

DOI: [10.38027/ICCAUA2021TR0060N21](https://doi.org/10.38027/ICCAUA2021TR0060N21)

Evaluations on The Use Of 3d Terrestrial Laser Scanning Technology in Architectural Conservation Projects

* Dr. Saadet Armağan Güleç Korumaz¹, MArch.S. Büşra Kubiloğlu²
Konya Technical University, Faculty of Architecture and Desing, Konya, Turkey¹
Konya Technical University, Faculty of Architecture and Desing, Master's Student Konya, Turkey²
E-mail¹: sagkorumaz@ktun.edu.tr, E-mail²: kubilbusra@gmail.com

Abstract

3D Laser Scanning technologies have proven to be significant way to architectural documentation studies. Due to these facilities, the use of technology in architectural documentation have become widespread day by day. Thanks to these technologies it is possible to get high accuracy and intense data in a short time compared to conventional methods. Therefore, this technology has increased the content and quality of conservation practices. The technology is mainly aimed at obtaining a three-dimensional model or two-dimensional layouts from a dense and detailed point cloud. Terrestrial Laser Scanning (TLS) does not only support simple CAD-based conservation projects, but also allows obtaining high-resolution plane pictures, art tours, three-dimensional mesh models, and two-dimensional maps. Besides these possibilities, high accuracy data on the morphological properties of the documented object can be obtained as a result of the analyses including point cloud. On the other hand, the technology gives possibility data to be shared in different environments and filtered data can be used online. Thus, different disciplines are able to easily access information. These features of technology add a different dimension to the studies in the field of cultural heritage and contribute to the digitalization of the heritage. In the scope of this study, evaluations are made regarding the innovations and usage possibilities brought by TLS technology to architectural documentation field based on the cultural heritage samples. In addition, within the scope of the study, trials were made on field studies for parameters that will affect data quality, accuracy and speed. In addition, within the scope of the study, some tests were made on field studies for parameters affecting data quality, accuracy and speed. With the obtained results, evaluations have been made to increase the usage potential of the technology today.

Keywords: Architectural Documentation; 3D Model; TLS; Architectural Conservation.

3D Yersel Lazer Tarama Teknolojisinin Güncel Mimari Koruma Proje Uygulamalarında Kullanım Olanaklarına Yönelik Değerlendirmeler

Özet

Mimari belgeleme çalışmalarına 3b lazer tarama teknolojileri önemli oranda kolaylıklar getirmiştir. Bu kolaylıklar mimari belgelemede devrim niteliğindedir ve kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Klasik yöntemlere göre kısa süre içerisinde yüksek doğrulukta, yoğun veri toplama özelliğine sahip lazer tarama teknolojileri koruma uygulamalarının içeriğini ve kalitesini artırmıştır. Bu teknoloji yoğun ve detaylı nokta bulutundan üç boyutlu model veya iki boyutlu paftalar elde etmeye yöneliktir. Bu teknoloji sadece basit CAD tabanlı üretilen koruma projelerine destek özelliğinin yanı sıra, yüksek çözünürlüklü düzlem resimler, sanat turlar, üç boyutlu örgü modeller, iki boyutlu haritalar elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Bunun yanında nokta bulutunun dahil edildiği analizler sonucunda belgelenen objenin morfolojik özelliklerine yönelik yüksek doğrulukta veriler elde edilebilmektedir. Teknoloji sayesinde veriler farklı ortamlarda paylaşılabilen, filtrelenmiş veriler çevirim içi kullanılabilen böylelikle bilgiye farklı disiplinler kolaylıkla ulaşabilmektedir. Teknolojinin bu özellikleri kültürel miras alanında yapılan çalışmalara farklı bir boyut kazandırmakta ve mirasın dijitalleşmesine katkı sağlamaktadır. Çalışma kapsamında 3b belgeleme gerçekleştirilen kültürel miras örnekleri üzerinden Yersel Lazer Tarama (YLT) çalışmasının mimari belgeleme alanına getirdiği yenilikler ve kullanım olanaklarına yönelik değerlendirmeler yapılmıştır. Ayrıca çalışma kapsamında veri kalitesini, doğruluğunu ve hızını etkileyecek parametrelere yönelik alan çalışmaları özelinde denemeler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile teknolojinin günümüzde kullanım potansiyelini artırmaya yönelik değerlendirmeler yaparak sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mimari belgeleme; 3D lazer tarama; mimari koruma.

1. Giriş

Etrafımızdaki yapılaşmış çevreyi oluşturan tarih öncesi ve tarih dönemlerine ait yapı ya da yapı grupları, kendi dönemlerinin kültür ortamlarının mesajlarını bugüne taşıyan ve bizlere aktaran kültürel miras ürünleridir. Bu ürünlerin gelecek nesillere aktarılması için sadece korumak yetersiz bir eylem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu ürünlerin aynı zamanda nitelikli onarımları, belgelemeleri ve günümüzün dijital ortamında paylaşılması da gerekmektedir.

Günümüze kadar gelen kültürel miras ürünleri taşıdıkları tüm değerler nedeniyle birer belge niteliğindedirler. Sadece güzel ya da eski olmalarının yanı sıra bilgi verdiği döneme dair mesajları kayıt altına almak ve belgelemek, mirasın gelecek nesillere aktarılmasında vazgeçilmez derecede önem taşımaktadır. Belgeleme, uzun ve bütüncül bir süreçtir ve araştırma, inceleme, gözlem, detaylandırma, tanımlama, kavramsal bilgiler ile verileri elde etme, işleme ve paylaşma aşamalarından oluşan bir aktiviteler bütünüdür. Bu aktivitelerin tümü belgelemenin bileşenlerini oluşturmaktadır. Başarılı bir belgeleme çalışması için detaylı bir araştırma ve iyi hazırlanmış bir teorik alt yapının yanı sıra seçilecek metod da oldukça önemlidir. Yapı büyüklüğüne ve karmaşıklığına göre gerekirse farklı metotlar bütünlük bir olarak süreç içerisinde kullanılabilir. Bu noktada istenilen doğruluk ve hassasiyet, belgelemenin amacı ve sonuç ürünün türü seçilecek metodu belirleyen parametreler arasındadır [14].

Hızla gelişen ve değişen teknoloji, kültürel miras belgeleme alanını da etkilemiş ve bu alanda yeni yöntemlerin kullanılmasına neden olmuştur. Bu yöntemlerle röleve projelerinin temel süreçleri olan fotoğraf çekmek, ölçü almak, 2B çizimler ve 3B modeller üretmek daha hızlı ve kolay hale gelmiştir. Teknoloji alanındaki gelişmeler yapılar da daha detaylı bilgi elde etmek, daha hızlı 2B ve 3B veriler elde etmek, bu verileri işlemek ve paylaşmak alanlarında büyük kolaylıklar sağlasa da halen çözülmesi gerekli problemler de yer almaktadır. Belgelemede kullanılan teknikler English Heritage tarafından doğrudan ve dolaylı olarak, uygulama alanları, istenen sonuç ürün ve obje büyüklüğüne göre sınıflandırılmıştır (Tablo1) [15]. Bu teknikler arasında tabloda görüldüğü gibi Yersel Lazer Tarama(YLT) yöntemi, 3B nokta bulutu ve yüzey modellerinin oluşturulmasında, 5-500 m³ obje büyüklüğü aralığında bina model ve çizimlerin üretilmesini sağlayan, nokta bulutu verilerin işlenmesiyle ve bu verilere uygun fotoğrafların çekilmesiyle sonuç ürün elde edilen bir yöntemdir. Kısa sürede düşük hata paylarında 3B ölçümler yapabildiği bu yöntemle 3B ve 2B verilerin yanı sıra Dijital Yüzey modelleri (DYM), animasyonlar, sanal ve panoramik turlar da oluşturulabilmektedir. Yersel lazer tarama yöntemiyle elde edilen 3B modellerin bir diğer önemli avantajı ise, üretilen gerçekçi modellerin mirasın daha kolay algılanmasına katkı sağlamasıdır. Gerçekçi modeller, nokta bulutu verinin yapıya ait fotoğraflarıyla birleştirilmesi sonucu oluşan, doku kaplanmış modellerdir.

Tablo 1. Ölçümleme Teknikleri ve etkili kullanım alanları (English Heritage, 2003)

TEKNİK	ÜRÜN GENEL UYGULAMA ALANLARI	OBJE	KULLANIMDAKI KISITLAMALAR	
DOLAYLI TEKNİKLER: VERİ ELDE ETMEDEKİ FARKLILIKLAR				
UZAKTAN ALGILAMA	3D Geniş Alanlar ve Peyzaj Belgeleme	Peyzaj gözlemeleme, su alan/hacim gözlemeleme, maden alanları gözlemeleme	1-1500 Km	Dalga boyuna bağlı olarak, birçok örnekte santimetrenin altında bir doğruluk elde edilememektedir.
HAVA LAZER TARAMA	3D Topografik Haritalar	Bitki Örtüsü Gözlemeleme ve Haritalama	1-500 Km ²	Metrenin altındaki çözünürlük maliyeti artırmaktadır.
HAVA FOTOGRAMETRİSİ	3D			Koordine edilmiş uçuş planlarının yapılması ve yersel kontrol noktalarının ayarlanması.
YERSEL LAZER TARAMA	3D Nokta Bulutu ve Yüzey Modelleri	Bina Model ve Çizimleri	5-500 m ³	Nokta bulutu yoğunluğu istenilen şekilde olması, bu veriye uygun fotoğrafların elde edilmesi..
YAKIN RESİM FOTOGRAMETRİSİ	3D Resim Haritaları, CAD Çizimleri, Afet Öncesi Belgeleme.	Bina Cephe Çizimleri ve Dik Resimler, Yüzey Modelleri, 3D Resimler	2-100 m ³	Kalibre edilmiş kameralar, optimize edilmiş resimler, objenin bulunduğu yerin kontrolü, yazılım ve operatör yeteneği.
DÜZENLENMİŞ FOTOĞRAFÇILIK	2D Durum Kayıtları	Düz yüzeylerin belgelenmesi	2-50 M ³	Sadece tek bir referans düzlem ölçeklenebilir.
KÜÇÜK OBJE TARAYICILARI	3D Nokta Bulutu, Yüzey Modelleri	Heykel, Kazı Buluntuları	1-5 M ³	Kontrol edilebilir çalışma ortamı gereklidir.
DOĞRUDAN TEKNİKLER: KAYITTA SEÇİLEN VERİLER				
GPS	3D Topografya verileri, Nokta Verisi	Bitki örtüsü ölçümü, daha önce ölçülen haritaların küresel koordinat sistemine dönüştürülmesi	1-20 Km ²	Açık hava gereklidir. Yüksek doğruluk sorun oluşturmaktadır.
TOTAL STATION	3D CAD ortamında çerçeve çizimler, Nokta verisi	Planlar, Kesitler, Yüksek doğrulukta topografik ağ ölçümü.	0.5-50 m ³	Veri organizasyonları kodlarla, katmanlarla, ve GIS protokolleri ile yönetilir. Eğitimli operatör gereklidir.
NİVELMAN	2D Nokta yüksekliklerinin gözlemlenmesine dayanır.	Kesin nokta yükseklikleri belirlenir	1-50 m	Belirlenen noktalar strüktür mühendisliği için periyodik ölçülerek hareket olup olmadığı kontrol edilir.
ÇİZİM	2D Anahtar çizimlerin yapılması, tanımlayıcı ifadeler.	Strüktür notları, mimari çizimler, kazı notları	0.25-5 m ³	Kesin doğru olmayan bilgiye dayalı seçilen verileri kapsar.

Belgeleme sürecinin kompleks oluşu ve hassasiyet gerektirmesi, genel anlamda belgelemede tek bir yöntemin kullanılmasını engellemektedir. Bu nedenle bütüncül bir dokümantasyon için çoğu zaman birden fazla yöntemin

kullanılması gerekmektedir. YLT yöntemi, ölçü alma, zaman kazanımı ve bütüncül bir veri elde etmede sağladığı avantajlar bakımından geleneksel yöntemlere göre tercih edilse de, detay alımı ve bazı teknik durumlara (güneş ışığı, yapı önünde ölçü alımını engelleyen bir şeylerin olması, malzemenin yansıtıcı özelliği gibi) göre geleneksel ölçüm yöntemlerinden de yararlandırdığı sıkça görülmüştür.

Yersel Lazer Tarama yönteminin sağladığı en büyük avantajlardan biri verilerin depolanması ve istenildiği zaman tekrar ulaşılabilir olmasıdır. Bu avantajlarından dolayı YLT yöntemi sadece mimarlık alanında değil diğer bir çok alanda farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Bu alanlar arasında yapı strüktürü izleme, jeoloji, orman envanteri, deformasyon analizleri, hasar tespitleri, yapı bilgi modelleri (BIM), yol, tünel, köprü inşaatları, alt yapı uygulamaları, enerji hatlarının tespiti yer almaktadır.

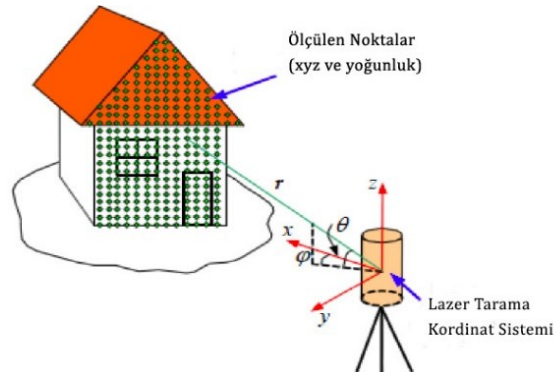
Yersel Lazer tarama verilerinin hızlı ve doğru elde edilmesi jeolojik ve coğrafi özellikler bakımından afet uygulamalarında da kullanılabilirliğini göstermektedir. Tehlikeli bölgelerin kontrolü otomatik gözlem yapan yersel lazer tarayıcılar ile sağlanmakta ve olası bir afet anı ve sonrasında durum değerlendirilmesi, karşılaştırılmasında kullanılmaktadır. Bu teknoloji aynı zamanda erişilemeyen yerleri ölçme olanağı sağlayarak kıyı planlamasında, heyelan bölgelerinde şev izlemesinde, sahil yüzeyi izlemesinde, erozyon sel tahminlerinde kullanılmaktadır. Fabrikasyon uygulamalar, otomotiv gemi sanayi gibi endüstriyel uygulamalarda lazer tarayıcıların fayda sağladığı bilim dalıdır. Nesnelere ait gerçeğe yakın 3B modeller oluşturularak ürün bilgilerine önceden ulaşılabilen ve imalatta oluşabilecek sorunlar ön görülmektedir [3]. Mimarlık alanında ise en çok kültürel mirasın belgelenmesinde, arkeolojik alanların belgelenmesinde, bina ölçümlerinde, 2D ve 3D modellerin üretilmesinde ve BIM uygulamalarında kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında yersel lazer tarama teknolojisinin mimari belgeleme alanında kullanımı değerlendirilmiştir.

2. Kültürel Miras Ve Yersel Lazer Tarama

2.1. Yersel Lazer Tarama Tekniği Prensipleri

Yersel Lazer Tarama, basit anlamda belirlenmiş belirli aralıklardaki noktaların birleşmesiyle oluşan nokta bulutu verilerin elde edilmesini sağlayan bir teknolojidir. Lazer tarama cihazından temelde iki parçaya bölünmüş kısa bir ışın yayılır. Bunlardan biri zaman ölçüm birimini başlatırken diğeri de nesneye gönderilir. Bu ışın taranan nesnenin yüzeyine ulaştığında lazer darbesi geri saçılmakta ve bir kısmı da detektöre geri dönmektedir. Böylelikle elde edilen ölçme alanına ait 3B nokta bilgileri, nokta dizileri şeklinde taranan yüzeyi kaplamaktadır. YLT ölçümlerinde dikkat edilmesi gereken temel noktalar, taranacak objenin büyüklüğü, seçilecek olan cihaz ve ölçülecek yüzey (nokta) arasındaki mesafedir [10]. Bu mesafe ölçümünde farklı metotlar (faz farkı, üçgenleme, ışığın gidiş/dönüş zamanı ölçümü) kullanılmaktadır. Elde edilen nokta verileri, veri aktarma yazılımında görüntü eşleme tekniği ile her bir fotoğraf karesine düşen taramaları bir sonraki tarama ile birleştirerek o noktadan yapılan taramaların bütünü oluşturulmaktadır [10]. Pek çok marka ve modelde olan YLT cihazları farklı teknik özelliklere sahip olsalar da temel anlamda yukarıda bahsedilen yöntemle veri elde etmektedirler. Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, elde edilen nokta bulutu verilerin, ortak bir koordinat sisteminde birleştirilmeleri gerektiğidir.



Şekil 1. Lazer Tarama Ölçüm Tekniği (16).

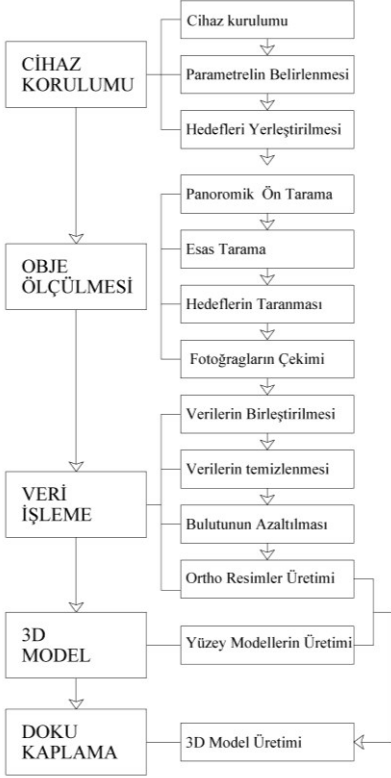
Kültürel miras kapsamında korunması gereken eserler, tekil yapılar, büyük ölçekli karmaşık yapılar veya bir bölgede bulunan yapılar topluluğu olabilmektedir. Özellikle büyük ölçekli karmaşık yapılar ve yapılar topluluğunun klasik yöntemlerle ölçümü zaman bakımından uzun, veri bütünlüğü sağlanması bakımından da oldukça zor ve zahmetlidir. Cami, hamam, külliye, mağara gibi büyük ölçekli yapıların belgelenmesinde, kentsel ölçekte sokak silüeti elde edilmesinde, sokak sağlıklılaştırma projeleri gibi projelerde zaman tasarrufu, bütüncül ve hassas veri olanakları sağladığı için YLT yöntemi tercih edilmektedir [1].

YLT ile taranacak yapı veya yüzeylerin ölçümleri lazer tarama cihazının farklı tarama istasyonlarından elde edilen verilerin birleştirilmesi ile tamamlanır. Lazer tarama teknolojisi ile gerekli durumlarda geleneksel yöntemler birlikte

kullanılır. Alanda yapılan kroki çalışmaları farklı noktalardan yapılan tarama verilerinin birleştirilmesinde yardımcı olur. Her bir taramadan elde edilen nokta bulutları tarayıcının kendi koordinat sistemine bağlı olmaktadır. Bu şekilde elde edilen veriler çalışılan bölgenin jeodezik koordinat sistemine aktarılır ve tüm nokta bulutları için ortak referans sistemi oluşturulmuş olur [2].

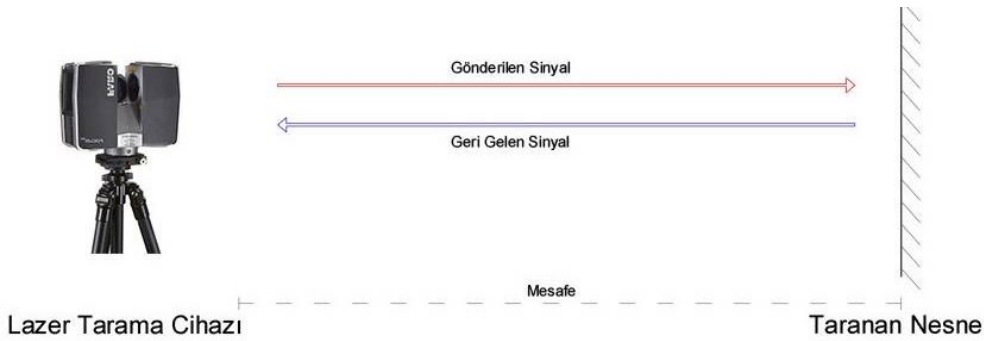
YLT ile 3B model elde edilme süreci Şekli 2’de verilmiştir. Buna göre cihaz kurulumu, veri elde edilmesi, veri işlenmesi, 3B model oluşturulması ve modelin doku kaplanması aşamalarından oluşmaktadır.

Tablo 2. YLT verisinden 3B model elde edilme süreci [16]



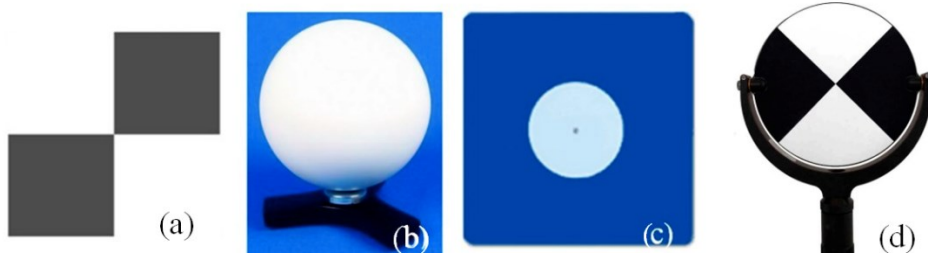
2.2. Veri Toplama

Arazide veri elde edilmesine öncelikle lazer tarayıcının kurulumundan başlanır. Bu noktada tarayıcının hizalanması ve ortalanması oldukça önemlidir. Cihaz kurulumunda, cihazın tam terazisinde olmasına dikkat edilmeli ardından, daha önceden karar verilen proje parametreleri doğru bir biçimde seçilmelidir. Bu noktada istenilen sonuç ürün, doğruluk ve sonuç ürün ölçeğine uygun tarama parametreleri işlem sırasında uygulanmalıdır (Şekil 3).



Şekil 2. YLT teknolojisi ve obje ile olan mesafe seçimi [13]

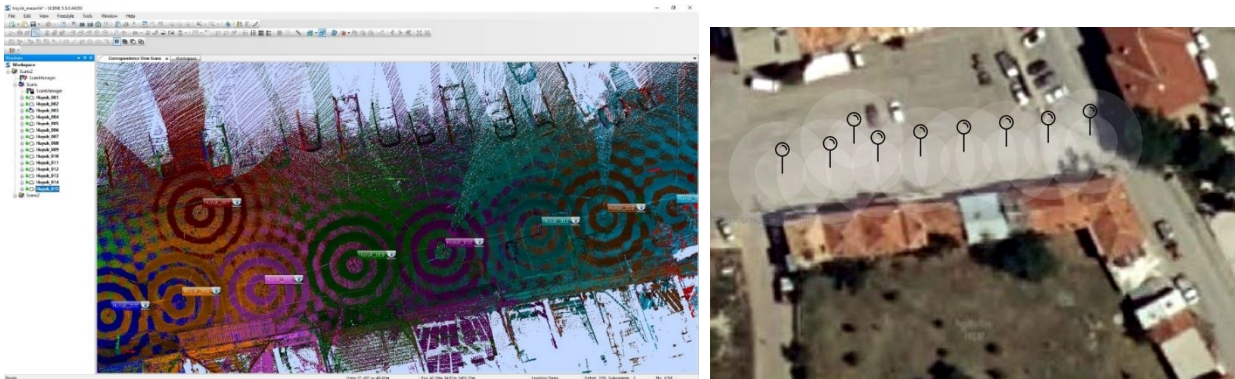
Ardından ölçüm yapılacak cihaz üzerinde belirli yerlere hedef noktaları yerleştirilmelidir. Ardışık istasyonlardan elde edilen verilerin birleştirilmesinde en az 3 adet hedefin (teknik ekip tarafından yerleştirilen düzlem veya küresel referans noktaları) ölçülecek yüzey üzerine yerleştirilmesine dikkat edilmelidir (Şekil 4). Bu hedef noktaları farklı istasyonlardan elde edilen verilerin birleştirilmesinde referans olarak kullanılacaklarından, bu hedef noktalarının dağılımı, büyüklüğü ve sayısı oldukça önemlidir. Hedef noktalarının obje üzerinde yayılması sonuç ürün doğruluğunu etkileyen faktörler arasındadır [24].



Şekil 3. Hedef noktaları türleri – (a) dama tahtası, (b) küre (c) HDS hedef noktaları

Kürelerin hedef noktası olarak kullanılmasındaki avantaj, her açıdan görülebilmeleridir. Kürenin kütle merkezi yüzeyini temsil eden bir nokta bulutu merkezinde yer alır (b). Dama tahtası hedef noktaları en yaygın olarak kullanılanlardır (a). Genellikle çıktı şeklinde olan, kare, siyah ve beyaz renklerden oluşan hedef noktalarıdır. Aynı koşullardaki noktada, hedefin merkezinin bulunma doğruluğu kürelere göre daha fazladır. Diğer taraftan dama hedef noktaları küreler gibi hareketli değildir ve tarama sırasında istasyonun yeri daha çok önem arz etmektedir. Fakat oldukça ucuz olduklarından diğerlerine göre en yaygın kullanılan hedef noktalarıdır. HDS (High Definition System) hedef noktaları ise (c-d) özel malzemelerden üretilirler. Bu malzemeler de farklı yansıma katsayılarına sahiptirler [25].

Ayrıca ardışık istasyonlarda taranan alanların yaklaşık %30'unun ortak olması verilerin doğru şekilde birleştirilmesini sağlamaktadır (Şekil 4). Bu kararlar tarama istasyonlarının bir sonraki yerinin öncelikli olarak belirlenmesi ile alınabilir. Tarayıcı kurulduktan sonra obje ile tarayıcı arasındaki mesafeye göre mesafe ayarları, nokta bulutunun çözünürlük ayarları, taranacak alanın seçilmesi ve tercihe bağlı olarak renkli veya siyah-beyaz tarama ayarı tanımlanır. Renkli seçilmiş ise tarayıcı tarama işlemi bittikten sonra cihaz 3D küp resim oluşturacak şekilde fotoğraf çekimine başlar. (Şekil 5-7). Fotoğraf makinası dahili ve bütünleşik ise bu işlemler tarama aşaması ile birlikte yapılarak veri toplanabilir. Eğer dışarıdan harici bir fotoğraf kamerası ile yapılırsa küp 3D resim oluşturulması, nokta işleme yazılımına getirilmesi ve nokta bulutunun renklendirilmesi ek bir çalışma gerektirmektedir. Taranan istasyon merkezlerinden alınan bu fotoğraflar aynı zamanda gerçek dokulu modellerin oluşturulmasında ve sanal turların yapılmasında büyük kolaylık sağlamaktadır.



Şekil 4. Konya ili Hüyük ilçesi sokak taraması tarama yerleri ve bindirme oranları

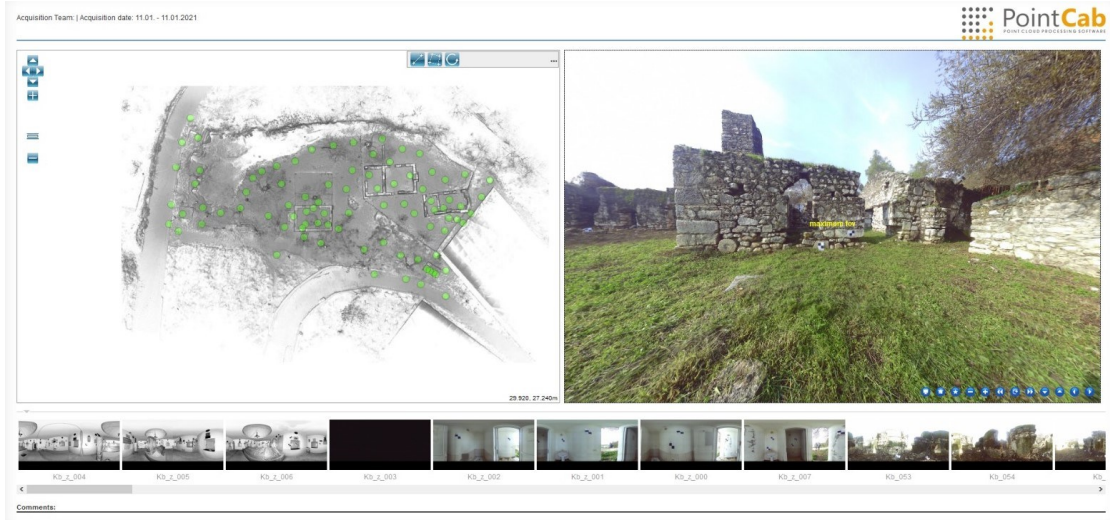


Şekil 5. Konya ili Hüyük ilçesi sokak 3D küp resim panoramıc fotoğraf

Bu teknikle veri toplama tarihi yapıya dokunmadan, zarar vermeden, uzaktan ve birçok durumda ilave iskele gerektirmeden sağlanmaktadır. Bu uygulama aynı zamanda tarihi yapı açısından da güvenli bir uygulamadır. YLT ile belgeleme esnasında taranan yüzeye temas olmadığı için tarihi dokuya da zarar verilmemiş olur [6]. Bunun için de taranan nesne ile lazer tarama cihazı arasında belli bir uzaklık olması gerekmektedir [12]. Bu durumda esere doğrudan temas gerekmediği için iş sağlığı ve güvenliği hususunda doğabilecek riskler de ortadan kaldırılmış olur [13].



Şekil 6. Antalya Finike Kafi Baba Aşevi Arazi Çalışması Tarama Fotoğrafları.



Şekil 7. Antalya Finike Kafi Baba Aşevi 3D küp resim panoramici fotoğrafı.

Örnek bir çalışma olarak Antalya ili Finike ilçesinde bulunan Kafi Baba Aşevi verilebilir. Yapının birçok bölümü bölümünü zaman içerisinde çevresel faktörler ve bakımsızlık sebebiyle kaybedilmiş ve yapı harap duruma gelmiştir. Arazi çalışması sırasında yapı, durumu sebebiyle güvenli olmamakla birlikte, olası fazla temasla, yapıda daha da fazla hasara sebep olunabileceğinden yersel lazer tarama ile yapıya dokunulmadan belgelenmesi sağlanmıştır.

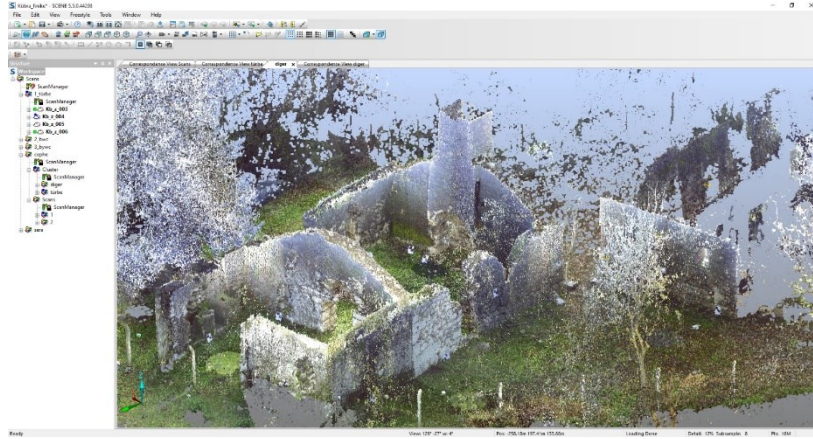
2.3. Veri işleme

Veri işleme aşaması temelde verilerin birleştirilmesi, kullanılmayacak nokta bulutu verileri (noisy)nin temizlenmesi, nokta bulutunun yalınlaştırılması ve görüntü işleme aşamalarından oluşmaktadır.

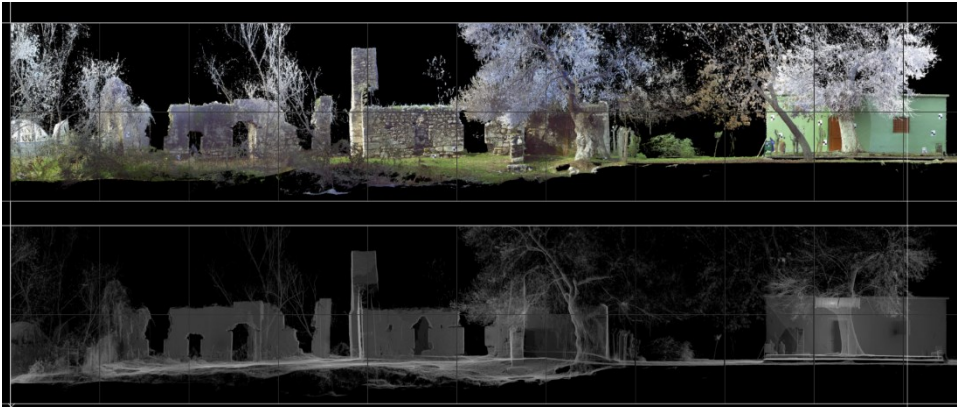
Yersel lazer tarama ile yapılar, tarihi binalar ya da yapı alanlarının tümüyle görüntülenebilmesi için farklı istasyonlardan çok sayıda tarama yapılmaktadır. Her bir tarama istasyonundan elde edilen nokta bulutlarını seçilen referans koordinat sisteminde bir araya getirmek, birleştirmek gerekmektedir (registration). Bu noktada genel olarak ilk taramanın koordinat sistemi referans alınmaktadır. Bu birleştirme işlemi doğrudan jeodezik koordinat sisteminde olabildiği gibi nokta bulutu içerisinde yeterli noktalar tanımlanarak da yapılabilmektedir.

Nokta bulutlarının birleştirilmesiyle oluşan "ham" nokta bulutları, belirli bir amaç için doğrudan kullanılamazlar (17). Çünkü (noisy) denilen gürültü içermektedirler. Bu gürültüler tarayıcıdan gönderilen ışının taranan yüzeye dik olarak çarpmamasından kaynaklanmaktadır. Özellikle yapı cephelerinin kenar ve köşe noktalarına çarparak saçılma yapan lazer ışınları gürültüye neden olmaktadır. Tarihi yapılarda özellikle sivri köşelerin belirginleşmesinde, kenarlarda ve küçük boşlukların temizlenmesinde ciddi oranlarda katkı sağlayarak elde edilen modelin doğruluğunu etkilemektedir (20).

Elde edilen veriyi belirli bir amaç ve 3b modellemede kullanabilmek için ayrı bir işleme (re-sampling/filtering) ihtiyaç duyulmaktadır. Bu işlemde birleştirilen her iki nokta bulutunda, gürültü giderme amacıyla, veride bulunan rastgele noktaların temizlenmesi yapılmaktadır. Rastgele dağılmış noktaların temizlenmesi, veri içerisinde istenmeyen noktaların silinmesi işlemidir. Bir anlamda filtreleme de denilen bu işlemle nokta sayılarında %5-%10 oranında azalma olsa da model doğruluğunu olumsuz etkiledikleri için yapılması gerekmektedir (20). Filtreleme işleminden sonra veri görüntü işleme ve 3B modelleme (mesh ve doku kaplı modelleme) aşamalarına hazır hale gelebilmektedir.



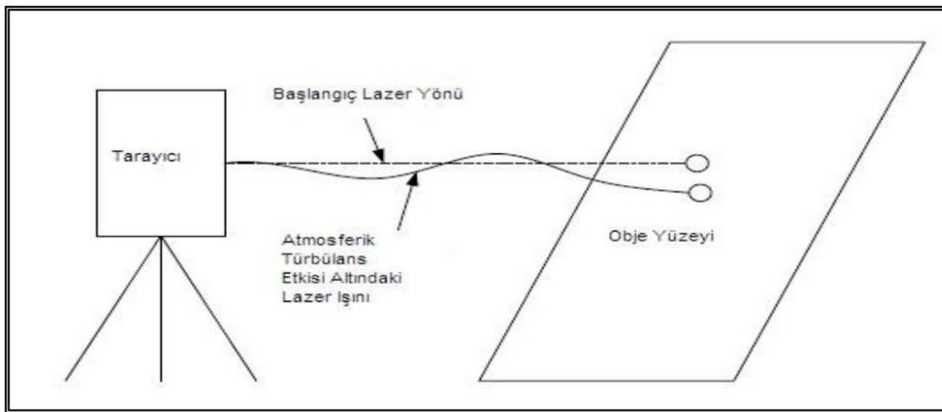
Şekil 8. Antalya Finike Kafi Baba Aşevi renkli 3D nokta bulutu.



Şekil 9. Antalya Finike Kafi Baba Aşevi Ortografik Fotoğrafı.

2.4. Doğruluk

YLT ölçümleriyle diğer yöntemlere göre daha hassas veriler elde etsek de, ölçüm sırasında hatalara neden olan ve dikkat edilmesi gereken çeşitli faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler genel olarak tarayıcı tasarımı ve tarayıcının teknik özelliklerine bağlı olan aletsel hatalar, ortam sıcaklığı, basınç, nem, aydınlatma gibi durumlara bağlı olan çevresel hatalar, kötü hava koşulları, obje yüzeyinin yansıtıcılığına bağlı olarak objeyle ilgili hatalar olarak sınıflandırılabilir [18].



Şekil 10. Çevresel Hatalar-Işın Gezinmesi. (Weichel 1990)

Klasik ölçme yöntemlerine bir alternatif olarak yerini alan YLT'nin hangi doğrulukta ölçüm yaptığının bilinmesi önemlidir. Bu yöntemle yapılan ölçümlerin doğruluk analizleri için çeşitli kontroller ve kalibrasyon ölçümleri gerekmektedir. Doğruluk farklarını etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır. Bu noktada tarama yoğunluğu arttıkça ve objeye olan mesafe kısdıkça doğruluğun arttığı gözlemlenmektedir. Ayrıca objelerin renkleri ve yüzeylerinin yansıtıcılığı ile yüzeyin düz ya da pürüzlü oluşu da veri kalitesini doğrudan etkilemektedir [19].

YLT teknolojisi ile kültürel mirasın belgelenmesinde, geleneksel yöntemlere göre doğruluk oranı yüksek ve daha hızlı veri elde etme olanakları sağlanmaktadır.[1] Yersel lazer tarayıcılar yapıyı veya yüzeyi yatay yönde ve düşey yönde tarayarak nesneye ait milyonlarca noktadan oluşan bir nokta bulutu oluşturmaktadır. Bu üç boyutlu nokta verileri ile tarihi eserlerin veya taranan yüzeyin geometrisi elde edilmektedir. Objeye ait geometrik verilerin elde edilmesi ve her bir noktanın x,y,z düzlemlerinde koordinatlarının bilinmesi, bu yöntemi geleneksel yöntemlere göre avantajlı kılmaktadır. Süreç sonunda elde edilen model üzerinden istenilen sayıda ve istenilen yerden yatay (plan düzlemi) ve düşey (kesit) düzlemlerde kesitler alınabildiği için tüm detaylar mevcuttaki haliyle belgelenabilmektedir.[3] Bu modeller ile nokta konum bilgilerine, yapının boyut, yüzey, alan, hacim bilgilerine doğrudan ulaşabilmek mümkün olmaktadır.[5] Özellikle yüzey deformasyonları, bozulmalar, malzeme farklılıkları, asimetrik yüzeyler, geleneksel yöntemlerle ölçümü zor ve vakit alan yapı bölümlerini yersel lazer tarama ile elde edilen modellerle daha doğru, detaylı ve hızlı bir şekilde elde etmek mümkündür. Yapısal geometri bakımından insan ölçeğini aşan ve manuel ölçümde ulaşılamadığı için hata payı fazla olan yapılarda da yersel lazer tarama yöntemi ile doğru verilere ulaşılmaktadır. Yersel lazer tarayıcının doğruluğunu gözlemlemek için birçok deney yapılmış ve sonuçları raporlanmıştır.[4] Sonuçlara göre, lazer tarayıcıların ölçü doğruluğu uzun mesafelerde (>1000m) 10 cm, ışın yapısına bağlı olarak azalsada kısa mesafelerde (<300m) ölçü hassasiyeti 1 cm civarındadır [10].

Bryan ve ark. (2009) yapmış oldukları çalışmada Yersel /Yakın Resim Fotogrametrisi ile YLT yönteminin ölçümlerindeki doğruluk paylarını karşılaştırmalı olarak aşağıda verilen tablo özetinde araştırmışlardır. Bu tabloya göre YLT, 1:20 ölçeğinde, 2,5 mm nokta aralığıyla yapılan taramalarda +/-2,5mm; 1:50 ölçeğinde 5 mm nokta aralığıyla yapılan taramalarda +/-5.0mm; 1:100 ölçeğinde 15 mm nokta aralığıyla yapılan taramalarda da +/-15 mm ölçüm doğruluğuna sahiptir [21].

Tablo 3. Yakın Resim Fotogrametrisi ve Yersel Lazer Tarama yöntemlerinin ölçek ve nokta yoğunluğuna göre doğrulukları

	Ölçek	Etkili Nokta Yoğunluğu	Ölçüm Hassasiyeti
Yakın Mesafe	1:5	0.5 mm	+/- 0.5 mm
	1:10	1.0 mm	+/- 1.0 mm
	1:20	2.5 mm	+/- 2.5 mm
Yersel	1:50	5.0 mm	+/- 5.0 mm
	1:100	15.0 mm	+/- 15.0 mm



Şekil 11. Sille Subaşı Hamamı Cephe Fotoğrafları



Şekil 12. Sille Subaşı Hamamı Batı Cephesinin Ortografik (Düzlemsel) Fotoğrafı.



Şekil 13. Sille Subaşı Hamamı Batı Cephesinin Çizimi.

2.5. Veri Yayılım İmkani

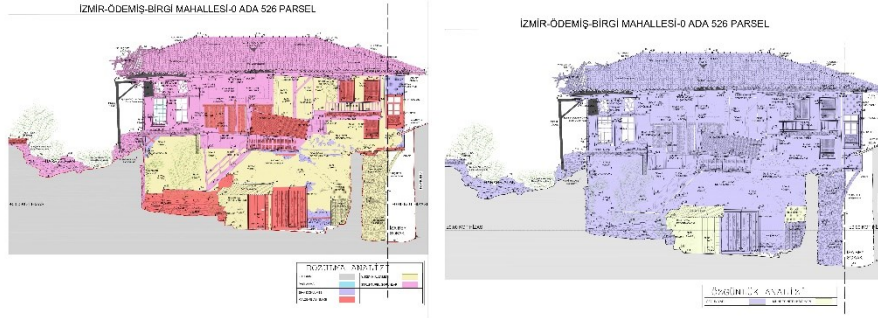
YLT teknolojisi ile elde edilen nokta bulutları, modeller, ortofoto görüntüleri ve çizime aktarılmış plan, kesit, görünüş, analizler bilgisayar ortamında arşivlenmektedir. Dijital arşivlenen bu belgeler ofis ortamında alan tasarrufu sağlamanın yanı sıra kopyalamayı, e-posta ortamında paylaşımı, veri aktarımını da kolaylaştırmaktadır. Ayrıca geliştirilen bulut tabanlı webshare programı ile kolay veri depolama platformu oluşturulmuştur. Yazılım, paydaşların web erişimi ile her boyutta ve tüm kaynaklardan 3B gerçeklik verilerine ulaşımı sağlamaktadır. Webshare veri güvenliğini sağlarken gecikmeleri de önlemektedir.

2.6. Geleneksel Yöntemlere Göre Farklı Paftaların Hazırlanması

Kültürel mirasın belgelenmesinde yapı ölçümleri ve çizimler uğraştırıcı, hata payı yersel lazer tarama teknolojisine göre daha fazla olsada geleneksel yöntemlerle de sağlanabilmektedir. Ancak taranan yüzeydeki deformasyonlar, malzeme farklılıkları tam olarak ölçülememektedir. Bu bağlamda yersel lazer tarama verileri geleneksel yöntemler gibi gözleme dayalı olmayan, doğruluk oranı daha yüksek proje paftalarına altlık oluşturmaktadır.[7] Tarihi yapılarda önem arzeden bozulma-deformasyon analizi, malzeme analizi, özgünlük analizi, yapının mevcut durumunda izlenen müdahale analizi gibi izimler yersel lazer tarama verileri ile oluşturulan birebir doğru modeller ile olduğu gibi çizime aktarılabilen en doğru şekilde belgelenmektedir.



Şekil 14. Birgi Köyü Kerimağa Konağı Ortografik Fotoğraf



Şekil 15. Kerimağa Konağı Bozulma ve Özgünlük Analizi Paftaları

Örnek çalışma Kerimağa Konağı'nda yapılan lazer taramalarla elde edilen 3B modelden alınan cephe kesitleri yapının rölöve çizimine, deformasyon, özgünlük, malzeme analizlerine altlık oluşturmuştur. Model üzerinden yapı belgelenmesi 2 boyutlu çizim olarak üretilmiştir. Çizilen rölöve projesi için gerekli yerlerden plan kesitleri ve 6 adet bina kesiti model üzerinden hazırlanmış ve cad ortamında çizimi sağlanmıştır. Cepheler için hazırlanan müdahale paftaları geleneksel yöntemde olduğu gibi fotoğraf referanslı gözleme dayalı değil model üzerinden mevcutta olduğu gibi çizilerek hazırlanmıştır.

2.7. BIM Tabanlı Uygulamalar

Yapı bilgi modellemesi (BIM) yazılımlarının gelişmesiyle yersel lazer tarama verilerine üç boyutlu model oluşturulması yaygınlaşmaya başlamıştır. Yersel lazer tarayıcılarla elde edilen 3B nokta bulutları CAD yazılımlarına aktararak üç boyutlu model oluşturulabilmekte, renkli görsellerle entegrasyonu yapılarak model üzerine kaplama yapılabilmektedir. Bu bağlamda yapının modeli gerçek ölçüleri ve görünümüyle dijital ortama aktarılmış olmaktadır. Ayrıca lazer tarama verilerinin doğrudan CAD yazılımlarına aktarılabilmesi ve bu yazılımlar içinde düzenlenebilmesi veri kullanımını kolaylaştırmaktadır [8]. Yersel lazer tarama verileri ile 3b BIM modeli hazırlanırken ilk olarak farklı noktalardan yapılan taramalarda elde edilen nokta bulutları temizlenip ortak bir koordinat sisteminde birleştirilerek tek bir nokta bulutu oluşturulur. Elde edilen nokta bulutuna yapı resimlerini de eklenmesiyle 3B model çizim altlığı hazırlanmış olur. Bu süreçte 4B BIM modeli ile yersel lazer tarama verilerinin çakıştırılması ile kontrol de sağlanmış olur [9].

2.8. Yersel Lazer Tarama Alanındaki Limitler

YLT'nin sağladığı avantajlar yanında bazı çözüm bekleyen yönleri de bulunmaktadır. Bu yöntemle çalışırken tarama istasyonlarının yeri ve sırası oldukça önemlidir. Bu nedenle alan çalışmasında mutlaka krokiye ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca cihazın kurulması esnasında mesafeye de dikkat etmek gerekmektedir. Objeye çok yakın ya da çok uzak olunması durumunda nokta bulutu veride eksikler olacaktır. Bir diğer dikkat edilmesi gereken nokta da, cihazın yüksekliğidir. Bazı durumlarda (farklı arazi şartları, yapı çevresinin yapının çatısını görmeye ya da taramaya elverişli olup olmayışı, taranacak nesnenin büyük olması ve üzerindeki detayların yoğunluğu gibi) meydana gelebilecek olumsuz durumların önlenmesi için farklı teknolojilerden İnsansız Hava Araçları (İHA) ya da dronlardan hava verilerinin tamamlanması için destek alınmalıdır. Çok detaylı ve yüksek çözünürlüklü tarama yapılması veri kalitesini artırırken diğer taraftan veri işleme sürecini uzatmaktadır. Aynı zamanda bu yoğun verinin işlenebilmesi için iyi bir yazılımın yanı sıra yüksek performanslı donanıma da ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da cihaz maliyetine ilave olarak ekstra bir maliyet oluşturmaktadır.

Son yıllarda yaygın bir biçimde YLT teknolojisi, kültürel miras belgeleme alanında kullanılsa da, ulusal ve uluslararası alanda bu teknolojinin kullanımı, belgeleme ve veri yönetimi konusunda belirlenmiş bir standart bulunmamaktadır. Fakat bu alanda Amerika Birleşik Devletleri'nde HABS (Historic American Buildings Survey), HAER (Historic American Engineering Record) ve HALS (Historic American Landscapes Survey) gibi programlar, kültürel miras yapıları, tarihi eserler ve kültürel peyzaj alanlarının belgelenmesi, tarihi malzemelerin dokümantasyonu için kullanılacak kılavuzlar ve standartlar geliştirmek için çalışmaktadırlar. Bu standartlar arasında özel bir rehber de YLT'nin kültürel mirasın belgelenmesinde kullanılmasındaki avantaj ve dezavantajlarını değerlendirmektedir. Bu belge YLT' nin kültürel miras alanında YLT kullanımının veri çeşitliliği, mirasa erişim, doğruluk ve ölçme hızı bakımından diğer yöntemlere göre avantajının olduğunu altını çizmektedir. Buna karşın olarak, YLT iş akışının mimari elemanların kapanmasında, yapıyı kapatan, yapı önündeki ağaç ya da bitkileri ya da yapıları geçememesinden ve arşiv amaçlı depolanan nokta bulutu formatının uzun vadede kullanımı ve formatından dolayı dezavantajları olduğunu belirtmişlerdir. Benzer şekilde İngiltere Kültürel Koruma Rehberinde de YLT'nin avantaj ve limitlerinden bahsedilmiştir [21].

YLT ile nokta bulutu verisinin toplanması ile ilgili de henüz bir standart bulunmamaktadır. Bu tekniğin kültürel miras için bir belgeleme yöntemi olarak yaygın bir şekilde kullanılabilmesi için bu standardın olması büyük önem arz etmektedir [22].

H³ tarafından yapılan standardizasyon önerileri ve İngiltere Tarihi Binalar ve Anıtlar Komisyonunun yapmış olduğu öneriler çerçevesinde, YLT nin koruma ve arkeolojik alan belgelemesindeki limitleri, veri toplama, uzman gereksinimi ve veri işleme süresinde olmaktadır. Her ne kadar YLT teknolojisi 20 yıldır kullanılıyor olsa da teknoloji maliyeti hala yüksektir. Bunun yanı sıra cihazın yıllık kalibrasyonu, garanti kapsamında yer alan özellikleri hala sınırlı ve maliyeti arttıran faktörler arasındadır [23].

3. SONUÇ

Kültürel miras eserlerinin belgelenmesi uzun yıllardır geleneksel ölçme yöntemleriyle veya fotogrametrik yöntemlerle yapılmaktaydı. YLT ile belgeleme birçok bakımdan diğer yöntemlere göre kolaylık sağlamıştır fakat tek başına yeterli olmadığı durumlar da tespit edilmiştir. YLT teknolojisi ile sonuç verilere daha hızlı ulaşılabilmektedir. Bu durum büyük ölçekli kompleks karmaşık yapıların verilerinin daha kısa sürede elde etmeyi sağlar. Örnek alan çalışması olarak verilen Konya Hüyük ilçesi Sokak Sağlıklaştırma Projesi için yapmış olduğumuz çalışmada sokakta bulunan tüm yapıların modelleri YLT ile elde edilmiştir. Benzer şekilde Sille Subaşı Hamamı'nda yaptığımız taramadan hamam yapısının tüm cepheleri, plan ve kesitleri deformasyonları elde edilerek çizime aktarılmıştır. Fakat hamam kubbelelerini üst kısmına yersel tarama ışınları ulaşamadığı için kubbe modeli tam çıkmamış, kubbe ölçümünde geleneksel yöntemlerden yararlanılmıştır. Tarihi binalarda kültürel mirasın belgelenmesi kadar bu süreçte yapıya zarar vermemek de önemlidir. Yersel lazer tarama çalışma prensibi gereği yapıdan temas etmemekte, uzakta bulunması gerekmektedir. İş güvenliği bakımından da harabe yapılarda çökme riskine karşı tehlike oluşturmamaktadır. Bu durum Antalya Finike'de Kafi Baba Aşevinde yaptığımız taramada kolaylık sağlamıştır. Kültürel mirasın belgelenmesi ve yapı durumunun analizi çalışmaları lazer tarama ile gözleme dayalı değil model üzerinden yapılabilmektedir. İzmir Birgi Köyünde taramasını yaptığımız Kerimağa Konağının deformasyon, özgünlük, malzeme analizlerini 3B model üzerinden yapılmıştır.

Kültürel miras alanında son yıllarda giderek kullanımının artması, ilerleyen teknolojiyle birlikte bu teknolojinin daha da yaygınlaşacağını sinyalinin vermektedir. Geleneksel yöntemlere göre birçok avantajı barındırır da, belgelemenin bütüncül bir süreç olduğu unutulmamalıdır. Bütüncül bir dokümantasyonun başarısının tek bir yöntemle ait olmayacağı açıktır. Bu noktada farklı yöntemlerden yararlanmak daha sağlıklı bir belgeleme için temel ihtiyaçtır.

Kaynaklar

- [1] Uzun, T., & Spor, Y. (2019). Yersel lazer (nokta bulut) tarama yöntemi ile rölöve–restitüsyon-restorasyon projesi hazırlama süreci ve bir örnek: Elazığ Harput Kale Hamamı.
- [2] Gümüş, K., & Erkaya, H. (2008). Yersel lazer tarayıcılar ve konum doğruluklarının araştırılması. *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı Geomatik Programı, Yüksek Lisans Tezi*.
- [3] Yazıcılar, E. E. (2011). *Obje Yüzeylerinin Belirlenmesinde Lazer Tarayıcıların Kullanım Olanakları* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [4] SAFKAN, S., HAMARAT, H., DURAN, Z., AYDAR, U., & ÇELİK, M. F. YERSEL LAZER TARAMA YÖNTEMİNİN MİMARİ BELGELEMEDE KULLANILMASI.
- [5] Karşıdağ, G. (2013). *Yersel lazer tarama ölçmelerinde doğruluk analizi* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [6] Uzar, M., TUNALIOĞLU, N., Arican, D., & Arda, T. (2019). Investigation of the filtering methods on 3D models using terrestrial laser scanning data.
- [7] Yüksel, B. (2008). *Taş Duvarların Lazer Tarayıcı Verileriyle Modellenmesi* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [8] Korumaz, M. (2016). Kültürel mirasın 3D belgelenmesinde yersel lazer tarama teknolojisinin kullanımı: Aksaray'da bir sivil mimarlık örneği.
- [9] Behlül, K. U. L. A., & Ergen, E. LAZER TARAYICI TEKNOLOJİSİNİN YAPIM YÖNETİMİNDE KULLANIM ALANLARI.
- [10] ALTUNTAŞ, C., & YILDIZ, F. (2008). Yersel lazer tarayıcı ölçme prensipleri ve nokta bulutlarının birleştirilmesi. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, (98), 20-27.
- [11] English Heritage, 2011. "3D Laser Scanning for Heritage- Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture". English Heritage Publishing.
- [12] SABUNCU, A., & Özener, H. (2020). Mimari Dökümantasyonda Yersel Lazer Tarama Teknolojisi Kullanımı: Tarihi Sismoloji Binası Örneği. *Türk Uzaktan Algılama ve CBS Dergisi*, 1(1), 45-52.
- [13] KAYA, Y., YİĞİT, A. Y., ULVİ, A., & YAKAR, M. (2021). Arkeolojik Alanların Dokümantasyonunda Fotogrametrik Tekniklerinin Doğruluklarının Karşılaştırmalı Analizi: Konya Yunuslar Örneği. *Harita Dergisi*, 165, 57-72.

- [14] GÜLEÇ, A., (2007). “Yersel fotogrametri yöntemi ile rölove alım tekniğinin teç kapılarda uygulanışı: Konya örnekleri”. Selçuk üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya,2007.
- [15] English Heritage, (2003). “Metric Survey Documentation”
- [16] Thanh, N.T., Nguyen T. T., Quang M. N., Xiu G. L., Yao Y. Z. 3D object model reconstruction based on laser scanning point cloud data, International Symposium on GeoInformatics for Spatial- Vietnam, 16-20 October 2012, https://www.researchgate.net/publication/306278163_3D_object_model_reconstruction_based_on_laser_scanning_point_cloud_data
- [17] Lingua A., Rinaudo F., 2001. The statue of Ramsete II – integration of digital photogrammetry and laser scanning technique for 3D modelling. Proceedings of 18th International Symposium CIPA 2001. Potsdam, Germany, September 18 – 21, pp. 206 – 211.
- [18] Gümüş, K., Erkaya, H., Tunaloğlu, N., (2009). Yersel Lazer Tarama Verilerinde çevresel ve Objesel Nedenlerden Kaynaklanan Hatalar. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 11-15 Mayıs 2009, Ankara.
- [19] Karşıdağ, G., (2011). Yersel Lazer tarama Ölçümlerinde Doğruluk Analizi. İtsanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [20] Uzar, M., Tunaloğlu, N., Arıcan, D., Arda, T., 2018. “Yersel Lazer Tarama verisi ile elde edilen 3B modellerde filtreleme etkisinin araştırılması”. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 34:4 (2019) 1765-1775.
- [21] Bryan, P., Blake, B., Bedford, J. (2009). *Metric Survey Specifications for Cultural Heritage*. Swin-don: Historic England Publishing.
- [22] Barber, D., Mills, J., Bryan, P. 2004. “Towards a standard specification for terrestrial laser scanning of cultural heritage”.
- [23] Lercari, N. (2016). Terrestrial Laser Scanning in the Age of Sensing. In M. Forte, S. Campana (Eds.), *Digital Methods and Remote Sensing in Archaeology* (pp.3-33). New York: Springer. ISBN: 978-3-319- 40658-9.
- [24] Becerik-Gerber, B., Jazizadeh, F., Kavulya, G. Calis, G., 2011. “Assessment of target types and layouts in 3D laser scanning for registration accuracy”. Automation in Construction, Volume 20, Issue 5, August 2011, Pages 649-658.
- [25] Fryskowska, A. 2019. “An Improvement in the Identification of the Centers of checkerboard Targets in point Clouds Using Terrestrial Laser Scanning”. Sensors, 2019, 19, 938.