir. Objenin etrafında bulunan diğer nesnelerin de taraması gerçekleştirilmiştir. Tarama sonunda seyrek nokta bulutu elde edilmiş proses işlemi sonucunda yoğun nokta bulutu elde edilmiştir. Fakat mobil uygulama texture ve mesh oluşturma işlemleri gibi objenin tarama işleminden sonra modeli oluşturacak imkânı sunmadığından dolayı çalışma elde edilen nokta bulutu ile sınırlı kalmıştır.



**Şekil 9.** Objeye ait nokta bulutu görseli

Uygulamanın son aşaması olarak 3d Scanner App'in 'Photos' modülü kullanılarak fotogrametri tekniği sayesinde objenin 3b modeli elde edilmiştir. Uygulama sırasında modelin sağlıklı bir şekilde elde edilebilmesi için fotografik kurallar dikkate alınmıştır. Elde edilen fotoğrafların objenin tamamını kapsayarak bindirmeli bir şekilde çekilebilmesine özen gösterilerek bindirme oranına ilişkin kesin bir değer hesaplanmamış yaklaşık olarak %85 üzerinde bir kapsama yapılmasına dikkat edilmiştir. Fotoğrafların belli bir hizalama pozisyonunda çekilebilmesi için kamera sabitlenerek obje kendi etrafında dönebilen bir platform üzerine oturtulmuş ve uygulamanın oto çekim özelliği kullanılarak seri bir şekilde toplamda 51 adet fotoğraf çekimi yapılmıştır. Objeye ile kamera arası mesafe yaklaşık olarak 30 cm olarak tutulmuştur. Çekim işlemleri bittikten sonra upload ve proses işlemlerine devam edilmiştir. Bu işlemler yaklaşık olarak 3-4 dakika aralığında sürmüş ve **Şekil 10.**'da görselleri verilen 3b model elde edilmiştir.

F. PULAT: Küçük boyutlu objelerin cep telefonu ile üç boyutlu modellemesinde kullanılan tekniklerin karşılaştırılması



Şekil 10. 'Photos' modülü kullanılarak elde edilen 3b modelin görsel örnekleri

Çalışma sonucunda elde edilen modellerin hem görsel hem de metrik doğruluklarının analizi yapılmıştır. Özellikle metrik doğruluk analizinin yapılabilmesi amacıyla taranan obje olan sandukanın Şekil 11.'de gösterildiği üzere belirtilen gerçek uzunlukları ölçülerek model üzerinden ölçülen uzunluklar ile karşılaştırılmıştır. '3d Scanner App' mobil uygulaması ile obje üzerinde gerçekleştirilen point cloud taraması aracılığıyla elde edilen seyrek nokta bulutu proses işlemi sonucunda yoğun nokta bulutuna dönüştürülmüş fakat yazılımın bu modülünde texture ve mesh oluşturma gibi seçeneklerinin olmamasından dolayı elde edilen nokta kümesi 3b modele dönüştürülememiştir. Bundan dolayı da nokta kümesi üzerinde ölçme yapmaya uygun olmadığından herhangi bir ölçme işlemi gerçekleştirilememiştir. Mobil uygulamanın geriye kalan diğer tarama seçenekleri kullanılarak model üzerinden ölçmeler yapılabilmektedir.

Objeye üzerinde ölçülen referans uzunlukları ve elde edilen 3b model üzerinden ölçülen ayrıtların uzunlukları **Tablo 1.**'de gösterilmiştir. Elde edilen farklara ilişkin ortalama (ort), karesel ortalama hata (mse) ve standart sapma(ss) hesaplanarak elde edilen 3b modellerin doğruluk hassasiyetleri ortaya çıkarılmış ve **Tablo 2.**'de gösterilmiştir.



Şekil 11. Sandukanın ölçülen ayrıtları

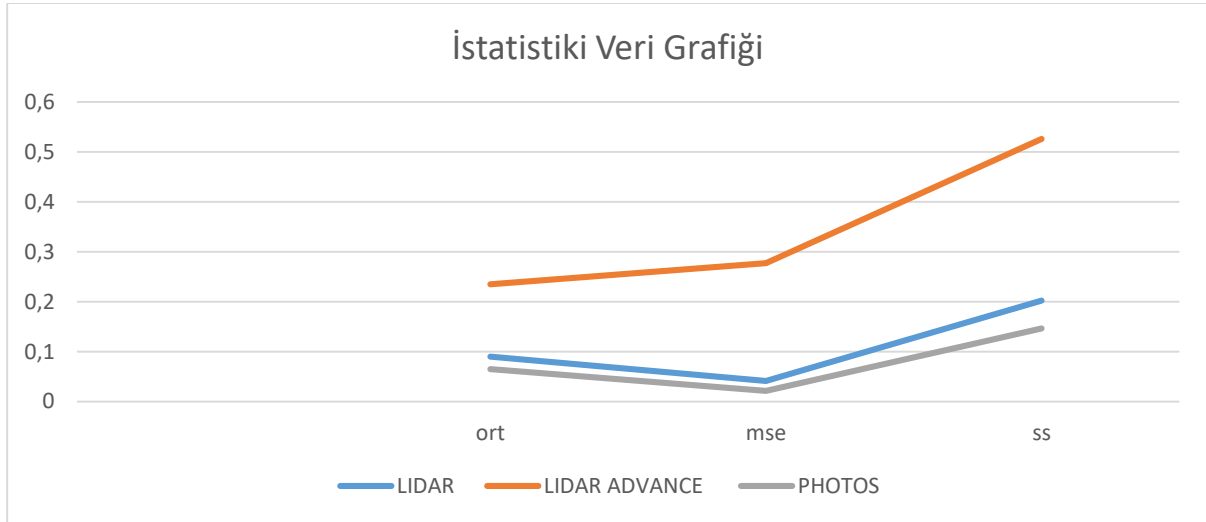
**Tablo 1.** Objeye ait cetvelle ölçülen referans uzunluklar ile model üzerinden ölçülen uzunluklar

Ölçülen Ayrıt Uzunluğu	Referans Ölçüleri (cm)	LIDAR (cm)	LIDAR ADVANCE (cm)	PHOTOS (cm)	POINT CLOUD
a	15.20	14.90	14.17	15.31	-
b	10.00	9.76	8.49	10.20	-
c	5.20	5.03	4.12	5.64	-
d	12.90	12.33	11.20	13.00	-
e	7.10	7.08	6.76	7.20	-

**Tablo 2.** Objeye üzerinde ölçülen referans uzunluklarının model üzerinde ölçülen ayrıt uzunluklarına göre farkları ve istatistiki verileri

Ölçülen Ayrıt Uzunluğu	LIDAR (cm)	LIDAR ADVANCE (cm)	PHOTOS (cm)
a	0.3	1.03	-0.11
b	0.24	1.51	-0.2
c	0.17	1.08	-0.44
d	0.57	1.7	-0.1
e	0.02	0.34	-0.1
ort	0.090	0.235	0.065
mse	0.041	0.277	0.021
ss	0.202	0.526	0.146

**Tablo 3.** Elde edilen istatistiki verilere göre hassasiyet analizini içeren grafik



### 3. BULGULAR

Bu çalışmada arkeoloji, sanal gerçeklik, tersine mühendislik uygulamaları, röleve gibi uygulamalarda küçük objeler için ihtiyaç duyulan 3b modelleme tekniklerinden biri olan akıllı cihazlara entegre LIDAR sensörü ve kamerasının '3d Scanner App' mobil uygulamasının sahip olduğu modelleme yeteneklerinin bir sanduka nesnesi üzerinde test edildiği ve buna ilişkin hem görsel hem de doğrulukların ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Model oluşturulurken objeye üzerine düşen ışığın fazla olmasıyla oluşan parlamaların ve az ışıklı ortamda da oluşan koyulukların modelin kalitesini olumsuz etkilediği görülmüş dolayısıyla obje odanın ortasına konumlandırılarak nesnenin her tarafına homojen bir şekilde ışığın gelmesine özen gösterilmiş ve en iyi ışıkta çalışma yapılmasına dikkat edilmiştir.

Dört farklı tarama tekniği kullanılarak elde edilen 3b modeller görsel olarak karşılaştırılmış olup gerçek objeye şekil ve ölçü olarak en yakın tarama tekniği 'PHOTOS' tekniği olmuştur. Gerçek uzunluklar ile model üzerinde ölçülen

uzunluk farkının en az ve kabul edilebilir hata sınırları içerisinde olduğu istatistikî verileri olan hata ortalamaları, karesel ortalama hata ve standart sapma değerleri **Tablo 2.**'de belirtildiği üzere görülmektedir. Bu tarama tekniğindeki en büyük fark 0.44 cm ile objenin 'c' yani yükseklik ayarının ölçümünde görülmüştür. Tarama tekniğinde 51 adet resim çekilmiş ve resim giydirme süresi yani texture ve mesh oluşturma süresi 3-4 dk aralığı ile en uzun süren teknik olduğu görülmüştür. Ayrıca elde edilen model bütünlüğü ve ayrıtların keskinliği olarak da elde edilen en gerçekçi model olmuştur.

İstatistikî veri grafiğinde (**Tablo 3.** Elde edilen istatistikî verilere göre hassasiyet analizini içeren grafik) görüldüğü üzere 'PHOTOS' tekniğinden sonra hata miktarı en düşük olan tarama tekniği 'LIDAR normal' tekniğinin olduğu tespit edilmiştir. Ortalama hata, karesel ortalama hata ve standart sapma verileri dikkate alındığında iyi değerler yakalanmasına rağmen objenin elde edilen 3b modelinde bir bütünlük sağlanamamış ve model bütünlüğünde kaymalar olduğu görülmüştür. Bu tarama tekniğinde tarama aralığı, taranacak nesnenin seçilimi gibi ayarlar bulunmadığından obje taranırken obje etrafında istenmeyen diğer nesnelere tarandığı görülmüştür. Modelin oluşturulmasında 35 adet resim kullanılmış ve texture&mesh oluşturma süresinin de 46 sn olduğu görülmüştür.

'LIDAR advance' tekniği bu mobil uygulama için obje üzerinde yakınlık mesafesi, tarama mesafesi, taranacak nesnenin belirtilmesi gibi ayarlamalara imkan veren bir teknik olarak öne çıkmaktadır. Bu avantajlar obje etrafında bulunan ve istenmeyen nesnelere taranmasının önüne geçerek hem veri hacmini hem de istenilmeyen gürültü seviyesini azaltmaya yardımcı olmaktadır. Tekniğin sahip olduğu bu avantajlı ayarlamalar defalarca yapılmış ve tekrar tekrar nesne üzerinde tarama yapılmıştır. Buna rağmen **Şekil 8.**'de görülen modele ait görsel örneklerde görüldüğü gibi model üzerinde kaymalar oluşmuş ve 3b modelin bütünlüğü sağlanamamıştır. **Tablo 2.** ve **Tablo 3.**'te görüldüğü üzere uzunluk farkları ve istatistikî veriler anlamında en büyük farklara sahip tarama tekniği olduğu tespit edilmiştir. Tarama tekniğinde elde edilen model için 137 adet resim çekilmiş olup texture&mesh oluşturma işlemleri 46 sn sürmüştür.

'Point cloud' tekniği ile 137 adet resim çekilmiş olup bu resimler üzerinden uygulama tarafından **Şekil 9.**'da gösterildiği gibi seyrek bir nokta bulutu oluşturulmuştur. Diğer fotogrametrik yazılımlarda olduğu gibi proses işlemi sonucunda seyrek nokta bulutundan yoğun nokta bulutu elde edilmiştir. Fakat texture ve mesh işlemlerinin yapılabilmesi için yazılımın herhangi bir modülü olmadığından dolayı herhangi bir işlem gerçekleştirilememiştir. Dolayısıyla objeye ait herhangi bir 3b model oluşturulamamış ve herhangi bir ölçü alınamamıştır. Bu yüzden **Tablo 2.** ve **Tablo 3.**'te bu teknikten elde edilen herhangi bir veri bulunmamaktadır. Bu tarama tekniğinde elde edilen nokta sayıları da çalışmada herhangi bir karşılaştırma konusu olmadığı için nokta sayılarına değinilmesine gerek duyulmamıştır.

## 4. SONUÇLAR

Yıllar içerisinde gelişen teknoloji, kültürel mirasların dijital olarak kayıt altına alınabilmesinde, mekânsal analizlerin yapılmasında, arkeolojik eserlerin ve kazı alanının tüm ayrıntıları ile dijitalleştirilmesi, tersine mühendislik uygulamaları, haritacılık faaliyetleri başta olmak üzere birçok mühendislik disiplininde 3b modellemenin getirdiği maliyeti azaltma, uygulamada kolaylık ve zamandan tasarruf gibi birçok yarar getirmiştir. Bu teknolojinin getirdiği avantajlar kadar donanımların pahalı olması, uzmanlık gerektirmesi, yazılımlarının ücretli olması ve cihazların her noktaya kolaylıkla taşınmaması gibi dezavantajlarda bulunmaktadır.

Akıllı telefonların günden güne gelişmesi ve gelişmiş kamera sistemlerinin entegre edilmesiyle birlikte düşük maliyetli, hassas ve son derece kaliteli görüntü verisi elde etmelerindeki başarıları bu teknolojinin 3b model elde edebilen yazılımlar ile donatılarak 3b modelleme teknolojisinin önünü daha da açmış ve tüm kullanıcıların ulaşabileceği bir noktaya ulaştırmıştır.

Üç boyutlu objelerin modellemesinde kullanılan bu tekniğin akıllı telefonlar aracılığı ile çok geniş bir kullanıcı ağına sahip olması, modelleme yapılan yazılımın uzmanlık gerektirmeyen bir kullanıma sahip olması ve akıllı telefonların uygulama mağazalarından ücretsiz bir şekilde edinebilme kolaylığı ile birlikte veriyi elde etme ve işleme süresinin çok kısa olması nedeniyle hızlı bir şekilde 3b model üretilmesi bu tekniğin yakın zamanda daha da yaygınlaşacağını göstermektedir.

Çalışmada elde edilen bulguların ve elde edilen modellere ait ekran görüntülerinin veri elde etme süresi, hassasiyet, görsel kalite, sonuç ürün bütünlüğü ve keskinliği gibi özelliklerin dikkate alınarak karşılaştırılması akıllı telefonlar ile küçük objelerin 3b modellemesinde kullanılacak yazılım ve teknikler hakkında literatüre katkıda bulunacaktır.

## KAYNAKLAR

**Alptekin, A., Yakar, M.,** 2020. Mersin Akyar Falezinin 3B modeli. Türkiye Lidar Dergisi, 2(1), 5-9.

**Apple,** 2024. <https://support.apple.com/tr-tr/111849> [Erişim tarihi: 08.15.2024].

**Aslan, İ., Kalaycı, E., Tektaş, Y.,** 2022. Farklı Veri Kaynaklarından Üretilen 3B Modellerin Kıyaslanması; Diyarbakır Ulu Camii Musalla Taşı ve Güneş Saati Örneği, Türkiye Fotogrametri Dergisi, 4(2); 52-57.

- Aslan, İ., Polat, N.,** 2022. Availability of Iphone 13 Pro Laser Data in 3D Modeling, *Advanced LiDAR Dergisi*, 2(1); 10-14.
- Günen, M., A., ve Beşdok, E.,** 2021. Nokta bulutu filtreleme yöntemlerinin fotogrametrik yöntem ve RGB-D sensörlerle elde edilen verilerle karşılaştırılması. *Uluslararası Mühendislik ve Yer Bilimleri Dergisi*, 6(3), 125-135.
- Günen, M. A., Erkan, İ., Aliyazıcıoğlu, Ş., Kumaş, C.,** 2023. Investigation of geometric object and indoor mapping capacity of Apple iPhone 12 Pro LiDAR. *Mersin Photogrammetry Journal*, 5(2), 82-89.
- Günen, M. A., Kesikoğlu, A., Karkinli, A. E., Beşdok, E.,** 2017. RGB-D sensörler ile iç mekan haritalaması. *Uluslararası Yapay Zekâ ve Veri İşleme Sempozyumu (IDAP)*, 1-6.
- Özdemir, S., Akbulut, Z., Karşlı, F., Acar, H.,** 2021. Automatic extraction of trees by using multiple return properties of the lidar point cloud. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6(1), 20-26.
- Kabadayi, A. ve Erdoğan, A.,** 2022. Application of terrestrial photogrammetry method in cultural heritage studies: A case study of Seyfeddin Karasungur. *Mersin Photogrammetry Journal*, 4(2), 62-67.
- Kaçarlar, Z. ve Hamal, S. N. G.,** 2021. Küçük Objelerin Üç Boyutlu (3B) Modellenmesinde Yersel Lazer Tarama (YLT) Tekniği. *Türkiye LiDAR Dergisi*, 3(2), 65-70.
- Kadkhodamohammadi, A., Gangi, A., de Mathelin, M. ve Padoy, N.,** 2017. Ameliyathanelerde insan poz tahmini için çoklu görünüm RGBD yaklaşımı. Bilgisayarlı görme uygulamalarına ilişkin IEEE kış konferansı (WACV), 363-372.
- Kaya, Y. ve Temel, D.,** 2022. Cep Telefonu Kameralarından Elde Edilen Görüntüler ile Kültürel Miras Eserlerinin Modellenmesi, *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(1); 17-22.
- Korumaz, G. A., Dülgerler, O. N., Yakar, M.,** 2011. Kültürel mirasın belgelenmesinde dijital yaklaşımlar. Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 26 (3), 63-86.
- Kuçak, A., R., Erol, S., Alkan, R., M.,** 2023. İpad Pro Lidar Sensörünün Profesyonel Bir Yersel Lazer Tarayıcı İle Karşılaştırmalı Performans Analizi, *Geomatik –Dergisi*, 8(1), 35-41.
- Sanchez Diaz, B., Mata-zayas, E. E., Gama-campillo, L. M., Rincon-ramirez, J. A., Vidal-garcia, F., Rullan-silva, C. D., & Sanchez-gutierrez, F.,** 2022. LiDAR modeling to determine the height of shade canopy tree in cocoa agrosystems as available habitat for wildlife. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(3), 283-293.
- Varol, F., Ulvi, A., Yakar, M.,** 2018. Kültürel Mirasın Dokümantasyonunda Yersel Fotogrametri Tekniğinin Kullanılması: Sazak Köprüsü Örneği. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 11(57), 986-991.
- Yakar, İ., Çelik, M. Ö., Hamal, S. N. G., Bilgi, S.,** 2021. Kültürel Mirasın Dokümantasyonu Çalışmalarında Farklı Yazılımların Karşılaştırılması: Dikilitaş (Theodosius Obeliski) Örneği. *Geomatik*, 6(3), 217-226.
- Yakar, M. ve Yılmaz, H., M.,** 2008. Kültürel Miraslardan Tarihi Horozluhan'ın Fotogrametrik Rölöve Çalışması Ve 3 Boyutlu Modellenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23(2), 25-33.
- Yakar, M., Yılmaz, H., M., Mutluoğlu, H., M.,** 2009. Hacim Hesaplamalarında Lazer Tarama ve Yersel Fotogrametrinin Kullanılması, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.
- Zeybek, M.,** 2019. El-tipi LiDAR ölçme sistemleri ve 3B veri işleme. *Türkiye LiDAR Dergisi*, 1(1), 10-15.