

TARİHİ YAPILARDA YERSEL LAZER TARAMA VERİLERİNE DAYALI MODELLEME ÇALIŞMALARI

D. Arıcan^{a,*}, T. Arda^a, N. Tunali^b, M. Uzar^b

^a YTÜ, İktisadi İdari Bilimler Fakültesi, 34220 Esentepe İstanbul, Türkiye - (duyguaricann, tumay.arda@gmail.com)

^b YTÜ, İktisadi İdari Bilimler Fakültesi, 34220 Esentepe İstanbul, Türkiye - (ntunali, auzar@yildiz.edu.tr)

ANAHTAR KELİMELER: Yersel Lazer Tarama, Mimari Envanter, Filtreleme Yöntemleri, Nokta Bulutu, 3B Modelleme

ÖZET:

Tarihi eserlerin geçmiştense geleceğe korunması ve aktarılması için yapılması gereken en önemli husus bu kültürel miraslara ait envanterlerin oluşturulmasıdır. Bu envanterlerin oluşturulması, yıpranmış eserlerin restorasyonlarının yapılabilmesi ve zamanla kaybolan eserlerin özneliklerinin elde edilen veriler ile tekrar yerlerine koyulması açısından oldukça önemlidir. Bu envanterlerin oluşturulması sırasında, eserlerin dokümantasyonlarının eserlere zarar verilmeyen şekilde yapılması hassasiyet gerektiren bir husustur. Bununla birlikte envanteri alınacak eserlere ait detaylı bilgilerin de elde edilmesi gerekmektedir. Gelişen teknolojinin bu alanda kullanılması ile lazer tarama ölçme sistemi, kültürel mirasın dokümantasyonunda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Lazer tarama, birçok farklı uygulama için üç boyutlu konum verisini hızlı, güvenilir ve detaylı bir şekilde toplayabilen bir teknolojidir. Lazer tarayıcılar, günümüzde özellikle fotogrametri ve uzaktan algılama çalışmaları alanlarında önemli bir araçtır. Bu çalışmada, tarihi yapıların üç boyutlu envanterinin oluşturulması için yersel lazer tarama teknolojisi ile modelleme çalışması yapılmıştır. Bu amaçla, farklı zamanlarda ve farklı aletlerle alınmış yapılan iki ayrı veri seti kullanılmıştır. İlk veri seti Sivas Temeltepe'de bulunan Tavra Deresi Kilisesi'dir. Yine aynı amaçla toplanan ikinci veri seti ise Mersin'de bulunan Nurseren TOR'a ait taş binaya ait nokta bulutudur. Çalışmada verilerin filtrelenmesi için gürültü giderme ve yumuşatma filtreleme modelleri kullanılmıştır. Elde edilen modellerin doğruluklarının karşılaştırılması yapılmıştır. Buna göre, tarihi yapıların envanterlerinin oluşturulması için yersel lazer tarama prosedürünün hızlı, doğru ve etkin sonuç verdiği görülmüştür ve gelecek nesillere bilgi aktarımı için önemli bir araç olduğu vurgulanmıştır.

KEY WORDS: Terrestrial Laser Scanning, Architectural Inventory, Filtering Methods, Point Cloud, 3D Modeling

ABSTRACT:

Creating inventories of cultural heritages is the most important thing for protecting and transferring of these historical artifacts from past to the future. Creation of these inventories is quite crucial for restoration of worn artifacts and recovering artifacts which has lost attributes in course of time with obtained data. During the creation of these inventories, documentation of these artifacts must be done without damaging to the artifacts. In addition to this, it is needed to gain detailed info belonging to artifacts to be created of inventory. Laser scanning measurement system has been widely used in the documentation of cultural heritage with the use of developing technology in this field. Laser scanning is a technology that can collect three dimensional location data quickly, reliable and detailed for many different applications. Today, laser scanners are an important research topic in especially photogrammetry and remote sensing study areas.

In this study, modeling has occurred for creating three dimensional inventory of historical artifacts with terrestrial laser scanner technology. For this purpose, two separate data sets were used which measured with different scanners at different times. The first data set is Church of Tavra stream which located in Sivas Temeltepe. Second data set is a point cloud which belongs stone building owned by Nurseren Tor in Mersin. In this study, noise reduction and smoothing filtering models used for filtering data. Accuracy of the obtained models was compared. Accordingly, it has been emphasized that the terrestrial laser scanning procedure has been proved to be fast, accurate and effective. For construction of the transferring information to future generations.

1. GİRİŞ

Tarihi yapılar kültürel mirasımızın önemli bir sembolüdür. Bu eserlerin zamanla yıpranması ve depremler, toprak kaymaları, atmosferik döngü ve sel gibi yıkıcı faktörlerin etkisi ile zarar görmesi durumunda restorasyonları için modellenmesi oldukça önemlidir (Erenoglu vd., 2017). Günümüzde kültürel mirasın korunmasında bilgi toplama ve sayısal dokümantasyon uygulamaları önemli adımlarını oluşturmaktadır (Cheng

vd., 2016). Lazer tarama ya da LiDAR (Light Detection and Ranging) teknolojisi ile nokta bulutu olarak bilinen obje yüzeyinin topoğrafyasına ait hızlı ve doğru yüksek üç boyutlu veri seti üretilmektedir. Bunun sonucunda lazer tarama teknolojilerine son zamanlarda ilgi oldukça artmıştır. Büyük ölçekli modelleme çalışmalarında otomatik ve etkili metodların geliştirilmesi ile binaların modellenmesi için lazer tarama yöntemi, maliyet ve zaman açısından kazanç sağlamaya potansiyeline sahiptir (Truong-Hong ve Laefer, 2014).

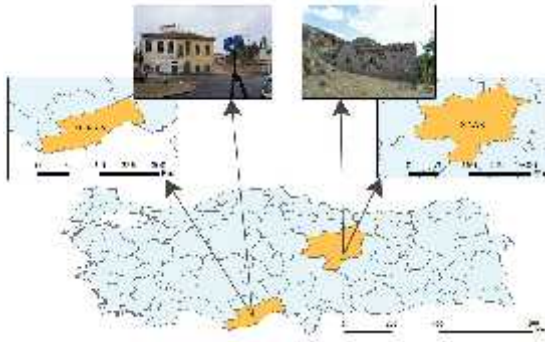
* Sorumlu yazar: duyguaricann@gmail.com

Baik, 2017'deki çalışmasında tarihi yapıların dökümantasyonu amacıyla manuel ve yarı otomatik modelleme ile Cidde'de bulunan Tarihi Nasif Evi'nin nokta bulutundan bina bilgi modelini oluşturmuştur. Lerma vd., 2010'da yersel lazer tarama ve yakın mesafe fotogrametrisi ile Paleolitik döneme ait olan Parpallo mağarasının üç boyutlu arkeolojik dökümantasyonunu oluşturmuştur. Bir başka çalışmada ise Ergun, 2010'da yersel lazer verisi ile bina içerisindeki uygulamalarda üç boyutlu obje filtrelemelerinde farklı bir yaklaşım izlemiştir.

Bu çalışmada tarihi yapıların envanterlerinin oluşturulması amacıyla iki farklı çalışma alanı kullanılarak modelleme çalışmaları yapılmıştır. Modelleme işlemi için Sivas'taki Tavra Deresi Kilisesi ve Nurseren Tor'a ait Mersin'de bulunan taş binanın nokta bulutu verileri farklı lazer tarayıcılardan elde edilerek kullanılmıştır. Her iki veri setine de ilk olarak filtreler uygulanmadan model elde edilmiş, ardından filtreler uygulanarak ikinci modeller elde edilmiştir. Her iki veri seti için üretilen modeller için sapma analizi yapılarak filtreli ve filtreli olmayan modeller arasındaki farklılıklar ortaya çıkarılmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ SETİNİN ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada Sivas'taki Tavra Deresi Kilisesi ve Mersin'deki Nurseren Tor adına tescilli taş binaya ait iki ayrı veri setinden yararlanılmıştır (ekil 1).



ekil 1. Çalışma alanları

Çalışmada kullanılan veri setlerinden ilki Sivas Temeltepe'deki askeri kök binasının içerisinde kalan kilisenin XIX. yüzyılın ikinci yarısında yapıldığı tahmin edilmektedir. Bu yapıya ait veri seti 2014 yılında Riegl LMS-Z390i marka yersel lazer tarayıcı ile elde edilmiştir. Nokta bulutu verisi 9 noktadan tarama yapılarak elde edilmiştir. Her tarama pozisyonu için tarayıcıya entegre olan kameradan görüntüler renklendirmede kullanılmak üzere elde edilmiştir. Kontrol noktalarına ait ölçümler Sokkia marka lazer Totalstation ile yapılmıştır.

Özellik	Riegl LMS-Z390i	Faro Focus ^{3D} 330x
Lazer sınıfı	Lazer sınıf 1H	Lazer sınıf 1
Minimum ölçüm mesafesi	1 m	0.6 m
Maksimum ölçüm mesafesi	400 m	330 m
Mesafe doğruluğu	± 2 mm	± 2 mm
Ölçüm hızı	11.000 nokta/sn	976.000 nokta/sn

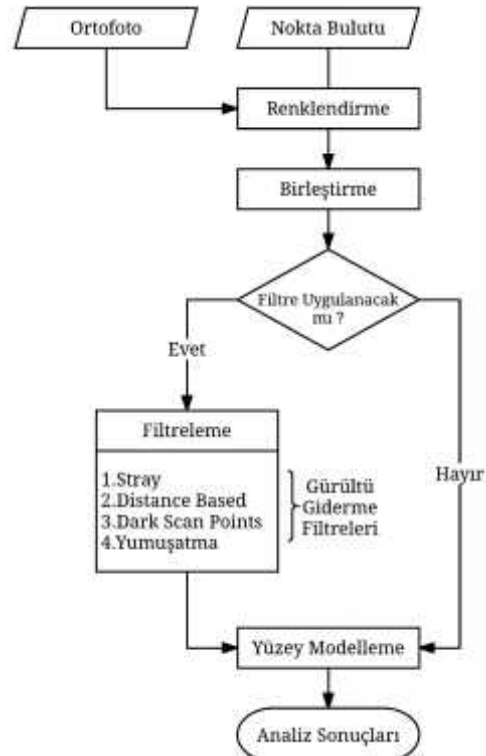
Tablo 1. Yersel lazer tarayıcıların teknik özellikleri

Kullanılan ikinci veri seti ise Nurseren Tor adına tescilli, Mersin'de bulunan eski taş binadır. Bu yapıya ait veri seti FARO FOCUS^{3D} 330X yersel lazer tarayıcı ile 2016 yılında elde edilmiştir. Nokta bulutu verisi 31 noktadan tarama yapılarak elde edilmiştir. Tarayıcıya bütünüyle ik olarak kalibre

edilen foto raf makinesi ile çekilen foto raflar kullanılarak nokta bulutları renklendirilmiştir. Kullanılan yersel lazer tarayıcılara ait teknik özellikler Tablo 1'de görülmektedir.

3. UYGULAMA

Bu çalışmada ekil 2'deki işlem akışı uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Her iki veri seti için filtreler uygulanmadan ve uygulanarak iki ayrı tane olmak üzere toplam dört model oluşturulmuştur.



ekil 2. İşlem adımları

3.1 Nokta Bulutu Verisinin Renklendirilmesi



ekil 3. Bindirmeli çekilmiş foto raflar ile birleştirilmiş iki boyutlu tarama görüntüleri

Nokta bulutu verisinin renklendirilmesi için iki veri seti için de yersel lazer tarayıcıya entegre olan dijital kamera görüntüleri kullanılmıştır. Bindirmeli olarak çekilen foto raflar, ekil 3'te görüldüğü gibi birleştirilerek foto raflardaki her bir pikselin

RGB derleri, o piksele karşılık gelen noktaya atanmıştır. Bu işlem tüm tarama pozisyonları için tekrarlanarak uygulanmıştır.

3.2 Nokta Bulutu Verisinin Birleştirilmesi

Tavra Deresi Kilisesine ait nokta bulutu verilerinin birleştirilmesi işlemi adımında bağımsız model yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde lazer ile ölçüm sırasında tarayıcının kurulacağı pozisyonlar göz önüne alınarak her tarama için en az üç kontrol noktası görülecek şekilde yapılandırılmıştır. Bu noktalara ait ölçümler lazer Totalstation ile yapılmıştır. Totalstation koordinatı bilinen bir poligon noktası üzerine kurularak koordinatı bilinen başka bir poligon noktasına bağlanmış, daha sonrasında tüm kontrol noktalarının ölçümü yapılarak konumları hesaplanmıştır.

Bu uygulamada tarama pozisyonu koordinat sistemi (SOCS), proje koordinat sistemi (PCS) ve küresel koordinat sistemi (GCS) olmak üzere üç farklı koordinat sistemi kullanılmıştır. Bu amaçla, tarama pozisyonlarından bir tanesi referans olarak seçilerek bu seçilen pozisyona bağlanan diğer pozisyonlarla proje koordinat sistemi oluşturulmuştur. Totalstation ile ölçüm sonucunda elde edilen nokta koordinatları kullanılarak proje koordinat sistemi, küresel koordinat sistemine dönüştürülmüştür.

Eleman kontrol noktaları kullanılarak yapılan dengeleme işleminin sonucunda, bir pozisyonu diğer pozisyona dönüştürmek için gereken parametreleri bulandıran 4×4 boyutundaki bir M_{SOP} dönüşüm matrisi elde edilmiştir. Matrisin 9 elemanı dönüklüklerin parametrelerini (r_{11} - r_{33} arası), 3 elemanı ise öteleme parametrelerini (t_1 , t_2 , t_3) ifade etmektedir.

$$M_{SOP} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Tarayıcıdaki her bir noktayı ana eksenlerindeki P_{hom} matrisi ile ifade edersek;

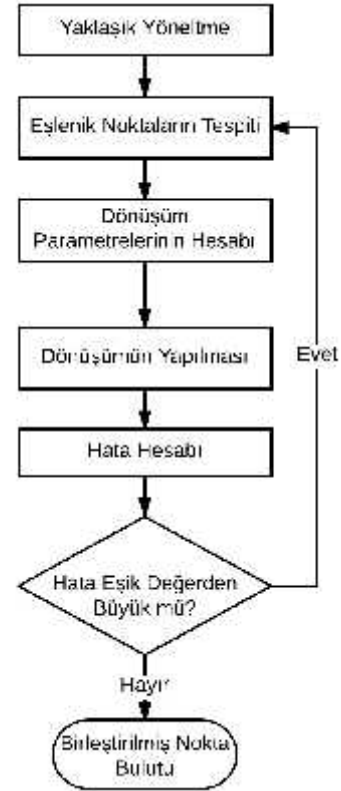
$$P_{hom} = (xyz1)^T \quad (2)$$

Tarama pozisyonlarının bağlanması için kullanılan kontrol noktası sayısı ve oluşan standart sapma Tablo 2’de verilmiştir.

Pozisyon adı	Kullanılan Kontrol noktası sayısı	Birleştirmenin standart sapması (mm)
ScanPos001	10	0.8
ScanPos002	7	0.8
ScanPos003	5	1
ScanPos004	4	1.2
ScanPos005	4	1.1
ScanPos009	5	0.3
ScanPos010	3	0.9
ScanPos011	8	0.7
ScanPos022	4	1.4

Tablo 2. Kontrol noktası sayısı ve standart sapma

Mersin’deki taştan binaya ait nokta verilerinin birleştirilmesinde iteratif en yakın nokta yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin işlem adımları Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. iteratif en yakın nokta yöntemi işlem adımları

Birleştirme için kullanılan yöntemde nokta bulutları arasındaki dönüşüm parametreleri iteratif olarak bulunmuştur. Referans nokta kümesi ve ara tırma nokta kümesi olarak iki nokta kümesi seçilmekte ve üç adımdan oluşmaktadır. İlk adımda yüzeyler arası benzerlik ilkesi kurularak yöneltilme yapılmıştır. İkinci adımda, ara tırma kümesindeki her nokta için referans kümesindeki en yakın nokta bulunarak elemanlar birleştirilmiştir ve nokta çiftleri için dönüşüm parametreleri hesaplanmıştır. Son adımda ise hesaplanmış olan dönüşüm parametreleri, nokta kümesinin tüm elemanlarına uygulanmıştır. Bu adımlar ara tırma nokta kümesi ile referans nokta kümesi elemanları kadar iteratif olarak tekrarlanmıştır. Genellikle 20 ya da 30 iterasyondan sonra sonuca ulaşılmaktadır.

3.3 Filtreleme

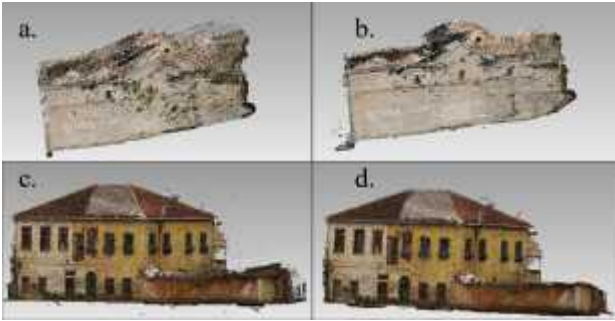
Birleştirilen nokta bulutlarına iki veri seti için de sırasıyla “stray” (bağımsız), “distance based” (mesafe bazlı) ve “dark scan points” (koyu taranan noktalar) filtreleri gürültü giderme amacıyla uygulanmıştır.

“Stray” filtresi hatalı ölçülen, bağımsız, istenmeyen noktaları temizler. Bu filtre karışıklı tırma için bir grid alanı oluşturur. Kullanılacak alanın boyutu grid boyutu parametresi ile piksel bazında girilir. Her nokta için oluşturulan bu alanın içerisinde kalan noktaların tarayıcıya olan uzaklıkları ile seçilen noktanın tarayıcıya olan uzaklığı karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda iki uzaklık arasındaki fark ve girilen mesafe eğer iki de eriden az ise nokta sayıma dahil edilmiştir. Sayılan noktalar karışıklı tırma alanındaki noktalara oranlandığında payla tırma eğer iki de eriden (allocation threshold) küçük ise silinerek filtre uygulanmıştır. Bu çalışmada kullanılan grid boyutu 3 piksel, mesafe eğer iki de eriden 0.02 m, payla tırma eğer iki de eriden ise %50 olarak seçilmiştir.

“Stray” filtresi uygulandıktan sonra verinin üzerine “distance based” filtresi uygulanmıştır. Bu filtre, tarayıcıdan kullanıcı

tarafından girilen de er kadar mesafedeki noktaların silinmesini sa lar. Bu çalı ma için girilen minimum mesafe 0, maksimum mesafe ise 50 m olarak belirlenmi tir. Üçüncü olarak da “dark scan points” filitresi uygulanarak girilen yansıtma e ik de erine göre bu de erin altındaki yansıtma de erine sahip noktaların silinmesi sa lanmı tir. Yansıtma e ik de eri 100 olarak seçilmi tir.

Gürültü giderme için uygulanan filtrelerden sonra yumu atma i lemi gerçekleştirilmi tir. Bu adımda, grid boyutu kullanıcı tarafından piksel bazında girilerek pikselleri çevreleyen alanın olu turulması sa lanmı tir. Aynı zamanda girilen mesafe e ik de er sınırının içerisinde olan noktalar ile ortalama ölçüm de eri hesaplanmı tir. Buna göre noktanın ölçülen de eri, ortalama ölçüm de eri ile de i tirilmi tir. Bu i lemde nokta sayısı azalmamakta, sadece yerleri de i mektedir. Bu adımda grid boyutu 3 piksel, mesafe e ik de eri ise 0.02 m olarak seçilmi tir. Filtreli ve filtresiz nokta bulutları ekil 5’te görülmektedir.



ekil 5. a. Tavra Deresi Kilisesi filtresiz nokta bulutu b. Tavra Deresi Kilisesi filtreli nokta bulutu c. Ta ev filtresiz nokta bulutu d. Ta ev filtreli nokta bulutu

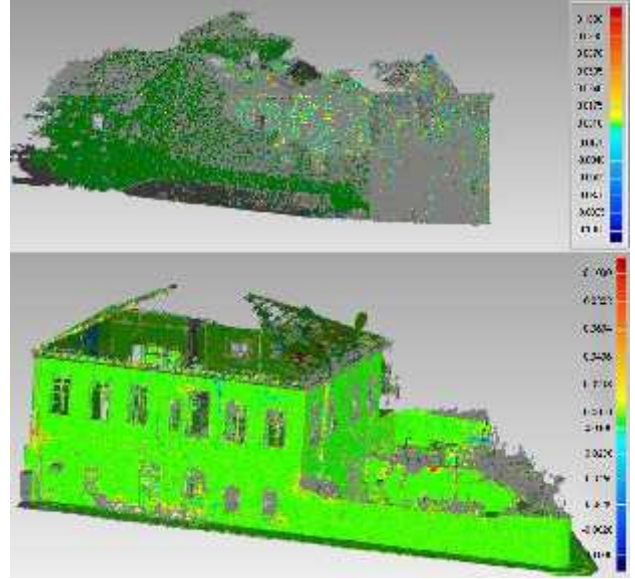
3.4 Yüzey Modelleme

Her iki veri seti için de filtrelenen ve filtrelenmeyen nokta bulutlarına modelleme yapılmadan önce nokta seyreltme yapılarak aynı konuma dü en noktalar temizlenmi tir. Analizin kolaylı ı için 2.500.000 maksimum üçgen olu turularak iki veri setine ait filtreli ve filtresiz toplam dört model elde edilmi tir. Ba ımsız üçgenler temizlenerek i lem tamamlanmı tir. Üçgenler modelin kenarında ise iki kenarından ba lı, di erleri ise üç kenarından ba lı olmalıdır. Bu artı uymayan üçgenler, ba ımsız üçgen olarak bu adımda silinmi tir.

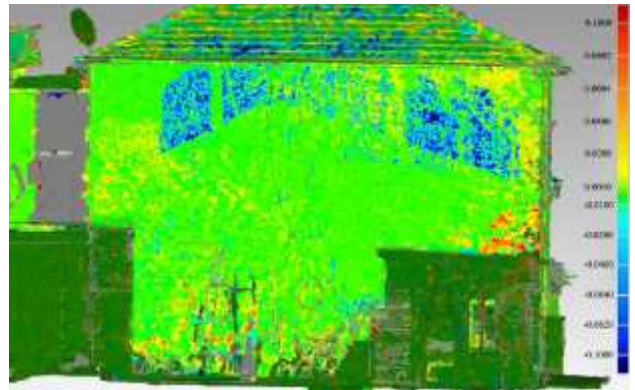
3.5 Analiz Sonuçları

Elde edilen modeller ile sapma analizi (deviation analysis) yapılmı tir. ki veri seti için de filtre uygulanmamı model referans olarak seçilmi ve filtre uygulanmı model ile çakı tırılmı tir. Çakı mada gösterim ve ayırt etme kolaylı ı sa laması amacıyla 15 renk grubuna ayrılan bir spektrum kullanılmı tir. Kabul edilen sapma aralı ı ± 1 mm olarak seçilmi tir. Sapma aralı ında kalan yüzeyler ekil 6’da görüldü ü gibi ye il renk ile gösterilmi tir. De i meyen yüzeyler ise gri renk olarak görülmektedir.

Sapma analizi ile elde edilen model incelendi inde, tarayıcının taranan yüzeyi dik olarak görememesi durumunda olu an gürültülerin giderilmesinde uygulanan filtreleme yöntemlerinin etkisi ekil 7’deki mavi renkli kısımlarda görülebilmektedir.



ekil 6. Sapma analizi sonuçları



ekil 7. Filtreleme yöntemlerinin etkisi

Analiz sonucunda, iki model kar ıla tırıldı ında görülen farklılıklar Tavra Deresi Kilisesi için Tablo 3’te, Ta bina için ise Tablo 4’te verilmi tir.

Tavra Deresi Kilisesi	Filtresiz Model	Filtreli Model
Spike (Sivri uçlar)	428.874	385.254
Self Intersections (Kendini kesen)	380.678	236.032
Highly Creased Edges (Çok katlı kenarlar)	348.259	264.001
Small Holes (Küçük bo luklar)	33.231	20.356

Tablo 3. Tavra Deresi Kilisesine ait filtreli ve filtresiz modeller arasındaki farklar

Ta Bina	Filtresiz Model	Filtreli Model
Spike (Sivri uçlar)	2.836.127	2.684.412
Self Intersections (Kendini kesen)	125.277	128.512
Highly Creased Edges (Çok katlı kenarlar)	207.828	178.828
Small Holes (Küçük bo luklar)	5.811	3.898

Tablo 4. Ta binaya ait filtreli ve filtresiz modeller arasındaki farklar

Analiz sonucu “spike” denilen sivri uçlu çıkıntılara ait maksimum, minimum, ortalama de erler ve standart sapma de erleri Tablo 5’te verilmi tir.

	Tavra Deresi Kilisesi (m)	Ta bina (m)
Maksimum mesafe (dı a)	0,8798	1,4600
Maksimum mesafe (içe)	0,8881	1,4600
Ortalama (dı a)	0,0243	0,0604
Ortalama (içe)	0,0240	0,0441
Standart sapma	0,0439	0,1887
RMS	0,0439	0,1890

Tablo 5. Analiz sonucu standart sapmalar

4. SONUÇLAR VE ÖNER LER

Bu çalı mada tarihi yapıların üç boyutlu envanterinin olu turulması için yersel lazer tarama teknoloji ile modelleme çalı ması yapılmı tir. Bu amaçla farklı zamanlarda ve farklı yersel lazer tarayıcılarla alımı yapılan iki ayrı veri setine filtre uygulanmadan modeller üretilmi tir. Ayrıca aynı veri setlerine gürültü giderme ve yumu atma filtreleri uygulanarak modeller üretilmi tir. Üretilen modellerin kar ıla tırması sapma analizi ile yapılmı tir. Sapma analizi sonucunda elde edilen standart sapmalar; Tavra Deresi Kilisesi için 0,0439, Ta bina için ise 0,1887 olarak tespit edilmi tir.

Elde edilen filtreli ve filtresiz modeller kar ıla tırıldı ında, iki veri setinde de “spike” adı verilen sivri uçların filtrelenen modelde azaldı ı tespit edilmi tir. Bunun dı ında modelde kendisiyle kesi en üçgenler ve model üzerinde olu an bo luklarda azalma oldu u görülmü tür.

Yersel lazer tarayıcı ile ölçüm sırasında, bina yüzeyine dik gelmeyen lazer ı nlarının çok fazla saçılma yaparak gürültüye sebebiyet verdi i görülmü tür. Ayrıca binanın kenar ve kö e noktalarına çarpan lazer ı nları da saçılma yaparak gürültüye neden olmu tur. Bu durumlarda gürültü giderme filtreleri ile ba arılı sonuçlar elde edilebilir oldu u sonucuna varılmı tir. Gürültü giderme ve yumu atma filtrelerinin farklı tarayıcılarla alınımı olması fark etmeksizin mimari modelleme çalı malarında ba arıyla uygulanabilece i sonucuna ula ılmı tir. Mimari modelleme çalı malarının yanı sıra gürültü giderme ve yumu atma filtrelerinin yersel lazer ile yapılan di er çalı malarda da etkili bir ekilde uygulanılabilece i dü ünülmektedir.

Bir sonraki çalı malarda bu filtreler daha farklı nitelikte filtrelerle desteklenerek nokta bulutunda ve dolayısıyla modelde iyile tirme yapılabilir oldu u ön görülmü tür. Ayrıca olu turulan modeller üzerine de filtreler uygulanarak iyile tirme çalı ması yapılabilece i dü ünülmektedir.

TE EKKÜR

Bu çalı ma için veri deste i ve büyük boyutlu veri i leme imkanı tanıdıkları için Ostem Harita ve Hakan Ö ütcü’ye sonsuz te ekkürlerimizi sunarız.

REFERANSLAR

- Baik, A., 2017. From point cloud to Jeddah Heritage BIM Nasif Historical House – case. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, pp. 1-18.
- Cheng, L., Wang, Y., Chen, Y. & Li, M., 2016. Using LiDAR for digital documentation of ancient city walls. *Journal of Cultural Heritage*, pp. 188-193.
- Erenoglu, R. C., Akcay, O. & Erenoglu, O., 2017. An UAS-assisted multi-sensor approach for 3D modeling and reconstruction of cultural heritage site. *Journal of Cultural Heritage*, pp. 1-12.
- Ergun, B., 2010. A novel 3D geometric object filtering function for application in indoor area with terrestrial laser scanning data. pp. 799-804.
- Lerma, J. L., Navarro, S., Cabrelles, M. & Villaverde, V., 2010. Terrestrial laser scanning and close range photogrammetry for 3D archaeological. *Journal of Archaeological Science*, pp. 499-507.
- Truong-Hong, L. & Laefer, D. F., 2014. Octree-based, automatic building façade generation from LiDAR data. *Computer-Aided Design*, pp. 46-61.