

## TERMAL KAMERA İLE EKCRAN KARTININ 3 BOYUTLU MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Ayktur DURGUT<sup>1,\*</sup>, Özgün AKÇAY<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Geomatik Mühendisliđi, Mühendislik Fakültesi, Çanakkale 18 Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye

### ÖZET

Termal kamera gibi elektromanyetik spektrumun görünür ışık dalga boyu dışında yer alan yansımaları kaydedebilen alıcılardan, çıplak gözle ve standart dijital kameralardan tarafından belirlenemeyen birçok alanda izleme, takip ve tespit yapma olanağı sunar. Bu çalışmada PI Connect programı ile çalışır durumdaki ekran kartlarının görüntülerini alarak fotogrametrik değerlendirme ile 3 boyutlu (3B) sıcaklığa duyarlı modellerini oluşturarak sıcaklık değışimleri gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, termal fotogrametrik 3B modellerin, bilgisayar donanımları gibi elektronik ürünlerin üretim ve bakım aşamasında oluşabilecek sorunların tespitinde kullanılabilceğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Termal kamera, 3B modelleme, Termal modelleme, Ekran kartı modeli

### OBTAINING 3D MODEL OF THE GRAPHICS CARD USING THERMAL CAMERA

#### ABSTRACT

Thermal camera can record the electromagnetic spectrum which reflects wavelengths outside the visible light receivers. Thermal cameras are identification of objects which are undetectable by standard digital cameras. In this study, the graphics card temperature changes were observed with PI Connect program which creating 3D models of temperature-sensitive with photogrammetric. The results thermal photogrammetric 3D models may be used for detection problems that may occur in the production and maintenance phases of electronic products such as computer equipment.

**Keywords:** Thermal camera, 3D model, Thermal modelling, Graphic card modelling

## 1. GİRİŞ

### 1.1 Termal Kameraların Kullanımı

Günümüzde nesnelerin ve çevresel olaylarının hafif ve dayanıklı endüstriyel kameralarla görüntülerinin alınması daha sonra bilgisayar ortamına aktararak analiz edilmesinin önemi artmaktadır. Bilgisayar ortamına aktarılan görüntülerin ölçekli olarak bir koordinat sisteminde metrik biçimde ifade edilmesi bir gereksinim olarak karşımıza çıkmaktadır. Elde edilen görselin, fotoğraf gibi 2 boyutlu (2B) değil, hedef nesnelerin ölçekli bir 3 boyutlu (3B) model olması beklenmektedir. 3 boyutlu görüntüleme, sayısal arazi modellerinin görselleştirilmesinde, sinema ve televizyon endüstrisinde, inşaat projelerinde ve daha birçok alanda algılamayı kolaylaştırmasının yanında veri analizi olanaklarını arttırmaktadır. 3B modelleme ile inşaat projeleri bitmeden gösterilebilmekte, üretilen sistemlerde oluşabilecek sorunlar yeterli hassasiyetle tespit edilebilmektedir. 3B modelleme ile belirlenebilen doğruluk ölçütlerinde görüntüler ve nokta bulutları elde edilebilmektedir.

Termografik görüntülerin elde edilmesine yarayan termal kameralar elektromanyetik spektrumun kızılötesi bölümündeki (7,5 – 13 µm) kızılötesi ışınımını kayıt etme yeteneğine sahiptirler. Termal kamera, kızılötesi dalga boyu spektrumunda, ekipmanla doğrudan temas gerçekleştirilmeksizin sıcaklık

\* Sorumlu Yazar: [adurgut@balikesir.edu.tr](mailto:adurgut@balikesir.edu.tr)

modellerini algılayan bir cihaz olarak tanımlanmaktadır [1]. Bu cihazla normalde çıplak gözle ve dijital kameralarla belirlenemeyecek tespit ve analizler yapılabilmektedir.

Hayatımızın her anında bilgisayar sistemlerinin bize sağladığı veri kaydı, hesaplamalar, görüntü işlemleri vb. özelliklerden yararlanılmaktadır. Bilgisayarın verimli çalışabilmesi ve ömrünün daha uzun olması için dahili donanımların iyi soğutulması gereklidir. Donanımlar ortam sıcaklığı, aşırı zorlanma ve tozdan dolayı yeterince soğutulamamakta ve bu da donanımların sıcaklığını arttırmaktadır. Donanımları soğutabilmek için çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Bunlar: fan ile, soğutucu ile, ve su ile soğutma yöntemleridir. Termal kameralar donanımların üzerindeki ısı dağılımını analiz etmek daha iyi bir soğutma sistemi için uygun çözümler üretmek açısından uygun alıcılardır.

Benzer şekilde termal 3B modelleme, elektrikli ekipmanların ve süreç ekipmanların denetimi, sağlık, savunma ve bina tanılamaları için kullanımının yanı sıra bilgisayar donanım arızası tespitinde kullanılabilir. Bilgisayar donanımlarında elektronik bir parçanın arızalanmasından dolayı oluşan sorun, elektronik test cihazları ile her parçanın giriş ve çıkış değerleri ölçülerek tespit edilebilmektedir. Bu test süresi sistemin büyüklüğüne göre değişebilmektedir. Bilgisayar donanımları çalıştığı sürece elektrik akımına karşı direnç gösterdiğinden ısınmaktadır. Fakat donanımlarda ki sorunlu elektronik elemanlar elektrik akımına karşı daha fazla direnç uyguladığından ısıyı diğer parçalardan fazla olması beklenmektedir. Bu durum ısıya duyarlı çalışan termal kameralar ile kısa zamanda tespit edilebilir ve doğrudan sorun olan elektronik elemana müdahale etme imkânı sağlayabilir.

## **1.2 Termal Kamera ile İlgili Yapılmış Çalışmalar**

Termal kameraların uygun şekilde kalibrasyonu, kamera görüntülerinden yüksek doğrulukla ölçme üretmek için oldukça önemlidir. Bu nedenle termal kameraların kalibrasyonunu inceleyen birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların birinde, Yang (2011), klasik kalibrasyon yöntemlerinin, termal kameralara uygulanamayacağını savunmuştur. Termal kamera kalibrasyonu için çalışmada üç adet kalibrasyon deseni geliştirmiştir. Çalışma sonucunda geliştirdiği sistemin yüksek doğruluğa sahip olduğunu ve verimli 3-D yüzey sıcaklık dağılımı elde edilebileceğini tespit etmiştir [2].

Konu ile ilgili bilimsel çalışmalar incelendiğinde, termal 3B modelleme nesnesi olarak genelde binaların kullanıldığı görülmektedir. Weinmann ve diğerleri (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 [3]. Bina içlerinin modellemesi ile diğer çalışmayı Oreifej ve arkadaşları (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 [4]. Binaların termal 3B modellemesi ile ilgili başka bir çalışmayı 2012 yılında Ham yapmıştır. Yeni 3B termal modelleme algoritması ile yoğun bir termal nokta bulutu oluşturarak 3B modeli oluşturmuştur [5].

Termal kameralar ısı kaçaklarını tespit edebildiği için çalışmalarda binaların ısı durumlarını tespit edebilmek için termal modelleri oluşturulmuştur. Bu çalışmalardan bazıları; Dorit Borrman ve diğerleri(2012) yaptıkları çalışmada binalardaki ısıtma ve soğutma sistemlerinin enerji kayıplarını tespit edebilmek için binanın 3B modelini oluşturmuşlardır [6]. Stockton (2010) bir veri merkezinde güç tüketimi ve soğutma işlemlerini izleyebilmek için 3B görüntüleme sistemi üzerinde çalışmıştır [7]. Mario Ivan Alba (2011), farklı odak uzaklıklarına bağlı olarak kızılötesi alıcıların kullanımı üzerine çalışmıştır. Ek olarak 3B bina modeli üzerinde termal görüntüleri dokulandırmak için yeni bir prosedür tanımlamıştır [8].

Cho ve Wang (2011) çalışmasında 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 [9].

Benzer bir çalışma Nüchter (2012) tarafından yapılmıştır. Nüchter, 3B model oluşturmak için lazer tarayıcı ve termal kamera ile robot donatmıştır. Robotu bina içinde gezdirerek bina ve enerji bilgilerini toplamıştır [10].

3B model oluşturabilmek için termal kameranın yanı sıra başka kameralar da çalışmalarda kullanılmıştır. Pelagotta (2009) ve Gonzalez-Aguilera (2010) lazer tarama kullanmadan birkaç termal kameradan alınan görüntüler ile 3B model oluşturmuştur [11] [12]. Rangel (2014) yaptığı çalışmada termal kamera ve derinlik kamerasında oluşan bir sistem ile farklı açılardan alınan görüntüler ile otomatik termal 3B görüntüsü oluşturmayı amaçlamıştır [13]. Stephen Vidas ve arkadaşları (2013) çalışmalarında termal kamera ve RGB kamera kullanarak binalardaki kalorifer kazanları ve klima gibi sistemlerin 3B modelini düşük maliyetle gerçekleştirmeye çalışmışlardır [14].

Termal modelleme çalışmalarında bina modellemelerinin yanı sıra insanlar da 3B modellenmiştir. Nesnelere ve insan yüzlerinin görüntü tabanlı modellemesi üzerine çalışan Zhengyou Zhang (2001), bir kamera ile bilgisayarda bir nesnenin hareketini gösteren geometrik bir model oluşturmayı hedeflemiştir. Çalışmasında yaklaşık 100 farklı insan yüzlerinin modelini oluşturan bir sistem tasarlamıştır [15]. Stefan Markov ve Andreas Birk (2007) yaptıkları çalışmada 2B olarak insanların termal görüntülerini almışlardır. Kullandıkları matematiksel model ile 2B görüntüleri 3B hale getirerek elde edilen sonuçları bir arama ve kurtarma operasyonunda kullanılabileceğini savunmuşlardır [16].

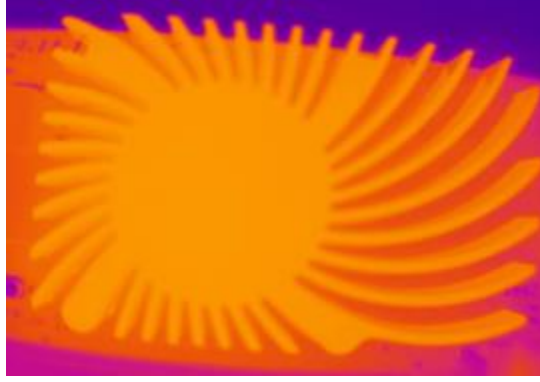
Koshan vd. (2006) araç bileşenlerinin termal 3B modeli ile bileşenlerin CAD modelleri üretimi arasındaki avantaj ve dezavantajları karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında Multi Service Elektro-Optic signature (MuSES) isimli programı kullanarak araç bileşenlerinin ısı görüntüleri ile 3B model oluşturmuşlardır. Böylece araç parçalarının simülasyon sorununu gidermeye çalışmışlardır [17]. Güç elektroniği bileşenlerinin termal performansı üzerine çalışan Salem ve arkadaşları (2005) MOSFET ve diyotların yüksek gerilim altındaki karakteristiğini termal görüntüleme ile çıkarmışlardır [18].

Bu çalışmada, Koshan (2006) ve Salem'in (2005) çeşitli sistemlerde yaptıkları çalışmalar gibi bilgisayar donanımlarının üretimde ve kullanıma bağlı oluşan donanımsal arızaların tespitini termal kameralar ile 3B model oluşturulup arıza tespit süresinin kısaltılması amaçlanmaktadır. Çalışmanın diğer amacı ise bilgisayar donanımlarındaki ısı kaynaklarını ve oluşan ısının dağılımını incelemektir. Çalışmada, bilgisayar donanımlarından olan ekran kartının 3B modeli oluşturulmuştur. Dolayısıyla termal kamera görüntüleri, bilgisayar, televizyon vb. birçok elektronik donanımın gerek üretim aşamasında gerek bakım ve tamir aşamalarında test edilmesine olanak sağlayan sistem kurulumları için uygulanabilirliği konusunda sonuçlar değerlendirilmektedir.

## **2. TERMAL KAMERALAR**

Termografik kameralar elektromanyetik spektrumun kızılötesi bölümündeki (yaklaşık 7500–13.000 nanometre veya 7,5–13 µm) elektromanyetik ışınımı tespit ederler ve bu ışınımdan resimler oluştururlar. Klasik dijital kameralardan farklı olarak termal alıcılar, cisimlerin kendi sahip olduğu enerjiden salınan kızılötesi ışınımı kayıt ederler. Cisim tarafından salınan ışınımın miktarı sıcaklık arttıkça artar, bu yüzden termografi sıcaklıktaki farkları görmemizi sağlar. Termografik bir kamera tarafından görüntülendiklerinde, sıcak cisimler daha soğuk arka planların yanında oldukça göze çarpar; insanlar ve diğer sıcakkanlı hayvanlar, gündüz veya gece, çevrede rahatlıkla görülebilir hale gelir. Termal kameraların elektrikli ekipmanların ve süreç ekipmanlarının denetlenmesinde, sağlık, savunma ve bina tanılamaları alanlarında kullanımı uygundur.

Termal kamerayla çekilen ısı görüntüleri, tematik olarak çok sıcak noktaları açık renkle, soğuk noktaları ise koyu renkle göstererek, problemin kaynağını ve izlenecek nesnenin konumunu kolayca bulunmasına yardımcı olur. Termal kameralar ortamın durumunu siyah - beyaz veya renkli gösterirler. Renkli olarak gösterdiği durumlarda bir standart olmasa da genel olarak görüntü işleme programlarında ortam sıcaklığına göre maviden sarıya kırmızı rengi kullanarak geçer. Resim 1’de görüldüğü gibi mavi en soğuk, sarı ise en sıcak bölgeleri gösterir.



**Resim 1.** Bir ekran kartının termal kamera görüntüsü

### **3. KAMERA KALİBRASYONU**

Kalibrasyon, bir ölçü sisteminin özellikleri arasındaki ilişkileri göstermek için belirlenen sayısal değerler sisteminin geliştirilmiş şeklidir. Kamera kalibrasyonu resim koordinat sistemi ile gerçek dünya koordinat sistemini arasındaki ilişkiyi yüksek doğrulukla kurabilmek için hassas şekilde gerçekleştirilmelidir. Fotogrametrik kameralar periyodik olarak laboratuvar ortamında kalibrasyona tabi tutulurlar. Fotogrametrik kamera kalibrasyonu, kamera sisteminin iç yapısını geometrik olarak en iyi şekilde ifade eden parametrelerin bulunması olarak açıklanabilir. İç yöneltme parametreleri olarak da bilinen bu parametreler odak uzaklığı, ana noktanın koordinatları ve distorsiyondur. Odak uzaklığı ( $c$ ) izdüşüm merkezinin ana noktaya olan uzaklığı olarak tanımlanabilir. İdeal durumda, odak uzaklığının izdüşümü resim düzleminin tam orta noktası olmalıdır ancak bu ideal durum gerçekleşmez ve orta noktadan sapma olur. Bu sapma ana nokta  $(x_0, y_0)$  olarak ifade edilir. Bir diğer parametre ise, giderilemeyen mercekle kusurlarından kaynaklanan distorsiyondur. Distorsiyon radyal, teğetsel, eksen eğiklikleri olmak üzere üç farklı polinomun katsayılarıyla modellenir [25].

Kamera kalibrasyonu fotogrametrik ölçmelerin yüksek doğrulukla sonuçlanması için oldukça önemlidir. Laboratuvar ortamında tespit edilen kalibrasyon parametreleri, fotogrametrik değerlendirme sırasında ayrıca kendi kendine kalibrasyon (self-calibration) yöntemiyle iyileştirilebilir [25]. Bu çalışmada laboratuvar ortamında kamera kalibrasyonu yapılarak fotogrametrik çalışmalar öncesi iç yöneltme elemanları tespit edilmiştir.

### **4. MATERYAL-METOT**

#### **4.1. Kullanılan Kamera**

Çalışmada Resim 2’de görülen PI450 model termal kamera kullanılmıştır. Kullanılan termal kameranın önemli teknik özellikleri Tablo 1’de açıklanmıştır.



**Resim 2.** PI450 Termal kamera

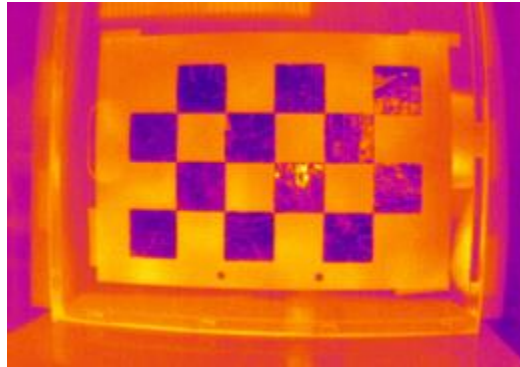
**Tablo 1.** Optris PI450'nin bazı teknik özellikleri

Piksel boyutu	25 x 25 $\mu$ m
Optik çözünürlük	382 x 288 Piksel
Spektral aralık	7,5 - 13 $\mu$ m
Maksimum sıcaklık	+900 °C
Görüntü frekansı	80 Hz
Optikler (FOV)	38 ° x 29 ° FOV / f= 15 mm
Sistem hassasiyet	$\pm$ 2 °C

#### 4.2. Termal Kamera Kalibrasyonu

İki önemli kalibrasyon metodu vardır: laboratuvar ortamında kalibrasyon ve kendi kendine kalibrasyon. Laboratuvar ortamında kalibrasyonda bir koordinat sisteminde tanımlanmış farklı yatay ve düşey konuma sahip çok sayıda kontrol noktasından oluşan bir test alanı ideal olanıdır. Ancak uygulama kolaylığı açısından ve yeterli doğruluğa ulaşması bakımından da satranç tahtası, daire ve halka şablonu gibi boyutları bilinen tanımlanmış düzlemsel desenler laboratuvar kalibrasyonunda kullanılabilir [14, 22, 23]. Çalışmalarda kullanılan şablonların boyutları kullanılan kamera çözünürlüğüne ve objektif büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir. Örneğin satranç tahtası deseninde kullanılan karelerin sayıları 10x10, 7x9 gibi çeşitli sıklıkta ve boyutta olabilir.

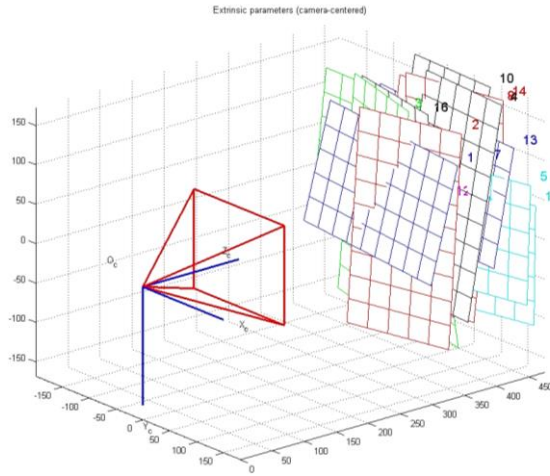
Termal kameralar, nesnelere yayılan ısıları algıladığından kalibrasyon için hazırlanan şablonun da farklı düzeylerde ısı yayması gerekmektedir. Şablonda ısı farkını sağlamak için Resim 3'te görüldüğü gibi en çok kullanılan satranç deseni üzerindeki siyah alanlar alüminyum bant ile kapatılmış, beyaz alanlar ise boş bırakılmıştır. Alüminyum, emisivite değeri düşük olduğundan daha az ısınmakta ve şablon zemini ile arasında sıcaklık farkı nedeniyle kontrast oluşturmaktadır. Isı farkını keskinleştirmek amacıyla hazırlanan şablonlar ısıtıcı ile ısıtılarak alüminyum ile kapalı alanlar ve arka plan arasında ısı farkı artırılmıştır.



**Resim 3.** Kullanılan kalibrasyon deseni

Kalibrasyon parametrelerinin doğruluğunun yüksek olması için tasarlanan şablonlar ısıtılarak Resim 4'te görüldüğü gibi farklı açılardan görüntüleri alınmıştır. Başarılı bir kalibrasyon için ideal görüntü sayısı 10 ile 20 arasında değişmektedir. Bu çalışmada toplam 16 adet görüntü alınmıştır. Alınan görüntüler Matlab Camera Calibration Toolbox [19] ile değerlendirilerek kamera kalibrasyonu

gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon parametrelerini elde etmek için programa dahil edilen görüntünün sadece dış kenarları işaretlenir. Matlab'ın geliştirdiği kalibrasyon aracı, oluşan karelerin kesişim noktalarını görüntü işleme algoritmalarını kullanarak otomatik olarak tespit ederek görüntü koordinatlarını ölçmektedir. Sonraki aşamada ise görüntünün kare sayısı ve kare boyutları girildiğinden noktalar arasındaki gerçek uzaklıklar metrik olarak bilinir, diğer bir ifadeyle ölçülen noktalar lokal bir koordinat sistemde tanımlanmış olur. Dolayısıyla ölçülen noktaların resim koordinatları ve bu noktaların cisim koordinatları bilindiğinden direkt lineer transformasyon yöntemiyle önce resimlerin altışar adet dış yöneltme parametreleri (resim izdüşüm merkezinin cisim koordinatları  $X_0, Y_0, Z_0$  ve resmin dönme açıları  $\omega, \phi, \kappa$ ) belirlenmiştir. Dış yöneltme parametreleri bilinen resimlerden geriye hesap ile elde edilen resim koordinatları ise iç yöneltme parametrelerini belirler. Otomatik ölçme sırasında düşük çözünürlüklü termal kamera görüntüsünün bazı bölgelerde yeterli kalitede olmaması nedeniyle ortaya çıkan ölçme hatası yüksek noktalar kalibrasyon hesabı dışında bırakılmıştır.



Resim 4. Şablonun görüntüleme açıları

Hazırlanan şablonların Matlab programı ile kalibrasyon sonuçları Tablo 2'de görülmektedir. Odak uzaklığı, izdüşüm merkezinin ana noktaya olan uzaklığını yatay ve dikey resim koordinat eksenlerine  $(c_x, c_y)$  göre ifade edilmektedir [19]. Kalibrasyon sonucu elde edilen ana nokta,  $2 \times 1$  vektörde saklanan ana nokta koordinatlarını  $(x_0, y_0)$ , distorsiyon katsayıları (kc) ise  $5 \times 1$  olarak saklanan radyal ve tanjantsal distorsiyonları standart sapmaları ile ifade etmektedir. Piksel hatası (err) ise resim koordinatı ölçme doğruluğunu temsil etmektedir.

Tablo 2. Şablonun kalibrasyon sonuçları

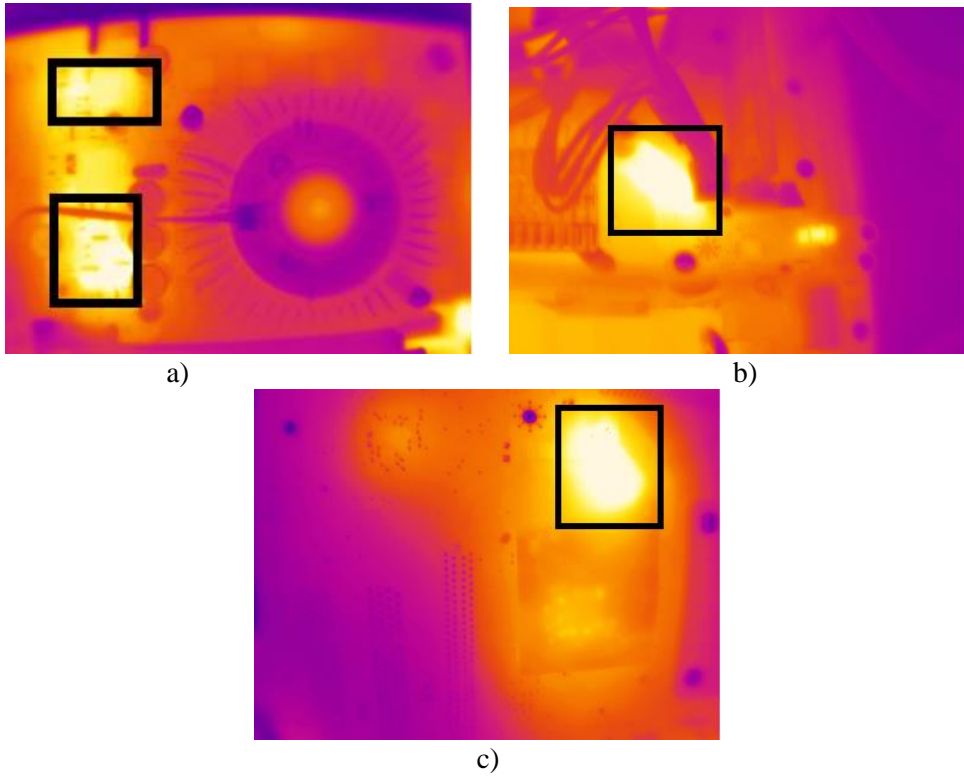
Odak uzaklığı $(c_x, c_y)$ (mm)	9.2253231	9.1588786
Ana nokta $(x_0, y_0)$ (mm)	5.0801971	3.9389651
Distorsiyon Katsayıları (kc)	[-0.31120 0.68864 -0.00546 -0.00515 0.00000]	
Pixel Hatası (err)	[0.97895 1.03893]	

#### 4.3. Ekran Kartının 3 Boyutlu Modellemesi

Çalışmada, bilgisayar donanımlarında oluşan donanımsal sorunların kolay bir şekilde tespit edilebilmesi ve ısı dağılımı analizi için termal 3B modelleme önerilmiştir. 3B modellemeyi gerçekleştirebilmek için bilgisayar donanımlarından biri olan ekran kartı kullanılmıştır. Ekran kartı, bilgisayarda işlenen dijital veriyi kullanıcının anlayabileceği şekilde görüntüye çevirip görüntüleme cihazına (monitör) gönderen bilgisayar donanımdır. Ekran kartları standart olarak tüm bilgisayarlarda anakarta sabit (onboard) ya da harici olarak bulunmaktadır. Bilgisayar oyunu yazılımları, grafik-çizim yazılımları gibi görüntüleme açısından yüksek performans gerektiren uygulamalarda ekran kartlarının grafiksel özellikleri üst

seviyede kullanılmaya başlanır. Bu da ekran kartının daha fazla çalışması ve ısınması anlamına gelmektedir. Ekran kartlarının ısınmalarını engellemek için çeşitli önlemler alınmıştır. Bunlar ekran kartının fanla soğutulması, alüminyum soğutucu ve sıvı ile soğutmadır. Ekran kartlarının soğuk laboratuvar ortamında çalıştırılması performanslarını arttırmak için diğer bir önlemdir.

Resim 5'te çeşitli bilgisayar donanımlarında oluşan sorunlar görülmektedir. Resim 5'te siyah kare ile işaretli olan kısımların ısı yüksek olduğu görülmektedir. Bu kısımlardaki elektronik parçaların sorunlu olarak çalıştığı tespit edilebilmektedir. Donanımlardaki sorunlar çözülmeden kullanılmaya devam edildikçe donanım kullanım süresi kısalmalı ve performanslı çalışmayabilir. Termal kamera ile ekran kartını görüntülediğinde sorunlu kısımların tespiti daha hızlı ve direkt soruna odaklı olacaktır. Resim 5a'da çalışır durumdaki ekran kartının ısı durumu görülmekte iken resim 5b ve 5c sırasıyla çalışan anakartın ön ve arka tarafından alınan ısı durumları görülmektedir. Resimlerde aşırı ısınma gösteren bölgeler siyah çerçeveler içerisinde alınarak işaretlenmiştir. Ekran kartı ve anakartta oluşan sorun, donanımların 3B modellenmesi ile doğrudan ve hızlı bir şekilde tespit edilebilir.



**Resim 5.** Sorunlu bilgisayar donanımlarının termal görüntüleri  
a) Ekran kartı b) Anakartın üst yüzeyi c) Anakartın alt yüzeyi

Çalışmada örnek bilgisayar donanımı olarak üzerinde alüminyum soğutucu bulunan ve ana karta bağlı olmayan bir ekran kartı kullanılmıştır. Kullanılan ekran kartı Resim 6'da, özellikleri ise Tablo 3'de listelenmektedir.

**Tablo 3.** Kullanılan Ekran Kartının Özellikleri

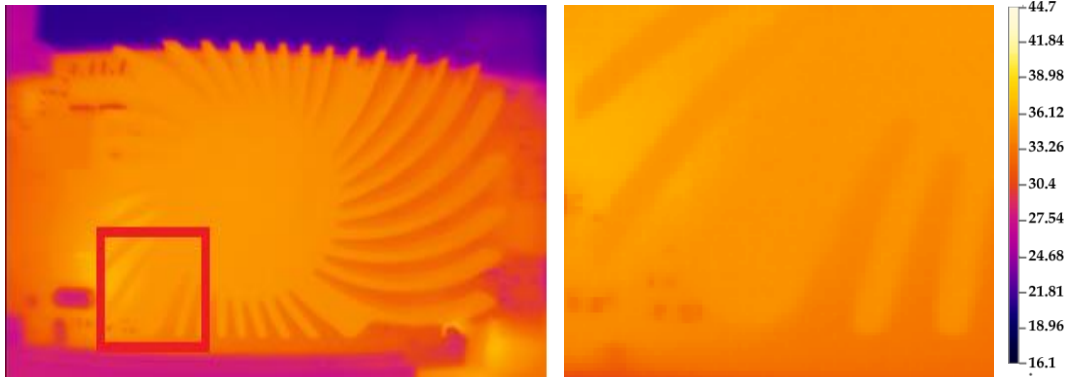
Bellek Boyutu	1024 MB
Çözünürlük	1440x900
Model	ATI 5450
Bellek Tipi	DDR3
Veri Yolu	64 Bit
Grafik Arabirimi	PCI Express 2.1



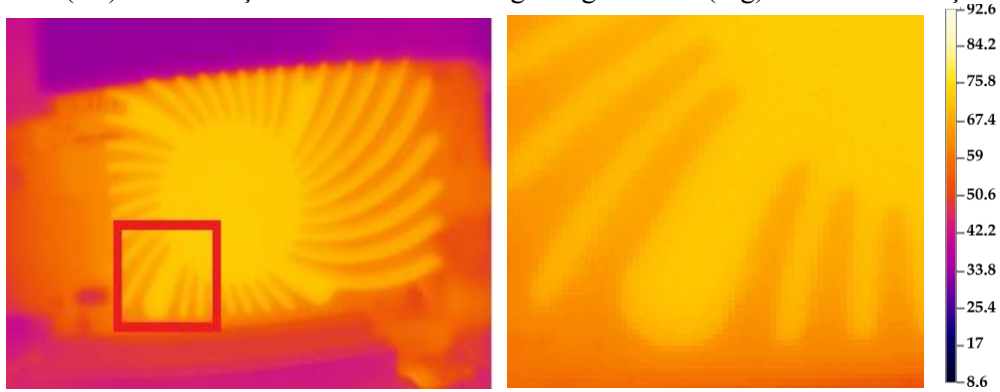
**Resim 6.** Kullanılan ekran kartı

Çalışma kapsamında kullanılan ekran kartı iki farklı durumda modellenmiştir. İlk durum işletim sistemi boştaki ekran kartının izlenmesi (masaüstünde hiçbir programın çalışmaması), ikinci durum ise üç boyutlu grafik gösterim performanslarını test eden 3D Mark isimli program ile ekran kartının yük altında izlenmesidir. Ekran kartının sıcaklığı sistem boştaki 35°C, sistem yük altında iken 65°C civarında olduğu tespit edilmiştir.

Ekran kartının sistem boştaki ve yük altındayken alınan görüntüleri ve bu görüntülerden alınan kesitler Resim 7 ve Resim 8’de görülmektedir. Sistem yük altında olduğunda ekran kartı soğutucusu ile zemin arasında ısı farkı daha fazla olduğundan sistem boştaki alınan görüntüye göre soğutucunun kanatları daha net ayrılabilir.



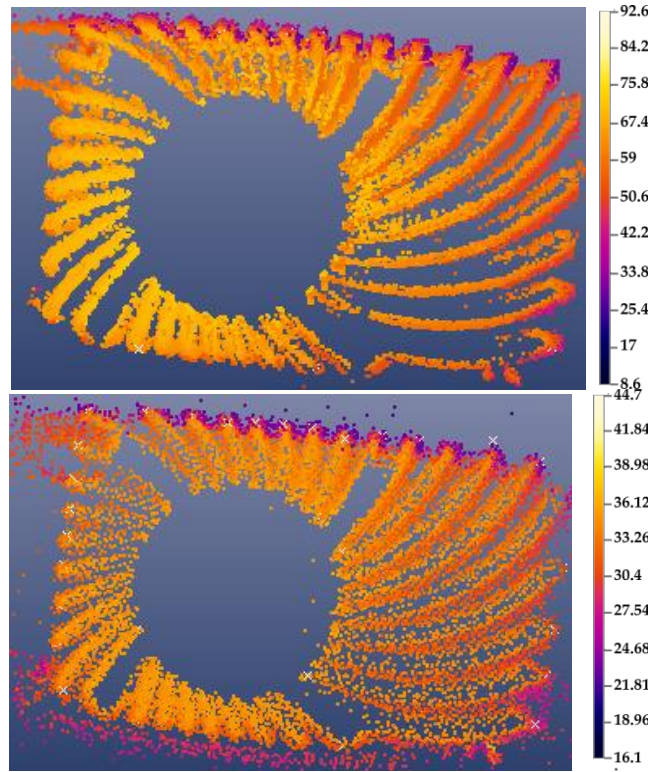
**Resim 7.** (sol) Sistem boştaki ekran kartının genel görüntüsü (sağ) Sol resimdeki işaretli kesit



**Resim 8.** (sol) Ekran kartı yük altında iken genel görüntü, (sağ) sol resimdeki işaretli kesit

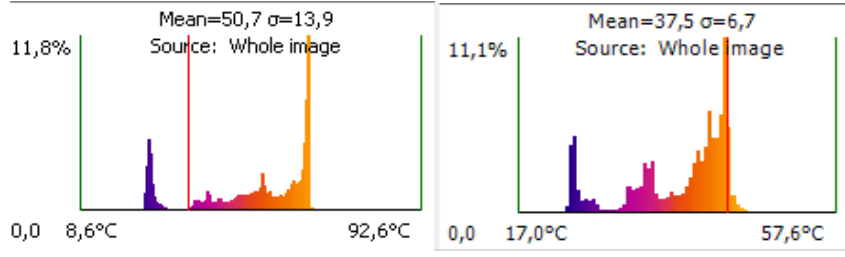


Son yıllarda gelişen otomatik görüntü eşlemeye (feature matching) dayalı çoklu-görüş stereo (multi-view stereo) uygulaması bu çalışmada Photomodeler programı ile gerçekleştirilmiştir. Çoklu-görüş stereo, farklı açılardan alınan görüntülerden 3B model oluşturmayı amaçlayan sistemdir [20]. Çoklu-görüş stereo algoritmaları iki temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada resimler karşılaştırılır ve piksel eşleştirmesi yapılarak 3B noktaları tahmin edilir. İkinci aşamada ise tahmin edilen 3B noktalardan 3B model oluşturulur [21]. Çoklu-görüş stereo sonucu elde edilen nokta bulutları Resim 9'da görülmektedir. Ekran kartı yük altında iken oluşan modelin sıcaklık dağılımı diğer model oranla daha yüksek olduğu resimlerde de anlaşılmaktadır. Ekran kartının işlemcisinde oluşan sıcaklığı üzerindeki soğutucu ile dağıtılmaya çalışılsa da sıcaklık yoğunlaşması merkezde oluşmaktadır. Benzer şekilde arızalı ekran kartında sorunlu kısmın modeli sıcaklık farkından dolayı daha net görünecek ve tespit edilebilecektir. Ekran kartı 3 boyutlu modellendiğinden sorunlu kısım çeşitli açılardan görüntülenir ve diğer parçalardan net bir şekilde ayırt edilebilir.



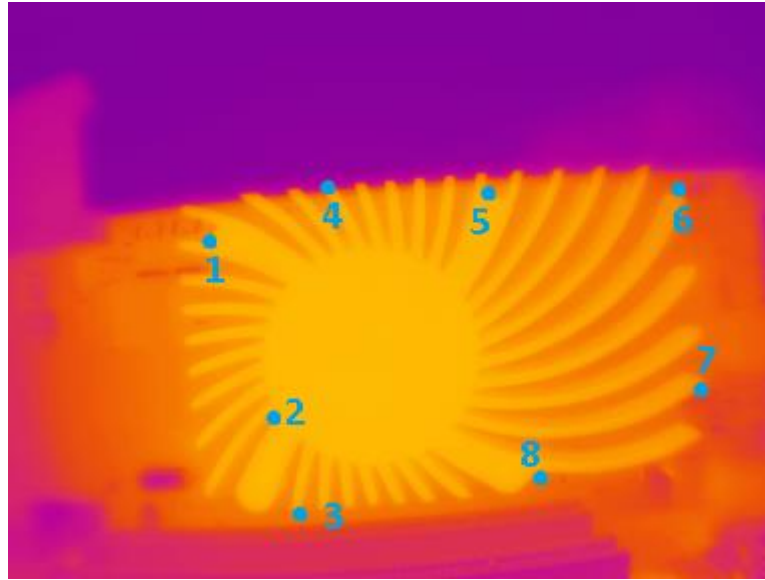
**Resim 9.** (üst) ekran kartı yük altında iken modeli, (alt) sistem boştaki ekran kartı modeli

Ekran kartından alınan görüntülerin histogram grafikleri Resim 10'da görülmektedir. Histogram grafiklerinde alınan görüntülerin sıcaklık aralığı görülmektedir. Tüm resmin analizi sonucu ortaya çıkan histogram grafiklerinde ekran kartı yük altında iken sıcaklığın ortalama 50.7 °C olduğu, normal koşullarda ise ortalama 37.5 °C olduğu görülmektedir. Aynı zamanda yük altında ekran kartının en yüksek sıcaklığı 92.6 °C iken, sistem boştaki ekran kartının en yüksek sıcaklığı 57.6 °C olarak tespit edilmiştir. Histogramlarda dikkati çeken diğer bir husus ise yük ve sıcaklık artışı sonrası görüntü piksellerinin değerleri için belirlenen standart sapmanın 6.7 °C den 13.9 °C 'ye yükselmiş olmasıdır. Bu da yüklenmeye bağlı olarak söz konusu donanımın sıcaklık dağılımının homojenliğinin azaldığına, bazı bölgelerinde uç değişimler gerçekleştiğine işaret etmektedir.



**Resim 10.** (sol) Ekran kartı yük altında histogram grafiği (sağ) sistem boşa iken ekran kartı histogram grafiği

Resim 11’de görüldüğü üzere, modeller üzerinden ekran kartının farklı bölgelerini kapsayacak şekilde dağılmış olan sekiz adet nokta seçilmiştir. Resim 11’de bulunan noktaların demet dengesi hesabında ortalama hata olarak kullanılan karesel ortalama hatası ve o noktadaki sıcaklık değerleri sistemin iki durumu için Tablo 4’te listelenmiştir. İki durum arasında aynı noktalarda dahi sıcaklık farkı yaklaşık olarak 30 °C olduğu görülmektedir.



**Resim 11.** Modelleme için seçilen noktalar

**Tablo 4.** Ekran kartı yük altında model sonuçları

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. Elde edilen modeller farklı lokal koordinat sistemlerinde oluşturulduktan sonra benzerlik dönüşümü kullanılarak aynı koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Ekran kartının iki durumundan alınan sekiz noktanın aynı koordinat sistemindeki X, Y, Z koordinatları Tablo 5'te listelenmektedir. Ekran kartı yük altında iken karesel ortalama hatanın genellikle daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ekran kartı yük altında iken alınan görüntülerin görüntüdeki zıtlık nedeni ile daha net olması olduğu söylenebilir. Derinliği ifade eden Z koordinatındaki hata oranının fazla olmasının nedeni termal kameradan alınan görüntülerin çözünürlüğünün düşük olması olarak değerlendirilebilir.

**Tablo 5.** Nokta bulutları 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	0.005289	0.002655	0.014696
2	0.005667	0.001499	0.016320	0.005612	0.001512	0.017345
3	0.006699	0.003624	0.017637	0.006717	0.003666	0.017347
4	0.005104	0.002679	0.014829	0.005096	0.002679	0.014206
5	0.002749	0.003513	0.014795	0.002711	0.003513	0.014371
6	0.003299	0.005318	0.017434	0.003306	0.005325	0.017555
7	0.003107	0.002268	0.017222	0.003164	0.002268	0.017042
8	0.003844	0.001515	0.017722	0.003819	0.001573	0.017323

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmada, bilgisayar donanımlarının üretim aşamasında kontrolü ve kullanım sırasında oluşabilecek donanım sorunlarının seri bir şekilde tespit edilebilmesi için 3B modeller oluşturulmuştur. Çalışmada incelenen diğer bir konu ise modelleme için kullanılan ekran kartının iki farklı durum altında sıcaklık dağılımının incelenmesidir. Bilgisayar donanımlarında sorun çıkarabilecek olan devre elemanları üzerinden geçen akıma direnç gösterdiğinden ısınmaktadır. Bilgisayar teknik servisinde sorunlu kısmın tespiti için donanımlarda bulunan elemanların giriş ve çıkış değerleri ölçüm cihazları ile belirlenmekte ve donanımın fabrika değerleri ile karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma sonucunda belirlenen uyumsuzluk ile sorunlu parça tespit edilmektedir. Bu yöntem fazla süre almaktadır. Bilgisayar donanımının arıza tespiti termal kamera ile 3B olarak modellendiğinde arızalı parça direk olarak seri bir şekilde tespit edilebilir ve arızalı parça büyük sorunlara yol açmadan gerekli önlem alınabilir. Bu parçalar işlemci çok çalışmadan dolayı ısıyorsa 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.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 114Y005 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] S. Soldan, J. Rangel ve A. Kroll, An Overview of Calibration Boards for the Geometric Calibration of Thermal Cameras, *InfraR&D 2011*, 2011.
- [2] R. Yang ve Y. Chen, Design of a 3-D Infrared Imaging System Using Structured Light, *IEEE Transactions on instrumentation and measurement*, pp. 608-617, 2011.
- [3] M. Weinmann, J. Leitloff, L. Hoegner, B. Jutzi, U. Stilla ve S. Hinz, Thermal 3d mapping for object detection in dynamic scenes, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, pp. 53-60, 2014.
- [3] M. Weinmann, J. Leitloff, L. Hoegner, B. Jutzi, U. Stilla ve S. Hinz, Thermal 3d mapping for object detection in dynamic scenes, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, pp. 53-60, 2014.
- [4] O. Oreifej, J. Cramer ve A. Zakhor, Automatic Generation of 3D Thermal Maps of Building Interiors, *American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc.*, pp. C1-C8, 2014.
- [5] Y. Ham ve M. Golparvar-Fard, Rapid 3D Energy Performance Modeling of Existing Buildings using Thermal and Digital Imagery, *Construction Research Congress 2012*, pp. 991-1000, 2012.
- [6] D. Borrmann, A. Nüchter, M. Đakulović ve I. Maurović, The Project ThermalMapper – Thermal 3D Mapping of Indoor Environments for Saving Energy, *Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pp. 4538-4539, 2012.
- [7] G. Stockton, Using thermal mapping at the data center., *Proc., InfraMation.*, 2010.
- [8] L. B. Mario Ivan Alba, Mapping Infrared Data on Terrestrial Laser Scanning 3D, %1 içinde *Remote Sensing*, Milan, 2011.
- [9] Y. Cho ve C. Wang, 3D Thermal Modeling for Existing Buildings Using Hybrid LIDAR System., *2011 ASCE Int Workshop on Computing in Civil Eng.*, 2011.
- [10] A. Nüchter, Project ThermalMapper, 2012. [Çevrimiçi]. Available: <http://www.faculty.jacobs-university.de/anuechter/thermalmapper.html>. [Erişildi: 2015].
- [11] A. Pelagottia, A. Del Mastio, F. Ucheddu ve F. Remondino, Automated multispectral texture mapping of 3D models, %1 içinde *the 17th European Signal Conference (EUSIPCO 2009)*, Glasgow, Scotland., 2009.
- [12] D. Gonzalez-Aguilera, P. Rodriguez-Gonzalvez ve J. Gomez-Lahoz, Camera and laser robust integration in engineering and architecture applications., *Sensor Fusion and its Applications*, 2010.
- [13] J. Rangel, S. Soldan ve A. Kroll, 3D Thermal Imaging: Fusion of Thermography and Depth Cameras, *Robotics and Automation (ICRA), 2013 IEEE International Conference on*, pp. 2311 - 2318, 2014.
- [14] S. Vidas, P. Moghadam ve M. Bosse, 3D Thermal Mapping of Building Interiors using an RGB-D and Thermal Camera, *Robotics and Automation (ICRA)*, pp. 2311 - 2318 , 2013.
- [15] Z. Zhang, *Image-Based Modeling of Objects and Human Faces*, 2001.

- [16] S. Markov ve A. Birk , Detecting Humans in 2D Thermal Images by Generating 3D Models, %1 içinde *30th Annual German Conference on AI*, Bremen, Germany., 2007.
- [17] A. Koschan, P. Govindasamy, S. Sukumar, D. Page ve M. Abidi, Thermal Modeling and Imaging of As-built Vehicle Components, *SAE 2006 World Congress*, 2006.
- [18] T. Salem, D. Ibitayo ve B. Geli, Calibration of an Infrared Camera for Thermal Characterization of High Voltage Power Electronic Components, *IMTC 2005 - Instrumentation and Measurement Technology Conference*, pp. 829-833, 2005.
- [19] Bouguet, Camera Calibration Toolbox for Matlab, 2010. [Çevrimiçi]. Available: [http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib\\_doc/](http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/).
- [20] S. Sakai, K. Ito, T. Aoki, T. Masuda ve H. Unten, An Efficient Image Matching Method for Multi-View Stereo, *11th Asian Conference on Computer Vision*, pp. 283-296, 2012.
- [21] E. Özüağ, M. K. Güllü, O. Urhan, S. Ertürk ve T. İşken, Çok-Bakışlı Stereo Yaklaşımı İle Yüksek Çözünürlüklü Bir 3-B Model Oluşturma Yaklaşımı, *IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU'2012)*, 2012.
- [22] X. Yang, Y. Huang ve F. Gao, A simple camera calibration method based on sub-pixel corner extraction of the chess board image, *IEEE Int. Conf. ICIS, Xiamen*, pp. 688-692, 2010.
- [23] L. Songand ve M. Wang, High precision camera calibration in vision measurement, *Opt. Laser Technol.*, p. 2007, 1413-1420.
- [24] Ş. Taşdemir, A. Ürkmez, M. Yakar ve Ş. İnal, Sayısal görüntü analiz işleminde kamera kalibrasyon parametrelerinin belirlenmesi, *IATS'09*, 2009.
- [25] T. Luhmann , J. Ohm, P. Johannes ve T. Roelf, Geometric calibration of thermographic cameras, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38: 411-416, 2010.