



Yersel Lazer Tarama ile Mimari Koruma ve Restorasyon Süreçlerinin Dijitalleştirilmesi

Seda Nur Gamze Hamal ^{1*}, Ali Ulvi ^{2,3}

¹ Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Ana Bilim Dalı, 33110, Mersin, Türkiye; (sedanurgamzehamal@gmail.com)

² Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği, 33110, Mersin, Türkiye; (aliulvi@mersin.edu.tr)

³ Mersin Üniversitesi, Deniz Araştırmaları ile Hidrografik Ölçmeler ve İnsansız Deniz-Hava Sistemleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, 33110, Mersin, Türkiye; (aliulvi@mersin.edu.tr)



*Sorumlu Yazar:
sedanurgamzehamal@gmail.com

Araştırma Makalesi

Alıntı: Hamal, S. N. G., & Ulvi, A. (2024). Yersel Lazer Tarama ile Mimari Koruma ve Restorasyon Süreçlerinin Dijitalleştirilmesi. *Türkiye LiDAR Dergisi*, 6(2), 66-73.

Geliş : 24.11.2024
Revize : 13.12.2024
Kabul : 24.12.2024
Yayınlama : 31.12.2024

Özet

Bu çalışma, Yersel Lazer Tarayıcı (YLT) teknolojisi ile belgelenmesi, restorasyon ve restitüsyon süreçlerindeki kullanımını incelemektedir. Bu doğrultuda eski bir yapı üzerinde gerçekleştirilen çalışmada, FARO FocusS 350 lazer tarayıcı kullanılarak yapının üç boyutlu nokta bulutu ve ortofoto görüntüleri üretilmiştir. Elde edilen bu veriler, yapının mevcut durumunun detaylı bir şekilde belgelenmesini ve restorasyon projelerine temel oluşturacak hassas çizimlerin hazırlanmasını sağlamıştır. Çalışma kapsamında, YLT teknolojisinin geleneksel yöntemlere kıyasla sunduğu hız, hassasiyet ve doğruluk avantajları ortaya konulmuştur. Yapının röleve çalışmaları sırasında, ahşap, taş ve kerpiç gibi yapı elemanlarının malzeme bozulmaları detaylı bir şekilde belgelenmiş ve yapının mevcut durumundaki deformasyonlar tespit edilmiştir. Ayrıca, elde edilen veriler üzerinden, yapının restorasyon ve restitüsyon süreçlerinde kullanılabilirlik temel verileri sağlanmıştır. Sonuçlar, YLT teknolojisini tarihi yapıların belgelenmesi ve korunmasında etkili bir araç olduğunu göstermektedir. Çalışma, bu teknolojinin mimari koruma projelerine entegrasyonunun, yapılar üzerinde yapılacak müdahalelerin planlanmasında ve uygulanmasında kritik bir rol oynayabileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yersel lazer tarayıcı, Belgeleme, Restorasyon, Restitüsyon, 3B modelleme.

Digitization of Architectural Preservation and Restoration Processes Using Terrestrial Laser Scanning

*Corresponding Author:
sedanurgamzehamal@gmail.com

Research Article

Citation: Hamal, S. N. G., & Ulvi, A. (2024). Digitization of Architectural Preservation and Restoration Processes Using Terrestrial Laser Scanning. *Turkish Journal of LiDAR*, 6(2), 66-73 (in Turkish).

Received : 24.11.2024
Revised : 13.12.2024
Accepted : 24.12.2024
Published : 31.12.2024

Abstract

This study examines the documentation, restoration and restitution processes of Terrestrial Laser Scanning (TLS) technology. In this context, a FARO FocusS 350 laser scanner was used to produce three-dimensional point cloud and orthophoto images of an old structure. The data obtained provided detailed documentation of the status of the structure and the preparation of precise drawings that would form the basis of restoration projects. Within the scope of the study, the speed, precision and accuracy advantages offered by TLS technology compared to traditional methods were demonstrated. During the survey studies of the structure, material deteriorations of structural elements such as wood, stone and adobe were documented in detail and deformations in the status of the structure were determined. In addition, basic data that can be used in the restoration and restitution processes of the structure were provided through the obtained data. The results show that TLS technology is an effective tool in the documentation and preservation of historical structures. The study reveals that the integration of this technology into architectural conservation projects can play a critical role in the planning and implementation of interventions to be made on structures.

Keywords: Terrestrial laser scanner, Documentation, Restoration, Restitution, 3D modeling.

1. Giriş

Tarihi ve mimari yapıların belgelenmesi, bu yapıların mevcut durumunun kayıt altına alınması ve geleceğe aktarılması için kritik bir öneme sahiptir. Bu belgeler hem bilimsel araştırma hem de koruma çalışmalarında temel referans olarak kullanılır (Erdoğan vd., 2021). Mimari koruma projelerinde, yapıların detaylı bir şekilde belgelenmesi, restorasyon ve restitüsyon gibi hassas çalışmaların başarıyla yürütülmesi açısından vazgeçilmez bir gerekliliktir (Kabadayı, 2023a). Bu çalışmalarda kullanılan yöntemlerin hassasiyeti ve hızı, elde edilen sonuçların kalitesini doğrudan etkiler (Rossi vd., 2024).

Geleneksel belgelenme yöntemleri genellikle uzun süreçler ve yoğun emek gerektiren çalışmalarla yürütülür (Kabadayı & Erdoğan, 2022). Ancak bu yöntemler, karmaşık yapılara sahip tarihi eserlerin detaylı belgelenmesinde yeterli olmayabilir. Son yıllarda gelişen teknoloji, bu zorlukların üstesinden gelmek için çeşitli yenilikçi çözümler sunmuştur. Bu kapsamda, Yersel Lazer Tarama (YLT) teknolojisi, tarihi yapıların belgelenmesi ve korunmasında kritik bir çözüm olarak öne çıkmıştır.

Koruma ve restorasyon çalışmalarının başarısı, yapıların mevcut durumunun detaylı ve hassas bir şekilde kaydedilmesine bağlıdır. Restitüsyon, yani kaybolmuş ya da tahrip olmuş yapı unsurlarının yeniden canlandırılması süreci de aynı şekilde hassas belgeleme gerektirir. Bu süreçlerin her biri, mimari yapıların özgün karakterinin korunması ve doğru bir şekilde restore edilmesi için büyük bir önem taşımaktadır.

Günümüze kadar, çeşitli yöntemlerle restorasyon çalışmaları yapılmıştır ve bu yöntemler zamanla teknolojik gelişmeler ışığında dönüşüm geçirmiştir. Geleneksel yöntemler, yapıların elle ölçülmesi ve belgelenmesi gibi zahmetli süreçleri içermekteydi ve bu durum süreçlerin verimliliğini kısıtlamaktaydı (Carbonara, 2012; Savaş vd., 2024). Bu yöntemle, yapıların genel özelliklerini kaydetmekte yetersiz kalmakta ve bu süreçler çoğu zaman zahmetli, uzun süreli ve hata payı yüksek olmaktadır. Ancak teknolojinin gelişmesiyle birlikte, bu işlemler artık çok daha hızlı ve hassas bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Bu noktada, YLT teknolojisi devreye girmektedir (Xie vd., 2024; Liu & Li, 2024).

YLT tekniği, LiDAR (Light Detection and Ranging) sistemi içerisinde yer almaktadır (Buckley vd., 2008; Lemmens & Lemmens, 2011; Willkens vd., 2024). LiDAR sistemleri, uzaktan algılamanın temel prensiplerine göre ölçüm yapmaktadır (Pfeifer & Briese, 2007; Sturzenegger & Stead, 2009). LiDAR, nesnelere hassas, otomatik ve doğrudan koordinatlarını elde etmeye olanak tanıyan bir teknolojidir. Radar benzeri bir prensiple çalışan bu

teknoloji, tarayıcı sensörden gönderilen lazer atımlı ışık kullanarak nesnelere olan mesafeyi ölçer (Alikhodja vd., 2023). LiDAR sistemleri, saniyede binlerce nokta verisi toplayabilen otomatik ve sistematik bir işlem sürecine sahiptir. Bu özellikleri sayesinde LiDAR, fiziksel verilerin hızlı, hassas ve düşük maliyetli bir şekilde dijitalleştirilmesini sağlar (Roggerove & Diara, 2024). Tarama işlemi sonunda işlenen veriler istenilen formatlara dönüştürülebilmekte ve aktarılabilir. Ayrıca, LiDAR yöntemi diğer 3B modelleme yöntemleriyle de bütünleşerek birçok mühendislik uygulamasında tercih edilen bir teknoloji haline gelmiştir. Sağladığı bu avantajlar sayesinde LiDAR, üç boyutlu (3B) modelleme ve ölçme uygulamalarında son yıllarda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemde taranan objeye ait 3B nokta bulutu hassas ve hızlı bir şekilde elde edilebilmektedir. Elde edilen nokta bulutundan kültürel mirasın belgelenmesi için 3B modeller oluşturulabilmektedir. Bu bağlamda, üretilecek nokta bulutunun sıklığı ve metrik doğruluğu son derece önemlidir (Lichti & Gordon, 2004; Gabriele vd., 2010; Karasaka & Beg, 2021).

Uzun ve Spor (2019), yaptıkları çalışmada Elâzığ Harput Kale Hamamı'nda yersel lazer tarayıcı kullanılarak yapıların mevcut durumunun hassasiyetle belgelendiğini ve bu verilerin dijital ortamda yeniden modellenerek restitüsyon ve restorasyon süreçlerinde kullanıldığını göstermektedir (Uzun & Spor, 2019). Benzer şekilde Kabadayı (2023b) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Akşehir Kale kalıntılarının YLT yöntemiyle detaylı bir şekilde belgelenmesi sağlanmış ve elde edilen veriler, rölöve, restitüsyon ve restorasyon projelerinin hazırlanmasında kullanılmıştır. Bu tür çalışmalar hem belgelenme süreçlerinin hızlanmasını sağlamakta hem de elde edilen verilerin doğruluğunu artırmaktadır.

Bu çalışma, XX. yüzyıldan kalma tarihi bir yapının belgelenmesi örneği üzerinden, YLT teknolojisinin uygulama alanlarını ve sağladığı avantajları incelemektedir. Belgeleme süreci boyunca, yapının mimari detaylarını ve mevcut durumundaki bozulmaları tespit etmek amacıyla, FARO FocusS 350 lazer tarayıcısı kullanılmış ve hassas 3B modeller oluşturulmuştur.

Bu modeller, yapının rölöve, restorasyon ve restitüsyon projeleri için temel veri kaynağı olarak kullanılmıştır. Güncel çalışmalar, YLT'nin kullanımıyla elde edilen verilerin, geleneksel yöntemlere oranla daha hızlı, doğru ve çok yönlü olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda çalışmanın amacı, YLT'nin tarihi yapıların belgelenmesi sürecinde sağladığı katkıları ve bu teknolojinin mimari koruma projelerinde nasıl etkin bir araç olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Konutun Plan ve Mimari Özellikleri

Bu çalışmada ele alınan konut, XX. yüzyıl başlarına tarihlenmekte olup Şekil 1’de görüldüğü gibi iki katlı eski bir yapıdır. Yapı, bulunduğu bölgenin geleneksel mimari karakterini yansıtan belirgin özelliklere sahiptir. İnşa tekniği, kullanılan malzemeler ve plan şeması, dönemin diğer yapılarıyla benzerlik göstermektedir ve bu yönüyle bölgesel bir temsil niteliği taşımaktadır (Eldem, 1984).

Konut, zemin üzeri iki katlı olarak inşa edilmiştir. Ana inşa malzemesi olarak, su basman seviyesinde taş, üst bölümlerde ise ahşap karkaslı kerpiç dolgular kullanılmıştır. Bu malzeme seçimi, dönemin çevresel koşulları ve yapının dayanıklılığı göz önüne alınarak tercih edilmiştir. Beden duvarları dıştan sıvalı ve badana boyalıdır. Cephe düzeninde dikdörtgen formlu pencereler yer almakta olup, bu elemanlar yapıya hareketlilik kazandırmıştır. İkinci katta, dört yönde cepheden taşan bir yapı düzenlemesi göze çarpmaktadır. Ayrıca, sofa da dikdörtgen bir çıkma yaparak cephede belirgin bir özellik oluşturmaktadır. Çıkmalara, altta ahşap konsollarla desteklenmiştir.

İç mekânda, konutun asıl yaşama alanını oluşturan ikinci kat, iç sofalı plan şemasına sahiptir. Dikdörtgen planlı sofa, iki yanında ikişer adet oda ile çevrelenmiştir. Odalarda, dönemin mimarisine özgü yüklükler, ahşap kapaklı dolaplar ve ocaklar bulunmaktadır. Bu unsurlar, yapının iç mekân organizasyonunu ve kullanımını anlamada önemli ipuçları sunmaktadır. Üst örtü ise ahşap kirişlemeli bir tavan düzenine sahiptir. Yapının çatı örtüsü, dışarıdan kiremit kaplı kırma çatı formunda tasarlanmıştır. Odalar içerisinde yer alan ocakların bacaları, üst örtüye dikdörtgen kesitli olarak yansımaktadır.



Şekil 1. Konutun ön ve sağ cephe görünümü.

Bu yapının mimari önemi hem malzeme kullanımındaki özgünlüğü hem de iç mekân organizasyonundaki işlevsellik ile açıklanabilir. Ayrıca, zaman içerisinde yapıda meydana gelen

bozulmalar, tarihi yapıların korunması için alınması gereken önlemlerin önemini vurgulamaktadır. Konutun mimari karakteristiği, hem dönemin sosyal ve ekonomik yapısına hem de çevresel koşullara ışık tutmaktadır. Bu bağlamda, yapının mevcut durumu, gelecekte yapılacak restorasyon çalışmaları için önemli bir temel sunmaktadır.

2.2. Yersel Lazer Tarayıcı Teknolojisi

YLT tekniği herhangi bir objenin LiDAR teknolojisi vasıtasıyla örneklendiği veya tarandığı bir tekniktir. Lazer tarayıcı cihazından çıkan lazer ışını aracılığıyla nesne ile cihaz arasındaki mesafeyi ölçülebilmekte, nokta bulutu elde edilebilmekte ve bunun sonucu olarak istenilen detayın 3B modelini oluşturabilmektedir (Solla vd., 2024).

Bu teknikte, cihazdan çıkan lazer ışını ile nesneden yansıyan ışının fazları karşılaştırılır ve bu faz farkı yardımıyla mesafe hesaplanır (Li vd., 2024). Faz farkı, lazer sinyalinin yayıldığı ve geri döndüğü süre boyunca aldığı yolun uzunluğunu belirlemekte olup bu mesafe denklem 1’de verilmiştir.

$$d = \frac{\Delta\Phi c}{4\pi f} \quad (1)$$

Burada; d, cihaz ile nesne arasındaki mesafeyi (m) $\Delta\Phi$, gönderilen ve yansıyan sinyaller arasındaki faz farkını (radyan) c, ışık hızını ($\approx 3 \times 10^8$ m/s) f ise lazer sinyalinin frekansdır (Hz).

Bu çalışmada, yapının rölöve, restorasyon ve restitüsyon projeleri kapsamında belgelenmesi için YLT teknolojisi kullanılmıştır. Çalışma alanındaki yapı, tarihi ve mimari özellikleriyle dikkat çekmektedir. YLT, yapının mevcut durumunu hassas bir şekilde belgelemek ve üç boyutlu dijital modelini oluşturmak amacıyla kullanılmıştır. Bu amaç doğrultusunda FARO FocusS 350 lazer tarayıcı cihazı tercih edilmiştir. Bu cihaz, yüksek çözünürlüklü nokta bulutları üreterek yapının detaylı ve hızlı bir şekilde belgelenmesini sağlamaktadır. Başlıca özellikleri Tablo 1’de sunulmuştur.

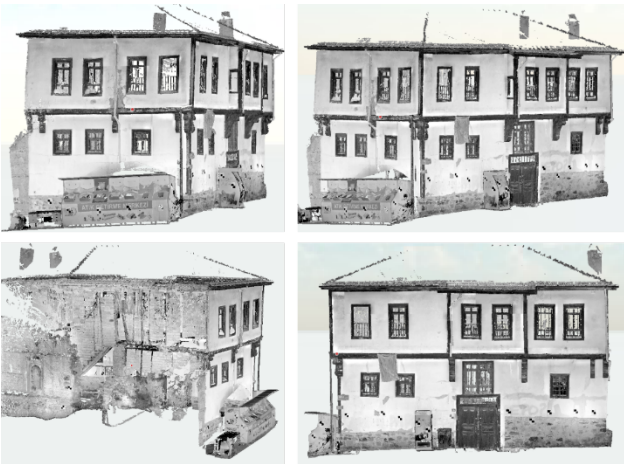
Tablo 1. Cihazın teknik özellikleri.

Özellik	Değer
Tarama Mesafesi	0.6m 350m
Ölçüm Hızı	976.000 nokta/sn
Ölçüm Doğruluğu (10-25) m ölçümler için	± 2 mm
Doğruluk	± 5 mm
Ağırlık	4.2 kg
Boyut	230x183x103 mm

2.3. Yersel Lazer Tarayıcı ile Veri Toplama ve Veri İşleme Prosedürü

Bu çalışmada, veri toplama işlemi için FARO FocusS 350 lazer tarayıcısı kullanılmıştır. Tarama işlemi sırasında, yapının tüm yüzeylerinin eksiksiz bir şekilde kaydedilmesi hedeflenmiştir. Veri toplama aşamasında toplam 15 istasyon noktası kurulmuş ve bu noktalar arasında %60 oranında örtüşme sağlanmıştır. Bu yaklaşım, verilerin doğruluğunu artırmak ve tarama sonuçlarının birleştirilmesini kolaylaştırmak amacıyla tercih edilmiştir. İstasyonların konumları, cihazın optimum görüş alanına sahip olacağı ve yapının tüm detaylarının kaydedilebileceği şekilde belirlenmiştir. Tarama süreci sırasında çevresel gürültü veya hareketli nesnelere gibi gereksiz veriler kaydedilmiştir ancak bu veriler veri işleme aşamasında temizlenmiştir.

Tarama işlemleri tamamlandıktan sonra elde edilen ham veriler FARO Scene yazılımına aktarılmıştır. Burada, nokta bulutları arasında bağlantılar buluttan buluta (cloud-to-cloud) yöntemiyle oluşturulmuş ve ± 5.6 mm hassasiyet sağlanmıştır. Nokta bulutu verileri arasında bağlantı sağlanırken örtüşen alanlardan alınan yüzey verileri referans olarak kullanılmıştır. Ayrıca, tarama sırasında kaydedilen yapıya ait olmayan gereksiz ve dağınık veriler (örneğin, çevresel gürültü veya hareket eden nesnelere) titizlikle temizlenmiştir. İşlemin son aşamasında, işlenmiş nokta bulutu (Şekil 2) verilerinden ortofoto görüntüleri üretilmiştir.



Şekil 2. Yapının farklı açılardan yoğun nokta bulutu görseli.

Bu görüntüler, restorasyon ve restitüsyon projeleri için temel veri kaynağı olarak kullanılmış ve yapının mevcut durumunun hassas bir şekilde analiz

edilmesini sağlamıştır. Bu süreçte, arazi çalışmaları 200 dakika, veri işleme aşaması ise 130 dakika sürmüştür. Lazer tarama teknolojisi sayesinde, yapının ayrıntılı ve hızlı bir şekilde belgelenmesi sağlanmıştır.

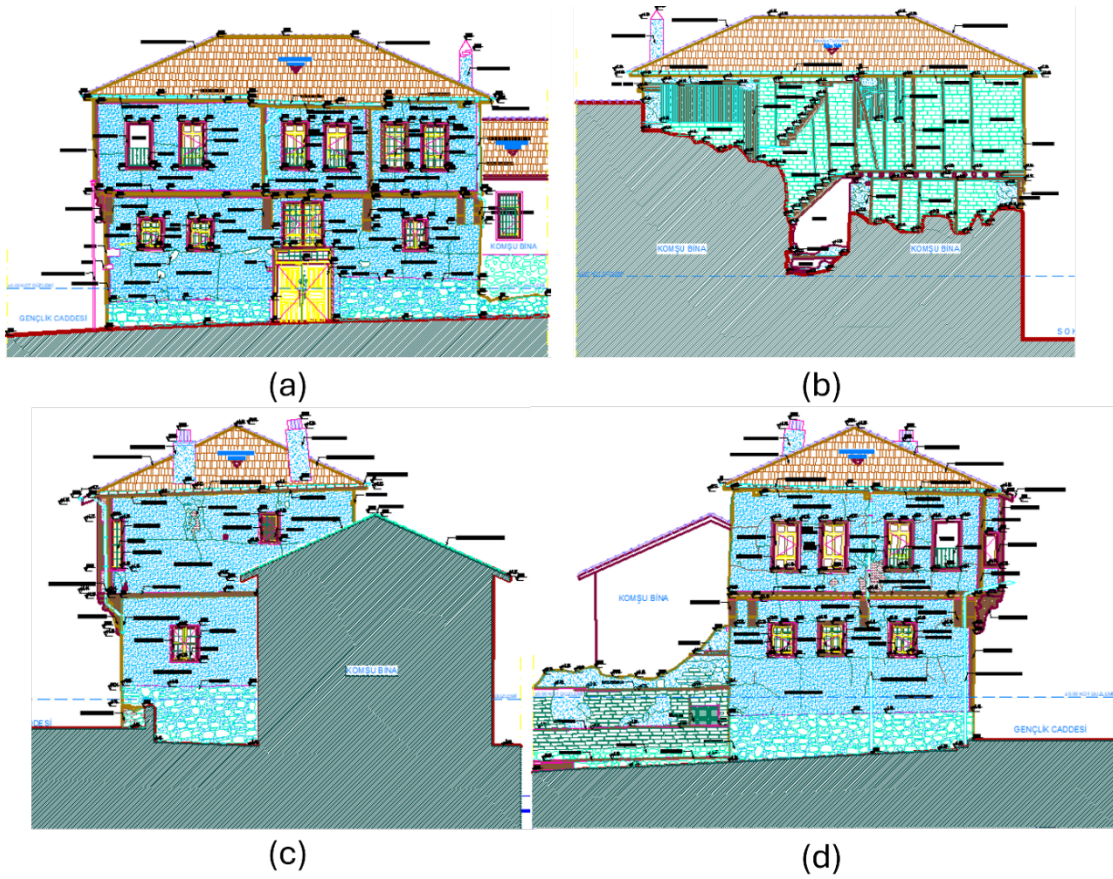
2.4. Ortofoto Üzerinden Çizim Tekniği

Ortofoto görüntüleri, tarama sırasında elde edilen nokta bulutu verilerinin, eğim, dönüklük ve yükseklik farklılıklarından kaynaklanan hataların düzeltilmesiyle elde edilen, geometrik doğruluğu yüksek sayısal görüntülerdir (Yastıklı, 2007). Bu görüntüler hem mimari belgelenme süreçlerinde hem de mühendislik projelerinde detaylı analiz ve planlama için önemli bir veri kaynağıdır. Bu çalışmada, FARO Scene yazılımı kullanılarak ortofoto görüntüleri üretilmiştir. İşlem sırasında, ilk olarak ortofoto oluşturulacak alanı temsil eden bir düzlem tanımlanmıştır. Daha sonra, bu düzlemi temsil eden nokta bulutları ve lazer tarayıcıdan elde edilen görüntüler kullanılarak perspektiften arındırılmış bire bir ölçekli ortofoto görüntüleri elde edilmiştir. Daha sonra AutoCAD yazılımı üzerinden bu görüntüler kullanılarak hassas çizimler gerçekleştirilmiştir.

Ortofoto görüntüleri üzerinden çizim yapılırken şu adımlar izlenmiştir:

- Düzlem Tanımlama: Çizim yapılacak alanı temsil eden bir referans düzlem oluşturulmuş ve bu düzlem üzerinde projeksiyon yapılmıştır.
- Görüntülerin Dönüştürülmesi: Nokta bulutu verileri kullanılarak, eğim ve perspektiften arındırılmış bire bir ölçekli görüntüler elde edilmiştir.
- Detaylı Ölçümler: Yapının cephe ve plan detaylarının ölçümleri hassas bir şekilde alınmış, çizimler bu ölçümlere dayandırılmıştır.
- Eksik Alanların Belirlenmesi: Tarama sırasında erişilemeyen veya tanımlanamayan alanlar, yaklaşık değerlerle tamamlanmış ve kesikli çizgilerle ifade edilmiştir.

Şekil 3, ortofoto görüntü üzerinden yapılan kuzey, güney, batı ve doğu cephelerine ait çizimleri göstermektedir. Bu çizimler, yapının mevcut durumunun belgelenmesi ve restorasyon projelerine temel oluşturması açısından kritik bir rol oynamaktadır. Ortofoto tekniği hem görsel doğruluk hem de zamandan tasarruf sağlaması nedeniyle, mimari belgelenme ve restorasyon süreçlerinde giderek daha fazla tercih edilen bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.



Şekil 3. Cephe görünüş çizimleri; kuzey cephe (a), güney cephe (b), batı cephe (c), doğu cephe (d).

3. Bulgular

Bu çalışmada, YLT teknolojisi kullanılarak tarihi bir yapının mevcut durumu detaylı bir şekilde belgelenmiş ve analiz edilmiştir. Çalışmada elde edilen nokta bulutları ve ortofoto görüntüleri, yapının genel durumu, malzeme bozulmaları ve geometrik özellikleri hakkında kapsamlı bilgiler sağlamıştır. Yapının dış cephelerinde sıva dökülmeleri, rutubet izleri ve taş duvarlarda derz boşalmaları gibi sorunlar gözlemlenmiştir. Pencere çerçevelerinde deformasyon, renk solmaları ve çatlamalar dikkat çekmiş; çatı kaplamalarında kiremit kırılmaları ve ahşap iskeletten kaynaklanan deformasyonlar belirlenmiştir. İç mekânlarda yapılan incelemelerde, ahşap kirişli tavanlarda yangın izleri ve çürümeler kaydedilmiştir. Sofa alanında sıva çatlakları ve dökülmeler gözlemlenirken, odalarda bulunan yüklük, dolap ve ocak gibi özgün mimari elemanlarda ciddi deformasyonlar ve aşınmalar tespit edilmiştir. Pencere ve kapılar gibi ahşap elemanlar zamanla aşırı yıpranmış, menteşe ve bağlantı noktalarında yapısal problemler ortaya çıkmıştır. Çatı kesitlerinde ise ahşap çatı iskeletinde çürümeler, kiremit kaplamalarda ise yer değiştirme ve kırılmalar görülmüştür.

Elde edilen nokta bulutları ve ortofoto görüntüleri, yapının geometrik doğruluğunu hassas bir şekilde ortaya koymuş; bozulmaların mekânsal dağılımını ve

yoğunluğunu net bir şekilde göstermiştir. Özellikle cephelerdeki sıva dökülmeleri, rutubet kaynaklı bozulmalar ve taşıyıcı elemanlardaki deformasyonlar dijital veriler üzerinden analiz edilmiştir. Ortofoto görüntüleri, yapının cephe detaylarını ve bozulmalarını üç boyutlu bir perspektifle belgeyerek restorasyon sürecine yönelik önemli veriler sağlamıştır.

Şekil 1, yapının ön ve sağ cephe görünümünü detaylandırmış ve dış cephelerdeki genel sorunları ortaya koymuştur. Cephe sıvalarında dökülmeler, boya aşınmaları ve rutubet izleri dikkat çekerken, taş duvarlarda derz boşalmaları ve yüzey bozulmaları belirgin hale gelmiştir. Pencere çerçevelerinde deformasyon ve renk solmaları; çatı saçaklarında ise malzeme kayıpları ve yıpranmalar gözlemlenmiştir. Bu bulgular, yapının dış yüzeylerinde çevresel etkilerin ve zamanın yol açtığı aşınmaları net bir şekilde ortaya koymuştur.

Şekil 2, yapının farklı açılardan oluşturulan nokta bulutu görsellerini sunmuş ve yapının geometrik doğruluğunu detaylı bir şekilde analiz etmeyi mümkün kılmıştır. Cepheler arasındaki yükseklik farklılıkları, taşıyıcı elemanlarda meydana gelen oturma izleri ve ahşap elemanlardaki çürümeye izleri bu görseller aracılığıyla belgelenmiştir. Ayrıca, kiremitlerdeki deformasyonlar ve çatlaklar nokta bulutu üzerinden hassas bir şekilde ölçülmüştür.

Şekil 3, kuzey, güney, batı ve doğu cephelerine ait çizimleri kapsamaktadır. Kuzey cephede sıva

dökülmeleri ve yoğun su izleri görülürken, güney cephede pencere çerçevelerinde deformasyon ve ahşap elemanlarda aşınma tespit edilmiştir. Batı cephede taş duvarlarda derz kayıpları ve yüzey bozulmaları belirginleşmiş; doğu cephede ise çatı saçaklarının su sızdırma nedeniyle ciddi şekilde hasar gördüğü belgelenmiştir. Bu cephe analizleri, yapının bozulma alanlarını mekânsal olarak net bir şekilde ortaya koymuştur.

Şekil 4, yapının iç mekân detaylarını ve tavan çizimlerini içermektedir. Sofa alanında sıva çatlakları ve dökülmeler yaygın olarak gözlenmiştir. Oda içlerindeki yüklük, dolap ve ocak gibi özgün mimari elemanlarda ciddi deformasyonlar ve malzeme kayıpları tespit edilmiştir. Ahşap yüzeylerdeki renk solmaları ve mekanik aşınmalar, iç mekânda çevresel etkilerin ve yetersiz bakımın zararlarını açıkça ortaya koymaktadır. Tavan kirişlerindeki yangın izleri ve çürümeler, yapı elemanlarının ciddi ölçüde zarar gördüğünü göstermiştir.

Şekil 5, çatının kesit detaylarını ve deformasyonlarını detaylandırmıştır. Ahşap çatı iskeletinde çürümeler, yük taşıma kapasitesinde azalmalar ve kiremit kaplamadaki kırılmalar net bir şekilde belgelenmiştir. Çatı saçaklarının su sızdırma nedeniyle deformasyona uğradığı ve bu durumun yapının genel dayanıklılığını olumsuz etkilediği tespit edilmiştir.

Şekil 6'da yer alan ortofoto görüntüleri, yapının genel bozulma alanlarını hassas bir şekilde analiz etmeye olanak tanımıştır. Ortofoto verileri, sıva dökülmeleri, taş ve kerpiç dolgularındaki çatlaklar ve deformasyonların mekânsal dağılımını açık bir şekilde ortaya koymuştur. Özellikle perspektif hatalarından arındırılmış görüntüler, cephe detaylarının doğruluğunu sağlamış ve restorasyon planlamasında kullanılacak önemli bir kaynak oluşturmuştur.

Elde edilen tüm bu bulgular, yapının mevcut durumu ve bozulma alanları hakkında kapsamlı bir bilgi sunmuştur. YLT teknolojisi ile üretilen veriler, restorasyon süreçlerinde bozulma alanlarının önceliklendirilmesini sağlamış ve özgün dokunun korunması için gereken müdahalelerin planlanmasına katkıda bulunmuştur. Ayrıca, nokta bulutları ve ortofoto görüntüler üzerinden üretilen cephe, plan ve kesit çizimleri, yapı elemanlarının detaylı analizi için temel bir araç olarak kullanılmıştır.

Sonuç olarak, YLT teknolojisi, tarihi yapıların hassas bir şekilde belgelenmesini ve restorasyon süreçlerine yönelik doğru müdahalelerin planlanmasını mümkün kılmıştır. Çalışmada elde edilen bulgular, YLT'nin mimari koruma projelerinde geleneksel yöntemlere kıyasla üstün bir çözüm sunduğunu göstermiş ve bu teknolojinin tarihi yapıların korunmasında vazgeçilmez bir araç olduğunu kanıtlamıştır.

4. Kısıtlama ve Eksiklikler

Bu çalışma, YLT teknolojisinin tarihi yapıların belgelenmesindeki etkinliğini ortaya koymuş olsa da bazı kısıtlama ve eksiklikler barındırmaktadır. Öncelikle, kullanılan teknolojinin belirli çevresel faktörlerden etkilenmesi önemli bir sınırlama olarak karşımıza çıkmaktadır. Tarama sırasında ışık, sıcaklık ve hava koşulları gibi çevresel değişkenler, verilerin kalitesini ve tarama süresini etkilemiştir. Ayrıca, bazı dar alanlara ve yüksek noktalara erişimde yaşanan zorluklar, eksik veri toplanmasına yol açmıştır. Özellikle çatı bölgeleri ve erişimi zor iç mekân alanları gibi bölgelerde, yaklaşık değerler kullanılarak analiz yapılmak zorunda kalmıştır.

Yapının belirli bölümlerinde gözlemlenen deformasyonlar ve eksiklikler de çalışmayı sınırlayan faktörlerden biri olmuştur. Ahşap kirişler, çatı kaplamaları ve pencere doğramalarındaki ciddi malzeme kayıpları, özgün detayların belgelenmesini zorlaştırmıştır. Bu durum, dijital modellerde eksik alanların tahmini olarak doldurulmasını gerektirmiştir. Bununla birlikte, nokta bulutlarının işlenmesi ve ortofoto görüntülerin üretilmesi sırasında karşılaşılan büyük veri işleme yükü, sürecin zaman alıcı ve yoğun bir yapıda ilerlemesine neden olmuştur.

Çalışmada yalnızca YLT teknolojisi kullanılmış ve diğer belgelenme yöntemleriyle (örneğin fotogrametri) karşılaştırma yapılmamıştır. Bu durum, farklı yöntemlerin sonuçlar üzerindeki etkilerinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini sınırlandırmıştır. Ayrıca, çalışma, yapının mevcut durumunun belgelenmesine odaklanmış olup, restorasyon ve restitüsyon süreçlerine dair öneriler teorik düzeyde kalmıştır. Bu süreçlerin uygulama sonuçlarına dair bir değerlendirme yapılmamıştır.

Yapının zaman içindeki değişimlerini anlamak için periyodik veri toplama işlemleri gerçekleştirilmemiştir. Tek seferlik tarama sonuçlarına dayalı analizler, bozulma süreçlerinin dinamik değerlendirilmesini kısıtlamaktadır. Bunun yanı sıra, yapı malzemelerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerine dair kapsamlı bir analiz yapılmamış; örneğin ahşap elemanların nem oranı veya taş malzemenin mikroyapısal bozulmaları incelenmemiştir. Çevresel etkilerin (örneğin iklim, nem ve sıcaklık değişimleri) yapının bozulmalarına katkısı dijital modellerde ele alınmamış ve bu faktörlerin etkisi derinlemesine analiz edilememiştir.

Son olarak, çalışmada yapının tarihi ve kültürel bağlamına dair detaylı bir değerlendirme eksik kalmıştır. Yapının inşa edildiği dönem ve bölgenin mimari özellikleri ile kültürel etkiler daha kapsamlı bir şekilde ele alınabilirdi. Bu eksiklik, çalışmanın yapıyı yalnızca fiziksel bir nesne olarak değerlendirmesine

neden olmuş; sosyal ve kültürel bağlamın katkılarını sınırlı bir şekilde yansıtabilmiştir.

Tüm bu kısıtlamalar ve eksiklikler, çalışmanın sonuçlarının daha geniş bir bağlamda değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Gelecekte, farklı belgelenme yöntemleri ile çok disiplinli yaklaşımlar kullanılarak bu eksikliklerin giderilmesi, tarihi yapıların belgelenmesi ve korunmasında daha kapsamlı bir bilgi sunabilir.

5. Sonuçlar

Yersel lazer tarayıcı teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışma, tarihi yapıların belgelenmesinde ve restorasyon süreçlerinin planlanmasında modern tekniklerin sunduğu benzersiz avantajları açıkça ortaya koymuştur. Gündüz ilçesindeki tarihi yapı üzerinde yapılan ölçüm ve analizler, YLT'nin geleneksel yöntemlere kıyasla sağladığı yüksek hassasiyet, hız ve detay seviyesi ile öne çıktığını göstermiştir.

Çalışma kapsamında elde edilen 3B nokta bulutu ve ortofoto görüntüleri, yapının mimari detaylarının dijital olarak belgelenmesini sağlamış; bu veriler üzerinden hassas plan, kesit ve görünüş çizimleri üretilmiştir. Yapının mevcut durumu detaylı bir şekilde analiz edilmiş ve şu bulgular öne çıkmıştır: duvarlarda sıva dökülmeleri, kerpiç dolguda malzeme kayıpları, ahşap elemanlarda çürümeler ve çatıda deformasyonlar. Bu bozulmaların mekânsal dağılımı ve yoğunluğu, yapı elemanlarının korunmasına yönelik müdahale planlarının hazırlanmasında kritik bir rol oynamıştır.

Sonuç olarak, YLT teknolojisi, tarihi yapıların belgelenmesinde ve restorasyon projelerine yönelik altlık oluşturulmasında vazgeçilmez bir araç olduğunu kanıtlamıştır. Çalışmada elde edilen veriler, yapıların mevcut durumlarının doğru bir şekilde belgelenmesini ve özgün özelliklerinin korunmasını sağlamıştır. Ayrıca, bu teknolojinin sunduğu detay seviyesi, restorasyon sürecinde yapılacak müdahalelerin planlanmasını daha verimli ve isabetli hale getirmiştir.

Bu çalışma, YLT teknolojisinin yalnızca tarihi yapıların belgelenmesinde değil, aynı zamanda restorasyon ve restitüsyon süreçlerinde geleneksel yöntemlerle entegre olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Gelecekte, bu teknolojinin diğer modern yöntemlerle birleştirilmesi, tarihi yapıların korunması ve gelecek nesillere aktarılmasında önemli bir rol oynayacaktır.

Gelecekte, YLT teknolojisinin etkinliğini artırmak için periyodik veri toplama ve izleme çalışmaları önerilmektedir. Bu yapıların bozulma süreçlerini dinamik bir şekilde anlamayı ve koruma stratejilerinin daha iyi planlanmasını sağlayabilir. YLT'nin İHA tabanlı fotogrametri, termal görüntüleme ve

multispektral analiz gibi yöntemlerle entegre edilmesi, bozulma nedenlerinin daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanıyacaktır.

Ayrıca, yapı malzemelerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerine dair analizlerin yapılması, bozulma süreçlerini daha iyi anlamayı sağlayabilir. Çevresel etkilerin modellendiği çalışmalar, restorasyon planlamalarında daha etkili stratejiler geliştirilmesine katkıda bulunabilir. Bunun yanında, tarihi yapıların kültürel ve tarihi bağlamlarının derinlemesine ele alınması, restorasyon süreçlerine bütüncül bir bakış açısı kazandıracaktır.

Son olarak, YLT teknolojisinin kullanımı konusunda uzmanlara yönelik eğitimlerin yaygınlaştırılması, bu teknolojinin daha geniş bir uygulama alanında etkin bir şekilde kullanılmasını sağlayabilir.

Yazarların Katkısı

Seda Nur Gamze Hamal: Yazılım, Saha Çalışması, Metodoloji, Modelleme, Yazım;
Ali Ulvi: 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

- Alikhodja, N., Zeglache, H., & Bousnina, M. (2023). Remote sensing method (TLS) in architectural analysis and constructive pathology diagnosis. *Research Square*.
- 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. <https://doi.org/10.1144/0016-76492007-100>
- Carbonara, G. (2012). An Italian contribution to architectural restoration. *Frontiers of Architectural Research*, 1(1), 2–9. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2011.11.001>
- Erdoğan, A., Kabadayı, A., & Akın, E. S. (2021). Kültürel mirasın fotogrametrik yöntemle 3B modellenmesi: Karabıyık Köprüsü Örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 3(1), 23-27.
- Gabriele, G., Danilo, G., & Marco, B. (2010). The employment of terrestrial laser scanner in cultural heritage conservation: The case study of Vallinotto

- Chapel in Carignano-Italy. *Applied Geomatics*, 2, 59–63. <https://doi.org/10.1007/s12518-010-0020-6>
- Kabadayı, A. (2023a). Kültürel Mirasın Dijital Arşivlenmesi: Emirci Sultan Türbesi ve Camii Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 5(2), 82-88.
- Kabadayı, A. (2023b). Yersel lazer tarama yöntemi ile rölove ve restitüsyon projelerinin hazırlanması; Akşehir Kale Kalıntısı örneği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 5(1), 17–25.
- Kabadayı, A., & Erdoğan, A. (2022). Application of terrestrial photogrammetry method in cultural heritage studies: A case study of Seyfeddin Karasungur. *Mersin Photogrammetry Journal*, 4(2), 62-67.
- Karasaka, L., & Beg, A. A. R. (2021). Yersel lazer tarama yöntemi ile farklı geometrik yapıdaki özelliklerin modellenmesi. *Geomatik*, 6(1), 54–60. <https://doi.org/10.29128/geomatik.646415>
- Lemmens, M., & Lemmens, M. (2011). Terrestrial laser scanning. *Geo-information: Technologies, Applications and the Environment*, 101–121. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1667-4_5
- Li, Z., Liu, J., Dong, Y., Hou, M., & Wang, X. (2024). From data acquisition to digital reconstruction: Virtual restoration of the Great Wall's Nine Eyes Watchtower. *Built Heritage*, 8(1), 22. <https://doi.org/10.1186/s43238-023-00068-9>
- Lichti, D. D., & Gordon, S. J. (2004). Error propagation in directly georeferenced terrestrial laser scanner point clouds for cultural heritage recording. In *Proceedings of FIG Working Week* (pp. 22–27). Athens, Greece.
- Liu, J., & Li, B. (2024). Terrestrial laser scanning (TLS) survey and building information modeling (BIM) of the Edmund Pettus Bridge: A case study. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, 379–386. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W4-2024-379-2024>
- Pfeifer, N., & Briese, C. (2007). Geometrical aspects of airborne laser scanning and terrestrial laser scanning. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(3/W52), 311–319.
- Roggero, M., & Diara, F. (2024). Multi-sensor 3D survey: Aerial and terrestrial data fusion and 3D modeling applied to a complex historic architecture at risk. *Drones*, 8(4), 162. <https://doi.org/10.3390/drones8040162>
- Rossi, A., Giner, S. L., & Barsanti, S. G. (2024). Digital twins for contemporary restoration of the Solimene Factory. In *Contemporary Heritage Lexicon: Volume 1* (pp. 249–265). Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-26708-1_20
- Savaş, S., Acar, E., & Acar, D. (2024). A project management model for architectural restoration projects. *International Journal of Construction Management*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/15623599.2024.1123451>
- Solla, M., Maté-González, M. Á., Blázquez, C. S., Lagüela-López, S., & Nieto, I. M. (2024). Analysis of structural integrity through the combination of non-destructive testing techniques in heritage inspections: The study case of San Segundo's Hermitage (Ávila, Spain). *Journal of Building Engineering*, 89, 109295. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.109295>
- Sturzenegger, M., & Stead, D. (2009). Close-range terrestrial digital photogrammetry and terrestrial laser scanning for discontinuity characterization on rock cuts. *Engineering Geology*, 106(3–4), 163–182. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.03.006>
- Uzun, T. İ., & Spor, Y. (2019). Yersel lazer (nokta bulut) tarama yöntemi ile rölove–restitüsyon-restorasyon projesi hazırlama süreci ve bir örnek: Elazığ Harput Kale Hamamı. *Tasarım+ Kuram*, 15(28), 1–26.
- Willkens, D. S., Liu, J., & Alathamneh, S. (2024). A case study of integrating terrestrial laser scanning (TLS) and building information modeling (BIM) in heritage bridge documentation: The Edmund Pettus Bridge. *Buildings*, 14(7), 1940. <https://doi.org/10.3390/buildings14071940>
- Xie, K., Zhang, Y., & Han, W. (2024). Architectural heritage preservation for rural revitalization: Typical case of traditional village retrofitting in China. *Sustainability*, 16(2), 681. <https://doi.org/10.3390/su16020681>
- Yastikli, N. (2007). Documentation of cultural heritage using digital photogrammetry and laser scanning. *Journal of Cultural Heritage*, 8(4), 423–427. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2007.06.003>



© Author(s) 2024.

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