



Mimari Karmaşıklığa Sahip Cami Yapıların Üç Boyutlu Belgelenmesinde Yersel Lazer Tarama Uygulaması

Muhammed Emin Bıyık^{1*}, Adem Kabadayı²

¹ Bağımsız Araştırmacı, Harita Mühendisi, Ankara, Türkiye; (muhammedeminbiyik3301@gmail.com)

² Yozgat Bozok Üniversitesi, Şefaati Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 66800, Yozgat, Türkiye; (adem.kabadayı@bozok.edu.tr)



*Sorumlu Yazar:
muhammedeminbiyik3301@gmail.com

Araştırma Makalesi

Alıntı: Bıyık, M. E. & Kabadayı, A. (2025). Mimari Karmaşıklığa Sahip Cami Yapıların Üç Boyutlu Belgelenmesinde Yersel Lazer Tarama Uygulaması. *Türkiye LiDAR Dergisi*, 7(1), 24-32.

Geliş : 21.05.2025
Revize : 12.06.2025
Kabul : 20.06.2025
Yayınlama : 30.06.2025

Özet

Günümüzde kültürel miras unsurlarının belgelenmesi, yalnızca tarihî yapıların korunması açısından değil, aynı zamanda bu yapıların dijital çağda erişilebilir, analiz edilebilir ve sürdürülebilir biçimde arşivlenebilmesi bakımından da büyük önem taşımaktadır. Dijital belgelenme yöntemleri, tarihî ve mimari yapıların fiziksel özelliklerinin detaylı biçimde kaydedilmesine imkân tanırken, aynı zamanda restorasyon planlamasından eğitim ve sanal turizm uygulamalarına kadar pek çok alanda kullanılabilir nitelikte veriler sunmaktadır. Özellikle dini mimarinin temsilcileri olan cami yapıları, estetik, mühendislik ve kültürel değerleriyle öne çıkan, belgelenmesi gereken özgün yapılarıdır. Bu çalışmada, kültürel miras kapsamında değerlendirilen cami yapılarına ait mimari unsurların üç boyutlu (3B) belgelenmesi amacıyla Yersel Lazer Tarama (YLT) yöntemi kullanılmıştır. Uygulama alanı olarak Mersin ili Yenişehir ilçesinde yer alan Müftü Abdullah Sıddık Camii seçilmiştir; yapının iç ve dış mekân geometrisi, yüksek çözünürlüklü nokta bulutu verileriyle detaylı biçimde modellenmiştir. Toplam 18 tarama oturumu gerçekleştirilmiş; elde edilen veriler üzerinde hizalama, gürültü temizliği ve mesh tabanlı 3B modelleme işlemleri uygulanmıştır. Modelin doğruluğu, hedef işaretleri ve uzunluk bazlı karşılaştırmalar yoluyla değerlendirilmiştir. Doğruluk analizinde ortalama fark 1.1 cm, RMSE değeri ise 0.011 m olarak elde edilmiştir. Bulgular, YLT'nin cami gibi mimari karmaşıklığı yüksek yapılarda etkili ve güvenilir bir belgeleme aracı olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak, yüksek kotlu unsurların (ör. minare tepesi) eksik taranması, görüş açısı kısıtları ve dış ortam etkileri gibi bazı sınırlılıklar da gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, çok kaynaklı veri birleşimi ve otomatik veri işleme teknikleri ile yöntemin etkinliğinin artırılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yersel lazer tarama, 3B modelleme, Kültürel miras, Cami belgelenmesi, Nokta bulutu, Doğruluk analizi.

Three-dimensional Documentation of Architecturally Complex Mosques Using Terrestrial Laser Scanning

*Corresponding Author:
muhammedeminbiyik3301@gmail.com

Research Article

Citation: Bıyık, M. E. & Kabadayı, A. (2025). Three-dimensional Documentation of Architecturally Complex Mosques Using Terrestrial Laser Scanning. *Turkish Journal of LiDAR*, 7(1), 24-32 (in Turkish).

Received : 21.05.2025
Revised : 12.06.2025
Accepted : 20.06.2025
Published : 30.06.2025

Abstract

Today, the documentation of cultural heritage elements is of great importance not only for the preservation of historical structures but also for ensuring their accessibility, analyzability, and sustainable archiving in the digital age. Digital documentation methods allow for the detailed recording of the physical characteristics of historical and architectural structures, while also providing usable data for a wide range of applications, from restoration planning to education and virtual tourism. In particular, mosque structures, as representatives of religious architecture, stand out with their aesthetic, engineering, and cultural values, and are unique buildings that warrant documentation. In this study, the Terrestrial Laser Scanning (TLS) method was employed for the three-dimensional (3D) documentation of architectural elements of mosque structures considered as cultural heritage. The Müftü Abdullah Sıddık Mosque, located in the Yenişehir district of Mersin, Türkiye, was selected as the application area. The mosque's interior and exterior geometries were modeled in detail using high-resolution point cloud data. A total of 18 scanning sessions were conducted, followed by point cloud registration, noise filtering, and mesh-based 3D modeling processes. The accuracy of the model was assessed through target-based registration and length-based comparisons. The accuracy analysis revealed a mean deviation of 1.1 cm and an RMSE value of 0.011 m. The findings demonstrate that TLS is an effective and reliable tool for documenting architecturally complex structures such as mosques. However, certain limitations were observed, such as incomplete scanning of high-elevation elements (e.g., minaret tops), restricted line-of-sight conditions, and environmental interferences in outdoor settings. It is recommended that the effectiveness of the method can be enhanced through multi-source data integration and the implementation of automated data processing techniques.

Keywords: Terrestrial laser scanning, 3D modeling, Cultural heritage, Mosque documentation, Point cloud, Accuracy analysis.

1. Giriş

Tarihi yapılar, geçmişten günümüze ulaşan, mimari, estetik ve kültürel değerler taşıyan önemli varlıklardır. Bu yapılar, sadece fiziksel öğeler değil; aynı zamanda geçmişle bağ kurmamızı sağlayan, toplumların tarihsel hafızasını ve kültürel kimliğini yansıtan yapılardır. UNESCO başta olmak üzere birçok uluslararası kurum, bu yapıların belgelenmesini, dijital olarak arşivlenmesini ve erişilebilirliğinin sağlanmasını sürdürülebilir miras yönetiminin ayrılmaz bir parçası olarak kabul etmektedir. Dijital teknolojilerin kültürel miras alanında yaygınlaşması, geleneksel koruma yaklaşımlarını tamamlayarak, veri güvenliği, uzun vadeli erişim ve çoklu analiz olanakları sunmaktadır.

Bu nedenle tarihi yapıların belgelenmesi, korunması ve gelecek nesillere aktarılması, kültürel sürdürülebilirliğin temel koşullarından biridir. Kültürel mirasın hasara uğramadan aktarılabilmesi için öncelikli adım, mevcut durumun doğru, ayrıntılı ve güvenilir biçimde belgelenmesidir (Campana & Remondino, 2008; Uslu vd., 2016).

Tarihi yapıların belgelenmesinde kullanılan yöntemler, zaman içinde teknolojinin gelişimine paralel olarak çeşitlenmiştir (Capolupo, 2021). Geleneksel yöntemler, şerit metre, şakül, karbon kâğıdı, jalon, prizma, mira, nivo ve teodolit gibi temel araçlarla yürütülmüştür. Ancak bu yöntemler, özellikle karmaşık geometri, detaylı ve hasarlı yapılarda ölçüm hataları, zaman kaybı ve düşük hassasiyet gibi önemli sınırlılıklar taşımaktadır. Bu durum, mimari belgeleme süreçlerinde daha hızlı, hassas ve kapsamlı veri sağlayabilen modern tekniklerin kullanımını zorunlu kılmıştır (Şenol vd., 2021).

Günümüzde bu ihtiyaca karşılık veren en etkili tekniklerden biri Yersel Lazer Tarama (YLT) yöntemidir. Lazer tarama sistemleri, bir nesne yüzeyine gönderilen lazer ışınlarının geri dönüş sürelerine dayanarak üç boyutlu (3B) konum bilgisi üretmektedir (Fangi vd., 2002; Xiong vd., 2013). Bu yöntemle kısa sürede, yüksek yoğunluklu ve yüksek doğruluklu nokta bulutları elde edilmekte; bu bulutlardan 3B modeller, kesitler, planlar ve çeşitli grafik çıktılar üretilmektedir. Özellikle karmaşık geometriye sahip mimari yapılarda lazer tarama, yüksek çözünürlüklü ve detaylı belgelemeyi mümkün kılar (Yiğit vd., 2024; Kabadaı ve Kaya, 2024).

YLT teknolojisinin etkin şekilde kullanılabilmesi, uygun tarama stratejilerinin belirlenmesi ve veri işleme süreçlerinin titizlikle yürütülmesine bağlıdır. Tarama sırasında cihaz konumlarının doğru planlanması, nokta bulutlarında boşlukların oluşmaması ve yapı geometrisinin eksiksiz yakalanması açısından kritik öneme sahiptir. Ayrıca elde edilen ham nokta bulutu

verileri, çeşitli yazılımlar aracılığıyla hizalama, filtreleme ve mesh oluşturma gibi işlemlerden geçirilerek kullanılabilir hâle getirilir. Bu süreçte özellikle renkli tarama (RGB destekli) ve çoklu çözünürlük kullanımı, hem belgelenen yüzeylerin görsel detaylarını artırmakta hem de son ürünlerin sunum ve analiz kalitesini yükseltmektedir. Böylece, YLT sadece veri toplama aracı değil; aynı zamanda bütüncül bir belgeleme ve analiz sisteminin temel bileşeni olarak işlev görmektedir (Ulvi & Yiğit, 2022).

YLT sistemlerinin sağladığı avantajlar arasında; hızlı veri toplama, ulaşılamayan alanların belgelenmesi, eksiksiz 3B veri üretimi, aydınlatma koşullarından bağımsız çalışma ve maliyet etkinliği sayılabilir. Bu özellikler, lazer taramayı özellikle kültürel miras alanlarında vazgeçilmez bir belgeleme aracı haline getirmiştir (Yiğit & Uysal, 2023; Go vd., 2013). Geleneksel fotogrametri yöntemleri, özellikle dış mekân uygulamalarında yüksek çözünürlüklü görüntülerle etkili sonuçlar verebilse de iç mekânlarda ışık koşulları, erişim kısıtları ve perspektif bozulmaları gibi sınırlamalar nedeniyle veri kalitesi düşebilmektedir. Benzer şekilde, İHA tabanlı belgeleme teknikleri geniş alanlar ve dış cephe geometrileri için avantaj sağlasa da dar geçiş alanları, kubbe içleri veya minarelerin alt kotları gibi bölgelerde görüntüleme yetersiz kalabilmektedir (Capolupo, 2021; Zachos, 2023). Buna karşın YLT hem iç hem dış mekânda yüksek detaylı ve yoğun nokta bulutu üretme kapasitesi sayesinde, özellikle cami gibi karmaşık mimariye sahip yapılarda geometrik sürekliliği bozmadan kapsamlı 3B modellemeyi mümkün kılmaktadır. Bu yönüyle, YLT tekniği diğer yöntemlerle birlikte veya onlara alternatif olarak, bütüncül ve hassas bir belgeleme yaklaşımı sunmaktadır.

Bu kapsamda, dini yapıların belgelenmesi de özel bir öneme sahiptir. İslam dünyasında camiler, sadece ibadet alanı değil, aynı zamanda sosyal ve kültürel hayatın da merkezinde yer alan yapılardır (İmtiaz vd., 2024; Lolytasari vd., 2021). Minareleri, kubbeleri, mihrapları ve zarif süslemeleri ile camiler, İslam mimarisinin estetik ve mühendislik birikimini yansıtır. Coğrafyaya göre farklılık gösteren mimari tarzları ve yapı teknikleri, her camiyi özgün ve belgelenmeye değer birer kültürel varlık haline getirmektedir (Zachos, 2023; Kwoczynska vd., 2018).

Bu çalışmada, bir cami yapısının yersel lazer tarama tekniğiyle üç boyutlu olarak belgelenmesi hedeflenmektedir. Çalışmanın temel amacı; TLS yönteminin kültürel miras belgelenmesindeki doğruluk, hız, maliyet ve kullanım kolaylığı açısından etkinliğini ortaya koymak, yöntemin avantaj ve sınırlılıklarını değerlendirmek ve gelecekte benzer yapılarda kullanılabilirliğine katkı sağlamaktır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışmada YLT tekniği ile 3B belgelenmesi gerçekleştirilen yapı, Mersin ili Yenişehir ilçesi Çiftlik Mahallesi sınırları içerisinde yer alan Müftü Abdullah Sıddık Camii'dir (Şekil 1). Çalışma alanı yaklaşık olarak $36^{\circ}47'18.9''$ kuzey enlemi ve $34^{\circ}32'13.6''$ doğu boylamı koordinatlarında konumlanmaktadır.

Müftü Abdullah Sıddık Camii; kubbeleri, minareleri, cephe düzenlemeleri ve dini mimariye özgü zarif süslemeleri ile hem estetik açıdan zengin hem de kültürel ve dini bağlamda anlamlı bir yapıdır. Farklı geometrilere ve detaylara sahip mimari öğeler içermesi nedeniyle, bu yapı karmaşık yüzey morfolojisinin modellenmesi açısından uygun bir örnek teşkil etmektedir. Bu özellikleri, caminin belgelemeye değer bir tarihi ve mimari karakter taşımasına olanak sağlamaktadır.

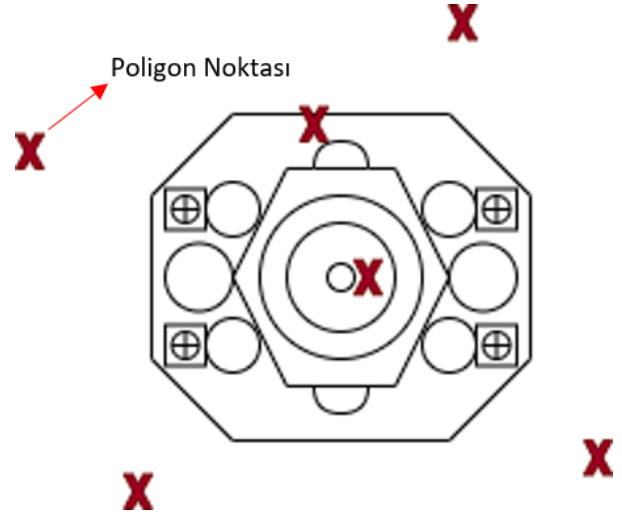


Şekil 1. Çalışma Alanı.

2.2. Materyal

YLT, yüzeylerin üç boyutlu olarak konumlandırılmasında yüksek hassasiyet sunan bir uzaktan algılama yöntemidir (Zeybek vd., 2015; Çelik vd., 2020). Sistem, lazer tarayıcıdan darbe şeklinde gönderilen ışının nesneye çarpıp geri dönmesi esasına dayanır. Lazer ışınının gönderilme ve geri dönme süresi arasındaki fark hesaplanarak, mesafe bilgisi elde edilir. Bu işlem, yüksek hassasiyetli sensörler yardımıyla gerçekleştirilir (Lemmens & Lemmens, 2011; Buckley vd., 2008).

Bu çalışmada, Müftü Abdullah Sıddık Camii'nin belgelenmesi amacıyla hem YLT hem de Total Station ölçümleri bir arada kullanılmıştır. İlk aşamada, yapı çevresine uygun konumda poligon noktaları yerleştirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Poligon noktaları.

Poligon noktaları, arazinin referans sistemine dayalı olarak tanımlanmasına ve tarama oturumlarının hizalanmasına olanak sağlamıştır. Her poligon noktasına, Topcon GM-50 Series Total Station cihazı ile ölçüm yapılmış; açı ve mesafe verileri elde edilerek ağ dengesi kurulmuştur (Şekil 3).

Veri bütünlüğünü sağlamak amacıyla, belirlenen poligon noktaları ile tutarlı olacak şekilde homojen dağılımlı hedef işaretleri yerleştirilmiştir. Bu noktalar, tarama verisinin yerel koordinat sistemine oturtulmasında kullanılmıştır.



Şekil 3. Hassas Ölçüm Cihazı ve hedef işareti.



Şekil 4. Yersel lazer tarama cihazı.

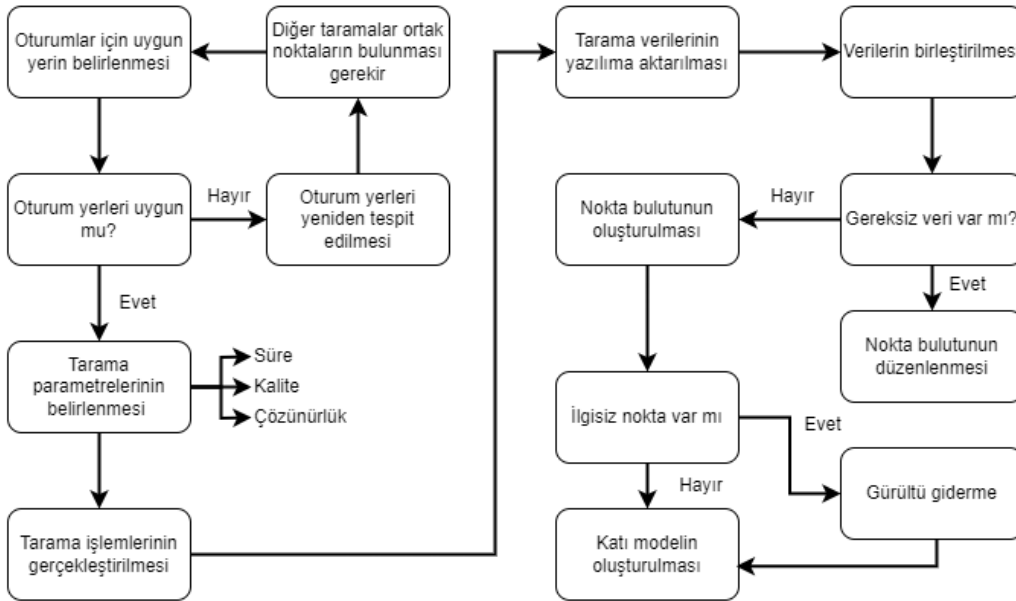
YLT verileri, FARO Focuss350 lazer tarayıcı ile toplanmıştır (Şekil 4). Tarama işlemleri hem cami içi hem de cami dışı alanları kapsayacak şekilde, bindirmeli oturumlarla gerçekleştirilmiştir. Her tarama oturumu yaklaşık 8 dakika sürmüş, cihaz iç ve dış mekân için sırasıyla 20 metre ve üzeri menzil ayarlarında yapılandırılmıştır. Tarama sırasında cihaz ile hedef yüzey arasında görüş hattının kesilmemesine özen gösterilmiş; veri kalitesini etkileyebilecek

yansıma, gölge veya fiziksel engeller minimize edilmiştir.

Elde edilen veriler, FARO Scene yazılımı kullanılarak işlenmiş, farklı oturumlara ait nokta bulutları ortak referans noktaları yardımıyla birleştirilmiştir. İşlem sırasında gürültü giderme ve gereksiz veri temizliği yapılmıştır. Tüm veri işleme süreci, Şekil 5'te sunulan iş akış şeması çerçevesinde yürütülmüştür. Cihazın teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Faro Focus özellikleri.

Özellikler	Değer
Netlik aralığı	614 metrede saniyede 122-488 bin nokta; 307 metrede saniyede 976 bin nokta
Mesafe	Kapalı veya açık alan ve %90'a kadar yansıtıcı yüzeyde normal geliş açısında 0.6m – 330m arası
Ölçümleme hızı	122.000/ 244.000/ 488.000/ 976.000 nokta/saniye
Mesafe hatası	±2mm (0,6 m-300 m arası)
Çözünürlük	Renkli 70 megapiksele kadar
Görüş aralığı (dikey/yatay)	300° / 360°
GNSS	Tümleşik GPS & GLONASS
Çözünürlük	Maksimumu 165 mega piksel



Şekil 5. Yersel lazer tarayıcı iş akış şeması.

2.3. Metot

Belgeleme süreci, caminin mimari karmaşıklığını ve fiziksel sınırlamalarını dikkate alacak şekilde önceden planlanmıştır. Yapı içi ve dışı olmak üzere toplamda 18 tarama oturumu gerçekleştirilmiş, oturum noktalarının seçiminde görüş alanı açıklığı, tarayıcı menzili, yüzey morfolojisi ve yansıma riskleri gibi kriterler gözetilmiştir. Dış mekân taramaları için 20–25 metre, iç mekân taramaları için ise 8–12 metre menzil aralığında çalışılmıştır. Tüm oturumlar arasında en az %60 oranında bindirme sağlanarak veri

sürekliliği ve hizalama doğruluğu artırılmıştır (Oruç ve Ulvi, 2023).

Tarama işlemleri, 1/4 çözünürlük ve 3× kalite ayarlarında gerçekleştirilmiş, her bir oturum yaklaşık 8 dakika sürmüştür. Bu ayar kombinasyonu, hem veri toplama süresini optimum seviyede tutmak hem de yapıdaki mimari detayları (süslemeler, kemer geçişleri, bordür çizgileri vb.) yeterli yoğunlukta yakalayabilmek amacıyla tercih edilmiştir. 1/4 çözünürlük, ortalama 20–25 milyon nokta üreterek hem iç hem dış mekân için yeterli ayrıntı düzeyi sağlarken; 3× kalite, özellikle kenar geçişlerinde oluşabilecek yansıma kaynaklı bozulmaları minimize

etmeye yardımcı olmuştur. Bu ayarlar, karmaşık yüzey morfolojisine sahip dini yapılarda önerilen minimum kalite standardını karşılamaktadır.

Veriler, FARO Scene 2020 yazılımına aktarılmış ve burada işleme alınmıştır. Scene yazılımı, hedef tabanlı ve bulut tabanlı kayıt (registration) yöntemlerini desteklemekte olup, bu çalışmada özellikle "Top View Based Registration" ve "Cloud to Cloud Fine Registration" modülleri tercih edilmiştir.

İlk aşamada, üstten görünüş temelli hizalama ile kaba konumlandırma sağlanmış, ardından C2C (Cloud-to-Cloud) yöntemi ile daha hassas eşleştirme gerçekleştirilmiştir. Top View yöntemi, dış mekânda geniş açıklıklı alanlarda hızlı hizalama için uygundur; C2C ise yapının karmaşık mimari yapısı (örneğin minare iç yüzeyi, mihrap alanı gibi) gibi detaylarda yüksek doğruluk sağlamaktadır. İki yöntemin birlikte kullanımı, özellikle hedef işaretlerinin sınırlı olduğu durumlarda daha güvenilir ve dengeli hizalama çıktısı vermiştir.

Oturumlar arası hizalama, referans hedeflerin sınırlı olduğu durumlarda nokta bulutlarının geometrik eşleştirilmesi ile gerçekleştirilmiş ve ortalama sapma değeri <2.5 mm olacak şekilde optimize edilmiştir.

Veri işleme sürecinde, ilk olarak ham nokta bulutları yazılım ortamında birleştirilmiş; ardından sahaya özgü gereksiz veriler (bitki örtüsü, insanlar, geçici nesnelere) manuel olarak temizlenmiştir. Gürültü temizliği için, istatistiksel aykırı değer analizi temelli "Statistical Outlier Removal (SOR)" ve çevresel yoğunluk analizi temelli "Radius Outlier Removal (ROR)" algoritmaları uygulanmıştır. Bu filtreleme adımları, özellikle dış mekân taramalarında oluşabilecek veri kalitesizliğini azaltmada etkili olmuştur.

Gürültü temizliği sırasında iki farklı algoritma kullanılmıştır. Statistical Outlier Removal (SOR) için her nokta çevresinde komşu sayısı = 30 ve standart sapma eşik değeri = 1.0 olarak belirlenmiştir. Bu sayede nokta bulutundaki rastlantısal uç değerler (örneğin yapıya temas eden kuş, insan hareketleri, yansıma bozulmaları) temizlenmiştir. Radius Outlier Removal (ROR) algoritmasında ise yarıçap = 0.3 m ve minimum komşu sayısı = 10 olarak seçilmiştir. Özellikle dış mekânda oluşabilecek seyrek bölgeler bu yöntemle elenmiş ve nokta yoğunluğu homojenleştirilmiştir.

Temizlenmiş nokta bulutu, üç boyutlu modelleme süreçlerine uygun formatlarda dışa aktarılmış ve daha sonra mesh oluşturma işlemleri için CloudCompare ve MeshLab yazılımları kullanılmıştır. Ön işlenmiş nokta verileri üzerinde Greedy Projection Triangulation (GPT) ve Poisson Surface Reconstruction algoritmaları uygulanarak, detaylı yüzey geometrisini yansıtan deliksiz bir 3B katı model elde edilmiştir. GPT yöntemi, yüzey ağı oluşturmak için kullanılırken; Poisson

yaklaşımı daha homojen ve analitik bir yüzey üretimini mümkün kılmıştır.

Model üretiminin ardından yapı üzerinde tanımlanan yüzeylerde, geometrik süreklilik, detay koruma kapasitesi ve eksik bölge durumu görsel olarak incelenmiştir. Nihai çıktı, üç boyutlu sayısal model olarak arşivlenmiş ve ileri analizler için kullanılmaya hazır hale getirilmiştir. Tüm süreç, Şekil 5'te sunulan iş akış şemasına uygun şekilde yürütülmüştür.

2.4. Doğruluk Analizi

Doğruluk analizi, üretilen üç boyutlu modelin geometrik güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, arazide total station ile ölçülen koordinat değerleri ile üç boyutlu model üzerinden elde edilen karşılık gelen değerler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma, nokta çiftleri arasındaki doğrusal mesafeler üzerinden yapılmış ve sonuçlar istatistiksel hata metrikleri ile değerlendirilmiştir (Duran vd., 2017, Yakar vd., 2009; Borkowski & Józko, 2012).

Analiz kapsamında toplam 20 referans noktası kullanılmıştır. Bunların 12'si kontrol verisi, 8'i test verisi olarak tanımlanmıştır. Kontrol verileri, modelin koordinat sistemine entegrasyon sürecinde referans olarak kullanılmış; test verileri ise analizde bağımsız doğrulama noktaları olarak değerlendirilmiştir. Her test noktası için, arazi verisi ile modelden hesaplanan değer arasındaki fark hesaplanmış, bu farklardan türetilen hata metrikleri kullanılarak genel doğruluk düzeyi belirlenmiştir.

Değerlendirmede uzunluk bazlı karşılaştırma yapılmış; örnek olarak iki nokta arasındaki arazi uzunluğu ile modelden elde edilen karşılık gelen mesafe kıyaslanmıştır. Ölçümlerden elde edilen sapmalar doğrultusunda Karesel Ortalama Hata (Root Mean Square Error - RMSE) değeri hesaplanmış, bu metrik modelin genel doğruluk seviyesini göstermede temel alınmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum |l_i|^2}{n}} \quad (1)$$

RMSE = Karesel ortalama hata

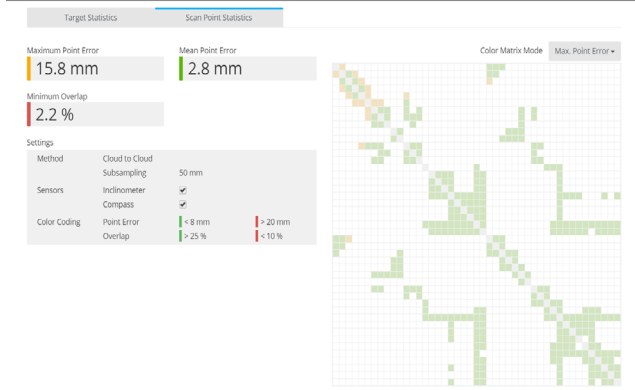
li= Gerçek uzunluk ile modeldeki uzunluk farkı

n = Ölçü sayısı.

3. Bulgular

YLT tekniği ile elde edilen veriler, yüksek doğrulukla işlenmiş ve cami yapısına ait detaylı bir üç boyutlu model oluşturulmuştur. Veri işleme aşamasında kullanılan Cloud to Cloud (C2C)

eşleştirme yöntemi ile yapılan kayıt sonrası dengeleme raporu, tarama oturumları arasındaki hizalama kalitesini göstermektedir (Şekil 6). Bu rapora göre, maksimum nokta hatası 15.8 mm, ortalama nokta hatası ise yalnızca 2.8 mm olarak hesaplanmıştır. Örtüşme oranının minimum %2.2 olarak belirlenmesine rağmen, genel hata seviyeleri kabul edilebilir mühendislik sınırları içerisinde. Bu durum, modelin genel geometrik tutarlılığının yüksek olduğunu göstermektedir.



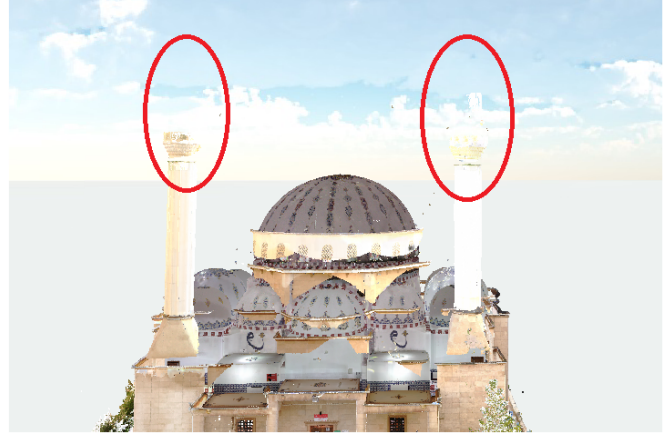
Şekil 6. YLT dengeleme raporu.

Modelin nokta bulutu verisi, dış cephe, kubbeler, minareler ve mimari süslemeler dâhil olmak üzere tüm detayları kapsamaktadır. Nokta bulutu hem renkli (RGB) bilgi hem de geometrik yoğunluk bakımından yüksek kalite sunmaktadır (Şekil 7). Tarama oturumları sonucunda elde edilen nokta bulutu yoğunluğu, yapı bölümlerine göre değişkenlik göstermiştir. Özellikle mihrap, sütun başlıkları ve kubbe iç yüzeyi gibi detaylı alanlarda ortalama noktalaşma sıklığı 2,500–3,000 pts/m² düzeyindeyken, minare tepelerine doğru bu değer 800 pts/m²'ye kadar düşmektedir. Nokta yoğunluğu haritası üzerinden yapılan bu değerlendirme, yapı üzerindeki veri zenginliğini görsel olarak da ortaya koymaktadır. Bu çıktı, kültürel miras yapılarının dijital arşivlenmesi açısından oldukça değerli bir veri sağlamaktadır.



Şekil 7. Caminin nokta bulutu verisi.

Bununla birlikte, yapıdaki bazı elemanların tam olarak modellenemediği alanlar da tespit edilmiştir. Özellikle cami minarelerinin üst bölümleri, erişim kısıtları, gökyüzüne karşı düşük kontrast ve açılal görüş zorlukları nedeniyle eksik taranmıştır (Şekil 8). Bu eksiklikler, lazer ışınının minare tepelerine ulaşamaması veya geri dönen sinyalin zayıf kalması ile ilişkilidir. Görüş engelleri ve geri yansımanın düşük olması gibi etkenler, YLT'nin belirli açılarda veri kaybı yaşamasına neden olabilir.



Şekil 8. Minarenin çıkmayan kısımları.

Modelin özellikle üst kubbe yapılarında detaylı geometri üretimi başarıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 9). Kubbe pencereleri, kemerler ve süslemeler tarama sonucunda yüksek doğrulukla elde edilmiştir. Bu bölge hem detay seviyesi hem de nokta yoğunluğu açısından modelin en güçlü kısımlarından biridir.



Şekil 9. Caminin üst kısmı.

Mesh modeli üzerinden yapılan yerel incelemeler, YLT verisinin karmaşık eğrisel yüzeylerde detaylı geometrik temsil sağladığını ortaya koymuştur. Özellikle kubbe eteğinde yer alan pencere kemerleri, mihrap girintisi ve süsleme bordürleri, deliksiz ve sürekliliği yüksek yüzeylerle modellenmiştir. Buna karşın, minarenin en üst kısmında yüzey sürekliliğinin

zayıfladığı ve küçük boşluklar oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu durum, önceden belirtilen nokta yoğunluğu düşüklüğü ile ilişkilidir.

Elde edilen model, sadece görsel sunum amaçlı değil; aynı zamanda restorasyon planlaması, mimari analiz, yapısal deformasyon izleme ve dijital arşivleme gibi çok sayıda uygulamaya yönelik kullanılabilir niteliktedir. Bu kapsamda oluşturulan modelin sonraki bölümde yapılan doğruluk analizinde de güvenilir olduğu ortaya konmuştur.

Elde edilen 3B model, yalnızca görsel sunum açısından değil; aynı zamanda restorasyon planlaması, yapısal analiz, mimari değerlendirme ve dijital arşivleme gibi çok çeşitli uygulama alanları açısından da kullanılabilir niteliktedir. Modelin bu tür uygulamalara uygunluğunu değerlendirebilmek için, arazi ölçümleriyle model üzerinden alınan veriler karşılaştırılmış ve sayısal bir doğruluk analizi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda hem kontrol noktaları hem de test verileri kullanılarak belirli uzunluklar üzerinden yapılan karşılaştırmalarla modelin geometrik tutarlılığı değerlendirilmiştir.

Tablo 2. Uzunluk ölçümlerine göre doğruluk analizi

Nokta Çifti	Gerçek Uzunluk (m)	Model Uzunluğu (m)	Fark (m)	Hata (%)
T1-T2	5.384	5.392	0.008	0.15%
T2-T3	6.240	6.226	0.014	0.22%
T3-T4	4.980	4.972	0.008	0.16%
T4-T5	3.752	3.765	0.013	0.35%
T5-T6	7.112	7.101	0.011	0.15%
T6-T7	6.033	6.042	0.009	0.15%
T7-T8	5.600	5.590	0.010	0.18%
T8-T9	3.248	3.263	0.015	0.46%
Ortalama	—	—	0.011	0.23%

4. Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada, Müftü Abdullah Sıddık Camii'nin üç boyutlu belgelenmesi için YLT yöntemi uygulanmış ve elde edilen verilerle yüksek doğrulukta bir 3B model üretilmiştir. Süreç boyunca 18 oturumda toplanan nokta bulutu verileri hem dış hem iç mekân detaylarını kapsayacak şekilde işlenmiş ve doğruluk analizleri ile değerlendirilmiştir.

Elde edilen bulgular, cami gibi mimari karmaşıklığı yüksek yapılarda YLT'nin detaylı, yüksek çözünürlüklü ve güvenilir belgeler üretebildiğini göstermektedir. Nokta bulutu yoğunluğu, geometrik süreklilik ve kayıt doğruluğu gibi teknik kriterler açısından değerlendirildiğinde, sistemin ortalama sapma değeri 2.8 mm, doğruluk analizinde hesaplanan RMSE değeri ise 0.011 m olarak elde edilmiştir. Bu

değerler, kültürel miras belgelenmesinde kabul edilebilir sınırlar içindedir.

YLT tekniği; klasik ölçme yöntemlerine kıyasla daha hızlı veri toplama, daha yüksek detay seviyesi ve zor ulaşılan bölgelerde çalışma imkânı gibi belirgin avantajlar sunmaktadır. Özellikle yapı dış cephesinde yer alan kubbeler, süslemeler, pencere kemerleri gibi mimari unsurlar, nokta bulutu üzerinden başarıyla modellenmiştir. Modelin bu yönüyle dijital arşivleme, restorasyon planlaması ve sanal sergileme gibi çok boyutlu uygulamalarda kullanılabilirliği yüksektir.

Ancak çalışmanın bazı sınırlılıkları da göz önünde bulundurulmalıdır. Öncelikle, minarelerin üst bölümleri gibi bazı yapısal alanlarda yeterli tarama verisi elde edilememiştir. Bu eksiklikler, özellikle dar görüş açısı, tarayıcı ile hedef yüzey arasında yeterli yansıma sağlanamaması ve yüksek kotlardaki detayların doğrudan erişilememesi gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, dış mekân taramalarında değişken ışık koşulları ve hareketli nesnelere (insan, araç vb.) veri kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir.

Özellikle minarelerin üst bölümlerinde yeterli veri elde edilememesi, YLT sistemlerinin görüş hattına dayalı çalışma prensibinden kaynaklanmaktadır. Bu tür yüksek ve dar yapı unsurlarının eksiksiz belgelenmesi için veri toplama stratejisinin genişletilmesi gerekmektedir. Örneğin, düşük irtifadan uçabilen mikro İHA sistemleri ile üst kotlardan alınacak eğik (oblique) görüntüler, bu boşlukları doldurmak için fotogrametrik olarak değerlendirilebilir. Ayrıca, iPad Pro gibi mobil LiDAR destekli cihazlar ile minare iç kısımlarında ya da dar alanlarda ek veri toplama yapılabilir. Bunun yanı sıra, sabit platform üzerine yerleştirilmiş eğilebilir açılı lazer tarayıcılarla üst kotlara yönelik özel oturumlar planlanması da çözüm sağlayabilir. Bu tekniklerin bir arada kullanılması, sadece eksik bölge sorununu azaltmakla kalmaz; aynı zamanda tüm yapının çok kaynaklı (multi-source) ve daha homojen bir modellemesini mümkün kılar. Dolayısıyla, gelecekte benzer belgelenme çalışmalarında, hibrit sensör kombinasyonlarına dayalı sistematik veri toplama protokollerinin geliştirilmesi önerilmektedir.

Bunun yanında, veri işleme aşamaları önemli ölçüde manuel müdahale gerektirmiştir. Özellikle nokta bulutunun temizlenmesi, hizalanması ve modelleme aşamaları, operatör deneyimine ve yazılım yetkinliğine bağlı olarak zaman alıcı olabilmektedir. Bu durum, otomasyon potansiyelinin hâlâ sınırlı olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, YLT yöntemi cami gibi tarihi ve kültürel yapılar için son derece uygun bir belgelenme aracıdır. Ancak yöntemin etkinliğini artırmak için, yüksek nokta yoğunluğu, hassas yer kontrol noktaları, görüş engellerinin azaltılması ve farklı veri kaynaklarının (örneğin İHA, fotogrametri, iPad LiDAR

vb.) entegre edilmesi faydalı olacaktır. Gelecek çalışmalarda, çoklu veri kaynaklarının birleştirilerek daha kapsamlı ve bütüncül modellerin oluşturulması önerilmektedir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen belgelenme faaliyetlerinden önce, ilgili yapının sorumluluğu altında bulunduğu Mersin Yenişehir İlçe Müftülüğü ile iletişime geçilmiş; proje hakkında bilgi verilmiş ve gerekli izinler resmi olarak alınmıştır. Çalışmanın tüm aşamaları, kurum bilgisi ve izni dâhilinde gerçekleştirilmiştir. Sağladıkları destek ve iş birliği için Yenişehir İlçe Müftülüğü'ne teşekkür ederiz.

Yazarların Katkısı

Muhammed Emin Bıyık: Yazılım, Saha Çalışması, Metodoloji, Modelleme, Yazım;
Adem Kabadayı: Metodoloji, Uygulama, Kontrol, Analiz, Yazım.

Çıkar Çatışması Beyanı

Bu çalışma da herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Borkowski, A., & Józków, G. (2012). Accuracy assessment of building models created from laser scanning data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 39, 253–258.
- Buckley, S. J., Howell, J. A., Enge, H. D., & Kurz, T. H. (2008). Terrestrial laser scanning in geology: Data acquisition, processing and accuracy considerations. *Journal of the Geological Society*, 165(3), 625–638.
- Campana, S., & Remondino, F. (2008). Fast and detailed digital documentation of archaeological excavations and heritage artifacts. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 1–6. (Not: Eksik cilt veya sayfa varsa lütfen kontrol ediniz)
- Capolupo, A. (2021). Accuracy assessment of cultural heritage models extracting 3D point cloud geometric features with RPAS SfM-MVS and TLS techniques. *Drones*, 5(4), 145.
- 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.

- Duran, Z., Atik, M. E., & Çelik, M. F. (2017). Yersel fotogrametrik yöntem ile yersel lazer taramanın karşılaştırılması ve doğruluk analizi. *Harita Dergisi*, 158, 20–25.
- Fangi, G., Fiori, F., Gagliardini, G., & Malinverni, E. S. (2002). Fast and accurate close range 3D modelling by laser scanning system. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34(5/C7), 196–203.
- Go, J. S., Jeong, I. H., Shin, H. S., Choi, Y. S., & Cho, S. K. (2013). A study on the construction of indoor spatial information using a terrestrial LiDAR. *Spatial Information Research*, 21(3), 89–101.
- Imtiaz, S., Arif, S., Nawaz, A., & Shah, S. A. R. (2024). Conservation of socio-religious historic buildings: A case study of Shah Yousuf Gardez Shrine. *Buildings*, 14(7), 2116.
- Kabadayı, A., & Kaya, Y. (2024). Tarihi sütunların yersel fotogrametri yöntemiyle 3 boyutlu modellenmesi ve web tabanlı görselleştirilmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 6(2), 48–53.
- Kwoczyńska, B., Piech, I., Polewany, P., & Gora, K. (2018, June). Modeling of sacral objects made on the basis of aerial and terrestrial laser scanning. In *2018 Baltic Geodetic Congress (BGC Geomatics)* (pp. 275–282). IEEE.
- Lemmens, M. (2011). Terrestrial laser scanning. In M. Lemmens (Ed.), *Geo-information: Technologies, applications and the environment* (pp. 101–121). Springer.
- Lolytasari, L., Sulistiono, B., Basuki, S., & Rahiem, M. D. H. (2021). The archival works at three historic mosques in Indonesia: The documentation of the society's religious and social life. *Journal Name Missing? (Lütfen dergi adını belirtiniz)*
- Oruç, M. E., & Ulvi, A. (2023). Maden sahalarındaki deformasyonların İHA'lar ile izlenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 5(2), 43–57.
- Şenol, H. İ., Yiğit, A. Y., Kaya, Y., & Ulvi, A. (2021). İHA ve yersel fotogrametrik veri füzyonu ile kültürel mirasın 3 boyutlu (3B) modelleme uygulaması: Kanlıdivane örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(1), 29–36.
- Uslu, A., Polat, N., Toprak, A. S., & Uysal, M. (2016). Kültürel mirasın fotogrametrik yöntemle 3B modellenmesi örneği. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(2), 165–176.
- Ulvi, A., & Yiğit, A. Y. (2022). Comparison of the wearable mobile laser scanner (WMLS) with other point cloud data collection methods in cultural heritage: A case study of Diokaisareia. *ACM Journal on Computing and Cultural Heritage*, 15(4), 1–19.
- Xiong, X., Adan, A., Akinci, B., & Huber, D. (2013). Automatic creation of semantically rich 3D building models from laser scanner data. *Automation in Construction*, 31, 325–337.

- Yakar, M., Yılmaz, H. M., & Mutluoğlu, Ö. (2009). Hacim hesaplamalarında laser tarama ve yersel fotogrametrinin kullanılması. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*.
- Yiğit, A. Y., & Uysal, M. (2023). Dijital ikizlerin geliştirilmesinde fotogrametrinin kullanımı ve artırılmış gerçeklik ile görselleştirilmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(4), 1372–1384.
- Yiğit, A. Y., Hamal, S. N. G., Ulvi, A., & Yakar, M. (2024). Comparative analysis of mobile laser scanning and terrestrial laser scanning for the indoor mapping. *Building Research & Information*, 52(4), 402–417.
- Zachos, A., & Anagnostopoulos, C. N. (2023). Using terrestrial laser scanning, unmanned aerial vehicles and mixed reality methodologies for digital survey, 3D modelling and historical recreation of religious heritage monuments. *arXiv Preprint arXiv:2401.01380*.
- Zeybek, M., Şanlıoğlu, İ., & Genç, A. (2015). Yüksek çözünürlüklü yersel lazer tarama verilerinin filtrelenmesi ve filtrelemelerin heyelan izlemeye etkisi. *Harita Dergisi*, 153, 35–43.



© Author(s) 2025.

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