



Kültürel Mirasın Belgelenmesinde Lazer Tarayıcıların Kullanılması

Davut Balcı*¹

¹İller Bankası Gaziantep Bölge Müdürlüğü, Gaziantep, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Lidar,
Fotogrametri,
Kültürel Miras,
Lazer Tarayıcılar,
Belgeleme.

ÖZ

Somut ya da soyut kültürel miraslar bir kez yok edildiğinde bir daha yerine yenisi getirilemez olduğundan dolayı sürdürülebilir kılınması, korunması ve belgelenmesi gerekmektedir. Ülkemiz üç tarafı denizlerle çevrili olduğu için ve jeopolitik olarak her asırda önemini koruduğu için birçok medeniyete ev sahipliği yapmıştır bundan dolayı ülkemizde pek çok soyut ve somut kültürel miras bulunmaktadır. Ülkemizde sayıca fazla olan kültürel mirasların belgelenmesi için hızlı ve doğruluğu yüksek tekniklerin kullanılmasında fayda görülmektedir. Geçmişte ve günümüzde kültürel mirasların belgelenmesi (dokümantasyonu) hakkında farklı teknikler uygulanmıştır. Bu teknikleri geleneksel ve teknolojik olarak ikiye ayırabiliriz. Geleneksel teknikler hasarlı ya da hassas detay ölçümlerinde yetersiz kalmakla beraber düşük hassasiyeti ve yavaşlığı nedeniyle terkedilmeye başlanmıştır. Günümüzde geleneksel belgeleme tekniklerinin yerini hızlı, optimal maliyetli, yüksek doğruluk ve hassasiyetli olan teknolojik belgeleme teknikleri almıştır. Teknolojik belgeleme tekniklerinden bazıları; total station, GNSS, lidar, fotogrametri ve lazer tarama tekniğidir. Bu çalışmada kültürel mirasın tanımı ve önemi anlatılmakla birlikte geleneksel yöntem ile teknolojik yöntemlerden söz edilerek kıyaslanması; teknolojik yöntemlerden biri olan lazer tarama tekniğinin inceliklerinden ve diğer tekniklerle karşılaştırmasından; lazer tarayıcıların kendi içinde sınıflandırılmasından, lazer tarayıcıların ölçme prensiplerinden ve bazı ticari firmaların yersel lazer tarayıcılarının teknik özellikleri sunulmuştur.

The Use of Laser Scanners in Documenting Cultural History

Keywords

Lidar,
Photogrammetry,
Cultural heritage,
Laser Scanners,
Documentation.

ABSTRACT

Once the tangible or intangible cultural heritage is destroyed, it cannot be replaced, so it needs to be made sustainable, protected and documented. Since our country is surrounded by seas on three sides and maintains its geopolitical importance in every century, it has hosted many civilizations. Therefore, there are many intangible and tangible cultural heritages in our country. It is beneficial to use fast and high-accuracy techniques for the documentation of cultural heritages, which are numerous in our country. Different techniques have been applied for the documentation of cultural heritages in the past and today. These techniques can be divided into traditional and technological. Although traditional techniques are insufficient for damaged or sensitive detail measurements, they have begun to be abandoned due to their low sensitivity and slowness. Today, traditional documentation techniques have been replaced by technological documentation techniques with fast, optimal cost, high accuracy and precision. Some of the technological documentation techniques; total station, GNSS, lidar, photogrammetry and laser scanning technique. In this study, the definition and importance of cultural heritage is explained, and the comparison of traditional method and technological methods by mentioning; the subtleties of the laser scanning technique, which is one of the technological methods, and its comparison with other techniques; Classification of laser scanners, measuring principles of laser scanners and technical specifications of terrestrial laser scanners of some commercial companies are presented.

1. GİRİŞ

Kültürel miras, geçmiş nesillerden bizlere kalan ve korunması gereken ve gelecek nesillerin yararına aktarılan, evrensel değerlere sahip, belirli kriterlere sahip (geleneğe tanıklık etmek, yaratıcı insan dehasının ürünü olmak, bir veya birden fazla dönemi temsil eden) değerli varlıklardır. Tarihi eserler veya varlıklar somut veya somut olmayan kültür ve doğal mirasları içermektedir (Ulvi vd., 2019; Sarı vd., 2020).

Somut kültürel miraslar kültürel varlıklar olarak tanımlanabilirler. Taşınır ve taşınmaz miras olarak ikiye ayrılır. Tarihi ibadet yerleri, anıtlar, heykeller, tablolar, arkeolojik eserler, kitabeler, kitaplar, manzaralar vb. örnek verilebilir (Ulvi & Yiğit, 2019).

Soyut kültürel miraslar: Folklor, gelenekler, dil, sözlü tarih gibi somut olmayan kültürel miraslardır.

Doğal kültürel miraslar: Kültürel açıdan önem teşkil eden manzara ve biyolojik çeşitlilik gibi miraslardır.

Kültürel ve doğal miraslar, doğal ve doğal olmayan nedenlerle giderek yok olma tehlikesiyle karşı karşıyadır (Ulvi & Yakar, 2014). Kültürel ve doğal mirasa sahip ülkeler ekonomik, bilimsel ve teknik kaynakların yetersizliği nedeniyle bu mirasın korunmasında yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle kültürel mirası korumak ve korunması için geliştirilen bilimsel çalışmaları ve yeni yöntemleri paylaşmak tüm milletlerin görevidir. (Yiğit & Uysal, 2021; Negiz, 2017)

Türkiye bulunduğu coğrafya itibariyle farklı medeniyetlere tarih boyunca ev sahipliği yapmıştır ve yapmaya da devam etmektedir, bu medeniyetlerden kalan kültürel mirasları sınırları içerisinde bulundurmaktadır. Bu kültürel mirasların detaylı ve hassas bir şekilde belgelenerek koruma altına alınması ve dijital olarak arşivlenmesi ülkemiz için önemli olduğu kadar dünya kültür mirası için de büyük ölçüde önem arz etmektedir.

Kültürel miraslar insanlar için geçmiş ve gelecek arasında önemli bir köprü olup toplumsal ve bireysel gelişim için önem arz etmektedir. Bu mirasların orijinalerine uygun olarak önümüzdeki nesillere sirayet ettirilmesi insanlık adına da önemlidir. Dünyada kültürel miras zenginliği açısından sayılı ülkeler arasında olan ülkemizde 2010 yılı Kültür ve Turizm Bakanlığının verilerine göre kültürel miras sayısı 84830'dur. Fakat ülkemizde bu denli kültürel miras zenginliği varken belgelenmesi ve korunması konusunda gerekli duyarlılık gösterilememektedir (Pakben, 2013).

TÜRKİYE GENELİNDE TESCİLLİ TAŞINMAZ KÜLTÜR VARLIKLARI	TAŞINMAZ SAYISI
SİVİL MİMARLIK ÖRNEĞİ	74.424
DİNSEL YAPILAR	10.986
İDARİ YAPILAR	3.319
ENDÜSTRİYEL VE TİCARİ YAPILAR	4.756
ASKERİ YAPILAR	1.497
MEZARLIKLAR	6.034
ŞEHİTLİKLER	322
ANIT VE ABİDELER	409
KORUNMAYA ALINAN SOKAKLAR	79
KALINTILAR	3.216
KÜLTÜREL YAPILAR	14.221
TOPLAM	119.263

Şekil 1. Türkiye genelinde tescilli taşınmaz kültür varlıkları ve sayıları (Kültür varlıkları, 2022).

Ülkemizde kültür mirasının korunmasına ilişkin yetki, 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanununun 10. maddesi ile Kültür ve Turizm Bakanlığı'na verilmiştir (RG: 23.7.1983/18113). Şekil 1'de bakanlığın 2021 yılı son verilerine göre ülkemizde kayıtlı kültür mirası sayısı 119 263'tür (Kültür varlıkları, 2022).

Bu zenginliğe rağmen Türkiye kültürel mirasların belgelenmesi ve korunması konusunda gereken hassasiyeti gösterememektedir. Bunun en büyük nedeni ülkemizde saha çalışmalarında yeterli altyapıya sahip personel sayısının çok sınırlı olması ve dokümantasyon çalışmalarının her zaman istenilen doğrulukta yapılamamasıdır.

Lazer tarama tekniği, geçmiş uygarlıkların ve coğrafyalarının izlerini taşıyan ve tarihe ışık tutan yazı ve detayları içeren kültürel miras varlıklarının epigrafik olarak incelenmesi ve bu kapsamda belgelenmesi çalışmalarında sıklıkla tercih edilmeye başlanmıştır. Bu teknik LIDAR (Light Detection and Ranging-Işık Tespiti ve Mesafe Ölçme) sistemine dahil edilmiştir (Yakar vd., 2019). Bu yöntemde yüzeyleri taranan nesnenin üç boyutlu (3B) nokta bulutu (nokta veri seti) hızlı ve hassas bir şekilde elde edilebilir. Kültürel mirasın 3 boyutlu modeli elde edilen verilerden oluşturulabilmektedir. Bu model, mirasın iç ve dış mimari özelliklerinin belirlenmesinde, cephe uzunluklarının belirlenmesinde, 2 boyutlu (2B) çizimlerin yapılmasında ve mirasın zarar görmesi durumunda restorasyon çalışmalarında altlık görevi görmektedir (Ulvi, 2015; Duran vd., 2017; Çelik vd., 2020). Bu bağlamda üretilecek nokta bulutunun frekansı ve metrik doğruluğu son derece önemlidir. Yukarıda anlatılan özellikleri neticesinde lazer tarama tekniğinin kültürel mirasın dokümantasyonu çalışmalarında kullanımı artmaya başlamıştır.

Çalışmanın amaçları arasında kültürel mirasların belgelenmesinde kullanılan geleneksel ve teknolojik belgeleme tekniklerinden söz etmek; teknolojik belgeleme tekniklerinden olan geleneksel rölöve tekniği, fotogrametri tekniği ve lazer tarama tekniğinin hassasiyet, maliyet, zaman, doğruluk vb. açılardan kıyaslamak; lazer taramanın ölçme prensiplerinden söz etmek olduğu gibi lazer tarama tekniğinin kültürel miras belgelemedeki rolü ve etkinliğini araştırıp avantaj/dezavantajlarını da sunmaktır.

2. KÜLTÜREL MİRAS BELGELEME TEKNİKLERİ

Günümüzde kültürel mirasın korunması ile ilgili birçok uluslararası antlaşma ve kurum mevcuttur. Bunlardan bazıları şunlardır; Dünya Kültürel ve Doğal Mirasın Korunmasına Dair Sözleşme, Birleşmiş Milletler Eğitim Bilim ve Kültür Örgütü (UNESCO), Avrupa Mimari Mirasının Korunması Sözleşmesi, Uluslararası Doğa Koruma Birliği (IUCN), Soyut Kültürel Mirasın Korunması Sözleşmesi ve Kültür Varlıklarının Korunması ve Onarım Çalışmaları Uluslararası Merkezi (ICCROM) vb. Ülkemizde ise bu görevi İçişleri Bakanlığı, Kültür ve Turizm Bakanlığı, Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulu gibi kurumlar üstlenip yürütmektedir.

Yukarıda bahsedilen kurum ve kuruluşlar var olan kültürel mirasların korunması ve sürdürülebilirliği içindir (Ernst vd., 2021; Kaya vd., 2021). Fakat korunmasının yanında dokümantasyonunda

gerekmektedir işte bu yüzden geçmişten bu yana kültürel miraslar gelecek nesillere orijinalliğini koruyarak aktarılacak istenmiştir ve bu da kültürel mirasın belgelenmesini doğurmuştur. Tarihten bu yana birçok belgeleme tekniği kullanılmıştır; teknolojinin gelişmesiyle birlikte bu teknikler çeşitlenmekle beraber giderek hata payları azalmış, zamandan tasarruf artmış, iş gücü yükü azalmış ve dijital olarak 3 Boyutlu (3B) belgelemeye kadar ilerlemiştir (Pakben, 2013).

2.1. Geleneksel Belgeleme Teknikleri

Geleneksel belgelemeyi üç ana başlıkta inceleyebiliriz bunlar; görsel belgeleme, yazılı belgeleme ve restorasyon projesi öncesi yapılan çalışmalardır. Teknoloji bu denli gelişmeden önce de insanların kültürel varlıkları koruma ve gelecek nesillere aktarma kaygısı vardı. Bu kaygı şuan geleneksel dediğimiz belgeleme tekniklerini ortaya çıkarmıştır. Fakat geleneksel belgeleme teknikleri karmaşık geometrili yapılarda, hasarlı objelerde, hassas detay alımlarının gerektiği koşullarda ölçümlerdeki düşük hassasiyeti ve yavaşlığı nedeniyle terkedilmeye başlanmıştır. Geleneksel belgelemede kullanılan bazı aletler; şerit metre, şakül, pusula, karbon kâğıdı, jalon, prizma, mira, nivo ve teodolit gibi araç gereçlerdir (Pakben, 2013).

2.1.1. Görsel belgeleme

Eskizler, çizimler, eski fotoğraflar, eski haritalar gibi görsel belge ve evraklar ile ya da video / fotoğraf çekimi teknikleriyle belgeleme tekniğidir.

2.1.2. Yazılı belgeleme

Arşiv araştırması, kütüphane araştırması, sözlü kaynak araştırması, koruma durumu, raporlar ve gezi yazıları gibi yazılı kaynaklardan alınan bilgiler ile belgeleme tekniğidir.

2.1.3. Restorasyon projesi öncesi yapılan çalışmalar

Rölöve analizleri (rölöve malzeme analizi, rölöve bozulma analizi, rölöve özgünlük analizi), restitüsyon ve müdahale kararları ile belgeleme tekniğidir.

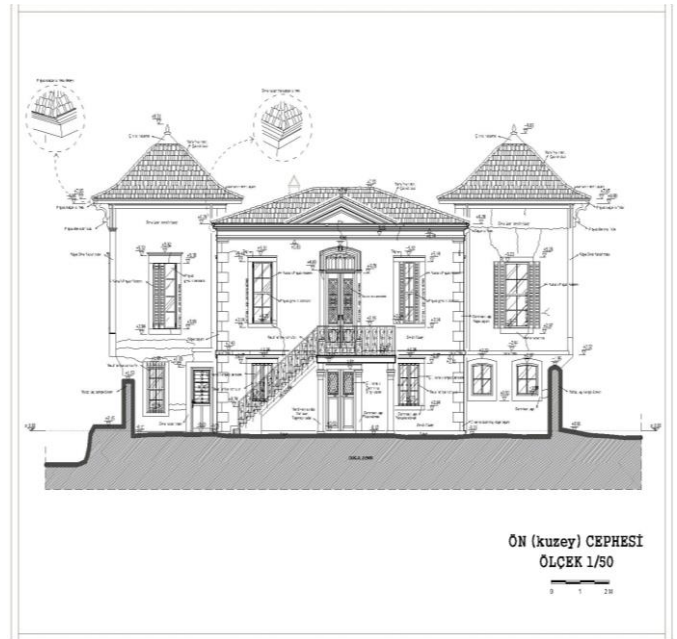
2.2. Teknolojik Belgeleme Teknikleri

Günümüz teknolojisi ve gelişen bilimsel araştırmalar ile rölöve alımında modern tekniklerin kullanılması geleneksel yöntemlere nazaran büyük kolaylık sağlamıştır. Detay ölçüleri almak, çizim yapmak, fotoğraf ve video çekmek ve çizimlerden 3B veriler elde etmek artık daha kolay, daha hızlı ve daha hassas olmaktadır. Bütün bunların yanında modern teknikler elde edilen hassas ve görsellik yönünden zengin verileri uzun bir süre dijital ortamda saklayabilme olanağı sağlamaktadır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte birçok belgeleme tekniği gelişmiştir bu belgeleme tekniklerini 3 ana başlık içerisinde inceleyecek olursak; geleneksel rölöve tekniği [GNSS (Global Navigation Satellite Systems- Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri), total station, gelişmiş nivo ve teodolitler vb.], fotogrametri tekniği ve lazer tarama tekniğidir.

2.2.1. Geleneksel rölöve tekniği

Geleneksel rölöve tekniğinde 3 rölöve çalışması vardır bunlar basit rölöve, tespit rölöve ve esas rölöve çalışmalarıdır. Basit rölöve tekniği geleneksel ölçü yöntemleri ile çalışma stildir. Tespit ve esas rölöve çalışmaları teknolojik imkânlardan yararlanan çalışma yöntemleridir ve geleneksel rölöve tekniği olarak adlandırılır.

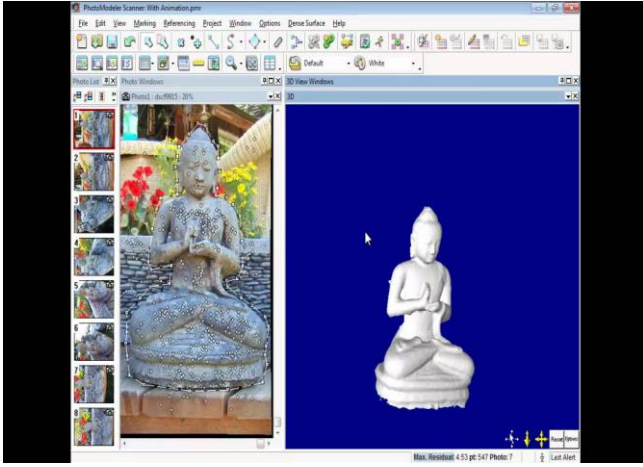
Belirli sistem ve kurallara sahip olan geleneksel rölöve tekniğinde öncelikle kültürel mirasın krokileri çıkartılır. Sonra terazi hattı üzerinden alınan devamlı ölçülerle üçgenleme ve poligon oluşturma yöntemiyle elde edilen ölçüler krokiye yazılır. Ölçüler lazer metre, mira, su terazisi, nivo, şerit metre, ip, t cetveli, pergel, gönye, çekül, teodolit, kumpas, tahta metre, jalon, total station, GNSS ve milimetrik bloklar ile elde edilir. Veriler rölöve yöntemine uygun olacak şekilde ya elle çizilir ya da çizim programına aktarılır.



Şekil 2. 1907 tarihli çift kuleli İtalyan mimari mevcut rölöve projesi (Ayvalık/BALIKESİR) (Restorasyon forum, 2022).

2.2.2. Fotogrametri tekniği

Fotoğraflardan meydana gelen hataları gidererek doğru bilgiler üretme prensibine dayalı olan fotogrametri, neredeyse fotoğraf teknolojisi kadar eski bir tekniktir (Şenol vd., 2020). Bir cismin veya arazi yapısının fotografik görüntülerini kaydetme, modele dönüştürme, yükseklik, mesafe, koordinat, alan ve hacim ölçme ve havadan veya karadan çekilmiş iki boyutlu fotoğrafların üst üste bindirilerek yorumlanması işlemlerini içeren bir teknolojidir. Bilinen uzamsal koordinatların kontrol noktalarına ve noktalar arası üçgenlemeye dayanan bu teknikte DEM (dijital yükseklik modeli) analizi, ortofoto görüntü ve üç boyutlu nokta bulutu da elde edilmektedir.

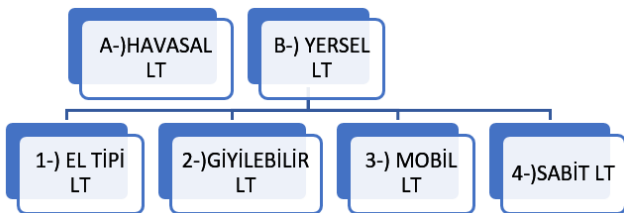


Şekil 3. Fotogrametri tekniği ile belgelenmiş bir heykel (Photomodeler, 2022).

2.2.3. Lazer tarama tekniği

Lazer tarama cihazından çıkan lazer ışınının obje yüzeyine çarpması ve yansıyor geri dönmesi arasında geçen sürenin mesafe ölçümüne dönüştürülmesi ve çekilen fotoğraflarla karşılaştırılması yoluyla belgelemeye lazer tarama tekniği denir (Şenol vd., 2021; Kaya vd., 2021). Lazer tarayıcılar (LT), saniyede binlerce veyahut milyonlarca nokta atıp geri üç boyutlu olarak algılayıp veriye dönüştürebilen sistemlerdir (Memduhoğlu, 2020; Polat vd., 2020). Lazer tarayıcılarda mekanik saptırma ve lazer radar olmak üzere iki adet sistem bulunmaktadır. Mekanik saptırma sistemi, lazer sinyalinin yatay ve dikey açılarının kaydederken; lazer radar sistemi tarayıcıdan atılan lazer ışınının objeye çarptığı yüzeyden geri tarayıcıya dönme süresini hesaplamaktadır. Bu iki sistem sayesinde küresel ve 3B koordinat ağı oluşturulmaktadır. Lazer tarama tekniği daha fazla geliştirilerek su altı tarama ve havadan lazer tarama teknolojilerinde de kullanılmaktadır.

Nesne yüzey tabanlı ve 3B ölçüm tekniği olan lazer tarama tekniğinde elde edilen veriler nokta bulutu şeklindedir. Nokta bulutu şeklinde elde edilen ham veriler işlenerek çizime daha sonra da animasyon videosuna ya da 3 boyutlu yüzey modeline dönüştürülebilir. Lazer tarayıcıları Şekil 4. de görüldüğü şekilde sınıflandırabiliriz.



Şekil 4. Lazer tarayıcıların sınıflandırması.

2.2.3.1. Havasal lazer tarama

Lazer tarama cihazı, GNSS (Global Navigation Satellite Systems) ve IMU (Inertial Measurement Unit-Atalet Ölçüm Birimi)' den oluşan ve hava aracına (helikopter, uçak, drone) yerleştirilmiş bir sistemdir. Nesne ve yüzeyler havadan bu üçlü sistemle tarandığı takdirde (X, Y, Z) koordinat ve yükseklik değerleri içeren nokta bulutu elde edilir.

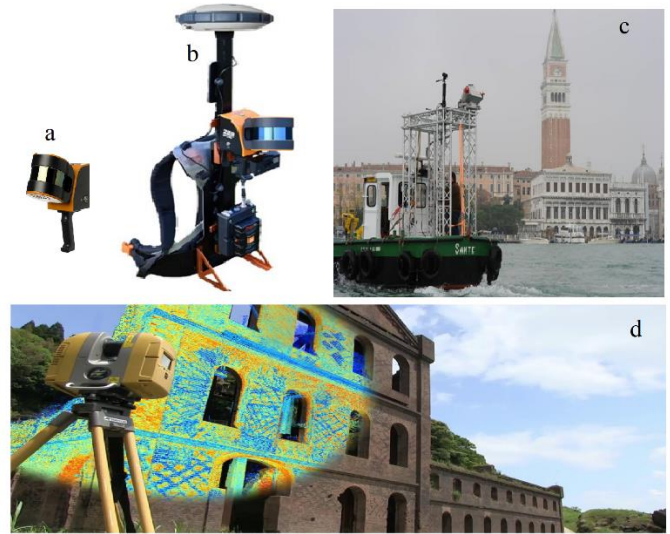
Havadan lazer tarama, tarım veya ormanlık alanlar, kentsel alanlar, endüstriyel tesisler vb. gibi geniş alanların; kültürel miras anlamında bakıldığında geniş doğal kültürel mirasların ve sit alanlarının 3B verilerini yakalamanın hızlı, yüksek doğrulukta ve verimli bir yöntemidir.



Şekil 5. Havasal lazer taramanın helikopter örneği (Emigrup, 2021).

2.2.3.2. Yersel lazer tarama

Yersel lazer tarama (yzt) denildiğinde dört tip lazer tarama akla gelmektedir. Bunlar el tipi lazer tarama, giyilebilir lazer tarama, mobil lazer tarama ve sabit lazer taramadır.



Şekil 6. Yersel lazer tarayıcı modelleri (a: El tipi Lt, b:Giyilebilir Lt, c: Mobil Lt d: Sabit Lt) (Bimportale, 2022).

2.2.3.2.1. El tipi lazer tarama

El tipi lazer tarama cihazları hem sabit bir şekilde hem de gezici (mobil) şeklinde kullanılabilir için mobil ve yersel lazer tarama (yzt) sistemlerinin kombinasyonu gibi düşünülebilir. Mobil (hareketli) ve yersel (sabit) lazer tarama sistemlerinin kombinasyonu olması nedeniyle hibrit bir ölçme tekniğini barındırır (Zeybek & Vatandaşlar, 2021). Her saniyede atılan lazer sinyalleri ve geri dönüşünden elde edilen nokta bulutları anlık konumlandırma algoritmaları ile işlenerek üç boyutlu nokta bulutu modelinin oluşturulmasını sağlar. Örnek Şekil 6. a.

2.2.3.2.2. Giyilebilir lazer tarama

Giyilebilir lazer tarayıcıları SLAM (simultaneous localization and mapping - eşzamanlı konum belirleme ve haritalama) teknolojisiyle entegre etmek; hem kapalı hem de açık ortamlarda aralıksız gerçek zamanlı SLAM kayıt ve tarama yetenekleri sağlar. Sırt çantası modunda kullanılabilir ve ormancılık, harita üretimi, madencilik, stok hacmi araştırmaları, mimari ve restorasyon çalışmaları gibi çeşitli alanlarda çok yönlülük sunar. Sezgisel kullanıcı ara yüzü aracılığıyla herhangi bir cihaza gerçek zamanlı nokta bulutu veri akışı, kullanıcıların 3D ortamı hızlı bir şekilde anlamalarını sağlar. Tarama sırasında ve sonrasında kullanıcılar, ölçüm rotası, yoğunluk ve zaman damgası bilgileri dahil olmak üzere verileri anında görüntüleyebilir.

Sezgisel kullanıcı ara yüzü aracılığıyla herhangi bir cihazla gerçek zamanlı nokta bulutu veri akışı, kullanıcıların 3D ortamını hızlı bir şekilde anlamalarını sağlar. Tarama sırasında ve sonrasında, kullanıcılar ölçme rotasını, yoğunluğu ve zaman damgası bilgilerini içeren verileri anında görüntüleyebilirler. Örnek Şekil 6. b.

2.2.3.2.3. Mobil lazer tarama

Hem 2D hem de 3D lazer tarayıcılar, mobil haritalama uygulamaları için idealdir. Tekneler, trenler, karayolu ve arazi araçları gibi hareketli platformlardan elde edilen tarama verilerini kaydetmek için lazer tarayıcı, GPS (Küresel Konumlandırma Sistemi) ve IMU gibi konum ve durum sensörleriyle desteklenir.

Mobil lazer tarama gelişmiş ve modern ölçüm tekniklerinden biridir. GNSS ve yer kontrol noktaları (ykn) ile bütünleşik bir sistemdir. Bilimsel araştırma ve çalışmalarda yaygın olarak kullanılan sabit lazer tarayıcı sistemine birçok bakımdan benzerdir. Ancak sabit lazer tarayıcılara nazaran daha az doğruluk sağlarlar.

Mobil lazer tarayıcı sistemleri tren, tekne, araba vb. araçlara monte edilip bu araçlarla bütünleşik çalışabilmektedir. Dolayısıyla ölçüm hızı araç hızına eşitlenir ve objenin hızı ve aralığına bağlı olarak 1 metre kare alanda nokta yoğunluğu binlerce noktaya ulaşabilmektedir. Örnek Şekil 6. c.

2.2.3.2.4. Sabit lazer tarama

Sabit lazer tarama tekniği hem maliyet hem de zaman kazancı bakımından gerekse kullanım kolaylığı açısından arkeolojik ve birçok mühendislik alanında sıkça tercih edilen ve kabul gören bir tekniktir. Örnek Şekil 6. d.

Lazer teknolojisi başlangıçta elektronik uzunluk ölçümleri, altyapı çalışmaları, tüneller, ulaşım, baraj ve bina gibi inşaat mühendisliği ve jeodezik alanlarda kullanılırken teknolojinin gelişmesiyle birlikte nesne ya da alanların deformasyonu, mimarlık ve kültürel mirasın 3B dokümantasyonu çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Lazer ölçmelerinde cihaz ile ölçülen nokta arasındaki mesafe temel büyüklüktür (Cömert vd., 2012). Lazer mesafe ölçümü için; faz farkı ölçümü, üçgenleme metodu ve ışının gidiş-dönüş zamanı ölçümü metodu olmak üzere üç farklı çalışma prensibi bulunmaktadır.

Lazer tarama sonucu elde edilen ham veri olan nokta bulutundan temel ölçme verilerinin yanı sıra 2B, 3B çizimler, ortofoto görüntüler, katı yüzey modeli, 3B animasyonlar veyahut doku giydirilmiş 3B modeller oluşturulabilmektedir (Hepçörük, 2015). Yoğun nokta bulutundan ve etkin bir veri toplama tekniği olduğundan dolayı sabit lazer tarama tekniği hem ölçmecilere hem de bu verileri kullananlara kolaylık sağlamaktadır. Sabit lazer taramanın; gerçek renkli görüntü üretme, yüksek doğruluklu sayısal arazi modeli üretme, güvenli veri toplama imkânı, nesne ile temas etmeden veri toplama, hızlı ölçüm, yoğun nokta bulutu oluşturma, alanın ya da nesnenin belli aralıklarla tamamen ölçülebilmesi ve lazer ölçülerin başka ölçüler ile kolay bir şekilde entegrasyonu gibi avantajları mevcuttur.

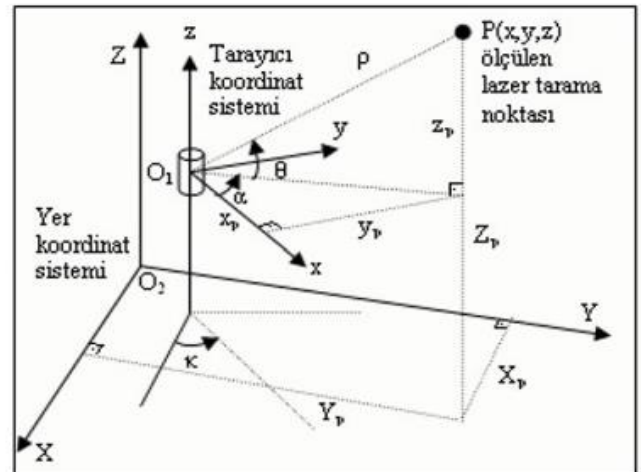
3. LAZER TARAYICILARIN ÖLÇME PRENSİPLERİ

Lazer mesafe ölçümü için faz farkı ölçümü, üçgenleme metodu ve ışının gidiş-dönüş zamanı (Time of Flight) ölçümü olmak üzere 3 farklı teknik kullanılmaktadır. Nesnenin 3B modelini oluşturmak için bu 3 teknikten biri ile yapılan ölçüm sonucu elde edilen nokta bulutları seçilen referans koordinat sisteminde birleştirilir.

Lazer tarayıcı nesneyi yatay ve dikey yönde belli bir açı ile tarayarak nokta bulutu elde edilmesini sağlar. Her lazer atımı için tarayıcı merkezli kutupsal koordinatlar ölçümlenirken beraber bunlar; ölçüm doğrusunun x eksenine yatay düzlemde yaptığı açı α , nesne üzerindeki atım yapılan noktaya eğik uzunluk ρ ve ölçüm doğrusunun yatay düzlemde yaptığı eğim açısı θ ' dir. Ölçme yüzeyinin uzaklığına ve yapısına bağlı olarak dönen sinyalin yoğunluğu da ölçülerek kaydedilir.

Sabit lazer tarayıcılarda koordinat sistemi ve ölçülen büyüklükler Şekil 7.teki gibidir. Şekil 7. Teki bilinmeyenlerin açıklaması aşağıdaki gibidir.

- x,y,z: Tarayıcı alet orijinli nokta bulutu koordinatları,
- ρ : Lazer tarayıcı ile ölçülen nesne noktası arasındaki eğik mesafe,
- α : Işın doğrultusunun x eksenine yatay düzlemde yaptığı açı,
- θ : Işın doğrultusunun yatay düzlemde yaptığı eğim açısı,
- O1: Lazer tarayıcı yerel koordinat sistemi merkezi,
- O2: Yer koordinat sistemi merkezidir.



Şekil 7. Yersel lazer tarayıcı ölçümleri, tarayıcı koordinat sistemi ve yer koordinat sistemi (9lib, 2022).

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \rho \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \alpha \\ \cos \theta \sin \alpha \\ \sin \theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

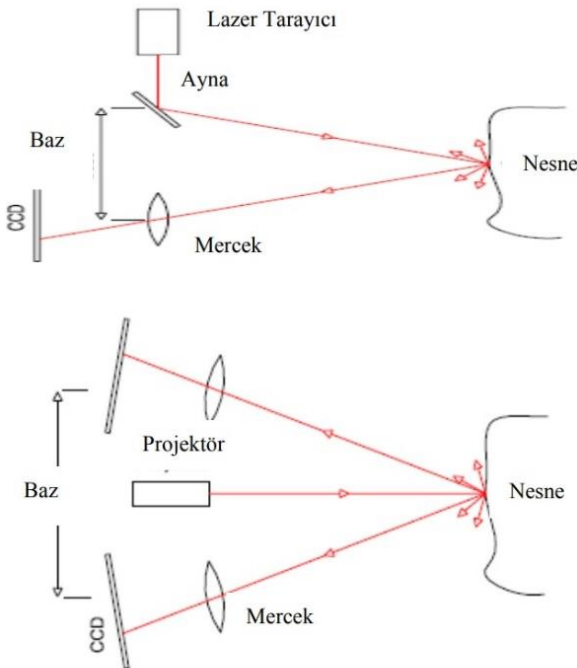
Burada; Yersel lazer tarayıcı ölçülerinin tarayıcı alet orijini koordinatlarına dönüşümünü açıklayan geometrik ilişki.

Sabit lazer tarayıcılar total stationlar gibi koordinatları belli bir noktaya kurulup istenildiği gibi yönlendirilemediği için ölçüm cihazı orijini x, y, z eksenleri her seferinde farklı bir doğrultu gösterecektir. Bu yüzden bir nesne ya da alan için yapılan farklı kurulumlardan elde edilen bütün taramalar ortak koordinat sisteminde birleştirilmelidir.

Taramaların ortak koordinat sisteminde birleştirilebilmesi için mimari rölöve alımlarında binanın ya da alanın yüzey taraması yapılacaksa cihaz herhangi bir noktaya kurulur görünen alan taranır bir sonraki taramada önceki taramanın bitişik alanını tarayacak şekilde tarama yapılır. Her taramada bir önceki taranan yüzey ile belli oranda örtüşecek şekilde ortak taramalar yapılır.

3.1. Üçgenleme metodu

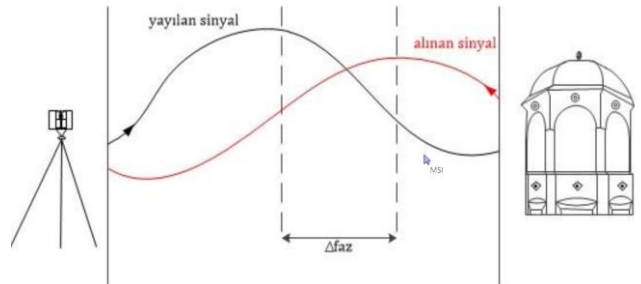
Sektörde farklı metotlarla işlem yapan lazer tarayıcılar mevcuttur bunlardan birisi olan üçgenleme metodudur ve bu tarayıcılarda taranan noktanın koordinatları optik üçgenleme yöntemi ile belirlenmektedir. Bu metoda göre cihaz lazer ışını nesne yüzeyine yönlendirir ve objeden yansıyan lazer ışını CCD (charged-coupled device) kamera toplar (Yakar, 2018). Yansıtıcı - nesne - CCD kamera arasında oluşan ışın üçgenlerinden nesne yüzeyindeki noktaların koordinatları belirlenir. Bu metot ile işlem yapan tarayıcılarda konum belirlemek için tek veya çift kameralı çözümler uygulanır.



Şekil 8. Üçgenleme metodu ile işlem yapan lazer tarayıcıların çalışma prensibi (Gümüş & Erkaya, 2007).

3.2. Faz farkı metodu

Faz farkı metodu temel anlamda lazer tarama cihazından çıkan lazer ışınları ile yansıyan ışınların karşılaştırılıp faz farkının ölçülmesidir. Faz farkı metodunda ışınlar sürekli dalga olarak gönderilmektedir ve gönderilen ile alınan dalga zamana bağlı olarak değişse de faz farkı değişmemektedir (Açık ders, 2022). Bu yöntemde, cihazdan çıkan ve objeden yansıyan ışının sinüs dalgasına göre karşılaştırması yapılır ve faz farkı belirlenir. Böylelikle tarayıcı ile nesne arasındaki mesafe yayılan sinyalle alınan sinyal arasındaki faz farkının ölçülmesi sonucunda bulunur ve farklı uzunluktaki dalgalar ile elde edilen faz farkları yardımıyla yüksek duyarlılıklı uzunluk elde edilebilir (Alptekin vd., 2019).



Şekil 9. Faz farkı yöntemi (Çelik vd., 2020).

3.3. Lazer ışını gidiş geliş zamanı ile ölçüm metodu

Lazer ışını gidiş geliş zamanı ile ölçüm metodunda tarayıcı cihaz ile taranan nesne üzerindeki nokta arasındaki mesafe, lazer ışınının cihazdan çıkışı ve geri cihaza dönüşü arasındaki zaman farkı ölçülerek hesaplanmaktadır (Ossowski & Tysiáč, 2018). Bu metot ile çalışan lazer tarayıcılar nesneden yansıyan ışını toplamak için bir foto diyota sahiptir. Aynı zamanda lazer ışınının atımı ile aktif duruma geçip ve geri yansıyan ışının yakalanması ile pasif duruma geçen çok hassas bir saat mekanizmasına da sahiptir. Bu mekanizmalar sayesinde zaman farkı belirlenmektedir.



Şekil 10. Lazer ışını gidiş geliş zamanı ile işlem yapan tarayıcıların çalışma prensibi (Gümüş & Erkaya, 2007).

4. YERSEL LAZER TARAMA TEKNİĞİNDE DOĞRULUK

Çevresel faktörler, nesnenin yüzey geçirgenliği, yansıtıcı özelliği, pürüzlülüğü ve yüzeyin renk kontrastı gibi değişik sebeplerden dolayı tüm ölçüm aletlerinde olduğu gibi yersel lazer tarayıcı ile yapılan ölçmelerin sonuçları da hatalı olabilmektedir (Ağca vd., 2016). Tüm ölçme alet ve donanımlarında hangi doğrulukta ölçme yapıldığının bilinmesi ne kadar elzem ise lazer tarayıcılar ile yapılacak ölçmelerde de hangi doğrulukta ölçüm

yapılacağı bilinmesi o kadar elzemdir (Karşıdağ & Alkan, 2011).

Lazer tarayıcıların doğruluğu ile ilgili araştırmalar yapıp birçok yöntem geliştirilmiştir ve bilimsel olarak sonuçları yayınlanmıştır. Yayımlanan bu sonuçlara bakıldığında lazer tarayıcıların uzun mesafede yani 1000m ve üzerinde 10cm, kısa mesafede yani 300m ve altında 1cm civarında ölçü hassasiyeti vardır (Ulvi vd., 2019).

Lazer tarayıcıların doğruluk araştırması için yapılan çalışmalarda doğruluğun, tarama mesafesi ile ters orantılı; tarama yoğunluğu ile doğru orantılı olduğu gözlenmiştir (Yaman & Kurt, 2019). Bu durumda yersel lazer tarayıcıların nesneye daha yakın mesafede ve daha yoğun tarama ile daha iyi sonuçlar vereceği çıkarımı yapılabilmektedir.

Yukarıda bahsedilen çevresel faktörler ve nesne yüzeyinin özelliklerinden dolayı veri kalitesi etkilenmektedir. Düz ve pürüzsüz nesne yüzeyinden elde edilen 3B nokta bulutu düzensiz ve bozuk olduğu; siyah veya koyu renkli yüzeylerin lazer ışınını ya az yansıttığı ya da yansıtmadığı için 3B nokta bulutunun bazı bölgelerinde az veya hiç nokta verisi olmadığından tespit edilmiştir.

5. FARKLI BELGELEME TEKNİKLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI

Pehlivan vd., (2022) Muğla ili, Milas ilçesi, Kıyıkışlacık Mahallesi'nde yer alan İasos Antik Kentini belgelerken farklı belgeleme tekniklerini aynı noktaları baz alarak karşılaştırma yapmıştır. Bu noktalar a, b, c,... j ve k'dir.

Geleneksel rölöve tekniği, fotogrametri tekniği ve yersel lazer tarama tekniği ölçüm doğruluğu açısından karşılaştırıldığında şu sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Belirlenen yapı elemanlarının boyutları, her üç teknikte de ölçülmüş ve bu ölçüler arasındaki farklılıklar hesaplanmıştır. En fazla fark (b) döşeme taşında 0,5 cm olarak çıkmıştır. Hiç farkın olmadığı (0 cm) ölçümler de tespit edilmiştir. Cephe ölçümleri için en fazla 1,9 cm'lik fark; en az 0,1 cm'lik fark ortaya çıkmıştır. Belirtilen farklılıkların tümünün Letellier ve CIPA'nın referans aralıklarına uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre ölçüm doğruluğu bakımından üç yöntem de doğru sonuçlar vermektedir ve bu tekniklerin kullanılabilir olduğu sonucuna varılabilmektedir.

Ölçü Alınan Yerler	Gel. Röl.	Fotogr.	Lazer Tarama	Gel. Röl.- Fotog.	Fotog.- Lazer Tar.	Gel.Röl.- Lazer Tar.	Letellier'e göre referans aralığı	CIPA'ya göre referans aralığı
a	161,4	161,4	161,3	0	0,1	0,1	± 0,2 - 0,5 uygun	± 0,5 - 1 uygun
b	53,5	53,0	53,0	0,5	0	0,5	± 0,2 - 0,5 Uygun	± 0,5 - 1 uygun
c	151,5	151,6	151,3	0,1	0,3	0,2	± 0,2 - 0,5 uygun	± 0,5 - 1 uygun
d	70,8	70,8	70,8	0	0	0	± 0,2 - 0,5 uygun	± 0,5 - 1 uygun
e	279,7	279,8	279,6	0,1	0,2	0,1	± 0,2 - 0,5 uygun	± 0,5 - 1 uygun
f	29,5	29,5	29,4	0	0,1	0,1	± 0,2 - 0,5 uygun	± 0,5 - 1 uygun
g	15,4	15,5	15,4	0,1	0,1	0	± 0,2 - 0,5 uygun	± 0,5 - 1 uygun
h	121,8	121,8	121,7	0	0,1	0,1	± 0,2 - 0,5 uygun	± 0,5 - 1 uygun
ı	86,3	86,3	86,5	0	0,2	0,2	± 0,2 - 0,5 uygun	± 0,5 - 1 uygun
i	87,5	87,8	87,8	0,3	0	0,3	± 0,2 - 0,5 uygun	± 0,5 - 1 uygun
j	1105	1105,1	1105,8	0,1	0,7	0,8	± 1 - 2,5 uygun	± 1 - 2 uygun
k	2564,3	2564,4	2566,2	0,1	1,8	1,9	± 1 - 2,5 uygun	± 1 - 2 uygun
*Ölçüler cm cinsinden verilmiştir.								

Şekil 11. Geleneksel rölöve tekniği, fotogrametri tekniği ve yersel lazer tarama tekniklerinin ölçüm doğruluğu açısından karşılaştırılması (Pehlivan vd., 2022).

	Geleneksel rölöve tekniği ile belgeleme	Fotogrametri ile belgeleme	Lazer tarama ile belgeleme
Alan çalışmasının süresi	38 saat	1/3 saat	8 saat
Büro çalışmasının süresi	26 saat	5 saat	12 saat
Alan çalışmasında gerekli minimum personel sayısı	3	1	1
Alan çalışmasında gerekli minimum teknik personel sayısı	3 (Geleneksel rölöve tekniğini bilen en az bir kişi)	0 (Sadece ekipman kullanmayı bilen bir kişi yeterli)	0 (Sadece ekipman kullanmayı bilen bir kişi yeterli)
Büro çalışmasında gerekli minimum teknik personel sayısı	1 (Geleneksel rölöve tekniğini bilen en az 1 mimar)	1 (En az 1 mimar)	1 (En az 1 mimar)
Yatırım maliyeti (İlk maliyet)*	365 TL	21.334 TL	350.000TL
Yıllık işletme maliyeti (yazılım maliyeti, kalem kâğıt gibi sarf malzeme maliyeti vb.)	22 TL	1.485 TL	7.096 TL
*Bilgisayar ve çizim programı hepsi için gerekli olduğundan bu karşılaştırmaya dahil edilmemiştir. Çalışmada kullanılan ekipmanların ve yazılımların fiyatları toplanarak hesaplanmıştır.			

Şekil 12. Farklı belgeleme tekniklerini zaman, personel ve maliyet açısından karşılaştırılması (Pehlivan vd., 2022).

	Geleneksel rölöve tekniği ile belgeleme	Fotogrametri ile belgeleme	Lazer tarama ile belgeleme
Güçlü Yönler	Kolay temin edilebilir, ucuz ekipman gerektirmesi.	Emek ve zamandan kazanç sağlaması, Yazılımın çıktısı olarak üç boyutlu model ve ortofoto vermesi.	Emek ve zamandan kazanç sağlaması, Yazılımın çıktısı olarak ortofoto vermesi.
Zayıf Yönler	Diğer tekniklerden daha fazla iş gücü gerektirmesi, Hem alanda hem de masa başı çalışmada diğer tekniklerden daha fazla zaman harcanması.	Yersel fotogrametri ile hava fotogrametrisi için çekilen fotoğrafların aynı programda, bir arada değerlendirilme güçlüğüne sahip olması, Arkeolojik alanların belgelenmesinde faydalı olmasına rağmen kapalı bir mekânın belgelenmesinde İHA kullanımı zorluğunun bulunması, Ekipman gerekliliğinin olması (İHA, fotogrametri için program,	Büyük yapılar için çok sayıda istasyon gerektirmesi, Yoğun bir nokta bulutu oluşturduğundan yeterli donanıma sahip bir bilgisayarla çalışma mecburiyetinin olması, Ekipman gerekliliğinin bulunması (yersel lazer tarayıcı, tarayıcı için program, çizim programı, bilgisayar), Parçalanması güç bütüncül veri elde edilmesi (Romero, 2021)
Fırsatlar	Öğrencilerin üç boyutlu gördüğü yapıyı iki boyuta aktarabilme yetisini geliştirmesine katkı sağlaması, Ayrıca mimarın yapının her detayını tanıyıp irdeleyebilmesine imkân tanınması.	Cihaz ve yazılımla belgeleme yapıldığından insan hatasından uzak olması (Booyesen vd., 2021, Ebert, 2015; Wasklewicz vd., 2013; Aber vd., 2010), Arazi şartları gereği yaklaşılamayan yapıların hava fotogrametrisi yöntemiyle belgelenme imkânı olması (Romero, 2021), Bilgisayar donanımı gerektirmeden server üzerinden çalışan programların varlığı,	Cihaz ve yazılımla belgeleme yapıldığından insan hatasından uzak olması (Boehler ve Marbs, 2004), Heykel gibi küçük eser belgeleme söz konusuysa avantajlı olması (Romero, 2021), Üç boyutlu model için hazır altlık sunması, İstenilen kottan plan çıkartma ve talep edilirse bu kotu sonradan değiştirebilme fırsatının bulunması.
Tehditler	İnsan hatasına açık olması (Romero, 2021).	Fotoğraflar yetersizse düzgün bir üç boyutlu model oluşmaması, Bazı durumlarda İHA'nın uçuşuna izin verilmemesi.	İstasyonlardan elde edilen görüntülerin çakıştırılma problemi ya da çok sayıda referans noktasının oluşturulması, Her bir istasyona cihazın taşınması ve cihazın ağır olması, arkeolojik alanlarda cihaz kurulumu için her zaman uygun bir alanın bulunamaması, Gün ışığının yoğun ve alıcı ile hedef yüzey arasındaki mesafenin fazla olması durumunda, düşük görüntü kalitesi elde edilmesi, Tarayıcının mimari elemanı herhangi bir sebeple görememesi durumunda tarayamaması (Romero, 2021).

Şekil 13. Farklı belgeleme tekniklerinin (SWOT) GZFT(Güçlü yönler, Zayıf yönler, Fırsatlar, Tehditler) analizine göre karşılaştırılması (Pehlivan vd., 2022).

6. Sektörde Yaygın Olarak Kullanılan Yersel lazer Tarayıcılar ve Bazı Teknik Özellikleri

Sektörde farklı markaların farklı teknik özelliklere sahip birçok modelde lazer tarayıcıları mevcuttur. Bu bölümde farklı markaların sabit lazer tarayıcılarının teknik özelliklerinden bahsedilecektir.

Lazer tarayıcıların elbette pek çok teknik özelliği bulunmaktadır fakat karşılaştırma için bir standart oluşturulması gerekiyordu ve bu standart karşılaştırmayı yapabilmek için şu teknik özellikler seçilmiştir; Batarya süresi, batarya adedi, uygun çalışma sıcaklığı, ağırlığı, uzunluk ölçüleri, uzunluk hassasiyeti, veri alma mesafesi, çözünürlük, ölçüm hızı, SD kart özelliği, ölçme prensibi ve görüş alanı.



Özellik	Değeri
Batarya Süresi	4.5 h
Batarya Adedi	2
Uygun Çalışma Sıcaklığı	5-40 C°
Ağırlığı	4.2 kg
Uzunluk Ölçüleri	240*200*100 mm
Uzaklık Hassasiyeti	±1 mm
Veri Alma Mesafesi	0.6-350 m
Çözünürlük	165 MP
Ölçüm Hızı	976.000 nokta/sn
SD Kart	32 GB
Ölçme Prensibi	Time of Flight
Görüş Alanı	360° yatay 300° düşey

Şekil 14. FARO Focus S 350



Özellik	Değeri
Batarya Süresi	40 kurulumdan fazla
Batarya Adedi	-
Uygun Çalışma Sıcaklığı	5-40 C°
Ağırlığı	1 kg
Uzunluk Ölçüleri	165mm yükseklik 100 mm çap
Uzaklık Hassasiyeti	±5 mm
Veri Alma Mesafesi	0.5-20m
Çözünürlük	15 MP
Ölçüm Hızı	360.000 nokta/sn
SD Kart	16 GB
Ölçme Prensibi	Time of Flight
Görüş Alanı	360° yatay 300° düşey

Şekil 15. LEİCA BLK360



Özellik	Değeri
Batarya Süresi	4 h
Batarya Adedi	2
Uygun Çalışma Sıcaklığı	0-40 C°
Ağırlığı	10.7 kg
Uzunluk Ölçüleri	335*386*242 mm
Uzaklık Hassasiyeti	±1 mm
Veri Alma Mesafesi	0.6-340m
Çözünürlük	10 MP
Ölçüm Hızı	1 Mn nokta/sn
SD Kart	USB 3.0 Flash
Ölçme Prensibi	Time of Flight
Görüş Alanı	360° yatay 317° düşey

Şekil 16. TRİMBLE - TX8



Özellik	Değeri
Batarya Süresi	6.5 h
Batarya Adedi	2
Uygun Çalışma Sıcaklığı	(-10)-45 C°
Ağırlığı	9.2 kg
Uzunluk Ölçüleri	310*276*212 mm
Uzaklık Hassasiyeti	±3 mm
Veri Alma Mesafesi	0.4-79m
Çözünürlük	20 MP
Ölçüm Hızı	508.000 nokta/sn
SD Kart	64 GB
Ölçme Prensibi	Faz Farka
Görüş Alanı	360° yatay 310° düşey

Şekil 17. Z+F IMAGER 5006i



Özellik	Değeri
Batarya Süresi	13 h
Batarya Adedi	2
Uygun Çalışma Sıcaklığı	(-20)-50 C°
Ağırlığı	12.25 kg
Uzunluk Ölçüleri	238*358*395 mm
Uzaklık Hassasiyeti	±5 mm
Veri Alma Mesafesi	0.4 m-1 km+
Çözünürlük	700 MP
Ölçüm Hızı	1 Mn nokta/sn
SD Kart	256 GB
Ölçme Prensibi	Time of Flight
Görüş Alanı	360° yatay 290° düşey

Şekil 18. LEİCA P50



Özellik	Değeri
Batarya Süresi	4.5 h
Batarya Adedi	2
Uygun Çalışma Sıcaklığı	5-40 C°
Ağırlığı	5.2 kg
Uzunluk Ölçüleri	240*200*100 mm
Uzaklık Hassasiyeti	±2 mm
Veri Alma Mesafesi	0.6 -130 m
Çözünürlük	70 MP
Ölçüm Hızı	1.22 Mn nokta/sn
SD Kart	32 GB
Ölçme Prensibi	Time of Flight
Görüş Alanı	360° yatay 300° düşey

Şekil 19. FARO X130



Özellik	Değeri
Batarya Süresi	8 h
Batarya Adedi	2
Uygun Çalışma Sıcaklığı	(-5)-40 C°
Ağırlığı	5.35 kg
Uzunluk Ölçüleri	120*240*230 mm
Uzaklık Hassasiyeti	±1 mm
Veri Alma Mesafesi	0.5 -130 m
Çözünürlük	432 MP
Ölçüm Hızı	2 Mn nokta/sn
SD Kart	32 GB
Ölçme Prensibi	Time of Flight
Görüş Alanı	360° yatay 300° düşey

Şekil 20. LEİCA RTC360

7. SONUÇLAR

Geleneksel yöntemler kültürel mirasın belgelenmesinde yavaş, maliyetli, hassasiyeti düşük ve sınırlı sayıda veri kümesi oluşmasına sebebiyet verdiğinden dolayı yavaş yavaş terkedilmeye başlanmıştır ve yerini ileri teknoloji belgeleme tekniklerine bırakmak zorunda kalmıştır. Bu ileri teknoloji belgeleme tekniklerinden biri olan lazer tarama ile ölçüm tekniği son yıllarda gelişmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Lazer tarama ile kültürel miras belgeleme tekniğinde bir adet lazer tarayıcı, gerekli yazılıma sahip bir adet bilgisayar ve yeterli bilgi birikime sahip bir adet personel belgeleme için yeterlidir. Tarama işleminde kullanılan tarayıcıdan çıkan lazer ışını uzunluk ölçümü ve görüntüleme için kullanılmaktadır.

Geleneksel yöntemlerde objenin cephe ve detay ölçümleri yapılabilmektedir. Çok büyük objelerin veya yapıların plan ölçümlerinin yapılması zordur.

Totalstation ile büyük ya da küçük yapıların cephe, plan ve detay ölçümleri kolaylıkla yapılabilir fakat zaman tasarrufu ve doğruluk açısından yetersiz kalmaktadır.

GNSS ile ölçümde ise kapalı alanlarda çalışılmayıp sadece açık sahalarda ve açık alanlarda çalışılabilmektedir.

Günümüzde hızlı ve minimum eksikle 3B modellere ve görsel bilgilere en az maliyetle sahip olmak çok önemlidir. 3B bilginin farklı amaçlarda kullanılması için çok büyük miktarlarda verinin hızlı bir şekilde toplanması gerekir ve böyle durumlarda sayısal fotogrametrik ve geleneksel jeodezik yöntemler yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden hızlı bir şekilde nesne geometrisinin yüksek doğruluk ile 3B ölçümünü yapabilen yersel lazer tarama teknolojisi kullanılabilir. Özellikle kültürel miras belgeleme ve inşaat alanında yaygınlaşan bu sistemin zaman, maliyet ve iş gücü yükünün hafiflemesi gibi önemli avantajlar da sağlamaktadır.

Geleneksel yöntemler ile belki de saatler içerisinde elde edilemeyecek veriler yersel lazer tarayıcılar ile saniyeler içinde elde edilebilmektedir. Lazer tarayıcıların doğruluk araştırması için yapılan çalışmalarda doğruluğun, tarama mesafesi ile ters orantılı; tarama yoğunluğu ile doğru orantılı olduğu gözlenmiştir. Bu durumda yersel lazer tarayıcıların nesneye daha yakın

mesafede ve daha yoğun tarama ile daha iyi sonuçlar vereceği çıkarımı yapılabilmektedir.

Yukarıda bahsedilen çevresel faktörler ve nesne yüzeyinin özelliklerinden dolayı veri kalitesi etkilenmektedir. Düz ve pürüzsüz nesne yüzeyinden elde edilen 3B nokta bulutu düzensiz ve bozuk olduğu; siyah veya koyu renkli yüzeylerin lazer ışınını ya az yansıttığı ya da yansıtmadığı için 3B nokta bulutunun bazı bölgelerinde az veya hiç nokta verisi olmadığından tespit edilmiştir.

Tarama sonucu elde edilen nokta bulutları değerlendirmeye alınırken, nesne yüzeyinin fiziksel (doku, renk, yansıtıcılık) özelliklerine göre farklılık gösterebileceği ve nesnesi birebir yansıtmayabileceği dikkate alınmalıdır.

Yersel lazer tarama tekniğinin uygulanması için gerekli olan lazer tarayıcı ve yüksek kapasiteli bilgisayar donanımı oldukça pahalıdır. Düşünüldüğünde kuruluş maliyeti açısından pahalı gibi görünse de zaman içerisinde verdiği doğruluk, kullanım kolaylığı, iş gücünü hafifletmesi ve kazandırdığı zamandan dolayı kuruluş masrafları misliyle karşılanabilmektedir.

Yazarların Katkısı

Çalışma tek yazarlıdır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Ağca, M., Efdal, K., Murat, H. M. & Adıgüzel, F. (2016). Yersel Lazer Tarayıcı ve İha Sistemlerinden Elde Edilen Verilerin 3B Modellemedeki Hassasiyetlerinin Karşılaştırılması: Somuncu Baba Külliyesi Örneği, Aksaray. 6. *Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (UZAL-CBS 2016)*, 146-151.
- Alptekin, A., Fidan, Ş., Karabacak, A., Çelik, M. Ö. & Yakar, M. (2019). Üçayak Örenyeri'nin yersel lazer tarayıcı kullanılarak modellenmesi. *Turkey Lidar Journal*, 1(1), 16-20.
- Çelik, M. Ö., Hamal, S. N. G. & Yakar, İ. (2020). Yersel lazer tarama (YLT) yönteminin kültürel mirasın dokümantasyonunda kullanımı: Alman Çeşmesi örneği. *Turkey Lidar Journal*, 2(1), 15-22.
- Çömert, R., Avdan, U., Muammer, T. Ü. N. & ERSOY, M. (2012). Mimari belgelemede yersel lazer tarama yönteminin uygulanması (Seyitgazi Askerlik Şubesi Örneği). *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(1), 1-18.
- Ernst, F., Şenol, H. İ., Akdağ, S. & Barutcuoglu, Ö. (2021). Virtual Reality for City Planning. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 6(3), 150-160.
- Gümüş, K., & Erkaya, H. (2007). Mühendislik Uygulamalarında Kullanılan Yersel Lazer Tarayıcı Sistemler. *YTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Bölümü, Ölçme Tekniği Anabilim Dalı, İstanbul*.

- Hepyörük, G. (2015). Tarihi ve kültürel varlıkların belgelendirilmesi ve üç boyutlu modelinin oluşturulmasında yersel lazer tarayıcıların kullanım olanaklarının araştırılması ve Karacabey Türbesi (Ankara) örneği (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Karşıdağ, G. & Alkan, R. M. (2011). Yersel lazer tarama ölçmelerinde doğruluk analizi. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(2), 1-10.
- Kaya, Y., Polat, N., Şenol, H. İ., Memduhoğlu, A. & Ulukavak, M. (2021b). Arkeolojik kalıntıların belgelenmesinde yersel ve İHA fotogrametrisinin birlikte kullanımı. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(1), 9-14.
- Kaya, Y., Şenol, H. İ. & Polat, N. (2021a). Three-dimensional modeling and drawings of stone column motifs in Harran Ruins. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 48-52.
- Memduhoglu, A., Şenol, H. İ., Akdağ, S. & Ulukavak, M. (2020). 3D Map Experience for Youth with Virtual/Augmented Reality Applications. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 5(3), 175-182.
- Negiz, N. (2017). Kentlerin tarihsel sürdürülebilirliğinde kültürel miras: önemi ve değeri üzerine düşünmek. *Akademia Doğa ve İnsan Bilimleri Dergisi*, 3(1), 159-172.
- Ossowski, R. & Tysiąc, P. (2018). A new approach of coastal cliff monitoring using mobile laser scanning. *Polish Maritime Research*. Ölçme prensipleri ve nokta bulutlarının birleştirilmesi. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, (98), 20-27.
- Pakben, U. (2013). Tarihi yapıların rölöve ve analizlerinde kullanılan ileri belgeleme teknikleri (Doctoral dissertation, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Pehlivan, G. F., Baldıran, A. & Pehlivan, E. (2022). Kültürel mirasın belgelenmesinde farklı tekniklerin karşılaştırılması: İasos Bouleuterionu örneği. *GRID-Architecture Planning and Design Journal*, 5(1), 53-71.
- Polat, N., Önal, M., Ernst, F. B., Şenol, H. İ., Memduhoglu, A., Mutlu, S., ... & Kara, H. (2020). Harran Ören Yeri Arkeolojik Kazı Alanınının Çıkarılan Bazı Küçük Arkeolojik Buluntuların Fotogrametrik Olarak 3B Modellenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 55-59.
- Sarı, B., Hamal, S. N. G. & Ulvi, A. (2020). Documentation of complex structure using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry method and Terrestrial Laser Scanner (TLS). *Turkey Lidar Journal*, 2(2), 48-54.
- Şenol, H. İ., Memduhoglu, A. & Ulukavak, M. (2020). Multi instrumental documentation and 3D modelling of an archaeological site: a case study in Kizilkoyun Necropolis Area. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(3), 1241-1250.
- Şenol, H. İ., Polat, N., Kaya, Y., Memduhoğlu, A. & Ulukavak, M. (2021). Digital documentation of ancient stone carving in Şuayip City. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(1), 10-14.
- Ulvi, A. & Yakar, M. (2014). Yersel Lazer Tarama Tekniği Kullanarak Kızkalesi'nin Nokta Bulutunun Elde Edilmesi ve Lazer Tarama Noktalarının Hassasiyet

- Araştırması. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(1), 25-36.
- Ulvi, A. & Yiğit, A. Y. (2019). Kültürel Mirasın Dijital Dokümantasyonu: Taşkent Sultan Çeşmesinin Fotogrametrik Teknikler Kullanarak 3B Modelinin Yapılması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1(1), 1-6.
- Ulvi, A. (2015). Metrik olmayan dijital kameraların hava fotogrametrisinde yakın resim çalışmalarda (yere yakın yüksekliklerde) kullanılabilirliği üzerine bir çalışma. Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 188s.
- Ulvi, A., Varol, F. & Yiğit, A. Y. (2019). 3D modeling of cultural heritage: the example of Muiy Mubarek Mosque in Uzbekistan (Hz. Osman's Mushafi). *International Congress on Cultural Heritage and Tourism (ICCHT)*, Bishkek, Kyrgyzstan, 115-123.
- Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. Y. & Kaya, Y. (2019). The Use of Photogrammetric Techniques in Documenting Cultural Heritage. The Example of Aksaray Selime Sultan Tomb. *Universal Journal of Engineering Science*, 7(3), 64-73.
- Yakar, M. (2018). GIS and Three Dimensional Modeling for Cultural Heritages. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3, 50-56.
- Yakar, M., Karabacak, A. & Fidan, Ş. (2019). Arazi Ölçmeleri 1. Atlas Akademi, 1, ISBN: 9786057839398, 188s.
- Yaman, A. & Kurt, M. (2019). Tarihi ve kültürel mirasların belgelenmesi ve üç boyutlu modellenmesi için Geoslam yersel lazer tarayıcının kullanım olanaklarının araştırılması: Aksaray İli Ulucami Örneği. *Turkey Lidar Journal*, 1(1), 5-9.
- Yiğit, A. Y. & Uysal, (2021) M. Tarihi Eserlerin 3B Modellenmesi ve Artırılmış Gerçeklik ile Görselleştirilmesi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8(2), 1032-1043.
- Zeybek, M. & Vatandaşlar, C. (2021). El-tipi LiDAR Verisiyle Ağaç Gövdelerinin Tespiti ve Sınıflandırılmasında Yapay Zeka Teknikleri. *PROCEEDINGS BOOK*, 469.

İnternet Kaynakları

- Emigrup (2022). Erişim adresi: <https://www.emigrup.com/hava-lidar/>
Erişim tarihi: 13.06.2022
- Kültür varlıkları (2022). Erişim adresi: <http://www.kulturvarliklari.gov.tr/belge/1-74301/dunya-kulturel-ve-dogal-mirasin-korunmasi-sozlesmesi.html>
Erişim tarihi: 13.06.2022
- Kültür varlıkları (2022). Erişim adresi: <https://kvmmg.ktb.gov.tr/TR-44798/turkiye-geneli-korunmasi-gerekli-tasinmaz-kultur-varligi.html>
Erişim tarihi: 13.06.2022
- Açık ders (2022). Erişim adresi: https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/119281/mod_resource/content/0/7_Uzunluk_Olcmeleri.pdf
Erişim tarihi: 14.06.2022
- Photomodeler (2022). Erişim adresi: <https://www.photomodeler.com/top-photomodeler-videos-for-learning/>
Erişim tarihi: 14.06.2022
- Restorasyon forum (2022). Erişim adresi: <https://www.restorasyonforum.com/rolove-restitusyon-restorasyon-projeleri/rolove-projesi/>
Erişim tarihi: 14.06.2022
- Bimportale (2022). Erişim adresi: <https://www.bimportale.com/laser-scanner-3d-topcon-le-nuvole-punti/>
Erişim tarihi: 14.06.2022
- 9lib (2022). Erişim adresi: <https://9lib.net/document/lq5rjmjz-yersel-lazer-tarayici-bulutlarnin-jeodezik-koordinat-sistemine-doenuestueruelmesi.html>
Erişim tarihi: 14.06.2022



© Author(s) 2021.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>