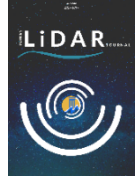




## Türkiye LiDAR Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/melid>

e-ISSN 2717-6797



### Yersel Lazer Tarama ile Tekli Yapıların Yüksek Hassasiyetli 3B Modellemesi ve Analizi

Adem Kabadayı <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Yozgat Bozok Üniversitesi, Şefaati Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 66800, Yozgat, Türkiye;  
(adem.kabadayi@bozok.edu.tr)



\*Sorumlu Yazar:  
adem.kabadayi@bozok.edu.tr

#### Araştırma Makalesi

**Alıntı:** Kabadayı A. (2024). Yersel Lazer Tarama ile Tekli Yapıların Yüksek Hassasiyetli 3B Modellemesi ve Analizi. *Türkiye LiDAR Dergisi*, 6(2), 51-59.

Geliş : 27.11.2024  
Revize : 09.12.2024  
Kabul : 16.12.2024  
Yayınlama : 31.12.2024

#### Özet

Bu çalışma, yersel lazer tarama teknolojisinin tekli yapıların 3 boyutlu modellenmesi ve analizi süreçlerindeki etkinliğini incelemektedir. Yüksek hassasiyetli yersel lazer tarayıcı kullanılarak hem iç hem de dış mekânlardan toplanan verilerle oluşturulan nokta bulutları, yapının mevcut durumunu detaylı bir şekilde ortaya koymuş ve deformasyon, yapısal bozulma gibi unsurların analizine olanak sağlamıştır. Elde edilen 3B model hem mevcut durumu belgeleme hem de restorasyon ve koruma süreçlerini planlama açısından önemli bir referans sunmaktadır. Çalışma, yersel lazer taramanın sağladığı hız, doğruluk ve esneklik avantajlarının altını çizerken, özellikle karmaşık yapıların ve tarihi alanların belgelenmesi gibi çeşitli kullanım alanlarına yönelik gelecekteki araştırmalara ışık tutmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Yersel lazer tarama, Nokta bulutu, Kültürel mirasın korunması, Restorasyon planlaması, Yüksek hassasiyetli tarama.

### High-Precision 3D Modeling and Analysis of Single Structures Using Terrestrial Laser Scanning

\*Corresponding Author:  
adem.kabadayi@bozok.edu.tr

#### Research Article

**Citation:** Kabadayı A. (2024). High-Precision 3D Modeling and Analysis of Single Structures Using Terrestrial Laser Scanning. *Turkish Journal of LiDAR*, 6(2), 51-59 (in Turkish).

Received : 27.11.2024  
Revised : 09.12.2024  
Accepted : 16.12.2024  
Published : 31.12.2024

#### Abstract

This study examines the effectiveness of terrestrial laser scanning technology in the three-dimensional modeling and analysis processes of single structures. High-precision terrestrial laser scanners were used to collect data from both interior and exterior spaces, generating point clouds that detailed the current state of the structure and allowed for the analysis of elements such as deformations and structural damages. The resulting three-dimensional model serves as a significant reference for documenting the current state as well as for planning restoration and conservation processes. The study highlights the advantages of terrestrial laser scanning, such as speed, accuracy, and flexibility, while shedding light on future research opportunities, particularly for documenting complex structures and historical sites.

**Keywords:** Terrestrial laser scanning, Point cloud, Heritage conservation, Restoration planning, High-precision scanning.

## 1. Giriş

Son yıllarda dijital teknolojilerin hızlı gelişimi, farklı mühendislik ve bilim dallarında veri toplama, modelleme ve analiz süreçlerinde köklü değişikliklere yol açmıştır. Özellikle mimarlık, arkeoloji, inşaat mühendisliği ve kültürel mirasın korunması gibi alanlarda, üç boyutlu (3B) modelleme ve veri analizi teknikleri, fiziksel yapıların belgelenmesi ve değerlendirilmesi için vazgeçilmez araçlar haline gelmiştir (Kaya vd., 2021). Bu kapsamda, Yersel Lazer Tarama (YLT) teknolojisi, yüksek hassasiyetle detaylı 3B veri elde edilmesini sağlayan yenilikçi bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Yapıların dış cephelerinden iç mekânlarına kadar, milimetrik doğrulukla modelleme yapabilen bu yöntem, araştırmacılara hızlı, güvenilir ve tekrarlanabilir veri elde etme imkânı sunmaktadır (Ulvi & Yakar, 2014).

YLT teknolojisi, özellikle tekli yapıların detaylı incelenmesinde büyük avantaj sağlamaktadır (Ulvi, 2022). Çoğu zaman geleneksel ölçüm yöntemleri, yapıların karmaşık geometrik formlarını veya yapısal bozulmalarını yeterli doğrulukta tespit edememekte, bu da eksik ya da hatalı sonuçlara yol açabilmektedir. Buna karşın, YLT sayesinde hem yapıların genel geometrisi hem de deformasyon, çatlak veya malzeme kayıpları gibi mikro düzeydeki detaylar dahi kolayca belgelenebilmektedir (Fidan & Fidan, 2021). Bu yönüyle YLT, hem mevcut durum tespiti hem de restorasyon ve koruma süreçlerinin planlanmasında önemli bir role sahiptir (Balcı & Uvi, 2024).

YLT yöntemi kullanılarak tekli bir yapının kapsamlı bir 3B modeli oluşturulmuş ve bu model üzerinden detaylı analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, YLT teknolojisinin tekli yapıların belgelenmesi ve analizi sürecindeki etkinliğini ortaya koymaktır (Çelik vd., 2020). Bununla birlikte, çalışmanın hedefleri arasında yapıların dijitalleştirilmesi, mevcut durumlarının hassas bir şekilde tespit edilmesi ve bu verilerin gelecekteki mühendislik projeleri veya restorasyon uygulamaları için referans materyal olarak kullanılması yer almaktadır. Bu tür belgeler, yalnızca yapının fiziksel durumunun korunmasına yardımcı olmakla kalmayıp, aynı zamanda ilgili yapıların tarihsel, kültürel ve mimari değerlerini sürdürülebilir bir şekilde gelecek nesillere aktarmayı da mümkün kılmaktadır (Alptekin vd., 2019).

Tekli yapıların 3D modellemesi, yalnızca yapının görsel bir temsilini sunmakla kalmaz, aynı zamanda yapı ile ilgili çok daha derinlemesine ve kapsamlı veriler sağlar. Bu modeller, yapının geometrik şekli, boyutları ve detayları ile birlikte, yapı elemanlarının malzeme özellikleri, yüzey dokuları, yapıdaki stres noktaları, zemin etüdü sonuçları gibi kritik bilgileri de içerebilir. Bu veriler, mimarların ve mühendislerin,

yapının daha iyi bir şekilde analiz edilmesine olanak tanır ve bu sayede tasarım sürecini optimize eder. Yapıdaki her bir bileşenin doğru ve hassas bir şekilde modellenmesi, proje ekibine her aşamada daha bilinçli kararlar verme fırsatı sunar (Yiğit & Uysal, 2023).

Yiğit ve Uysal (2023), tekli yapıların model oluşturulmasında nokta bulutlarının doğrudan kullanımını incelemişler. LiDAR ve fotogrametri yöntemleriyle elde edilen üç boyutlu nokta bulutları, dijital ikizlerin doğru ve güncel yansıtılmasını sağlamaktadır. Üç karmaşık heykel üzerinde yaptıkları çalışmada, derinlik algısının zor olduğu alanlarda model eksiklikleri tespit edilmişlerdir. SfM tabanlı fotogrametrik yazılımlar ile elde edilen nokta bulutlarının dijital ikizlerin hızlı ve düşük maliyetle oluşturulup güncellenmesine büyük avantaj sağladığını ortaya koymuşlar.

3D modelleme teknolojisi sayesinde, yapıların zaman içindeki değişimlerine dair simülasyonlar yapılabilir. Örneğin, bir yapının yaşlanma süreci, malzeme yorgunluğu, çevresel etkiler, iklim değişikliği gibi faktörler göz önünde bulundurularak, yapının gelecekteki durumu hakkında tahminlerde bulunulabilir. Bu, erken aşamalarda potansiyel problemleri ve zayıf noktaları belirleyerek, gereksiz masrafların ve uzun vadeli risklerin önüne geçilmesini sağlar (Georgantas vd., 2012).

3D modelleme ile elde edilen detaylı veriler, yapıların bakım ve onarım süreçlerini de büyük ölçüde iyileştirir. Özellikle eski veya tarihi binalarda, mevcut durumun doğru bir şekilde tespit edilmesi, restorasyon ve güçlendirme çalışmalarının verimli bir şekilde yapılmasına olanak verir. Yapıların çeşitli bölümleri, daha önceden belirlenmiş modeller üzerinden izlenebilir ve bu sayede daha hedeflenmiş ve etkili bakım programları oluşturulabilir. 3D modeller, gelecekteki onarımların planlanması ve yapılacak müdahalelerin optimize edilmesi açısından da kritik rol oynar (Yılmaz & Yakar, 2006).

3D modelleme, bir yapının sadece görsel değil, işlevsel ve yapısal özelliklerini de gözler önüne sererek, yapıların ömrünü uzatmak, sürdürülebilirliğini artırmak ve kaynakların verimli kullanılmasını sağlamak için önemli bir araçtır. Bu süreç, mimariden inşaaata, restorasyondan bakım süreçlerine kadar çok sayıda alanda fayda sağlayarak hem kısa vadede hem de uzun vadede yapıların daha güvenli, dayanıklı ve ekonomik olmasını mümkün kılar (Saponaro vd., 2020).

Günümüzde, YLT'nin yaygınlaşmasıyla birlikte, bu teknoloji üzerine yapılan akademik çalışmalar artış göstermektedir (Yiğit & Ulvi, 2020). Ancak, birçok çalışmada geniş ölçekli yapı grupları veya karmaşık yapılar odak noktası olmuştur. Bu bağlamda, tekli yapıların detaylı incelenmesi, mevcut literatürde sınırlı bir yere sahiptir. Bu çalışmanın özgün katkısı, tekli

yapıların geometrik özelliklerini ve mevcut durumlarını detaylı bir şekilde ortaya koyan kapsamlı bir metodoloji sunmasıdır (Çömert vd., 2012). Böylelikle hem bilimsel literatüre hem de uygulamalı projelere önemli bir katkı sağlanması hedeflenmiştir (Dittrich vd., 2017).

Yersel Lazer Tarama (YLT) teknolojisinin tekli yapıların 3D modelleme süreçlerine olan katkısını detaylı bir şekilde incelemesinde yatmaktadır. Literatürde genellikle geniş ölçekli yapılar veya karmaşık yapı gruplarına odaklanılırken (Jia & Lichti 2019), bu çalışma tekli yapıların geometrik özelliklerini ve mevcut durumlarını hassas bir şekilde ortaya koyan kapsamlı bir metodoloji sunmaktadır. YLT'nin sağladığı yüksek doğruluk, hız ve esneklik gibi avantajlar, özellikle restorasyon ve inşaat mühendisliği alanlarında önemli bir potansiyele sahiptir. Ayrıca, bu çalışma, YLT'nin dijital ikizlerin oluşturulmasındaki rolünü, geleneksel ölçüm tekniklerine kıyasla sunduğu yenilikçi çözümleri ve bu teknolojinin gelecek projelerde nasıl uygulanabileceği hakkında somut örnekler sunarak, alanın gelişimine katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Bu özgün yaklaşım hem akademik literatüre hem de uygulamalı mühendislik ve mimarlık projelerine önemli bir yenilik getirmeyi hedeflemektedir.

Bu çalışmanın amacı, YLT teknolojisinin tekli yapıların 3 boyutlu modellenmesindeki rolünü incelemek, bu yöntemin sağladığı avantajları tartışmak ve mevcut uygulamalara dair örnekler sunarak gelecekteki gelişim alanlarını belirlemektir. YLT'nin, geleneksel modelleme tekniklerine göre sunduğu hız, doğruluk ve esneklik gibi avantajlar, bu teknolojiyi inşaat mühendisliğinden restorasyona kadar geniş bir yelpazede cazip kılmaktadır.

## 2. Yersel Lazer Tarayıcı

FARO, lazer tarama teknolojileri alanında dünya çapında tanınan bir markadır ve özellikle inşaat, mühendislik, mimarlık, arkeoloji ve endüstriyel uygulamalar gibi birçok alanda kullanılan YLT cihazları ile dikkat çekmektedir. FARO'nun YLT'ları, yüksek hassasiyet, hız ve güvenilirlik sunarak, karmaşık 3D modellerin oluşturulmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Lazer tarayıcılar, prensip olarak bir hedef noktasına olan mesafeyi ölçer ve aynı zamanda bu noktaların dikey ve yatay açılarını kaydeder. Bu işlem, bir total station'dan farklı olarak, lazerin belirgin bir hedefe yöneltilmesine gerek olmaksızın gerçekleştirilir. Cihaz, görüş alanındaki düzenli bir açı modeli üzerinde "tarama" yaparak veri toplar. Hedef mesafesinin yanı sıra, geri dönen yankı sinyalinin göreceli yoğunluğu ve hedef noktasının gerçek rengi de kaydedilebilir. Bu özellik, lazer taramanın

fotogrametri ile bir bağlantı kurmasını sağlar. Taramanın birincil verisi, sensörün yerel koordinat sisteminde elde edilen "nokta bulutu" olarak adlandırılır. Tek bir bakış açısından yapılan bir taramada, oklüzyon sorunları nedeniyle tüm yüzeyin eksiksiz bir temsili elde edilemez. Bu nedenle, yüzeyin tam ve doğru bir şekilde modellenmesi için farklı konumlardan birden fazla "tarama" elde edilmesi gerekir. Nokta bulutunun daha eksiksiz bir temsili oluşturmak için, genellikle çok sayıda taramanın ortak bir koordinat sistemine birleştirilmesi gerekir. Bu işlem "kayıt" olarak adlandırılır ve genellikle birden fazla taramada görülebilen noktasal nesnelere tespiti ile yapılır. Ancak bu işlem, taramaların yoğunluğuna ve/veya renkli görüntülerine dayanan fotogrametrik yöntemlerle de gerçekleştirilebilir. Alternatif olarak, klasik ölçme yöntemleri kullanılarak veri toplamadan önce tarayıcıların göreceli konum ve yönü doğru bir şekilde belirlenebilir.

FARO lazer tarayıcıları, yüksek doğrulukla nokta bulutları oluşturabilen cihazlardır (Sabuncu & Özener, 2020). Genellikle milimetre düzeyinde hassasiyet sunarak, özellikle detaylı geometrik analiz ve modelleme gerektiren projelerde üstün performans sergiler. Bu hassasiyet, özellikle yapıların mevcut durumlarının doğru bir şekilde belgelenmesi ve restorasyon projelerinde büyük önem taşır. FARO cihazları, 1-2 mm'lik hata payı ile tarama yaparak, son derece doğru veriler elde edilmesini sağlar. Ayrıca saniyede yüzbinlerce nokta tarayabilme kapasitesine sahip olup, hızlı veri toplama özellikleriyle dikkat çeker. Özellikle büyük alanların ve karmaşık yapıların 3D modellerinin hızlı bir şekilde oluşturulması gerektiğinde, bu yüksek hız büyük bir avantaj sağlar. Bu özellik, özellikle inşaat ve mühendislik projelerinde zaman tasarrufu sağlar ve projelerin daha kısa sürelerde tamamlanmasına yardımcı olur. Bu cihazlar yüksek çözünürlükte nokta bulutları üretebilir, bu da yapıların çok detaylı bir şekilde modellenmesine olanak tanır. Tarama sonuçları, her yüzeyin küçük detaylarına kadar dijital ortamda temsil edilir. Bu, özellikle karmaşık yapıların modellenmesinde ve simülasyonlarda daha gerçekçi bir sonuç elde edilmesine olanak tanır. Geniş bir tarama menziline sahiptir. Örneğin, bazı FARO modelleri 120 metreye kadar olan mesafelerde veri toplayabilir. Bu uzun menzil, geniş alanların veya yüksek binaların taranmasını kolaylaştırır. Uzun mesafe taramaları, özellikle büyük inşaat projeleri ve kentsel alanların dijitalleştirilmesinde önemli bir avantaj sunar. Zorlu çevresel koşullarda da etkili bir şekilde çalışabilir. Hızlı hareket eden nesnelere tarayabilme yeteneği, doğrudan ışık koşullarından bağımsız olarak işlevselliği sunar. Cihazlar, dış mekanlarda yoğun güneş ışığı veya yağmur gibi doğal etmenlerden etkilenmeden doğru taramalar yapabilmektedir. Bu durum, açık hava

inşaat projeleri ve tarihi yapıların taranması gibi durumlarda büyük bir avantaj sağlar. Genellikle taşınabilir ve kompakt bir tasarıma sahiptir. Bu özellik, özellikle saha çalışmalarında, tarayıcıların kolayca taşınmasını ve farklı alanlarda kullanımını mümkün kılar. Kullanıcı dostu arayüzleri, operatörlerin cihazı kolayca kontrol etmelerini ve veri toplama işlemlerini hızlı bir şekilde gerçekleştirmelerini sağlar. Elde edilen verilerin işlenmesi ve analiz edilmesi için gelişmiş yazılımlar ile uyumlu çalışır. FARO'nun "Scene" yazılımı, toplanan verilerin düzenlenmesi, işlenmesi ve analiz edilmesi için güçlü araçlar sunar (Fidan vd. 2022). Bu yazılım, noktaların hizalanması, modelleme, raporlama ve görselleştirme süreçlerini kolaylaştırır. Ayrıca, CAD (Computer Aided Design-Bilgisayar Destekli Tasarım) ve BIM (Building Information Modeling-Bina Bilgi Modelleme) yazılımlarıyla uyumlu çalışarak, verilerin başka platformlarla entegrasyonunu sağlar. 3D verilerin anlık olarak görselleştirilmesine ve gerçek zamanlı simülasyonların yapılmasına imkân verir. Bu özellik, kullanıcıların tarama sürecinde karşılaşılan potansiyel problemleri anında fark etmelerini sağlar. Gerçek zamanlı görselleştirme, özellikle büyük projelerde ilerlemenin izlenmesi ve potansiyel hata noktalarının tespit edilmesi için önemlidir. Yüksek hassasiyet, hız, uzun menzil, çevresel zorluklara dayanıklılık ve kullanıcı dostu tasarımıyla sektördeki en gelişmiş lazer tarama çözümlerinden biridir. İnşaat, mühendislik, mimarlık ve restorasyon gibi birçok alanda, bu cihazlar sayesinde yapıların dijital ortamda doğru bir şekilde modellenmesi ve analiz edilmesi mümkün hale gelmektedir. FARO'nun sunduğu gelişmiş veri toplama ve işleme yetenekleri, projelerin daha hızlı, verimli ve doğru bir şekilde tamamlanmasını sağlar.

### 3. Materyal ve Yöntem

Bu çalışma kapsamında, YLT yöntemi kullanılarak tekli bir yapının üç boyutlu (3B) modellenmesi gerçekleştirilmiş ve bu model üzerinden detaylı analizler yapılmıştır. Çalışmanın yürütülmesi sırasında kullanılan materyaller ve izlenen yöntemler aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

#### 3.1. Çalışma Alanı

Araştırmanın hedef yapısı, mimari açıdan özel bir öneme sahip olan, kısmen yıpranmış ve farklı yapısal bozulmalar içeren bir tekli yapı olarak seçilmiştir. Bu yapı, hem fiziksel hem de yapısal olarak tarama ve modelleme süreçlerinin etkinliğini değerlendirmek için uygun özelliklere sahiptir. Çalışma alanında, yapının çevresel faktörlerden etkilenmiş alanlarının detaylı bir şekilde belgelenebilmesi için saha koşulları

göz önünde bulundurulmuş ve veri toplama süreçleri bu bağlamda planlanmıştır.

#### 3.2. Kullanılan Ekipmanlar

YLT işlemleri için yüksek hassasiyetli bir lazer tarayıcı cihazı kullanılmıştır. Seçilen cihaz hem yapı yüzeylerinden hem de iç mekanlardan milimetrik doğrulukta veri toplayabilme özelliğine sahiptir. Ayrıca, hedef yapının tüm detaylarının yakalanabilmesi için aşağıdaki ekipmanlar ve yazılımlar kullanılmıştır:

**Lazer Tarayıcı:** FaroFocus 3D X 330

**Referans Hedefler:** Nokta bulutlarının birleştirilmesi ve hizalanması için hedef plakalar yerleştirilmiştir.

**Fotogrametri Destekli Kamera Sistemi:** Yüzey dokularının detaylı bir şekilde işlenmesi için Faro Focus 3D X 330 içerisinde kamera ile resimler çekilmiştir.

**Veri İşleme Yazılımı:** Nokta bulutu verisinin işlenmesinde SCENE yazılımı, segmentasyonu ve 3B modelin oluşturulması için kullanılmıştır.

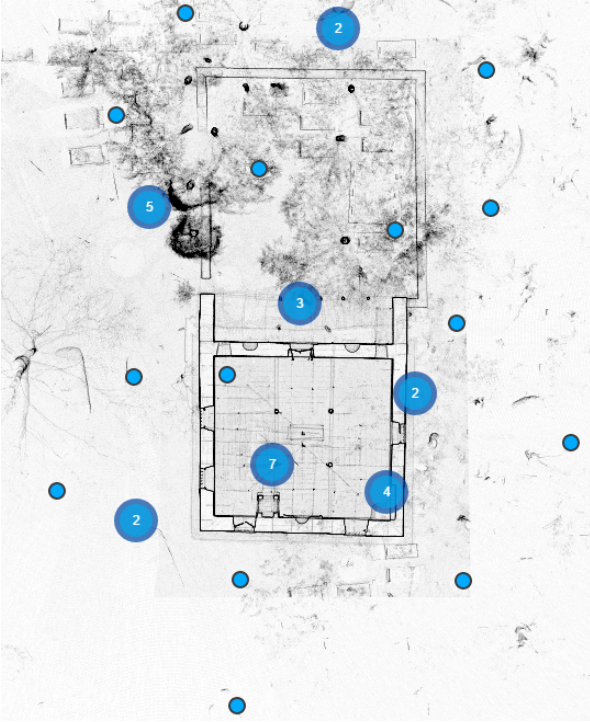
#### 3.3. Veri Toplama Süreci

Yapının dış cephesi ve iç mekanları ayrı ayrı taranmıştır. Bu süreç, belirli adımlar izlenerek gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, yapının çevresinde ve iç mekânında, lazer tarayıcı cihazının yerleştirileceği uygun tarama noktaları belirlenmiştir. Tarama noktaları, tarayıcıya olan görüş açısının kesintisiz olmasını ve minimum veri kaybını sağlayacak şekilde seçilmiştir. Sonraki adımda, yapının tüm yönlerinden veri toplamak amacıyla cihaz farklı noktalara yerleştirilmiş ve her tarama noktası için yüksek çözünürlüklü tarama gerçekleştirilmiştir. İç mekanlarda, yapının geometrik detaylarının ve mevcut durumunun tespitine odaklanılmıştır. Birden fazla tarama noktasından elde edilen nokta bulutlarının birleştirilmesi için, çalışma alanına kalibrasyon hedefleri yerleştirilmiş ve bu hedefler tüm tarama işlemlerinde referans olarak kullanılmıştır. Tarama işlemlerine ek olarak, yapı yüzeylerinin dokusal detaylarının işlenmesi amacıyla yüksek çözünürlüklü fotoğraflar çekilmiş ve bu fotoğraflar, nokta bulutlarıyla entegre edilmiştir.

Yapının taranması için kullanılan cihazlar, farklı noktalara yerleştirilmiş ve bu yerleşim bir plan üzerinde gösterilmiştir (Şekil 1). Plan, yapı üzerindeki her bir lazer tarayıcı cihazının konumunu belirten işaretler içerir. Cihaz konumları, yapıdaki belirli alanların verimli bir şekilde taranabilmesi amacıyla stratejik olarak yerleştirilmiştir.

Dış cephenin taranabilmesi için cihazlar, bina çevresinin farklı bölümlerine yerleştirilmiştir. Bu

cihazlar, dış yüzeyin tümünü taramak için farklı açıları ve mesafeleri kapsayacak şekilde konumlandırılmıştır. Özellikle bina köşelerine, ana girişlere ve geniş yüzeylere yakın noktalara yerleştirilen cihazlar, dış cephenin doğru bir şekilde modellenmesini sağlar.



Şekil 1. YLT cihazı genel oturum noktaları.

İç mekânlarda ise her odanın ve katın detaylı bir şekilde modellenebilmesi amacıyla cihazlar, odaların merkezi bölgelerine veya önemli yapısal elemanların bulunduğu noktalara yerleştirilmiştir. Bu sayede iç mekânların her bir bölümü doğru bir şekilde taranmış olur.

Yüksek alanlar ve çatı gibi erişilmesi zor bölgeler için cihazlar, bu alanlardan veri toplayacak şekilde yüksek noktalara yerleştirilmiştir. Bu yerleştirme, özellikle üst katlar ve çatı gibi daha zor taranabilen alanların verimli bir şekilde modellenmesini sağlar.

Yapının köşe noktalarına ve çıkıntılı alanlarına yerleştirilen tarayıcılar ise bu bölgelerdeki detayları daha hassas bir şekilde yakalamak için konumlandırılmıştır. Bu noktalar, yapının birleşim yerlerinde veya geçiş bölgelerinde daha fazla veri toplanabilmesi için önemlidir.

Büyük ve karmaşık yapılarda, tek bir cihazla yeterli veri toplanamayacaksa ekstra tarama noktaları belirlenmiştir. Bu noktalar, özellikle geniş alanlar, derin iç mekânlar veya çok katlı binalar gibi bölgelerde daha fazla veri toplanmasına olanak tanır.

Bu yerleşim, tarama işleminin her açıdan yapılmasını ve elde edilen verinin doğruluğunun artırılmasını sağlar (Şekil 2). Tarama noktalarının doğru konumlandırılması, daha kapsamlı ve doğru bir 3D model elde edilmesini mümkün kılar.



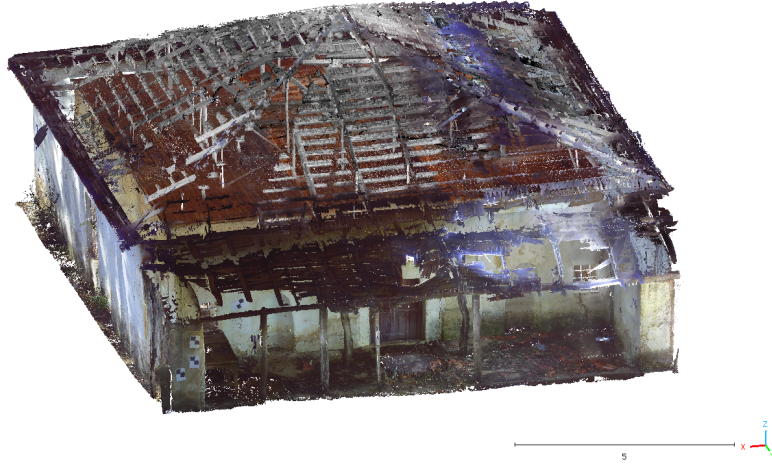
Şekil 2. YLT cihazı tekli yapı için oturum noktaları.

#### 4. Veri İşleme

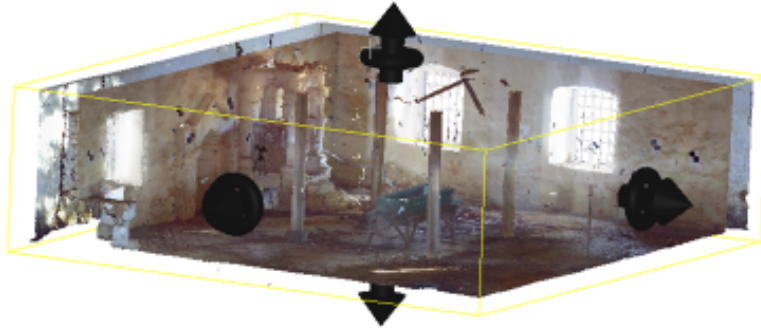
Toplanan veri, nokta bulutu olarak elde edilip analiz sürecine hazırlanmıştır. Veri işleme süreci şu adımlardan oluşmuştur: İlk olarak, farklı tarama noktalarından elde edilen nokta bulutları, yazılım aracılığıyla birleştirilmiş ve hizalanmıştır. Bu işlem, verilerin doğru bir şekilde birleştirilmesini ve ortak bir koordinat sistemine entegre edilmesini sağlamıştır. Ardından, tarama sırasında oluşabilecek veri gürültüsü ve istenmeyen noktalar yazılım yardımıyla temizlenmiştir. Bu aşama, tarama verilerinin doğruluğunu artırarak daha temiz ve doğru bir nokta bulutu elde edilmesini sağlamaktadır. Son olarak, işlenmiş nokta bulutları, yapının tam bir 3D modelini oluşturmak için yazılımda yüzey modeline dönüştürülmüştür. Bu işlem, yapı üzerinde detaylı bir dijital temsil oluşturulmasını mümkün kılmıştır. Oluşturulan model üzerinde ise yapı deformasyonları, eğim analizleri ve geometrik ölçümler yapılmıştır. Bu adım, yapının mevcut durumunun daha iyi anlaşılmasını ve olası yapısal sorunların tespit edilmesini sağlamaktadır.

Bu yöntem, yapının mevcut durumunu yüksek doğrulukla ortaya koymuş ve detaylı analizlerin gerçekleştirilmesine olanak sağlamıştır. YLT'nin, hem iç hem de dış mekânlar için uygulanabilir olması, yöntemin kapsamını genişletmiştir. Ayrıca, fotogrametri destekli dokusal verilerle entegre edilen model hem geometrik hem de görsel açıdan yüksek kalite sunmuştur. Modelin iç mekân görünümü Şekil 4'te, dış mekân görünümü Şekil 3'te sunulmuştur. Şekil 5'te yapının yükseklik haritası verilmiştir.

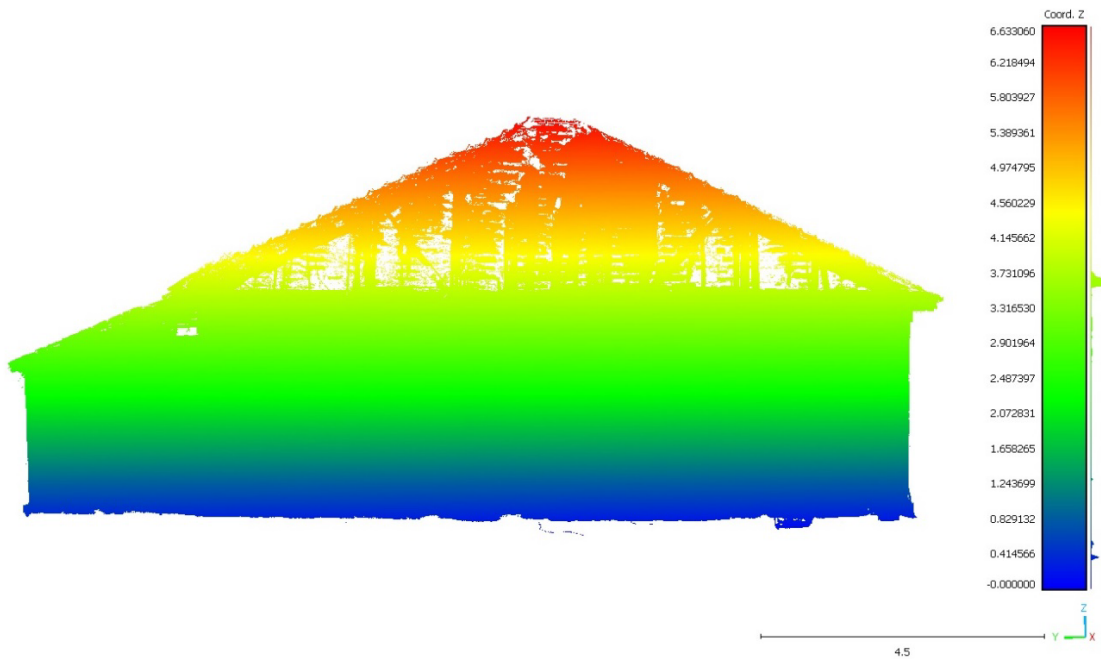
YLT teknolojisinin doğruluğunu, uygulama kolaylığını ve sağladığı zengin veri içeriğini ortaya koymak için detaylı bir şekilde yapılandırılmıştır. Yöntemlerin tekli yapıların belgelenmesi ve analizinde ne kadar etkili olduğunu gösterecektir.



Şekil 3. Nokta bulutu yapının dış mekân görünümü.



Şekil 4. Nokta bulutu yapının iç mekân görünümleri.



Şekil 5. Model yükseklik görünümü.

## 5. Bulgular

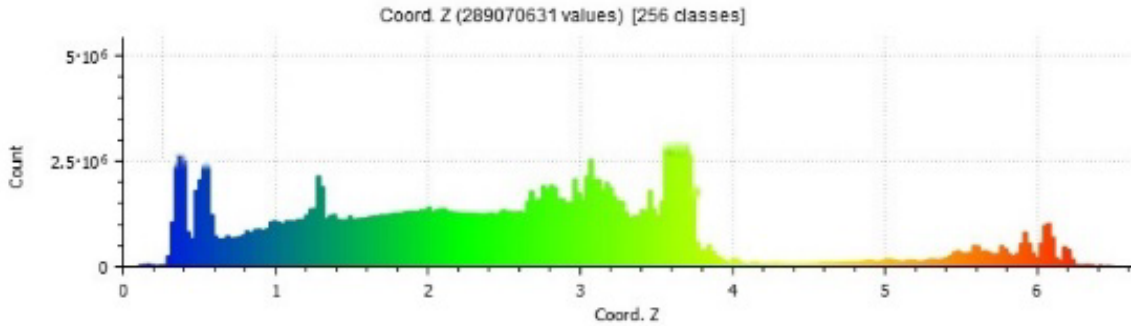
Farklı yüksekliklerdeki nokta sayısını gösteren analiz, yapı üzerinde toplanan verilerin yüksekliğe bağlı olarak nasıl dağıldığını ortaya koyar. Bu analiz, yapının farklı bölgelerinde ne kadar detaylı veri toplandığını ve hangi yüksekliklerde nokta yoğunluğunun arttığını gösterir. FARO cihazı ile yapılan lazer tarama işlemi sırasında, yükseklik farklarına göre nokta yoğunluğu değişebilir ve bu durum, yapının bazı alanlarının diğerlerine göre daha detaylı bir şekilde tarandığını gösterir.

Yüksek nokta yoğunluğu, yapının belirli bölgelerinin daha yakın mesafelerden tarandığını ve bu alanlarda daha fazla veri toplandığını gösterir. Bu durum, özellikle alt kısmı veya belirli yönleri daha yakın mesafelerden taranmış olan alanlarda geçerlidir. Yüksek yoğunluk, yüzey detaylarının daha hassas bir şekilde modellenmeye dahil edilmesini sağlar. Öte yandan, düşük nokta yoğunluğu olan bölgeler ise daha uzak mesafelerden yapılan taramalardan kaynaklanır. Uzun mesafelerde yapılan taramalar, nokta yoğunluğunun azalmasına neden olabilir ve bu bölgelerdeki veriler daha az detaylı olabilir.

Yüksekliklere göre değişen nokta yoğunluğu, yapının fiziksel özelliklerinden de etkilenebilir. Örneğin, yapının eğimli veya çıkıntılı bölgeleri, lazer tarayıcı tarafından daha zor erişilen alanlar olabilir ve

bu durum, daha düşük nokta yoğunluğuna yol açabilir. Yapının üst kısmı gibi daha uzak ve görüşün az olduğu eğimli bölgelerde de nokta sayısı genellikle düşük olduğu görülmüştür. Bu analiz, yapı üzerinde toplanan verilerin hangi bölgelerde daha yoğun olduğunu ve hangi alanlarda daha fazla veri toplaması gerektiğini göstermektedir (Şekil 6). Yüksek nokta yoğunluğu olan bölgeler, daha fazla detay ve doğruluk sağlarken, düşük yoğunluklu bölgelerde eksiklikler ve çözünürlük kayıpları olabilmektedir. Bu tür analizler, eksik verilerin tamamlanması için hangi alanlarda ek tarama yapılması gerektiğine dair bilgi verir ve modelin doğruluğunu artırmaya yardımcı olur.

Bu çalışmada, 39 adet lazer tarama oturumu gerçekleştirilmiştir ve toplamda 289.070.631 adet nokta toplanmıştır. Bu yüksek miktarda veri, yapı üzerindeki farklı bölgelere dair ayrıntılı bir modelin oluşturulmasına olanak sağlamış ve tarama işlemlerinin geniş kapsamlı bir analiz yapılmasına imkân tanımıştır. Nokta yoğunluğundaki değişiklikler, özellikle daha zor erişilen alanlarda belirginleşmiş olup, modelin doğruluğunu artırmak için hangi bölgelere ek tarama yapılması gerektiği net bir şekilde ortaya konmuştur. Bu sayede, verilerin doğruluğu ve modelin çözünürlüğü önemli ölçüde iyileştirilmiştir.



Şekil 6. Farklı yüksekliklerde nokta yoğunluk bilgisi.

## 6. Sonuçlar

Bu çalışma, YLT teknolojisinin tekli yapıların 3B modellenmesi ve analizi sürecindeki etkinliğini açıkça ortaya koymuştur. Çalışma kapsamında kullanılan FARO lazer tarayıcı, yüksek hassasiyeti ve hızlı veri toplama kapasitesi ile yapıların hem iç hem de dış mekânlarında detaylı bir model oluşturulmasını sağlamıştır. Elde edilen 3B model, yapının mevcut durumunu belgelerken aynı zamanda deformasyonlar, yapısal bozulmalar ve geometrik özellikler hakkında kapsamlı analizler yapılmasına imkân tanımıştır. YLT teknolojisinin geleneksel yöntemlere göre sunduğu hız, doğruluk ve esneklik avantajları, bu yöntemi restorasyon projelerinden inşaat mühendisliğine kadar

geniş bir yelpazede vazgeçilmez bir araç haline getirmektedir. Bununla birlikte, çalışmada karşılaşılan nokta yoğunluğu farklılıkları ve erişimi zor alanlarda veri eksikliği gibi zorluklar, daha fazla tarama noktası kullanımı veya İHA gibi destekleyici teknolojilerle giderilebilecektir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, YLT'nin karmaşık ve çok katmanlı yapıların belgelenmesi, tarihi yapıların zamansal değişimlerinin izlenmesi ve enerji verimliliği gibi sürdürülebilirlik odaklı analizlerdeki rolü incelenebilir. Ayrıca, yapay zekâ ve makine öğrenimi tabanlı algoritmaların nokta bulutlarının işlenmesi süreçlerine entegre edilmesi, hem veri analizi süreçlerini hızlandıracak hem de sonuçların doğruluğunu artıracaktır. Bu çalışma, YLT'nin sağladığı imkânların yanı sıra bu alandaki

potansiyel kullanım alanlarını da ortaya koyarak, yapı modelleme ve analizi süreçlerinde önemli bir referans oluşturmuştur.

Veri eksikliği yaşanan bölgelerde, lazer tarama teknolojisinin sınırlamalarını aşmak için alternatif yöntemler de kullanılabilir. Örneğin, lazer tarama cihazlarının erişim zorluğu yaşadığı eğimli, çıkıntılı veya uzak bölgelerde, bu eksikliklerin giderilmesi için İnsansız Hava Aracı (İHA) destekli fotogrametrik tarama yöntemleri veya ek taramalar yapılabilir. İHA'lar, özellikle yüksek çözünürlükte görüntü elde etme ve daha geniş alanları hızlı bir şekilde tarama imkânı sunarak, lazer tarama ile elde edilen verilerin tamamlanmasına katkı sağlayabilir. Ek taramalar ise nokta yoğunluğunun düşük olduğu bölgelerde daha fazla veri toplanmasını sağlayarak, modelin doğruluğunu artırabilir. Bu tür alternatif yöntemlerin kullanımı, eksik verilerin giderilmesinde ve yapının daha ayrıntılı bir şekilde modellenmesinde önemli rol oynamaktadır.

Yüksek hassasiyetli 3B modeller, restorasyon planlaması ve kültürel mirasın korunması süreçlerinde somut katkılar sağlamaktadır. Bu modeller, yapının mevcut durumunu doğru bir şekilde belgelendirerek, restorasyon çalışmalarının ihtiyaçlarını belirlemede büyük rol oynamaktadır. Örneğin, tarihi bir yapının dış cephelerinde meydana gelen deformasyonlar, çatlaklar veya malzeme kayıpları, 3B modelleme sayesinde ayrıntılı olarak tespit edilebilir. Bu, restorasyon ekibine, hangi bölgelerin öncelikli olarak güçlendirilmesi gerektiği konusunda net bir rehberlik sunar.

Nokta bulutu yoğunluğu farklılıkları, 3B modellemenin doğruluğunu ve güvenilirliğini etkileyebilir. Nokta yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde detaylar daha net bir şekilde modellenirken, yoğunluğun düşük olduğu bölgelerde ise çözünürlük kaybı yaşanabilir. Bu durum, modelde eksik veya hatalı veri olmasına yol açabilir ve bu da restorasyon veya inşaat süreçlerinde ciddi karar hatalarına neden olabilir.

#### Yazarların Katkısı

Makale tek yazarlıdır ve tüm katkı sorumlu yazara aittir.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

- Alptekin, A., Fidan, Ş., Karabacak, A., Çelik, M. Ö., & Yakar, M. (2019). Uçayak Örenyeri'nin yersel lazer tarayıcı kullanılarak modellenmesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 1(1), 16-20.
- Balcı, D., & Ulvi, A. (2024). Kültürel mirasların korunmasına yönelik LiDAR ve İHA fotogrametrisi yöntemlerinin birlikte kullanımı. *Türkiye Lidar Dergisi*, 6(1), 10-29.
- Çelik, M. Ö., Hamal, S. N. G., & Yakar, İ. (2020). Yersel lazer tarama (YLT) yönteminin kültürel mirasın dokümantasyonunda kullanımı: Alman Çeşmesi örneği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 2(1), 15-22.
- Çömert, R., Avdan, U., Tün, M., & Ersoy, M. (2012). Mimari belgelemede yersel lazer tarama yönteminin uygulanması (Seyitgazi Askerlik Şubesi Örneği). *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(1), 1-18.
- Dittrich, A., Weinmann, M., & Hinz, S. (2017). Analytical and numerical investigations on the accuracy and robustness of geometric features extracted from 3D point cloud data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 126, 195-208.
- Fidan, D., & Fidan, Ş. (2021). Yersel lazer tarama teknolojileriyle oluşturulan 3B modellerin akıllı kent uygulamalarında kullanımı: Mersin Süslü Çeşme örneği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(2), 48-57.
- Fidan, D., Oruç, M. E., Hamal, S. N. G., & Fidan, Ş. (2022). Tersine mühendislik uygulamalarında yersel lazer tarayıcıların kullanım olanaklarının araştırılması; klasik otomobiller örneği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 4(1), 1-10.
- Georgantas, A., Brédif, M., & Pierrot-Desseilligny, M. (2012). An accuracy assessment of automated photogrammetric techniques for 3D modeling of complex interiors. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 39, 23-28.
- Jia, F., & Lichti, D. D. (2019). A model-based design system for terrestrial laser scanning networks in complex sites. *Remote Sensing*, 11(15), 1749.
- Kaya, Y., Yiğit, A. Y., Ulvi, A., & Yakar, M. (2021). Arkeolojik alanların dokümantasyonunda fotogrametrik tekniklerinin doğruluklarının karşılaştırmalı analizi: Konya Yunuslar örneği. *Harita Dergisi*, 165, 57-72.
- Sabancı, A., & Özener, H. (2020). Mimari dokümantasyonda yersel lazer tarama teknolojisi kullanımı: Tarihi sismoloji binası örneği. *Türk Uzaktan Algılama ve CBS Dergisi*, 1(1), 45-52.
- Saponaro, M., Capolupo, A., Caporusso, G., Borgogno Mondino, E., & Tarantino, E. (2020). Predicting the accuracy of photogrammetric 3D reconstruction from camera calibration parameters through a multivariate statistical approach. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 479-486.



- 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, C. (2022). Yersel lazer tarayıcıların tarama çözünürlüğü üzerine bir araştırma: Bina içi örneği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 4(1), 21-26.

- Yılmaz, H. M., & Yakar, M. (2006). Yersel lazer tarama teknolojisi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 43-48.
- Yiğit, A. Y., & Ulvi, A. (2020). İHA fotogrametrisi tekniđi kullanarak 3B model oluřturma: Yakutiye Medresesi örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 46-54.
- Yiğit, A. Y., & Uysal, M. (2023). Dijital ikiz oluşturmada nokta bulutlarına dayalı analiz. *Bilecik Őeyh Edebalı Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(2), 318-329.



© Author(s) 2024.

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