

## Tarihi minberlerin fotogrametri yöntemi ile belgelenmesi

Mustafa Emre Döş<sup>1</sup> , Abdurahman Yasin Yiğit<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Antakya Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölüm, Hatay, Türkiye

<sup>2</sup>Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Tarihi Eserler,  
Fotogrametri,  
3B Modelleme,  
3B çizim,  
SfM.

### ÖZ

Tarihi kaynaklara ve arkeolojik çalışmalara bakıldığı zaman Anadolu birçok farklı medeniyetin kalıntılarının olduğu bir yerdir. Anadolu'da yaşamış her medeniyetin bıraktığı kültürel miras, geçmişten günümüze kendine ait kimliğini temsil eder. Günümüzde kentlerin gelişmesiyle birlikte bu kültür varlıklarının bir kısmı unutulmuş ya da doğal veya insan eliyle yok edilmektedir. Bu nedenle, bu değerli mirasın belgelendirilmesi; geleceğe yönelik koruma, muhafaza etme veya tanıtım için hayati öneme sahiptir. Bu gibi durumlarda, mühendislik ve mimari yapılarının tasarımının dijital ortama üç boyutlu (3B) olarak aktarılması gerekmektedir. Üç boyutlu modellerin elde edilmesini sağlayan akla gelen ilk teknik fotogrametri tekniğidir. Tarihi eserlerin 3B modellerle belgeleme üretiminde yüksek doğruluk, düşük maliyet ve görece daha az zaman harcanan yöntemleri bulmaya çalışmak fotogrametrinin bir çalışma alanıdır. Ancak genel olarak çalışmalar tarihi eserlerin dış mimarileriyle ilgilenmiş içyapı unsurları ihmal edilmiştir. Bu çalışmada camilerin içyapılarındaki en önemli unsurlardan olan minberlerin yakın resim fotogrametrisi yöntemiyle belgelenmeye çalışılmaktadır. Çalışma sırasında minberin yersel olarak fotoğrafları çekilmiş ve jeodezik yöntemler kullanılarak kontrol noktaları ölçülmüştür. Minberin 3B modeli çizilmiş ve 3B model ile cephelerinden alınan ölçüm ve koordinatlar karşılaştırılarak doğruluk analizi yapılmıştır.

## Documentation of historical minbars using photogrammetry method

### Keywords

Historical Monuments,  
Photogrammetry,  
3D Modelling,  
3D draw,  
SfM.

### ABSTRACT

When we look at historical sources and archaeological studies, Anatolia is a place where there are the remains of many different civilizations. The cultural heritage left by every civilization that lived in Anatolia represents its own identity from past to present. Today, with the development of cities, some of these cultural assets are forgotten or destroyed by natural or human hands. Therefore, the documentation of this valuable heritage; is vital for future preservation, preservation, or promotion. In such cases, it is necessary to transfer the design of engineering and architectural structures to the digital environment in three dimensions (3D). Photogrammetry is the main technology that enables 3D models to be obtained. Trying to find methods with high accuracy, low cost and relatively less time spent in the production of documentation of historical artifacts with 3D models is a field of study of photogrammetry. However, in general, the studies were concerned with the exterior architecture of historical monuments, and the interior elements were neglected. In this study, it is tried to document the pulpit, which is one of the most important elements in the interior of mosques, with the method of close-up photogrammetry. During the study, local photographs of the pulpit were taken and control points were measured using geodetic methods. The 3D model of the pulpit was drawn and the accuracy analysis was made by comparing the 3D model with the measurements and coordinates taken from its facades.

\* Sorumlu Yazar (\*Corresponding Author)

Kaynak Göster (APA) / Cite this;

\* (abdurahmanyasinyigit@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-9407-8022  
(mustafaemre.dos@mku.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-7605-4270

Döş, M. & Yiğit, A. Y.. (2022). Tarihi minberlerin fotogrametri yöntemi ile belgelenmesi. Türkiye Fotogrametri Dergisi, 4(2), 58-65

## 1. GİRİŞ

Kültürel miraslar genellikle tarihsel, kültürel ve sanatsal önemi nedeniyle bir yerin ve nüfusunun zenginliğini oluşturan tarihi binalar, modern yapılar, köprüler vb. gibi anıtlarla ilgili varlıklar kümesi olarak tanımlanır [1]. Kültürel mirasın korunması ve restorasyonu, orijinal durumlarını mümkün olduğunca uzun süre korumak ve gelecek nesillere bu bilgilerin aktırılması için yeni teknolojiler kullanılarak tarihi yapıların korunmasını içerir. Genellikle geometrik araştırma, mirasın izlenmesi ve belgelenmesi ile ilişkilendirilir. Kültürel miras nesnelere korunması karmaşık ve multidisipliner bir faaliyettir. Çok sayıda kültürel miras çalışması, bir kültürel miras varlığının maruz kalabileceği risklerin izlenmesi veya zararın önlenmesi veya en aza indirilmesi konusundaki önerilerle elde edilmektedir [2].

Günümüzde tarihi miraslar doğal veya doğal olmayan birçok tehlikeyle karşı karşıya kalmakta ve tarihi yapılar zarar görmektedir [3]. Şehirlerin ve toplumların kimliklerini oluşturan bu yapılar geri döndürülemez şekilde tahrip olduklarında restorasyon işlemlerinde bir hayli zor olmaktadır. Genellikle, tarihi yapıların restorasyonu için gerekli olan orijinal mimari çizimler bulunamazlar. Bu nedenle, tarihi eserlerin belgelenmesi ve deformasyonların izlenmesi çok önemlidir [4].

Bir binanın doğrudan ölçümü maliyet ve zaman alıcı bir iştir; ayrıca, önemli büyüklükte bir yapı durumunda, özellikle daha yüksekte bulunan bazı bina parçalarına erişim zordur. Bu amaçla fotogrametrik yöntemler kullanılabilir [5]. Tarihi yapıların geometrik ve yapısal özelliklerini çok yüksek doğrulukla belgelemek için yenilikçi yaklaşımların kullanımı araştırmacıları teşvik etmektedir. Tarihi yapıların belgelenmesi konusunda birçok yöntem sunulmuş ve bunlardan biriside fotogrametrik yaklaşımlardır. Fotogrametrik araştırmalar genellikle 3B nokta bulutları ve 3B modeller elde etmeye odaklanmıştır. Ancak orto-görüntüler veya 2B çizimler gibi bazı geleneksel ürünler hala Kültürel Miras çalışması için çok yararlıdır [6].

Son zamanlarda, kültürel mirasların belgelenmesi konusunda uzmanlar fotogrametrik yeniden oluşturma uygulamalarıyla, tarihi eser kalıntılarının belgelenmesinde [7], binaların ve binaların komplekslerinin belgelenmesine [8,9], tarihsel peyzaj parçalarının belgelenmesine kadar birçok alanda çalışmışlardır [10].

Literatür taraması yapıldığı zaman kültürel mirasların belgelenmesi konusundaki çalışmalar genel olarak dış cephelerinin fotogrametrik olarak 3B veya 2B modellerinin farklı yaklaşımlarla üretilmesi olarak göze çarpmaktadır. Ancak tarihi yapıların belgelenmesi çalışmalarının tam olarak tamamlanması ve restorasyonun eksiksiz yapılması için iç mimari detaylarının da belgelenmesi gerekmektedir (49, 50). Bu noktada bir kültürel mirasın belgelenmesi için tam ve eksiksiz veriye ihtiyaç duyulmaktadır.

Kültürel miras yönetimi; veri toplama, kaydetme ve görselleştirmeden bilgi yönetimi, teknoloji alışverişi ve iletişime kadar bir dizi metodolojiyi içerir. Yakın mesafe fotogrametrisi, eksiksizlik, kesinlik, tekdüze doğruluk,

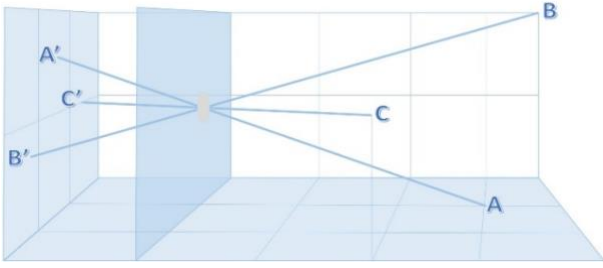
doku ve üç boyutlu veriler sağlarken, etkileşimli bir 3B sanal tur, kültürel miras anıtlarının eksiksiz bir kaplamasını sürükleyici bir "canlı" görünümde sunmak için kullanılır. Bu çalışmada da tarihi öneme sahip minber tercih edilmiştir.

Bilindiği üzere minberler İslamiyet'in ilk zamanlarından bu yana camilerde cemaate hitap yeri olarak kullanılmıştır. İlk olarak Hz. Muhammed tarafından iki basamak ve bir oturma yeri olacak şekilde yaklaşık 1m yüksekliğinde yapılmıştır. Minberin bu ilk formunun muhtemelen ön köşelerinde uçları topuzlu iki dikme bulunuyordu. Daha sonraki minberler Peygamberin makamına saygıdan ötürü basamak sayısı arttırılmıştır. Son olarak ta giriş kapısı ve kubbe eklenerek minberler günümüz formuna kavuşmuştur (URL-1). Camilerin en önemli içyapılarından olan minberler en eski ve en tarihi kültürel miras anıtlarının başlarında gelmektedir. Zengin geleneksel dekorasyonu ve muhteşem ahşap oymaları ile önemli mimari unsurların bir anıttır. Minberlerin 3B modelini oluşturmak için yakın mesafeli fotogrametrik teknikler kullanılır. Görüntü örtüşmesi, parlaklık, izdüşümü ve filtreleme ile ilgili doğruluk hususları dikkate alınır.

Bu çalışmada geçmiş kültürün önemli göstergelerinden birisi olan camilerdeki minber örneğinin yakın resim fotogrametrisi kullanılarak 3B modellenmesiyle belgelenmesi adına bir örnek sunulmuştur. Çalışma kapsamında 3B modelleme için Photomodeler Scanner programı kullanılmıştır. Doğruluk analizinde Photomodeler Scanner programındaki 3B model üzerindeki noktalar ile Minber üzerinden Total-station cihazı ile ölçülen noktalar karşılaştırılmıştır. Ayrıca farklı yüzeylerdeki model üzerinden alınan uzunluklar ile gerçek uzunluklar karşılaştırılmıştır.

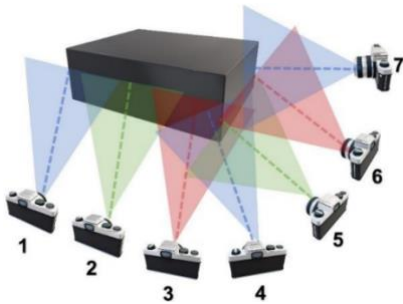
## 2. YÖNTEM

Çalışmada belgeleme yöntemi olarak fotogrametri yöntemi tercih edilmiştir. Fotogrametrik analiz kullanılarak yapılan ilk ölçümler 19. yüzyılın ortalarında yapılmıştır. Fotogrametri terimi, geometrik dokümantasyon için foto grafik görüntüleri kullanma fikrine sahip olan mimar Albrecht Meydenbauer tarafından tanıtıldı. O zamandan beri fotogrametri, kültürel miras belgelerinin anıtlarında eksiksizlik, kesinlik, tekdüze doğruluk, doku ve üç boyutlu veriler sağlamıştır. Dijital fotogrametri ve metrik olmayan kameraların kullanımı yaygın olarak kullanılırken, yeni fotogrametrik teknikler geliştirildi ve geliştirilmeye devam ediyor. Bir haritalama tekniği olarak fotogrametri, stereo görme prensiplerini kullanarak 2B görüntüleri 3B koordinatlara çevirmeye çalışır [11]. Bir görüntü normal bir kamera tarafından yakalandığında, o görüntüdeki bir nokta birçok ışık ışınının yakınsamasını temsil eder. Nesne uzayındaki bir noktanın, kamera izdüşümü merkezinin ve görüntü noktasının düz bir çizgide olduğu varsayılarak, 2B görüntününün 3B 'gerçek dünya' çevirisi yapmak için dönüşümler uygulanmalıdır. Bu dönüşümler eşdoğrusallık denklemleri olarak bilinir ve Şekil 1'de gösterildiği gibi ideal bir kameraya başka bir deyişle bozulmaların olmadığı ve sensörün düzlemselliğinin varsayıldığı bir kameraya dayanır.



**Şekil 1.** Herhangi bir nesne noktası için ana ışın ilkesi

Ancak gerçek kameralarda her zaman geometrik bozulmalar vardır, Gerçek konumdan sapmalar matematiksel olarak tanımlanmalı ve telafi edilmelidir. Günümüzde, fotogrametrik yazılım uygulamalarının çoğu Hareket tabanlı yapısal algılama ((Structure from Motion/SfM) ortak yaklaşımından yararlanmaktadır [12-13, 44]. Kameraları nesnenin etrafında hareket ettirirken yakalanan ve sahneyi farklı ancak kısmen örtüşen görüntülerden çerçeveleyen bir dizi görüntüden başlayarak, SfM fotogrametrisi, seyrek bir demet ayarlama sistemi aracılığıyla nesnenin düşük yoğunluklu nokta bulutu ile eşzamanlı ve otomatik olarak elde etmek için iç ve dış yönlendirme parametrelerini tahmin etmeyi sağlar [14] (Şekil 2).



**Şekil 2.** SfM tabanlı görüntü yakalama (Döş vd., 2021)

Kültürel mirasın dijitalleştirilmesi basılı (kitaplar, dergiler, gazeteler), fotoğrafları, müze nesnelerini, arşiv belgelerini, görsel-ışitsel materyalleri içerir [15, 45]. Dijitalleştirme, tarama gibi belirli bir analog veri taşıyıcısının elektronik bir kopyasını çoğaltmak için bazı yöntemlerle oluşturulduğu süreçtir. Bu nedenle kültürel mirasın geleceğe yönelik korunması ve kültürel değere erişimin sağlanması için bir araçtır. [16, 46]. Üç boyutlu dijitalleşme, kültürel mirasın belgelendirilmesi için hızla geleneksel bir yöntem haline geliyor [17]. Günümüzde, birçok bilgisayar programı, incelenen nesnenin güvenilir 3B modellerinin yapılmasına izin vermektedir. Değerlendirmenin amacına göre, analitik model az ya da çok gerçek olabilir [18]. Bu nedenle, kültürel miras bakımındaki tüm mülklerin doğru 3D kayıtlarını oluşturmak önemlidir. Herhangi bir arıza meydana gelirse, veriler yönetim ve korumaya yardımcı olmak için mevcut olacaktır [19, 47].

Fotogrametrik yöntemler sayesinde birçok alanda 3B sahne modellenmesi işlemi düşük maliyet ve zamanla gerçekleştirilmektedir [20]. Bu modeller sadece tarihi binaların belgelenmesi için değil binalar dışında kalan tarihi nesnelere içinde yapılmaktadır [21, 22, 48]. Çalışmalarda ortofotolar ve 3B nokta bulutları ayrı ayrı kullanıldığı gibi kombinasyonları da tercih edilmektedir [23-24, 43].

Bu çalışmada camilerin en önemli iç yapılarından olan minberlerin yakın resim fotogrametrisi yöntemleriyle belgelenebilir çalışılmıştır. Toplamda minberin çevresinden 41 tane görüntü ve minber üzerinden 8 tane kontrol noktası ölçülmüştür. Fotoğraflar 21 mega piksel çözünürlüğe sahip NIKON COOLPIX L6 fotoğraf makinesi ile çekilmiştir. Kontrol noktaları ise yerel bir koordinat sisteminde total-station ölçüm cihazı ile elde edilmiştir. Bu kontrol noktaları, 3B model üzerinden alınan uzunluklar ve model doğruluğunu karşılaştırılmak için kullanılmıştır. Minbere ait çizimler ve 3B model Photomodeler Scanner programında gerçekleştirilmiştir.

Minber caminin en uç noktasında olduğu için görüntü alımı, en iyi aydınlatma koşullarını sağlamak ve gölgelerden kaçınmak için sabahın erken saatlerinde yapıldı. Ancak caminin cephelerindeki yetersiz aydınlatma koşulları, günün çoğu saatinde kuvvetli gölgeler ve fotoğraf çekimi için yer olmaması, rölöveyi zahmetli ve zaman alıcı hale getirdi.

Tarihi yapının görüntüleri ve kontrol noktaları, dijital değerlendirme için PhotoModeler UAS yazılımına aktarıldı. PhotoModeler yazılımı aynı anda hem karşılıklı hem de mutlak yönlendirme yapabildiğinden iki veya daha fazla görüntüde görünen kontrol noktaları işaretlenir [25]. Kontrol noktaları işaretlendikten sonra bir fotoğraf referans olarak, diğer işaretlenen fotoğraflar ise her kontrol noktasının eşleşmesi için seçilmiştir. Daha sonra PhotoModeler yazılımında dengeleme işlemine ve 3B model üretimine geçildi. Son olarak tamamlanan 3B modele doku verileri eklenmiş ve tarihi yapının belgelenmesi tamamlanmıştır.

### 3. BULGULAR

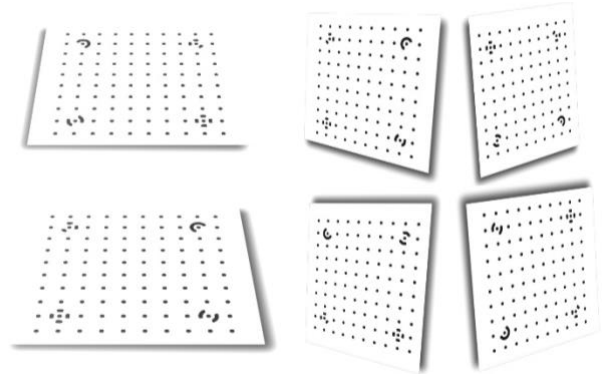
Photomodeler yazılımı yaygın olarak kullanılan fotoğraflardan 3B veriler ve görüntüler elde edilmesini sağlayan bir programdır. Elde edilen bu görüntülerden ölçümler yapılmasına olanak vermektedir. Arkeoloji, mimari, tıp, film, animasyon, inşaat gibi alanlarda oldukça kullanılan, bir programdır. Kullanılan kameraların kalibrasyon değerlerini hesaplayabilen ve resimlerin değerlendirmesini yapabilen bu programın kullanım alanı oldukça geniştir.

#### 3.1. Kalibrasyon

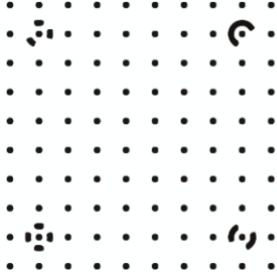
Fotogrametride kullanılan kameraların (metrik olmayan amatör) yapacağımız işe etkisinin yadsınmaz olduğunu bilerek kameraları sürekli olarak kalibrasyona tabi tutulmalı ve raporlanmalıdır. Kamera kalibrasyonunun doğruluğu, oluşturulacak modeli doğrudan etkileyeceği için en yüksek doğrulukla yapılması amaçlanmalıdır. Kalibrasyon raporunda genel olarak bulunması gereken değerler iç yöneltme elemanları ( $X_h, Y_h, c$ ) ve mercekle distorsiyonunu ifade eden fonksiyonun polinom katsayıları ( $k_1, k_2, k_3$  ve  $p_1, p_2$ ) olarak bilinir. Yakın mesafeli fotogrametrik ölçüm için modern ve son kullanıcı sınıfı dijital kameraların kullanılabilir olması için metrik kalibrasyon kritik bir ön koşuldur.

Şekil 3'te verilen A4 kağıdında 4 kontrol noktası ile basılmış tek bir kalibrasyon sayfası kullanılmalı ve

bunlardan biri ana nokta (0,0,0) olarak kabul edilecektir. kağıttaki tüm noktaların Z değeri 0'dır. Ayrıca X,Y değerleri, yazılım tarafından bilinen sabit bir belirlenmiş değerlerde farklılık göstermektedir. Şekil 4'te gösterildiği üzere kalibrasyon kağıdının her iki tarafındaki kamera merceğinin oryantasyonu etrafında yuvarlanan (0,90,180) derece içinde çekilen üç resim toplamda ise çekilen 12 resim merceğın bilinmeyen distorsiyon değerlerini (k1, k2, k3 ve p1, p2 ve kamera format boyutunu belirlemek için yeterlidir. En önemli kalibrasyon sonuçlarından biri kamera format boyutudur.



Şekil 4. Kalibrasyon kağıdının örnek çekim senaryoları



Şekil 3. Photomodeler yazılımı için kalibrasyon kağıdı

Şekil 3'te gösterilen kalibrasyon kağıdı, ışıklı ortamda beyaz bir zemin üzerine yerleştirilmeli ve kalibrasyon kağıdının 4 farklı cephesinden farklı konumlardan 8-12 adet fotoğraf çekimi yapılmalıdır.

Görüntüler analiz edildikten sonra kalibrasyon sonuçları raporu ve kamera parametrelerinin değerlerini Tablo 1'de verilmiştir. PhotoModeler otomatik kalibrasyonu, Kamera format boyutunun  $F_x \times F_y$  5,31\*3,98 mm<sup>2</sup> olduğunu algılamaktadır. Ayrıca raporda optik merkezinin koordinatları  $X_p$ ,  $Y_p$  ve fotoğraf çekerken kaplanan alanın oranı ve K1, K2, K3, P1 ve P2 noktaların lens distorsiyonları bulunmaktadır. Söz konusu kamera kalibrasyonu EKK dengelemesi yöntemiyle yapılmaktadır. Bu dengeleme için önceden hassas olarak tasarlanmış bir kalibrasyon levhası üzerindeki kesişim noktaları Yer Kontrol Noktası (YKN) mantığıyla kullanılmaktadır. Koordinatları bilinen bu kesişim noktalarına ait elde edilen görüntü koordinatları  $(x, y)$  EKK dengelemesine ölçümler olarak, Tablo 1'de verilen iç yöneltme parametreleri ise bilinmeyen olarak sokulmaktadır.

Tablo 1. İç yöneltme parametre değerleri

Parametre	Değer	Sapma
Fokal uzaklık f	6.308025 mm	0.007 mm
$X_p$ - Asal nokta	2.213030 mm	0.003 mm
$Y_p$ - Asal nokta	1.265889 mm	0.002 mm
$F_x$ - genişlik	5.310263 mm	0.002 mm
$F_y$ - yükseklik	3.978978 mm	0.00 mm
K1 - çapsal distorsiyon 1	6.395e-003	3.034e-005
K2 - radyal distorsiyon 2	-1.355e-004	6.958e-005
K3 - radyal distorsiyon 3	0.000e+000	0.000e+000
P1 - Teğetsel distorsiyon 1	3.034e-005	8.4e-009
P2 - Teğetsel distorsiyon 2	6.958e-005	0.000e+000

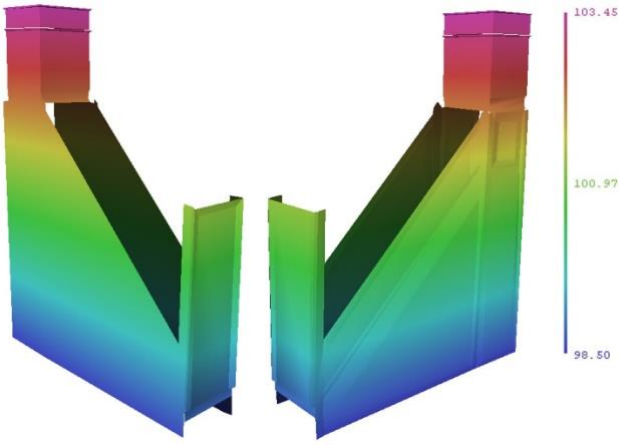
Dengeleme öncesi her kameranın fotogrametrik kalibrasyonları yapılmış ve iç yönlendirme parametreleri yüksek doğrulukla belirlenmiştir. Böylece; dengelemeye dahil edilen her bir  $x$  ve  $y$  gözlemi (görüntü koordinatı) için gerekli distorsiyon ve asal nokta düzeltmeleri baştan uygulanmış ve kalibre edilmiş odak uzaklığı göz önüne alındığında uzayın merkezi izdüşümü olması gerekene en yakın olarak ifade edilerek işlemlere başlanmıştır. Kalibrasyon işleminden sonra çekilen tüm fotoğraflar dengelenmiştir.

### 3.2. 3B Çizim ve Model

Yazılımda her bir fotoğrafın dengelenmesi aşamasında ortak noktalar işaretlenerek dengeleme işlemi yapılmaktadır. Bu noktalar her bir yüzeye ait hatların köşe noktaları olabileceği gibi karakteristik noktalar veya hedef işaretleri de olabilir. Biz çalışmada

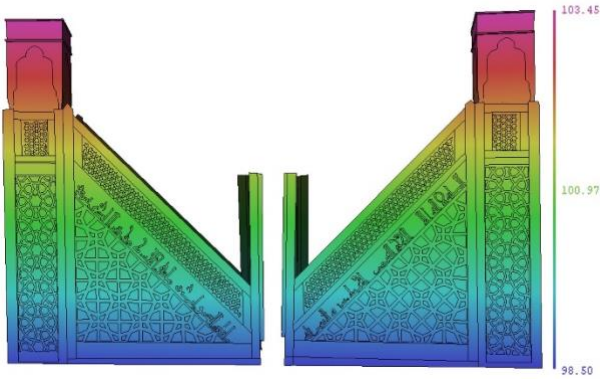
hedef işaretlerini doğruluk analizi için kullandığımız için karakteristik noktalar veya hatların köşelerine ait belirgin keskin detayları dengeleme işleminde tercih ettik. Bu noktalar aslında yüzeylerin köşe noktalarını temsil ettiği için bunların birleşimi bir doğru/çizgi oluşturmaktadır. Ayrıca dengeleme işleminden sonra bu nokta ve hatlar iki boyutludan üç boyutlu hale gelmektedir. Sonuç olarak çizgiler, nesne noktalarını birleştirmek için kullanılabilirken aynı zamanda dengelenmesi istenen bir fotoğrafı işaretlerken aynı anda çizgiler ve işaretli noktalar oluşturabilmektedir. Dengeleme işlemi ile beraber hem model hem de noktaların birleşiminden oluşan hatlar 3B bir model oluşturmaktadır. Dengeleme işleminden sonra minbere ait tüm detaylar yüzeylerin üzerinden 3B çizim tekniği ile çizilmiştir. Bu işlem için ilk olarak yüzeylerin tanımlanması gerekmektedir. Şekil 5'te mevzi yükseklik bilgileri ile birlikte modele ait yüzeyler gösterilmiştir.





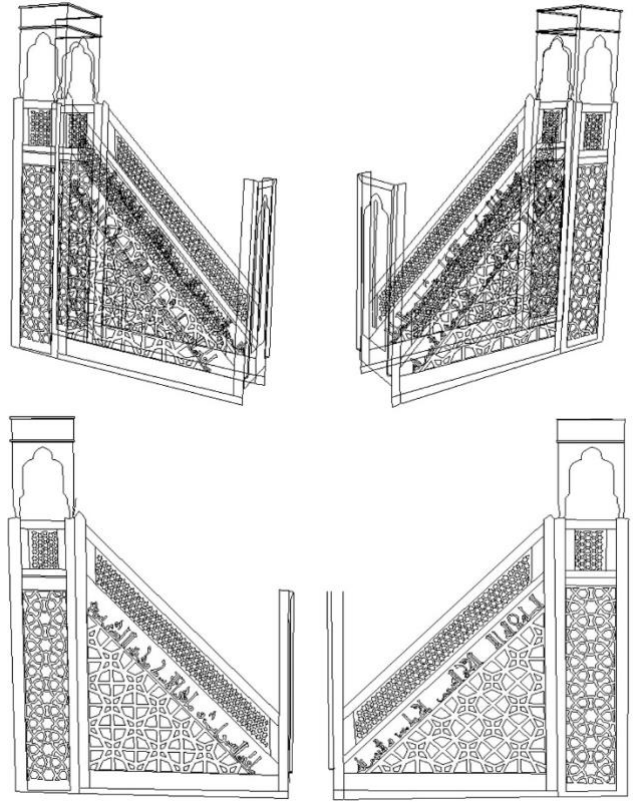
**Şekil 5.** Nokta ve hatlardan oluşan yüzey ve modelin yükseklik bilgisi

Yüzey üzerinden 3B çizim, yalnızca bir fotoğrafta işaretleyerek 3B veriler oluşturmanıza olanak tanır. Bu, 3B olan bir yüzeyin "üzerine" çizilerek yapılır (Şekil 6). Yüzey Çizimi, bir düzlemde yer alan ayrıntılı desenleri çizmek/modellemek için birçok çalışmada (bir binanın cephesindeki tuğla veya taş işi gibi) kullanışlıdır. Yüzey Çizimi referans gerektirmez, bu nedenle ayrıntılı desenleri ve eğrileri işaretlemek çok daha kolay olmaktadır. Yüzey Çizimi, tek bir fotoğraftan düzlemler üzerinde uzanan eğriler veya çizgiler çizmek için de oldukça yararlı olmaktadır. Yüzey çizimi yüzeyler gerektirdiğinden bu yüzeyler, dengelenmiş bir fotoğraf aracılığıyla katı bir model olarak yansıtılmalıdır.



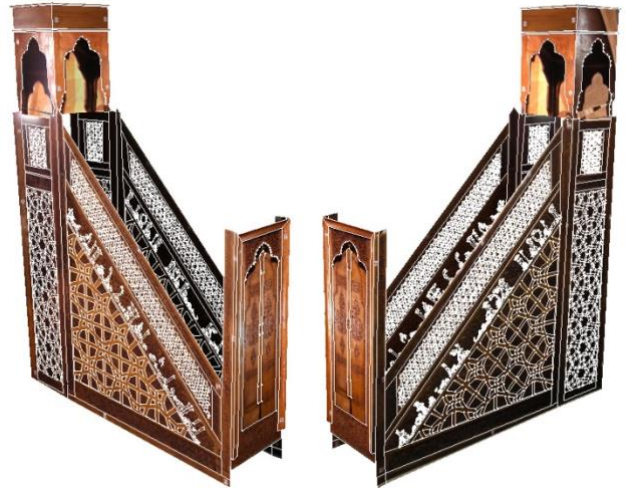
**Şekil 6.** Yüzey üzerine çizilmiş detaylar

Bir yüzey çizim noktasının 3B konumu, üzerinde bulunduğu yüzeye bağlı olduğundan, bir yüzey çizim noktasının özelliğini dengeleme aşamasında kullanılamaz. Ek olarak bir yüzey çizim eğrisini veya doğrusunu silerken, bu hatları oluşturan noktalar otomatik olarak silinmektedir çünkü her bir yüzey çizimi ayrı bir segmenttir. Fakat her bir yüzeyde yapılan çizimlerin noktaları karakteristik bilgi taşımaya devam eder (Şekil 7).



**Şekil 7.** Minbere ait 3B çizim

Fotogrametri yöntemi ile oluşturulan modeller üzerinden 3B çizimler karakteristik bilgi taşıdıkları gibi fotogerçekçi modeller kullanıldığı için gerçek görüntü ile birlikte 3B çizimler kullanılabilir (Şekil 8). Bu model ve çizimler çeşitli analizler için büyük avantajlar sağlamaktadır.



**Şekil 8.** Fotogerçekçi 3B model ve 3B çizim

### 3.3. Doğruluk analizi

Dijital fotogrametri tekniğini kullanan yazılımlar ile sıralı çekilmiş fotoğraflardan SfM metodu kullanılarak 3B model elde edilebilmektedir. Elde edilen 3B model gerçek doku ve görüntüye sahip olmaktadır. Eğer arazide Total-Station gibi hassas ölçüm cihazları ile detaylı ölçüm yapılamamış ise elde edilen 3B model, yazılımın kendi içerisinde oluşturduğu 3B uzayda (x,y,z) lokal koordinatlarda ölçeksiz bir şekilde oluşmaktadır.

Belgeleme çalışmalarında oluşturulan 3B model ileride restorasyon çalışmalarında kullanılabilmesi için gerçek ölçülerinde ve eksiksiz olması beklenmektedir. Çalışma sonucunda oluşturulan 3B modelin ölçeklendirilebilmesi için obje üzerinde bulunan 8 farklı nokta Total-station cihazı ile ölçülmüştür. Bu noktalar hem modelin ölçeklendirilmesinde hem de model doğruluğunun analizinde kullanılmıştır. Ayrıca 3B modelin doğruluk analizi için uzunluk bazlı karşılaştırma kullanılmıştır. Karşılaştırma sonucunda 3B model doğruluğu için 8 adet noktanın her biri için (X,Y,Z) koordinatlarının karesel ortalama hataları (RMSE) tablo 2’de ve uzunluklar baz alınarak 5 hat için genel doğruluk Tablo 3’te verilmiştir. Karesel ortalama hataları için eşitlik 1,2 ve uzunluk bazlı analiz için eşitlik 3 kullanılmıştır.

$$V_{x,y,z_i} = X, Y, Z_{ts_i} - X, Y, Z_{pm_i} \quad (1)$$

$$RMSE_{x,y,z} = \sqrt{\frac{[VV]}{n-1}} \quad (2)$$

$$RMSE_l = \sqrt{\frac{|l_i|^2}{n}} \quad (3)$$

Burada;

ts: Total-station ile ölçülmüş lokal koordinatlar  
 pm: dengeleme sonrasında photomodeler yazılımında oluşan 3B model üzerinden alınmış lokal koordinatlar.  
 li: gerçek uzunluk ile model üzerinden alınan uzunluk farkları  
 n: ölçü sayısı

**Tablo 2.** Doğruluk analizi

NN	VxVx (cm <sup>2</sup> )	VyVy (cm <sup>2</sup> )	VzVz (cm <sup>2</sup> )
1	3.1	11.5	9.8
2	5.6	4.8	13.2
3	7.3	2.8	8.7
4	8.7	4.2	6.4
5	5.6	5.8	7.4
6	5.9	8.7	10.5
7	8	4.8	7.8
8	4.2	7.8	11.4
RMSE	2.63	2.68	3.28

**Tablo 3.** Uzunluklara göre doğruluk analizi

Ölçü No	Gerçek uzunluk (cm)	3B modelden alınan değer (cm)	fark (cm)
1	18.00	17.80	0.20
2	22.00	20.90	1.10
3	8.200	8.420	0.22
4	33.45	32.15	1.30
5	45.00	43.90	1.10
RMSE			0.89

## 4. SONUÇLAR

Kültürel mirasların gelecek nesillere aktarılabilmesi için doğal ve yapay tehlikelerden korunmaları gerekmekte ancak bu tehlikelerden tamamen kaçınılamamaktadır. Bu nedenle zarar gören yapıların tamiri ve yeniden inşası için kültürel mirasların sadece dış yapısı değil iç mekânı dâhil tüm tarihi dokusunun belgelenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada camilerin ayrılmaz parçası ve başlı başına yapıları olan minberin, sayısal fotogrametri araçları kullanılarak belgelemeye çalışılmıştır. Çalışmada kalibrasyon işlemi yapılarak metrik olmayan kamera kullanılmış ve maliyet düşürülmüştür. Tablo 2 incelendiğinde en yüksek hata değeri olarak 1, 2 ve 6 noktalarının birer eksenlerinde diğerlerine göre fazla hata değeri çıktığı görülmüş ve bunun kaynağı olarak minberden alınan görüntülerden kalibrasyon sonrası distorsiyon etkisinin tam giderilememesinden kaynaklı operatör hatası olduğu düşünülmektedir. Tablo 3’te gözlemlenen hata değerlerine bakıldığında yine aynı Tablo 2’deki gibi distorsiyon etkisi düşünülmektedir. Tablo 2 ve Tablo 3’deki verilen hata değerlerine bakıldığında uygun kalibrasyon yazılımları kullanılarak metrik olmayan kameralarla da belgeleme işlemi yapılabileceği ve sürecin hızlı bir şekilde gerçekleştirilebileceği görülmektedir. Şekil 8’de verilen fotogerçekçi 3B model ile kültürel mirasların iç yapılarına dair daha detaylı bilgiler elde etmemizi sağlamakta ve bu sayede e-müze gibi sanal ortamların hızlı ve düşük maliyetle oluşturulması fikrini kolaylaştırarak desteklemektedir.

Ülkelerin ayrılmaz parçaları olan kültürel mirasların turistik açıdan ülke tanıtımında büyük etkileri vardır. Bu mirasların restorasyonunun yanında sürdürülebilirliği de önemlidir. Bu açıdan yapılan çalışma sayesinde minbere dair ve daha sonra yapılacak kültürel miras belgeleme çalışmalarına konu olan yapılar ne olursa olsun onlara dair konumsal, fiziksel ve dokusal bilgiler daha kolay depolanıp tekrar tekrar kullanılabilir olacaktır.

### Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşittir.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

**Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

**KAYNAKÇA**

- [1] Reale, D., Noviello, C., Verde, S., Cascini, L., Terracciano, G. & Arena, L. (2019). A multi-disciplinary approach for the damage analysis of cultural heritage: the case study of the St. Gerlando Cathedral in Agrigento. *Remote Sensing of Environment*, 235.
- [2] Martinez-Garrido, M. I., Fort, R., Gomez-Heras, M., Valles-Iriso, J. & Varas-Muriel, M. J. (2018). A comprehensive study for moisture control in cultural heritage using non-destructive techniques. *Journal of Applied Geophysics*, 155, 36-44.
- [3] Li, X., Wu, C., Zach, C., Lazebnik, S. & Frahm, J. H. (2008). Modelling and recognition of landmark image collections using iconic scene graphs. European Conference on Computer Vision (ECCV), Berlin, 427-440.
- [4] Sužiedelytė-Visockienė, J., Bagdžiūnaitė, R., Malys, N. & Maliene, V. (2015). Close-range photogrammetry enables documentation of environment-induced deformation of architectural heritage. *Environmental Engineering and Management Journal*, 14(6), 1371-1381.
- [5] Ozimek, A., Ozimek, P., Skabek, K. & Labedz, P. (2021). Digital Modelling and Accuracy Verification of a Complex Architectural Object Based on Photogrammetric Reconstruction. In *Buildings* 11(5).
- [6] Lo Brutto, M., Ebolese, D. & Dardanelli, G. (2018). 3D modelling of a historical building using close-range photogrammetry and remotely piloted aircraft system (RPAS). ISPRS TC II Mid-term Symposium, Riva del Garda, Italy, 599-606.
- [7] Di Angelo, L., Di Stefano, P., Guardiani, E. & Morabito, A. E. (2021). A 3D Informational Database for Automatic Archiving of Archaeological Pottery Finds. *Sensors*, 21(3), 978. <https://doi.org/10.3390/s21030978>.
- [8] Reinoso-Gordo, J. F., Gámiz-Gordo, A. & Barrero-Ortega, P. (2021). Digital Graphic Documentation and Architectural Heritage: Deformations in a 16th- Century Ceiling of the Pinelo Palace in Seville (Spain). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(2), 85.
- [9] Donato, E. & Giuffrida, D. (2019). Combined Methodologies for the Survey and Documentation of Historical Buildings: The Castle of Scalea (CS, Italy). *Heritage*, 2(3), 2384-2397.
- [10] Brůha, L., Laštovička, J., Palatý, T., Štefanová, E. & Štych, P. (2020) Reconstruction of Lost Cultural Heritage Sites and Landscapes: Context of Ancient Objects in Time and Space. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(10), 604. <https://doi.org/10.3390/ijgi9100604>
- [11] Schenk, T. (2005). Introduction to Photogrammetry; Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science, The Ohio State University: Columbus, OH, USA, pp. 79-95.
- [12] Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J. & Reynolds, J. M. (2012). 'Structure from-Motion' photogrammetry: a low-cost, effective tool for a geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300-314.
- [13] Aicardi, I., Chiabrando, F., Maria Lingua, A. & Noardo, F. (2018). Recent trends in cultural heritage 3D survey: The photogrammetric computer vision approach. *Journal of Cultural Heritage*, 32, 257-266. doi: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.11.006>
- [14] Snavely, N., Seitz, S. M. & Szeliski, R. (2008). Modeling the World from Internet Photo Collections. *Int J Comput Vis* 80, 189-210. <https://doi.org/10.1007/s11263-007-0107-3>
- [15] Borissova, V. (2018). Cultural heritage digitization and related intellectual property issues. *Journal of Cultural Heritage*, 34, 145-150.
- [16] Deanna, B. M. (2007). Digitizing for access and preservation strategies of the library of congress. First Monday. <https://doi.org/10.5210/FM.V12I7.1924>
- [17] Dostal, C. & Yamafune, K. (2018). Photogrammetric texture mapping: a method for increasing the fidelity of 3d models of cultural heritage materials. *Journal of Archaeological Science: Report*, 18, 430-436.
- [18] Giaccone, D., Fanelli, P. & Santamaria, U. (2020). Influence of the geometric model on the structural analysis of architectural heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 43, 144-152
- [19] Wilson, L., Rawlinson, A., Frost, A. & Hephher, J. (2018). 3D digital documentation for disaster management in historic buildings: applications following fire damage at the Mackintosh building, The Glasgow School of Art. *Journal of Cultural Heritage*, 31, 24-32
- [20] Herban, S., Costantino, D., Alfio, V.S. & Pepe, M. (2022). Use of low-cost spherical cameras for the digitisation of cultural heritage structures into 3d point clouds. *Journal of Imaging*. 8(1):13. <https://doi.org/10.3390/jimaging8010013>
- [21] Attarian, K. & Safar Ali Najar, B. (2022). Heritage documentation and structural analysis of historic water-supply canals. *Environmental Earth Science* 81,100. <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10206-1>
- [22] Ravanelli, R., Lastilla, L. & Ferrara, S. (2022). A high-resolution photogrammetric workflow based on focus stacking for the 3d modelling of small aegean inscriptions. *Journal of Cultural Heritage*, 54, 130-145. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.01.009>
- [23] Maalek, R. & Maalek, S. (2022). Automatic recognition and digital documentation of cultural heritage hemispherical domes using images. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, <https://doi.org/10.1145/3528412>.
- [24] Giuliano, M. (2014). Cultural Heritage: An example of graphical documentation with automated photogrammetric systems. *ISPRS - International*

*Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 251-255.

- [25] Yastıklı, N. (2014). Reverse Engineering Application of Earthly Photogrammetry. UZAL-CBS Symposium, İstanbul, Turkey.
- [26] Hamal, S. N. G. (2022). Accuracy of digital maps produced from UAV images in rural areas. *Advanced UAV*, 2(1), 29-34.
- [27] Kaçarlar, Z. & Hamal, S. N. G. (2021). Küçük Objelerin Üç Boyutlu (3B) Modellenmesinde Yersel Lazer Tarama (YLT) Tekniği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(2), 65-70.
- [28] Fidan, D., Oruç, M. E., Hamal, S. N. G. & Fidan, Ş. (2022). Tersine Mühendislik Uygulamalarında Yersel Lazer Tarayıcıların Kullanım Olanaklarının Araştırılması; Klasik Otomobiller Örneği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 4(1), 1-10.
- [29] Hamal, S. N. G., Sarı, B. & Ulvi, A. (2020). Using of hybrid data acquisition techniques for cultural heritage a case study of pompeipolis. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(2), 55-60.
- [30] Uzun, S. D., Hamal, S. N. G. & Fidan, Ş. (2022). Elde Taşınabilir Lazer Tarayıcılar ile İnsan Yüzünün Modellenerek Güzellik ve Bakım Sektöründe Kullanımının Değerlendirilmesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 4(1), 17-20.
- [31] Şasi, A. & Yakar, M. (2018). Photogrammetric modelling of Hasbey Dar'ülhuffaz (Masjid) using an unmanned aerial vehicle. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3 (1), 6-11.
- [32] Yakar, M., Yılmaz, H. M. & Mutluoğlu, Ö. (2010). Close range photogrammetry and robotic total station in volume calculation.
- [33] Yılmaz, H. M., Yakar, M., Gulec, S. A. & Dulgerler, O. N. (2007). Importance of digital close-range photogrammetry in documentation of cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 8(4), 428-433.
- [34] Yakar, M. (2011). Using close range photogrammetry to measure the position of inaccessible geological features. *Experimental Techniques*, 35(1), 54-59.
- [35] Mırdan, O. & Yakar, M. (2017). Tarihi Eserlerin İnsansız Hava Aracı ile Modellenmesinde Karşılaşılan Sorunlar. *Geomatik*, 2 (3), 118-125.
- [36] Yakar, M. & Dogan, Y. (2019). 3D Reconstruction of Residential Areas with SfM Photogrammetry. In: El-Askary, H., Lee, S., Heggy, E., Pradhan, B. (eds) *Advances in Remote Sensing and Geo Informatics Applications*. CAJG 2018. *Advances in Science, Technology & Innovation*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-01440-7\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-01440-7_18)
- [37] Doğan, Y. & Yakar, M. (2018). GIS and three-dimensional modeling for cultural heritages. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3 (2), 50-55.
- [38] Ulvi, A. (2021). İHA Fotogrametrisine Genel Bakış: Geleneksel Topoğrafik Harita Yapımı Tekniği ile Maliyet Karşılaştırması. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 458-471.
- [39] Yakar, M. & Yılmaz, H. M. (2011). Determination of erosion on a small fairy chimney. *Experimental Techniques*, 35(5), 76-81.
- [40] Yakar, M. & Doğan, Y. (2017). Mersin Silifke Mezgit Kale Anıt Mezarı Fotogrametrik Rölöve Alımı Ve Üç Boyutlu Modelleme Çalışması. *Geomatik*, 2 (1), 11-17.
- [41] Karataş, L., Alptekin, A. & Yakar, M. (2022). Analytical Documentation of Stone Material Deteriorations on Facades with Terrestrial Laser Scanning and Photogrammetric Methods: Case Study of Şanlıurfa Kışla Mosque. *Advanced LiDAR*, 2(2), 36-47.
- [42] Doğan, Y. & Yakar, M. (2018). GIS and three-dimensional modeling for cultural heritages. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3 (2), 50-55.
- [43] Yakar, M. & Yılmaz, H. M. (2008). Using in volume computing of digital close range photogrammetry. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(3b).
- [44] Yılmaz, H. M., Yakar, M. & Yıldız, F. (2008). Digital photogrammetry in obtaining of 3D model data of irregular small objects. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 125-130.
- [45] 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.
- [46] Uysal, M., Polat, N., Toprak, A. S. & Yakar, M. (2013). 3d modeling of historical doger caravansaries by digital photogrammetry.
- [47] Oruç, M. E. (2021). Küçük objelerin modellenmesinde videogrametri ve fotogrametri yöntemlerinin karşılaştırılması üzerine bir çalışma. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(2), 62-68.
- [48] Oruç, M. E. (2021). The possibilities of data usage obtained from UAV. *Advanced UAV*, 1(1), 15-23.
- [49] Yakar, M., Yıldız, F. & Yılmaz, H. M. (2005). Tarihi Ve Kültürel Mirasların Belgelenmesinde Jeodezi Fotogrametri Mühendislerinin Rolü. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 10.
- [50] Yılmaz, H. M. & Yakar, M. (2000). Yersel fotogrametrinin kullanım alanları. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4(1), 1.

