

Yakın Resim Fotogrametrisinde Cep Telefonu Kameralarının Kullanımının Araştırılması

(Investigation of The Use of Mobile Phones Cameras In Close Range Photogrammetry)

Ferruh YILMAZTÜRK¹, Ali Ersin GÜRBAK²

¹Harita Mühendisliği Bölümü, Aksaray Üniversitesi, Aksaray

²DSİ 12. Bölge Müdürlüğü, Kayseri

fyilmazturk@gmail.com, aliersing@hotmail.com

ÖZ

Bu çalışmada, cep telefonu kamera görüntülerinin yakın resim fotogrametri uygulamalarında kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla iki farklı uygulama gerçekleştirilmiştir. İlk uygulamada, üç farklı model cep telefonu kamerasının (Htc Sensation XE, Apple iPhone 5, Samsung Galaxy S4) ve bir adet kompakt resim çekme makinasının (Canon ixus 960 IS) self kalibrasyon demet dengelemesi yöntemi kullanılarak üç boyutlu (3B) bir test alanı üzerinde kalibrasyonları gerçekleştirilmiştir. Metrik performanslarını değerlendirmek için geometrik doğruluk testleri uygulanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

İkinci uygulamada ise, geometrik doğruluk testlerinde en iyi sonucu veren Galaxy S4 cep telefonu kamerası görüntüleri kullanılarak silindirik şekilli tarihi bir kümbetin fotogrametrik yöntemle 3B modellemesi gerçekleştirilmiştir. Denetleme noktaları kullanılarak yine 3B model üzerinde doğruluk testleri uygulanmıştır. Her iki uygulamanın sonuçları değerlendirildiğinde cep telefonu kameralarının birçok fotogrametrik uygulamada kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Cep telefonu kameraları, Kamera kalibrasyonu, Doğruluk, Prezisyon.

ABSTRACT

In this study, it is aimed to investigate the usability of mobile phone camera images in close range photogrammetry applications. Two different applications have been implemented for this purpose. In the first application, three different mobile phone cameras (Htc Sensation XE, Apple iPhone 5, Samsung Galaxy S4) and one digital compact cameras (Canon IXUS 960) were calibrated over a calibration reference object with signalized points of known 3D coordinates, using a self-calibrating bundle adjustment. Geometric accuracy tests were applied to evaluate the metric performances and the results obtained were compared. As a result of the evaluation process, the accuracy

In the second application, the 3D modelling of a historical cylindrical cupola with a height of 8 m and a diameter of 5 m was performed with photogrammetric method using the Galaxy S4 mobile phone camera images, which gives the best result in geometric accuracy tests. Accuracy tests were again applied on the 3D model using the check points. When the results of both applications are evaluated, it has been seen that mobile phone cameras can be used in many photogrammetric applications.

Keywords: Mobile Phone Cameras, Camera Calibration, accuracy, precision.

1. GİRİŞ

Fotogrametrik işlemler sayısal görüntüleme sistemleri ve değerlendirmedeki gelişmelerle birlikte temelden değişmiştir. Uygun hedef işareti içeren cisim noktaları ve sayısal on-line görüntü kaydıyla karmaşık fotogrametrik görevler çok kısa sürelerde gerçekleştirilebilmektedir. İşaretili noktaların tam otomatik analizi, yöneltme ve ölçme işlemleri için manuel işlemlerle yer değiştirmiştir. Yüksek derecede otomasyon, bu konuda uzman olmayan kişilerin de veri işleme ve fotogrametrik kayıt işlemlerini yapabilmesine olanak sağlar.

Sayısal sistemler, otomasyon ve kısa veri işleme süreleri sağladığından, özellikle endüstriyel ölçme ve robotik çalışmalar gibi karmaşık gerçek zamanlı fotogrametrik uygulamalar için gereklidir.

Yüksek çözünürlüklü CCD (Charge Coupled Device-Yüklenme İliştirilmiş Araç)/CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor-Bütünleyici Metal Oksit Yarı İletken) kameralarının ve dizüstü bilgisayarların yardımı ile mobil, düşük maliyetli, yüksek performanslı sayısal sistemleri gerçekleştirme potansiyeli gün geçtikçe artmaktadır. Farklı yazılım ve donanım bileşenleri arasında mobil cep telefonları farklı sebeplerle görüntü verisi elde etmek için oldukça ilginç bir seçenek olmaktadır. Bu sebepler, hafif ve taşınabilir olmaları, ucuz olmaları ve ayrıca dijital kameralarla donatılmış olmalarıdır.(Akça, 2009).

Çoğu cep telefonu kamerası kompakt dijital kameralara göre daha basittir. Sabit odaklı mercekleri ve daha küçük boyutlardaki elektronik algılayıcıları zayıf ışık koşullarında cep telefonu kameralarının performanslarını sınırlar. Çoğu cep telefonu kamerasında genellikle köşegen uzunlukları 1/2.5", 1/1.8", 1/1.6" ve 2/3" olan elektronik algılayıcılar kullanılmaktadır. 2012 yılında üretilen Nokia 808 PureView model cep telefonu kamerası, 41 MP çözünürlük ve 1/1.2" (10.67x8.00 mm) algılayıcı boyutuyla kompakt kameraları geçmiştir. Söz konusu model, cep

telefon kameraları arasında en yüksek çözünürlük ve en büyük algılayıcı boyutuna sahip cep telefonu kamera modeli olarak bilinmektedir.

Artık günümüz cep telefonu kameraları, CCD ve CMOS algılayıcılara göre daha pahalı olan ve CMOS algılayıcıya göre daha az güç tüketen Arkadan Aydınlatmalı CMOS algılayıcıları (BackSide Illumination CMOS sensor) kullanmaktadır. Bu teknolojiye, algılayıcının arkasından özel bir aydınlatma yapılmakta ve her bir pikselin ışık toplama kapasitesi yüzde 200 dolayında arttırılmaktadır (URL-1).

Akıllı telefonların kameraları, çok sayıda araştırma projesinde ve ticari uygulamada giriş cihazı olarak kullanılmıştır. Ticari açıdan başarılı bir örnek, fiziksel nesnelere bağlı QR (Quick Response kodu - Matriks barkod türü) Kodlarının kullanılmasıdır. QR Kodları, telefonuyla kamerasıyla algılanabilir ve ilgili dijital içeriğe (genellikle bir URL'ye) uygun bir bağlantı sağlar. Başka bir yaklaşım, nesnelere tanımlama için kamera görüntüleri kullanmaktır. İçerik tabanlı görüntü analizi, reklam posterleri gibi fiziksel nesnelere tanımlama için kullanılır. (URL-2).

Fotogrametrik alanda ise cep telefonu kameralarının kullanıldığı az sayıda çalışma vardır. L. F. DeChant (2012) tarafından yapılan çalışmada iphone 4 cep telefonu kamerası ile alınan görüntüler kullanılarak bir otomobilin fotogrametrik yöntemle 3 boyutlu modeli üretilmiştir. A. Agapiou ve A. Georgopoulos (2006), Nokia 5140 ve Sony Ericsson K700i cep telefonu kamera görüntülerini kullanarak karşılaştırılmalı biçimde tarihi bir yapının yine fotogrametrik yöntemle 3 boyutlu modellemesini gerçekleştirmişlerdir. A. Gruen ve D. Akça (2007, 2008, 2009) tarafından yapılan çalışmalarda Sony Ericsson K750i ve Nokia N93 cep telefonu kameralarının geometrik ve radyometrik özellikleri test edilmiştir. Kim vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada fotogrametrik tabanlı İHA sistemlerinde cep telefonu kameralarının kullanma imkânları araştırılmıştır. Bu çalışmada Samsung Galaxs s ve iki adet Galaxy s2 kullanılmıştır. Azhar vd., (2013) tarafından yapılan çalışmada sony ericson cep telefonu kamerasının geometrik ve radyometrik testleri araştırılmıştır.

Yüksek çözünürlüklü cep telefonu kameralarının geometrik doğruluk testleri ve üç boyutlu cisim geometrisini yeniden oluşturma yetenekleri üzerine üretim özelliklerinin etkisi literatürde tam olarak çalışılmamıştır. Yapılan çalışmayla modern cep telefonu kameralarının fotogrametrik uygulamalarda kullanılabilirliğinin

araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda 3B koordinatları hassas bir şekilde belirlenen bir kalibrasyon objesi kullanılarak 3 farklı cep telefonu kamerasının ve bir kompakt kameranın geometrik doğruluk testleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. İkinci uygulamada ise geometrik doğruluk anlamında en iyi sonucu veren cep telefonu kamerası kullanılarak tarihi bir yapının fotogrametrik yöntemle 3B modellemesi gerçekleştirilmiş ve ayrıca bu model üzerinde yine geometrik doğruluk testleri uygulanmıştır.

Makalenin bundan sonraki bölümlerinde, cep telefonu kameralarının ve kompakt kameranın doğruluk testlerinin nasıl gerçekleştirildiği anlatılacak, sonra Galaxy S4 cep telefonu kamerası ile elde edilen görüntüler kullanılarak fotogrametrik yöntemle gerçekleştirilen 3B modelleme verilecek ve son olarak çalışmanın sonuçları özetlenecektir.

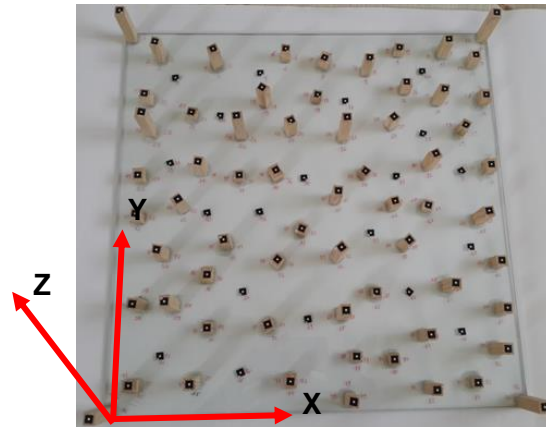
2. GEOMETRİK DOĞRULUK TESTLERİ

a. Kameraların Teknik Özellikleri

Günümüzde cep telefonu piyasasında birçok değişik marka ve modele sahip telefon kullanıcıların hizmetine sunulmaktadır. Çalışmanın yapıldığı dönemde cep telefonu piyasasında yaygın olarak kullanılan üç adet farklı model cep telefonu kamerası ve bir adet sayısal kompakt kamera araştırma için tercih edilmiştir. Çalışmada kullanılan cep telefonu kameralarının teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

b. Kullanılan Test Alanı

Söz konusu cep telefonu kameralarının ve kompakt kameranın doğruluk potansiyellerinin belirlenmesi amacıyla ilk olarak kalibrasyon test alanı oluşturulmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. Test alanı.

Tablo 1. Araştırmada kullanılan kameralara ait teknik özellikler.

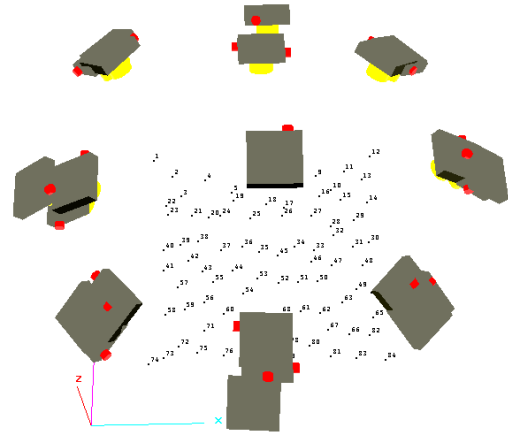
	Htc Sensation Xe	Apple Iphone 5	Samsung Galaxy S4	Canon İxus 960 Is
Algılayıcı Tipi	CMOS	BSI-CMOS	BSI-CMOS	CCD
Algılayıcı Boyutu	4.54 mm x 3.42 mm	4.54 mm x 3.42 mm	4.69 mm x 3.52 mm	7.44 mm x 5.58 mm
Piksel Boyutu	1.40 μ m	1.40 μ m	1.14 μ m	1.85 μ m
Görüntü Formatı	3264x24488 8 Megapiksel	3264x2448 8 Megapiksel	4128x3096 13 Megapiksel	4000x3000 12 Megapiksel
Odak Uzaklığı	4 mm	4 mm	4 mm	8-28 mm

Test alanı için, 60*60 cm boyutlarda ve 4 milimetrelilik kalınlığa sahip şeffaf bir cam levha kullanılmıştır. Bu levha üzerine farklı yüksekliklerde 80 adet nokta tesis edilmiştir. Hedef işareti olarak 3 milimetrelilik çaplara sahip siyah zemin ortasında beyaz benek şeklinde hedef işaretleri kullanılmıştır. Sabit test alanı noktalarının ölçümü genellikle jeodezik yöntemlerle gerçekleştirilirken daha küçük boyutlardaki mobil test alanı noktaları fotogrametrik yöntemle de belirlenebilmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada referans noktalarının 3 boyutlu koordinatları, fotogrametrik yöntemle belirlenmiştir. Bu amaçla 10 cm aralıklı ve kesişme noktaları yine siyah zemin ortasında beyaz beneklerden oluşan ve koordinatları bilinen 70x70 cm boyutlarında kâğıt malzeme üzerinde bir grid ağ kullanılmıştır.

Grid ağ şeffaf cam plaka altına yerleştirilerek 14.1 MP çözünürlüğe sahip Canon powershot SX210IS kamerayla farklı konumlardan 25 resim çekilmiştir. Değerlendirme sonunda cisim nokta koordinatlarının ortalama prezisyon değerleri, X doğrultusunda 0.022 mm, Y doğrultusunda 0.022 mm ve Z doğrultusunda da 0.030 mm olarak hesaplanmıştır.

c. Kameraların Karşılaştırılması

Karşılaştırma amacıyla yaklaşık aynı konumlardan test alanının toplam 25 adet resmi her bir kamera ile çekilmiştir. Resim çekim mesafesi yaklaşık 70 cm metre civarındadır. İç yöneltme, dış yöneltme parametreleri ile cisim nokta koordinatları arasındaki korelasyonları önlemek için resimler, 8 farklı konumdan optik eksen etrafında sola ve sağa 90° döndürülerek çekilmiştir. Şekil 2'de Galaxy S4 cep telefonu kamerasına ait resim çekim konumları gösterilmiştir.



Şekil 2. Resim çekim konumları.

Fotogrametrik değerlendirmede endüstriyel fotogrametrik bir yazılım olan Australis 6.06 kullanılmıştır. Yazılım, çok yönlü ve en doğru fotogrametrik konum belirleme ve kalibrasyon yöntemi olan self kalibrasyon demet dengelemesi yöntemini kullanmaktadır. Yöntemin matematiksel modeli doğrusallık koşuluna dayanır. Yazılımda ek parametreler olarak Brown (1971) tarafından önerilen iç yöneltme (x_p , y_p , c) ve mercek distorsiyonu katsayıları (k_1 , k_2 , k_3 , p_1 ve p_2) kullanılır. Sayısal fotogrametride kullanım için bu set afin dönüşümün iki ek parametresiyle (resim koordinat eksenlerinin dik olmaması, b_1 ve x eksenini doğrultusundaki ölçek faktörü, b_2) genişletilmiştir.

Dengeleme sonuçlarının istatistikî değerlendirmesinde farklı ölçütler kullanılmaktadır. Bu ölçütlerden ilki, prezisyon değerleridir. Prezisyon, en küçük kareler dengelemesi ile kestirilen parametrelerin istatistikî değişkenliğini tanımlar. Hesaplanan bilinmeyenlerin standart sapmaları normal denklem matrisinin inversi ve varyans faktöründen aşağıdaki eşitlikle hesaplanır;

$$\begin{aligned}\hat{\sigma}_{X_i} &= \hat{\sigma}_0 \sqrt{X_i X_i} \\ \hat{\sigma}_{Y_i} &= \hat{\sigma}_0 \sqrt{Y_i Y_i} \\ \hat{\sigma}_{Z_i} &= \hat{\sigma}_0 \sqrt{Z_i Z_i}\end{aligned}\quad (1)$$

Cisim nokta koordinatlarının ortalama prezisyon değerleri ise

$$\begin{aligned}\hat{\sigma}_x &= \sqrt{\frac{\sum \hat{\sigma}_{X_i}^2}{n_x}} \\ \hat{\sigma}_y &= \sqrt{\frac{\sum \hat{\sigma}_{Y_i}^2}{n_y}} \\ \hat{\sigma}_z &= \sqrt{\frac{\sum \hat{\sigma}_{Z_i}^2}{n_z}}\end{aligned}\quad (2)$$

eşitlikleri ile hesaplanır. Burada; n_x , n_y ve n_z , cisim nokta koordinatlarının sayısını göstermektedir (Beyer, 1992).

Bir diğer ölçüt doğruluk ise kestirilen parametrelerin gerçek değerlere ne kadar yakın olduğunu belirler ve ampirik bir ölçüt hassas referans değerlerle karşılaştırılarak,

$$\begin{aligned}\mu_x &= \sqrt{\frac{\sum (X_i^r - X_i)^2}{n_{rX}}} \\ \mu_y &= \sqrt{\frac{\sum (Y_i^r - Y_i)^2}{n_{rY}}} \\ \mu_z &= \sqrt{\frac{\sum (Z_i^r - Z_i)^2}{n_{rZ}}}\end{aligned}\quad (3)$$

eşitlikleri ile elde edilir. Burada X^r, Y^r ve Z^r denetleme noktalarının referans koordinatlarını, n_{rX}, n_{rY}, n_{rZ} 'lerde denetleme nokta koordinatlarının sayısını ifade eder (Beyer, 1992).

Bu karşılaştırma, kolinearite eşitlikleri ile hesaplanan cisim koordinatları ve referans koordinatlarından hesaplanan resim koordinatları kullanılarak resim uzayında da uygulanır;

$$\mu_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i^r - x_i)^2}{n_{rX}}}, \quad \mu_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i^r - y_i)^2}{n_{rY}}}\quad (4)$$

Burada; x_i , y_i dengelenmiş resim koordinatlarını,

x_i^r, y_i^r ; referans koordinatlardan hesaplanan resim koordinatlarını gösterir.

Rölatif doğruluk, deneysel doğruluk değerlerinin (μ_x, μ_y, μ_z) karşılık gelen doğrultudaki cisim boyutuna bölünmesiyle elde edilir. Resim koordinat düzeltmelerinin karesel ortalama hatası değeri ve soncul varyans faktörü geniş ölçüde kullanılan prezisyon göstergeleridir. Rölatif doğruluk ve resim uzayındaki deneysel doğruluk ölçütleri (μ_x, μ_y) ise genel doğruluk ölçütleridir. Çünkü bu ölçütler çok büyük oranda resim ölçeği ve cismin boyutlarından bağımsızdır. Cisim uzayındaki prezisyon ve doğruluk değerleri cisim noktalarının dağılımından ve resimlerin dizilişinden etkilenebilirler (Beyer, 1992).

Demet dengelemesinde, 3 boyutlu koordinatları bilinen toplam 80 test alanı noktasından 10'u kontrol noktası olarak kullanılmış ve geriye kalan noktaların (denetleme noktalarının) 3 boyutlu koordinatları hesaplatılmıştır. Ayrıca kullanılan ek parametrelerin doğruluk üzerindeki etkilerini görebilmek için sırasıyla ek parametreler kullanılmadan, 4 parametrelili ve 6 parametrelili çözümler gerçekleştirilmiştir. 4 ek parametrenin kullanıldığı çözümde, asal noktanın konumu, asal uzaklık ve diferansiyel ölçek (x_p, y_p, c ve b_2) kullanılırken 6 parametrelili çözümde bu parametrelere ek olarak resim koordinat eksenlerinin dik olmaması ve radyal distorsiyonunun ilk katsayısı da (x_p, y_p, c, b_1, b_2 ve k_1) kullanılmıştır.

Her bir kamera için self kalibrasyon demet dengelemesinin sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. 4 ek parametrenin kullanıldığı çözümlerde resim uzayındaki doğrulukta ek parametrelerin kullanılmadığı çözüme göre ortalama 5 kat iyileşmeler olmuştur. 6 ek parametrenin kullanıldığı çözümlerde resim uzayındaki doğrulukta 4 parametrelili çözüme göre ortalama 2 kat, ek parametrelerin kullanılmadığı çözüme göre ortalama 9 kat iyileşmeler olduğu görülmüştür. 10 parametrelili çözüm 6 parametrelili çözümle karşılaştırıldığında resim uzayındaki doğrulukta ortalama 1.6 kat artış olmuştur.

10 parametrelili çözümde resim koordinat düzeltmelerinin karesel ortalama hata değerleri için yapılan değerlendirmede en iyi sonuç Galaxy S4 cep telefonu kamerası için $0.27 \mu\text{m}$ olarak elde edilirken en kaba sonuç Htc Sensation telefon kamerası için $1.05 \mu\text{m}$ olarak hesaplanmıştır. Rölatif doğruluk değerlendirmesinde yatayda en iyi sonuç, 1:25000 oranında yine Galaxy s4 cep telefonu kamerasından elde edilmiştir. Yatayda en kaba değer, Htc Sensation cep telefonu kamerası için 1:6000 oranında hesaplanmıştır. Düşey boyuttaki rölatif değerlendirmede en iyi değer

Galaxy S4 telefon kamerası için %0.004 olarak elde edilirken en kaba değer Htc Sensation telefon kamerası için %0.19 olarak hesaplanmıştır. Teorik prezisyon değerlerinin değerlendirilmesinde yine en iyi değerler Galaxy S4 cep telefonu kamerası için elde edilmiştir. Değerlendirme sonuçlarından

ampirik ve teorik ölçütler arasında farklar olduğu görülmektedir. Bu farklara bütün sistematik etkilerin modellenememesi veya doğruluğu kısıtlayan başka faktörlerin sebep olduğu düşünülmektedir.

Tablo 2. Dengeleme Sonuçları.

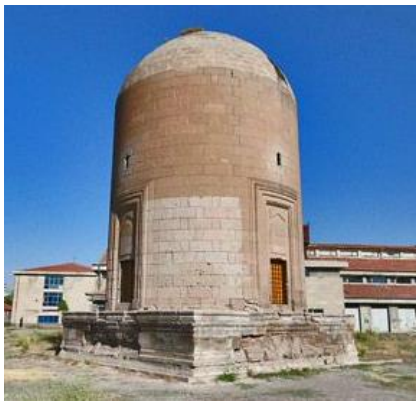
Kamera	ykn s	ep s	dn s	f	sigma0 µm piksel	$\hat{\sigma}_x$ ykn mm dn mm	$\hat{\sigma}_y$ ykn mm dn mm	$\hat{\sigma}_z$ ykn mm dn mm	μ_x ykn mm dn mm	μ_y ykn mm dn mm	μ_z ykn mm dn mm
Apple Iphone 5	10	0	70	2902	4.76	0.166	0.166	0.224	0.211	0.158	0.437
					3.42	0.232	0.231	0.373	0.541	0.542	1.198
	10	4	70	2871	1.69	0.060	0.060	0.081	0.163	0.138	0.179
					1.21	0.082	0.082	0.130	0.489	0.483	0.333
10	6	70	2762	0.59	0.021	0.021	0.029	0.062	0.063	0.079	
				0.42	0.031	0.031	0.049	0.084	0.058	0.089	
10	10	70	2874	0.53	0.019	0.019	0.026	0.011	0.028	0.030	
				0.38	0.027	0.027	0.042	0.055	0.038	0.079	
Htc Sensation	10	0	70	3166	12.03	0.417	0.418	0.577	0.340	0.318	0.696
					8.59	0.585	0.582	1.000	1.249	1.262	2.601
	10	4	70	3198	1.93	0.065	0.066	0.091	0.056	0.068	0.065
					1.38	0.091	0.091	0.152	0.306	0.276	0.193
10	6	70	3166	1.71	0.059	0.059	0.081	0.109	0.117	0.084	
				1.22	0.083	0.083	0.138	0.179	0.193	0.203	
10	10	70	2932	1.05	0.037	0.037	0.050	0.040	0.045	0.047	
				0.75	0.054	0.054	0.088	0.107	0.107	0.135	
Samsung Galaxy S4	10	0	70	3380	6.43	0.229	0.230	0.301	0.213	0.174	0.441
					5.64	0.315	0.318	0.436	0.512	0.837	1.242
	10	4	70	3472	1.43	0.048	0.048	0.064	0.092	0.090	0.109
					1.25	0.067	0.068	0.092	0.290	0.285	0.266
10	6	70	3081	0.57	0.021	0.022	0.029	0.021	0.024	0.057	
				0.50	0.029	0.029	0.041	0.083	0.076	0.117	
10	10	70	3212	0.27	0.009	0.009	0.012	0.012	0.015	0.018	
				0.24	0.013	0.013	0.018	0.026	0.022	0.031	
CANON Ixxus 960 IS	10		70	3196	0.74	0.021	0.021	0.029	0.018	0.037	0.024
					0.40	0.023	0.023	0.032	0.066	0.053	0.048

ykn s :Yer kontrol noktası sayısı
 ep s :Ek parametre sayısı
 dn s :Denetleme noktası sayısı
 f :Serbestlik derecesi
 sigma0 :Resim koordinat düzeltmelerinin karesel ortalama hata değeri
 $\hat{\sigma}_x, \hat{\sigma}_y, \hat{\sigma}_z$:ykn/dn koordinatlarının ortalama teorik prezisyon değerleri
 μ_x, μ_y, μ_z :ykn/dn koordinatlarının ampirik doğruluk değerleri

3. 3B MODELLEME

İkinci uygulamada ise, 3B test alanı kullanılarak gerçekleştirilen geometrik doğruluk testlerinde en iyi sonucu veren cep telefonu modeli Galaxy S4 cep telefonu kamerası görüntüleri kullanılarak 8 m yüksekliğinde, 5 m çapında silindirik şekilli tarihi bir yapının 3 boyutlu modellemesi gerçekleştirilmiştir.

Gabriel (1954) tarafından 14. yüzyılın ortalarında inşa edildiği ifade edilen tarihi yapı Sırçalı Kümbet olarak bilinmektedir ve günümüzde Kayseri İli Melikgazi İlçesi Talas yolu üzerinde yer alan Kayseri Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi'nin bahçesinde yer almaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Sırçalı Kümbet

a. Jeodezik İşlemler

Arazi çalışmasının başında kümbeti çevreleyen, ülke koordinat sistemine dayalı bir poligon ağı şebekesi tesis edilmiştir. 5 adet yer kontrol noktası tesis yapılmış ve bu noktalar TUSAGA-Aktif sistemi ile koordinatlandırılmıştır. Daha sonra kümbetin üzerine siyah araka plan üzerinde beyaz benek biçiminde toplam 106 adet hedef işaretleri yapıştırılmıştır (Şekil 4).

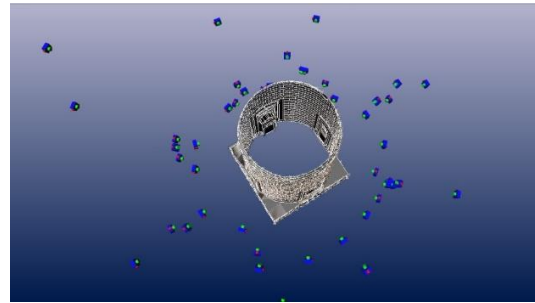


Şekil 4. Yapı Üzerindeki Hedef İşaretleri.

Lazerli okuma özelliğine sahip olan Leica TS02 Power 7 total station aleti (Ölçme hassasiyeti: 1,5 mm+2 ppm) ile 5 yer kontrol noktasından bu hedef işaretlerine ve ayrıca kümbetin üst kısımlarında yer alan ve çekilen resimler üzerinde de rahatça görülebilecek belirgin detay noktalarına koordinat okumaları yapılmıştır. Bu şekilde kümbet üzerinde toplamda 130 kontrol noktası belirlenmiştir.

b. Resim Çekimi

Çalışma kapsamında, konverget çekim modunda kümbetin toplam 73 adet resmi çekilmiş ve bunlardan 54 tanesi projede kullanılmıştır. Şekil 5, kümbet ve resim çekim konumlarını göstermektedir. Resim çekim mesafesi yaklaşık 5-20 m aralığındadır. Ortalama çekim mesafesi ise yaklaşık 9 m'dir.



Şekil 5. Resim çekim konumları.

c. Fotogrametrik Değerlendirme

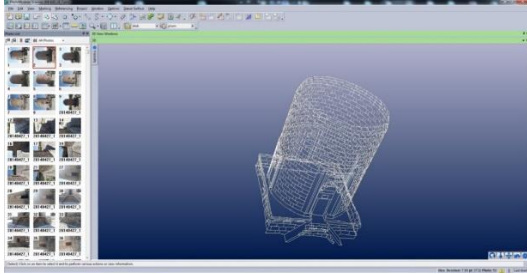
Fotogrametrik değerlendirme, Photomodeller Scanner 2017 yazılımı deneme sürümü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Uygulamada 25 kontrol noktası kullanılmış geriye kalan 105 nokta ise fotogrametrik değerlendirmenin doğruluğunu test etmek amacıyla denetleme noktası olarak kabul edilmiştir.

Tüm projede toplam 2816 farklı detay noktası kullanılmış ve her bir resim üzerinde ortalama 144 nokta işaretlenmiştir. Bütün detay noktaları işaretlendikten sonra demet dengelemesine geçilmiş ve dengeleme sonucunda toplam son hata değeri 0.549, resim koordinat ölçmelerine ait tüm düzeltmelerin karesel ortalama hata değeri 0.644 piksel ve en büyük düzeltme değeri 5.03 piksel olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler yazılımın yardım menüsünde bahsedilen sınır değerler içerisinde yer almaktadır.

Fotogrametrik değerlendirmenin doğruluğunu test etmek amacıyla denetleme noktalarının dengeleme sonucunda hesaplanan koordinatlarıyla bilinen koordinat değerleri eşitlik 3

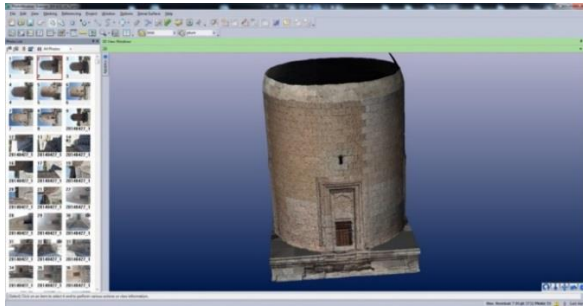
kullanılarak karşılaştırılmış ve X eksen yönünde 9 mm, y eksen yönünde 6 ve z eksen yönünde 4 mm doğruluk değerleri elde edilmiştir.

Değerlendirme sonrası elde edilen üç boyutlu tel kafes modeli Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Tel kafes model.

3 boyutlu modellemenin son işlem aşaması ise doku kaplamadır. Bu amaçla önce kümbet yüzeyine ait toplam 1157 yüzey parçası oluşturulmuş ve resimlerdeki doku (texture) yapısı modele taşınmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Doku kaplaması.

4. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada cep telefonu kamera görüntülerinin fotogrametrik uygulamalarda kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla iki aşamalı bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada 3 cep telefonu kamerası ve bir sayısal kompakt kameranın doğruluk yönünden karşılaştırmaları yapılmıştır. Değerlendirmeler sonucunda en iyi değerler Galaxy S4 cep telefonu kamerası için elde edilmiştir. Resim uzayındaki doğruluk değeri söz konusu kamera için yaklaşık 1/4 piksel oranında hesaplanmıştır. Diğer kameralar için bu oran 1/1.5-1/3 piksel aralığındadır. Cisim uzayındaki rölâtif doğruluk (karesel ortalama hatanın en büyük cisim boyutuna bölümü) değeri Galaxy S4 cep telefonu kamerası için 1:26.000 oranında hesaplanırken Htc Sensation dışındaki diğer iki kamera için

1:12.000 oranında belirlenmiştir. Htc Sensation için bu değer 1:6.000 oranında hesaplanmıştır.

İkinci işlem aşamasında ise kullanılan cep telefonu kameralarından en iyi ampirik doğruluğu veren Galaxy S4 cep telefonu kamerası ile alınan görüntüler kullanılarak Kayseri'de bulunan tarihi Sırçalı Kümbet'in fotogrametrik yöntemle üç boyutlu modellemesi gerçekleştirilmiş ve denetleme noktaları kullanılarak yatayda yaklaşık 7 mm ve düşeyde 4 mm doğruluk değerleri elde edilmiştir. Bir diğer ölçüt olan resim koordinat düzeltmelerinin karesel ortalama hata değeri ise yaklaşık 1/2 piksel oranında hesaplanmıştır.

Uygun hedef işareti içeren cisim noktaları, kalibrasyon ve veri işleme yazılımı performansı ile bu cihazların yaklaşık cisim uzunluğunun 1:26.000 oranında doğruluk gerektiren fotogrametrik uygulamalarda kullanılabileceği görülmüştür. Ayrıca üretilen üç boyutlu model, doğruluk, maliyet ve esneklik yönünden ilginç bir seçenek sunan cep telefonu kameralarının düşük bütçeli dokümantasyon projelerinde kullanılabileceğini göstermiştir. Teknojideki gelişmelere paralel olarak cep telefonu kameraları kalite ve performansının dâhili görüntü işleme işlevleriyle birlikte daha da gelişeceği ve en azından küçük projeler için fotogrametrik veri elde etme ve işleme aracı olarak tek başına kullanılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Agapiou, A., Georgopoulos A., (2006), **Photogrammetric potential of digital cameras in handheld gadgets for digital close range applications**, The 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage.
- Akca, D., Gruen, A., (2009), **Comparative geometric and radiometric evaluation of mobile phone and still video cameras**. The Photogrammetric Record, 24 (127), 217 – 245.
- Beyer, H. A., (1992), **Accurate calibration of CCD-cameras**. In: Proc. International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Urbana Champaign, Ill., June 1992, IEEE CS Press, Piscataway, N.J.
- Brown, D.C., (1971), **Close-range Camera calibration**. PE&RS, Vol. 37(8), pp.855-866.

DeChant, L. F., (2012), **Close-range photogrammetry and mobile phone cameras**, DeChant Consulting Services – DCS Inc, Bellevue, Washington.

Gabriel, A., (1954), **Kayseri Türk Anıtları**, (Çev. Ahmet Akif Tütenk).

Gruen, A., Akca, D.,(2008), **Evaluation of metric performance of mobile phone cameras**. International Calibration and Orientation Workshop EuroCOW 2008, Castelldefels, Spain, January 30 - February 1 (only on CD-ROM).

Gruen, A., Akca, D., (2007), **Calibration and accuracy testing of mobile phone cameras**. 28th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS'07), Kuala Lumpur, Malaysia, November 12-16 (only on CD-ROM).

Kim, S., Lee, H., Ahn, D., Seo, S., Park, C. Choi, (2013), **Feasibility of employing a smartphone as the payload in a photogrammetric UAV system** ISPRS J. Photogram. Remote Sens., 79 (2013), pp. 1-18

Noor, A. Azhar, Anuar Ahmad, vd., (2013), **Comparative geometric and radiometric evaluation of mobile phone, compact and DSLR cameras**, Signal Processing and its Applications (CSPA), IEEE 9th International Colloquium

URL-1

<https://en.wikipedia.org/wiki/Camera_phone>
Erişim Tarihi: 10.03.2016.

URL-2

https://en.wikipedia.org/wiki/Camera_phone
Erişim Tarihi: 10.03.2016