

The Effects of Image Number and Resolution on the Digitalisation of Physical Space by Photogrammetry

Fiziki Mekânın Fotogrametri ile Dijitalleştirilmesinde Görüntü Sayısı ve Çözünürlüğünün Etkileri

Ali Saithan ULUSOY¹

KTO Karatay Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Konya, Türkiye



Halil SEVİM²

KTO Karatay Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Konya, Türkiye



ABSTRACT

The protection and preservation of cultural heritage is an issue that has been emphasized frequently from past to present. Today, buildings of historical and cultural value are recorded with different documentation methods. With methods such as traditional surveying, photogrammetry and laser scanning, the current status of the buildings are documented and protected. Among these methods, photogrammetry technique is more advantageous than other methods in terms of requiring less labor and cost. Therefore, it is important to improve the photogrammetry technique, which has an important place in building documentation, and to increase its production capability. In this study, it is aimed that the photogrammetry method can perform better quality three-dimensional modeling. For this purpose; the effects of two different variables, number of images and resolution, on the three-dimensional model production process are analyzed by correlational research method. As the scope of the study; Fakih Dede tomb, which is currently located in a bus garage and faces the risk of preservation, was determined. An 80-second video image recording in 4K resolution was obtained by rotating around this structure determined as the scope. From this video recording, new sets of images were created with different image numbers and different resolution values. The changes in the parameter values of the models produced by photogrammetry technique with each of these sets separately are compared in tables. Based on the data obtained, recommendations are presented on how the number of images and resolution can increase the model production capability of photogrammetry. Accordingly, high resolution images should be obtained to create a quality 3D model, and if this is insufficient, the number of images should be increased.

Keywords: 3D digital modeling, Photogrammetry, Number of photos, Resolution, Architectural preservation, Point Cloud.

ÖZ

Kültürel mirasın korunması ve yaşatılması geçmişten günümüze üzerinde sıkça durulan bir konudur. Günümüzde farklı belgeleme yöntemleri ile tarihi ve kültürel değer taşıyan yapılar kayıt altına alınmaktadır. Geleneksel rölevo, fotogrametri ve lazer tarama gibi metotlar ile yapıların güncel durumları belgelenecek koruma altına alınmaktadır. Bu yöntemler arasında fotogrametri tekniği; daha az iş gücü ve maliyet gerektirmesi açısından diğer metotlara göre daha avantajlıdır. Bu yüzden yapı belgelemede önemli bir yer tutan fotogrametri tekniğinin geliştirilmesi ve üretim kabiliyetinin artırılması önem arz etmektedir. Çalışmada, fotogrametri yönteminin daha kaliteli üç boyutlu modelleri yapabileceği hedeflenmektedir. Bu amaçla; görüntü sayısı ve çözünürlük olmak üzere iki farklı değişkenin üç boyutlu model üretim süreci üzerindeki etkileri korelasyonel araştırma yöntemi ile analiz edilmektedir. Çalışma kapsamı olarak; halihazırda bir otobüs garajı içinde yer alan ve korunma riskiyle karşı karşıya kalan Fakih Dede türbesi belirlenmiştir. Kapsam olarak belirlenen bu yapının çevresinde dönülerek kaydedilmek suretiyle 4K çözünürlükte 80 saniyelik bir video görüntü kaydı elde edilmiştir. Bu video kaydından farklı görüntü sayılarında ve farklı çözünürlük değerlerinde yeni görüntü takımları oluşturulmuştur. Bu takımların her biriyle ayrı ayrı olmak üzere fotogrametri tekniği ile üretilen modellerin, parametre değerlerindeki değişimler tablolara işlenerek kıyaslanmaktadır. Elde edilen bu verilere dayanarak görüntü sayısı ve çözünürlüğün, fotogrametrinin model üretim kabiliyetini artırmasına dair öneriler sunulmaktadır. Buna göre; kaliteli bir 3B model oluşturmak için yüksek çözünürlükte görüntüler elde edilmeli, bunun yetersiz kalması durumunda görüntü sayısı artırılmalıdır.

Anahtar Kelimeler: 3B dijital modelleme, Fotogrametri, Fotoğraf sayısı, Çözünürlük, Mimari koruma, Nokta bulutu.

Received / Geliş Tarihi 09.05.2024
Revision Requested /
Revizyon Talebi 17.07.2024
Last Revision / Son Revizyon 05.08.2024
Accepted / Kabul Tarihi 06.08.2024
Publication Date / Yayın
Tarihi 15.09.2024

Corresponding Author / Sorumlu Yazar:
Ali Saithan ULUSOY

E-mail: alisaithan1@gmail.com

Cite this article: Ulusoy, A.S., & Sevim, H. (2024). The Effects of Image Number and Resolution on the Digitalisation of Physical Space by Photogrammetry. *PLANARCH - Design and Planning Research*, 8(2), 260-269. DOI: 10.54864/planarch.1481269

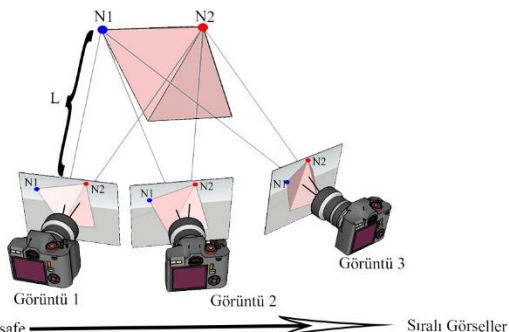


Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Giriş

Fiziki mekân ya da nesnelerin dijital ortama aktarımında kullanılan pek çok belgeleme yöntemi bulunmakla birlikte başlıcaları; geleneksel rölöve, lazer tarama (LIDAR) ve fotogrametri tekniği olarak sıralanabilmektedir (Çakıcı ve Kaçdi, 2023). Bu belgeleme yöntemleri arasında ilk kullanım geleneksel rölöve tekniği ile başlamaktadır. Rölöve tekniği, dijital ortamda modeli üretilerek sayısallaştırılacak olan mekân ya da nesnenin belirli kurallar dahilinde fiziki ölçülerinin, durumunun rapor ve çizim olarak kayıt altına alınması olarak tanımlanabilmektedir (Uluengin, 2014). Rölöve tekniğinin kendi içinde bir çalışma hiyerarşisi bulunmaktadır. Bu hiyerarşi krokileri çıkarılan yapının, teraziye alınan bir düzlemde üçgenleme tekniği ile ölçüleri alınarak çizimler üzerine not edilmesi şeklinde ilerlemektedir (Pehlivan vd., 2022). Geleneksel rölöve tekniğine kıyasla fiziki yükü daha az olan bir diğer yöntem, üç boyutlu lazer taramadır. Tanımı, lazer ışığı darbeleri ile aydınlatılan hedef yüzey ile sensör arasındaki mesafenin ölçülmesi olarak yapılmaktadır (McManamon, 2019). Bu teknik geleneksel rölöveye göre daha kolay ve doğru sonuç verse de gerektirdiği yüksek maliyetler ile başka bir alternatif yöntem ihtiyacı duyulmasına neden olabilmektedir (Pehlivan vd., 2022).

Bu çalışmada da kullanılan fotogrametri tekniği, her iki yöntemde de belgeleme konusunda bir alternatif oluşturabilmektedir. Fotogrametri, belirli bir mekân ya da nesnenin fotoğrafları arasındaki konum farklılıklarından yer tespiti ve ölçüm yapılması olarak bilinmektedir (Linder, 2009). Stereo görüntüleme (Şekil 1), olarak adlandırılan iki farklı kamera açısından elde edilen görüntülerin ortak noktalarının konum tespiti ve ölçümde kullanılması, fotogrametri tekniğinin temelini oluşturmaktadır (Grussenmeyer vd., 2002; Yılmaz, 2020). Fransız subay Aimé Laussedat ile başlayan ve 19. yy' dan itibaren etkin şekilde kullanılan fotogrametri tekniği; mimariden arkeolojiye hatta sağlık sektörüne kadar pek çok alanda yer almaktadır (Polidori, 2020; Marín-Buzón vd., 2021; Van vd., 2023). Örneğin, sağlık sektöründeki güncel bir kullanımı; Van ve arkadaşlarının (2023) çalışmasında görülmektedir. Sadece akıllı telefon kullanılarak bir insan kolu üç boyutlu olarak fotogrametri ile modellenmiştir ve bu kol üzerinde ölçekli alçı kalıpları tasarlanmıştır. Böylece insan uzuvlarının fotogrametri ile kolayca modellenebileceği, kalıp ve protez uygulamalarında etkin şekilde kullanılabilmesi aktarılmıştır (Van vd., 2023). Kültürel miras yapılarının korunması üzerine de pek çok çalışma mevcuttur (Bekar ve Kutlu, 2024; Kutlu vd., 2023). Ponari Nymphaeum yapısını, fotogrametriyle modelleyen D'Urso ve arkadaşlarının (2023) çalışması ile Sewu Tapınağını modelleyen Firzal'ın (2021) çalışması, bu kapsamda örnek verilebilir. Farklı alanlarda kullanımları, fotogrametrinin büyük potansiyeller barındırdığını göstermektedir.



Şekil 1. Stereo Görüntü Çiftlerinden Nokta Tespiti ve Ölçümü (Ulusoy, 2023)

Bu potansiyellerin araştırıldığı çalışmalara bakılacak olursa; üç farklı belgeleme ve ölçüm tekniğini kıyaslayarak ideal olan yöntemi bulma üzerine yapılan akademik çalışmalar mevcuttur. Bunlardan Pehlivan ve arkadaşlarının (2022), lasos Bouleuterionu üzerinde yaptıkları çalışma örnek gösterilebilmektedir. Üç tekniğin aynı konu üzerinde kıyaslandığı çalışmada, sonuç olarak en makul ve etkili belgeleme tekniği fotogrametri olarak tespit edilmiştir (Pehlivan vd., 2022). Üç farklı tekniğin kıyaslandığı bir diğer kaynak; Balcı'nın (2022) kültürel miras belgelenmesinde lazer tarayıcıların kullanılması üzerine yaptığı çalışmasıdır. Bu çalışmada geleneksel rölöve, fotogrametri ve lazer tarama tekniklerinin kıyaslanmasına ek olarak, lazer tarama tekniğinin detaylarına, lazer tarama cihazları ve bu cihazların teknik özelliklerine de yer verilmektedir. Üç teknik arasından daha masraflı olan, ancak hata payı diğerlerine göre daha düşük olan lazer tarama tekniği öne çıkmaktadır (Balcı, 2022). Bir başka örnek çalışmada ise laboratuvar ölçeğindeki taş yüzeylerin pürüzlülük ölçümünde; lazer tarama sistemleri ile fotogrametrik modellemeyi karşılaştıran Li ve arkadaşları(2023), fotogrametri tekniğinin lazer taramaya yakın sonuçlara ulaşabildiğini aktarmaktadır. Böylece uygulaması kolay bir teknik olan fotogrametrinin, deneysel ölçümlerde kullanılabilmesi öne sürülmektedir (Li vd., 2023; Kutlu vd., 2023).

3B modelleme tekniklerinin karşılaştırılmasından ve potansiyellerinin ayrı ayrı tespit edilmesinden farklı olarak bu tekniklerin birlikte kullanılabilirliklerine dair de çalışmalar bulunmaktadır. Fritsch ve Klein'ın (2018) lazer tarama ile fotogrametrinin birleştirilmesini esas alan çalışmaları, iki farklı modelleme tekniğinin birlikte kullanılmasının potansiyellerini incelemektedir. Tarihi yapıların; güncel hallerinin taranarak 3B modellerinin oluşturulması aşamasında, bu yapıların geçmişte kaydedilmiş görsellerinin modelleme sürecine katılabileceği aktarılmaktadır. Bu şekilde yapının kronolojik süreci 3B model üzerinden takip edilebilmektedir (Fritsch ve Klein, 2018).

Fotogrametrinin taşıdığı mevcut potansiyelleri inceleyen çalışmalara ek olarak, bu potansiyellerin geliştirilmesine dair çalışmalar da bulunmaktadır. Fotogrametrik modellemenin yazılım tarafından oluşturulan nokta bulutu ve yüzey kalitesinin artırılmasına yönelik yürütülen çalışmalara örnek verilecek olursa; ilk örnek Tinkham ve Swayze'nin (2021) çalışmasıdır. Burada belirli bir ağaç kataloğunun modellenmesinde insansız hava araçlarından yararlanılmaktadır. Fotogrametrik model oluşturmak için kullanılan Agisoft Metashape programının parametreleri, çeşitli ağaç modelleri üzerinden incelenmiş ve görüntü çözünürlüğü arttıkça nokta bulutu kalitesinin arttığı görülmüştür. Ancak büyük çözünürlüklü görüntülerin, çok sayıda ağacın modellenmesi sürecinde uzun zamanlar aldığı, bunun için çözünürlüğün belirli sınırları geçmemesi gerektiği belirtilmektedir (Tinkham ve Swayze, 2021). Fotoğraf sayısının, fotogrametrik modellemeye etkisini inceleyen Maharani ve arkadaşları(2020); 270 ve 362 adet fotoğraftan ürettikleri iki farklı modeli karşılaştırmış ve fotoğraf sayısını belirli bir eşiğin üzerine çıkmasının, modellemeye bir katkısının olmadığını ortaya koymuştur.

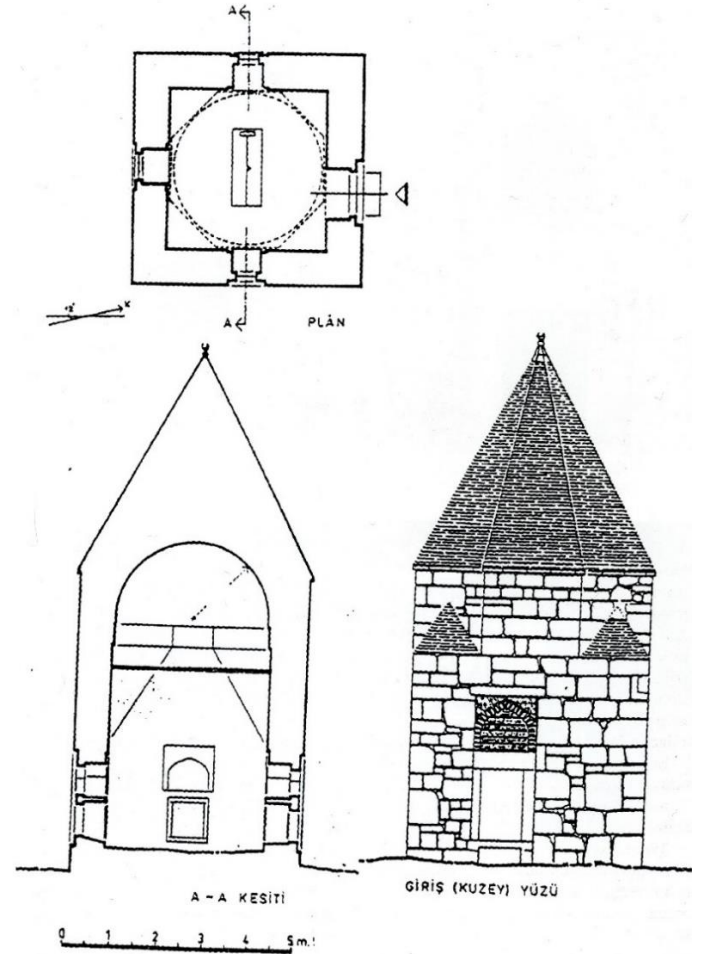
Literatürde yer alan çalışmalara bakılarak fotogrametri tekniğinin 3B dijital modelleme ve belgelemede barındırdığı potansiyeller göz ardı edilemez. Yürütülen bu çalışmada mevcut potansiyellerin geliştirilmesi üzerinde durulmaktadır. Fotogrametri tekniğinin girdi parametreleri ve bu parametrelerin belgelemek istenilen çıktı ürün üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda örnek bir yapı seçilmiş ve bu yapı üzerinde parametre değişiklikleri gerçekleştirilerek çıktılar kıyaslanmıştır. Kıyaslama neticesinde sonuç ürüne etki eden parametre değişimleri tespit edilmiştir.

Kapsam

Çalışma, belgeleme yöntemi olarak yaygın kullanıma sahip fotogrametri tekniğinin girdilerinin parametre değişimleri ve sonuçlarının araştırılması üzerine yürütülmüştür. Fotogrametri tekniği ile yapılan belgeleme işlemlerinde kullanılan görsel sayılarının ve çözünürlüklerinin fotogrametrik model oluşumuna etkileri incelenmiştir. Fotogrametri tekniği halihazırda belgeleme ve belgeleme sonrası elde edilen ölçümler ile bütünlük bir dijital depolama sürecine dönüşmektedir. Yapılan çalışma ile fotogrametri tekniğinin geliştirilmesine katkı sunmak ve bu teknik ile üretilen 3B modellerin yüzey kalitesini artırmak amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, Fakih Dede Türbesi çalışma kapsamı olarak belirlenmiştir.

Çalışma kapsamını oluşturan yapı, tapu kayıtlarında Konya ili, Karatay ilçesi, 28 mahalle, 51 ada, 10 parselde kayıtlı 24m² arsa üzerinde yer almaktadır (TKGM | Parsel Sorgu Uygulaması, 2023). Konya Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu'nun 02.12.1988 tarih ve 349 sayılı kararı ile mevcut yapı üzerinde koruma kararı bulunmaktadır. Yapının mülkiyeti Vakıflar Genel Müdürlüğüne ait olup halihazırda türbe olarak kullanılmaktadır (Karpuz, 2009).

Mevcutta yapının geleneksel rölöve tekniği ile gerçekleştirilmiş çizimleri bulunmaktadır. Yapılan 3B fotogrametrik model çalışması ile tescilli bulunan ancak 3B modeli bulunmayan bu yapının belgeleme ve aktarımına katkı sunmak da çalışmanın çıktıları arasındadır. Yapının tarihi kimliğine bakıldığında, giriş kapısı üzerindeki yazıttan 1456 tarihinde İsa oğlu Fakih Paşa tarafından yaptırıldığı anlaşılmaktadır. Kübik gövde üzerine sekizgen piramidal çatı ile örtülü yapının gövde ve çatı arası geçişi silme ile bitmektedir. Güney, doğu ve batı cephelerinde dikdörtgen biçiminde taş veya mermer söveli pencereleri bulunmakla birlikte kuzey cephesinde, orta eksenenden doğuya doğru kaydırılmış giriş kapısı bulunmaktadır. İç mekânda kare plan şeması üzerine gelişen yapı, kubbe kasnağında üçgenlemeler ile sekizgen hale gelmekte ve bunun üzerine kubbe oturmaktadır. Malzeme olarak zeminde ve duvarların bazı kısımlarında kesme taş malzeme görülürken bazı kısımlarında da moloz taş ve devşirme malzeme görülmektedir. Yapının giriş kapısı ve pencereleri üzerinde çini süslemeler yer almakta, buna ek olarak kapısı üzerinde bir de kitabe bulunmaktadır (Karpuz, 2009). Mimari karakter olarak Anadolu Selçuklu kümbetlerine benzeyen yapının, Orhan Cezmi Tuncer tarafından kayda alınan rölöve çizimleri, Karpuz' un (2009) yayınında şekildedeki gibi gösterilmektedir (Şekil 2). Ölçekli rölöve çizimlerine ve alanda yapılan fiziki ölçümlere göre kare planlı yapının kenar uzunlukları 5m, yüksekliği 11m olarak ölçülmektedir. Fotogrametri tekniği ile gerçekleştirilen 3B model üretim çalışmalarında bu ölçüler çalışmaya referans oluşturmaktadır. Halihazırda rölöve çizimleri bulunan yapının, zaman içinde çeşitli etmenler ile yapısal bozukluklar geçirmesi veya yıkılması halinde yapının tekrar inşa edilmesi için çizim ve kayıtlarının sistemli bir şekilde tutulması gerekmektedir. Bu türden bir kayıp yerine konulmasında Şekil 2 'de yer alan rölöve çizimleri yeterli olmayacaktır. Zira yapı üzerinde yer alan kitabe ve çini süslemeler kendine özgü detaylar barındırmaktadır. Bu noktada yapının, fotoğraflarından üretilen ve birebir ölçekteki 3B modelinin oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Aynı şekilde, 3B modeli bulunan yapının farklı ölçeklerde çıktıları alınarak, koruma altındaki bu eserin farklı platformlarda sergilenerek tanıtılmasına katkı sağlanabilir. 1/1, 1/10, 1/50, 1/100 gibi farklı detay ölçeklerinde 3B yazıcılar aracılığı ile yapı modelinin fiziki çıktısı alınarak; kültür varlığı eserlerinin tanıtımında, mimarlık tarihi derslerinde dönemsel örneklerin aktarımında, turistik amaçla hediye eşyalar basıp bunlardan ticari gelir etmede kullanılabilir. Kısaca, yapının dijital ortamda 3B modelinin oluşturulması büyük önem taşımaktadır.



Şekil 2. Fakih Dede Türbesi Plan, Kesit ve Görünüşü (Karpuz, 2009; Tuncer, 1986)

Yöntem

Çalışma yöntemi korelasyon metodu üzerine kurgulanmıştır. Çalışmada kullanılacak bağımlı ve bağımsız değişkenler tespit edilmiştir. Bu değişkenlerin sonuç ürün üzerindeki etkilerine karşılaştırmalı olarak bakılmıştır. Bu karşılaştırmaları yapabilmek için bazı girdi ve çıktı parametreleri belirlenmiştir. Çalışmanın çıktı parametreleri; basit nokta sayısı (B.N.S), yoğun nokta sayısı (Y.N.S), temiz yoğun nokta sayısı (T.Y.N.S), yüzey sayısı (Y.S) ve temiz yüzey sayısı (T.Y.S) olarak sıralanmaktadır. Çalışmanın girdi parametreleri ise, çözünürlük ve fotoğraf sayısı olarak belirlenmiştir. Basit nokta sayısı, yazılıma yüklenen fotoğrafların ilk tanımlama aşamasından sonra ortaya çıkan belirli sayıda nokta bulutu kümesini tanımlamaktadır. Bu noktalar açılı bir şekilde alınan fotoğraflar arasında yapılan geçişlerdeki referans konumlarında oluşmaktadır. Temel seviyede bulunan basit nokta sayısı bir sonraki adımda yine yazılım aracılığı ile artırılabilir. Nokta sayısının çok yüksek değerlere artırılmasıyla yoğun nokta sayısı (Y.N.S) kavramı ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan nokta bulutu kümesinde yapıyla ilişkisi olmayan yerlerde de nokta oluşumu görülmektedir. Bu gereksiz noktaların temizlenmesi işleminin ardından temiz yoğun nokta sayısına (T.Y.N.S) ulaşılmaktadır. Bu aşamaya kadar nokta kümesi halinde bulunan model, bu noktalar arasında oluşturulan üçgenlemeler ile bir kütle halini alır. Bu kütleli oluşturan üçgenler, yüzey sayısı (Y.S) kavramını oluşturmaktadır. Ancak bu aşamada da modelden bağımsız yüzeylerin oluşma durumu mevcuttur.



Şekil 3. Çalışmada Yürütülen Sürecin Akış Şeması

Bağımsız ve istenmeyen yüzey parçalarının temizlenmesiyle son aşamada temiz yüzey sayısı (T.Y.S) elde edilir. Model oluşum sürecinde; ortaya çıkan hatalı nokta sayıları, bunların silinmesi ile geriye kalan nokta sayıları, hatalı oluşan yüzeyler ve bunların temizlenmesiyle oluşan son yüzey sayıları çalışmanın parametrelerini oluşturmaktadır.

Çalışmada kullanılan araçlar; Insta360 one RS 4K aksiyon kamerası, üzerine kamera takılabilen uzatma çubuğu, şerit metre, lazer metre, siyah-beyaz renkte kot sembolü, koli bandı, not defteri, kalem ve bilgisayardır. Çalışma alanında video kaydı alınmadan önce siyah-beyaz renkte dört adet kot sembolü, kapsama konu olan yapının dört köşesine koli bandı yardımı ile yapıştırılmıştır. Ardından şerit ve lazer metreler yardımıyla alınan yatay ve dikey ölçüler not edilmiştir. Bu işlemlerin ardından uzatma çubuğuna takılan aksiyon kamerası ile yerden yaklaşık 3 metre yükseklikte, 4K çözünürlükte, geniş açı ve otomatik pozlama değerlerinde video görüntü kaydı alınmıştır. Video görüntüsü, türbe yapısını merkeze oturtacak şekilde, yapının dış duvarlarından yaklaşık 5 metre uzaklıkta dairesel olarak çevresinin yürüyüş hızında dönülmesiyle kaydedilmiştir. Bu kayıt alma sürecinde yapı çevresinde izlenen yol ve kamera açıları gösterilmektedir (Şekil 4). Kayıt süresi 80 saniye sürmüştür. Videonun 4K çözünürlükte alınmasının nedeni, sayısal ortamda kolayca daha düşük çözünürlüklere dönüştürülebilmesini sağlamaktır. Böylece tek bir çekim ile farklı çözünürlüklerde kayıtlar elde edilmiş olunacaktır. Ayrıca 5m mesafesinin belirlenmesinde de kayıt cihazının kadraj boyutu etkili olmuştur. Sağlıklı bir model oluşturmak için kayıt alınan görsellerin yapı ile arasındaki mesafenin sabit ilerlemesi önem taşımaktadır. Bunun için kadraj içerisine tüm yapının net bir şekilde sığıdığı ve yapı detaylarının belirgin görülebildiği bir uzaklık olarak 5m belirlenmiştir.



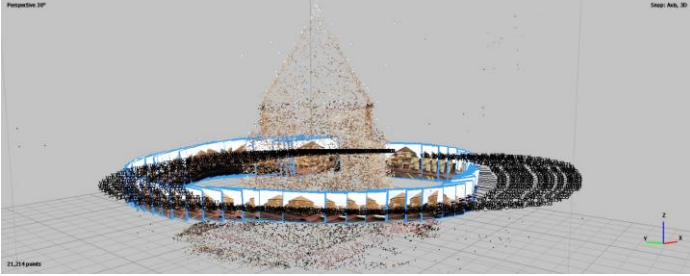
Şekil 4. Fakih Dede Türbesi Vaziyet Planı ve Kamera Kayıt Rotası (Konya Kent Bilgi Sistemi, 2024)

İlk aşamada video görüntüden fotoğrafların elde edilmesinde Adobe Premiere Pro video düzenleme aracı kullanılmıştır (Adobe, 2024). Bu program aracılığı ile saniyede 60 kare 4K(2160p) çözünürlükte kayıt altına alınan video görüntüden, saniyede 1 kare 4K(2160p), 1 kare 2K(1440p), 1 kare FHD(1080p) ve 1 kare HD(720p) olmak üzere dört farklı çözünürlükte, her biri 80 adet kareden oluşan fotoğraf setleri elde edilmiştir. Çalışma setlerinde fotoğraf sayıları eşit ve 80 adet olmasına rağmen çözünürlükleri birbirinden farklıdır. Bu işlemin ardından video çözünürlüğü HD(720p) değerinde sabit tutularak kare sayıları, saniyede 1, 3 ve 5 kare olmak üzere üç adet fotoğraf seti elde edilmiştir. Fotoğraf setlerinde HD(720p) çözünürlük değerinde 80, 240 ve 400 adet fotoğraf bulunmaktadır. 80 adet ve HD(720p) çözünürlük değerindeki fotoğraf setinin aralıklı seyreltilmesi işlemi ile aynı çözünürlük değerlerinde 40 ve 20 adet görüntüden oluşan iki farklı fotoğraf seti daha elde edilmiştir. HD(720p) çözünürlük değerine sahip 20, 40, 80, 240 ve 400 görselden oluşan beş farklı fotoğraf setine ek olarak her biri 80 görselden oluşan 4K(2160p), 2K(1440p), FHD(1080p) ve HD(720p) çözünürlük değerlerine sahip dört farklı fotoğraf seti elde edilmiştir. Parametrelerin keşiminde bulunan 80 adet ve HD(720p) çözünürlüklü fotoğraf seti iki grupta da yer almaktadır. Toplamda elde edilen fotoğraf seti sayısı sekiz adettir. Her bir fotoğraf seti ile bir adet dijital model oluşturulmaktadır. Bu işlem için bir fotogrametri yazılımı olan Agisoft Metashape programı kullanılmaktadır. Her bir fotoğraf seti içindeki fotoğraflar ayrı ayrı bu programa atılarak üç boyutlu dijital modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerin beş adedinde çözünürlük değeri HD(720p) ve sabitken görüntü sayıları değişkendir. Buna ek olarak, oluşturulan modellerden dört adedinde görüntü sayısı 80 ve sabitken çözünürlük değerleri değişkendir. Toplamda üretilen sekiz adet üç boyutlu dijital modelin karşılaştırılması ile görüntü sayısı ve çözünürlük değerlerinin model oluşumuna etkileri analiz edilmiştir. Yöntemin akış şeması şekilde verilmiştir (Şekil 3).

Fotogrametri ile Modelleme Süreci

Üç boyutlu dijital modelin üretiminde Agisoft Metashape programı kullanılırken girdi parametrelerinin sonuca etkisinin doğru bir şekilde tespit edilebilmesi için program içerisindeki model üretim değerleri sabit ve varsayılan değerlerinde tutulmuştur (Agisoft Metashape, 2024). Program tarafından izlenen tüm süreçler her model için aynı şekilde yürütülmüştür. Üç boyutlu dijital model üretim aşamaları, fotoğraf sayısı ve çözünürlük olarak belirlenen her iki değişken için de kullanılan, HD(720p) çözünürlük 80 fotoğraftan oluşan set üzerinden aktarılmaktadır. Dijital model üretim süreci, kullanılan fotoğraf setindeki fotoğrafların program içine aktarılması ile başlamaktadır. Ardından program arayüzünde "hizalama (align)" komutu ile mevcut görüntüler elde edildikleri konumlarda program içerisinde yerleştirilmektedir. Hizalama işlemi, fotogrametrinin temeli olan stereo görüntü çiftlerinin

oluşturulmasını sağlamaktadır. Birbirini değişken uzaklık ve açılarda takip eden ardıl görsellerde referans noktadaki yer değiştirmenin ölçülmesini temel alan stereografi ile üç boyutlu ortamda, nokta konumu tespiti yapılmaktadır. Bu yüzden nokta bulutu oluşturma işleminin ilk adımı görsellerin program tarafından hizalanmasıdır. İşlem sonucu ortaya çıkan nokta kümesine “basit nokta bulutu” adı verilmekte ve modelin bu aşamadaki hali Şekilde gösterilmektedir (Şekil 5).



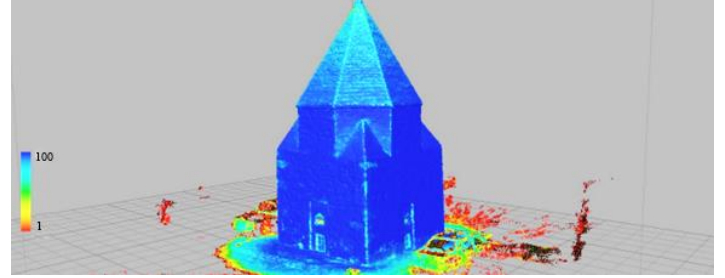
Şekil 5. HD (720p), 80 Fotoğraf, Basit Nokta Bulutu, 21.214 Nokta

Model üretim sürecinin ilk aşaması olan fotoğrafların programa tanıtılması ve hizalanması işlemi sonunda 21.214 adet noktadan oluşan basit nokta bulutu elde edilmiştir. Tüm fotoğraflarda merkezde yer alan türbe yapısına dair stereo görüntü çiftlerinden yararlanılarak belirlenen ortak noktaların konumları yine Şekil 5 'te gösterilmektedir. Bir sonraki aşamada yoğun nokta bulutu oluşturulması işlemi yer almaktadır. Yoğun nokta bulutu oluşturulmasındaki amaç; halihazırda stereo görüntü çiftlerinden elde edilen nokta adedi, yapıda yer alan detayların yüzey halini alması için yetersizdir. Basit nokta bulutunda yer alan noktalar arasına, yapı görsellerinden ve referans noktalardan yararlanılarak yeni noktalar atılmaktadır. Bu noktaların sayısı mevcuttaki nokta sayısından kat ve kat fazla olduğundan ötürü “yoğun nokta bulutu” adını almaktadır. Yoğun nokta bulutundaki nokta sayısının fazla oluşu yapı modelinin yüzeylerinin doğru modellenebilmesi için önem taşımaktadır. Bunun için program arayüzünden “yoğun bulut(dense cloud)” komutu seçilerek mevcutta yer alan noktalar arasına muhtemel noktalar yerleştirilerek nokta sayısı yazılım tarafından artırılmaktadır. Komutun uygulanmasının ardından 21.214 adet olan nokta sayısı 1.043.591 adede yükselmektedir. Oluşturulan yoğun nokta bulutu modeli Şekilde gösterilmektedir (Şekil 6).



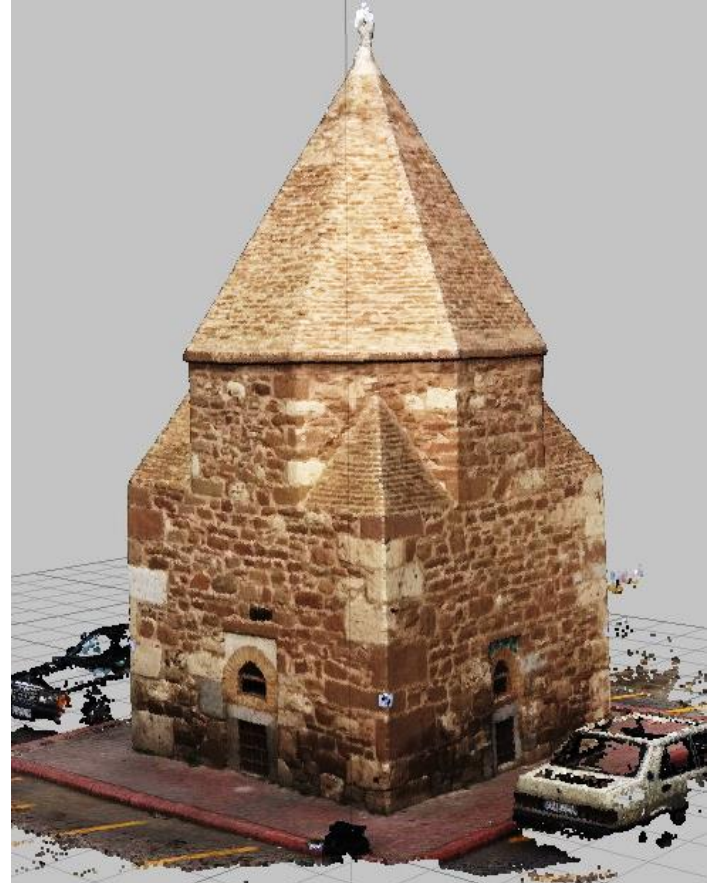
Şekil 6. HD (720p), 80 Fotoğraf, Yoğun Nokta Bulutu, 1.043.591 Nokta

Yazılım tarafından nokta sayıları muhtemel konumlarına göre artırılırken nokta hassasiyetleri tüm noktalar için aynı olmamaktadır. Bu hassasiyetler eklenen noktanın kaç adet stereo görüntü çiftinden alındığına göre renk skalası ile işaretlenmektedir. Bu skalaya göre kırmızı renk, en az olup bir adet stereo görüntü çiftinde bu noktaya dair doğrulama yapıldığını anlatmakta, mavi renk ise en yüksek olup 100 ve üzeri stereo görüntü çiftlerinde bu noktaya dair doğrulama yapılabildiğini anlatmaktadır. Kısaca kırmızı ve tonlarında çıkan noktaların konum doğruluğu mavi ve tonlarında çıkana göre daha düşüktür. Bu yüzden elde edilen üç boyutlu model kalitesini artırmak adına kırmızı skalada yer alan noktalar manuel olarak silinmektedir. Nokta hassasiyetlerini gösteren renk skalasında olan model Şekilde gösterilmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Nokta Hassasiyeti Renk Skalası, 1.043.591 Nokta

Hassasiyet dereceleri düşük olan noktaların silinmesinin ardından, temiz yoğun nokta bulutu elde edilmektedir. Bu haliyle muhtemel noktaların yeri daha doğru tespit edilmiş olup yeni modeldeki nokta sayısı 962.310 adede düşmüştür. Temizlenmiş yoğun nokta bulutu da şekilde gösterilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. HD (720p), 80 Fotoğraf, Temiz Yoğun Nokta Bulutu, 962.310 Nokta



Şekil 9. Fotogrametri ile Dijital Modelleme Süreci Akış Şeması

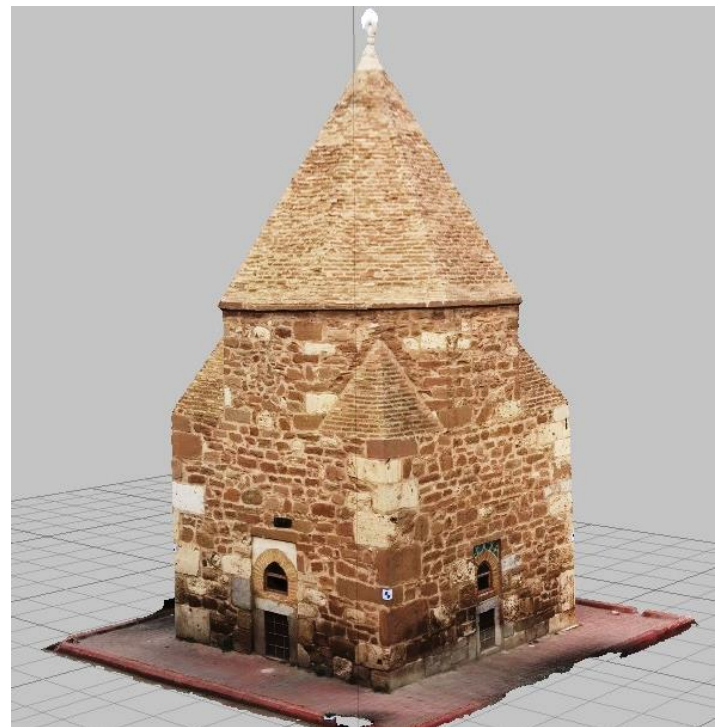
Bu aşamaya kadar ilerletilen model tümüyle kamera lens faktörlerine göre ölçeklendirilmektedir. Ancak modelin tam anlamıyla ölçekli hale gelebilmesi için bir referans ölçü girilmesi gerekmektedir, bunun için alanda yapılan ölçümlerden yararlanılmaktadır. Alanda yapı çevresine yerleştirilen kot sembolleri arası 5m olarak ölçüldüğünden program üzerindeki modelde de bu işaretçiler arasına referans ölçü değeri olarak 5m girilmektedir. Bu değer program girilmesinden itibaren mevcut model bu referans ölçüye göre kendini güncellemekte ve fiziki ölçüğe uygun hale gelmektedir. Bu ölçekleme işlemi için kot sembolü işaretçiler arasında referans ölçü verilmesine dair bilgi Şekilde yer almaktadır (Şekil 10). Ölçekli hale gelen ve temizlenmiş yoğun nokta bulutu durumundaki model üzerine yüzey atama işlemi yapılmaktadır.



Şekil 10. Model Üzerinde İşaretçiler Arasında Referans Ölçünün (5m) Girilmesi

Program arayüzünde yer alan “örgü(mesh)” komutu ile konum tespiti yapılan noktalar arasına üçgen yüzeylerin örülmesi ile model yüzey oluşumu tamamlanmaktadır. Yüzey ataması yapılan modeldeki üçgen yüzey sayısı 236.420 adettir. Oluşan bu yüzeylerin içinde türbe yapısı ile bağlantısı bulunmayan çevre unsurları (arabalar) da yer aldığından model sınırı türbe tretuvarına çekilmiştir. Bunun dışında yine türbeden bağımsız olarak boşlukta oluşan tanımsız yüzeyler de silinerek 136.271 adet temiz yüzey sayısına ulaşılmaktadır. Üç boyutlu dijital model üretiminin son aşamasına gelindiğinde yüzey atamaları yapılan model üzerine renk ve doku ataması yapılmaktadır. Bu işlem için program arayüzünde “doku(texture)” komutu ile modelin elde edilmesinde kullanılan görsellerden model üzerine doku ataması yapılmaktadır. Bu işlem sonunda elde edilen sonuç ürün görseli Şekilde yer almaktadır(Şekil 11).

Buraya kadar gerçekleştirilen modelleme süreci, bu araştırmada kullanılan tüm modellerde aynı şekilde yürütülmüştür. Modelleme sürecinin sabit bir yol haritasının bulunması, araştırma için belirlenen değişkenlerin model oluşumundaki etkilerinin net bir biçimde ortaya konmasına yardımcı olacağı düşünülmektedir. Fotogrametri ile modelleme sürecinin akış şeması şekilde görülmektedir(Şekil 9).



Şekil 11. HD (720p), 80 Fotoğraf, Doku Atama, 136.271 Yüzey

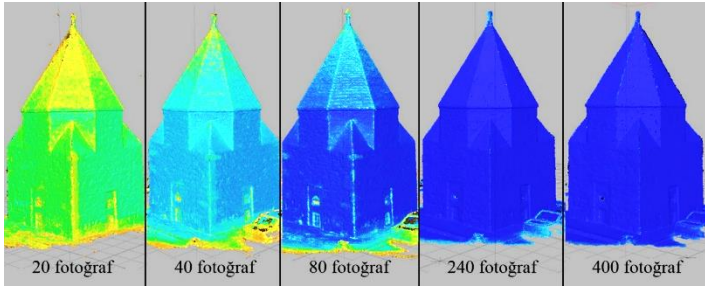
Bulgular

İlk olarak fotoğraf sayılarının artırılmasının model üretim parametreleri üzerindeki etkilerine bakıldığında; yapı çevresinden alınan görsel sayısı artırdıkça yüzey sayıları hariç tüm parametre değerlerinin arttığı görülmektedir. Fotoğraf sayılarının artırıldığı modellerin üretim parametrelerindeki değişimler, tabloda gösterilmektedir (Tablo 1). Bu verilere bakılarak fotoğraf sayısının artırılması, fotogrametri ile üretilen üç boyutlu dijital modeldeki nokta sayılarını artırmaktadır. Nokta sayılarının artmasına paralel olarak yüzey sayılarının da azaldığı görülmektedir. Oluşan bu fark, yüzey oluşumunda kullanılan noktaların konum doğruluğundan kaynaklanmaktadır. Beş farklı modelde yer alan temiz yoğun nokta bulutlarının konum doğruluğu açısından renk skalasına göre karşılaştırılması yapılmıştır. Konum doğruluğu ve renk skalasına göre sıralanan modellerin karşılaştırmalı hali verilen şekilde yer almaktadır (Şekil 12). Tablodaki yoğun ve temiz yoğun nokta bulutu sayılarına bakıldığında fotoğraf adedi arttıkça temizlenen nokta sayısının da arttığı görülmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Fotoğraf Sayısı ve Dijital Model Parametreleri Arasındaki İlişki

	20 Fotoğraf (HD-720p)	40 Fotoğraf (HD-720p)	80 Fotoğraf (HD-720p)	240 Fotoğraf (HD-720p)	400 Fotoğraf (HD-720p)
Kamera Konumları					
Basit Nokta Sayısı	6.294	12.771	21.214	31.255	35.606
Yoğun Nokta Sayısı	780.653	951.861	1.043.591	1.348.524	1.489.361
Temiz Yoğun Nokta Sayısı	724.230	900.129	962.310	1.028.447	1.029.944
Yüzey Sayısı	260.220	244.485	236.420	145.538	152.684
Temiz Yüzey Sayısı	242.179	179.871	136.271	126.553	125.412
Detay Görüntü					
Detay Görüntü					

Tablodaki yoğun ve temiz yoğun nokta bulutu sayılarına bakıldığında fotoğraf adedi arttıkça temizlenen nokta sayısının da arttığı görülmektedir (Tablo 1). Bunun nedeni temizleme işleminin oluşturulan nokta sayısı ile doğru orantılı olarak detaylandırılmasıdır. Daha fazla fotoğraf çiftinden doğrulama alan noktalar, konum doğruluğu bakımından mavi skalada yer alırken daha az doğrulama alan noktalar kırmızı skalada yer almaktadır. Verilen şekilde, 20 fotoğraf ile oluşturulan modele bakıldığında mavi skalada neredeyse hiç nokta görünmezken 400 fotoğraf ile oluşturulan modelde ise noktaların tamamına yakını mavi skalada oluşmaktadır (Şekil 12).




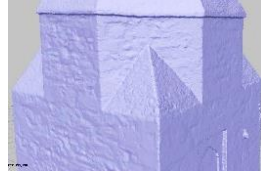
Şekil 12. Temiz Yoğun Nokta Bulutlarının Renk Skalasına Göre Konum Doğruluğu Karşılaştırılması (fotoğraf sayısının etkisi)

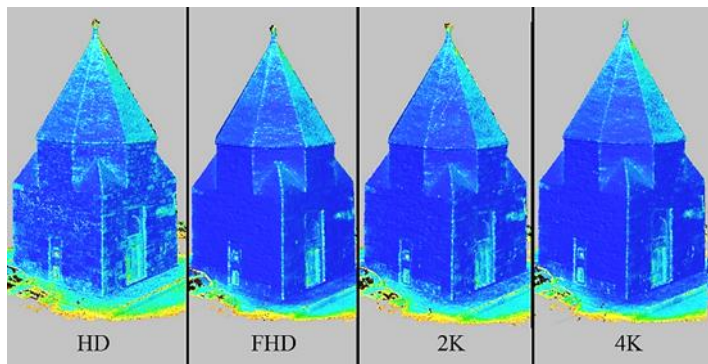
Bu sebeple az sayıda fotoğrafla elde edilen ve az sayıda yoğun nokta bulutu oluşturan modellerde, nokta temizleme işlemi düşük oranda yapılırken fazla sayıda nokta bulutu oluşturan modellerde yüksek oranda yapılmaktadır. Buna paralel olarak oluşan yüzey sayıları fazla doğrulama alan modellerde daha düşükken az sayıda doğrulama alan modellerde yüzey sayıları fazladır. Bu da aynı doğrusal yüzeyde yer alan noktaların konumlarındaki

dalgalanmalar nedeniyle fazla üçgen yüzeyler oluşmasından kaynaklıdır. Yüksek doğrulukta olan noktaların sayıları çok fazla olsa da doğrusal olarak daha temiz bir konumda olduklarından az sayıda üçgen yüzeyler oluşturmaktadır. Buradan hareketle fotogrametri ile üç boyutlu dijital model oluşturulurken kullanılan fotoğraf sayısının artırılması, nokta sayısını ve nokta konum doğruluğunu artırmaktadır. Buna ek olarak, modelde temiz yüzey oluşumu sağlamaktadır. Çalışmanın bir sonraki aşamasında, görüntü sayıları 80 adet ile sabit tutulurken görüntülerin çözünürlük değerleri değiştirilmektedir. Kısaca aynı boyuttaki görüntü karesi içine düşen piksel sayıları değiştirilmektedir. Bu işlem için dört farklı çözünürlük değerindeki görsellerden üretilen dijital modellerin, üretim parametrelerine göre karşılaştırılması yapılmakta ve bu değerler Tabloda gösterilmektedir (Tablo 2).

Basit nokta sayısı hariç diğer tüm parametrelerin çözünürlük değeri arttıkça buna bağlı olarak arttığı görülmektedir. Temiz yoğun nokta sayısı ile çözünürlük arasındaki orantısal yakınlık dikkat çekmektedir. Çözünürlük değeri arttıkça oluşan modelin yüzey sayısı ve kalitesi buna bağlı olarak artmaktadır. Fotoğraf sayısındaki artış kaliteyi belirli bir yere kadar artırırken çözünürlük değerindeki artış, model kalitesini sürekli olarak artırmaktadır (Tablo 2). Çözünürlük değeri değişen modellerin renk skalasına göre nokta konum doğruluğuna bakıldığında ise (Şekil 13), fotoğraf sayısında olduğu gibi belirgin bir fark oluşmadığı görülmektedir. Sadece HD kalitedeki fotoğraflardan üretilen modelde maviden turkuaza geçen noktaların sayısı diğerlerine göre fazladır. Bu da çözünürlüğün; noktaların konum doğrulaması almasında fotoğraf sayısının artırılması kadar belirgin bir etkisinin olmadığını, ancak kısmen de olsa çözünürlük artışının konum doğrulamasını artırdığını ortaya koymaktadır.

Tablo 2. Fotoğraf Çözünürlüğü ve Dijital Model Parametreleri Arasındaki İlişki

	HD (720x1280p) (X)	FHD (1080x1920p) (2,3X)	2K (1440x2560p) (4X)	4K (2160x3840p) (9X)
Basit Nokta Sayısı	21.810	46.627	54.751	50.701
Yoğun Nokta Sayısı	1.054.717	2.426.261	3.916.843	8.300.652
Temiz Yoğun Nokta Sayısı (Y)	968.659	2.176.583 (2,3Y)	3.581.482 (3,7Y)	7.520.341 (7,8Y)
Yüzey Sayısı	172.469	551.814	665.359	3.295.047
Temiz Yüzey Sayısı	86.873	290.493	388.974	2.320.489
Detay Görüntü				

**Şekil 13.** Temiz Yoğun Nokta Bulutlarının Renk Skalasına Göre Konum Doğruluğu Karşılaştırılması (çözünürlüğün etkisi)

En az geleneksel röleve tekniği kadar doğru sonuç veren, ancak daha az iş gücü, malzeme ve çalışma süresi gerektiren fotogrametri tekniğinin, üç boyutlu model üretim kabiliyetinin artırılması önem arz etmektedir. Bağımlı ve bağımsız değişkenlerin kıyaslanması ile yürütülen çalışma sonunda, bazı parametrelerin fotogrametrik model üretim sürecinde etkili olduğu görülmektedir. Bu parametrelerden ilki fotoğraf sayısıdır. Tatmin edici bir üç boyutlu dijital modelin oluşturulabilmesi için en az 20 adet ardışık görüntüye sahip olunması gereklidir. Bu sınırdan itibaren görüntü sayıları katlanarak artırılmıştır. Fotoğraf sayısı artırıldıkça oluşan modelin nokta sayısı ve noktaların konum doğruluğu artmaktadır.

Çözünürlük analizinde, çözünürlük değeri arttıkça oluşturulan nokta ve yüzey sayıları buna paralel artmaktadır. Tabloda görüldüğü gibi, HD çözünürlük değerinin dört kat artırılarak 2K değerine getirilmesi sonucunda temiz yoğun nokta sayısı 3,7 kat artmıştır (Tablo 2). Benzer şekilde, HD çözünürlüğünün dokuz kat artırılarak 4K çözünürlük değerine getirilmesiyle temiz yoğun nokta sayısı 7,8 kat artmıştır. Buradan hareketle yüzey sayısı ve kalitesi artırılmak istenilen bir fotogrametrik modelin; öncelikli olarak elde edildiği fotoğrafların çözünürlük değerleri artırılmalı, ardından nokta konum doğruluğu ve adedini artırmak için de ardışık fotoğraf sayılarının artırılması sağlanmalıdır. Bu iki parametrenin değişimiyle; üretilen 3B dijital modelin yüzey kalitesinin iyileştirilmesi böylece mümkün olmaktadır.

Tartışma

Yürütülen çalışmada, fiziki mekanların dijital olarak belgelenmesinde etkin olarak kullanılan fotogrametri tekniğinin üç boyutlu dijital model üretim kabiliyetini hangi parametrelerin olumlu etkilediği araştırılmıştır. Buna benzer bir çalışma yürüten Tinkham ve Swayze(2021), belirli bir orman alanındaki ağaçların fotogrametri ile 3B modellenmesinde; oluşturulan derinlik haritalarının çözünürlük değerlerini incelemektedir. Buradaki amaç, hava görüntülerinden oluşturulan ağaç modellerinin nokta bulutu kalitesini artırmaktır. Nokta bulutu kalitesinin çözünürlük artışıyla mümkün olduğunu ancak büyük çözünürlüklerin modellerle sürelerini aşırı artırdığı ve bunun belirli değerlerin üzerine çıkmaması gerektiği aktarılmaktadır (Tinkham ve Swayze, 2021). Çözünürlük değerinin model kalitesini artırdığını ortaya koyan araştırmada; yüksek kaliteli modeller elde etmekten ziyade ağaç kataloğunun düzgün şekilde oluşturulması öncelendiği için pürüzsüz 3B model yüzeyleri elde etmenin potansiyelleri göz ardı edilmektedir. Oysa türbe binası özelinde yürütülen bu çalışmada; model kalitesinin artırılması için çözünürlüğü bir parametre olarak kullanarak solid yüzeylerin detay görünüşleri incelenmektedir. Detaydaki yüzey kalitesinin olumlu yönde artırılabilmesi; D'Urso ve arkadaşlarının (2023) çalışmasında yer verildiği gibi yapı bozunmalarının daha net tespit edilmesine ve yapılacak müdahalenin ölçekli planlarının çıkarılabilmesine imkan sağlamaktadır. Maharani ve arkadaşları(2020) ise; farklı fotoğraf sayıları ile ürettikleri iki modeli karşılaştırmış ve fotoğraf sayısının belirli bir eşikten sonra modellemeye katkı sunmadığını aktarmıştır. Ancak yürüttükleri çalışmada, 270 ve 362 gibi sadece iki farklı fotoğraf sayısı üzerinden bir araştırma sunmuşlardır. Fotoğraf sayılarının belirgin aralıklarla düzenli artırılması ve ikiden fazla model üretilerek karşılaştırılmasıyla, fotoğraf sayısının modellemeye etkisinin daha net ortaya koyulacağı düşünülmektedir. Bu yüzden yürütülen çalışmada 5 farklı model üzerinden fotoğraf sayılarının belirli oranlarda artırılması analiz edilmektedir.

Dijital belgelemede kullanılan geleneksel röleve ve lazer tarama tekniklerine göre daha erişilebilir ve kolay bir süreç sunan fotogrametri, sunduğu imkanlar ile öne çıkmaktadır. Yapılan çalışma ile öne çıkan bu tekniğin geliştirilmesine katkı sunmak ve bu teknik ile üretilen üç boyutlu modellerin yüzey kalitesini artırmak amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda elde geleneksel röleve çizimleri bulunan ve taşınmaz kültür varlığı olan Fakih Dede Türbesi çalışma kapsamı olarak belirlenmiştir. Tescili ve

geleneksel rölöve çizimleri bulunan ancak üç boyutlu modeli bulunmayan bir yapının, fotogrametrik modelinin üretilmesiyle dijital belgelenmesine katkı sunmak da çalışmanın hedefleri arasındadır. Çalışmada belirli değişkenler üzerinde yürütülen korelasyonel araştırma yöntemi izlenmiştir. Bunun için bağımlı ve bağımsız değişkenler tespit edilmiş ve aralarındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Çalışmada yer alan bağımsız değişkenler; kullanılan fotoğraf sayısı ve kullanılan fotoğrafların çözünürlük değerleridir. Bu değişkenlere bağlı olarak değişen model üretim parametreleri ise; basit nokta sayısı, yoğun nokta sayısı, temiz yoğun nokta sayısı, yüzey sayısı ve temiz yüzey sayısı olarak sıralanmaktadır. İlk olarak fotoğraf sayısının fotogrametrik model üretim süreci üzerindeki etkilerine bakılmış, fotoğraf sayısı arttıkça temiz yüzey sayısı hariç diğer tüm parametrelerin arttığı görülmüştür. Fotoğraf sayısındaki artış, modeli oluşturulan nokta bulutundaki nokta sayısını ve bu noktaların konum doğruluğunu artırmaktadır. Diğer bir bağımsız değişken olan fotoğraf çözünürlüklerine bakıldığında, fotoğraf çözünürlükleri arttıkça basit nokta sayısı hariç tüm parametreler artmaktadır. Üstelik bu artış çözünürlük değerlerindeki artışa yakın bir oranda olmaktadır. Yürütülen çalışma sonunda; yüzey kalitesi ve sayısı artırılmak istenilen dijital model, mümkün olan en yüksek çözünürlük değerlerine sahip fotoğraflardan oluşturulmalıdır. Çözünürlük artışı ile yeterli kaliteye ulaşılamaması durumunda ise yüzey detaylarını bozmayacak bir sınıra kadar fotoğraf sayıları artırılmalıdır. Alanda yapılan diğer çalışmalara bakıldığında; fotoğraf sayıları ve çözünürlük değerlerinin, fotogrametrik mimari modellemedeki etkilerinin detaylı ve bütünlük şeklinde ele alınmadığı görülmektedir. Yürütülen çalışmayla; bu parametrelerin mevcut bir tescilli yapı üzerinden kapsamlı şekilde incelenmesi, araştırmanın özgün değerini ortaya koymaktadır.

Sonuç

Daha az iş gücü ve malzeme ile ölçekli üç boyutlu modeller elde edilmesini sağlayan fotogrametri tekniğinin yaygınlaştırılması ve geliştirilmesi mimari koruma için önem arz etmektedir. Bilindiği üzere belgeleme metotları arasında geleneksel rölöve tekniği; ölçü almada, kroki üzerine çizim ve yazı yazmada çokça ekipman ve insan gücü gerektirmektedir. Buna benzer şekilde lazer tarama sistemler için de çokça sermaye ve yatırım gerekirken, fotogrametri tekniği bunlara kıyasla daha avantajlı bir konumda yer almaktadır. Kolay erişilebilen ve hızlı bir dijital belgeleme tekniği olan fotogrametrinin model üretim kabiliyetinin artırılmasına yönelik yürütülen bu çalışma, sektördeki profesyonellere ve araştırmacılara fotoğraf sayısı ve çözünürlük değerleri üzerinden daha kaliteli dijital model üretmeye yönelik bir yol sunmaktadır. Kaydedilen videolar veya fotoğrafların sekans miktarları ve çözünürlük değerlerinin artırılmasıyla daha kaliteli 3B modeller elde etmek mümkündür. Buna ek olarak; çalışmada kullanılan tüm görüntüler, aynı gün ve saatte elde edildiğinden, hava durumundaki mevsimsel değişikliklerin ve güneş konumunun modelleme sürecine etkileri tam olarak bilinmemektedir. Fotogrametri sürecinde, parlak yüzeylerin yazılımlar tarafından tanımlanmasının ve algılanmasının zor olduğu bilirse de çevresel değişkenlerin analiz edilmesi, bu araştırmanın ileri bir ayağı olarak düşünülmektedir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Yazar Katkıları: Fikir - A.U., H.S.; Tasarım - A.U., H.S.; Denetleme - H.S.; Kaynaklar - A.U., H.S.; Veri Toplanması ve İşlemesi - A.U.; Analiz ve Yorum - A.U.; Literatür Taraması - A.U.; Yazıyı Yazan - A.U.; Eleştirel İnceleme - H.S.; Diğer - H.S.

Etik Kurul Onay Belgesi: Yazarlar, etik kurul onay belgesine gerek olmadığını beyan etmiştir.

PLANARCH - Design and Planning Research

Çıkar Çatışması: Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

Finansal Destek: Yazarlar, bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Concept - A.U., H.S.; Design - A.U., H.S.; Supervision - H.S.; Resources - A.U., H.S.; Data Collection and Processing - A.U.; Analysis and Interpretation - A.U.; Literature Search - A.U.; Writing Manuscript - A.U.; Critical Review - H.S.; Other - H.S.

Ethics Committee Approval Certificate: The authors declared that an ethics committee approval certificate is not required.

Conflict of Interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Financial Disclosure: The authors declared that this study has received no financial support.

Kaynaklar

- Balci, D. (2022). Kültürel mirasın belgelenmesinde lazer tarayıcıların kullanılması. *Turkey Lidar Dergisi*, 4(1), 27-36. <https://doi.org/10.51946/melid.1129846>
- Bekar, İ. & Kutlu, İ. (2024). Critical analysis and digital documentation of the transformations of heritage buildings. *VITRUVIO - International Journal of Architectural Technology and Sustainability*, 9(1), 130-143. <https://doi.org/10.4995/vitruvio-ijs.2024.21186>
- Çakıcı, F.Z., & Kaçdi, R. (2023). Systematic analysis of the digital technologies used in the documentation of historical buildings. *Cultural Heritage and Science*, 4(2), 69-77. <https://doi.org/10.58598/cuhs.1344379>
- D'Urso, M. G., Marino, C. L., & Aldrighettoni, J. (2023). Degradation of Historic Masonry by Analytical and Digital Photogrammetry: a Quantitative Analysis. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 10(M-1-2023), 47-54. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-M-1-2023-47-2023>
- Firzal, Y. (2021). Architectural Photogrammetry: a Low-Cost Image Acquisition Method in Documenting Built Environment. *International Journal of GEOMATE*, 20(81), 100-105. <https://doi.org/10.21660/2021.81.6263>
- Fritsch, D., & Klein, M. (2018). 3D preservation of buildings - Reconstructing the past. *Multimedia Tools and Applications*, 77(7), 9153-9170. <https://doi.org/10.1007/s11042-017-4654-5>
- Grussenmeyer, P., Hanke, K., & Streilein, A. (2002). Architectural Photogrammetry: Basic theory, Procedures, Tools. İçinde M. Kasser & Y. Egels (Ed.), *Digital Photogrammetry* (ss. 300-339). Taylor & Francis.
- Karpuz, H. (Ed.). (2009). *Türk kültür varlıkları envanteri Konya 42*. Türk Tarih Kurumu Yayınları.
- Kutlu, İ., Soyluk, A. & Aydın, S. (2023). A review of the usability of photogrammetry technique for studying the structural behavior of historical buildings. *Selcuk University Journal of Engineering Sciences*, 22(01), 17-19. <http://sujs.selcuk.edu.tr>
- Li, K., Ramandi, H.L., Zhang, C., Saydam, S., Oh, J., & Saydam, S. (2023). Exploring the capabilities of portable device photogrammetry for 3D surface roughness evaluation. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 37(8), 630-647. <https://doi.org/10.1080/17480930.2023.2235845>
- Linder, W. (2009). *Digital Photogrammetry: A Practical Course* (2. baskı). Springer.
- Maharni, M., Charinenna, A. & Nugroho, H. (2020). Identification of photo number effect for 3D modeling in Agisoft software. *IOP*

- Conference Series: Earth and Environmental Science, 500(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/500/1/012073>
- Marín-Buzón, C., Pérez-Romero, A., López-Castro, J. L., Jerbania, I. Ben, & Manzano-Agugliaro, F. (2021). Photogrammetry as a new scientific tool in archaeology: Worldwide research trends. *Sustainability (Switzerland)*, 13(9), 1-27.
<https://doi.org/10.3390/su13095319>
- McManamon, P. (2019). *LIDAR Technologies and Systems*. Spie Press.
- Pehlivan, G.F., Baldiran, A. & Pehlivan, E. (2022). Kültürel mirasın belgelenmesinde farklı tekniklerin karşılaştırılması: İlasos Bouleuterionu örneği. *GRID- Architecture, Planning and Design Journal*, 5(1), 53-71. <https://doi.org/10.37246/grid.946786>
- Polidori, L. (2020). On Laussedat's Contribution to the Emergence of Photogrammetry. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 43(B2), 893-899. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2020-893-2020>
- Tinkham, W.T. & Swayze, N.C. (2021). Influence of agisoft metashape parameters on uas structure from motion individual tree detection from canopy height models. *Forests*, 12(2), 1-14.
<https://doi.org/10.3390/f12020250>
- Tuncer, O.C. (1986). *Anadolu Kümbetleri 1 - Selçuklu Dönemi*. Güven Matbaası.
- Uluengin, M. B. (2014). *Rölöve* (6. Baskı). YEM Yayın.
- Ulusoy, A.S. (2023). *Fiziki mekânın meta evreni için fotogrametri ile dijitalleştirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi, KTO Karatay Üniversitesi). DSpace@Karatay.
<https://dspace.karatay.edu.tr/handle/20.500.12498/5533>
- URL-1. TKGM | Parsel Sorgu Uygulaması.
<https://parselsorgu.tkgm.gov.tr/#ara/cografi/37.86594846577408/32.50444114208222> (Erişim: 19.12.2023)
- URL-2. Yılmaz, E. Stereo Görüntüleme Nedir? - Aydınlatma Portalı.
<https://www.aydinlatma.org/stereo-goruntuleme-nedir.html> (Erişim: 18.10.2020)
- URL-3. Konya Kent Bilgi Sistemi.
<https://kentrehberi.konya.bel.tr/#/rehber/> (Erişim: 19.07.2024)
- URL-4. Agisoft Metashape. <https://www.agisoft.com/> (Erişim:23.07.2024)
- URL-5 Adobe. <https://www.adobe.com/tr/> (Erişim: 23.07.2024)
- Van, T.N., Thanh, T. Le, Van, T.N. & Naprstkova, N. (2023). Smartphone-Based Data Acquisition Method for Modelling 3D Printed Arm Casts. *Manufacturing Technology*, 23(2), 260-267.
<https://doi.org/10.21062/mft.2023.019>