


Yersel Lazer Tarayıcıların Tarihi Köprülerin Modellenmesinde Kullanımı

Adem Kabadayı ^{1*} 

^{1*} Yozgat Bozok Üniversitesi, Şefaattli Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 66800, Mersin, Türkiye;
(adem.kabadayi@bozok.edu.tr)



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

Araştırma Makalesi

Alıntı: Kabadayı, A. (2023).
Yersel Lazer Tarayıcıların
Tarihi Köprülerin
Modellenmesinde Kullanımı.
Türkiye LiDAR Dergisi, 5(2),
68-75.

Geliş : 24.11.2023
Revize : 12.12.2023
Kabul : 14.12.2023
Yayınlama : 31.12.2023

Özet

Tarihi alanları dijital olarak korumak için en son 3B ölçüm teknolojilerini kullanmak, haritalama çözümleri için yeni olanaklar sunuyor. Klasik takeometri gibi geleneksel yöntemler yerine lazer tarayıcıların kullanımı yaygınlaşmaktadır. Kullanılan donanımların geliştirilmesiyle 3B yersel lazer taramada elde edilen verilerin doğruluğunu ve duyarlılığını, tarama hızını, obje nesne arasındaki maksimum mesafeyi ve ölçülebilen obje hacmini arttırmak mümkün olmaktadır. Bu makale, tarihi köprülerin cephe verilerinin 3B ortamda belgelenmesi için yersel lazer tarama teknolojisinin kapasitesini değerlendirmektedir. Bunu, kayıtlı renklendirilmiş nokta bulutlarına dayalı 3B görselleştirme modelinin oluşturulması takip etmektedir. Çalışma, tarihi köprüünün geometri verilerini kaydetmek için yersel lazer tarayıcı olan FARO lazer tarayıcı sistemi kullanılmıştır. Geometrik nesnenin renk bilgisini yakalamak için lazer tarayıcıya entegre edilen kameradan elde edilmiştir. Lazer tarama yapılan istasyonların nokta bulutları arasındaki ortalama standart sapma kayıt sonrasında 4.4 mm olarak hesaplanmıştır. Teknolojik yaklaşımımız, otomatik renklendirme işlemi ile tarihi anıtın 3B renkli görselleştirme modelini oluşturma olanağı sağlamaktadır. Detaylı yüksek çözünürlüklü dijital görüntülerden RGB değerlerinin 3B nokta bulutu verilerine eklenmesi FARO Scene yazılımı kullanılarak tamamlanmıştır. Bu sayede 3B model çok daha fotoğrçekçi bir şekilde görselleştirilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Lazer tarayıcı, belgeleme, tarihi köprü.

The Use of Terrestrial Laser Scanners in Modeling Historical Bridges

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

Research Article

Citation: Kabadayı, A. (2023).
The Use of Terrestrial Laser
Scanners in Modeling
Historical Bridges. *Turkish
Journal of LiDAR*, 5(2), 68-75
(in Turkish).

Received : 24.11.2023
Revised : 12.12.2023
Accepted : 14.12.2023
Published : 31.12.2023

Abstract

Using the latest 3D measurement technologies to digitally preserve historic sites opens up new possibilities for mapping solutions. The use of laser scanners instead of traditional methods such as classical tachometry is becoming widespread. By improving the hardware, it is possible to increase the accuracy and sensitivity of the data obtained in 3D terrestrial laser scanning, the scanning speed, the maximum distance between object and object, and the volume of objects that can be measured. This paper evaluates the capability of terrestrial laser scanning technology for documenting facade data of historic bridges in 3D. This is followed by the creation of a 3D visualization model based on registered colored point clouds. The study uses the FARO laser scanner system, a terrestrial laser scanner, to record the geometry data of the historical bridge. The color information of the geometric object was obtained from the camera integrated in the laser scanner. The average standard deviation between the point clouds of the laser scanned stations was calculated as 4.4 mm after registration. Our technological approach allows us to create a 3D color visualization model of the historical monument with automatic colorization process. The RGB values from the detailed high-resolution digital images were added to the 3D point cloud data using FARO Scene software. In this way, the 3D model can be visualized in a much more photorealistic way.

Keywords: Laser scanning, documentation, historical bridges.

1. Giriş

Kültürel mirasın korunması, gelecek nesillerin tarihi olaylar hakkında eğitilmesi için önemlidir. Ayrıca, tarihi köprüler ve eserler geçmiş kuşaklardan bize kalan, bugün korunması gereken ve gelecek nesillere aktarmamız önem arz eden tarihi varlıklardır. (Prentice, 1993; Yılmaz & Uysal, 2017; Kaya vd., 2021). Kültürel miraslar insanlık tarihinin her döneminden en gelişmiş yöntemler, bilgiler ve yaşam tarzları bize aktarılmıştır (Ulvi vd., 2014; Yılmaz & Uysal, 2016; Alptekin & Yakar, 2021; Karataş vd., 2022; Kuşak vd., 2021). Bu nedenle, tarihi köprülerin ya da yerlerin incelenmesi ve görselleştirilmesi en önemli konulardan biri olmuştur. Büyük tarihi değerlerinden dolayı, tarihi eserlerin korunması çok önemli bir konudur. Bu eserler çok sayıda inşa, hasar ve restorasyon aşamasından geçmiştir ve olabilecek tehlikelere karşı savunmasızdır. Tarihi bir anıtın oldukça hassas bir şekilde ölçülmesi ve modellenmesi önem arz etmektedir. Çok detaylı bir yapıya sahip olmaları nedeniyle, bu yapıların 3B modellenmesi ve görüntülenmesi çok zaman ve çaba gerektirmekte, ayrıca çok yüksek işlem yeteneğine sahip bilgisayarlara gereksinim duyulmaktadır. Bu işlemleri kolaylaştırmak için yeni bir dijital 3B yersel lazer tarama tekniği geliştirilmiştir (Yılmaz, 2009; Kanun vd., 2021; Yakar & Doğan, 2017; Yılmaz & Yakar, 2006a). Bu tekniğin uygulanması, 3 boyutlu bir tarihi köprü modelinin otomatik yollarla algılanması için gereken süreyi azaltmaktadır. Araştırma topluluğu genellikle tarihi yapıların, köprülerin veya arkeolojik alanların yeniden inşası ve korunması için 3B lazer taramanın kullanımını bütünlük, doğruluk ve hız özellikleri nedeniyle kabul etmektedir (Ünal vd., 2004; Yılmaz & Yakar, 2006b; Yılmaz & Yakar, 2008; Yılmaz vd., 2015).

Konuyla ilgili çok sayıda çalışma, bilimsel araştırmalarda, yapı çevre uygulamalarında ve mirasın korunmasında kullanılmak üzere öğelerin ve konumların belgelenmesinde bir araç olarak yersel lazer tarayıcıların etkinliğini ortaya koymuştur. Ruther ve ark. (2009) tarafından yürütülen bir çalışmada, kültürel alanın doğru ve gerçekçi bir üç boyutlu modeli kullanıldığında gelecekteki restorasyon ve koruma çalışmalarının potansiyel estetik ve pratik sonuçları incelemiştir. Mevcut bilgiler hala kâğıt ve fotoğraf formatında olduğundan, kültürel mirasın dijital dokümantasyonu, gelecek nesiller ve yenileme için dijital bir referans ve kaydolarak çok önemlidir. Tasarımın karmaşıklığı ve yüksek hassasiyet gereksinimleri nedeniyle, geleneksel 3B modelleme araçları kültürel mirasla ilgili uygulamalar için genellikle yetersiz kalmaktadır; bunun aksine, 3B lazer tarama teknolojisi yapı detaylarındaki yüksek

ayrıntıları yakalayabildiğine değinmişlerdir. Ulvi ve ark. (2021), mühendislik alanındaki teknolojik gelişmeler, yeraltı hatlarını tespit etmek için giyilebilir mobil lazer tarayıcıların kullanılmasına yol açmıştır. Bu teknik, bilinmeyen ortamların haritalarını oluşturmak için eşzamanlı bir konum belirleme ve haritalama algoritması kullanarak kanalizasyon, su ve doğal gaz boru hatlarının belirlenmesini ve bunların GPS cihazlarıyla doğrulanmasını üzerine çalışma yapmışlardır. Ulvi ve Yiğit (2022), hızlı bir veri toplama tekniği olan giyilebilir mobil lazer tarayıcıların yönteminin doğruluğunu ve hassasiyetini kültürel mirasın korunmasına yönelik geleneksel yöntemlerle karşılaştırmaktadır. Çalışmalarında on sekiz kontrol noktasını ölçmek için total-station teknikleri kullanılmış ve her bir noktanın karesel ortalama hatası hesaplamışlardır. Yersel lazer tarayıcı yöntemi 0,8 cm ile en iyi karesel ortalama hatası değerine sahipken, insansız hava aracı fotogrametrisi ve Giyilebilir Mobil Lazer Tarayıcının yöntemleri sırasıyla 2,64 cm ve 4,92 cm karesel ortalama hatası değerlerine sahip olduğuna değinmişler. Çalışmalarında Giyilebilir Mobil Lazer Tarayıcı'nın kültürel miras belgelenmesinde önemli bir yenilik olduğu sonucuna varmışlardır. Ulukok ve Ulvi (2023), Yasadışı yerleşimler hem gelişmekte olan hem de gelişmiş ülkelerde önemli bir sorundur ve önemli mali, kaynak ve zaman kayıplarına neden olmaktadır. Yoğun kentsel alanlarda doğru haritalama ve izleme maliyetli ve zaman alıcıdır. Uzaktan algılama ve İHA teknolojileri haritalamada devrim yaratarak yasadışı yapıların tespit edilmesini kolaylaştırmışlar. Bu da çarpık kentleşmenin ve kaçak yapılaşmanın yol açtığı sosyo-ekonomik sorunların önlenmesini sağlamıştır. Sabit kanatlı İHA ile havadan görüntüleme yönteminin kullanıldığı bir çalışmada, iki farklı zamanda elde edilen ortofotolar kullanılarak belirli bir bölgede 163 kaçak yapı tespit etmişler. Teknolojideki bu ilerleme, şehirlerdeki çarpık kentleşmenin ve sosyo-ekonomik sorunların önlenmesine yardımcı olabileceğine değinmişlerdir. Alptekin ve ark. (2019), Mersin'deki Kanlıdivane Harabeleri de dahil olmak üzere Türkiye'nin tarihi eserlerinin korunması ve gelecek nesillere aktarılması için bilgisayar modellemesi gerekmektedir. Kalan az sayıdaki sağlam yapıdan biri olan türbenin 3B modeli, yerel bir lazer tarayıcı kullanılarak oluşturulabilmektedir. Model, turizm tanıtımı ve gelecekteki restorasyon çalışmaları için kullanılabilirliğine değinmişlerdir. Cheng ve ark. (2014), büyük çok katmanlı kavşak köprülerinin 3 boyutlu yeniden yapılandırılması için LİDAR verilerinin kullanımını araştırmaktadır. Nokta bulutu çıkarma, bağlantı tabanlı segmentasyon, restorasyonu ve 3 boyutlu modellemeyi içeren yapı birimlerine dayanan yeni bir çerçeve önerilmiştir. Çerçeve, hiyerarşik bir segmentasyon stratejisi ve tıkalı yapıları

tespit etmek ve geri yüklemek için otomatik bir teknik içermektedir. Deneysel sonuçlar, büyük karmaşık köprülerin tatmin edici 3 boyutlu modellerini göstermektedir. Avşar (2006), tarihi bir köprüyü dijital olarak fotoğraflamak için yer tabanlı fotogrametrik teknikler kullanılmış ve her taş için 2D ve 3D koordinatlar elde edilmiştir. Bu veriler, sanal bir model ve kısa bir avi video oluşturmak için kullanılmış ve bu tekniklerin kültürel mirasın korunmasındaki faydalarını göstermiştir. Edoğan ve ark. (2021), Yavuz Sultan Selim tarafından 1516 yılında yaptırılan Karabiyik Köprüsü'nün İnsansız Hava Araçları (İHA) kullanılarak fotogrametrik 3D modellemesini yapmışlardır. Veriler daha hızlı, hassas, güvenli ve ekonomik bir şekilde elde edilerek restorasyon projeleri için tarihi ve kültürel değerlerin kalitesi artmasına katkı sunduğuna değinmişlerdir.

3B yersel lazer taramanın (YLT) kültürel varlıkların kaydedilmesi ve belgelenmesindeki etkinliğinin kapsamlı bir şekilde belgelenmesi nedeniyle, son birkaç yılda uygulamasının arttığı görülmektedir. Bunun nedeni, kullanıcılara karmaşık 3B sahnelerin yapısı hakkında kısa sürede daha doğru mekânsal bilgiler verebilmesidir. Kullanıcılar bir köprüyü veya yapıyı interaktif olarak gezebilir ve nesnenin gerçekçi bir izlenimini yaratmak için lazer tarayıcı tarafından üretilen 3B renkli nokta bulutları verilerini kullanarak istenen herhangi bir açıdan veya konumdan gözlemleyebilir. YLT teknolojisi, daha ayrıntılı ve karmaşık 3B nokta bulutu verilerini birkaç dakika içinde üretirek ulaşılmaz zor yerlerde özellikle değerli hale getirmektedir. Ayrıca veri toplama verimliliğini de artırmaktadır.

Bu çalışmada, kültürel miras köprülerinin belgelenmesinde 3B YLT'nin pratik kullanımını gösteriyoruz. Bu proje için kullanılan yersel lazer tarayıcı sistemi, faz kaydırma tabanlı bir lazer tarayıcı olan FARO S 350'dir. Bu proje, FARO yersel lazer tarayıcı sisteminin yüksek detaylı geometrik verilerini yakalama kapasitesini değerlendirmektedir. Son olarak, tarihi köprünün 3B renkli görselleştirme modeli FARO Scene kullanılarak üretildi.

2. Materyal ve Metot

Tarihi köprünün belgelenme işlemleri yersel lazer tarama yöntemi ile yapılmıştır. Yersel lazer tarayıcılar uzunluk ölçüm prensiplerine göre üç sınıfa ayrılır: uçuş zamanı, üçgenleme ve faz farkı tarayıcıları. Uçuş zamanı tarayıcılarının tarama aralığı çok geniştir. Faz farkı ölçümüne sahip tarayıcılar daha kısa mesafeleri ölçebilir, ancak ölçüm doğruluğu uçuş zamanı ölçümüne sahip tarayıcılara göre daha hassas ve doğrudur. Ayrıca üçgenleme yöntemi ile çalışan lazer tarayıcılar faz farkı yöntemi ile ölçüm yapan lazer

tarayıcılara göre daha hassas ve doğru sonuçlar vermektedir. Bununla birlikte, üçgenleme yöntemini kullanan lazer tarayıcılar küçük nesnelere için etkilidir (Atik & Duran, 2020; Ogawa & Hori, 2019; Suchocki vd., 2020). Bu çalışmada kullanılan ve temel bilgileri Tablo 1'de verilen FARO Focus3B S350 lazer tarayıcı, 0,6-350 m aralığında ve saniyede 976.000 nokta toplama kapasitesi ile faz farkı yöntemine göre çalışmaktadır.

Tablo 1. Yersel lazer tarayıcı FARO Focus S350'nin üretici tarafından sağlanan teknik performans özellikleri (Faro, 2022).

Özellik	Değer
Ölçüm aralığı	0,6–350 m iç ve dış mekanda %90 yansıtıcı yüzeye dik geliş açısı
Ölçüm hızı	976.000 puan/saniyeye kadar
Menzil Doğruluğu (10-25 m ölçümler için)	±2 mm
Yerel Doğruluk	±5 mm
Görüş alanı (dikey/yatay)	300°/360°
Renk birimi çözünürlüğü	70 megapiksele kadar renkli
Lazer sınıfı Işın sapması	1 Tipik 0,19 mrad (0,011°) (1/e, yarım açı)

Çalışma için nokta bulutları 1 cm'lik bir mekânsal çözünürlükle elde edilmiştir. Bu değer, nihai 3B modelin ayrıntı düzeyi ile veri işleme için gereken bilgisayar kaynakları arasında kabul edilebilir bir uzlaşma olarak seçilmiştir. Taramalar aynı günde 20 oturum olarak gerçekleştirilmiştir. Bir araştırma tasarımı öncelikle YLT istasyonlarının konumlarını tanımlamalı, böylece istenen mekânsal çözünürlükte tüm nesne kapsamı garanti edilebilmelidir. Lazer tarayıcı yakın mesafelerde yaklaşık 1-2 mm hassasiyetle ölçümler üretebilir. Bir yüzey üzerindeki noktaların yoğunluğu tarayıcının çözünürlüğüne bağlı olacaktır (Dustin vd., 2016; Liscio & Le, 2022). Birçok lazer tarayıcı üreticisi, belirli bir mesafede nokta yoğunluğunu sağlayan bir ayar sunmaktadır. Örneğin, FARO lazer tarayıcıdaki 14'lük çözünürlük, 10 m mesafede yaklaşık 6 mm'lik bir nokta aralığına neden olmaktadır. Bu ayardaki nokta yoğunluğu, tarayıcıdan 5 m uzaklıktaki bir nesne için 3 mm ve tarayıcıdan 1 m uzaklıktaki bir nesne için 0,6 mm olmaktadır. Aksine kalite, bir noktanın örneklenme sayısı ile ilgilidir. Noktadan ne kadar çok örnek alınırsa verinin bilinen

veya gerçek değere mümkün olduğunca yakın olması gerekmektedir. Kalite ne kadar yüksek olursa tarama o kadar fazla zaman almaktadır. Örneğin, ¼ çözünürlükte ve 1x kalitede tarama süresi 1 dakika 30 saniye olurken, aynı çözünürlükte 4x kalite ayarında tarama süresi 7 dakika 46 saniye olmaktadır. Bu çalışmada ¼ çözünürlük ayarı ve 3x kalite ayarı kullanılmıştır (Liscio & Le, 2022). Tarayıcı duvardan kabaca 1 m uzağa yerleştirildi, bu da 1 mm'den daha az bir nokta aralığına yol açtığına değinmiştir.

Oturum yerlerinin konum belirleme işlemi sırasında, bir önceki tarama noktasında taranan alan ile bir sonraki noktada taranacak alan arasında minimum %60'lık bir örtüşme olmasına dikkat edilmiştir. Bazı test alanları yansıtıcı yüzeyler içermektedir. Lazer tarama teknolojilerinin çeşitli alanlardaki etkinliğini değerlendirmek olan çalışmanın amacı göz önüne alındığında, özellikle bu yansıtıcı bölgeler için ek önlemler uygulanmamıştır. Test, her biri kendine özgü yapısal özelliklere sahip dört farklı çalışma alanında gerçekleştirilmiştir. Her bir çalışma alanına ilişkin ilave kayda değer ayrıntılar ilgili bölümde verilmiştir. YLT verilerinin toplanmasının ardından, çeşitli yerlerden elde edilen tarama verileri buluttan buluta yaklaşımı kullanılarak entegre edilmiş ve ardından hedef noktalar kullanılarak coğrafi referanslama yapılmıştır. Referanslama öncesinde, her bir konum için nokta bulutu verileri Sapma filtresi, Karanlık tarama filtresi ve Mesafe filtresi yöntemleri kullanılarak filtrelemeden geçirilmiştir. Ayrıca, YLT nokta bulutu verileri bir temizleme işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra, veriler yeniden örnekleme tabi tutulmuş ve ardından görüntü işleme aşamasına geçilmiştir. Görüntü işleme alanında, Üçgen Ağ ve Doku Eşleme teknikleri kullanılarak 3B modellerin oluşturulması ve yüksek kaliteli modellerin üretilmesi sağlanabilir. Bu işlem görüntü işleme iş akışının son aşamasında gerçekleşir.

3. Bulgular

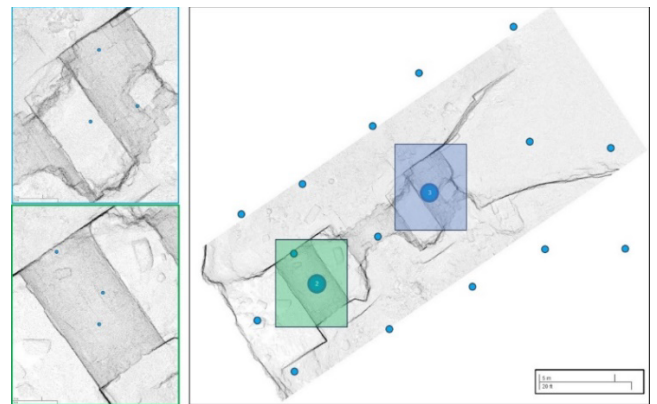
Tarihi Köprünün üzerindeki ve çevresindeki her tarama konumundan yakalanan YLT verileri, Şekil 1'de gösterildiği gibi, yapının büyük bir kısmını kapsayan büyük bir nokta bulutu oluşturmak üzere göreceli kayıt işlemine tabi tutulmuştur. YLT verilerinden geliştirilen nokta bulutunun sonucu, yaklaşık 909 milyondan fazla ayrık noktanın yanı sıra YLT'nin dahili kamerası aracılığıyla elde edilen renk bilgisini de içeriyor ve yaklaşık 18 gigabayt bilgisayar depolama alanı gerektiriyor.

20 tarama istasyonunun nokta bulutlarının filtrelenmesi ve kaydedilmesi/birleştirilmesi süreci, yoğunluk filtresi, karışık ve tek piksel filtreleri ve manuel gibi tahribatsız genel filtreler dikkate alınarak lazer tarama cihazının kendi yazılımı olan Scene kullanılarak gerçekleştirildi. İstenmeyen noktaları ortadan kaldırmak için gürültü azaltma filtresi uygulandı. Kayıt sürecinin zorlu kısmı, köprü tabliyesi seviyesinde alınan taramalar ile köprü tabliyesi altında alınan taramalar arasındaki ortak noktaları bulmak/eşleştirmektir. Bu bağlamda, otomatik tarama hizalama/buluttan buluta tekniği ve bazı belirli ortak noktaların hedef olarak seçilmesi ile bulunan yapay hedefler, iyileştirme amacıyla kullanılmıştır. Genel olarak tarama istasyonlarının nokta bulutları arasındaki ortalama standart sapma kayıt sonrasında 4, 4 mm olarak hesaplandı (Şekil 2).

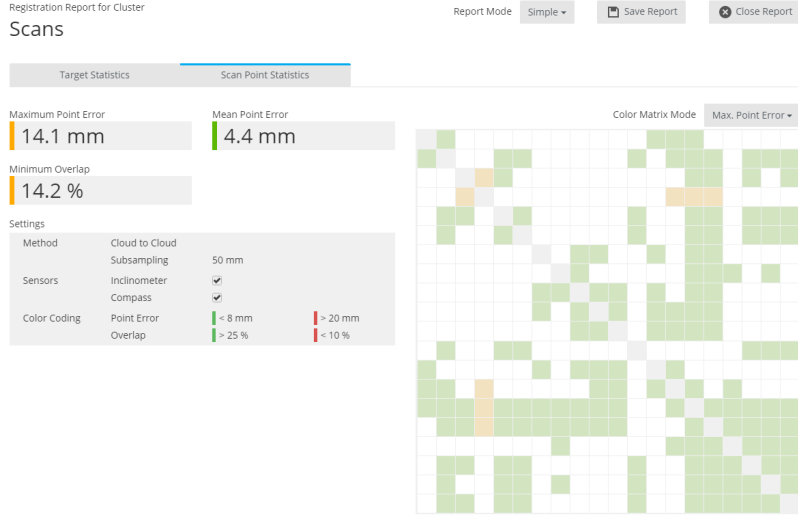
Lazer taramanın en son teknolojisi, hızlı, hassas ve hacimli veri toplama açısından avantajlar sağlamaktadır. Bununla birlikte, bazı yaygın endişeler/hatalar, elde edilen veri noktasının kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir ve bazı durumlarda, mevcut koşullarla karşılaştırıldığında hatalı 3B modellere ve yanlış yorumlara yol açabilir. Sonuç olarak Şekil 3 ve 4'te görüldüğü üzere tarihi köprünün yüksek kalitede 3B nokta bulutu üretilmiştir.

Yüksek kalitede 3B nokta bulutları üretildikten sonra bu veriler üzerinden Şekil 5'te gösterilen sayısal yükseklik modeli üretilmiştir.

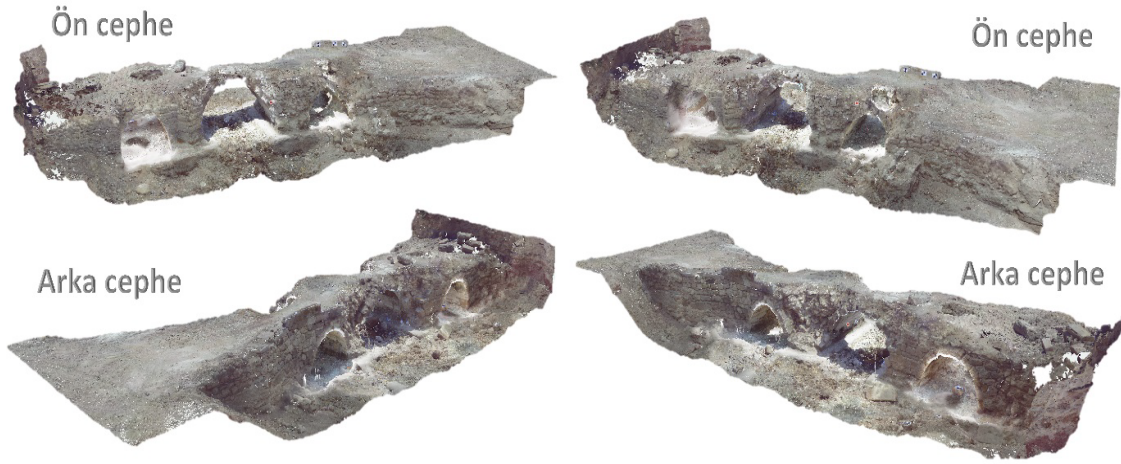
Üretilen veriler yardımıyla hassas belgelemenin yanında çeşitli metrik analizleri yapılabilmektedir. Örneğin herhangi iki nokta arasında mesafe veya hacim hesabı gibi ayrıca çeşitli hat kesitleri veya yüzey kesitleri alınabilmektedir. Örnek olarak köprünün bir cephesine ait yüzey kesiti olan ortofoto Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 1. Tarama konumları.



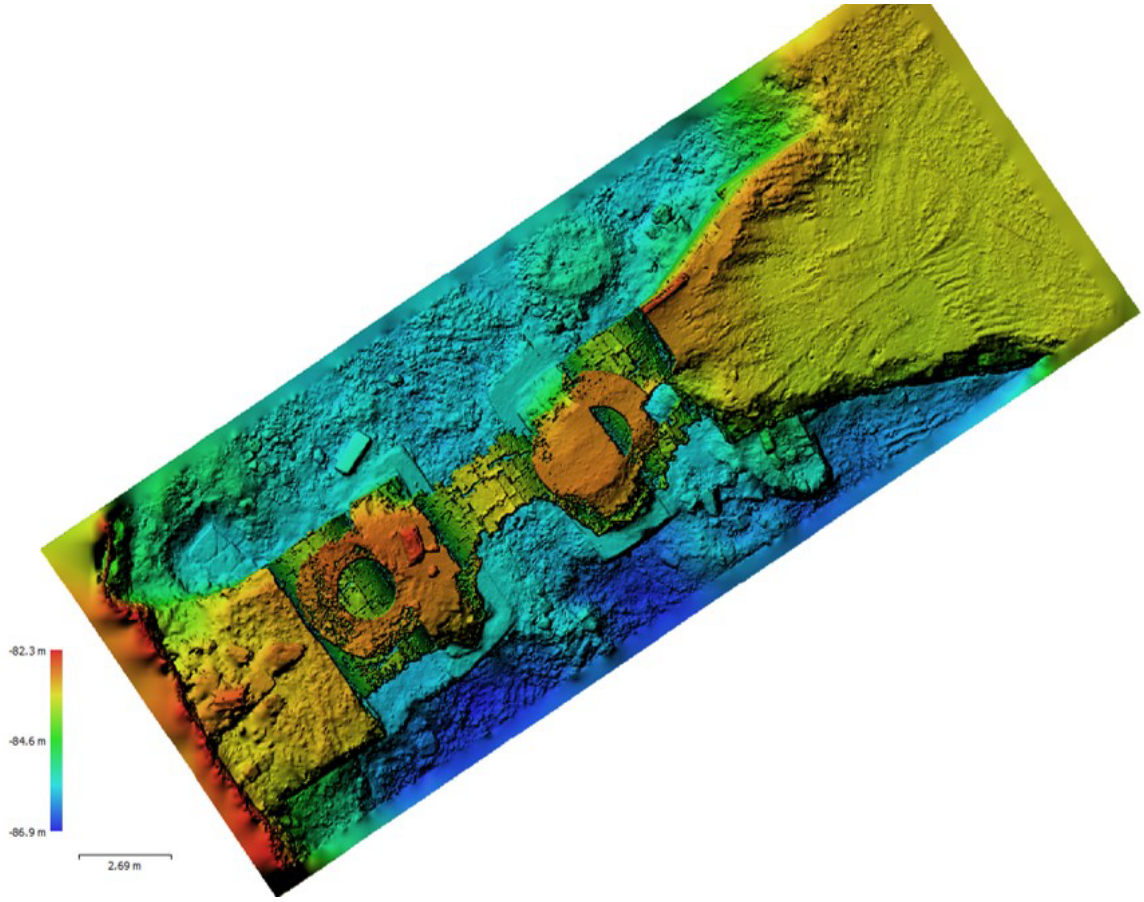
Şekil 2. Yersel lazer tarama oturumlarının birleştirme hata raporu.



Şekil 3. Yersel lazer tarama ile elde edilen nokta bulutları.



Şekil 4. Köprünün alt kısımlarının detaylı 3B nokta bulutu.



Şekil 5. Köprünün sayısal yükseklik modeli.



Şekil 6. Yapıya ait bir cephesinin ortofotosu.

4. Sonuçlar

Köprü denetimi ve yönetimiyle ilgili olarak, bu çalışma yalnızca köprü denetimi için Yersel Lazer Taramayı kullanarak ayrıntılı ve kesin bir bilgi kaynağı oluşturmak için değil aynı zamanda YLT'den türetilmiş bir denetim geliştirmek için de bir metodoloji önerdi. Önerilen veri tabanı, tarihi köprü varlık yönetimi ve yapısal değerlendirme dahil olmak üzere çeşitli amaçlar için değerli bir bilgi kaynağı olarak kullanılabilir. Bu araştırma çalışmasında önerilen YLT'den türetilmiş 3B model, bir köprüyü sık sık şahsen tekrar ziyaret etme zorunluluğunun

üstesinden gelerek potansiyel zaman tasarrufu açısından varlık yöneticileri ve köprü mühendisleri için faydalı olmakla kalmaz, aynı zamanda dijital modellerin yerine dijital modellerin kullanılması yoluyla belge yönetimini de kolaylaştırabilir. Ayrıca, köprü raporları veya diğer herhangi bir köprü denetim verisi gibi ek bilgilerin bir köprünün dijital kopyasıyla ilişkilendirilmesi, ilgili personel arasında bu tür verilerin daha iyi anlaşılmasına ve daha düzgün bir şekilde iletilmesine yol açacaktır.

Çalışma ayrıca köprü izleme ve varlık yönetimi amacıyla bir 3B modeli ve geometrik olmayan bilgileri köprü yapısının her bir bileşenine bağlama yeteneğini

içeren YLT'den türetilmiş bir model geliştirmek için pratik bir metodoloji oluşturdu. Manuel ölçümleri toplamak ve bilgileri güncellemek için gereken zaman ve çaba göz önüne alındığında, bu araştırma çalışmasında açıklanan YLT uygulamasının önemli kullanımı, veri toplama ve 3B model oluşturma için etkili ve kesin bir yöntem sunar. Bu araştırma çalışmasında önerilen yöntemin sağlamlığını daha fazla değerlendirmek için, köprü ölçme süreci, 3B model oluşturma ve gerçek bir köprü vaka çalışmasının geliştirme süreci kapsamlı bir şekilde tartışılmıştır. Köprü araştırma aşamasıyla ilgili olarak, uygun bir köprü araştırma planındaki önemli faktörler ve YLT kullanılarak yapılan temel faaliyetler gözden geçirildi. Tarihi köprü vaka çalışması durumunda, YLT uygulaması kabul edilebilir bir veri toplama süresi göstermektedir, ancak bu işlem manuel yaklaşımlar kullanıldığında birkaç hafta sürecektir. Bu çalışma, YLT ile veri toplamanın klasik yöntemlere göre alternatif olabileceğini gösterdi.

Yazarların Katkısı

Adem Kabadayı: Metodoloji, Saha Çalışması, Modelleme, Analiz, Kontrol, Yazım.

Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Alptekin, A., & Yakar, M. (2021). 3D model of Üçayak Ruins obtained from point clouds. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 37-40.
- Alptekin, A., Çelik, M. Ö., & Yakar, M. (2019). Anıtmezarın yersel lazer tarayıcı kullanarak 3B modellenmesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 1(1), 1-4.
- Atik, M. E., & Duran, Z. (2021). Lokal özellik temelli yöntemler kullanılarak 3B yüz tanıma ve doğruluk analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(1), 359-372.
- Avşar, E. Ö. (2006). Tarihi köprülerin digital fotogrametri tekniği yardımıyla modellenmesi. Doktora Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 113.
- Cheng, L., Wu, Y., Wang, Y., Zhong, L., Chen, Y. ve Li, M. (2014). Havadaki LiDAR verilerini kullanarak büyük çok katmanlı değişim köprüsünün üç boyutlu yeniden inşası. *IEEE Uygulamalı Yer Gözlemleri ve Uzaktan Algılamada Seçilmiş Konular Dergisi*, 8(2), 691-708.
- Dustin, D., Liscio, E., & Eng, P. (2016). Accuracy and repeatability of the laser scanner and total station

- for crime and accident scene documentation. *J Assoc Crime Scene Reconstr*, 20(1), 57-67.
- 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.
- Faro. (2022). Focus laser scanners. <https://www.faro.com/en/Products/Hardware/Focus-Laser-Scanners>
- Kanun, E., Metin, A., & Yakar, M. (2021). Yersel Lazer Tarama Tekniği Kullanarak Ağzıkara Han'ın 3 Boyutlu Nokta Bulutunun Elde Edilmesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(2), 58-64.
- Karataş, L., Alptekin, A., & Yakar, M. (2022). Creating Architectural Surveys of Traditional Buildings with the Help of Terrestrial Laser Scanning Method (TLS) and Orthophotos: Historical Diyarbakır Sur Mansion. *Advanced LiDAR*, 2(2), 54-63.
- 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.
- Kuşak, L., Unel, F. B., Alptekin, A., Çelik, M. O., & Yakar, M. (2021). Apriori association rule and K-means clustering algorithms for interpretation of pre-event landslide areas and landslide inventory mapping. *Open Geosciences*, 13(1), 1226-1244.
- Liscio, E., & Le, Q. (2022). Inter observer errors of cast-off stains using FARO zone 3D. *Forensic Science International*, 330, 111098.
- Ogawa, T., & Hori, Y. (2019). Comparison with accuracy of terrestrial laser scanner by using point cloud aligned with shape matching and best fitting methods. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 535-541.
- Prentice, R. (1993). *Tourism and Heritage Attraction*. London : Routledge, pp. 5.
- Ruther, H., Chazan, M., Schroeder, R., Neeser, R., Held, C., Walker, S.J., Matmon, A., & Horwitz, L.K. (2009). Laser Scanning for conservation research of African cultural heritage sites: the case study of wonderwork cave, South Africa. *Journal of Archaeological Science*, 36, 1847-1856.
- Sarı, B., Hamal, S. N. G., & Ulvi, A., (2020). Documentation of complex structure using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry method and Terrestrial Laser Scanner (TLS). *Türkiye Lidar Dergisi*, 2(2), 48-54.
- Suchocki, C., Damięcka-Suchocka, M., Katzer, J., Janicka, J., Rapiński, J., & Stałowska, P. (2020). Remote detection of moisture and bio-deterioration of building walls by time-of-flight and phase-shift terrestrial laser scanners. *Remote Sensing*, 12(11), 1708.
- Ulukok, A., & Ulvi, A. (2023). Yerel Yönetimlerde Kaçak Yapı Tespitinde İHA Kullanımı: Keçiören

- Belediyesi Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 5(1), 7-19.
- 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.
- Ulvi, A., Yakar, M., Toprak, A. S., & Mutluoglu, O. (2014). Laser scanning and photogrammetric evaluation of Uzuncaburç Monumental Entrance. *International Journal of Applied Mathematics Electronics and Computers*, 3(1), 32-36.
- Ulvi, A., Yiğit, A. Y., Çelik, M. Ö., & Alptekin, A., (2021). Detection of existing infrastructure lines with wearable laser scanners and making infrastructure map: a case of Mersin University. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 61-68.
- Ünal, M., Yakar, M., & Yildiz, F. (2004). Discontinuity surface roughness measurement techniques and the evaluation of digital photogrammetric method. In *Proceedings of the 20th international congress for photogrammetry and remote sensing, ISPRS*, 1103, 1108.
- Yakar, M., & Doğan, Y. (2017). Uzuncaburç Antik Kentinin İHA Kullanılarak Eğik Fotogrametri Yöntemiyle Üç Boyutlu Modellenmesi. 16. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ankara*.
- Yılmaz, H. M., & Yakar, M. (2006a). Lidar (Light Detection And Ranging) Tarama Sistemi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 23-33.
- Yılmaz, H. M., & Yakar, M. (2006b). Yersel lazer tarama Teknolojisi. *Yapı teknolojileri Elektronik dergisi*, 2(2), 43-48.
- Yılmaz, H. M., & Yakar, M. (2008). Computing of volume of excavation areas by digital close range photogrammetry. *Arabian J. Sci. Eng.* 33(1A), 63-78.
- Yılmaz, I. (2009). A research on the accuracy of landform volumes determined using different interpolation methods. *Scientific Research and Essay*, 4(11), 1248-1259.
- Yılmaz, M., & Uysal, M. (2016). Comparison of data reduction algorithms for Li DAR-derived digital terrain model generalisation. *Area*, 48(4), 521-532.
- Yılmaz, M., & Uysal, M. (2017). Comparing uniform and random data reduction methods for DTM accuracy. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 2(1), 9-16.
- Yılmaz, M., Uysal, M., & Yılmaz, İ. (2015). Hava LiDAR Nokta Bulutundan Sayısal Yükseklik Modeli Üretiminde Veri Seyrekleştirme Algoritmalarının Karşılaştırılması. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 15.



© Author(s) 2023.

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