



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ



**BİLGİSAYAR DONANIMLARININ TERMAL KAMERA İLE
İNCELENMESİ**

Aykut DURGUT

Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı

ÇANAKKALE

T.C.
ANAkkALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİLGİSAYAR DONANIMLARININ TERMAL KAMERA İLE
İNCELENMESİ
Aykut DURGUT

Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı

Tezin Sunulduğu Tarih: 27/06/2016

Tez Danışmanı:
Yrd. Doç. Dr. Özgün AKÇAY

ANAkkALE

Aykut DURGUT tarafından Yrd. Doç.Dr. Özgün AKÇAY yönetiminde hazırlanan ve 27/06/2016 tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Bilgisayar Donanımlarının Termal Kamera ile İncelenmesi**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

Yrd. Doç. Dr. Özgün AKÇAY

.....

Başkan

Yrd. Doç. Dr. Emin Özgür AVŞAR

.....

Üye

Yrd. Doç. Dr. Ahmet Özgür DOĞRU

.....

Üye

Prof. Dr. Levent GENÇ

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

Sıra No:.....

Bu tez çalışması, TÜBİTAK tarafından 114Y005 numaralı projeden desteklenmiştir.

İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI



Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Aykut DURGUT

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygı değer danışman hocam Yrd. Doç. Dr. zgn AKÇAY ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aykut DURGUT
anakkale, Haziran 2016



SİMGELER VE KISALTMALAR

mm.	Milimetre
%	Yüzde oranı
3B	Üç Boyutlu
2B	İki Boyutlu
DLT	Direkt Lineer Transformasyonu



ÖZET

BİLGİSAYAR DONANIMLARININ TERMAL KAMERA İLE İNCELENMESİ

Aykut DURGUT

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Özgün AKÇAY

27/06/2016, 46

Günümüzde teknolojinin gelişmesine bağlı olarak çeşitli uygulamaların gerçek dünya bilgilerini hızlı bir şekilde dijital ortama aktarılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Aynı zamanda aktarılan bilgilerin daha iyi anlaşılabilmesi için 3B modeli de oluşturulmaktadır.

Bu tez çalışmasında, termal kameraların kalibrasyonu için çeşitli boyutlarda desenler tasarlanmış ve bu desenlerin kalibrasyon sonuçları analiz edilmiştir. Çalışmada, termal kameranın görüntüleyebilmesi için salarlık (emissivity) değeri düşük olan alüminyum malzeme ile satranç tahtası şeklinde çeşitli boyutlarda desenler kullanılmıştır.

Tezin ikinci aşamasında, bilgisayarlarda görüntüyü oluşturmak için kullanılan ekran kartının ısı dağılımı Photomodeler programı ile sıcaklığa duyarlı 3B modelleri oluşturularak kullanım yoğunluğuna bağlı sıcaklık değişimleri gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, termal fotogrametrik 3B modellerin, bilgisayar donanımları gibi elektronik ürünlerin üretim ve bakım aşamasında oluşabilecek sorunların tespitinde kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar sözcükler: Termal Kamera Kalibrasyonu, 3B Modelleme, Kalibrasyon Deseni, Ekran kartı modelleme

ABSTRACT

ANALYSIS OF COMPUTER HARDWARE WITH THERMAL CAMERA

Aykut DURGUT

Çanakkale Onsekiz Mart University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master of Science Thesis in Geographical Information Technologies

Advisor : Assit. Prof. Dr. Özgün AKÇAY

27/06/2016, 46

Today, we need for real world information transfer to digital environment. At the same time, 3D model is formed in order to better understand to transmitted information.

In this thesis, pattern which was different dimension was designed for thermal camera calibration and camera calibration results were analyzed. Chessboard pattern was designed with aluminum because aluminums' emissivity value is low.

In second phase of thesis, graphic card which use in computer was modeled in 3D with Photomodeler program. Graphic card was modeled for two situation: in normal state and in forced state. According to result of 3D modeling, 3D model can use to analysis for production phases of electronic equipment like computer hardware.

Keywords: Thermal Camera Calibration, 3D Model, Calibration Pattern, Graphical Card Model

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ SINAV SONUÇ FORMU	ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	2
BÖLÜM 2	
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
2.1. Termal Kamera Kalibrasyonu	3
2.2. Termal 3B Modelleme	5
BÖLÜM 3	
MATERYAL VE METOT	7
3.1. Kamera Kalibrasyonu.....	7
3.1.1. Mercek Distorsiyonları.....	7
3.1.2. Radyal (açısal) Distorsiyon	7
3.1.3. Tanjant (Teğetsel) Distorsiyon	8
3.1.4. Direkt Lineer Transformasyonu	9
3.1.5. Non-Lineer Optimizasyon	13
3.2. Fotogrametri.....	14
3.2.1. Fotogrametrinin Matematik Modeli	14
3.2.1. Stereoskopik Görüş	17
3.3. Termal Kamera.....	17
3.3.1. Termal Kamera Yapıları.....	18
3.3.2. Termal Kameralarda Çözünürlük	19
3.3.3. Termal Kameralar Uygulamaları.....	19
3.4. Termal Kamera Kalibrasyon Şablonu Optimizasyonu	20
3.4.1. Kullanılan Kamera	20
3.4.2. Kullanılan Programlar	21

3.4.3. Kalibrasyon Deseni Tasarımı	21
3.4.4. Uygulama	23
3.5. Ekran Kartının Üç Boyutlu Modellenmesi	31
3.5.1. Kullanılan Ekran Kartı	31
3.5.2. Ekran Kartı Modellemesi	32
BÖLÜM 4	
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	37
4.1. Kalibrasyon Desenlerinin Boyut Bakımından Karşılaştırılması	37
4.2. Desenlerin Sıcaklık Bakımından Kıyaslaması	39
BÖLÜM 5	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	40
KAYNAKLAR	42
ÖZGEÇMİŞ	I

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Radyal Distorsiyon Şekilleri.....	7
Şekil 3.2 Teğetsel Distorsiyon Şekilleri	8
Şekil 3.3 Cisim ile İz Düşürülmüş Resim Arasındaki İlişki	9
Şekil 3.4. Fotogrametrinin Matematiksel Modeli (Hava Fotogrametrisi)	15
Şekil 3.5. Fotogrametrinin Matematiksel Modeli (Yersel Fotogrametr)	15
Şekil 3.6. Ekran Kartının Termal Görüntüsü	18
Şekil 3.7. PI450 Termal Kamera	20
Şekil 3.8. Kalibrasyon Desenleri Normal ve Termal Görüntüleri	22
Şekil 3.9. Kalibrasyon İşlemi Akış Diyagramı	24
Şekil 3.10. Kalibrasyon Deseni Görüntü Açıları	25
Şekil 3.11. Kalibrasyon Desenlerinin Görüntülenme Açıları	27
Şekil 3.12. Desenlerin Görüntüsü ve Köşelerin Seçilmesi	28
Şekil 3.13. Kullanılan Ekran Kartı.....	32
Şekil 3.14. Durum 1’de (system boşta) Termal Görüntüler	33
Şekil 3.15. Durum 2’de (system yük altında) Termal Görüntüler	33
Şekil 3.16. (sol) Durum 1 Histogram, (sağ) Durum 2 Histogram	34
Şekil 3.17. Ekran kartı modellemesinde 3B için seçilen noktalar	35
Şekil 3.18. Ekran Kartı 3B modelleri	35
Şekil 4.1. Piksel hata oranı karşılaştırması	37
Şekil 4.2. Odak uzaklığı kıyaslaması	38
Şekil 4.3. Desenlerin ana nokta kıyaslaması.....	38

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1. Termal kamera özellikleri.....	20
Çizelge 3.2. Çeşitli maddelerin salarlık değerleri	21
Çizelge 3.3. Desenlerin özellikleri	23
Çizelge 3.4. Desenlerin kalibrasyon sonuçları	30
Çizelge 3.5. Kullanılan ekran kartı özellikleri	32
Çizelge 3.6. Görüntülerin dış yöneltme değerleri	34
Çizelge 3.7. Ekran kartı yük altında model sonuçları (82 nokta).....	36
Çizelge 3.8. Nokta bulutlarının x,y,z koordinatları	36
Çizelge 4.1. Desenin değişik sıcaklıklardaki kalibrasyon sonuçları	39

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Nesnelerin görüntülerinin dijital ortama aktarılmasının önemi her geçen gün artmaktadır. Dijital ortama aktarılan görüntülerin metrik olarak gerçek boyutlara yakın olması da istenmektedir. Günümüzde artık dijital ortamdaki gerçekliği arttırabilmek için iki boyutlu görüntü yerine üç boyutlu model ile işlem yapılmak istenmektedir. Örneğin; robot teknolojisinde robotun bir nesneyi tutabilmesi için ilk olarak nesnenin görüntüsü dijital ortama aktarılarak nesnenin 3B modelini oluşturması gerekmektedir. Nesnenin 3B özelliklerini bilen robot elini nesneye göre açıp uzatarak nesneyi kavrayabilir. Nesnenin dijital ortama aktarılırken iç ve dış hatalardan arınmış doğru koordinat bilgileri ile aktarılması görüntü üzerinde yapılacak işlemler için önemlidir. Bu kapsamda kamera parametrelerinin bulunması ise kamera kalibrasyonu ile olmaktadır.

Görüntünün gerçek dünyadaki koordinat bilgisinin doğru bir şekilde dijital ortama aktarılması, kamera kalibrasyonunun doğru bir şekilde yapılması ile sağlanır. Kamera kalibrasyonu, makine görüşü için önemli görevlerden biridir. Kamera kalibrasyonu ile kameranın iç parametreleri belirlenebilmektedir. Eğer kamera iç yöneltme elemanlarının değerleri bilinmezse metrik hesaplama sonuçlarında hatalar oluşmaktadır.

Kamera kalibrasyonu, fotogrametride bir resim çekme makinesinin iç yöneltmesinin belirlenmesi işlemidir. Kalibrasyonda cisim noktalarının koordinatları bilinir ve iç yöneltmenin elemanları aranır. Kalibrasyon esnasında yapılan doğru bir çalışma ile kameranın iç ve dış parametreleri elde edilir.

Kamera kalibrasyonunun doğru yapılması ile dijital ortamda nesnenin 3B doğru modeli elde edilebilmektedir. 3B modelleme ile sinema, animasyon ve oyun gibi sanat ve eğlence sektörleri, çeşitli güvenlik uygulamaları ve çeşitli tıp (plastik cerrahi, diş) uygulamaları, robot teknolojileri, harita görselleştirmesi, inşaat projeleri gibi hayatımızdaki birçok alanda önemi ve kullanımı gittikçe artmaktadır. Örneğin; bilgisayarlardaki ekran kartı gibi performansı çalışma sıcaklığına bağlı elektronik cihazların sıcaklık dağılımı detaylı olarak görülebilir ve soğutma sistemi daha iyi tasarlanabilir.

Kamera kalibrasyonu birçok değişik yöntem ile gerçekleştirilebilmektedir. Bu yöntemlerde değerleri bilinen kalibrasyon desenleri kullanılmaktadır. Kalibrasyonda kullanılan desenlerin kalitesi kalibrasyon sonucuna etki edebilmektedir. Bu çalışmada da çok kullanılan desenlerden biri olan satranç deseninin boyutlarının termal kamera kalibrasyonundaki etkisi araştırılmıştır.

Termal kameralar, nesnenin sıcaklığını görüntüye dönüştüren bir kamera türüdür. Çıplak gözle tespiti zor olan ısı değişimlerinin önemli olduğu konularda termal kameralar kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise termal kamera ile 3B modelleme bilgisayar donanımları üzerinde uygulanmıştır.

Bilgisayar donanımlarında oluşan sorunlar, donanımdaki her bir parçanın giriş ve çıkış gerilim ve akım değerlerinin ölçülmesi ve katalog değerleri ile karşılaştırılması ile tespit edilebilmektedir. Donanımda birçok devre elemanı olduğundan bu işlem zaman almaktadır. Donanımdaki sorunlu parça ya da sorun çıkarmaya yakın durumdaki parça elektrik iletiminde zorluk göstereceğinden o bölgede fazla ısınma olacaktır. Bu durum önerdiğimiz termal modelleme ile daha kısa zamanda doğrudan hedefe edilebilecektir.

Benzer şekilde 3B modelleme ile donanımdaki ısı dağılımı görüntülenerek ısının nerede yoğunlaştığı tespit edilip o parçanın daha fazla soğutulması sağlanabilir. Örneğin bilgisayar işlemcisinin kullanım esnasında hangi bölgesinin daha fazla ısındığı tespit edilip o bölge soğutulduğunda bilgisayarın performansı artacaktır.

1.1. Tezin Amacı

Bu çalışmada, bilgisayar görüşü, harita görselleştirme gibi çeşitli alanlarda kullanılan kamera kalibrasyonunu gerçekleştirirken kullanılan desenlerin kalibrasyon sonuçlarına etkisi incelenmiştir.

Çalışmada ısıya duyarlı olarak çalışan termal kamera ve termal desenler kullanılmıştır. Termal kameranın kalibrasyonunda kullanılan çeşitli özellikteki desenler ile kamera parametrelerinin değişimi gözlemlenmiştir.

Çalışmanın diğer amacı ise bilgisayar donanımlarının termal modeli oluşturularak arıza tespitini, direk hedefi tespit ederek kısa zamanda gerçekleştirebilmektir. Bunun için çalışmada örnek olarak seçilen ekran kartının 3B termal modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan termal 3B model ile arıza tespitinin yanı sıra bilgisayar donanımındaki ısı dağılımı analiz edilerek hangi durumda hangi bölgenin daha fazla ısındığı ve ısı dağılımının nasıl gerçekleştiği belirlenmiştir.

BÖLÜM 2

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Termal Kamera Kalibrasyonu

Salvi ve arkadaşları (2002) çalışmalarında en çok kullanılan 5 kalibrasyon yöntemini incelemişlerdir. İnceledikleri kalibrasyon yöntemlerinde, ölçtükleri üç boyutlu ve iki boyutlu noktaların doğruluğunu karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma işlemini, üç boyutlu nokta koordinatları bilinen referans desen ile kalibrasyon işlemi sonucu oluşan koordinatlar arasında yapmışlardır.

Bajcsy ve Saha 2004 yılında, termal kamera kalibrasyonunda çevresel etkileri azaltmak için mikro elektro-mekanik sensör (MEMS) kullanmıştır. Kablosuz veri aktarım kaybını en aza indirip ve bilgi aktarımını arttırarak 2B görüntü koordinatlarını kesin ve doğru olarak almayı amaçlamıştır.

González ve diğerleri (2005) 8 kamera kalibrasyon metodunu karşılaştırmışlardır. Karşılaştırmada özellikle dikkat ettikleri noktalar: a) kamera sabitken iç yöneltme parametrelerinin kararlılığı ve kalibrasyon deseninin değiştirilmesi b) Kamera ayarları değiştirilerek dış yöneltme parametrelerinin kararlılığı. Çalışmalarının sonucunda kamera parametrelerinin desenin konumuna göre değiştiklerini tespit etmişlerdir.

M. Gianinetta 2005 yılında yaptığı çalışmada kalibrasyon için yeterli sayıda termal noktanın olduğu poligon şeklinde bir şablon geliştirmiştir. Geliştirdiği şablonla termal kameradan alınan görüntülerin kameraya olan mesafesinin kalibrasyon sonuçlarına etkisi üzerine çalışma yapmıştır. Çalışma sonucunda yakın çekilen resimlerin daha doğru sonuç verdiğini savunmuştur.

Güç elektroniği bileşenlerinin termal performansı üzerine çalışan Salem ve ark. (2005) MOSFET ve diyotların yüksek gerilim altındaki karakteristiğini termal görüntüleme ile çıkarmışlardır.

Remondio (2006) çalışmasında, literatürde kullanılan kamera kalibrasyon yöntemlerini ve farklı kamera kalibrasyon algoritmalarının sonuçlarını incelemişlerdir. Bu çalışma sonucunda radyal distorsiyondaki renksel sapmanın kalibrasyon sonucu üzerindeki etkisine dikkat çekmiştir.

Rzeszotarski ve Eiecek (2008), termal kalibrasyon sistemi için öne sürdüğü prosedürde, tasarladığı özel kalibrasyon deseni ile görüntünün koordinatlarını hem normal kamera hem de termal kamera ile tespit etmiştir.

Luhmann ve ark. (2010), binaların termal modellemesi ile yaptıkları çalışmada iki farklı kalibrasyon deseni ve beş farklı kamera kullanmışlardır. Kameraların kalibrasyon sonuçlarının kameradan kameraya çok farklı olduğunu tespit etmişlerdir. Lamba kullanarak yaptıkları kalibrasyon deseninin hata oranını 0,3 piksel, diğer daire şeklinde noktaların bulunduğu kalibrasyon deseninin hata oranını 0,05 piksel olarak bulmuşlardır.

Yang ve ark. (2011). iki normal kamera ve bir termal kameradan oluşturdukları üç boyutlu görüntüleme sistemini ufak lambalar ile tasarladıkları kalibrasyon deseni ile yapılandırmaya çalışmışlardır ve sonuçta kameranın iç ve dış parametrelerini doğru bir şekilde bulanabileceğini savunmuşlardır.

S. Lagüela ve ekibi 2011 yılında yaptığı çalışmada çeşitli büyüklüklerde 7 küp, çeşitli şekiller ve lambalardan oluşan başka bir şablon kullanmıştır. Aynı zamanda çalışmasında iki farklı termal kamera kullanarak bunlarında kıyaslamasını da yapmıştır. Çalışma sonucunda lambalardan oluşturduğu şablondan daha iyi sonuçlar elde ettiğini ortaya koymuştur.

Vidas (2012), kalibrasyon için ısıtma ve ışık gerektirmeyen bir şablon tasarlamıştır. Isınmış bilgisayar kasasının üzerine salarlık değeri düşük, kareler şeklinde kesilmiş şablon yerleştirerek kalibrasyon yapmıştır. Bu uygulamanın sonucunda şablonun ek donanıma ihtiyaç duymadan net görüntü elde edilebildiğini ve iz düşüm hatasının %78 azaldığını tespit etmiştir.

Ellmauthaler ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada ufak ışık kullanarak kalibrasyon için şablon ve algoritma geliştirmişlerdir. Ufak lambalar kullanarak geliştirdikleri radyometrik kalibrasyon yöntemi ile özel ekipman gerektirmeden düşük maliyetle termal kameraların kalibrasyonunun yapılabilmesini öne sürmüşlerdir. Önerilen sistemde sıcaklık tahmini için kameranın mekanik özellikleri kullanılmış ve kullanıcıya kalibrasyonu yapılmış görüntüyü gösterilmiştir.

Başka bir çalışmada Zhang Yu ve ark. (2013), stereo görüşlü kamera sistemi için küçük daire şeklinde ısıtıcılar kullanarak bir şablon tasarlamışlardır. Çalışması sonucunda dış ortamlarda büyük alanları görüntülerken düşük hata oranı olduğunu ve uygulamanın kolay ve etkili sonuç verdiğini tespit etmişlerdir.

Pleshkova ve Dehkharghani 2013 yılında uzay kalibrasyonu metodu adını verdiği yöntemi ile iki boyutlu ve üç boyutlu termal görüntülerin konumlarını hesaplayabilmek için algoritma önermiş ve mobil bir robot üzerinde test etmiştir.

Bu çalışmada, termal kamera kalibrasyonunda kullanılan desenlerden olan satranç tahtası deseni ile kalibrasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmada, desenlerdeki karelerin boyutları ve sıcaklıkları ile kalibrasyon sonuçları arasındaki ilişki araştırılmıştır.

2.2. Termal 3B Modelleme

Nesnelerin ve insan yüzlerinin görüntü tabanlı modellemesi üzerine çalışan Zhang (2001), bir kamera ile bilgisayarda bir nesnenin hareketini gösteren geometrik bir model oluşturmayı hedeflemiştir. Çalışmasında yaklaşık 100 farklı insan yüzünün modelini oluşturan bir sistem tasarlamıştır.

Koschan ve ark. (2006), araç bileşenlerinin termal 3B modelini oluşturarak bileşenlerin CAD modellerinin üretimine etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında Multi Service Elektro-Optic signature (MuSES) isimli programı kullanarak araç bileşenlerinin ısı görüntüleri ile 3B model oluşturmuşlardır. Böylece araç parçalarının simülasyon sorununu gidermeye çalışmışlardır.

Markov ve Birk (2007) yaptıkları çalışmada 2B olarak insanların termal görüntülerini almışlardır. Kullandıkları matematiksel model ile 2B görüntüleri 3B hale getirerek elde edilen sonuçların bir arama ve kurtarma operasyonunda kullanılabileceğini savunmuşlardır.

Pelagottia (2009) ve Gonzalez-Aguilera (2010) lazer tarama kullanmadan birkaç termal kameradan alınan görüntüler ile 3B model oluşturmuştur.

Rangel (2010) yaptığı çalışmada, termal kamera ve derinlik kamerasından oluşan bir sistem ile farklı açılardan alınan görüntülerin otomatik termal 3B görüntüsünü oluşturmayı amaçlamıştır.

Stockton (2010) bir veri merkezinde güç tüketimi ve soğutma işlemlerini izleyebilmek için 3B görüntüleme sistemi önermiştir. Çalışma sonucunda 3B model oluşturmak için gerekli zaman ve iş kaybının yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Cho ve Wang (2011) çalışmalarında LIDAR tarayıcı ve termal kamera kullanarak 3B termal model oluşturmuşlardır. 3B model oluşturmak için ilk olarak bina lazer tarayıcı ile taranmıştır. Daha sonra sıcaklık değerlerini alabilmek için binanın dış yüzeyleri termal kamera ile görüntülenmiştir.

Alba (2011), odak ile ilgili uygulamalar için IR sensörlerin kullanımı üzerine çalışmıştır. Ek olarak 3B bina modeli üzerinde termal görüntüleri dokulandırmak için prosedür tanımlamıştır.

Yang ve Chen 2011 yılında, konvansiyonel kalibrasyon yöntemlerinin, termal kameralara uygulanamayacağını savunmuştur. Termal kamera kalibrasyonu için çalışmasında üç adet kalibrasyon deseni geliştirmiştir. Çalışma sonucunda geliştirdiği sistemin yüksek doğruluğa sahip olduğunu ve verimli 3-D yüzey sıcaklık dağılımı elde edilebileceğini tespit etmiştir.

Borrmann ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada binalardaki ısıtma ve soğutma sistemlerinin enerji kayıplarını tespit edebilmek için binanın 3B modelini oluşturarak binadaki ısı dağılımını ve ısı akışını tespit etmeyi amaçlamışlardır.

Binaların termal 3B modellemesi ile ilgili başka bir çalışmayı Ham ve Fard (2012) yapmıştır. Geliştirdikleri 3B termal modelleme algoritması ile yoğun bir termal nokta bulutu oluşturarak 3B modeli oluşturmuşlardır.

Benzer bir çalışma Nüchter (2012) tarafından yapılmıştır. Nüchter, 3B model oluşturmak için bir robotu lazer tarayıcı ve termal kamera donatmıştır. Robotu bina içinde gezdirerek binanın termal enerji bilgilerini toplamıştır.

Vidas ve ark. (2013) çalışmalarında termal kamera ve RGB kamera kullanarak binalardaki kalorifer kazanları ve klima gibi sistemlerin 3B modelini düşük maliyetle gerçekleştirmeye çalışmışlardır.

Weinmann ve ark. (2014) literatüre, radyometrik düzeltme, geometrik kalibrasyon, benzerliklerin tespiti, 3B nokta bulutunu ve termal bilgiyi birleştirme olmak üzere 4 aşamalı 3B modelleme yöntemi sunmuşlardır. Bu metodun diğer metotlara göre iç mekanlarda daha uygulanabilir olduğunu savunmuşlardır.

Oreifej ve ark. (2014), 3B termal nokta bulutundan duvarları, taban ve tavanı modelleyebilen tam otomatik bir yaklaşım önermişlerdir. Bu yaklaşımda lazer tarama 3B geometriyi oluşturmayı, termal kamera, termal 3B nokta bulutunu oluşturmayı ve optik kamera ise gerçek görüntü ile 3B nokta bulutunu oluşturmayı amaçlamaktadır.

Bu çalışmalarda, lazer tarama ile 3B nokta bulutu oluşturulmuş daha sonra termal kamera ile nokta bulutuna sıcaklık bilgileri yerleştirilmiştir. Lazer tarama ve termal kameranın maliyeti oldukça yüksektir.

Bu çalışmada, termal kameranın kalibrasyonu yapıldıktan sonra bilgisayarın ekran kartı üç boyutlu modellenerek sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Ekran kartının sıcaklık dağılımı üç boyutlu incelenerek soğutma sisteminden daha iyi performans alınabilir ve ekran kartındaki sorunlar hızlı bir şekilde tespit edilebilir.

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOT

3.1. Kamera Kalibrasyonu

Kalibrasyon, belirli koşullar altında bir ölçü aleti veya ölçme sisteminin gösterdiği ölçünün, doğruluğu bilinen bir sistem ile ölçülmesi, sapmaların belirlenmesi ve kayıt altına alınması olarak tanımlanır (Vikipedi, 2015).

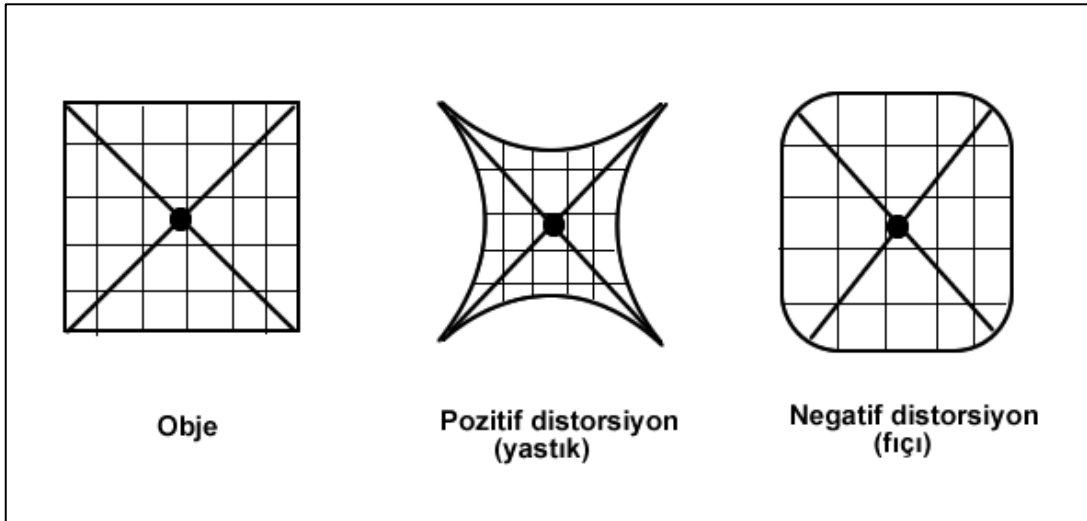
Kamera kalibrasyonu, gerçek dünya koordinat sisteminde koordinatları bulunan cismin koordinatları bilinip iç yöneltme elemanlarının bulunması işlemidir (Taşdemir ve ark., 2009).

3.1.1. Mercek Distorsiyonları

Kameralardaki merceklerin fiziki özelliklerinden ve üretim sorunlarından dolayı iz düşümünde oluşan etkilere distorsiyon denilmektedir. Mercek distorsiyonu ise resim noktasının resim düzlemindeki yerinin değişmesi ile ilgilidir. Kameralarda çeşitli distorsiyonlar bulunmaktadır.

3.1.2. Radyal (açısal) Distorsiyon

Nesnenin görüntüsü ana noktadan radyal olarak yer değiştirmişse, resimde radyal distorsiyon olduğu söylenebilir. Radyal distorsiyon, ana noktaya olan uzaklığına göre pozitif (yastık) veya negatif (fıçı) distorsiyon olarak adlandırılmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Radyal distorsiyon şekilleri

Ana noktada radyal distorsiyon oluşmaz. Ana noktadan uzaklaştıkça merceğin özelliklerine bağlı olarak distorsiyon miktarı da artmaktadır.

Radyal distorsiyon eşitliğinde $K_1, K_2, K_3, \dots$ katsayılarına radyal distorsiyon katsayıları denilmektedir. Bu katsayılar, ana noktaya olan mesafenin kuvvetleri ile orantılıdır (Denklem 3.1).

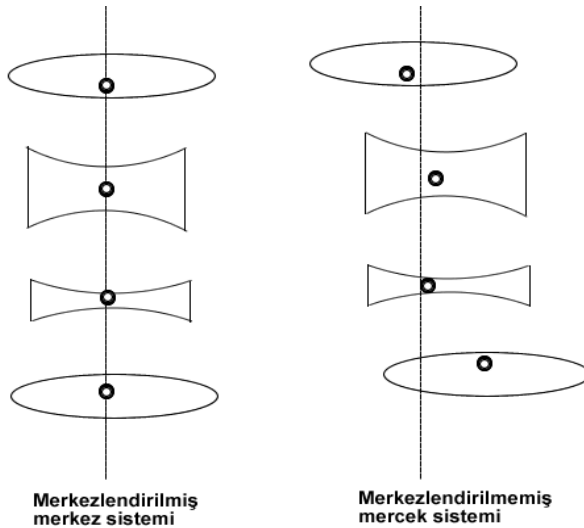
$$\delta_r = K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6 + \dots \quad (3.1)$$

Eşitlikteki mesafenin başlangıç noktası ana noktadır. Ana noktadan uzaklaştıkça mesafe ile doğru orantılı olarak distorsiyon etkisi devam eder. Ana noktaya olan uzaklık denklem 3.2 ile hesaplanmaktadır.

$$r^2 = (x - x_p)^2 + (y - y_p)^2 \quad (3.2)$$

3.1.3. Tanjant (Teğetsel) Distorsiyon

Kameralardaki mercekler üretim aşamasında oluşan ufak hatalardan dolayı aynı doğrultuda yerleştirilememektedir. Merceklerin aynı doğrultudan sapması nedeniyle teğetsel (tanjant) distorsiyon adı verilen ve görüntünün farklı yere düşmesine sebep olan distorsiyon oluşmaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Teğetsel distorsiyon şekilleri

Teğetsel distorsiyon aşağıdaki denklemlerde (3.3, 3.4, 3.5) ile ifade edilmektedir. Burada Δx_s ve Δy_s x, y resim noktasındaki teğetsel distorsiyon bileşenleri, x_p ve y_p ana

nokta koordinatları, p_1 ve p_2 teğetsel distorsiyon katsayıları, c mercek odak uzaklığı ve S mercekten olan obje uzaklığıdır.

$$\Delta x_s = (1 - (c/S)) [p_1(r^2 + 2(x_d - x_p)^2) + 2p_2(x_d - x_p)(y_d - y_p)] \quad (3.3)$$

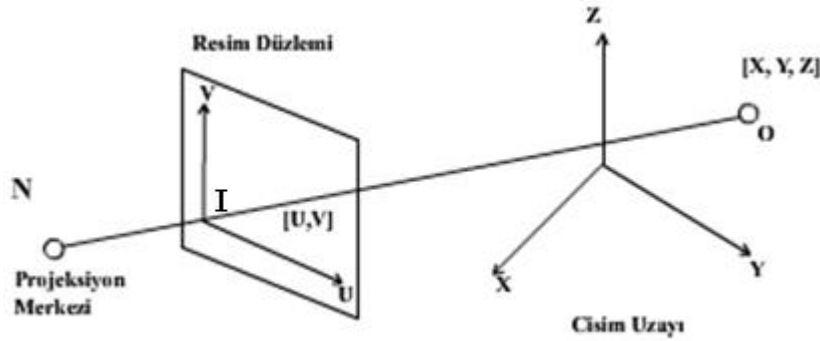
$$\Delta y_s = (1 - (c/S)) [p_2(r^2 + 2(y_d - y_p)^2) + 2p_1(x_d - x_p)(y_d - y_p)] \quad (3.4)$$

$$r = ((x_d - x_p)^2 + (y_d - y_p)^2)^{1/2} \quad (3.5)$$

3.1.4. Direkt Lineer Transformasyonu

Direkt Lineer Transformasyon (DLT) yöntemi, Abdel-Aziz ve Karara tarafından 1971 yılında literatüre dahil edilmiştir. DLT, dünyadaki koordinat sistemi ile oluşan görüntünün koordinat sisteminin dönüşümünü gerçekleştiren bir fonksiyondur. DLT fonksiyonu kullanılarak kameranın iç ve dış parametrelerinin bulunduğu 11 adet kamera kalibrasyon parametresi hesaplanır. DLT fonksiyonun hesaplanabilmesi için koordinatları bilinen en az altı kontrol noktası gereklidir (Abdel-Aziz ve Karara, 1971).

Kamerada resim oluşabilmesi için nesnenin “O” noktası resmin “I” noktasına iz düşürülerek eşleştirilmelidir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Cisim ile iz düşürülmüş resim arasındaki ilişki

Şekilde de görüldüğü gibi cisim (xyz sistemi) ve resim (uv sistemi) olmak üzere iki adet düzlem oluşmuştur. Cismin “O” noktasındaki koordinatlar resmin “I” noktasındaki koordinatlara karşılık gelmektedir. “I”, “N”, ve “O” noktaları aynı doğru üzerinde olması Direkt Lineer Transformasyon (DLT) metodunun temelini oluşturmaktadır.

Resim koordinat sistemi ile cisim koordinat sistemi arasındaki matematiksel ilişki diğer adıyla DLT metodu denklem 3.6 ve 3.7’de ki gibi ifade edilmektedir.

$$u-u_0 = \frac{d}{\lambda_u} \frac{r_{11}(x-x_0)+r_{12}(y-y_0)+r_{13}(z-z_0)}{r_{31}(x-x_0)+r_{32}(y-y_0)+r_{33}(z-z_0)} \quad (3.6)$$

$$v-v_0 = \frac{d}{\lambda_v} \frac{r_{21}(x-x_0)+r_{22}(y-y_0)+r_{23}(z-z_0)}{r_{31}(x-x_0)+r_{32}(y-y_0)+r_{33}(z-z_0)} \quad (3.7)$$

Bu denklemde u_0, y_0 : ana noktanın resim koordinatlarını, u, v : resim koordinatlarını, r_{ij} dönme matrisi elemanlarını, x, y, z : noktanın cisim koordinatlarını, λ_u, λ_v : u, v eksenlerinin birim dönüşüm çarpanlarını, d : ölçek faktörünü ifade etmektedir.

Bu eşitliği x, y, z için tekrar düzenleyerek aşağıdaki eşitlikleri elde ederiz:

$$u = \frac{L_1 x + L_2 y + L_3 z + L_4}{L_9 x + L_{10} y + L_{11} z + 1} \quad (3.8)$$

$$v = \frac{L_5 x + L_6 y + L_7 z + L_8}{L_9 x + L_{10} y + L_{11} z + 1} \quad (3.9)$$

Denklem 3.10 ve 3.11'dan kalibrasyon parametreleri olan $L_1, \dots, L_{11}$ değerleri hesaplanabilir.

$$L_1 = \frac{u_0 r_{31} - d_u r_{11}}{D} \quad (3.10)$$

$$L_2 = \frac{u_0 r_{32} - d_u r_{12}}{D} \quad (3.11)$$

$$L_3 = \frac{u_0 r_{33} - d_u r_{13}}{D} \quad (3.12)$$

$$L_4 = \frac{(d_u r_{11} - u_0 r_{31})x_0 + (d_u r_{12} - u_0 r_{32})y_0 + (d_u r_{13} - u_0 r_{33})z_0}{D} \quad (3.13)$$

$$L_5 = \frac{v_0 r_{31} - d_v r_{21}}{D} \quad (3.14)$$

$$L_6 = \frac{v_0 r_{32} - d_v r_{22}}{D} \quad (3.15)$$

$$L_7 = \frac{v_0 r_{33} - d_v r_{23}}{D} \quad (3.16)$$

$$L_8 = \frac{(d_v r_{21} - v_0 r_{31})x_0 + (d_v r_{22} - v_0 r_{32})y_0 + (d_v r_{23} - v_0 r_{33})z_0}{D} \quad (3.17)$$

$$L_9 = \frac{r_{31}}{D} \quad (3.18)$$

$$L_{10} = \frac{r_{32}}{D} \quad (3.19)$$

$$L_{11} = \frac{r_{33}}{D} \quad (3.20)$$

$$D = -(x_0 r_{31} + y_0 r_{32} + z_0 r_{33}) \quad d_u = \frac{d}{\lambda_u} \quad d_v = \frac{d}{\lambda_v} \quad (3.21)$$

Kamera lenslerinin optik distorsiyonları hataları da sisteme dahil edilirse denklem aşağıdaki gibi olur. Δu ve Δv optik distorsiyon sonucu oluşan hatalardır.

$$u - \Delta u = \frac{L_1 x + L_2 y + L_3 z + L_4}{L_9 x + L_{10} y + L_{11} z + 1} \quad (3.22)$$

$$v - \Delta v = \frac{L_5 x + L_6 y + L_7 z + L_8}{L_9 x + L_{10} y + L_{11} z + 1} \quad (3.23)$$

DLT eşitliklerinden bir i noktası için şart eşitlikleri,

$$V_i + B_i \Delta_i + D_i = 0 \quad (3.24)$$

şeklinde yazılabilir ve 3.25'teki denklem ile de ifade edilebilir.

$$\begin{pmatrix} \widetilde{v_{x_1}} \\ \widetilde{v_{y_1}} \\ \vdots \\ \widetilde{v_{x_i}} \\ \widetilde{v_{y_i}} \\ \vdots \\ \widetilde{v_{x_n}} \\ \widetilde{v_{y_n}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -x_1 X_1 & -x_1 Y_1 & -x_1 Z_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & -y_1 X_1 & -y_1 Y_1 & -y_1 Z_1 \\ & & & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_i & Y_i & Z_i & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -x_i X_i & -x_i Y_i & -x_i Z_i \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_i & Y_i & Z_i & 1 & -y_i X_i & -y_i Y_i & -y_i Z_i \\ & & & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_n & Y_n & Z_n & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -x_n X_n & -x_n Y_n & -x_n Z_n \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_n & Y_n & Z_n & 1 & -y_n X_n & -y_n Y_n & -y_n Z_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \overline{X_1} \\ \overline{Y_1} \\ \vdots \\ \overline{X_i} \\ \overline{Y_i} \\ \vdots \\ \overline{X_n} \\ \overline{Y_n} \end{pmatrix} \quad (3.25)$$

Bu denklemde,

B_i = Bilinmeyenler için katsayılar matrisi,
 Δ_j = j fotoğrafı için bilinmeyenler matrisi,
 D_i = Sabit terimler vektörüdür.

En küçük kareler yöntemi ile çözüm vektörü,

$$\Delta_{-1} = B^T W B^{-1} B^T W D \quad (3.26)$$

şeklinde belirlenir. Her resim için bilinmeyen parametreler belirlendikten sonra, yine en küçük kareler çözümü ile ilgili noktaların arazi koordinatları elde edilir.

Kamera parametreleri DLT parametrelerinden,

$$L = -1/\sqrt{(L_9^2 + L_{10}^2 + L_{11}^2)} \quad (3.27)$$

$$X_0 = (L_1 L_9 + L_2 L_9 + L_3 L_{11}) L^2 \quad (3.28)$$

$$y_0 = (L_5 L_9 + L_6 L_{10} + L_7 L_{11}) L^2 \quad (3.29)$$

$$C_X = \sqrt{[(L_1^2 + L_2^2 + L_3^2) L^2 - x_0^2]} \quad (3.30)$$

$$C_Y = \sqrt{[(L_5^2 + L_6^2 + L_7^2) L^2 - y_0^2]} \quad (3.31)$$

$$Q = \sin^{-1}(L_9 L) \quad (3.32)$$

$$\omega = \tan^{-1}(-L_{10}/L_{11}) \quad (3.33)$$

$$m_{11} = L(x_0 l_9 - l_1)/c_x \quad (3.34)$$

$$K = \cos^{-1}(m_{11})/\cos \varphi \quad (3.35)$$

şeklinde elde edilebilir.

DLT metodunda her kontrol noktasında iki eşitlik sağladığından kalibrasyon deseninde en az 6 kontrol noktası kullanılmalıdır. DLT metodundan en iyi sonuçları

alabilmek için kontrol noktaları desen üzerinde dengeli dağıtılmalı ve görüntüler alınmadan kamera ayarları bir kere yapılmalı ve işlem sonuna kadar değiştirilmemelidir (Abdel-Aziz ve Karara, 1971).

3.1.5. Non-Linear Optimizasyon

Lineer algoritmaların dezavantajlarından dolayı maksimum olasılık tahminlemesi süresince başlangıç parametreleri rafine edilmesi gereklidir. Kamera modelinin lineer olmayan özelliklerinden dolayı parametrelerin eşzamanlı tahminlemesi iteratif algoritma uygulamasını içerir. Levenberg–Marquardt optimizasyon yöntemi bu sorunun çözümü için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemle iterasyon sayısı kayda değer şekilde azalır ve en iyi çözüm güvenilir şekilde başarılabilir.

Parametre optimizasyon metodu, gerçek resim noktaları ve hesaplanan resim noktaları arasındaki piksel mesafesini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Bu işlem 4 adımda gerçekleştirilmektedir.

- Gerçek dünya koordinat sistemindeki M_w noktasını kamera koordinat sistemindeki M_c noktasına dönüştürmek.
- Asıl parametrelerin değerleri ile resim düzlemi M_c noktası tasarlanır. Hesaplanan distorsiyonsuz resim noktaları $\hat{m}_u$ olarak ifade edilir.
- Distorsiyonlu resim noktaları için $\hat{m}_d^u$, $\hat{m}_u$ dan hesaplanır.
- Hesaplanan $\hat{m}_d^u$ ve tespit edilen m_d^u karşılaştırılır ve resim noktaları setleri arasında farkları en aza getirmek için denklem 3.36’da ki formül kullanılır.

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^L ||m_{u,i,j}^d - \hat{m}_{u,i,j}^d(f_x, f_y, u_0, v_0, k_1, k_2, R_i, t_i)||^2 \quad (3.36)$$

i: Resim sıra numarası

j: Her resimdeki nokta sıra numarası

R ve t : Extrinsic parametreler

f_x, f_y : x ve y koordinatında kameranin odak uzaklığı etkisidir

u_0, v_0 : Kameranin ana nokta koordinatlarıdır

k_1 ve k_2 : Radyal distorsiyon katsayısı

R: Dünya koordinattan kamera koordinata dönüşüm için 3x3 ortogonal dönme matrisi

t: Dünya koordinattan kamera koordinata dönüşüm için 3x1 dönüşüm vektörü

Denklem 3.36’nın minimizasyonu için lineer olmayan optimizasyon problemlerinin

çözümü için kullanılan Levenberg–Marquardt algoritması kullanılabilir.

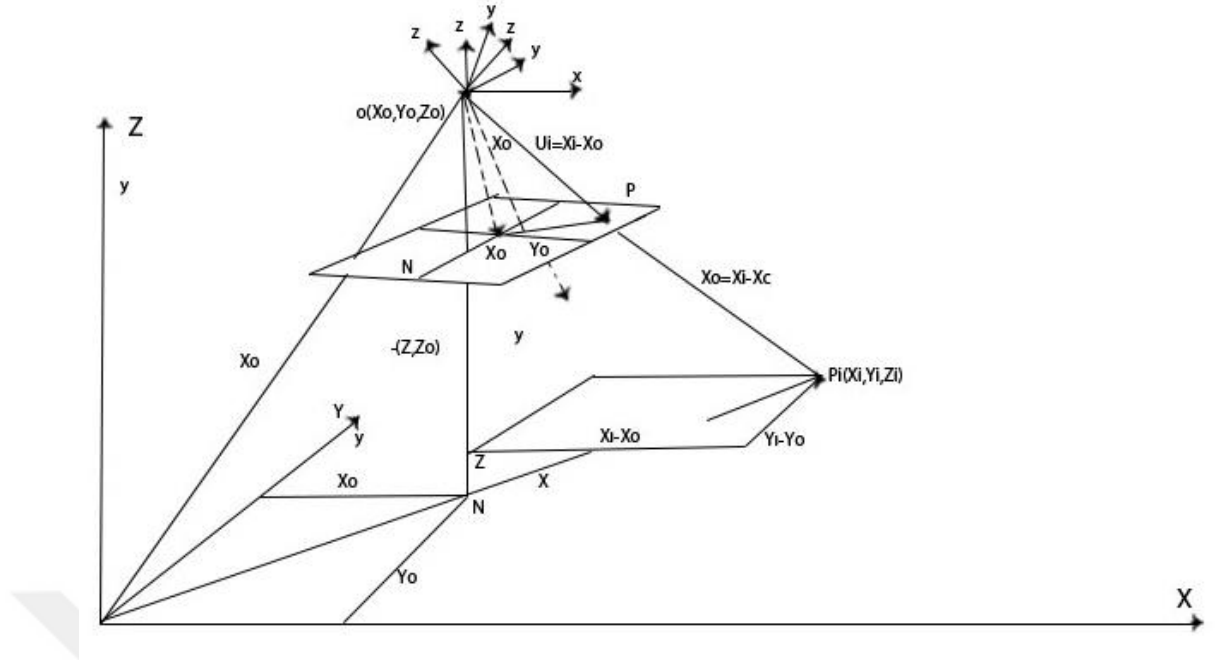
3.2. Fotogrametri

Fotogrametri kelimesi, eski Yunanca'daki “photos”, “grama” ve “metron” sözcüklerinin birleşmesi ile oluşmaktadır ve resimler yardımı ile ölçme anlamına gelmektedir. Fotogrametri, nesnelere ve yakın çevresine temas etmeksizin, yayılan elektromanyetik enerjinin algılanması, değerlendirilmesi ve yorumlanmasıyla nesne ve çevresi hakkında güvenilir bilgiler elde etme sanatı, bilimi ve teknolojisidir (Yaşayan ve ark., 2011).

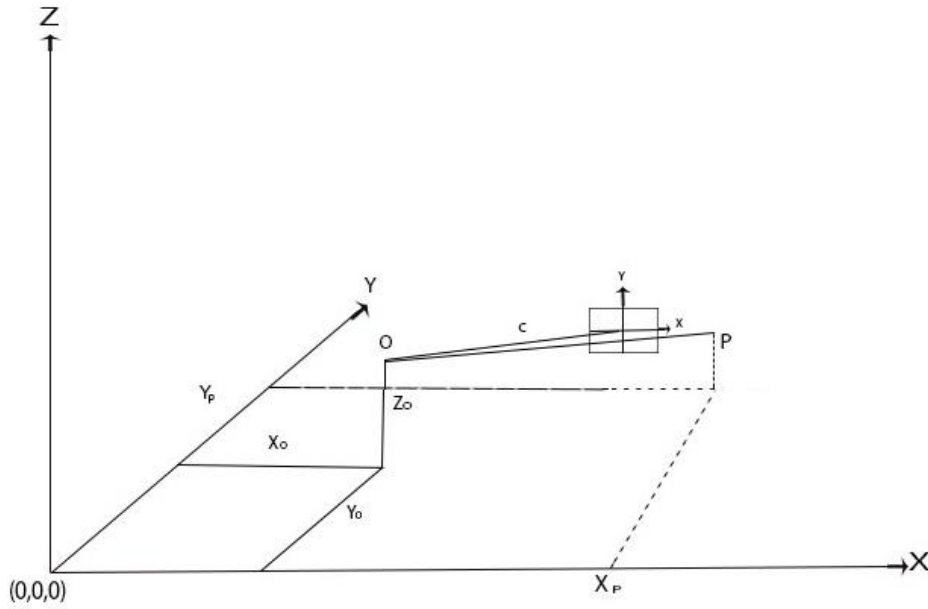
Fotogrametri, teknolojinin ilerlemesi ile gelişimini sürdürmeye devam etmiştir. İlk olarak belirli geometrik kurallara göre çekilen resimlerin kullanıldığı plançete isimli fotogrametri yöntemi geliştirilmiştir. İlerleyen aşamada ise mekanik/optik değerlendirme aletlerinin kullanıldığı analog fotogrametri kullanılmaya başlanılmıştır. Bilgisayarların hayatımıza girmesi ile beraber resim çekme, saklama gibi işlemler dijital ortama aktarılmıştır.

3.2.1. Fotogrametrinin Matematik Modeli

Fotogrametrinin matematiksel modeli, cisim uzay koordinat sistemindeki koordinatlarının matematiksel olarak ifade edilmesidir. Kolinearite eşitliğinde, cisim uzayındaki ışınlar, resim çekme makinesinin izdüşüm merkezinden gerçek resim düzlemine bir doğru boyunca izdüşürülür. Böylece, resmin yeniden oluşturulması iki adımda gerçekleştirilebilir. İlk adım, resim çekme makinesinin iç yöneltme parametrelerinin (ana nokta uzunluğu ve ana nokta koordinatları) belirlenmesidir. İkinci adım ise dış yöneltme adımıdır. Burada X_0 , Y_0 ve Z_0 koordinatlarından ω , ϕ , χ dönüklük değerleri ile resimlerin cisim uzay koordinat sistemindeki koordinatların hesaplanması amaçlanmaktadır (Duran, 2003) (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Fotogrametrinin Matematiksel Modeli (Hava Fotogrametrisi)



Şekil 3.5. Fotogrametrinin Matematiksel Modeli (Yersel Fotogrametri)

Koordinat eksenleri arasındaki doğrultu kosinüslerin oluşturduğu ortogonal matrisler ile resim ve cisim uzay koordinat sistemleri arasındaki açısal ilişkiler belirlenir. P noktasının konumunu resim koordinat sisteminde belirleyen resim vektörü;

$$P = \begin{bmatrix} X_P - X_0 \\ Y_P - Y_0 \\ 0 - c \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

olur.

Burada X_0 , Y_0 ana nokta koordinatları, c ise kalibre edilmiş odak uzaklığıdır. Ana nokta uzaklığı, resim çekme makinesi sonsuza odaklanmadığı sürece odak uzaklığına eşit değildir. Bu durumda ana nokta uzunluk değeri, odak uzaklığından Δf kadar sapma değerine sahiptir.

$$c = f + \Delta f \quad (3.37)$$

P noktasının cisim uzay koordinat sisteminde konum vektörü,

$$P = \begin{bmatrix} X_P - X_0 \\ Y_P - Y_0 \\ Z_P - Z_0 \end{bmatrix} \quad (3.37)$$

olur.

Kolinearite eşitliğine göre, p resim ve P cisim vektörleri arasındaki matematiksel bağıntı,

$$P = k \cdot D \cdot P \quad (3.38)$$

$$\begin{bmatrix} X_P - X_0 \\ Y_P - Y_0 \\ 0 - c \end{bmatrix} = k \cdot D \cdot P = \begin{bmatrix} X_P - X_0 \\ Y_P - Y_0 \\ Z_P - Z_0 \end{bmatrix} \quad (3.39)$$

şeklinde ifade edilir.

Resim koordinatlarının bilinen değerler olması durumunda cisim koordinatları,

$$k = \frac{1}{k} \cdot D^T \cdot p \quad (3.40)$$

$$\begin{bmatrix} X_P - X_0 \\ Y_P - Y_0 \\ 0 - c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ D^T \\ k \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_P - X_0 \\ Y_P - Y_0 \\ Z_P - Z_0 \end{bmatrix} \quad (3.41)$$

olarak elde edilir.

Kolinearite eşitliklerinde, k ölçek faktörünün her bir ışın için ayrı ayrı belirlenmesi gerekmektedir. Oluşan matematiksel ifadelerden k ölçek faktörü yok edilirse;

$$f_1 = x - x_0 + c \frac{a_{11}(X-X_0)+a_{12}(Y-Y_0)+a_{13}(Z-Z_0)}{a_{31}(X-X_0)+a_{32}(Y-Y_0)+a_{33}(Z-Z_0)} \quad (3.42)$$

$$f_2 = y - y_0 + c \frac{a_{21}(X-X_0)+a_{12}(Y-Y_0)+a_{23}(Z-Z_0)}{a_{31}(X-X_0)+a_{32}(Y-Y_0)+a_{33}(Z-Z_0)} \quad (3.43)$$

ifadeleri elde edilir.

3.2.1. Stereoskopik Görüş

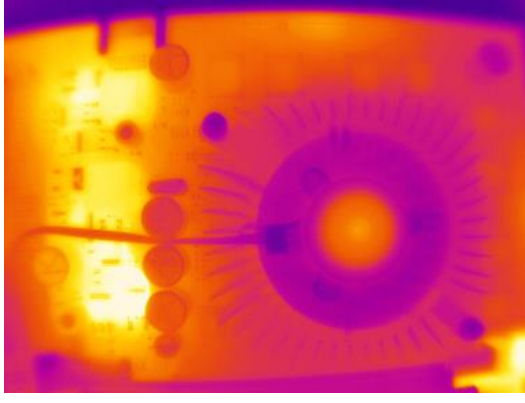
Görme sistemimizde tek gözle bakıldığında zihnimizde iki boyutlu görüntü oluşmaktadır. İki gözümüz ile baktığımızda ise nesnenin iki farklı görüntüsü zihnimizde iki izdüşümü oluşturmakta ve bunların birleşimi ile üç boyutlu görüntü oluşmaktadır. Canlılarda oluşan bu görme sistemi, dijital ortamda oluşturmak istenilmiştir. Bunu gerçekleştirebilmek için birkaç koşulun sağlanması gerekmektedir.

- Aynı nesnenin iki ayrı noktadan fotoğrafları çekilmelidir.
- Kamera eksenleri yaklaşık aynı düzlemde bulunmalıdır.
- Fotoğraf çekilen noktalar arasındaki baz uzaklıklarının, nesneye olan uzaklığına oranı belirli sınırlar içinde olmalıdır.
- Fotoğraflar aynı ölçekte olmalıdır.

Bu koşullar sağlandıktan sonra üç boyutlu görüntüyü oluşturmak için fotoğraf noktaları ile gerçek noktalar arasında matematiksel ilişkiler kurulur. Fotoğraf çekim nokta koordinatları ve kamera konumu yeterli doğrulukta bilindiğinde ve yeterli kontrol noktası ile ölçülen nesne ile ilgili bilgiler bulunabilir (Yaşayan ve ark., 2011).

3.3. Termal Kamera

Termal kamera, görüntülediği nesnenin sıcaklık ve soğukluğunu ölçebilen çeşitli sektörlerde değişik amaçlar için kullanılan bir araçtır. Termal kameralar ile nesnelerden yayılan ve gözle görülmeyen termal enerjiyi ölçmeye yarayan lenslerden oluşmaktadır. İnsan gözü elektromanyetik spektrumdaki görünür ışıkları görebilmektedir. Elektromanyetik spektrumun kızılötesi bölümündeki (900–14,000 nanometre veya 0.9–14 μm) ışıkları gözümüzle algılayamayız. 0 Kelvin (-273 °C) üzerindeki her nesne sıcaklığına bağlı olarak gözümüzle göremediğimiz termal enerji yani kızılötesi(infrared) ışık yaymaktadır. Termal kameralar, kızılötesi dalga boyu spektrumunda, nesne ile direk temasa geçmeden sıcaklığını algılayarak görüntüye dönüştürmektedir. Termal kamera ile çekilen görüntülerde sıcak olan noktalar sarı renginin tonlarında, soğuk noktalar ise daha koyu renklerde gösterilmektedir. Böylece çıplak gözle görülmeyen ve sistemde sorunlara yol açabilecek problemler tespit edilebilmektedir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Ekran kartının termal görüntüsü

3.3.1. Termal Kamera Yapıları

Termal kameraların yapısı, RGB kameralara benzemektedir. RGB kameraların yapıları, termal kameralarda ısıya duyarlı olarak değiştirilmiş denilebilir. Termal kameralar, optik mekanik birimi, dedektör soğutucu birim ve sinyal işleme birimlerinden oluşmaktadır.

3.3.1.1. Optik Mekanik Birim

Termal kameralarda en az bir adet mercek bulunmaktadır. Mercek, kızılötesi ışınımı kızılötesi dedektör üzerine odaklar. Merceğin bu sistemdeki temel görevi kızıl ötesi ışınımı dedektör üzerinde toplamak ve odaklamaktır. Dedektör üzerine düşen ışıınımdan kullanılabilir bilgi üretmek için elektronik bir görüntü oluşturur. Genel olarak termal görüntüleme cihazlarının mercekleri germanyumdan (Ge) imal edilmiştir.

Termal kameraların üretim özelliklerine göre çeşitleri bulunmaktadır. Termal kameranın üzerinde depolama birimi, batarya, LCD ekran gibi donanımlarda bulunabilmektedir. Termal kameradan alınan görüntüler çeşitli hafıza kartları veya depolama ve transfer cihazlarında depolanır (Çalışan ve Türkoğlu, 2011).

3.3.1.1. Detektör Soğutucu Birim

Normal kameralarda görüntü nesnenin üzerine düşen ışığın yansıması ile oluşmaktadır. Termal kameralarda görüntü ise nesneden yayılan ısı ile oluşmaktadır. Normal kameralarda yakın renk seviyelerinde ki nesneler ayırt etmek zordur. Benzer şekilde termal kameralarda yakın ısı seviyelerindeki nesnelerin ayırt edilmesi de zordur. Bu görüntüleri ayırt edebilmek için termal kameralarda çok küçük sıcaklıkları (0.01 °C gibi) tespit edebilen dedektörler kullanılmaktadır. Her sıcaklık değerinde farklı kızılötesi

yayılım olması ve her kızılötesi yayılımın farklı dalga boyuna sahip olmasından dolayı dedektörler belirli sıcaklık aralıklarında görüntü verebilirler.

Termal kameranın performansını etkileyen en temel bileşen dedektördür. Hassas dedektör kullanılarak çözünürlük artırılabilir. Dedektörler, optik-mekanik birimden alınan kızılötesi ışınlar sonucu oluşan ısı değişimlerini elektriksel sinyale çevirir (Çalışan ve Türkoğlu, 2011).

3.3.1.1. Elektronik Sinyal İşleme Birim

Elektronik sinyal işleme birimi, detektörden gelen elektrik sinyalini görüntüye dönüştüren birimdir. Termal kamera ile elde edilen görüntüler siyah beyaz veya sarı-siyah renk skalasında olabilir.

Isı yayılımı nesnenin salarlık (emissivity) göre değişmektedir. Salarlık değeri 0.0 (iletimsiz), 1.0 (iletimli) değerleri arasında değişmektedir.

3.3.2. Termal Kameralarda Çözünürlük

Termal kameralarda normal kameralar gibi görüntü elde ettiklerinden çözünürlük gibi genel görüntü özellikleri termal görüntülerde de bulunmaktadır. Termal kameraların genel olarak çözünürlükleri normal kameralara göre oldukça düşüktür. Termal kameraların çözünürlükleri 160x120, 320x240, 640x480 pikseldir. Çalışmada kullanılan kameranın çözünürlüğü 382 x 288 pikseldir.

3.3.3. Termal Kameralar Uygulamaları

Termal kameralar ısıнын önemli olduğu elektrikli ekipman kontrolü, ısı işlem proses kontrolü, sağlık, savunma ve bina ısı tanımlamaları gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Termal kameralar, elektrik sistemlerindeki sorunları sisteme temas etmeden hızlı bir şekilde tespit etmek için kullanılmaktadır. Elektrik sistemlerinde bulunan faz bilgileri ile termal imzaları oluşur. Bu termal imzalardaki değişimler takip edilerek sistemin neresinde sorun olduğu tespit edilebilmektedir.

Elektrik sistemlerinde herhangi bir noktada direnç oluşursa bu noktadan akım geçişi azalacak ve ısı oluşacaktır. Kabloların birleşme noktası, kontak noktaları, şalter vidalarında oluşan korozyonlar ısınma sebebi olabilir. Termal kamera ile bu noktalar tespit edilerek gerekli bakımlar yapıp bu direnç ortadan kaldırılabilir.

Termal kameralar, sağlık alanında i kanama, iltihaplanma ve damar tıkanıklığının tespitinde kullanılabilmektedir. Aynı zamanda domuz gribi gibi ateşli hastalıkların tespitinde de kullanılmaktadır.

Termal kameraların ilk olarak askeri alanda kullanılabilmek için üretilmiştir. Askeri alanda termal kameralar, gece görüş sistemleri, ısı güdümlü füzeler gibi alanlarda koruma ve gözetleme için kullanılmaktadır.

Binalarda termal kameralar, nemlilik, yalıtım denetimi, hava sızıntı tespiti gibi alanlarda kullanılmaktadır.

3.4. Termal Kamera Kalibrasyon şablonu Optimizasyonu

3.4.1. Kullanılan Kamera

Çalışmada PI450 model termal kamera kullanılmıştır (şekil 3.7). Termal kameranın özellikleri izelge 3.1’de listelenmektedir.



şekil 3.7. PI450 termal kamera

Çizelge 3.1. Termal kamera zellikleri

Detektör	FPA, soğutulmamış (25 x 25 μ m)
Optik znrlk	382 x 288 Piksel
Spektral aralık	7,5 -13 μ m
Sıcaklık aralığı	-20 +100 $^{\circ}$ C, 0 +250 $^{\circ}$ C, +150 ... +900 $^{\circ}$ C
Görüntü frekansı	80 Hz
Optikler (FOV)	38 $^{\circ}$ x 29 $^{\circ}$ FOV / f = 15 mm, +900 $^{\circ}$ C' ye kadar veya
Termik hassasiyet (NETD)	38 $^{\circ}$ x 29 $^{\circ}$ FOV ile 0,04 K / F = 0,8
Sistem hassasiyet	$\pm$ 2 $^{\circ}$ C veya $\pm$ 2 %
PC-Ara yüz	USB 2.0
Süreç-Arayüz (PIF)	0 - 10 V Giriş 0 - 10 V ıkış
Çevresel sıcaklık	0, +70 $^{\circ}$ C
Depolama sıcaklığı	-40 , +85 $^{\circ}$ C
Bağıl Nem	20, 80 % b.N., buğulaşmayan
Gövdenin boyutları	46 x 56 x 90 mm
Ağırlık	320 gr., Lens dahil
Güç kaynağı	USB zerinden

3.4.2. Kullanılan Programlar

Çalışmada modelleme amaçlı Photomodeler programı kullanılmıştır. Photomodeler programı mimari, arkeoloji gibi alanlarda, fotoğraflardan 3 boyutlu verilerin elde edilmesi, 3 boyutlu ölçümlerin yapılması ve 3 boyutlu modellerin oluşturulması için kullanılan bir programdır.

3.4.3. Kalibrasyon Deseni Tasarımı

Termal kameralar, nesnelerden yayılan ısıları algılayarak görüntü oluşturduğundan hazırlanacak olan desenlerin ısı yayılımını iyi bir şekilde yapması gerekir.

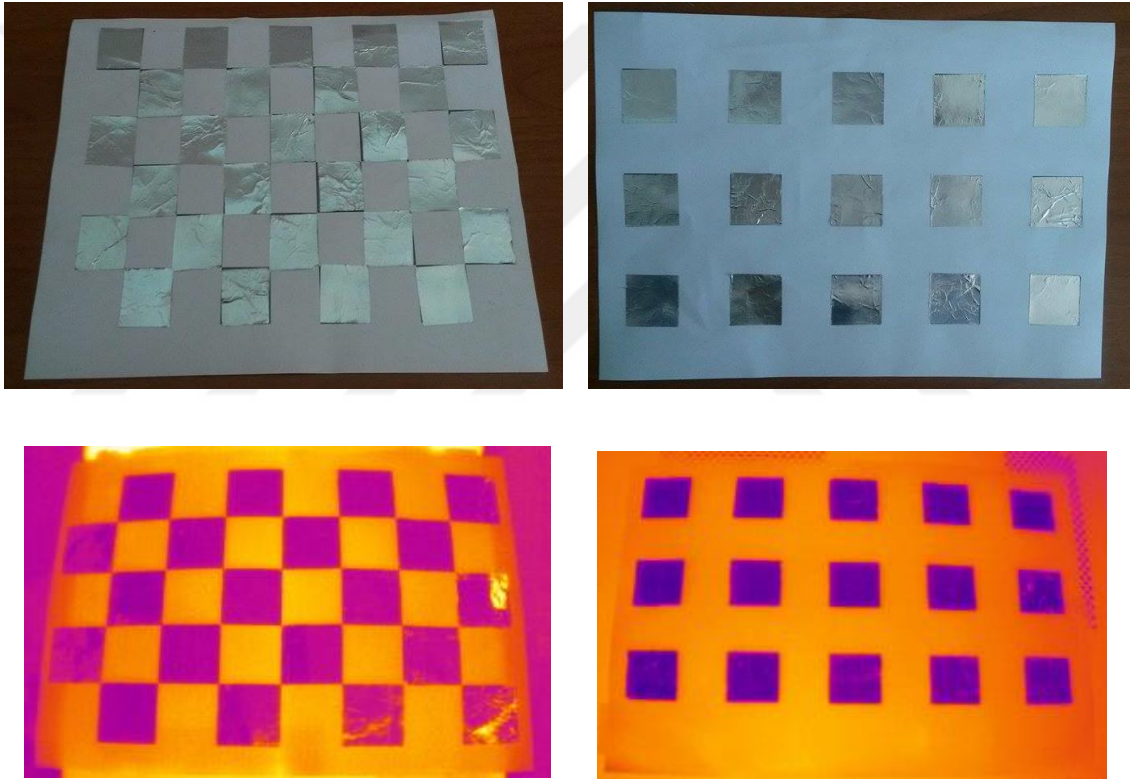
Aynı ortamdaki nesneler arasında sıcaklık farkı varsa termodinamiğin ikinci yasasına bağlı olarak sıcaklığın dengelenmesi için sıcaktan soğuğa doğru ısı akışı olacaktır. Sıcaklığın yayılma ve emilme derecesine salarlık (emissivity) denilmektedir (Değirmenci, 2010). Salarlık, 0 ile 1 arasında değer almaktadır.

Çizelge 3.2. Çeşitli maddelerin salarlık değerleri

Malzeme (malzeme sıcaklığı)	Salarlık
Alüminyum	0,04-0,2
Pirinç, oksitlenmiş (200°C)	0,61
Tuğla (40°C)	0,93
Dökme demir, oksitlenmiş (200°C)	0,64
Krom (40°C)	0,08
Kil, yanmış (70°C)	0,91
Beton (25°C)	0,93
Bakır, oksitlenmiş (130°C)	0,76
Pamuk (20°C)	0,77
Granit (20°C)	0,45
Alçıtaşı (20°C)	0,9
Buz, pürüzsüz (0°C)	0,97
Demir, zımparalı zemin (20°C)	0,24
Mermer, beyaz (40°C)	0,95
Yağlı boya (tüm renkler) (90°C)	0,92-0,96
Kağıt (20°C)	0,97
Plastik: PE, PP, PVC (20°C)	0,94
Porselen (20°C)	0,92
Çelik, soğuk haddelenmiş (93°C)	0,75-0,85
Ahşap (70°C)	0,94

Kalibrasyon desenlerinde ısı farkını oluşturabilmek için Çizelge 3.2’de görüldüğü gibi en düşük salarlık değerine ve düşük maliyete sahip olan alüminyum kullanılmıştır (Testo, 2015).

Termal kalibrasyon deseni olarak kamera kalibrasyon çalışmalarında en çok kullanılan desenlerden biri olarak satranç deseni kullanılmıştır (Sun ve ark., 2008; Yu ve Peng, 2006; Wang ve ark., 2007; Zhang ve Pless, 2004; Wang ve ark., 2008; Lucchese, 2005). Kalibrasyon deseni için satranç deseni üzerindeki siyah alanlar alüminyum malzeme ile kaplanmıştır. Beyaz alanlar ise herhangi bir malzeme ile kaplanmamıştır. Alüminyum ile kaplanan alanlar ile boş alanlar arasında sıcaklık farkı oluşturabilmek için desenler elektrikli ısıtıcı yardımı ile ısıtılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Kalibrasyon desenleri normal ve termal görüntüleri

Çalışmada kalibrasyon deseni olarak 3, 4, 5 cm kare boyutları bulunan çeşitli kare boyutlarında desenler tasarlanmıştır. Desenler A4 ve A3 boyutlarındaki kağıtların üzerine tasarlanmıştır. Tasarlanan desenlerin özellikleri Çizelge 3.3’te görülmektedir.

Çizelge 3.3. Desenlerin özellikleri

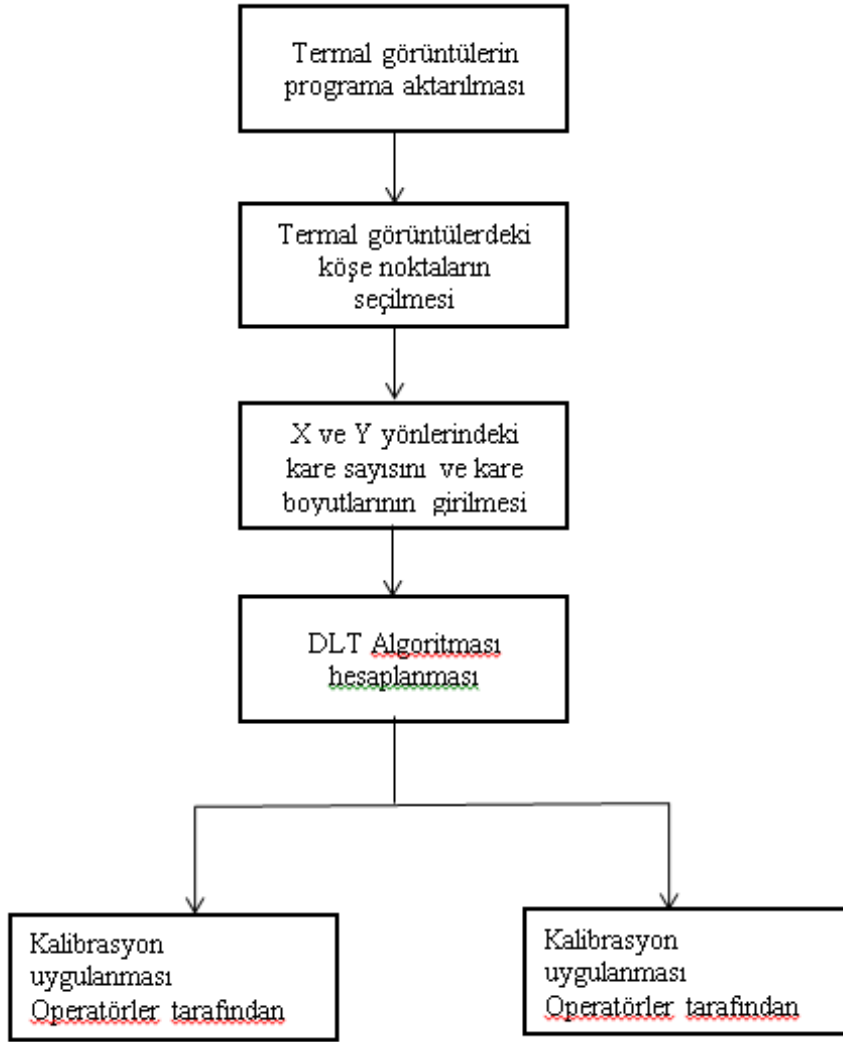
	Desen Dış boyut(cm)	Satranç Karesi Boyutu(cm)	Kare Sayısı
Desen 1	50*40	5*5	8*10
Desen 2	25*40	5*5	5*8
Desen 3	18*27	3*3	6*9
Desen 4	15*21	3*3	7*5
Desen 5	24*36	4*4	6*9

Alüminyum ile oluşturulan desenlerden başka küçük ampullerin kullanıldığı desen tasarlanmıştır. Desende bulunan ampuller ve kablolardan kaynaklı sorunlar yüzünden bu desen çalışmada kullanılmamıştır.

Diğer desen türü olarak kare şeklinde örülmüş çit teli sıcaklığını koruyamama sebebi ile kullanılamamıştır.

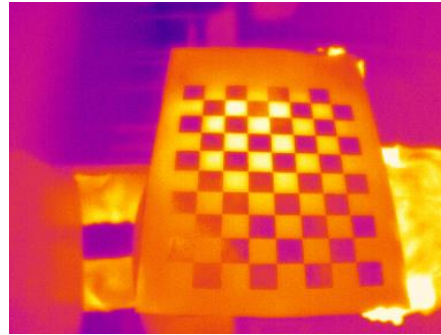
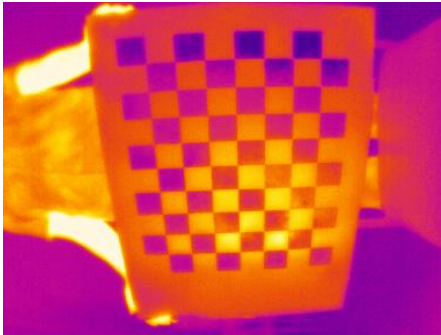
3.4.4. Uygulama

Hazırlanan desenler ısıtıcı (katalitik) ile ısıtıldıktan sonra termal kamera ile her desen için çeşitli açılardan yaklaşık 12 görüntü alınmıştır. Görüntüler, Matlab Camera Calibration Toolbox (Bouguet, 2010) programı ile kalibrasyon işlemine tabi tutulmuştur. Kamera kalibrasyonu işlemleri Şekil 3.9’da görülen adım sırası ile gerçekleştirilmiştir.

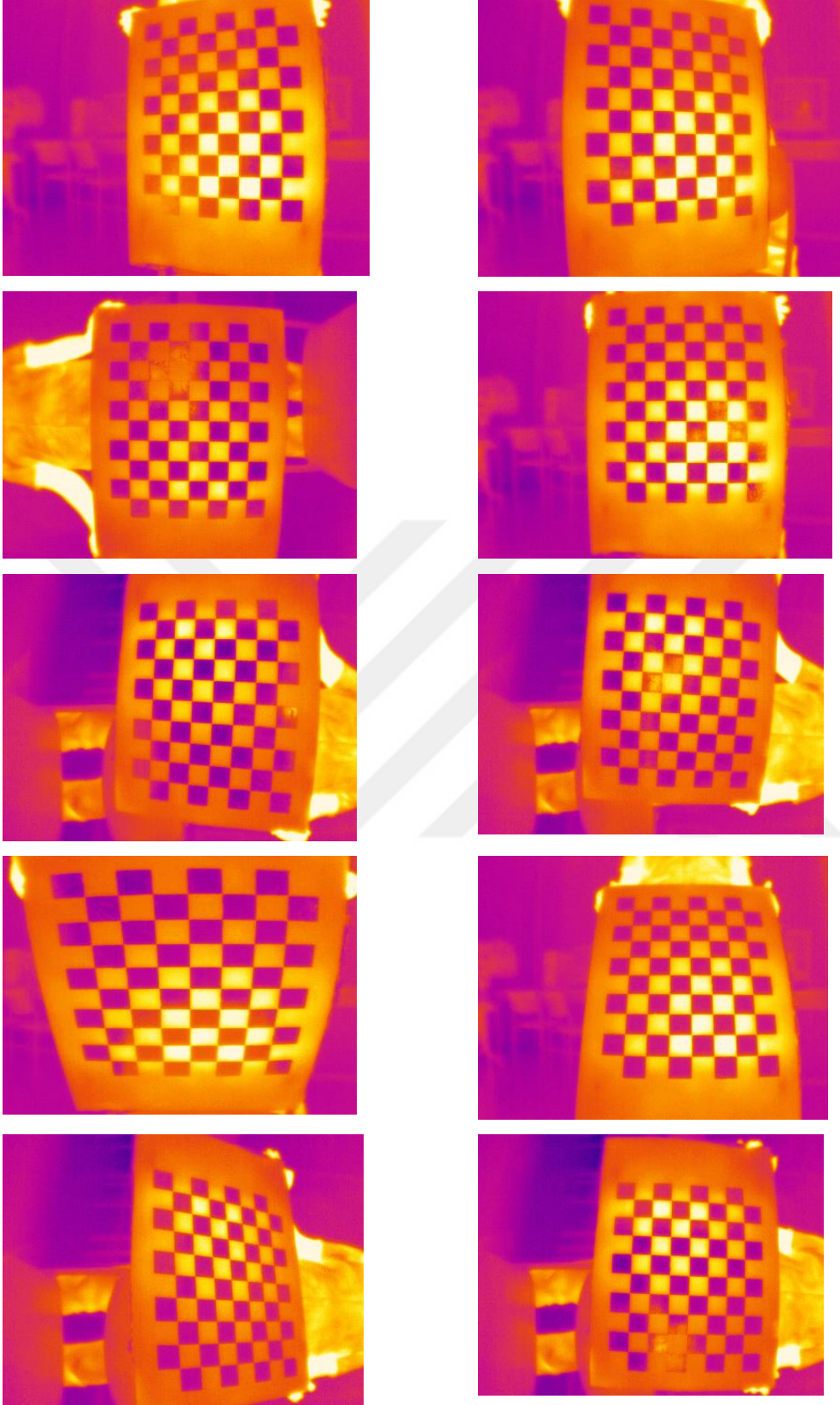


Şekil 3.9. Kalibrasyon işlemi akış diyagramı

Termal kamerada desenlerinin biri olan Desen 1'in çalışmada alınan görüntüleri Şekil 3.10'da görüldüğü gibidir.

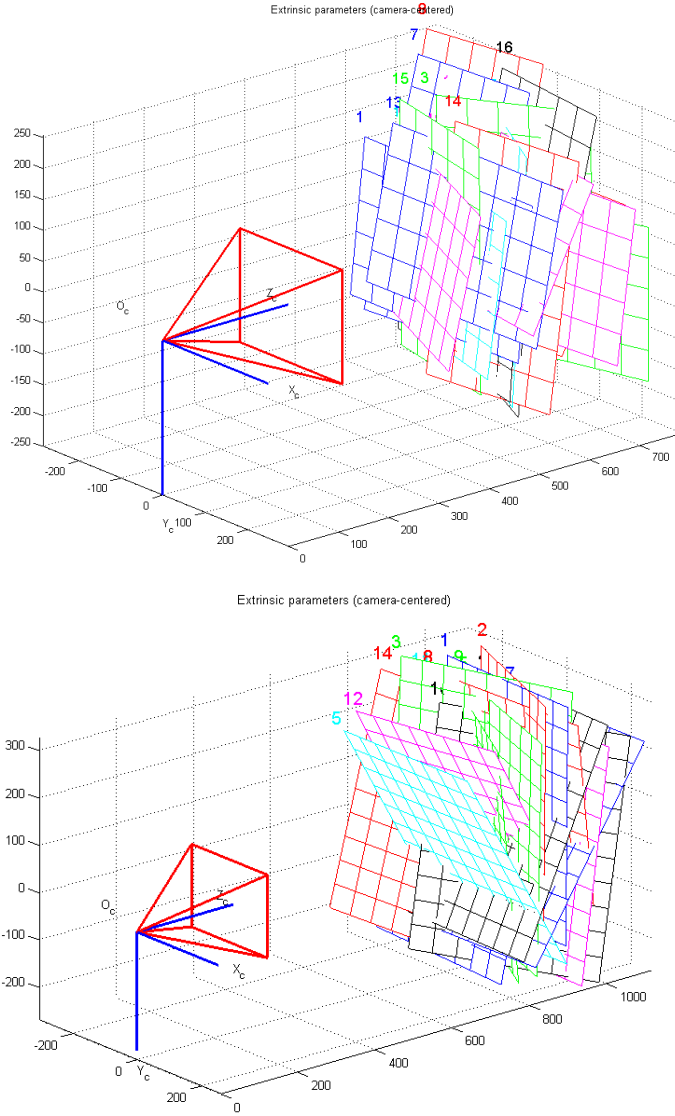


Şekil 3.10. Kalibrasyon deseni görüntü açıları

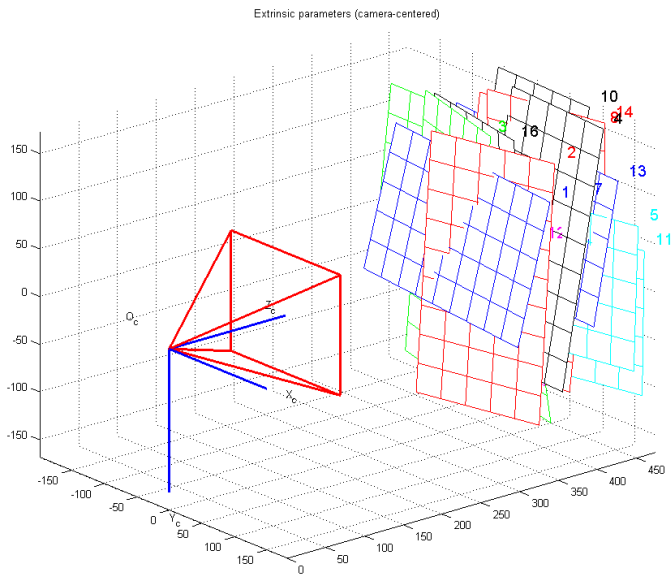
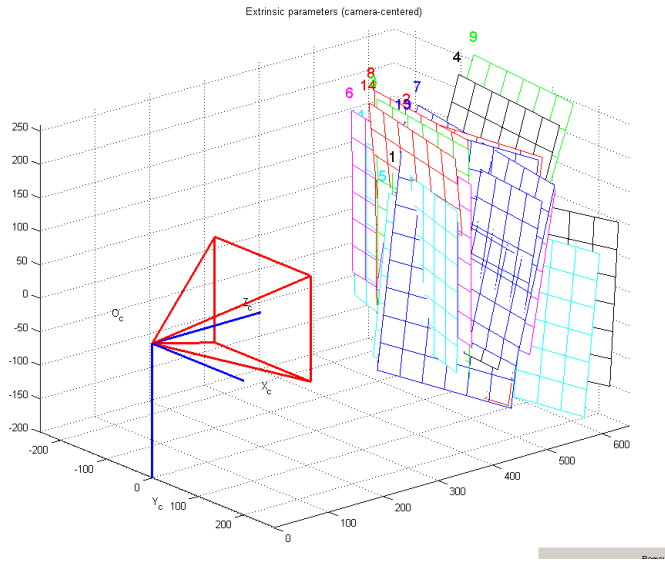
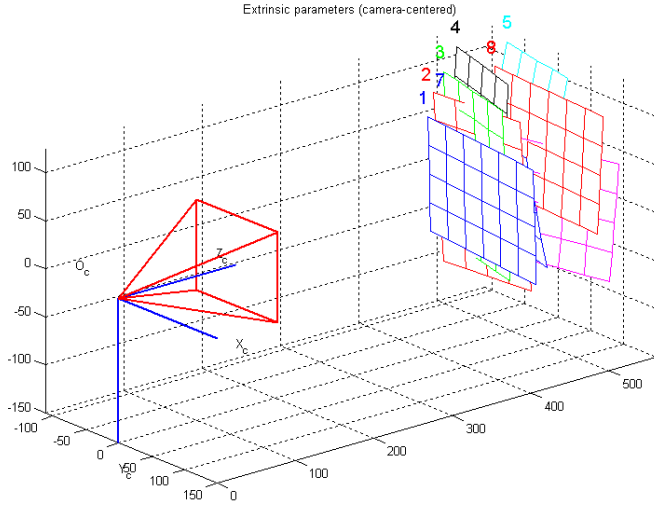


Şekil 3.11. (Devamı) Kalibrasyon deseni görüntü açıları

Hazırlanan kalibrasyon desenlerinin Matlab Camera Calibration Toolbox (Bouguet, 2010) programı ile kalibrasyon sonucu oluşan termal kamera ile görüntülenme açıları Şekil 3.11’de görülmektedir. Desenler, termal kamera parametrelerinin belirlenebilmesi için aşağıda görüldüğü gibi çeşitli açılardan termal kamera ile görüntülenmiştir.

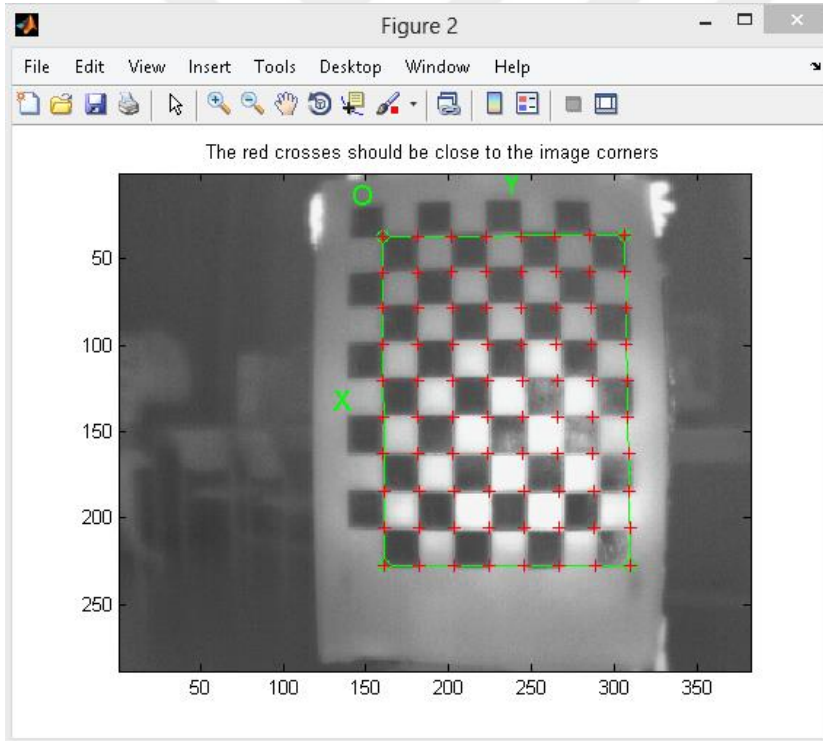
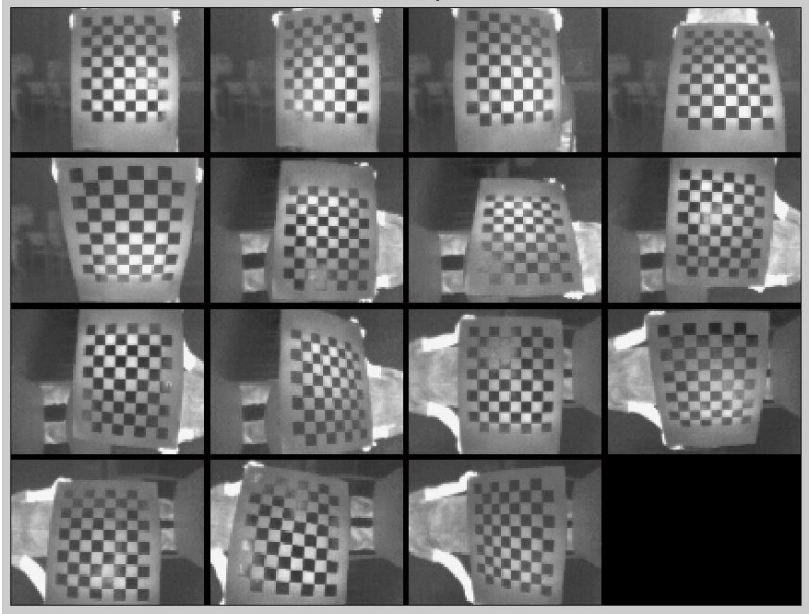


Şekil 3.12. Kalibrasyon desenlerinin görüntülenme açıları



Şekil 3.13. (Devamı) Kalibrasyon desenlerinin görüntülenme açıları

Termal görüntülerin programa aktarılması ile oluşan programı görüntüsü Şekil 3.12’de görülmektedir.



Şekil 3.14. Desenlerin görüntüsü ve köşelerin seçilmesi

Matlab Camera Calibration Toolbox (Bouguet, 2010) programı ile kalibrasyon işlemi tamamlandıktan sonra çalışmada kullanılan kalibrasyon desenleri için Çizelge 3.4’te ki sonuçlar elde edilmiştir.

Odak uzaklığı: 2x1 vektörde saklanan piksel olarak odak uzaklığıdır.(resim çekme

uzaklığı)

Ana nokta: 2x1 vektörde saklanan ana nokta koordinatlarıdır.

Çarpıklık: x ve y pikselleri arasındaki açıdır

Distorsiyon katsayıları: 5x1 olarak saklanan radyal ve tanjant distorsiyonlardır.



Çizelge 3.4. Desenlerin kalibrasyon sonuçları

	Desen 1	Desen 2	Desen 3	Desen 4	Desen 5
Odak uzaklığı (fc) (mm)	9,8645514 9,8588237	10,0305899 9,9610394	9,1053423 9,0979075	9,7178625 9,6872422	9,2253231 9,1588786
Ana nokta (mm)	5,0403125 3,7967708	5,0403125 3,7967708	5,0792332 3,9413982	5,2153286 4,0431104	5,0801971 3,9389651
Distorsiyon Katsayıları (kc)	[-0,41135 0,25431 0,00422 -0,00040 0,00000] ± [0,04116 0,21500 0,00152 0,00195 0,00000]	[-0,39447 0,17413 0,00791 -0,00375 0,00000] ± [0,06693 0,28428 0,00421 0,00371 0,00000]	[-0,39479 0,65871 0,00138 -0,00158 0,00000] ± [0,15937 1,13388 0,00670 0,00730 0,00000]	[-0,23752 0,12065 0,00093 -0,00182 0,00000] ± [0,10946 0,49580 0,00583 0,00550 0,00000]	[-0,31120 0,68864 -0,00546 -0,00515 0,00000] ± [0,08151 0,30349 0,00589 0,00581 0,00000]
Pixel hatası	[0,37595 0,35876]	[0,44102 0,40962]	[0,23756 0,33139]	[0,84242 0,80425]	[0,97895 1,03893]

3.5. Ekran Kartının Üç Boyutlu Modellenmesi

Günlük yaşamımızın her anında kullandığımız bilgisayarları, çeşitli parçaların birlikte çalışması sonucunda kullanabilmekteyiz. Bilgisayar parçalarından biri de ekranda yaptığımız işlemleri görmemizi sağlayan ekran kartıdır. Ekran kartı, merkezi işlem biriminde(CPU) işlenen sayısal verileri kullanıcının anlayabileceği şekilde monitörde görüntülenmesini sağlayan donanımdır. Ekran kartı, anakarta sabit olarak ya da anakarttaki PCIExpress portuna harici olarak takılarak kullanılabilir. Özellikle harici olarak kullanılan ekran kartları, grafik işlemcisi ve belleğini bilgisayar sisteminden ayrı olarak üzerinde barındırmaktadır. Böylece ekran kartı, bilgisayar işlemcisi ve belleğine daha az ihtiyaç duymakta ve anakarta sabit ekran kartlarına göre daha performanslı çalışmaktadır. Ekran kartında bulunan kısımlar genel olarak şunlardır:

- Grafik işlemcisi (GPU): Ekran kartının işlemcisidir. Görüntü bilgilerini işler.
- Görüntü Belleği (VideoRam): Gelen bilgilerin kısa süreli depolanıp GPU ya aktarıldığı birimdir.
- Dijital Analog çevirici (RAMDAC): ekran kartında işlenen dijital bilgileri monitörde gösterebilmek için analog verilere dönüştürür.
- Ekran Çıkış Bağlantıları: Ekran kartının monitöre bağlanması için gerekli arayüzü sağlarlar. VGA, HDMI, DVI gibi çeşitleri mevcuttur.
- Soğutucu: Ekran kartının çalışma sırasında oluşan sıcaklığını azaltarak daha performanslı çalışabilmesini sağlayan parçadır. Soğutma sistemleri, fan, su ve alüminyum-bakır malzeme ile yapılmaktadır.

Ekran kartı, bilgisayarda yapılan işleme göre çalışmaktadır. Örneğin ofis işlemleri, internette araştırma gibi kullanımlarda ekran kartına fazla görev düşmediği için normal çalışma sıcaklığında herhangi bir sorun olmadan çalışmaktadır. Fakat ekran kartını zorlayan bilgisayar oyunları, 3B modelleme gibi görsel özelliği yüksek işlemlerde ekran kartı daha fazla işlem gerçekleştirmektedir. Bu yüzden ekran kartı normalden daha fazla ısınmakta ve performansı düşmektedir. Ekran kartının sıcaklığı soğutma sistemleri ile düşürüldüğünde daha performanslı çalışmaktadır.

3.5.1. Kullanılan Ekran Kartı

Çalışmada üzerinde sabit alüminyum soğutucu olan ve PCIExpress yuvasına takılarak kullanılan harici ekran kartı kullanılmıştır. Kullanılan ekran kartının genel özellikleri Çizelge 3.5'te ki tabloda listelenmektedir.

Çizelge 3.5. Kullanılan ekran kartı özellikleri

Bellek Boyutu	1024 MB
Çözünürlük	1440*900
Model	ATI 5450
Bellek Tipi	DDR3
Veri Yolu	64 Bit
Grafik Arabirimi	PCI Express 2.1



Şekil 3.15. Kullanılan ekran kartı

3.5.2. Ekran Kartı Modellemesi

Ekran kartının 3B modelini oluşturabilmek için bilgisayar çalışırken iki farklı durumda ekran kartının çeşitli açılardan görüntüleri alındı. Görüntüler photomodeler programı ile her görüntüde aynı noktalar seçilerek modellenmiştir.

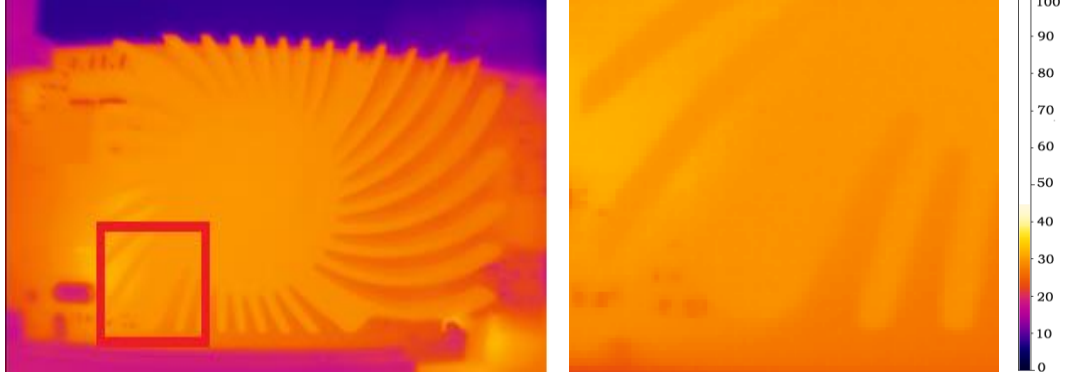
Ekran kartı modellemesi için oluşturulan durumlar:

- Durum 1 (Bilgisayarın normal çalışması): Bilgisayar sistemi açıldığında masaüstünde herhangi bir işlem yapılmamaktadır.
- Durum 2 (Bilgisayarın yük altında çalıştırılması): Bilgisayar sistemi açıldıktan sonra ekran kartını zorlamak ve sıcaklığını arttırmak için 3d Mark isimli bir program çalıştırılmıştır.

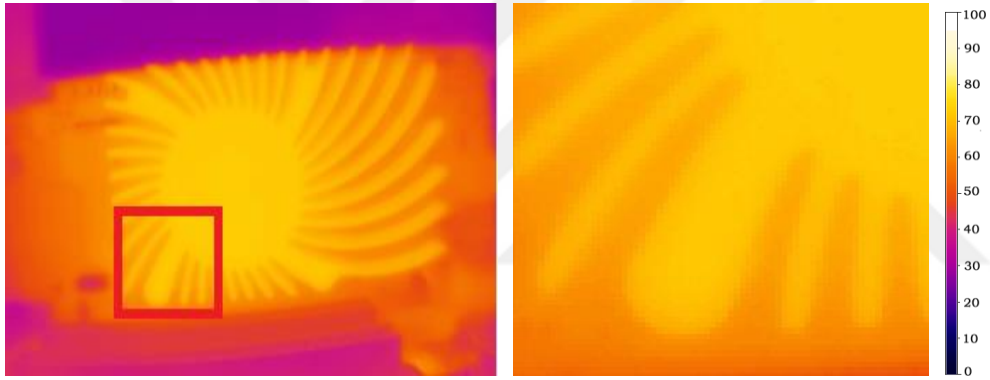
Ekran kartının yukarıdaki iki koşulda alınan ekran kartı görüntülerinde ekran kartının sıcaklığı değişmektedir. Genel sıcaklık kaynağı ekran kartı işlemcisinin(GPU) ekran kartının iş yoğunluğuna göre sıcaklığı değişmiştir. Mevcut sıcaklık alüminyum soğutucu ile dağıtılmaktadır.

Ekran kartının sıcaklığı, Durum 2 de yani yük altında çalışırken 65°C civarlarında, Durum 1’de ise sıcaklık 35°C civarlarındadır. Ekran kartının termal kamera ile alınan

görüntüsünde bir kesit karşılaştırıldığında kesitin sıcaklığı Durum 2’de 68°C, Durum 1’de ise 33°C olarak tespit edilmiştir. Şekil 3.15’de görüldüğü gibi sıcaklığın yüksek olduğu Durum 2’de alınan termal görüntünün netliği Durum 1’e göre daha nettir.

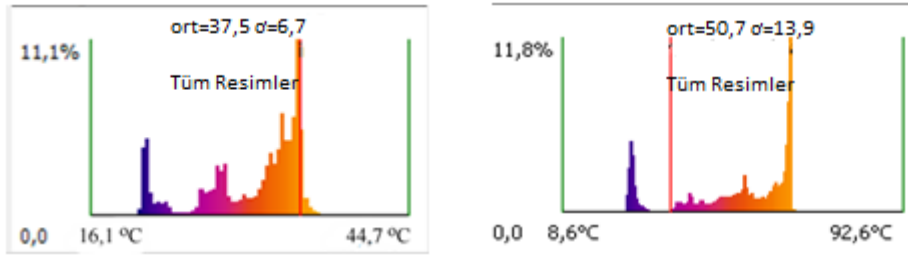


Şekil 3.16. Durum 1’de (sistem boşa) termal görüntüler



Şekil 3.17. Durum 2’de (sistem yük altında) termal görüntüler

Ekran kartının durumlara göre histogram grafikleri Şekil 3.16’da görülmektedir. Tüm görüntünün analizi sonucu ortaya çıkan histogramda sıcaklık maviden sarıya doğru artmaktadır. Durum 1 histogramında sıcaklığın ortalama 37,5°C Durum 2’de ortalama sıcaklığın 50,7°C olduğu görülmektedir. Histogramdan görüntülerin en yüksek ve en düşük sıcaklıkları da tespit edilebilmektedir. Durum 1’in en düşük sıcaklığı 16,1°C, en yüksek sıcaklığı 44,7°C, Durum 2’nin ise en düşük 8,6°C, en yüksek 92,6°C olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.18. (sol) Durum 1 histogram, (sağ) Durum 2 histogram

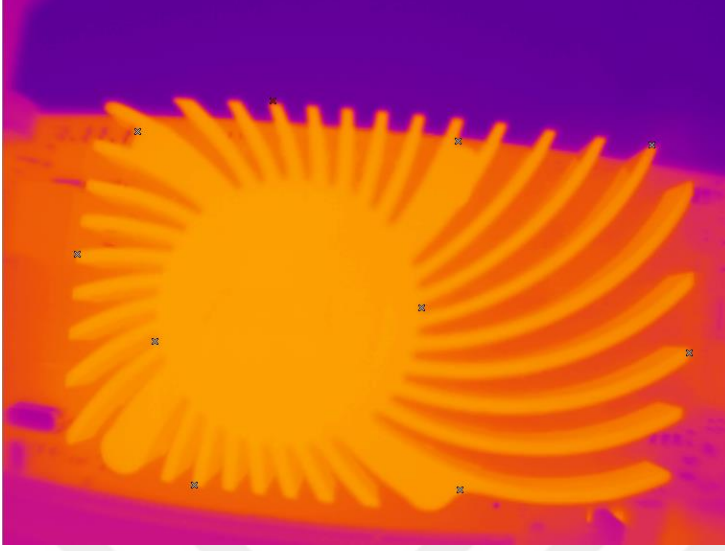
Ekran kartının termal kamera ile alınan görüntülerinin X-ekseni çevresindeki dönüklük ω (omega), Y-ekseni çevresindeki dönüklük ϕ (fi), Z-ekseni çevresindeki dönüklük κ (kappa) değerleri Çizelge 3.6’da görülmektedir. Çizelgeden de anlaşılacağı üzere ekran kartı çeşitli açılardan görüntülenmeye çalışılarak üç boyutlu modelin daha iyi sonuç vermesi amaçlanmıştır. Çizelge 3.6’da listelenen X,Y,Z değerleri şablonun koordinatlarını ifade etmektedir.

Çizelge 3.6. Görüntülerin dış yöneltme değerleri

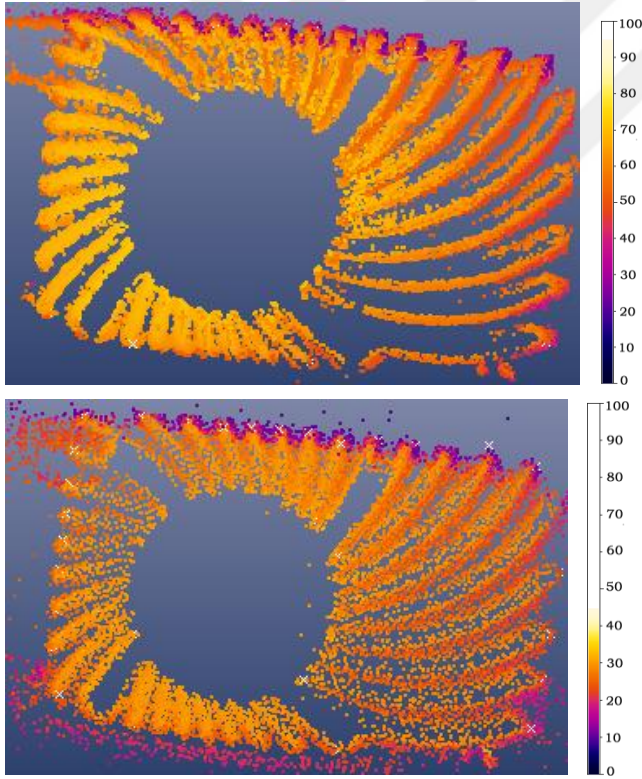
Resim Id	ω	ϕ	K	X	Y	Z
1	8,097811	11,745070	-0,741405	0,019419	0,125778	0,016661
2	6,996286	10,610408	13,321272	0,260741	0,090512	-0,408082
3	8,892694	9,349622	9,233356	0,330629	0,118452	-0,382202
4	4,745986	-1,622890	9,114894	0,177465	0,096907	-0,369707
5	12,852988	11,142208	3,137395	-0,070959	0,036357	-0,419406
6	-6,156222	10,041978	14,167708	-0,347763	1,489059	-0,897455
7	-58,120077	-13,405776	-1,104663	-0,267414	1,227392	-0,609109
8	-22,404284	-7,818063	4,186437	-0,161694	0,651123	-0,389143
9	-41,036218	-9,628437	0,331341	0,105684	0,160928	-0,102073
10	6,133747	5,110944	5,191170	0,231201	-0,243389	-0,189785

Termal kamera ile alınan görüntüler Photomodeler programı ile son yıllarda gelişen multi-view stereo yöntemini kullanarak 3B model oluşturulmuştur. Multi-view stereo, farklı açılardan alınan görüntülerden 3B model oluşturmayı amaçlayan sistemdir (Sakai ve ark., 2012). Multi-view stereo algoritmaları iki temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama resimler karşılaştırılır ve piksel eşleştirmesi yapılarak 3B noktaları tahmin edilir. İkinci aşamada ise tahmin edilen 3B noktalardan 3B model oluşturulur (Özüağ ve ark., 2012). Multi-view stereo vision sonucu elde edilen nokta bulutları Şekil 3.18’de görülmektedir.

Durum 2'nin 3B modellemesi sonucu oluşan modelin kalitesi Durum 1'e göre daha net ve kalitelidir.



şekil 3.19. Ekran kartı modellemesinde 3B için seçilen noktalar



şekil 3.20. Ekran kartı 3B modelleri

Görüntülerin modellemesi sonucu elde edilen karesel ortalama hata ve noktaların sıcaklıkları izelge 3.7'de listelenmiştir. İki durumdaki noktaların sıcaklık farklarının

yaklaşık 30 °C olduğu görülmektedir. Sıcaklık değerleri düşük olan noktalarda karesel ortalama hatanın yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.7. Ekran kartı yük altında model sonuçları (82 nokta)

Id	Ekran Kartı boşta	Ekran Kartı Yük Altında	Ekran Kartı boşta	Ekran Kartı Yük Altında
	Karesel Ortalama Hata (KOH)	Karesel Ortalama Hata (KOH)	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık (°C)
1	0,496586	0,843160	33,86	61,03
2	0,304860	0,828814	35,36	60,71
3	1,132,279	0,722908	35,5	56,55
4	1,095,791	1,104,936	33,5	62,55
5	1,836,524	0,888857	33,5	60,2
6	1,248,141	1,449,511	30,15	56,46
7	0,773203	0,849676	32,53	57,61
8	0,825887	0,625541	33,26	62,55

Photomodeler programı ile 3B modelleme sonucunda elde edilen diğer bir bilgi seçilen noktaların koordinatlarıdır. Modelleme için görüntüler farklı açılardan alındıklarından koordinatlarda değişim gözlemlenmiştir. Genel olarak koordinatlarda derinliği ifade eden Z koordinatındaki değişimin fazla olmasının nedeni termal kameradan alınan görüntülerin çözünürlüğünün düşük olması olarak değerlendirilebilir.

Çizelge 3.8. Nokta bulutlarının x,y,z koordinatları

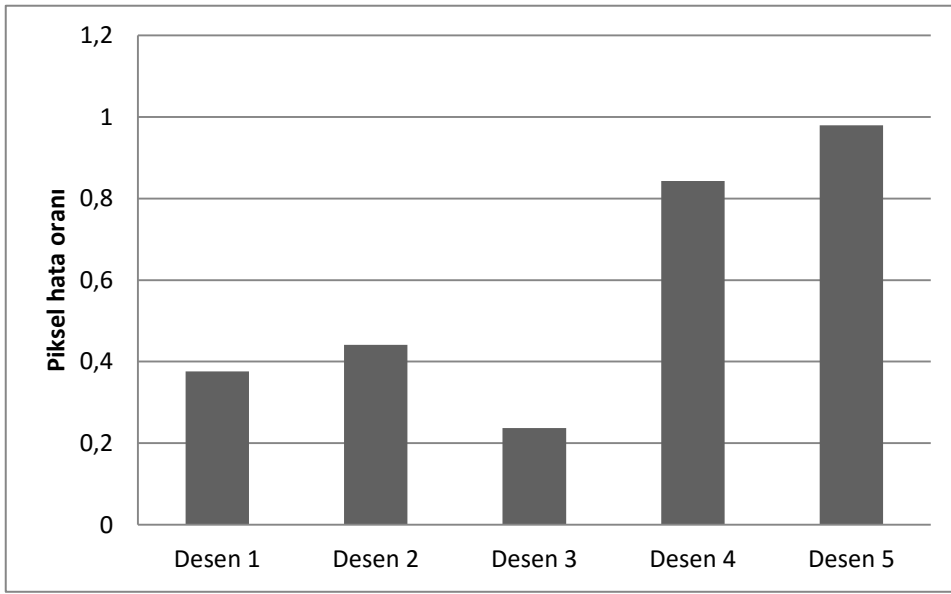
Id	Ekran kartı boşta			Ekran Kartı Yük altında		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0,005263	0,002640	0,014511	0,001782	0,002742	0,005110
2	0,005667	0,001499	0,016320	0,001757	0,002415	0,005101
3	0,006699	0,003624	0,017637	0,001808	0,002024	0,004853
4	0,005104	0,002679	0,014829	0,002040	0,002120	0,005252
5	0,002749	0,003513	0,014795	0,002675	0,002094	0,005066
6	0,003299	0,005318	0,017434	0,002892	0,002339	0,004800
7	0,003107	0,002268	0,017222	0,003377	0,002408	0,004192
8	0,003844	0,001515	0,017722	0,003320	0,002540	0,004008

BÖLÜM 4

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

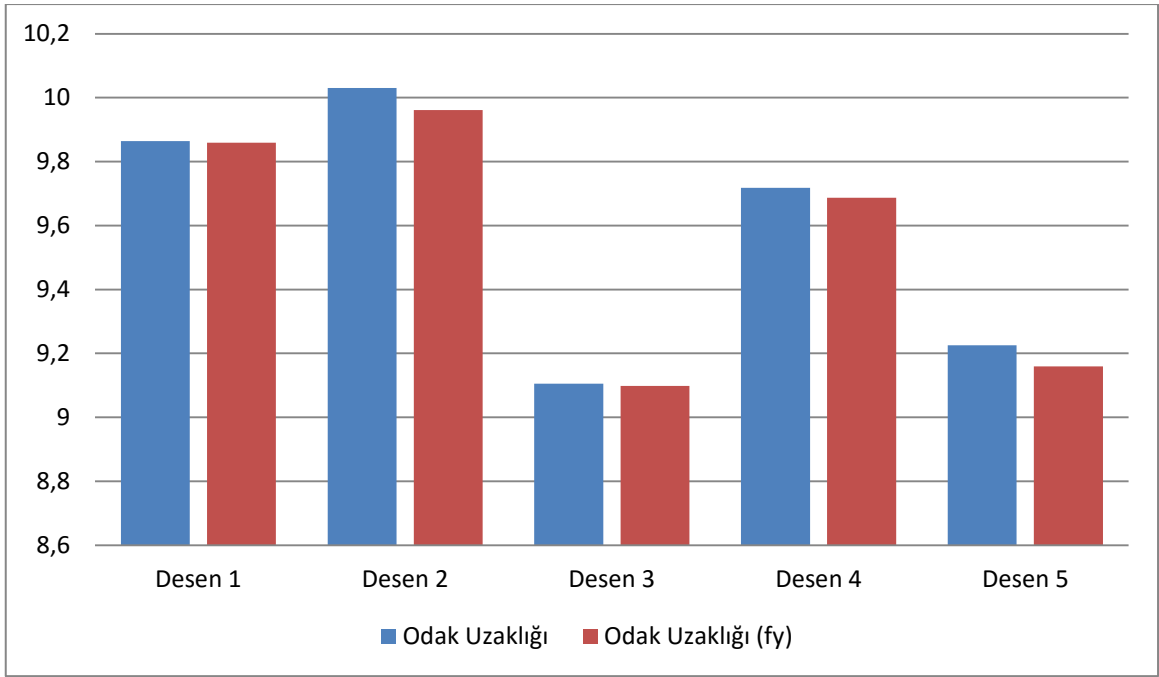
4.1. Kalibrasyon Desenlerinin Boyut Bakımından Karşılaştırılması

Kalibrasyon sonuçlarından kare boyutunun eşit olması durumunda desen alanındaki kare sayısı fazla olan Desen 3 piksel hata oranının düşük olduğu görülmektedir. Diğer bir durum Desen 3 ve Desen 5 arasındaki desen kare sayısının aynı olmasına rağmen kare boyutundaki değişim piksel hata oranını etkilemektedir. Kare boyutu büyük olan Desen 5'in piksel hata oranı Desen 3'e göre daha yüksektir.

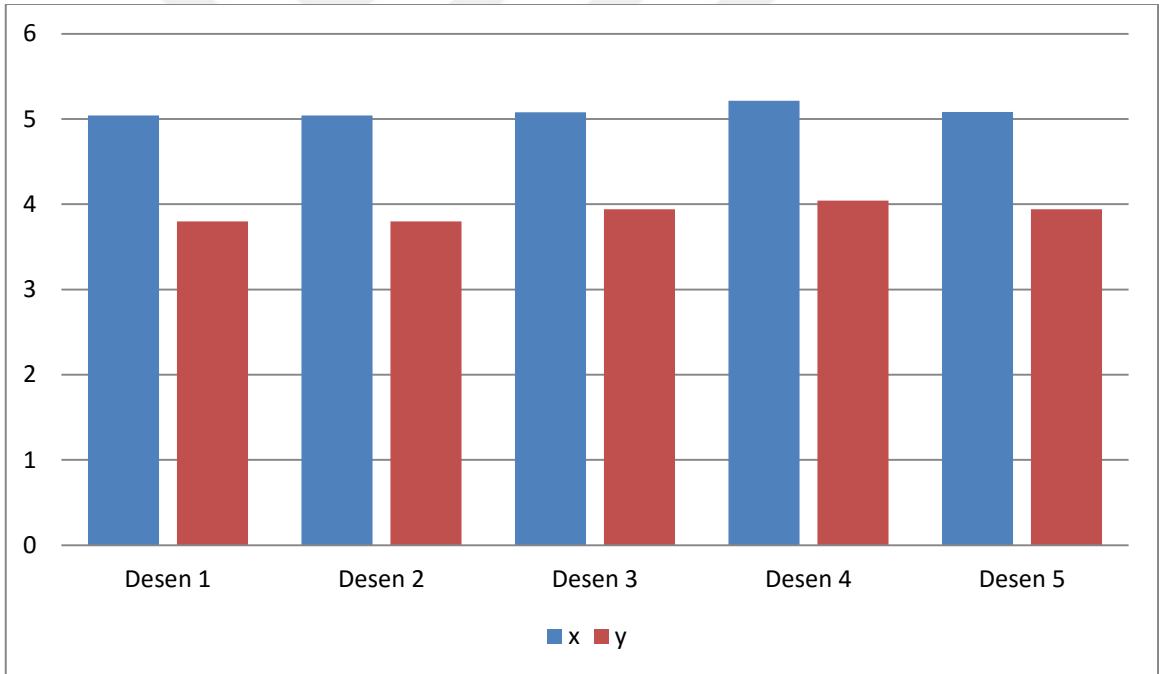


Şekil 4.21. Piksel hata oranı karşılaştırması

Desenler odak uzaklığı bakımından kıyaslandığında en düşük odak uzaklığı Desen 3'ün odak uzaklığı 9,105342144 mm olarak tespit edilmiştir. En yüksek odak uzaklığı ise Desen 2'de 10,03044252mm olarak tespit edilmiştir. Desenlerin odak uzaklığı bakımından kıyaslaması Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.22. Odak uzaklığı kıyaslaması



Şekil 4.23. Desenlerin ana nokta kıyaslaması

Desenlerin kalibrasyon sonuçları ana nokta değerleri karşılaştırıldığında Desen 2'nin 5,040312437 mm olan ana nokta ile desenler arasında en düşük değere sahip olduğu anlaşılmıştır. Desen 1 de Desen 2 ile hemen hemen aynı ana nokta değerine sahiptir. Bu karşılaştırma sonucunda ana nokta değeri için desendeki kare boyutlarının büyük olması gerektiği sonucuna varılabilir.

4.2. Desenlerin Sıcaklık Bakımından Kıyaslaması

Termal kameralar ısıya duyarlı çalıştıkları için ısıtılan desenlerin görüntüleri daha net çıkmaktadır. Desenlerin ısılarının kalibrasyon sonuçlarına etkisini incelemek için değişik sıcaklıklarda görüntüler alınarak kalibrasyon işlemine tabi tutulmuştur. Bu çalışma için hazırlanan desen 30°C ve 38°C olarak iki ayrı sıcaklık değerinde alınan görüntüler kalibrasyon işlemine tabi tutulmuştur. Kalibrasyonun sonuçları Çizelge 4.1’de görülmektedir.

Çizelge 4.9. Desenin değişik sıcaklıklardaki kalibrasyon sonuçları

	Desen 30 °C	Desen 38 °C
Odak uzaklığı (mm)	11,8754886 11,6568475	10,75060728 10,61453678
Ana nokta (mm)	5,242309374 3,7967708	5,0403125 3,859849833
Distorsiyon	[-0,56299 2,28574 -0,01161 0,00694 0,00000]± [0,12454	[-0,50479 -0,76020 0,00736 0,06397 0,00000]± [0,21649
Katsayıları (kc)	0,96594 0,00367 0,00450 0,00000]	1,00587 0,00876 0,07825 0,00000]
Piksel Hata (err)	[0,97624 0,94101]	[0,92367 0,89897]

Desenlerin aralarında 8°C sıcaklık farkı olmasına rağmen odak uzaklığı, ana nokta ve piksel hata değerlerinin sıcaklığı yüksek olan desende daha düşük olduğu görülmektedir.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Kamera kalibrasyonu, görüntünün dijital ortama aktarılması gereken birçok alanda önemini arttırmaya devam etmektedir. Örneğin; robotun nesneyi tutma görevini başarabilmesi için nesnenin dünyadaki koordinat bilgisinin hatalardan arındırılarak dijital ortama aktarılması çok önemli bir konudur. Dünyadaki koordinat sistemini bilgisayar ortamına dönüştürürken kameradan kaynaklı hata oranlarının tespiti için kameralara kalibrasyon işlemi uygulanmaktadır. Kalibrasyon işleminde ise ölçekleri bilinen çeşitli desenler kullanılmaktadır.

Çalışmada ise genelde kalibrasyon deseni olarak kullanılan satranç tahtası şeklindeki desenin ebatlarının termal kamera kalibrasyon sonuçları üzerine etkisi araştırılmıştır. Araştırma sonucunda ise termal kameraların ısıya duyarlı olarak çalıştıklarından desenlerin iyi ısıtılarak net görüntülerin işlenmesi gerektiği tespit edilmiştir. Ayrıca kalibrasyon amaçlı kullanılan çeşitli boyutlardaki desenlerden satranç kare boyutu küçük, genel desen boyutu büyük olan desenlerin kalibrasyon sonuçlarının daha doğru olduğu bulunmuştur.

Kalibrasyon desenlerinin görüntüsü alınırken desenlerin sıcaklığını sabit tutmakta sorun yaşanmıştır. Bu sorun, desenlerin ısıtıcı ile sürekli ısıtılması ile aşılmıştır. Aynı zamanda çalışmanın genelinde termal kameranın çözünürlüğü düşük olduğundan alınan görüntülerin işlenmesi de güçleşmiştir. Benzer bir sorun ise termal kameranın görüntüyü video şeklinde alması ve çalışmada kullanılacak resimlerin bu videolardan seçilmesi sırasında yaşanmıştır. Benzer çalışmalarda kullanılacak termal kameraların, fotoğraf çekme özelliği bulunursa, alınan görüntüler daha net ve kaliteli olabilir.

Çalışma sonucunda bulunan kalibrasyon değerleri ile bilgisayarda monitöre görüntü aktarmaya yarayan ekran kartı 3B olarak modellenmiştir. Çalışmada kullanılan ekran kartının soğutulması için alüminyum soğutucu kullanılmıştır. Ekran kartının normal çalışırken ve ekran kartı programlar ile zorlanırken olmak üzere iki durum ayrı ayrı modellenmiştir. Modelleme sonucunda ekran kartının yük altında iken daha fazla ısındığı ve böylece termal kameradan alınan görüntüler ile daha iyi bir 3B model olduğu görülmüştür. Modelleme sonucu ekran kartının işlemcisinin bulunduğu bölgenin sıcaklığının en yüksek olduğu, soğutucunun kanatlarının işlemci ile arasında yaklaşık 15°C fark olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda ekran kartının soğutucu sisteminin ekran kartı işlemcisi üzerine yoğunlaşması ve soğutucunun ekran kartının tamamını kaplaması

ısıyı daha iyi dağıtacağı anlaşılmıştır. Isının dağıtılması sonucu sıcaklığı düşen ekran kartı ise daha performanslı çalışabilecektir.

Aynı zamanda bilgisayar donanımlarının arıza tespiti termal kamera ile 3B olarak modellendiğinde arızalı parça seri bir şekilde tespit edilebilir ve arızalı parça büyük sorunlara yol açmadan gerekli önlem alınabilir. Bu parçalar işlemcinin çok çalışmasından dolayı ısınmıyorsa diğer bir deyişle sorunsuz çalışıyorsa sistemin performanslı çalışabilmesi için sıcaklığının düşürülmesi gereklidir. Bunun için bilgisayar donanımlarının çok ısınan bölgelerin ekstra soğutucu sistemler ile daha uygun bir ısı dağılımı sağlanarak daha iyi performans sağlanabileceği düşünülmektedir

Modellemede karşılaşılan en büyük zorluk bilgisayarın çekim alanının düşük olması ve bilgisayarın çalışırken çekimin yapılmasıdır. Ekran kartının görüntüsü bilgisayar çalışırken alındığından termal kamera ekran kartının etrafında tam olarak döndürülemez. Ekran kartı çalışırken tam olarak görüntülenip modellenirse ekran kartının bağlantı ayaklarındaki, monitör bağlantı kısmındaki ısı dağılımı analiz edilebilir.

İlerleyen çalışmalarda, soğutucu sistem olmadan işlemcinin hangi bölgesinde sıcaklığın daha fazla olduğu tespit edilebilir.

Üç boyutlu termal görüntüleme, diğer bilgisayar donanımlarına uygulanarak o donanımlarında ısı dağılımları analiz edilerek soğutma sistemleri verimli bir şekilde geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Abdel-Aziz Y., Karara M., 1971. Direct Linear Transformation From Comparator Coordinates Into Object Space Coordinates in Close-Range Photogrammetry. American Society of Photogrammetry Symposium on Close-Range Photogrammetry, 81(2): 420-475.
- Bajcsy P., Saha S., 2004. A New Thermal Infrared Camera Calibration Approach Using Wireless MEMS Sensors. Communication Networks And Distributed Systems Modeling And Simulation Conference (CNDS 2004). San Diego.
- Borrmann D., Nüchter A., Đakulović M., Maurović I., 2012. The Project ThermalMapper – Thermal 3D Mapping of Indoor Environments for Saving Energy. Intelligent Robots and Systems (IROS), 2012 IEEE/RSJ International Conference, 4538-4539.
- Bouguet J.Y., 2010. Camera Calibration Toolbox for Matlab. Online. 11 Şubat 2015, http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/
- Cho Y., Wang C., 2011. 3D Thermal Modeling for Existing Buildings Using Hybrid LIDAR System. 2011 ASCE Int Workshop on Computing in Civil Eng. 10: 416.
- Çalışan M., Türkoğlu İ. 2011. Termal Kamera ve Uygulamaları. Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Elazığ. 46-50.
- Değirmenci A., 2010. Türkiye’de uygulanan yalıtım tekniklerinin araştırılmasında termal kameranın etkin biçimde kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye.
- Duran Z., 2003. Tarihi Eserlerin Fotogrametrik Olarak Belgelenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemlerine Aktarılması. İTÜ Dergisi, 2(6).
- Ellmauthaler A., E. da Silva d., Pagliari C., Gois J., Neves S., 2013 A novel iterative calibration approach for thermal infrared cameras. Image Processing (ICIP) 20th IEEE International Conference, Melbourne: 2182 - 2186.
- Gianinetto M., Roncoroni F., Scaioni M., 2005. Calibration of close-range thermal imagery for integration into 3d vr models. Proc. of Work. Italy-Canada.
- Gonzalez-Aguilera D., Rodriguez-Gonzalvez P., Gomez-Lahoz J., 2010. Camera and laser robust integration in engineering and architecture applications. Sensor Fusion and its

Applications. INTECH Open Access Publisher.

- Ham Y., Golparvar-Fard M., 2012. Rapid 3D Energy Performance Modeling of Existing Buildings using Thermal and Digital Imagery. Construction Research Congress 2012, 1: 991-1000.
- Isern-González I., Cabrera-Gamez J., Guerra-Artal C., Naranjo-Cabrera A. 2005. Stability study of camera calibration methods. VI Workshop en Agentes Físicos, WAF'2005. Spain.
- Koschan A., Govindasamy P., Sukumar S., Page D., Abidi M., 2006. Thermal Modeling and Imaging of As-built Vehicle Components. SAE 2006 World Congress Vehicles, 20(40): 175.
- Lagüela S., González-Jorge H., Armesto J., 2011. Calibration and verification of thermographic cameras for geometric measurements. Infrared Physics & Technology, 54(2): 92-99.
- Lucchese L., 2005. Geometric calibration of digital cameras through multi-view rectification. Image and Vision Computing, 23(5): 517-539.
- Luhmann T., Ohm J., Johannes P., Roelf T., 2010. Geometric calibration of thermographic cameras . International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 38: 411-416.
- Mario Ivan Alba L., 2011. Mapping Infrared Data on Terrestrial Laser Scanning 3D. Remote Sensing, 3(9): 1847-1870.
- Markov S., Birk A., 2007. Detecting Humans in 2D Thermal Images by Generating 3D Models . 30th Annual German Conference on AI, Bremen, Germany, 293-307.
- Nüchter A., 2012. Project ThermalMapper. 15 Mart 2015. <http://www.faculty.jacobs-university.de/anuechter/thermalmapper.html>
- Oreifej O., Cramer J., Zakhor A., 2014. Automatic Generation of 3D Thermal Maps of Building Interiors. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers Inc., 120: C1.
- Özüağ E., Güllü M., Urhan O., Ertürk S., İşken T., 2012. Çok-Bakışlı Stereo Yaklaşımı İle Yüksek Çözünürlüklü Bir 3-B Model Oluşturma Yaklaşımı. IEEE Sinyal İşleme ve

- İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU'2012). 1-4.
- Pelagottia A., Del Mastio A., Uccheddu F., Remondino F., 2009. Automated multispectral texture mapping of 3D models. the 17th European Signal Conference: 1215-1219.
- Pleshkova S., Sehati Dehkharghani S., 2013. Thermo Vision Camera Space Calibration Method in Area of Mobile Robots Observation. Recent Advances in Telecommunications, Signals and Systems. Lemesos, Cyprus: 264-267.
- Rangel J., Soldan S., Kroll A., 2014. 3D Thermal Imaging: Fusion of Thermography and Depth Cameras. 12th international conference on quantitative infrared thermography. Bordeaux.
- Remondino F., Clive, F., 2006. Digital camera calibration methods: considerations and comparisons. ISPRS Commission V Symposium 'Image Engineering and Vision Metrology' IAPRS, 36: 266-272.
- Rzeszotarski D., Wiğcek B., 2008. Calibration for 3D Reconstruction of Thermal Images. 9th International Conference on Quantitative InfraRed Thermography. Krakow-Poland .
- Sakai S., Ito K., Aoki T., Masuda T., Unten H., 2012. An Efficient Image Matching Method for Multi-View Stereo. Computer Vision–ACCV 2012. Springer Berlin Heidelberg: 283-296.
- Salem T., Ibitayo D., Geil B., 2005. Calibration of an Infrared Camera for Thermal Characterization of High Voltage Power Electronic Components . IMTC 2005 - Instrumentation and Measurement Technology Conference. Ontario, Canada 829-833.
- Salvi J., Armangue X., Batlle J., 2002. A comparative review of camera calibrating methods with accuracy evaluation. . Pattern Recognition, 35(7): 1617–1635.
- Stockton G., 2010. Using thermal mapping at the data center. InfraMation Conference Proceedings.
- Sun W., Yang X., Xiao S., Hu W., 2008. Robust checkerboard recognition for efficient nonplanar geometry registration in projector-camera systems. In Proceedings of the 5th ACM/IEEE International Workshop on Projector camera systems:1-7.

- Taşdemir Ş., Ürkmez A., Yakar M., İnal Ş., 2009. Sayısal görüntü analiz işleminde kamera kalibrasyon parametrelerinin belirlenmesi. 5th International Advanced Technologies Symposium (IATS'09). Karabük.
- Testo., 2015. Testo Termal Görüntüleme Online Eğitim, Retrieved September 7, 2015, from <https://www.testo.com.tr/termografi/giris/>
- Vidas S., Lakemond R., Denman S., Fookes C., 2012., A Mask-Based Approach for the Geometric Calibration of Thermal-Infrared Cameras. IEEE Transactions on instrumentation and measurement, 61(6): 1625-1635.
- Vidas S., Moghadam P., Bosse M. 2013. 3D Thermal Mapping of Building Interiors using an RGB-D and Thermal Camera.), 2311 - 2318 .
- Vikipedi., 2015. Retrieved January 7, 2015, from <https://tr.wikipedia.org/wiki/Kalibrasyon>
- Wang Z., Wu W., Xu X., Xue D., 2007. Recognition and location of the internal corners of planar checkerboard calibration pattern image. Applied mathematics and computation, 185(2): 894-906.
- Wang Z., Xu X., Wang Z., 2008. Extraction of the Corner of Checkerboard image. In Intelligent Control and Automation, 6789-6792.
- Weinmann M., Leitloff J., Hoegner L., Jutzi B., Stilla U., Hinz S., 2014. THERMAL 3D MAPPING FOR OBJECT DETECTION IN DYNAMIC SCENES. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2(1): 53-60.
- Yang R., Chen Y., 2011. Design of a 3-D Infrared Imaging System Using Structured Light. IEEE Transactions on instrumentation and measurement, 60(2): 608-617.
- Yang R., Yang W., Chen Y., Wu X., 2011. Geometric Calibration of IR Camera Using Trinocular Vision .Journal of lightwave technology, 29(24): 3797-3803.
- Yaşayan A., Uysal M., Varlık A., Avdan U., 2011. Fotogrametri. A. Yaşayan, M. Uysal, A. Varlık, U. Avdan içinde, Fotogrametri. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, 3-5.
- Yu C., Peng Q., 2006. Robust recognition of checkerboard pattern for camera calibration. Optical Engineering, 45(9): 093201-093201.
- Yu Z., Lincheng S., Dianle Z., Daibing Z., 2013. Camera Calibration of Thermal-Infrared

Stereo Vision System. 2013 Fourth International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications, 197-201.

Zhang Q., Pless R., 2004. Extrinsic calibration of a camera and laser range finder (improves camera calibration). In Intelligent Robots and Systems, 2004.(IROS 2004). Proceedings. 2004 IEEE/RSJ International Conference, 3: 2301-2306.

Zhang Z., 2001. Image-Based Modeling of Objects and Human Faces. Photonics West 2001-Electronic Imaging. International Society for Optics and Photonics. 1-15.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Aykut DURGUT

Doğum Yeri : Balıkesir

Doğum Tarihi : 17/05/1985

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : Muğla Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi

Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi

Yüksek Lisans Öğrenimi : -

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

BİLİMSEL FAALİYETLERİ

- a) Yayınlar -SCI -Diğer
- b) Bildiriler -Uluslararası -Ulusal
- c) Katıldığı Projeler

İŞ DENEYİMİ

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl : MEB 2007-2013, Balıkesir Üni. 2013-...

İLETİŞİM

E-posta Adresi : aykurdurgut@gmail.com