

Fotogrametrik Amaçlı Kamera Kalibrasyonu Yazılımlarının Kullanımı Üzerine Bir Araştırma

Hasan Bilgehan Makineci*¹, Lütfiye Karasaka¹, Duygu Şahin¹

¹Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Kamera kalibrasyonu
Self kalibrasyon
Metrik kamera
İç yöneltme

ÖZ

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. Bu çalışma kapsamında, kamera kalibrasyonu popüler yazılımlar kullanılarak kalibrasyon yapılmış, sonuçlar karşılaştırılmış ve bazı yorumlar yapılmıştır. 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. Bu makalede, otomatik modelleme yazılımlarına odaklanarak sensör modellemesi ve fotogrametrik kalibrasyon gözden geçirilmektedir. Genel kullanılan yöntemlerin geçmişi ve durumu incelendikten sonra, yakın mesafeli fotogrametri için kalibrasyonla ilgili güncel yazılımların araştırmasına geçilmiştir.

Kamera kalibrasyonu gerçekleştirmek için kullanılan endüstriyel yazılımların performansının irdelendiği bu çalışmada genel hatlarıyla en çok tercih edilen yazılımlar (Matlab, Agisoft Lens, Photomodeller Scanner ve 3DF Zephyr) ile çeşitli kameralar kalibre edilmiş ve sonuçları gösterilmiştir. Bu çalışmanın kamera kalibrasyonu yapmak isteyen tüm araştırmacılara yardımcı olması amaçlanmıştır.

A Research on the Use of Camera Calibration Software for Photogrammetric Purposes

Keywords

Self calibration
Metric camera
Interior Orientation
Camera Calibration

ABSTRACT

The cameras should be calibrated and reported continuously, understanding that the effect of the cameras used in photogrammetry (non-metric amateur) is undeniable. Considering the accuracy of the camera calibration will directly affect the model, it should aim to be done with the highest efficiency. In this study, camera calibration has been done using conventional software, results compared, and some comments have been made. The values that should be found in the calibration report are known as interior orientation parameters (X_h , Y_h , c) and polynomial coefficients (k_1 , k_2 , k_3 , and p_1 , p_2) of the function expressing lens distortion.

Metric calibration is a critical prerequisite for current and end-user digital cameras available for close-range photogrammetric estimation. In this article, sensor modeling and photogrammetric calibration reviewed, focusing on automatic modeling techniques. After checking the chronicle and form of the commonly used methods, the research for current software related to calibration for close-range photogrammetry lighted.

In this study, where the performance of automated software used to perform camera calibration examined, various cameras have been calibrated with the most preferred software (Matlab, Agisoft Lens, Photomodeller Scanner, and 3DF Zephyr) and their results are shown. This study is intended to assist all researchers who want to calibrate the camera for the photogrammetric purpose.

*Sorumlu Yazar

(hbmakineci@ktun.edu.tr) ORCID 0000-0003-3627-5826
(lkarasaka@ktun.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-2804-3219
(dsahin@ktun.edu.tr) ORCID ID 0000-0001-9976-7479

Kaynak Göster:

MAKİNECİ, H., KARASAKA, L., ŞAHİN, D. (2020). Fotogrametrik Amaçlı Kamera Kalibrasyonu Yazılımlarının Kullanımı Üzerine Bir Araştırma. Türkiye Fotogrametri Dergisi, 2 (1), 14-21. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tufod/issue/53476/690908>

1. GİRİŞ

1970 li yılların başlarında geliştirilen ve ışın demetleri ile dengeleme ilkesine dayanan analitik kamera kalibrasyonu (self- kalibrasyon) tekniği 1980' li yıllarda yakın resim fotogrametrisi için standart bir araç haline gelmiştir (Luhmann,, T., et al., 2016). Yakın resim fotogrametrisi uygulamaları için metrik kamera kalibrasyonu çoğunlukla tüketici sınıfı dijital kameraların için önemli ve gerekli bir ön koşuldur. Metrik kamera üretim maliyetlerinin yüksek olması kullanıcıları yersel fotogrametri uygulamalarında maliyeti daha düşük olan metrik olmayan amatör veya profesyonel dijital kameralar kullanmaya yönlendirmektedir (De la Escalera, A., and Jose María A., 2010). Metrik kameralar kamera kalibrasyonları özel laboratuvar koşullarında yapılmış, iç yöneltme elemanları bilinen, birden çok mercekten oluşan ve kusursuz sayılabilecek nitelikteki kameralardır ve hava fotogrametrisi çalışmalarında tercih edilen bir donanımdır.

Fotogrametrik çalışmalar kapsamında ele alındığın kamera kalibrasyonu fotoğraflardan doğru bilgiler çıkarabilmek ve güvenilir 3 boyutlu modeller üretebilmek için birinci işlem adımı olarak görülmektedir. Bu amaçla, yapılacak tüm fotogrametrik çalışmalarda öncelik olarak kamera sistemleri kalibre edilmelidir (Özdemir, E., and Z. Duran., 2019). Fotogrametrik çalışmalarda kullanılan kameralar merkezi izdüşüm ilkesine dayanır. Bir başka deyişle obje uzayında cisimden yayılan ışınlar mercek sistemleri olarak ifade ettiğimiz bir noktada toplanarak görüntü düzlemine izdüşürülür (Egels., Y., 2001). Ancak mercekler tarafından kırılan ışınlar izdüşümde bazı kusurlara neden olur. Bu kusurlar; koma, küresel aberasyon, astigmatizm, görüntü alanının eğriliği ve distorsiyon hatası olarak sınıflandırılır.

Kamera kalibrasyonu probleminin çözümü farklı yöntemler kullanılarak ele alınabilir (Yılmaztürk, F., and Külür ., S., 2010). Bunlardan ilki ve en popüler olanı kamera iç ve dış yöneltme parametrelerini belirlediği self kalibrasyonlu yaklaşımdır (Douskos, V., et al., 2009). Diğeri ise biri dizi iki boyutlu görüntü dizilerinden 3B bilgi çıkarımı için geliştirilen hareket ile nesne oluşturma tekniğidir (SFM- structure from motion). Günümüzde self kalibrasyonlu demet dengelemesi yöntemini kullanan ticari ve açık kaynak kodlu birçok fotogrametrik yazılım mevcuttur (Dubská, Markéta, et al., 2014). Self-kalibrasyon yönteminin matematik modeli, temel olarak (collinearity principle) doğrusallık koşulu denklemlerini temel alınır. Geliştirilen yazılımlarda kalibre edilen fotoğraf makinesinin, iç yöneltme elemanları (Xh, Yh, c), mercek distorsiyonunu ifade eden fonksiyonun polinom katsayıları (k1, k2, k3 ve p1, p2) elde edilir (Ramalingam, S., and Peter S., 2016). Bu katsayılar en küçük kareler yöntemine göre çözülür.

Bu çalışmada yersel fotogrametrik çalışmalar için kullanılabilecek yeni nesil cep telefonlarının kameraları self kalibrasyonlu dengeleme çözümünü

kullanan ticari ve açık kaynak kodlu yazılımlarda kalibre edilmiş sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. YÖNTEM

Fotogrametri 2 boyutlu fotoğraflar yardımıyla 3 boyutlu modelleme yapan bir ölçme tekniğidir. Daha geniş bir tanımla fotogrametri objelere ve çevresine temas etmeden yansıyan ışınların şekillendirdiği görüntülerin ve bunların yaydığı enerjilerin kayıt edilip değerlendirildiği sonuç olarak güvenilir ve metrik bilgilerin elde edildiği bilim ve sanattır (Gürbüz., H., 1982).

Kameralar, görüntü düzleminden obje alanı ile görüntü alanında dönüşüm sağlayan bir mercekten oluşur (Egels., Y., 2001). Fotogrametride kullanılan kameralar metrik kameralardır. Metrik kameralar iç yöneltme elemanları bilinen çok sayıda mercekten oluşan ve bunlar kusursuz sayılabilecek nitelikteki kameralardır (Yıldız, F., Karabörk, H., Yakar, M. ve Yılmaz, H. M., 2005). Bunlara ölçü kameraları da denmektedir. Genel olarak kameraları analog ve dijital olarak ayırmak mümkündür. Analog kameralar kurşun bromür solüsyonlu izdüşümü sağlarken, dijital kameralar CCD ve CMOS sensörlerine izdüşümü sağlayan kameralardır (Uçar., E., ve Ergün., B., 2004).

Metrik dijital kameralardan elde edilen görüntüler analog kameraların aksine bilgisayar ortamına işlenebilen görüntü sinyallerini sayısal formata getiren cihazlar olduğu için kullanımı git gide artmıştır. Ancak metrik dijital kameraların fiyatları pahalı olduğundan dolayı kullanıcıları fotogrametrik amaçlı üretilmeyen metrik olmayan dijital kameraların kullanımına itmiştir (Yılmaztürk, F., and TERZİ., N., U., 2018). Metrik olmayan dijital kameralar fiyat olarak daha uygun olsa da fotogrametrik işlemler için gerekli olan parametrelerinin bilinmemesi bu kameraların bir eksikliğidir. Fakat bu eksiklik kamera kalibrasyonu yapılarak giderilmesi mümkündür (Ahmad, A. ve Chandler, J.H., 1999).

Temel olarak iki yaklaşım vardır. Bazı durumlarda gerçek nesne bilgisi ile kamera parametreleriyle ilgili modeller aynı anda belirlenebilirken (eşzamanlı kalibrasyon), bazı durumlarda ise kamera sistemleri diğer uygulamalardan ayrı olarak önce kalibre edilir. Kamera parametrelerinin daha sonra ikinci ölçümde sabit olduğu varsayılır (Hornberg., A., 2017).

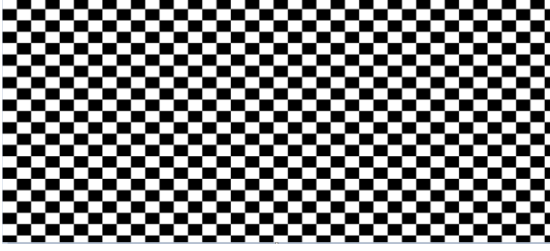
3. UYGULAMA

Dijital kameraların kullanımının arttığı günümüzde, özellikle cep telefonlarının kameralarının değerlendirilmesi açısından kalibrasyon önemli bir aşamadır. Cep telefonu kameraları ve son kullanıcı odaklı dijital kameralar ile çalışmak için bu çalışmada kalibrasyon sonuçları incelendi ve farklı yazılımların verdiği raporlar araştırıldı.

3.1. Agisoft Lens

Ücretsiz bir yazılım olan Agisoft Lens' in kullanımı oldukça pratiktir. Ayrıca hızlı bir şekilde kalibrasyon sonuçları elde edilir ve distorsiyon eğrisinin grafikleri program tarafından otomatik olarak çizilir. Kullanımı adımları şu şekilde gerçekleştirilir.

- Agisoft Lens'in kendi bünyesinde bulundurduğu "Chessboard" test alanının fotoğrafları bilgisayar ekranı üzerinden çekilir (şekil 1).



Şekil 1. Kullanılan program kalibrasyon tahtası

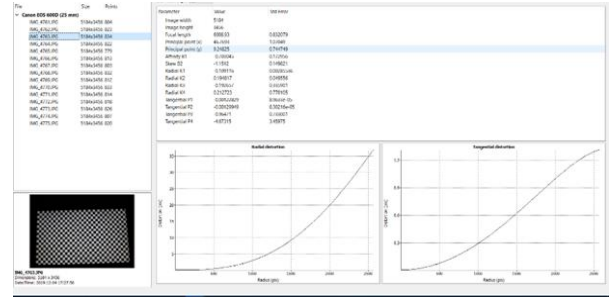
- Çekilen fotoğraflar programa grafik ara yüz ile aktarılmaktadır. Agisoft Lens programında JPEG, TIFF, PNG, PPM, BMP görüntü formatları desteklenir. Programın kalibrasyon yapabilmesi için en az 3 fotoğraf gerekli olmaktadır.
- Daha sonra kalibrasyon işlemi başlatılır.
- Sonuçlar ürünleri elde edilir. Kalibrasyon sonucunda resim boyutları, resim ana noktası koordinatları, radyal ve teğetsel distorsiyon parametreleri ve eğrileri ekran üzerinden kullanıcıya sunulur. Eğrilerin çizimi, sadece bir yarı köşegen boyunca olacak şekilde gösterilir.

Birinci uygulamada farklı açılardan çekilen 15 tane fotoğraf kullanılmıştır (şekil 2).



Şekil 2. Birinci uygulamada kullanılan fotoğraflar

Odak uzaklığı $f=25$ mm olan Canon EOS 600D ile test alanının görüntüsü farklı açılardan en az 3 adet olacak şekilde çekilmiştir. Sonuç ürünü olarak, iç yöneltme elemanlar ve distorsiyon eğrisinin grafikleri elde edilmiştir. Şekil 3'te Radyal Distorsiyon eğrisinin grafiği soldaki, teğetsel distorsiyonun grafiği sağdadır.



Şekil 3. Agisoft Lens sonuç ekranı

Kalibrasyon sonucuna elde edilen iç yöneltme elemanları ve parametrelerin Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir. Burada k_1 , k_2 , k_3 ve k_4 radyal distorsiyon parametreleri iken p_1 ve p_2 teğetsel distorsiyon parametreleridir.

İkinci uygulamada çekimlerde bir dijital kamera ile diğeri cep telefonu kamerası olmak üzere iki farklı cihaz kullanılmıştır. Cihazların özellikleri tablo 3'de verilmiştir.

Çalışmamız, çekim esnasında bazı özelliklerin değiştirilip karşılaştırmalara olanak sağlayacak şekilde yapılmıştır. Öncelikle dijital kameranın 28mm olan odak uzaklığı değiştirilerek 18 mm ve 34 mm iki farklı odak uzaklığında resim çekimleri yapılmıştır.

Odak uzaklığı küçüldükçe kenarlardaki maksimum hata artmakta, odak uzaklığı büyüdükçe bu hata azalmaktadır. Tüm durumlar için distorsiyon eğrisi aynı özelliktedir.

İkinci olarak çekim alanının değiştirilmesiyle oluşan değişimleri tespit etmek amacıyla, Iphone 6 telefon kamerasıyla 19x11 ve 38x22 (sıra x sütun) karelere sahip test alanının çekimleri yapılmıştır ve iki çekimde de aynı açı ve aynı yatay uzaklık çekimler net olarak yapılmadığı için değerlerin değişimi hakkında net bir değerlendirme yapılamamaktadır. Genel olarak ifade edilirse eğri ve maksimum distorsiyon hata miktarı yaklaşık aynı kalmıştır.

Farklı bir çalışma olarak üçüncü uygulamada, Canon EOS 600D cihazıyla 28 mm odak uzaklığında, karanlık ortamda tüm kareleri kapsayacak şekilde ekranın 4 kenarından ve 4 köşesinden, 1 adet de ekrana paralel şekilde en az 9 resim olacak şekilde toplam 20 adet resim çekimi yapılmıştır. Bu resimler Agisoft Lens programına aktarılarak kalibrasyon parametreleri ve distorsiyon eğrileri elde edilmiştir. Aynı işlem adımları Iphone 6 telefonunun kamerasıyla da yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda hassasiyet ve görüntüdeki sapma miktarlarını karşılaştırılmıştır.

Tablo1. Agisoft Lens distorsiyon parametreleri

Parametre	Radyal				Teğetsel	
	K1	K2	K3	K4	P1	P2
Değer	-0.109116	0.19481	-0.192657	0.212723	-0.001228	-0.001299

Tablo 2. Agisoft İç Yönelme Elemanları

Parametre	C (mm)	Vc (mm)	x ₀ (Piksel)	y ₀ (Piksel)
Değer	25.79	0.79	46.7693	9.24825

Tablo 3. Kullanılan Cihazların Özellikleri

Cihaz Adı	Iphone 6	Canon EOS 600D
Kamera Çözünürlüğü	1.2 Megapiksel	18.0 Megapiksel
Sensör Boyutları	4.8 × 3.6 mm	22.3 × 14.9 mm (3.32 cm ²)
Odak Uzaklığı	4.15 mm	18 - 55 mm
Piksek Yoğunluğu	32 ppl	5.4 M p/
Piksek Boyutu	1.5 μ	4.29 μ
Max. Çekim Boyutu (piksel)	750 × 1334	5184 × 3456
Resim Formatı	.jpeg, .tiff, .doc, .docx, .pdf	.jpeg



(a)



(b)

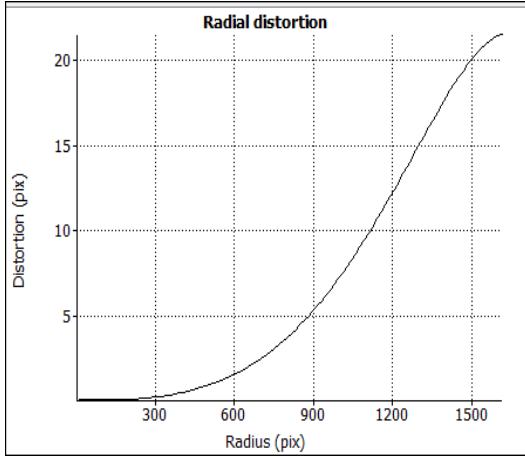
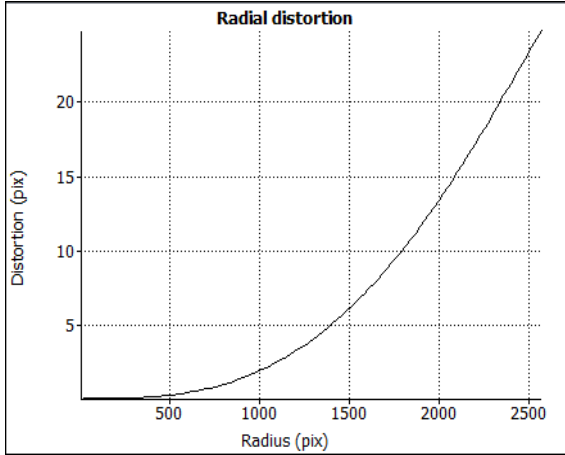
Şekil 4. Canon EOS 600D (a) ve Iphone 6 Cep Telefonu (b)**Tablo 4.** Dijital Kameranın odak uzaklığı değiştirilerek elde edilmiş kalibrasyon sonuçları

Çekim No	Odak uzaklığı (f, mm)	Resim Ana Noktası Koordinatları (Piksel)		Radyal Distorsiyon			Teğetsel Distorsiyon	
		X	Y	K1	K2	K3	P1	P2
1	18	2620.05	1753.29	-0.1771	0.1867	-0.1357	-0.0005	-0.0005
2	28	2627.11	1726.84	-0.0812	0.075	0.4494	-0.0018	-0.0009
3	34	2640.77	1729.33	-0.0375	0.0574	0.6324	-0.0021	-0.0012

Tablo 5. Dijital Kamera İle Cep Telefonu Kamerası Karşılaştırma Sonuçları

Cihaz Adı	F (mm)	Kullanılan Resim Sayısı	Resim Boyutları (Piksel)	Radyal Distorsiyon		
				K1	K2	K3
İphone 6	4.15 mm	20 adet	3264x2448	0.0197	0.4787	-2.0909
CANON EOS 600D	28 mm	20 adet	5184x3456	-0.0812	0.075	0.4494

Elde edilen veriler doğrultusunda, her iki kameraya ait radyal distorsiyon eğrisi farklı çizilmiş olsa da genel olarak aynı özellikleri taşımaktadır. Mertrik kameralar olmadığı için resim orta noktasından uzaklaşıp kenarlara gidildikçe düzgün bir şekilde artan parabolik özelliğe sahiptir.

**Şekil 5.** Canon EOS 600D Kamerasının Radyal Distorsiyon Eğrisi**Şekil 6.** Iphone 6 Cep Telefonu Kamerası Radyal Distorsiyon

Şekillerdeki distorsiyon eğrileri benzer özellik gösterse de orta noktadan köşe noktalarına doğru olan aynı uzaklıklar için, dijital kamera daha düşük distorsiyon miktarına sahiptir.

İki farklı kameradan alınan distorsiyon eğrilerine bakıldığında, her kameranın, objektifin kendine özgü distorsiyon eğrisi olduğu tespiti yapılır. Odak uzaklığının değiştirilmesi, objenin

büyütülmesi, çekimi yapılan fotoğraf sayısının artırılması ya da azaltılması gibi değişiklikler sonuç değerlerini ve standart sapmalarını değiştirirse de distorsiyon eğrisinin görünümünü değiştirmez.

Sonuç olarak, elde edilen bu parametreler ile düzeltilmiş koordinatlar hesaplanır.

$$r' = \sqrt{(x' - x_0)^2 + (y' - y_0)^2} \quad (1)$$

$$\Delta r = r - r' = K_0 + K_1 * r' + K_2 * r'^3 + K_3 * r'^5 \quad (2)$$

Eşitlik 1 ve eşitlik 2 ile hesaplanır.

$$dx = \frac{dr'}{r'} * x' \quad x = x' \pm dx' \quad (3)$$

$$dy = \frac{dr'}{r'} * y' \quad y = y' \pm dy' \quad (4)$$

Eşitlik 3'teki ve eşitlik 4'teki dx, dy düzeltmeleri; x,y düzeltilmiş koordinatları göstermektedir.

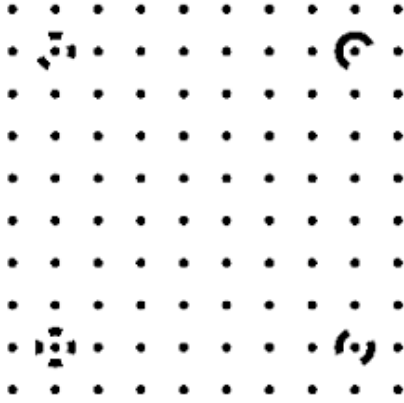
Yapılan çalışmanın amacında metrik olmayan dijital kameranın ve cep telefonunun kalibrasyonu yapılmış, elde edilen raporlar doğrultusunda her iki kamera karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak dijital kameranın distorsiyon eğrisinin, cep telefonu kamerasından iyi olduğu tespit edilmiştir.

3.2. Photomodeler Scanner

Photomodeleri 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 kullanımı oldukça basittir.

Programın kurulu olduğu dosya içerisinde kalibrasyon kağıdı bulunmaktadır (Şekil 7). Bu kağıdın çıktısı alınarak, ışıklı ortamda beyaz bir zemin üzerine yerleştirilir. Kalibrasyon kağıdının 4 farklı cephesinden farklı konumlardan en 8 adet fotoğraf çekimi yapılır. Photomodeler Scanner yazılımı test alanı kalibrasyon yöntemini benzer iki

yöntemle yapabilmektedir. Bunlar tek kağıt ve çoklu kağıt yöntemidir. Tek kağıt kalibrasyonu test alanının A0 ya da A4 kağıdına çıktısı alınarak yapılmaktadır. Çoklu kağıt yönteminde ise test alanının A4 kağıdına birçok çıktısı alınarak yapılır. Çekilen resimler yazılıma yüklendiğinde yazılım hangi yöntemle kalibrasyon yapılacağını kendisi algılayabilmektedir ve değerlendirmeye başlayabilmektedir.



Şekil 7. Photomodeler Scanner Kalibrasyon Çıktısı

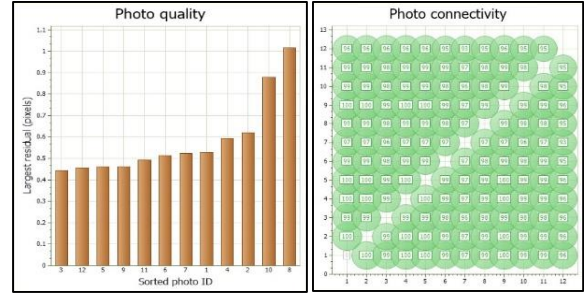
Program çalıştırılarak, yeni kalibrasyon projesi oluşturulur. Kamerasına ait isim, zoom yapılıp yapılmadığına ait bilgi, kameranın türü vs. girildikten sonra, çekilen resimler programa yüklenir ve kalibrasyon işlemine başlanmış olur. İşlem gerçekleştiikten sonra program kalibrasyon raporunu sunmaktadır. Çalışmada kullanılan kamera Nikon D3100 modelidir. Kamera özellikleri Tablo 6'da belirtildiği gibidir.

Tablo 6. Photomodeler Scanner Yazılımında Kalibre Edilen Fotoğraf Makinesi

Cihaz: Nikon D3100
Kamera çözünürlüğü: 3456 x 2304 piksel
Sensör Boyutları: ~ 23.1 x 15.4 mm
Odak Uzaklığı: 30 mm
Piksel Boyutu: 5 µm

Bu çalışmada hangi fotoğrafta ne kadar noktanın görüldüğü ve fotoğraftaki pixellerin konumsal doğruluğu, yani fotoğraflar arasındaki bağıntı şekil 8 de gösterilmiştir. Bu sayı fotoğrafların durumuna göre daha az (karanlık, kontrast az olduğu durumlarda) veya daha fazla (yanlış algılanma,

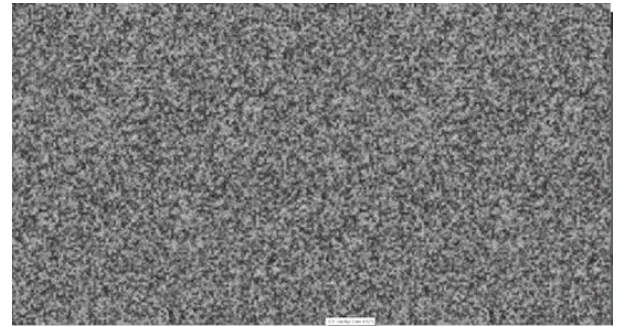
düzeltilbilir) olabilir. Bulunan bilgilerden bazıları da sapma (deviation) değeri, kullanılan odak uzaklığıdır. Örneğin 96 regular, 4 tane coded points, 30 mm odak uzaklığı ve sapma 0,000001 P2 ve P2 noktalarında değerleri görülmektedir. Optik merkezinin koordinatları da $X = 12.0694 \mu\text{m}$ ve $Y = 7.8271 \mu\text{m}$, fotoğraf çekerken kaplanan alan %78 ve K1, K2, K3, P1 ve P2 noktaların lens distorsiyonları bulunmaktadır.



Şekil 8. Kalibrasyon fotoğraflarının durumu

3.3. 3D Flow Zephyr

Fotogrametrik değerlendirme amaçlı kullanılan bir yazılım olmasının yanı sıra kamera kalibrasyonu da yapılabilmektedir. Kamera kalibrasyonu için test alanı olarak Prosedürel Perlin Gürültüsü (Şekil 9) kullanılır. Diğer yazılımlarda alanın bir çıktısı alındıktan sonra fotoğraf çekilirken bu yazılımda alan bilgisayar ekranına yansıtılır ve ekrandan fotoğraf çekilir. Kullanılan Prosedürel Perlin gürültüsünde noktaların boyutu yaklaşık 2 mm ve noktaların sayısı belli değildir. Iphone 6 cep telefonu kamerası ile çekilen görüntüler üzerinden kalibrasyon gerçekleştirilmiştir.



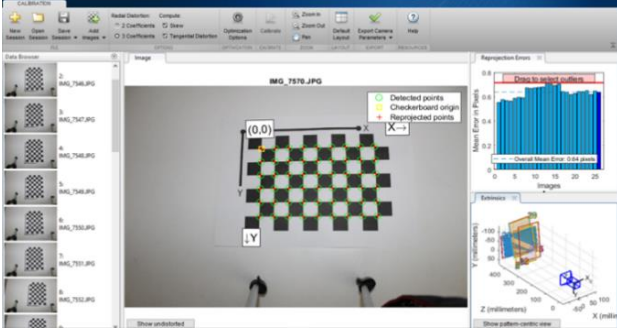
Şekil 9. Prosedürel Perlin Gürültüsü

Tablo 7. 3DF Zephyr Kalibrasyon Sonuçları

Odak Uzaklığı (mm)	Resim Ana Noktası Koordinatları (piksel)		Projeksiyon Merkezi Koordinatları (piksel)		Distorsiyon Parametreleri				
	XF	YF	XC	YC	Radyal			Teğetsel	
c	XF	YF	XC	YC	K1	K2	K3	P1	P2
3.8	3289.22	3289.22	2289.05	1738.41	0.0811311	-0.215083	0.105092	0	0

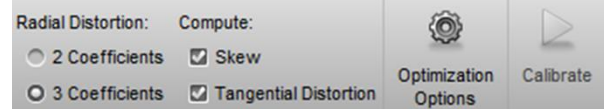
3.4. MATLAB

Matlab programında Camera Calibrator isimli uygulama kamera kalibrasyonu yapmaya olanak sağlar. Matlab programı açıldığında ilk olarak Command Window ve Workspace penceresi açılmakta olup APPS kullanılarak birçok uygulama listesi açılır. Buradan Camera Calibrator uygulaması seçilerek kalibrasyon başlatılır ve resimler eklenir. Daha iyi sonuçlar elde edebilmek için 10-20 adet resim çekilmesi önerilmektedir. Bu çalışmada da cep telefonu kamerası (Iphone 6) kullanılarak kalibrasyon gerçekleştirilmiştir.

**Şekil 10.** MATLAB kalibrasyon uygulaması

Programa fotoğraf yükleme aşamasına geçmek için desen kenarının boyutu inç veya mm olarak açılan pencereye girilmesini istemektedir. Bu uygulamada desen kenar boyutu 21.75 mm olarak belirlendi. Program resimdeki her köşe noktasına otomatik olarak yapışarak işaretleme yapmakta ve fotoğraflardan mozaik oluşturmaktadır.

Aynı sayfada kalibrasyon için isteğe bağlı seçilmesi gereken radyal distorsiyon, skew ve teğetsel distorsiyon ifadeleri yer almaktadır. Radyal distorsiyon katsayısı için 2 veya 3 seçilebilir. Genellikle kalibrasyon için katsayının 2 seçilmesi yeterli olmaktadır. Fakat geniş açılı lenslerde olduğu gibi fazla bozulmalar da K3 parametresini dâhil etmek için, 3 katsayısı seçilebilir. Skew ifadesini kısaca basıklık olarak ifade edilebilir. Bazı kameraların merceklerinde kusurlar olmasından dolayı x ve y eksenlerinin birbirine tamamen dik olmaması durumudur. teğetsel distorsiyon, mercek ile görüntü düzleminin paralel olmaması durumunda oluşmaktadır.

**Şekil 11.** Kalibrasyon menüsü

Şekil 11.de görülen Calibrate butonu çalıştırılarak kalibrasyon yapılır. Şekil 11'de ekranın sağ tarafındaki ortalama hata diyagramı ve çekimin yapıldığı ortama üç boyutlu simulasyon görüntü verilir. Bu çalışmada ortalama hata (Overall Mean Error) 0.64 piksel seviyesinde olup $0.64 \times 4.29 = 0.0027$ mm düzeyindedir. Elde edilen parametreler Export Camera Parameters butonu ile Command Window ekranına aktarılır. Bu değişkenler matrislerde saklanır.

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Kamera kalibrasyonu fotoğraflardan doğru metrik bilgiler çıkarabilmek ve güvenilir 3 boyutlu modeller üretebilmek için birinci işlem adımı olarak görülmektedir. Bu amaçla, yapılacak tüm fotogrametrik çalışmalarda öncelik olarak kamera sistemleri self-kalibrasyon (kullanıcı eliyle kalibrasyon) yöntemiyle (ışın demetleriyle blok dengelemesi) kalibre edilmelidir. Self-kalibrasyon yönteminin matematik modeli, temel olarak (colinearity principle) eşdüzlemcilik denklemleri temel alınır. Endüstriyel yazılımlarda kullanıcı kalibre edilen fotoğraf makinesinin, iç yöneltme elemanları (X_0, Y_0, c), mercek distorsiyon katsayıları (k_1, k_2, k_3 ve p_1, p_2) ve piksel boyutları olmak üzere sonuç almaktadır. Kalibrasyon işleminin sonucunda, kameraların asal noktanın koordinatları, gerçek odak uzaklığı, distorsiyon parametreleri ve ek parametreler belirlenir.

Her objektifin kendine özgü bir distorsiyon eğrisi vardır. Bir objektifin distorsiyon eğrisi mevcut ise fotoğraf üzerindeki herhangi bir noktadaki distorsiyon hatası ve değeri bulunabilmektedir. Bu çalışmada elde edilen distorsiyon eğrisinin maksimum olduğu değer resim kenarlarında (+35 mikron) iken minimum olduğu değer (0 mikron) resim orta noktasında oluşmaktadır. Yani distorsiyon eğimiz artan fonksiyon şeklindedir. Bunun anlamı ise resim kenarlarına doğru artan bir distorsiyon eğrisi değişimini göstermektedir. Bu

istenmeyen bir durumdur. Bu durum laboratuvarlarda esas uzaklıkta (c) yapılan küçük değişimler ile distorsiyon hatası resim üzerindeki dağılımı istenilen biçimde düzenlenebilmektedir.

Çalışma, çekim esnasında bazı özelliklerin değiştirilip karşılaştırmalara olanak sağlayacak şekilde yapılmıştır. Öncelikle dijital kameranın 28mm olan odak uzaklığı değiştirilerek 18 mm ve 34 mm iki farklı odak uzaklığında resim çekimleri yapılmıştır. Odak uzaklığı küçüldükçe kenarlardaki maksimum hata artmakta, odak uzaklığı büyüdükçe bu hata azalmaktadır. Tüm durumlar için distorsiyon eğrisi aynı özelliktedir. İkinci olarak çekim alanının değiştirilmesiyle oluşan değişimleri tespit etmek amacıyla, Iphone 6 telefon kamerasıyla 19x11 ve 38x22 (sıra x sütun) karelere sahip test alanının çekimleri yapılmıştır ve iki çekimde de aynı açı ve aynı yatay uzaklık çekimler net olarak yapılmadığı için değerlerin değişimi hakkında net bir değerlendirme yapılamasa da genel olarak eğri ve maksimum distorsiyon hatası miktarı yaklaşık aynı kalmıştır.

Elde edilen veriler doğrultusunda, her iki alette radyal distorsiyon eğrisi farklı çizilmiş olsa da genel olarak aynı özellikleri taşımaktadır. Resim orta noktasından uzaklaşıp kenarlara yaklaştıkça düzgün bir şekilde artan parabolik özelliğe sahiptir.

İki farklı kameradan alınan distorsiyon eğrilerine bakıldığında, her kameranın, objektifin kendine özgü distorsiyon eğrisi olduğu tespiti yapılır. Odak uzaklığının değiştirilmesi, objenin büyütülmesi, çekimi yapılan fotoğraf sayısının arttırılması ya da azaltılması gibi değişiklikler sonuç değerlerini ve standart sapmalarını değiştirirse de distorsiyon eğrisinin görünümünü değiştirmez.

Bu çalışmada her çekim için mümkün olduğunca ışık, çekim açısı, cisme uzaklık gibi şartların aynı olması amaçlanmıştır. Bu nedenle karşılaştırmalar kabaca, genel görünüş olarak yapılmıştır. Sonuç olarak çalışmada, kamera kalibrasyonu ve sonuç değerleri hakkında veriler toplanmış, iki cihaz arasında karşılaştırmalar yapılarak konunun önemli noktaları belirtilmiştir.

KAYNAKÇA

Ahmad, A. ve Chandler, J.H., : 1 Photogrammetric Capabilities of the Kodak DC40, DCS420 and DCS460 Digital Cameras, Photogrammetric Record, (1999) 16(94)

De la Escalera, A., and Jose María A. "Automatic chessboard detection for intrinsic and extrinsic camera parameter calibration." *Sensors* 10.3 (2010): 2027-2044.

Dubská, Markéta, et al. "Fully automatic roadside camera calibration for traffic surveillance." *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 16.3 (2014): 1162-1171.

Douskos, V., et al. "FAUCCAL: An open source toolbox for fully automatic camera calibration." *XXII CIPA Symposium on Digital Documentation, Interpretation & Presentation of Cultural Heritage, Kyoto, Japan*. 2009.

Egels, Y. (2001). Digital photogrammetry. CRC Press.

E. Uçar, ve B. Ergün, (2004) Fotogrametride üç boyutlu şehir modelleme teknikleri ve CBS kullanımı, Harita Dergisi, Cilt 132, 48-56 sn.

Hornberg, A. (Ed.). (2017). Handbook of machine and computer vision: the guide for developers and users. John Wiley & Sons.

Gürbüz, H., Fotogrametriye Giriş Konya Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi No: 16, Konya, 1982

Luhmann, T., Fraser, C., & Maas, H. G. (2016). Sensor modelling and camera calibration for close-range photogrammetry. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, 37-46.

Özdemir, E., and Z. Duran. (2019) POPÜLER KAMERA KALİBRASYONU YAZILIMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI. TUFUAB IX. Teknik Sempozyumu

Ramalingam, S., and Peter S.. "A unifying model for camera calibration." *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence* 39.7 (2016): 1309-1319.

Yılmaztürk, F., and Külür ., S., (2010). Sayısal Kameraların Self-Kalibrasyonu için Bir Yazılım Tasarımı. Harita Dergisi, 144 (50)

Yılmaztürk, F., and TERZİ, N., U., "İnşaat Mühendisliği Malzeme Testi Uygulamaları İçin Fotogrametrik Bir Sistem Tasarımı." *Geomatik* 3.2 (2018): 108-119.

Yıldız, F., Karabörk, H., Yakar, M. ve Yılmaz, H. M., Yersel Fotogrametride Kullanılan Metrik Olmayan Dijital Kameraların Kalibrasyonunda Kullanılan Yazılımların İncelenmesi Üzerine Bir Çalışma, (2005): Harita Dergisi, Sayı 134, 61-70.