

# DÜŞÜK MALİYETLİ OPTİK TARAYICI SİSTEM TASARIM ÖRNEĞİ

O. Akyol <sup>a</sup>, Z. Duran <sup>b</sup>, U. Aydar <sup>b\*</sup>

<sup>a</sup> TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Çevre Enstitüsü P.K. 21 41470 Gebze, Kocaeli –  
onur.akyol@mam.gov.tr

<sup>b</sup> İTÜ, İnşaat Fakültesi Geomatik Müh. Bölümü, 34469 Maslak-İstanbul –  
(duranza, aydaru)@itu.edu.tr

**ANAHTAR KELİMELER:** Yersel Lazer Tarama, 3D modelleme, sanal gerçeklik modelleri

## ÖZET:

3D obje modelleme, tersine mühendislik uygulamalarından, mimari röleve çalışmalarına; deformasyon analizlerinden, sanal gerçeklik modellerinin oluşturulmasına kadar geniş bir yelpazede kullanım alanına ve öneme sahiptir. Yersel lazer tarayıcılar, son yıllarda yazılım ve donanım alanındaki hızlı gelişmelere paralel olarak, sağlamış oldukları hızlı 3D veri toplama avantajı ve ölçme doğruluğu bakımından çok çeşitli uygulama alanlarında kullanılmaya başlanmıştır. Lazer tarayıcılar çalışma prensiplerine göre 3 ana sınıfa ayrılmaktadır. Bu sınıflar, uçuş süresi temelli (Time-of-flight), faz farkı yöntemi (Phase shift) ve triangülasyon temelli (triangulation based) olarak ifade edilebilir. Bu çalışmada, triangülasyon yöntemine göre çalışan modüler bir tarayıcının yapılması ve elde edilen modellerin başka tarama cihazları ile elde edilecek 3D modellerle karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, DAVID lazer tarayıcı yazılımı kullanılmıştır. DAVID lazer tarayıcı, Dr. Simon Winkelbach, Sven Molkenstruck ve Prof. F. M. Wahl tarafından üç boyutlu lazer tarama için geliştirilmiş ücretsiz bir yazılımdır. Bu sistemi oluşturmak için bir bilgisayar, video kamera, kontrol noktaları için arka plan ve çizgi lazer gereklidir. Bu sayede herkes tarafından düşük maliyetli üç boyutlu tarama yapılabilir [1].

## 1. GİRİŞ

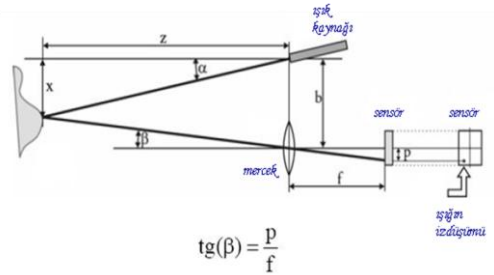
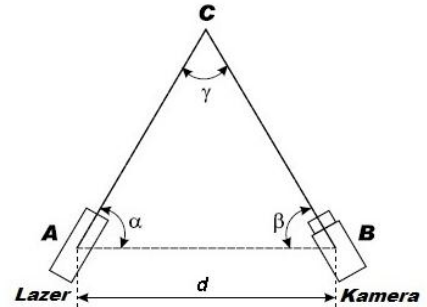
Son yıllarda, bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle kişisel bilgisayarların grafik işlemcileri güçlenmiş, buna bağlı olarak 3B modellerin gerek bilimsel gerekse son kullanıcıya yönelik kullanımı yaygınlaşmıştır. Artan 3B model talebi ile beraber; nokta bazlı lazer tarayıcıların yüksek maliyetleri ve bu cihazlarla elde edilen verilerin işleme güçlüğü, düşük maliyetli alternatif 3B tarama yöntemlerinin geliştirilmesine yol açmıştır.

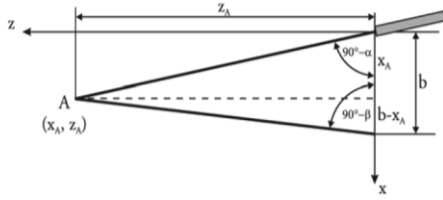
### 1.1 DAVID Lazer Tarayıcı

DAVID lazer tarayıcı, Dr. Simon Winkelbach, Sven Molkenstruck and Prof. F. M. Wahl tarafından üç boyutlu lazer tarama için geliştirilmiş ücretsiz bir yazılımdır. Bu sistemi oluşturmak için bir bilgisayar, video kamera, kontrol noktaları için arka plan ve çizgi lazer gereklidir. Bu sayede herkes tarafından düşük maliyetli üç boyutlu tarama yapılabilir [1].

### 1.2 Triangülasyon Temelli Tarayıcılar

Yapılandırılmış ışıktan 3B bilgi elde edilmesi, triangülasyon prensibine dayalı olarak yapılır. Triangülasyon prensibine göre lazer ve kamera arasındaki mesafe ( $d$ ) ve üçgenin iki açısı ( $\alpha$ ) ve ( $\beta$ ) bilinir ise ( $c$ ) noktasının koordinatının hesaplanması mümkün olur. ( $\gamma$ ) açısının büyüklüğü ise derinlikteki çözünürlüğe etki eder. ( $\gamma$ ) büyür ise derinlik çözünürlüğü artar, küçülür ise azalır [2].

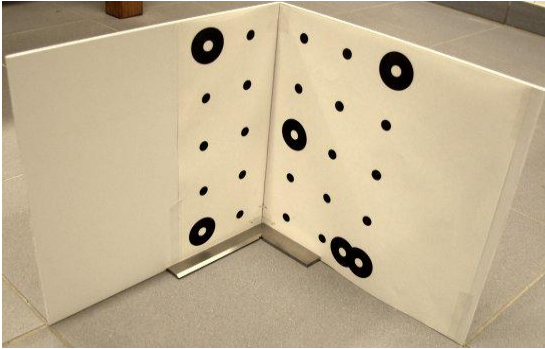




$$z_A = \frac{b}{\tan(\alpha) + \tan(\beta)} \quad x_A = z \cdot \tan(\alpha)$$

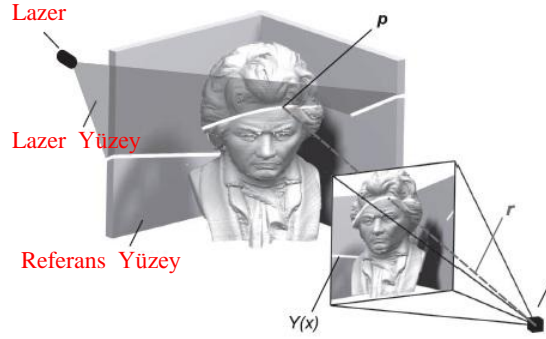
### 1.3 Lazer Kalibrasyonu

Triangülasyon temelli tarayıcı sistemlerde temel prensip bir önceki bölümde de ele alındığı üzere kamera, lazer ışını ve objenin oluşturduğu ışın uzayının matematiksel olarak belirlenerek resim ve cisim koordinatları arasındaki ilişkinin kurulmasıdır. Böylece yeni 3B nokta koordinatlarının bu matematiksel ifadeler yardımıyla hesaplanması mümkündür. David lazer tarayıcı sisteminde bu işlem önceden konumu belirlenmiş kontrol noktaları birbirine dik olarak yerleştirilerek kurulan arka plan düzeni ile yapılmaktadır.



Bu düzenek içerisine yerleştirilen obje üzerine düşürülen çizgisel bir lazer ışını aynı anda hem obje yüzeyi ile hem de iç geometrisi bilinen referans yüzeyi ile kesişmektedir. Böylece referans yüzeyi üzerine düşen lazer ışını gözlenerek lazer ışınının kalibre etmek ve lazer ışınlarının oluşturduğu yüzeyin denklemini hesaplamak mümkündür.[3] Bu işlem öncesinde kullanılacak olan kameranın kalibrasyonun yapılması gereklidir. Bunun için Tsai tarafından önerilen kamera kalibrasyonu yöntemi [4] kullanılmaktadır. Hassas 3D nokta koordinatlarının hesaplanabilmesi için lazer ışınının resim koordinatlarının mümkün olduğunca hassas bir biçimde belirlenmesi gerekmektedir. Bu sebeple referans yüzeyin lazer ışını olmaksızın bir görüntüsü alınır ve  $I_R$  olarak adlandırılırsa ve ikinci olarak lazer ışını olduğu halde görüntü alınarak  $I$  olarak adlandırılırsa iki görüntü farkından ( $I_d = I - I_R$ ) lazer ışınının resim koordinatlarını hesaplamak mümkün olur. Yatay olarak gönderildiği kabul edilen bir lazer ışınının her bir piksel üzerindeki görüntüsü, bir kolondaki en parlak piksellerin ortalaması olarak elde edilir. Elde edilen koordinatlardan obje üzerine düşen lazer ışınının denklemi  $Y(x)$  elde edilebilir. Işın denkleminin elde edilmesinden sonraki adım, lazer kaynağı ve referans yüzey arasında oluşan lazer yüzeyin denkleminin hesaplanması işlemidir. Rastgele seçilen ve doğrusal olmayan

olan 3 nokta  $Y(x_1)$ ,  $Y(x_2)$ ,  $Y(x_3)$  yardımı ile lazer yüzeyin denklemini ( $E_{Lazer}$ ) hesaplamak mümkündür.

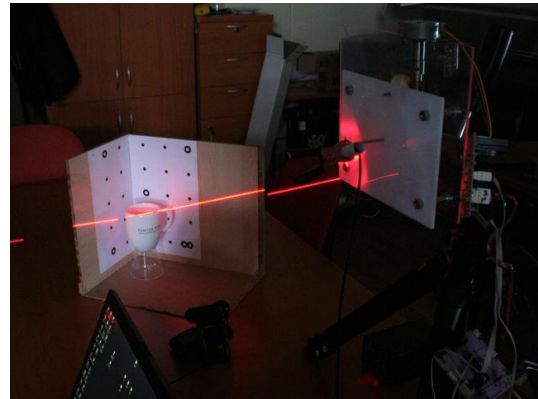


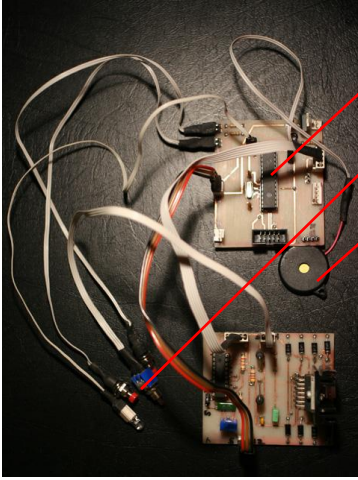
Lazer yüzey denkleminin ( $E_{Lazer}$ ) hesaplanmasından sonra, bir noktanın 3D koordinatı, o noktaya ait olan ve kamera sensörü üzerine izdüştürülen ışın ile yüzey denkleminin kesişiminin hesaplanması ile elde edilir.  $P = r \cap E_{Lazer}$

### 1.4 Sistemin Çalışması

Sistem, kamera ve kontrol noktaları sabit konumda iken lazer çizgisi kaynağının hareket ettirilmesi sureti ile çalışmaktadır. Ancak, lazerin el ile düzgün bir şekilde düşey eksenenden çıkmadan hareket ettirilmesi zor olduğundan, bu işlem için bir araç geliştirilmiştir.

Hareket mekanizmasında step motor, bu motoru kontrol edecek elektronik donanım ve dönüş hızını düşürmek için şanzıman sistemi bulunmaktadır. Motor kontrolünün PIC mikro denetleyici desteği ile sağlanması, sistemin otomatik hale getirilmesine olanak sağlamaktadır.





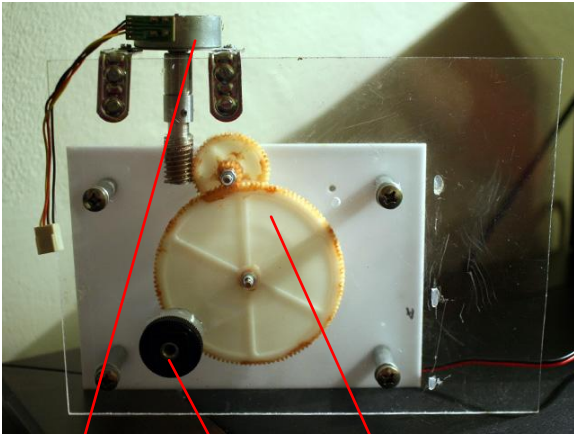
PIC mikro denetleyici

Kontrol tuşları ve ikaz lambası

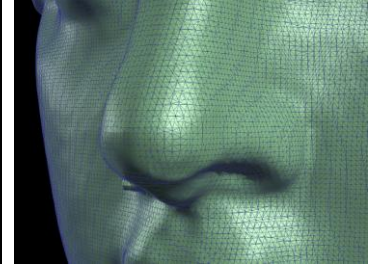
Hoparlör



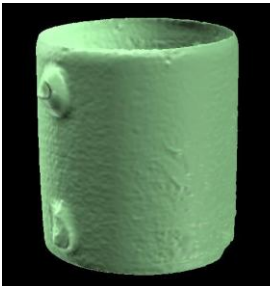
Lazer Hareket Mekanizması Kullanılarak Taranan Modeller



Step motor, Tripod bağlantısı, Şanzıman



## 1.5 Örnek Taramalar



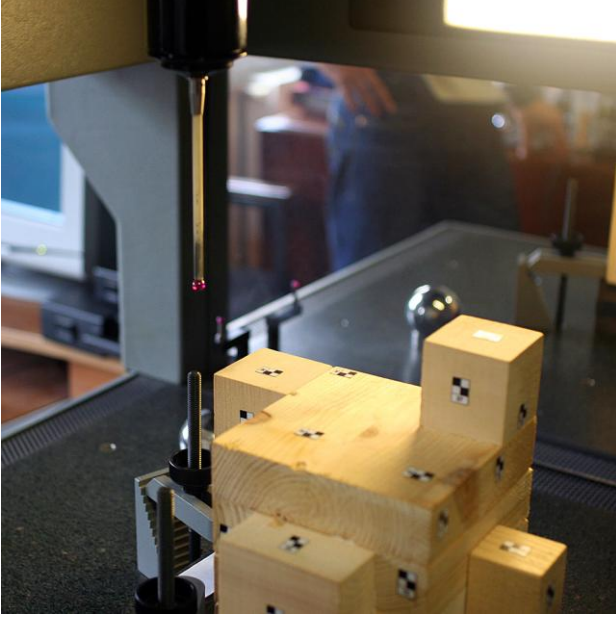
Manuel Taranan Modeller

## 2. PLANLANAN ÇALIŞMALAR

DAVID Lazer Tarayıcı, kullanıcılarına kontrol noktalarının bulunduğu arka plan haricinde bir donanım sunmamaktadır. Kamera ve çizgi lazer modelleri, kullanıcılar tarafından belirlenmekte ve temel ekipmanlarla tamamen manüel bir sistem elde edilmektedir. Bu çalışmada kullanılan lazer hareket mekanizması, sistemin otomatikleştirilmesi için ilk adımdır. Amaçlanan ise, modellenecek objenin de kendi ekseninde dönmesini sağlayacak yeni bir donanımın eklenmesi ve bir bilgisayar arayüzünün oluşturularak tarama işlemlerinin tek bir adımda otomatik olarak gerçekleşmesinin sağlanmasıdır.

Çalışmanın sonraki bölümlerinde daha kapsamlı test çalışmaları planlanmaktadır. Bu amaçla, bir test objesi oluşturulmuş ve obje ölçme probu kullanılarak hassas bir şekilde modellenmiştir. Oluşturulan bu obje, daha sonra David lazer tarayıcı ile ve fotogrametrik yöntem kullanılarak tekrar modellenecek ve elde

edilen üç farklı model karşılaştırılarak doğruluk kriterleri elde edilecektir.



[4] Tsai, R.Y.: An efficient and accurate camera calibration technique for 3d machine vision. In: IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition. (1986) 364–374

### 3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada oluşturulan sistem düşük maliyetli bir sistem olup, birtakım karşılaştırma çalışmaları sonucunda etkili sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Elde edilen modeller, üçgen modeller olup kullanılan kameranın elde ettiği görüntüler yardımıyla doku kaplama işlemi de yapılarak gerçek bir sanal gerçeklik modeli elde edilmiştir. Tarama hassasiyeti kullanılan kameranın çözünürlüğüne bağlı olmakla beraber, bu çalışmada elde edilen sonuçlar 0.15-0.20 mm'dir. Böyle bir sistem oluşturularak tarama yapılması durumunda, etkili ve doğru sonuçlar alınabilmesi açısından dikkat edilmesi gereken bir takım hususlar vardır. Bunlardan en önemlisi, kamera ve lazer kaynağının konumlarıdır. Kamera ve lazer kaynağı arasında uygun bir baz mesafesi olmalı ve oluşan üçgen açılarının dar açı olmamasına dikkat edilmelidir. Bir diğer önemli etken, kullanılan lazer ışınının kalınlığıdır. Obje üzerine yansıtılacak lazer ışını ne kadar ince ve keskin odaklanmış olursa o kadar iyi sonuçlar alındığı gözlenmiştir. Öte yandan, kameranın görüntüleme ayarlarından, sensöre gelen ışık miktarını ayarlayarak daha az noise içeren modeller elde edilebilmektedir. Yine yapılan çalışmalar sonucunda, tarama yapılan ortamdaki ışık miktarının sonuçlara önemli ölçüde etki ettiği gözlenmiştir. İyi bir model elde edilebilmesi için; modelin dokusunu oluşturacak fotoğrafların uygun ışık koşullarında çekilirken, objenin taranması işleminde ise mümkün olduğunca az ışıklı bir ortam oluşturulması gereklidir.

### 4. KAYNAKLAR

[1] <http://www.david-lazerscanner.com/>

[2] Zagorchev, L., Goshtasby, A.: A paintbrush laser range scanner. Computer Vision and Image Understanding 101 (2006)

[3] Winkelbach, S., Molkenstruck, S., and M. Wahl, F., Low-Cost Lazer Range Scanner and Fast Surface Registration Approach, DAGM 2006, LNCS 4174, pp. 718–728, 2006, Springer Berlin Heidelberg 2006