

**YERSEL FOTOGRAMETRİDE KULLANILAN METRİK OLMAYAN
DİJİTAL KAMERALARIN KALİBRASYONUNDA KULLANILAN YAZILIMLARIN
İNCELENMESİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA**
(A CASE STUDY ON SOFTWARE PRODUCTS USED FOR CALIBRATION OF NON-
METRIC CAMERAS IN CLOSE-RANGE PHOTOGRAMMETRY)

Ferruh YILDIZ, Hakan KARABÖRK, Murat YAKAR, H.Murat YILMAZ
Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği, Konya
email: fyildiz@selcuk.edu.tr

ÖZET

Yersel fotogrametride kullanılan metrik ve metrik olmayan dijital veya analog kameraların kalibre edilmesi fotogrametrik değerlendirme için çok önemlidir. Son zamanlarda, metrik olmayan dijital kameraların, yersel fotogrametri amaçlı değerlendirme çalışmalarında kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Bu tip kameraların yersel fotogrametri amaçlı metrik kameralara göre fiyatlarının çok daha düşük olması kullanıcıların ilgisini çekmekte ve birçok projede yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada metrik olmayan kameralar için uygulamada kullanılan distorsiyon modelleri açıklanmış ve Nikon Coolpix-950 dijital kamerasının farklı test alanlarında ve farklı uluslararası yazılımlarla gerçekleştirilen kalibrasyon sonuçları değerlendirilmiştir.

ABSTRACT

The calibration of metric and non-metric digital and analogue cameras is an important issue in close-range photogrammetry. Recently, non-metric cameras have been widely used for photogrammetric restitution and map compilation in close-range applications. They are cost-effective in comparison to metric cameras. Therefore, many users choose them in a variety of applications. In this study; the distortion models used for non-metric cameras are introduced, and the calibration results obtained for Nikon Coolpix 950, a non-metric camera, with different software products are discussed in detail.

1. GİRİŞ

Dijital kameralardan elde edilen görüntülerin doğrudan bilgisayar ortamına aktarılabilmesi ve bilgisayar ortamında doğrudan işlenebilmesi gibi özellikler dijital kameraya olan talebi artırmıştır.

Amatör dijital kameralara paralel olarak fotogrametrik amaçlı metrik dijital kameraların üretimi de hızla artmaktadır. Ancak, fotogrametrik amaçlı üretilen metrik dijital kameraların fiyatının yüksek olması, fotogrametricilerin amatör dijital kameraya yönelmelerine neden olmuştur. Amatör dijital kameraların fiyatları ucuz olmasına rağmen fotogrametrik değerlendirmede çok önemli olan iç yöneltme elemanlarının bilinmemesi bir dezavantaj oluşturmaktadır. Bu dezavantaj, kameranın kalibrasyonu yapılmak suretiyle giderilmeye çalışılmaktadır. Kalibrasyon işlemini gerçekleştirebilmek için farklı yazılımlar geliştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, Nikon Coolpix 950 dijital kamerasının farklı yazılımlardan elde edilen kalibrasyon değerlerinin incelenmesidir.

2. MATERYAL METOD

Kamera kalibrasyonu, kameranın optik özelliklerini belirlemek için kullanılır. Bu nedenle bir çok kamera kalibrasyon yöntemi literatüre girmiştir /2/.

Kamera kalibrasyonu, iki boyutlu görüntülerden metrik bilgi çıkarmak için gerekli bir işlemdir. Kalibrasyon teknikleri en genel biçimde fotogrametrik kalibrasyon ve kendi kendine kalibrasyon (self kalibrasyon) olmak üzere ikiye ayrılır. Fotogrametrik kalibrasyon; üç boyutlu uzayda geometrisi iyi bilinen bir kalibrasyon objesine yapılan gözlemlerle gerçekleştirilmektedir. Bu yaklaşımda, pahalı kalibrasyon cihazları gerekmemektedir. Self-kalibrasyon tekniklerinde ise, herhangi bir kalibrasyon objesi kullanılmamaktadır. Görüntülerin, iç yöneltme parametreleri aynı olan kamera ile çekilmiş olma prensibine dayanır ve çekilen üç görüntü arasındaki geometrik uygunluk, hem iç hem de dış parametreleri elde etmek için kullanılır. Ancak bu yaklaşım çok esnek olmasına rağmen, yaygın biçimde kullanılmamaktadır /12/.

Bir kamerayı kalibre etmek için kameranın matematik modeline ihtiyaç duyulmaktadır. En iyi bilinen yöntemler; Pinhole Model, Doğrudan Lineer Dönüşüm Modeli (DLT) ve Fotogrametrik Model'dir. Bu modellerde, odak uzaklığı, resim orta noktası koordinatları, objektif distorsiyon parametreleri ve kamera yöneltme parametreleri gibi kameranın iç ve dış yöneltme parametrelerine bağlı olarak hesaplama teknikleri kullanılmaktadır.

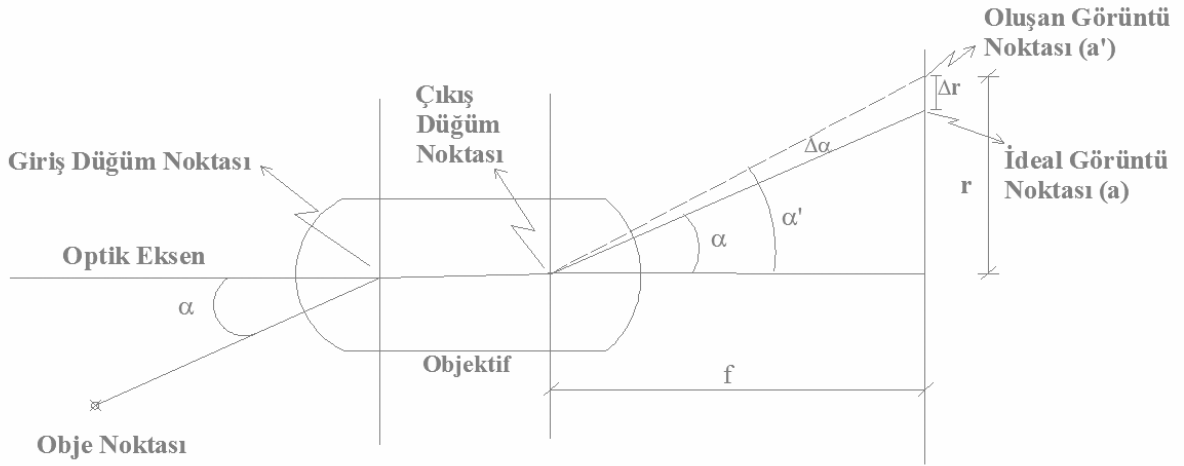
Pinhole Kamera olarak adlandırılan bir kamera, distorsiyonu olmayan ve orta noktası ideal olarak yerleştirilmiş bir kameradır. Ancak bu durum pratikte mümkün değildir /7/. Pinhole kamera modelleri doğrusallık prensibine dayanır. Bu modeller, üç boyutlu bir sistemden iki boyutlu bir sisteme projektif dönüşüm ile sağlanır.

DLT metodu, pinhole kamera modeline dayanır, doğrusal olmayan açısal ve teğetsel distorsiyonu yok saymaktadır /6/. Doğrusal parametrelerle hesaplama yapılması ve iterasyon gerektirmemesinden dolayı hesaplama bakımından hızlıdır. Ancak, bu modelde distorsiyon etkileri genellikle düzeltilenmemektedir.

Slama, 1980'de geleneksel "Fotogrametrik Kamera Modeli" olarak adlandırılan kalibrasyon yöntemini tanımlamıştır. Bu model, bir kameranın hem iç hem de dış yöneltmesini dikkate alan, kapsamlı bir kamera kalibrasyon modelidir. Matematiksel açıdan, kamera parametreleri biliniyorsa bir kameranın iç yöneltmesi belirlenebilmektedir. Bunlar; kameranın odak uzaklığı (f), resim orta noktası koordinatları (x_0, y_0) ve objektif distorsiyon (Δr) özellikleridir. Bir kameranın dış yöneltmesi, üç dönüklük açısı (ω, ϕ, χ) ve kamera optik merkezinin jeodezik dik koordinatları (X_0, Y_0, Z_0) ile belirlenmektedir. Bu modelin kullanımı uygulamada ideal sistemle örtüşen sonuçlar vermektedir. Ancak, bu kamera kalibrasyon yönteminin uygulanabilmesi için geometri doğruluğu iyi bilinen bir test alanına ihtiyaç vardır /7/.

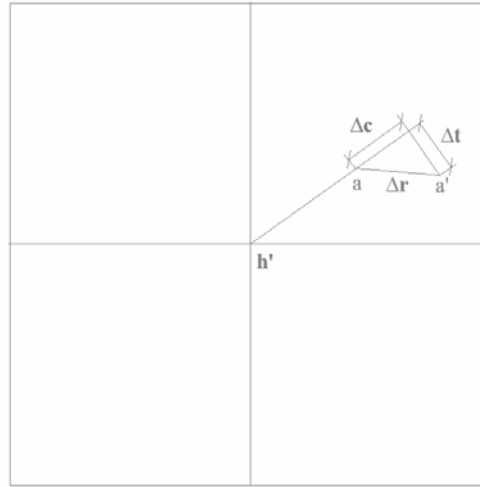
Genel olarak kameralar; bir görüntü düzlemi ile obje yüzeyi ve görüntü yüzeyi arasındaki dönüşümü sağlayan mercek sisteminden oluşmaktadır. Distorsiyondan dolayı bu dönüşüm, perspektif bir dönüşümle mükemmel olarak tanımlanamaz. Ancak, bu dönüşümü matematiksel olarak bozan mercek distorsiyonlarının modellenmesi suretiyle dönüşüm gerçekleştirilebilir /4/.

Cisimden gelen bir ışın, objektife girişte optik eksenle α açısını yapıyorsa, çeşitli mercek hatalarından dolayı objektiften çıkışta optik eksenle α' açısını yapacaktır. Böylece obje noktasının görüntüsü, olması gereken yerden Δr kadar farklı bir yerde meydana gelecektir. İşte bu Δr görüntü kayıklığı distorsiyon hatası olarak adlandırılmaktadır /5/ (Şekil-1).



Şekil-1: Distorsiyon Hatası (Δr)

Öte yandan, obje noktasının resim üzerindeki görüntüsü de a noktasında olması gerekirken distorsiyon hatasından dolayı a' noktasında meydana gelmektedir. Distorsiyon hatasından ileri gelen aa' kayıklığı, çap doğrultusunda ve buna dik doğrultuda iki bileşene ayrılır. Bunlardan birincisine çapsal (ışımsal) distorsiyon (Δc), buna dik olan bileşene de teğetsel distorsiyon (Δt) adı verilir (Şekil-2). Teğetsel distorsiyon çok küçük olduğundan (2-3 mikron) uygulamada genellikle dikkate alınmaz. Objektiflerin sadece çapsal distorsiyonu konu edilir /5,3/.



Şekil-2: Işımsal (Δc) ve Teğetsel (Δt) Mercek Distorsiyonu

Objektifler birden fazla mercek sisteminden oluştuğu için, her objektifin özel distorsiyon eğrisi bulunmaktadır. Resmin kenarlarına doğru artan bir distorsiyon değişimi istenilen bir durum değildir. Ancak, kamera esas uzaklığına uygulanan bir düzeltme ile distorsiyon hatasının resim üzerindeki dağılımını düzenleme olanağı bulunmaktadır. Böylece, hatanın resmin kenarlarında toplanması yerine, resmin tüm bölgelerine dağılmış ve etkisi azaltılmış bir dağılımın elde edilmesi yolu tercih edilmektedir /1/.

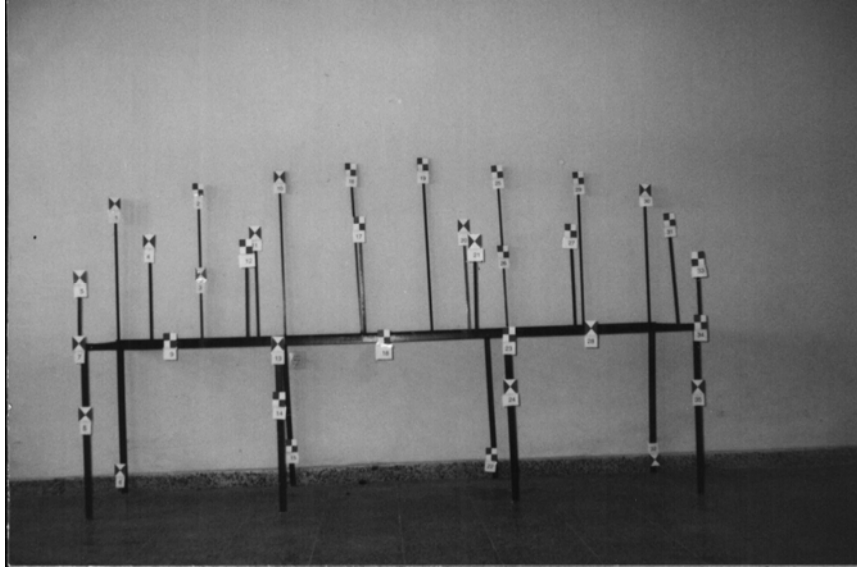
Bu çalışmada Nikon Coolpix-950 dijital kamerası kullanılmıştır. Nikon Coolpix-950 kamerası, fotogrametrik amaçlı olmayan amatör bir kamera olup değişken odak uzaklık değerlerine sahiptir (7-21 mm). Çözünürlüğü 1600x1200 piksel'dir. Bu kameralarda, TIFF

(Tagged Image File Format) ve JPG (Joint Photographic Group) formatlarında renkli görünüler elde edilebilmektedir (Şekil-3).



Şekil-3: Nikon Coolpix-950 Dijital Kamera

Bu dijital kameranın kalibrasyonu; Pictran (V2.1) (Almanya), Photomodeler (V3.0) (Kanada), ShapeCapture (Yunanistan) ve Moskova State Üniversitesinde geliştirilen (V1.01) (Rusya) uluslararası yazılımlar ile ayrı ayrı yapılmıştır. Pictran ve ShapeCapture yazılımları için Selçuk Üniversitesi Kamera Kalibrasyon Test Alanı verileri, Photomodeler yazılımı için bu yazılımın üretici firması tarafından verilen yazılıma ait orijinal slayt test şablonu ve Moskova State Üniversitesinde Geliştirilen Yazılım için de aynı üniversitenin laboratuvarında oluşturulan test alanı verileri kullanılmıştır. Selçuk Üniversitesi Test Alanında, farklı konum ve yüksekliğe sahip 34 adet nokta mevcut olup, bu noktaların verileri kalibrasyonda kullanılmıştır (Şekil-4).



Şekil-4: Selçuk Üniversitesi Test Alanı

Pictran ve Moskova State Üniversitesinde geliştirilen yazılımlarda ;

$$\Delta r = A_1 \cdot r \cdot (r^2 - r_0^2) + A_2 \cdot r \cdot (r^4 - r_0^4) \quad (1)$$

distorsiyon denklemleri kullanılmaktadır (Şekil-5) /9/.

Burada;

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

A_1, A_2 : Distorsiyon Parametreleri

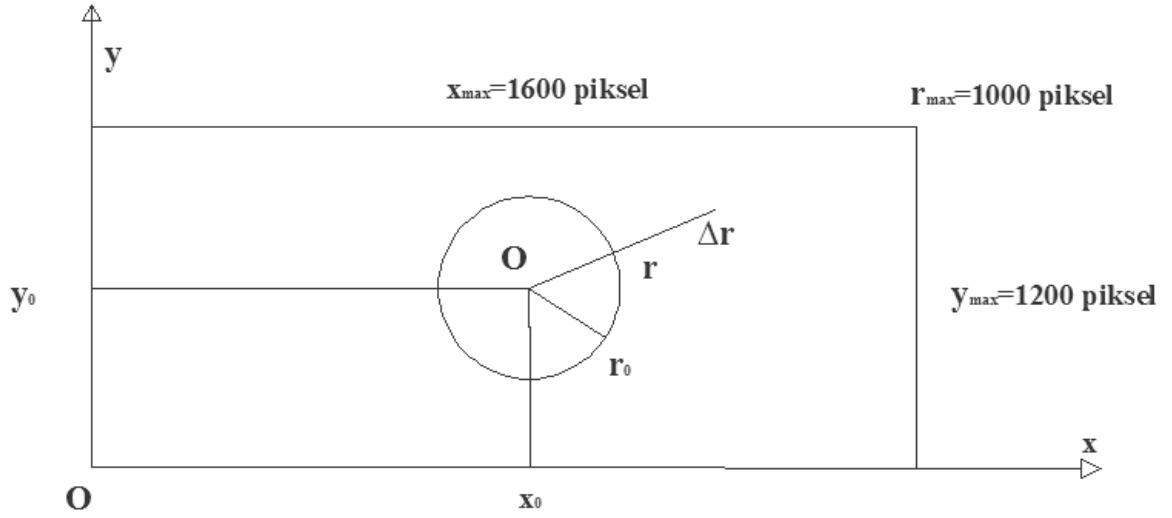
r : Işınsal Uzaklık

r_0 : Işınsal Distorsiyonun Sıfır Geçiş Uzaklığı

x_0, y_0 : Resim Ana Noktasının Resim Orta Noktasına Göre Koordinatları

x, y : Herhangi Bir Resim Noktasının Ölçülen Koordinatları

dir.



Şekil-5 : Pictran ve Moskova State Üniversitesinde Geliştirilen Yazılımda Kullanılan Distorsiyon Denklemindeki Değişkenler

Photomodeler ve ShapeCapture yazılımlarında ise;

$$\Delta r = K_1 \cdot r^2 + K_2 \cdot r^4 \quad (2)$$

distorsiyon denklemleri kullanılmaktadır /10,11/.

Burada;

K_1, K_2 : Distorsiyon Parametreleri

dir.

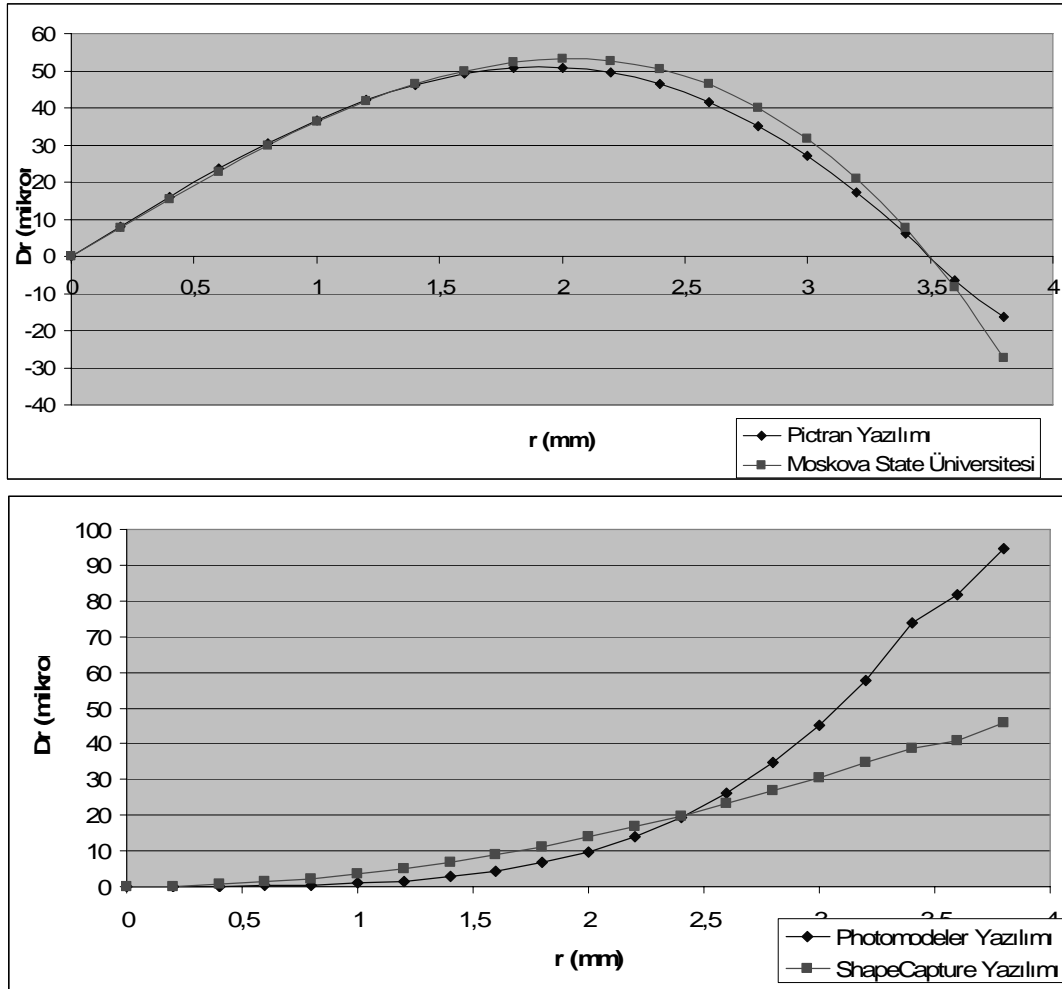
4. SAYISAL UYGULAMA

Nikon Coolpix 950 dijital kamerası ile, büyültme yapmadan (zoom'suz; $f=7$ mm) ve tam büyültme yaparak (zoom'lu; $f=21$ mm) test alanlarının görüntüleri elde edilmiş ve her iki durum için iç yöneltme parametreleri hesaplanmıştır. Büyültme yapılmadan elde edilen görüntüler Pictran, Photomodeler, ShapCapture ve Moskova State Üniversitesinde geliştirilen yazılımda ayrı ayrı değerlendirilmiş (Tablo-1) ve her bir durum için bunların distorsiyon

eğrileri elde edilmiştir (Şekil-6). Bu çalışmada kullanılan Nikon Coolpix 950 dijital kamerasının piksel büyüklüğü 4 mikron olarak hesaplanmıştır.

Tablo-1 : Büyültme Yapılmadan ($f=7\text{mm}$) Elde Edilen Görüntülerin Pictran, Photomodeler, ShapeCapture ve Moskova State Üniversitesinde Geliştirilen Yazılımda Elde Edilen İç Yönelme Elemanları

Yazılım	İç Yönelme Elemanları			Distorsiyon Katsayıları (10^{-3})			
	f (Piksel)	x_0 (Piksel)	y_0 (Piksel)	A_1	A_2	K_1	K_2
Pictran	1765.04	797.18	598.49	-4.77930	0.06121	-	-
Moskova State Üniversitesi	1787.70	798.5	598.30	-0.00005	0.00000	-	-
Photomodeler	1783.10	795.70	631.68	-	-	0.386	0.0514
ShapeCapture	1805.33	775.73	657.11	-	-	3.3894	0.0208

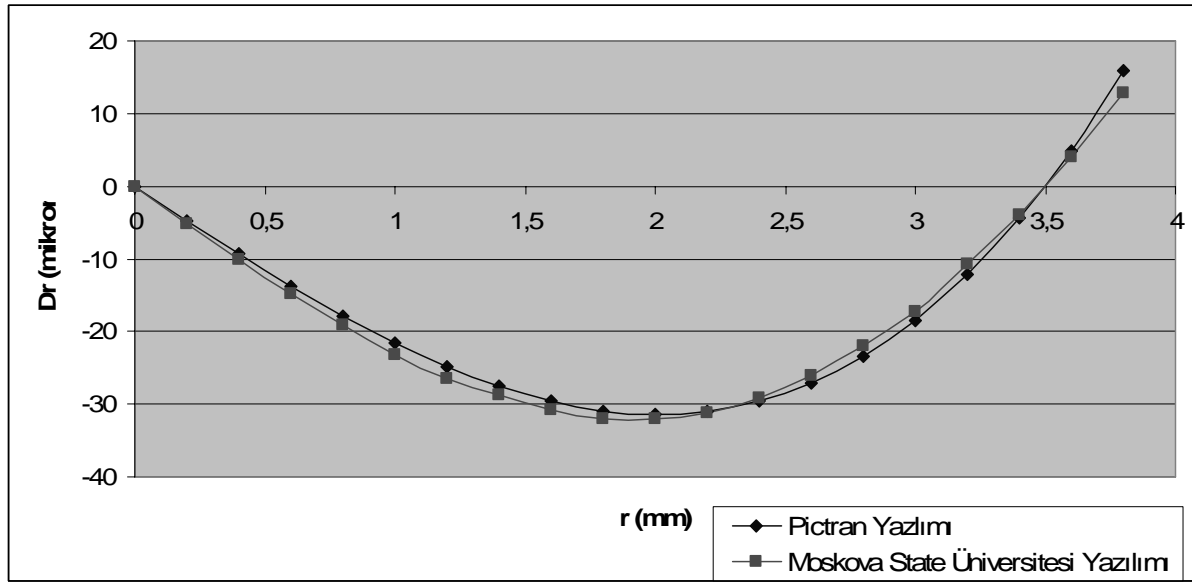


Şekil-6 : Büyültme Yapılmadan ($f=7\text{mm}$) Elde Edilen Görüntüler İçin Distorsiyon Eğrileri
Büyültme yapılarak ($f=21\text{mm}$) elde edilen görüntüler ise Pictran ve Moskova State Üniversitesinde geliştirilen yazılımlarda değerlendirilmiş ve iç yönelme elemanları elde

edilmiştir (Tablo-2). Ayrıca, bunlara ait her bir durum içinde distorsiyon eğrileri elde edilmiştir (Şekil-7).

Tablo-2 : Büyültme Yapılarak (f=21mm) Elde Edilen Görüntülerin Pictran ve Moskova State Üniversitesinde Geliştirilen Yazılımda Elde Edilen İç Yönelme Elemanları

	İç Yönelme Elemanları			Distorsiyon Katsayıları (10^{-3})	
	f (Piksel)	x_0 (Piksel)	y_0 (Piksel)	A_1	A_2
Pictran	5270.43	796.21	595.81	-1.96422	-0.00356638
Moskova State Üniv.	5336.30	787.50	594.20	0.00004	0.00000000



Şekil-7: Büyültme Yapılarak Elde Edilen Görüntüler için Distorsiyon Eğrileri

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Düzenlenmiş bir distorsiyon, resim asal (ana) noktasından itibaren her doğrultuda eşit uzaklıklarda aynı değere sahiptir. Bu nedenle fotogrametrik modellerde genel olarak distorsiyon;

$$\Delta r = K_0 \cdot r + K_1 \cdot r^3 + K_2 \cdot r^5 + K_3 \cdot r^7 \quad (3)$$

eşitliği ile ifade edilir. Burada;

K_0, K_1, K_2, K_3 polinom katsayılarıdır.

Bu katsayılar en küçük kareler yöntemine göre hesaplanmaktadır.

Kendi kendine kalibrasyon yönteminde ise distorsiyon ifadesi;

$$\Delta r = K_1.r^3 + K_2.r^5 + K_3.r^7 \quad (4)$$

eşitliği ile ifade edilir. Bu yöntem (3) eşitliği ile karşılaştırılırsa, K_0 sabitinin ihmal edildiği görülebilir. Çünkü, K_0 değeri asal nokta uzaklığı ile yüksek korelasyonludur. Bu katsayıya karşılık gelen düzeltme değeri, en küçük kareler yöntemine göre dengelemede kalibre edilmiş odak uzaklık değeri içine kapsatılmış olmaktadır/8/.

Bu çalışmada örnek olarak kullanılan Pictran, Photmodeller, ShapeCapture ve Moskova State Üniversitesinde geliştirilen uluslar arası yazılımların matematik modelleri, (1) ve (2) eşitlikleri incelendiğinde kendi kendine kalibrasyon yönteminin matematik modeline uygun oldukları söylenebilir.

Odak uzaklığın 7 mm olması durumunda (Şekil-6) elde edilen sonuçlar incelenirse;

Pictran Yazılımında;

Maksimum distorsiyon (+50mikron), resim orta noktası ile resim kenar çizgisi arasındaki orta noktalarda ($r=2\text{mm}$), minimum distorsiyon (-17 mikron) ise resmin kenar çizgilerine yakın noktalarda ($r=3.75\text{mm}$) oluşmaktadır. Resim orta noktası ile $r=3.5\text{mm}$ ışınsal uzaklıklarda distorsiyon sıfırdır. Distorsiyon eğrisi kısmen düzenlenmiş bir distorsiyon eğrisi karakterini yansıtmaktadır.

Moskova State Üniversitesinde Geliştirilen Yazılımda;

Maksimum distorsiyon (+53mikron) resim orta noktası ile resim kenar çizgisi arasındaki orta noktalarda ($r=2\text{mm}$), minimum distorsiyon (-27 mikron) ise resmin kenar çizgilerine yakın noktalarda ($r=3.75\text{mm}$) oluşmaktadır. Resim orta noktası ile $r=3.5\text{mm}$ ışınsal uzaklıklarda distorsiyon sıfırdır. Distorsiyon eğrisi kısmen düzenlenmiş bir distorsiyon eğrisi karakterini yansıtmaktadır.

Photmodeller Yazılımında;

Maksimum distorsiyon (+95mikron) resim kenar çizgisinde ($r=3.75\text{mm}$), minimum distorsiyon (0 mikron) ise resmin orta noktasında oluşmaktadır. $r=2\text{mm}$ ışınsal uzaklığa kadar distorsiyon, uniform artan bir distorsiyon eğrisi karakterini yansıtırken bu uzaklıktan sonra eğimi artan bir distorsiyon eğrisi karakterine dönüşmektedir. Yapısal olarak distorsiyon eğrisi, düzenlenmemiş bir distorsiyon eğrisi karakterindedir. Artan fonksiyon şeklinde düzenlenmiştir. Bu fotogrametrik uygulamalar için istenilmeyen bir durumdur.

Shape Capture Yazılımında;

Maksimum distorsiyon (+45mikron) resim kenar çizgisinde ($r=3.75\text{m}$), minimum distorsiyon (0 mikron) ise resmin orta noktasında oluşmaktadır. $r=2\text{mm}$ ışınsal uzaklığa kadar distorsiyon, uniform artan bir distorsiyon eğrisi karakterini yansıtırken, bu uzaklıktan sonra eğimi Photomodeller yazılımından elde edilen eğrinin eğimi kadar olmasa da artan bir distorsiyon eğrisi karakterine dönüşmektedir. Yapısal olarak distorsiyon eğrisi, kısmen düzenlenmemiş bir distorsiyon eğrisi karakterindedir. Bu distorsiyon eğrisi de artan fonksiyon şeklinde düzenlenmiştir. Bu da fotogrametrik uygulamalar için istenilmeyen bir durumdur.

Odak uzaklığın 21mm olması durumunda (Şekil-7) elde edilen sonuçlar incelenirse;

Pictran Yazılımında;

Maksimum distorsiyon (+17mikron) resim kenar çizgisine yakın noktalarda ($r=3.75\text{mm}$), minimum distorsiyon (-32 mikron) ise ($r=2\text{mm}$) ışınsal uzaklıklarda oluşmaktadır. $r=3.5\text{mm}$ ışınsal uzaklıklarda ise distorsiyon sıfırdır. Distorsiyon eğrisi kısmen düzenlenmiş bir distorsiyon eğrisi karakterini yansıtmaktadır.

Moskova State Üniversitesinde Geliştirilen Yazılımda;
Maksimum distorsiyon (+13mikron) resim kenar çizgisine yakın noktalarda ($r=3.75\text{mm}$), minimum distorsiyon (-33 mikron) ise ($r=2\text{mm}$) ışınsal uzaklıklarda oluşmaktadır. $r=3.5\text{mm}$ ışınsal uzaklıklarda ise distorsiyon sıfırdır. Distorsiyon eğrisi kısmen düzenlenmiş bir distorsiyon eğrisi karakterini yansıtmaktadır.

Distorsiyon düzeltmesi uygulanmış kamera odak uzaklık değerleri incelendiğinde (Tablo-1 ve Tablo-2);

Pictran Yazılımı için	: 7.060 mm	21.082mm
Moskova State Üniversitesi Yazılımı için	: 7.151 mm	21.134mm
Photomodeller Yazılımı için	: 7.132 mm	
Shape Capture Yazılımı için	: 7.221 mm	

olarak hesaplanmaktadır. Üretici firma tarafından verilen değerlere (7mm, 21mm) en yakın değerler Pictran yazılımından elde edilmektedir.

Yukarıdaki açıklamalar doğrultusunda düzenlenmiş bir distorsiyon eğrisi karakterine en uygun distorsiyon eğrisi de Pictran yazılımından elde edilmektedir. Matematik modelinde doğrusallık koşulu kullanılarak demet dengelemesi ile çözüm yapan algoritmaların (Pictran yazılımı) diğer yazılımlara göre daha ideal ve bilimsel sonuçlar verdiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- /1/ Aytaç, M., : Fotogrametri-I, İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi No:1379, İstanbul,1988.
- /2/ Bakstein, H., Halir, R., : Camera Calibration with a Simulated Three Dimensional Calibration Object, Czech Pattern Recognition Workshop, 2-4 February 2000.
- /3/ Baş, H. G., : İç ve Dış Yönelme Elemanlarının Bilinmesi Durumunda Uzaysal Kestirme Problemlerinin Çözümü ve Yersel Fotogrametride Uygulama Olanaklarının Araştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 1985.
- /4/ Clarke, T. A., Fryer, J.G., : The Development of Camera Calibration Methods and Models, Photogrammetric Record, XVI(91), 1998.
- /5/ Gürbüz, H., : Fotogrametriye Giriş, Konya Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi No: 16, Konya, 1982.
- /6/ Heikkila, I., Silven, O., : A Four-Step Camera Calibration Procedure with Implicit

Image Correction, Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'97), p.1106, Puerto Rico, 17-19 June, 1997.

- /7/ Kovalenko, S., : Camera Calibration for Generating Mosaics, University of Massachusetts at Amharst Department of Computer Science, Diploma Thesis, 2002.
- /8/ McGlane, J.C., : Manual of Photogrammetry, Fifth Edition, Maryland, USA, ISBN: 1-57083-071-1, 2004.
- /9/ Pictran : Pictran User's Manuel, 1997.
- /10/ Photomodeler : Photomodeler User's Manuel, 2000.
- /11/ Wolf, P.R., : Elements of Photogrammetry, McGRAW-HILL, Second Edition, New York, 1983.
- /12/ Zhan, Z., : A Flexible New Technique for Camera Calibration, Technical Report, MSR-TR-98-71, Microsoft Research, One Microsoft Way, Reymond, WA 98052-6399, USA, 1998.