



**T. C.
SIVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FPGA TABANLI 3D LAZER TARAYICI TASARIMI VE
GERÇEKLEŞTİRİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mehmet İrfan GEDİK
(20169251003)**

**Optik Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Emre ÜNSAL**

**SIVAS
OCAK 2020**

Mehmet İrfan GEDİK'in hazırladığı ve "FPGA Tabanlı 3D Lazer Tarayıcı Tasarımı ve Gerçekleştirimi" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından OPTİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı Dr. Öğr. Üyesi Emre ÜNSAL
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi



Jüri Üyesi Prof. Dr. Bahriye AKAY
Erciyes Üniversitesi



Jüri Üyesi Prof. Dr. Fatih UNGAN
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi



Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Özlem Pelin CAN
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.



*Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından **TEKNO-024** Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.*



Bütün hakları saklıdır.
Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Mehmet İrfan GEDİK, 2020



Çalışma sırasında bana destek olan aileme ve tüm arkadaşlarıma...

ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

29.01.2020

Mehmet İrfan GEDİK

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Emre ÜNSAL' a teşekkür ederim. Ayrıca çalışma süresince bilgi ve desteklerinden faydalandığım Dr. Öğr. Üyesi Rukiye KARAKIŞ' a ve Dr. Öğr. Üyesi Kali GÜRKAHRAMAN' a çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimimin başlangıcından beri maddi ve manevi her zaman benim yanımda olan, yardımlarını esirgemeyen çok kıymetli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından TEKNO-024 No' lu projeye desteklenmiştir.

ÖZET

FPGA TABANLI 3D LAZER TARAYICI TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİMİ

Mehmet İrfan GEDİK

Yüksek Lisans Tezi

Optik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr.Öğr. Üyesi Emre ÜNSAL

2020, 39+xvi sayfa

Son yıllarda Üç Boyutlu (Three Dimension-3D) yazıcıların genel kullanımının artması benzer şekilde 3D tarayıcılarının gelişmesini de sağlamıştır. 3D Lazer Tarama temelde bir lazer ve bu lazer ışınını algılayan sensör teknolojisi aracılığıyla 3D nokta bulutu elde eden sistemlerdir. Lazer tarama sistemleri lazer ışınının parça üzerine yansması ve bu ışının parçadan geri yansması sonucu sensör üzerine düşürdüğü noktaların koordinatlarının belirlenmesi ile veriyi elde eder. Endüstri için geliştirilen temaslı ve temassız tarayıcılar uzun yıllardır kullanılmasına rağmen bu teknolojilerin üretim maliyetleri oldukça yüksektir. Bu sebeple, bu tez çalışmasında bir nesnenin daha az maliyetle ve hızlı prototiplemesini gerçekleştiren bir 3D tarayıcı sistemi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Günümüz teknolojisinde lazer tarama, parlak ve koyu renkli yüzeylerde optik tarama teknolojilerine göre daha verimlidir. Buna karşın lazer tarama sistemlerinin çözünürlük değerleri henüz optik tarama sistemleri kadar verimli değildir. Bu tez çalışmasında, çizgi tarama sensörü yardımıyla tarama işlemi ile elde edilen veriler bilgisayar ortamında nesnenin modellenmesi aşamasında kullanılmıştır. Çizgi tarama sensörleri tek bir piksel sırası kullanarak sürekli görüntüler oluşturabilir ve böylece çok daha yüksek çözünürlükler elde edilebilir. Yapılan çalışmada, Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri (Field Programmable Gate Array: FPGA) elektronik komponentlerin kontrol edilmesinde kullanılmıştır. MATLAB (Matrix Laboratory) yazılım geliştirme platformu aracılığıyla da nesnenin

3D modeli elde edilmiştir. Önerilen 3D lazer tarayıcı sistemiyle, nesne modellemesinin daha hızlı ve daha düşük maliyetli gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Böylece, 3D sistemler hem endüstri hem de ev kullanıcıları tarafından kullanılabilir.

Anahtar kelimeler: 3D Lazer tarayıcı, Çizgi tarama sensörü, Görüntü işleme, 3D görüntüleme, FPGA.



ABSTRACT

FPGA BASED 3D LASER SCANNER DESIGN AND IMPLEMENTATION

Mehmet İrfan GEDİK

Optical Engineering Department

Supervisor: Asst. Prof. Emre ÜNSAL

2020, 39+xvi pages

In recent years, the increasing general use of 3D (3 Dimension) printers has also led to the development of 3D scanners. 3D Laser Scanning is basically systems that obtain 3D point cloud through a laser and sensor technology that detects this laser beam. Laser scanning systems obtain the data by determining the coordinates of the points that the laser beam falls onto the sensor as a result of the reflection of the laser beam on the part and the reflection of this beam from the part. Although contact and non-contact scanners developed for industry have been used for many years, the production costs of these technologies are very high. Therefore, in this thesis, it is aimed to develop a 3D scanner system which performs rapid prototyping of an object with less cost. In today's technology, laser scanning is more efficient than optical scanning technologies on bright and dark colored surfaces. However, the resolution values of laser scanning systems are not yet as efficient as optical scanning systems. In this thesis, images obtained by scanning with the help of line scanning sensor are used in the modeling of the object in computer environment. Line scan sensors can produce continuous images using a single pixel sequence, resulting in much higher resolutions. In this study, Field Programmable Gate Array (FPGA) is used to control electronic components. MATLAB (Matrix Laboratory) software development platform through the 3D model of the object was obtained. With the proposed 3D

laser scanner system, object modeling is made faster and more cost-effective. Thus, 3D systems can be used by both industry and home users.

Key Words: 3D Laser scanner, Line scan sensor, Image processing, 3D imaging, FPGA.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK.....	vi
KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR.....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
KISALTMALAR DİZİNİ	xv
SİMGELER DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Araştırması	4
2. MATERYAL VE METOT	8
2.1 Materyal	9
2.1.1 TSL1401 Çizgi Tarama Sensörü	10
2.1.2 TI EK-TM4C123GXL LaunchPad	15
2.1.3 Çizgi Lazer	16
2.1.4 Altera Cyclone IV E	16
2.1.5 Lojik Analizör	17
2.1.6 TFT 128 x 160 LCD Modül	18
2.1.7 Elektronik Komponentler	19
2.2 Geliştirilen Metot	20
2.2.1 Sensör Parametrelerinin Lojik Analizör ile Tespiti	20
2.2.2 Savitzky-Golay Filtresi	22
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	24
3.1 Çizgi Tarama Sensörünün Test Edilmesi	25
3.2 Uygulama	27
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	34
5. KAYNAKLAR	36
ÖZGEÇMİŞ.....	39

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Tez çalışmasının blok diyagramı	10
Şekil 2.2. Çerçeve (frame) ve çizgi tarama sensörü.....	11
Şekil 2.3. TSL1401 üstten görünüş ve bağlantı yapısı.....	12
Şekil 2.4. Sensörün blok diyagramı	12
Şekil 2.5. Zaman – Dalgaformu	15
Şekil 2.6. Cyclone IV E paket yapısı	17
Şekil 2.7. Saleae lojik analizör.....	18
Şekil 2.8. 1.8 İnç 128 x 160 LCD modül ve bağlantı yapısı.....	18
Şekil 2.9. 16 MS/s örnekleme hızında saat sinyali ve seri giriş.....	20
Şekil 2.10. Şarj transfer zamanı	21
Şekil 2.11. Gürültülü sinüs sinyalinin düzgünleştirilmesi	23
Şekil 3.1. Deney ortamı	24
Şekil 3.2. Çizgi tarama sensörü, lazer ve ışık kaynağı.....	25
Şekil 3.3. Test için kullanılan model	25
Şekil 3.4. (a) Kamera sensöründen alınan anlık veriye ait basamak fonksiyonu (b) Tam bir tarama ile oluşturulan 2D görüntü (c) Tam bir tarama ile oluşturulan görüntünün yüzey grafiği (600x128 çözünürlüğünde).....	26
Şekil 3.5. 0-6 cm mesafe verisi.....	27
Şekil 3.6. Savitzky-Golay filtresi uygulanmış mesafe verileri	28
Şekil 3.7. Sistemi test için kullanılan modeller (a) Tekli geometri..... (b) Çoklu geometri.....	28
Şekil 3.8. (a) Şekil 3.7 a' daki model verilerine ait grafik (b) Şekil 3.7 a' daki model verilerine filtre uygulanarak oluşturulan grafik	29
Şekil 3.9. (a) Şekil 3.7 b' deki model verilerine ait grafik (b) Şekil 3.7 b' deki model verilerine filtre uygulanarak oluşturulan grafik	29
Şekil 3.10. (a) Şekil 3.7 a' daki modele ait uzaklık bilgisi (b) Şekil 3.7 b' daki modele ait uzaklık bilgisi	30
Şekil 3.11. (a) Şekil 3.7 a' daki modelin yüzey grafiği (b) Şekil 3.7 b' daki modelin yüzey grafiği.....	30
Şekil 3.12. (a) Şekil 3.7 a' daki model verileri ile oluşturulan nokta bulutu (b) Şekil 3.7 b' daki model verileri ile oluşturulan nokta bulutu.....	31

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2. 1. Sensörün bağlantı işlevleri.....	13
Çizelge 3. 1. 14-29. sütun aralığındaki değerler.	31
Çizelge 3. 2. Modellere ait hata oranları.....	32



KISALTMALAR DİZİNİ

3D: 3 boyutlu (3 Dimension)

CMMs: Koordinat ölçüm makineleri (Coordinate Measuring Machines)

LiDAR: Işık algılama ve uzaklık tayini (Laser Imaging Detection and Ranging)

GPS: Küresel konumlama sistemi (Global Positioning System)

MATLAB: Matris laboratuvarı (Matrix Laboratory)

FPGA: Alanda programlanabilir kapı dizileri (Field Programmable Gate Array)

DPI: İnç başına düşen nokta sayısı (Dots Per Inch)

FPU: Kayan nokta birimi (Floating-point Unit)

GPIO: Genel amaçlı giriş/çıkış (General-Purpose Input/Output)

VHDL: Çok yüksek hızlı entegre devre donanım tanımlama dili (Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language)

AHDL: Altera donanım tanımlama dili (Altera Hardware Description Language)

ABEL: Gelişmiş mantıksal ifade dili (Advanced Boolean Expression Language)

CUPL: Cornell Üniversitesi programlama dili (Cornell University Programming Language)

USB: Evrensel seri veriyolu (Universal Serial Bus)

LCD: Sıvı kristal ekran (Liquid-Crystal Display)

TFT: İnce tabakalı transistör - sıvı kristal ekran (Thin Film Transistor)

LPF: Alçak geçiren filtre (Low-Pass Filter)

CAD: Bilgisayar destekli tasarım (Computer Aided Design)

SLR: Tek mercek yansıtma (Single-Lens Reflex)

TOF: Uçuş süresi kamerası (Time of Flight)

SİMGELER DİZİNİ

V: Voltaj

mHz: Megahertz

mA: Miliamper

°C: Santigrat

kHz: Kilohertz

ms: Milisaniye

ns: Nanosaniye

µs: Mikrosaniye

cm: Santimetre

mW: Miliwatt

W: Watt

mm: Milimetre

Hz: Hertz

Ω: Ohm

AC: Alternatif akım

DC: Doğru akım

1. GİRİŞ

Günümüzde, lazer tarama için birbiriyle ilişkili fakat ayrı anlamlarda iki tanım mevcuttur. İlk tanıtımda, lazer tarama genel olarak görünür veya görünmez lazer ışınlarının kontrollü sapması anlamına gelmektedir [1]. Taranan lazer ışınları; stereolitografi makinesinde, hızlı prototiplendirmede, malzeme işleme için makinelerde, lazer gravür makinelerinde, presbiyopi giderilmesi için göz tedavisi ile ilgili lazer sistemlerinde, eşodaklı mikroskopide, lazer yazıcılarda, lazer şovlarda, lazer TV' de ve barkod tarayıcılarında kullanılır. İkinci tanıma göre lazer tarama; her bir işaretleme yönündeki mesafe ölçümlerince takip edilen lazer ışınlarının kontrollü yönlendirilmesidir. Genellikle üç boyutlu (3 Dimension-3D) nesne tarama veya 3D lazer tarama olarak adlandırılan bu yöntem, nesnelerin, binaların ve peyzajların şekillerini hızlıca yakalamak için kullanılır. 3D lazer tarama sistemleri, "Tersine Mühendislik" olarak adlandırılan yeni bir çalışma alanının ortaya çıkmasında etkili olmuştur. Tersine Mühendislikte, nasıl tasarlandığı ile ilgili hiçbir sayısal verinin olmadığı örnek bir ürün üzerinde 3D tarama yapılarak ürünün tasarım ve mühendislik anlamında iyileştirilmesi ve/veya yeniden üretilmesi için gerekli kaynaklar oluşturmaktadır.

Günümüzde bilgisayarlar ile son derece karmaşık bir 3D model oluşturmak çok hızlı ve kolay olsa da 3D tarayıcıların geliştirildiği ilk yıllarda bu modellerin oluşturulması oldukça zordu. 1980'li yıllarda alet üretim endüstrisi için model oluşturabilen bir temas probu (contact probe) geliştirilmiştir. Ancak, temas probu işlemleri oldukça yavaş gerçekleştiğinden, uzmanlar aynı miktarda ayrıntıyı yakalayan ve daha yüksek hızda çalışabilecek optik teknoloji sistemlerini bu alanda kullanmaya başlamışlardır. Çünkü fiziksel bir prob yerine ışık kullanmak hem daha hızlıdır hem de bölünme ya da parçalanma tehlikesi bulunan hassas nesnelerin taranmasına da imkan sağlamaktadır [2].

3D tarayıcılarda genellikle nesnenin yüzeyindeki geometrik örneklerden nokta bulutu oluşturulmaktadır. Bu noktalar daha sonra yeniden yapılandırma olarak adlandırılan nesnenin şeklini çıkarmak için kullanılmaktadır. 20. yüzyılın son yarısında geliştirilen ilk tarayıcılarda, 3D lazer tarama ile çeşitli nesnelerin ve alanların yüzeylerini doğru bir şekilde yeniden oluşturmak için ışık, kamera ve projektörler kullanılmıştır. Ancak bu tarayıcılardaki ekipmanların sınırlarının olması sebebiyle

nesneleri doğru bir şekilde taramak için çok zaman ve maliyet gerekmiştir. 1985' ten sonra geliştirilen yeni tarayıcılarda beyaz ışığı, lazerleri, gölgelenmeyi ve belirli bir yüzeyi yakalayabilmek mümkündür [3]. Bu teknolojiler özellikle araştırma ve tasarım alanlarında kullanılmıştır.

3D tarayıcıların kameralar gibi koni benzeri bir görüş alanı mevcuttur ve böylelikle görülebilir yüzeyler hakkında da bilgi toplayabilmektedirler. Kamera ile görüş alanındaki yüzeyler hakkında renk bilgisi toplanırken, 3D tarayıcı ile görüş alanındaki yüzeyler hakkında mesafe bilgisi de elde edilmektedir. Bir 3D tarayıcı tarafından üretilen “görüntü”; görüntünün her noktasında bir yüzeye olan uzaklığı tanımlar. Böylelikle görüntüdeki her noktanın üç boyutlu konumunun tanımlanmasına izin verir. Ancak, tek bir tarama ile nesnenin tam bir modeli genellikle oluşturulamaz. Nesnenin her bölümü hakkında bilgi edinmek için genelde birçok farklı yönden çoklu taramalar gereklidir. Bu taramalar ortak bir referans sisteme göre yapılmaktadır. Bu süreç; hizalama veya renk yerleştirmeyi ve ardından tam bir model oluşturma adımlarını içermektedir [4]. Hizalama yöntemi ile elde edilen 2 görüntü arasında birbiriyle uyumlu 3 nokta belirlenir. Bu noktaların karşılıklı gelmesi sağlanarak 3D görüntü elde edilir. Renk yerleştirme işleminde, taranan nesne yüzeyindeki renk değerleri hizalama sonrasında elde edilen modelin yüzeyi ile optimize edilir. Renk yerleştirme işleminin sonucunda tam bir model elde edilmiş olur.

Bir 3D nesnenin şeklini sayısal olarak elde etmek için çeşitli teknolojiler mevcuttur. Bu teknolojiler, temaslı (contact) ve temassız (noncontact) 3D tarayıcılar olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır [5]. Temassız 3D tarayıcılar; aktif tarayıcılar ve pasif tarayıcılar olmak üzere iki ana kategoride sınıflandırılır. Temaslı 3D tarayıcılar, sabit bir platform üzerinde çalışacak şekilde kalibre edilmiş mafsallı bir mekanik kolun ucunda bulunan bir prob içerir. Bu kol, parçanın yüzeyinde robotik veya manuel olarak manipüle edilebilir. Prob ise nesne yüzeyi ile temas ettiğinde tarayıcı aracılığıyla armatürün konum ölçümlerini (X, Y, Z) olarak kaydeder [6]. Kaydedilen konumlar ile 3D mesh yapısını hesaplamak için kullanılacak bir nokta bulut oluşturulur. Örneğin, koordinat ölçüm makinelerinde (Coordinate Measuring Machines-CMMs) kullanılan bazı hassas 3D tarayıcılar, montaj hatalarının erken tayini için üretim endüstrisinin denetiminde sıklıkla tercih edilmektedirler. Ancak, 3D temaslı tarayıcılar hem yavaş tarama oranlarına sahiptir hem de değerli sanat

eserleri gibi hassas nesnelere tarama yapılırken fiziksel temas yüzeye zarar verebilmekte ve hatta nesneyi deforme edebilmektedir [7]. Bu sebeple, temassız 3D tarayıcılar bir nesne yüzeyiyle fiziksel temas kurmayacak şekilde geliştirilmiştir. Bu tarayıcılar, bir nesneyi taramak için aktif veya pasif teknikler kullanırlar ve 3D görüntüleme için daha hassas nokta bulutu elde edebilirler [7].

Günümüzde, gerçek dünyadaki nesnelere sayısallaştırmak için daha hızlı ve doğru yöntemler sunan 3D tarayıcılar parça denetimi, paket ve ergonomik tasarım, sağlık hizmetleri, tarihi muhafaza ve hızlı prototipleme için kullanılmaktadır. 3D tarayıcılar, karmaşık yüzey yapılarını poligonal yüzeylere dönüştürmektedir ve bu yüzeyler çeşitli bilgisayar destekli tasarım (Computer Aided Design-CAD) uygulamalarına kolaylıkla aktarılmaktadırlar. Böylelikle poligonal yüzeyle CAD nesnelere birleştirilerek orijinal parçalarda yeni ayarlamalar yapılabilmektedir veya kişiselleştirilmiş ergonomik parçalar oluşturabilmektedir. Bu parçaların CAD modelleri de prototipleme makineleri kullanılarak hızlıca ürüne dönüştürülmektedir.

3D tarama sistemleri, binalarda güvenlik nedeniyle insanların erişemeyecekleri yerlerde kayıt yapmak için kullanılmaktadır. Bu sistemlerde kullanılan teknolojiler, diğer klasik metroloji teknolojileri ve tekniklerine kıyasla yüksek çözünürlük ve daha hızlı 3D dijitalleştirme olanağı sağlamaktadır. Örneğin, olay yeri senaryoları; mermilerin yörüngesi ve suçun meydana geldiği yerle ilgili bilgiler girilerek lazer ölçüm teknolojileri yardımıyla gerçekleştirilir. Ayrıca, 3D modelleme, 3D oyun, 3D özel efektler, 3D animasyon ve gelişmiş görselleştirme gibi diğer uygulamalarda da tercih edilmektedirler.

3D tarayıcı teknolojisi son yıllarda endüstride de yaygın kullanım alanlarına sahiptir. Bu teknoloji, üzerinde çeşitli komponentlerin bulunduğu baskı devre kartlarının denetiminde, bütün elektronik bileşenlerinin montaj ve bağlantılarının kontrol edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca 3D görüntüleme, devre yolunun kalınlığı veya bağlanma noktalarının bütünlüğü gibi kritik faktörlerin ölçülmesini sağlamaktadır. Böylece, arızalı lehimleme, yabancı parçacıklar veya bileşenlerin hatalı konumlandırılması gibi durumlar otomatik olarak algılanmaktadır. Ayrıca, karmaşık demiryolu ağlarında demiryolu araçlarının hatasız bir şekilde çalışmasının sağlanması yüksek hassasiyetli 3D görüntü yakalama sistemleri ile gerçekleştirilmektedir.

Bu tez çalışmasında, pek çok farklı amaç için genellikle profesyonellerce kullanılan 3D tarayıcı sistemlerinin, normal kullanıcılar tarafından daha az maliyetle kullanılmasını sağlayacak ve taranılan nesnelerin genel yapısını ortaya koyacak bir temassız 3D lazer tarama sistemi önerilmektedir. Bu sistemde, taranılacak nesnelere fiziksel zarar vermemek ve nesnenin modelini hızlı oluşturmak amaçlanmıştır. Günümüz teknolojisinde lazer tarama, parlak ve koyu renkli yüzeylerde optik tarama teknolojilerine göre daha verimli sonuçlar verebilmektedir. Buna karşın lazer tarama sistemlerinin de çözünürlük değerleri henüz optik tarama sistemleri kadar verimli değildir. Bu tez çalışmasında ise çizgi tarama sensörü kullanılarak nesnenin tarama işlemi ile elde edilen görüntülerinden bilgisayar ortamında modellenmesi sağlanmıştır. Çizgi tarama sensörleri tek bir piksel sırası kullanarak sürekli görüntüler oluşturmaktadır ve böylece yüksek çözünürlükler elde edilebilmektedir. Yapılan çalışmada, Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri (Field Programmable Gate Array: FPGA) elektronik komponentlerin kontrol edilmesinde kullanılmıştır. MATLAB (Matrix Laboratory) yazılım geliştirme platformu aracılığıyla da nesnenin 3D modeli elde edilmiştir.

Aşağıda konu ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar verilmiştir.

1.1. Literatür Araştırması

Altan ve Aydar yaptıkları çalışma ile 3D yüzeyleri toplam en küçük kareler yöntemiyle eşleştirmiştir. 3D modelleme için öncelikle parçalar halinde elde edilmiş olan nokta bulutlarını birleştirmişlerdir. Farklı istasyonlardan taranarak elde edilmiş olan ve her biri yerel bir koordinat sisteminde tanımlı yüzey parçaları arasındaki dönüşüm parametrelerinin hesaplanması ve bu iki yüzeyin tek bir koordinat sistemine dönüştürülmesi için de eşleştirme yapılmıştır. Bu çalışmada, modele uygun bir çözüm yöntemi kullanılarak yüzey birleştirilmesi önerilmiştir. Ayrıca eşleştirme algoritması için bir takım eşik değer tanımlamaları ve koşullar kullanılmıştır [8].

Petty, Robinson ve Evan yaptıkları çalışmada, ölçüm için iki çizgi tarama kamerasından oluşan dönen bir stereoskopik görüntüleme sistemini araştırmışlardır. Tanımlanan bir nesneden, üç boyutlu koordinatların türetilmesine izin veren algoritmalar önerilmiş ve deneysel olarak test edilmiştir. Stereoskopik görüntülemenin kullanımı yeni değildir. Ancak, bu yaklaşımda, dönen çizgi tarama

kamerasını çevreleyen çalışma alanının panoramik görüntülerini üretmek için yöntem geliştirilmiştir. [9].

Ozan ve Gümüştekin yaptıkları çalışmada, çift çizgisel lazerli bir 3D ortam tarayıcısının kalibrasyonunu sağlamışlardır. Geleneksel lazer tarayıcı sistemler bir adet lazer ışık kaynağına sahiptir. Ancak, bu çalışmada iki adet lazer ışık kaynağına sahip bir 3D lazer tarayıcı oluşturulmuştur. Birden fazla lazer kaynağına sahip lazer tarayıcılar için kalibrasyon önemli bir problemdir. Bu sebeple, bu problemin çözümü için taranan sahnelerdeki dikgenlik ve eş-düzlemsellik bilgilerini kullanmışlardır [10].

Duran ve Akyol yaptıkları çalışmada Geomatik Mühendisliği' nin uygulama alanlarından biri olan 3D Modelleme alanında kullanılmak üzere, düşük maliyetli lazer tarama sistemi tasarlamışlardır. Yapılan bu çalışmada, lazer triangülayon yöntemini kullanan DAVID Laser Scanner yazılımı ile üzerinde kontrol noktaları bulunan bir test objesi taranmıştır. Kontrol noktalarını, 3D model verisi üzerinden doğruluk analizinde kullanılacak ölçülerin alınmasında ve sonraki aşamada uygulanacak olan dijital fotogrametri yönteminde bağlanma noktaları olarak kullanmışlardır [11].

Çelik ve Yüksel yaptıkları çalışmada geniş bir kullanım alanına sahip 3D lazer tarayıcılarının, kültürel miras dökümantasyonunda kullanımı ve bunların mimari değerlendirilmesini sağlamışlardır. Geliştirilen lazer tarama teknolojisi, Türkiye'de ilk defa Seddülbahir projesi kapsamında büyük ölçekli mimari bir alanın dökümantasyonunda kullanılmıştır. Çalışmada, duvardan taşları çıkartabilmek için, noktalardaki derinlik farkını analiz eden araçlar incelenmiştir [12].

Şeker ve Erbil yazıcıların obje yüzeylerinin belirlenmesinde lazer tarayıcılarının kullanım olanaklarını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, numune yüzeyleri lazer tarama tekniği kullanılarak modellenmiştir ve yüzeylerin 3D sayısal haritaları elde edilmiştir. Taş parçalarının kırılma deneyi sonunda yüzeylerinde oluşan pürüzlülüğün ölçülmesi ve matematiksel olarak ifade edilmesini sağlamıştır. Kırılma deneyi sonunda oluşan yüzeyleri incelediklerinde, en uygun ölçme ve modelleme yönteminin yersel lazer tarama olduğuna karar vermişlerdir [13].

Koyuncu ve Küllü 3D lazer tarayıcı ve bilgisayar teknikleri ile cisimlerin sanal ortama aktarılmasını incelemişlerdir. Çalışmada, farklı büyüklüklerdeki nesnelerin uygun bir sürede 3D modellerini çıkaran, düşük maliyetli bir 3D tarayıcı geliştirilmiştir. Yapılan tarayıcıda doğrusal bir Helyum-Neon (HE-NE) lazer ışık vericisi, iki standart web kamera, bir adım motoru, motor kontrol kartı ve bir kişisel bilgisayar kullanılmıştır. Nesneler, adım motoru ile bilgisayardan hareket ettirilen yuvarlak bir döner platform üzerine yerleştirilerek üzerlerine lazer ışık düşürülmüştür ve kameralar bu şekilde görüntü almıştır. Görüntülerde nesne yüzeyine düşen ve yansıyan ışığın gözlemlendiği resim ögesi (piksel) pozisyonları kullanılarak bilgisayar vasıtasıyla 3D sanal modeller oluşturulmuştur [14].

Yukarıda da örnekleri verilen çalışmalarda bilgisayarla görü entegratörleri, bir tasarım yapılırken ve bir sistem denetlenirken pek çok seçenekle karşı karşıyadır. Ancak, tasarımlarda en zorlayıcı karar, çizgi tarama ya da alan tarama kameralarının problemin çözümü için seçilmesidir. Bu kameralarda kullanılan teknolojiler, görüntülerin elde edilmesi aşamasında farklılaşmaktadır.

Çizgi tarama kameraları, bir nesnenin üzerinde doğrusal hareket ederek veya daha sık olarak sensörün altından geçerek görüntüleri tek seferde tek bir piksel sırayla oluşturmaktadır [15]. Çizgi tarama kameraları tek bir piksel sırası kullandıklarından, belirli bir dikey çözünürlükle ve sınırlı olmayan sürekli görüntüler oluşturabilmektedir ve böylece hem 2D hem de 3D taramalarda, alan tarama kameralarına göre yüksek çözünürlüklere ulaşabilmektedirler. Ayrıca, çizgi tarama kameraları ile hızlı hareket eden nesnelerin çerçeve (frame) çakışmalarının işlenmesine gerek kalmadan uygun görüntüler oluşturulmaktadır.

Buna karşılık, bilgisayarla görü sistemlerinin çoğunda daha genel amaçlar için alan tarama kameraları kullanılmaktadır. Bu kameralar, bir sahnenin 2D görüntüsünü yatay ve dikey olarak, örneğin 640 x 480 çözünürlükte, bir pozlama döngüsünde yakalayan bir piksel matrisi içerirler. Kolay kurulurlar ve görüntü hizalama imkanı sağlarlar, ancak nesne denetleme esnasında hareket halindeyse veya uygulanabilir boyutta bir görüş alanı mevcut değilse her zaman etkili olamazlar. Bu sebeple, alan tarama kameraları, özellikle nesnenin sabit olduğu uygulamalarda tercih edilmektedir. Alan tarama kamerası ile sürekli çalışan bir sistemde nesne yakalama işlemi yalnızca örtüşen görüntüleri yakalayıp elde edilmektedir. Bunun için

yazılımda, her bir görüntü titizlikle kırılmalı, distorsiyon ortadan kaldırılmalı ve görüntüler doğru sırayla birleştirilmelidir [15].

Bu tez çalışmasında, çizgi tarama sensörü kullanılarak nesne üzerine düşürülen lazer çizgisinin ışık yoğunluğu bilgisinden nesneye ait uzay koordinatlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen sistemin, 3D Lidar tarama sistemi ile benzerliği bulunmakla birlikte, Lidar tarama sistemlerinde nesnenin deniz seviyesinden yüksekliği, GPS verileri kullanılarak elde edilmektedir. Bu tezde ise kapalı bir sahne oluşturulmuştur ve bu sahne yardımı ile nesnenin sensöre olan uzaklığı elde edilmiştir ve bazı alınan noktalar kullanılarak ara değerler doğrusal interpolasyon yöntemi ile hesaplanmıştır. Böylece, çizgi tarama sensörü ile elde edilen analog veri, herhangi bir çoklu işleme gerek duyulmadan görüntü üzerinde her bir piksel satırını kolayca işlemektedir.

Bu tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde, geliştirilen 3D lazer tarayıcı sistemi için kullanılan materyal ve metot anlatılmaktadır. Üçüncü bölümde, geliştirilen 3D lazer tarayıcı sisteminin test edilmesi sonucunda elde edilen bulgular bulunmaktadır. Dördüncü bölümde ise yapılan tez bütünüyle değerlendirilmektedir ve gelecekteki çalışmalara yönelik öneriler verilmektedir.

2. MATERYAL VE METOT

Son yüzyılda teknolojideki gelişmeler ile birlikte görüntüleme teknolojileri de büyük bir hızla gelişmiştir. Görüntüleme; astronomi (the Hubble teleskobu), mikroskopi (eş odaklı görüntüleme [16], yüksek çözünürlüklü mikroskopi [17]), tüketici fotoğrafçılığı (cep telefonu fotoğrafçılığı), eğlence sistemleri (Microsoft Kinect [18], Intel RealSense [19]) ve bağımsız sürüş sistemleri (Lidar sistemleri) vb. gibi pek çok alanda kullanılmaktadır ve insan hayatını kolaylaştırarak modern hayatın itici gücü olmaktadır.

Görüntüleme; genel olarak pasif ve aktif görüntüleme olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Pasif görüntüleme, bir sahneyi görüntülemek için bir ortam ışık kaynağı kullanılmaktadır. Bir pasif görüntüleyici veya kamera, en yaygın olarak bir SLR (Single-lens reflex) veya bir cep telefonu kamerasında bulunan bir lens ve 2D sensörün kombinasyonu ile tasarlanmaktadır. Burada, görünür ışık dalga bantlarını algılamak için tercih edilen malzeme, hem verimli hem de etkili üretim teknolojilerine sahip olan silikondur. Son yıllarda pasif görüntüleyicilerin/kameraların çözünürlükleri kullanılan teknolojilerin sınırları sebebiyle çok fazla değişmezken, maliyetleri düşmektedir [20].

Aktif görüntüleme genellikle 3D tarama için kullanılmaktadır ve sahnedeki ışık kaynağını kontrol ederek çalışmaktadır. Işık kaynağının aktif kontrolü, triangülasyon kapsamında uyuşmaların hesaplanmasında ve ayrıca uçuş süresi (TOF) ölçümleri yoluyla doğrudan derinliğin tahmin edilmesinde tercih edilmektedir. Ancak, aktif görüntüleme de, sahnenin aydınlatmasını bütünüyle kontrol etmek her zaman mümkün değildir. Çünkü, sahnede ortam ışığı olarak adlandırılan mevcut ışık kaynakları, aktif ışığın kontrastını azaltmaktadır.

Çizgi tarama kameraları, verileri çok hızlı bir şekilde yakalamak için kullanılan tek bir piksel sırası içerir. Nesne, sensör altından geçtikçe yazılımda satır satır tam bir görüntü yeniden oluşturulabilir. Çizgi tarama sistemlerinin en uygun kullanımı, yüksek hızlı işleme veya hızlı hareket eden konveyör hattı uygulamalarıdır.

Alan tarama kameraları ise, belirli bir sahnenin görüntüsünü yakalayan bir piksel matrisi içerir. Çizgi tarama kameralarından daha genel amaçlar için kullanılır ve daha kolay kurulum ve hizalama sunar. Alan tarama kameraları, sadece anlık olsa bile,

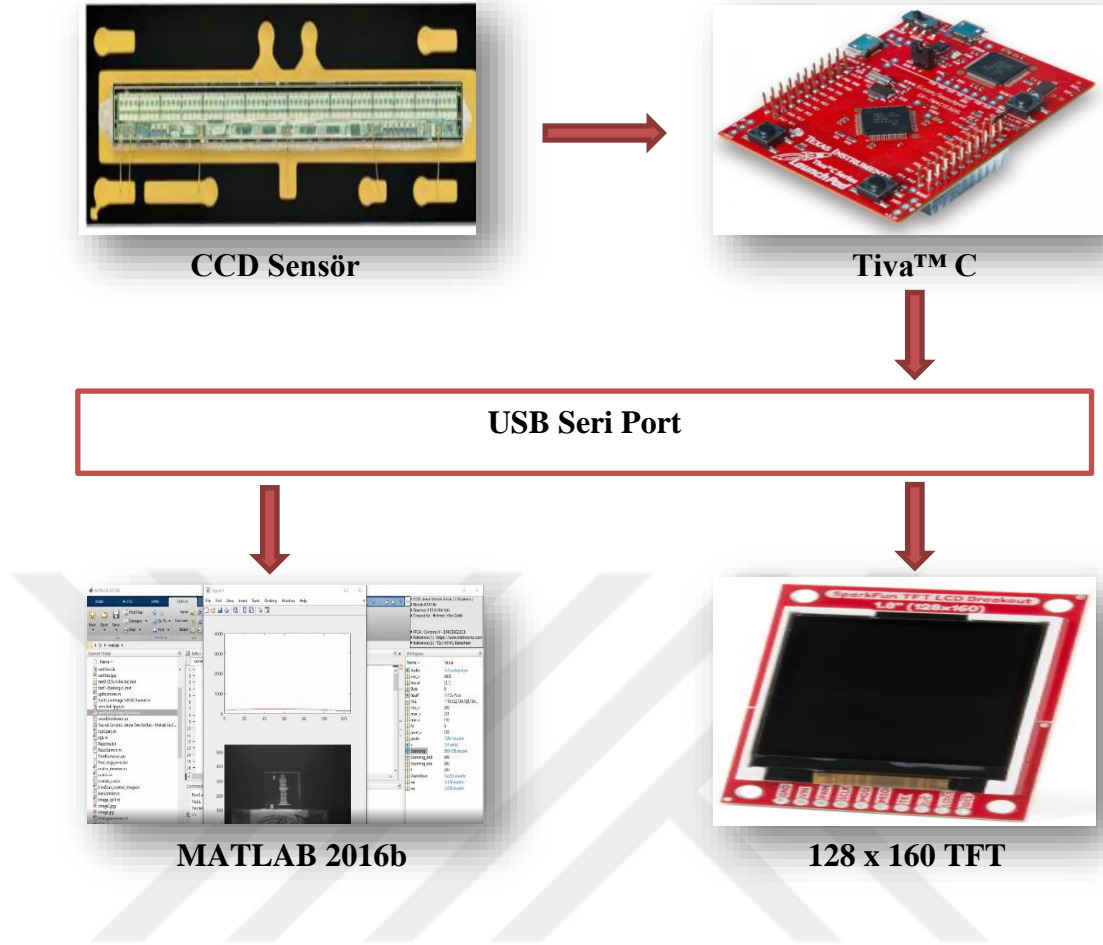
nesnenin sabit olduğu uygulamalara daha uygundur. Alan tarama kameraları tanımlı bir alanı hızlı bir şekilde görüntüleyebilirken, benzer bir görüntü üretmek için bir çizgi tarama kamerasının alan üzerinde hareket ettirilmesi gerekir.

Tek bir piksel sırası ile, çizgi tarama kameraları belirli bir dikey çözünürlükle sınırlı olmayan sürekli görüntüler oluşturabilir. Bu, alan tarama kameralarından çok daha yüksek çözünürlüklere izin verir. Alan tarama kameralarından farklı olarak, bir çizgi tarama kamerası önceki görüntü hala verilerini aktarırken yeni bir görüntü ortaya çıkarabilir. Bunun nedeni, piksel okumasının kamera pozlamasından daha hızlı olmasıdır.

Görüntüleme de, çizgi tarama sensörleri; yüksek hızlı okuma, yüksek uzamsal çözünürlük, yüksek piksel sayısı ve çerçeve (frame) aktarımı vb. avantajlar sağlamaktadır. Bu sebeple, bu tez çalışmasında lineer bir konfigürasyonda düzenlenmiş bir dizi fotodiyottan oluşan çizgi tarama sensörü kullanılmıştır.

2.1. Materyal

Bu tez çalışmasında geliştirilen 3D lazer tarayıcı sistemi üç aşama içermektedir. İlk olarak, Tiva C Launchpad serisi geliştirme kartı kullanılarak sensör üzerindeki her bir fotodiyottan alınan veriler bilgisayarın seri portundan okunabilecek formata dönüştürülmektedir. Bunun ardından, MATLAB 2016b yazılım geliştirme ortamında, sensörden alınan verilerin okunması ve görselleştirilmesi sağlanmaktadır. Son aşamada ise doğrusal interpolasyon işlemi uygulanarak ışık yoğunluğundan ara değerler tahmin edilmektedir. Çalışmada, çizgi tarama kamerasının lineer hareketinin kontrolü ve diğer tüm elektronik komponentlerin tetiklenmesi için FPGA (Alanda programlanabilir kapı dizileri) geliştirme kartı kullanılmıştır. Şekil 2.1' de tez çalışmasının blok diyagramı verilmiştir.

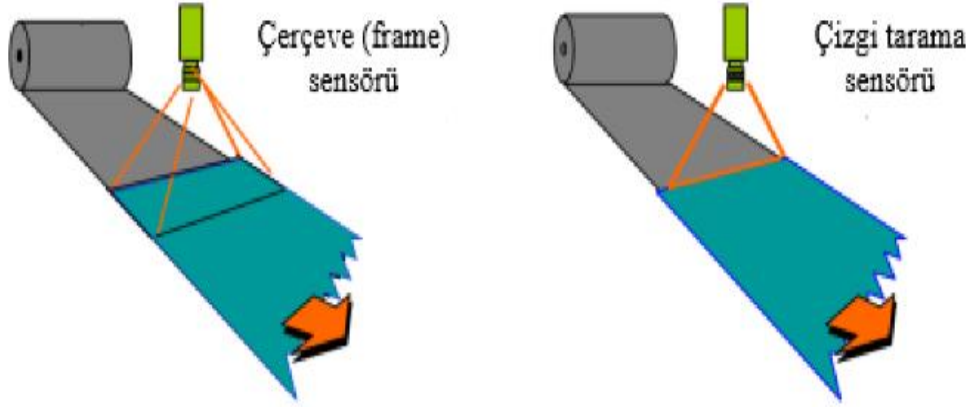


Şekil 2.1. Tez çalışmasının blok diyagramı

Bu tez çalışmasında önerilen sistemde, TSL1401 çizgi tarama sensörü, TI EK-TM4C123GXL launchpad, Altera Cyclone IV E, çizgi lazer, lojik analizör ve TFT 128 x 160 LCD komponentleri kullanılmıştır. Aşağıda proje dahilinde kullanılan materyaller ve metot ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir.

2.1.1. TSL1401 Çizgi Tarama Sensörü

Çizgi tarama sensörünün bir nesneyi görüntüleyen tek bir piksel çizgisi vardır. Nesnenin iki boyutlu bir görüntüsünü oluşturmak için sensör veya nesne piksel çizgisine dik olarak hareket ettirilmektedir. İki boyutlu görüntüleri, çerçeve (frame) çekimlerini kullanarak görüntü oluşturan çerçeve kameralarından elde etmek yerine çizgi tarama sensörü kullanarak elde etmek karmaşık gözükabilmektedir [21].



Şekil 2.2. Çerçeve (frame) ve çizgi tarama sensörü [21].

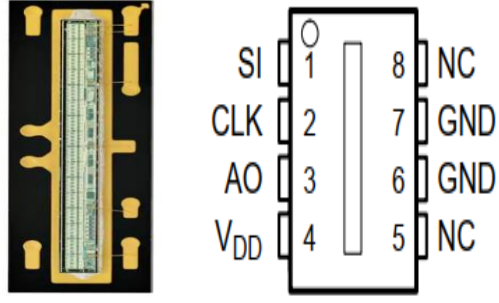
Çizgi tarama sensöründe bir veya daha fazla piksel satırı bulunur. Kameranın pozlama süresi boyunca her piksel, görüntülenen nesneden o piksele ışık miktarı ile orantılı olarak fotoelektrik yükler biriktirir. Pozlandırma süresinin sonunda, bu yükler bir okuma kaydına aktarılır. Okuma yazmacı bu piksel yüklerini ortadan kaldırır ve kamera çıkışını üretmek için bu değerleri büyütür, düzeltir ve son olarak dijitalleştirilir [21].

Bu tez çalışmasında kullanılan TSL1401 128x1 fotodiyot dizisi; ilişkili şarj amplifikatör devresi ve tüm pikseller için eşzamanlı başlangıç ve bitiş süresini sağlayan dahili bir piksel veri tutma fonksiyonundan oluşmaktadır [22].

Sensörün teknik özellikleri şöyledir:

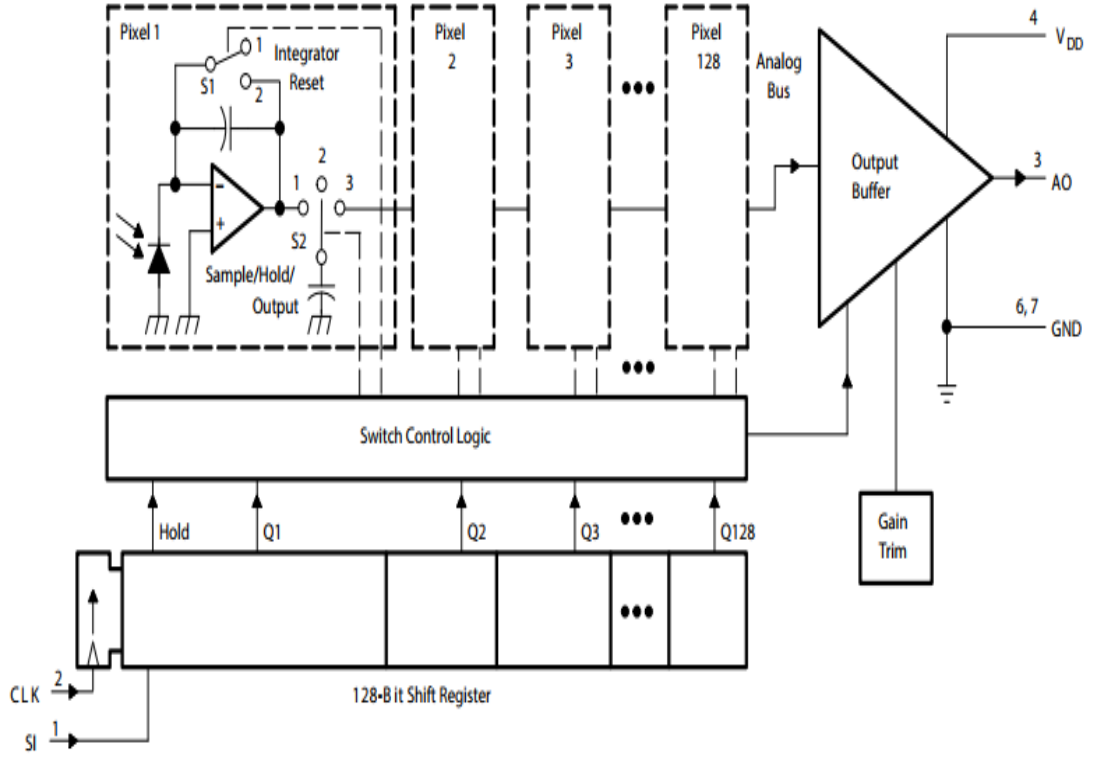
- 128 x 1 sensör-eleman örgütlemesi
- İnç başına 400 (DPI) sensör aralığı
- 256 Gri Ölçekli (8-Bit) Uygulamalar için Yüksek Doğrusallık ve Düzgünlük
- Çıkışlar toprak bağlantısı ile şasi
- Düşük görüntü gecikmesi
- 2 MHz' e kadar çalışma
- Tekli 5V besleme

Sensörün üstten görünüşü ve bağlantı yapısı Şekil 2.3' de verilmiştir.



Şekil 2.3. TSL1401 üstten görünüş ve bağlantı yapısı [22].

Sensör, linear bir dizide düzenlenmiş 128 fotodiyottan oluşur. Bir fotodiyotu etkileyen ışık enerjisi, o pikselle ilişkili aktif integral alıcı devresi tarafından entegre edilen foto-akımını üretir. Şekil 2.4’ te sensörün blok diyagramı ve Çizelge 2.1’ de ise bağlantı işlevleri gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Sensörün blok diyagramı [22].

Entegrasyon süresi boyunca, anahtarlı kapasite, integral alıcının çıkışına bir analog anahtar üzerinden bağlanmaktadır. Her bir pikselde biriken yük, ışık yoğunluğu ve entegrasyon süresi ile doğru orantılıdır.

Çizelge 2.1. Sensörün bağlantı işlevleri [22].

Bağlantı		Açıklama
İsim	Numara	
AO	3	Analog çıkış
CLK	2	Saat. Şarj aktarımını, piksel çıkışını ve sıfırlamayı kontrol eder.
GND	6,7	Toprak bağlantısı
NC	5,8	Dahili bağlantı yok
SI	1	Seri giriş. SI veri çıkış dizisinin başlangıcını tanımlar.
V _{DD}	4	Besleme gerilimi. Hem analog hem de dijital devreler için besleme gerilimi

İntegral alıcının çıkışı ve sıfırlanması, 128 bit kaydırma yazmacı ve lojik sıfırlama ile kontrol edilmektedir. Çıkış döngüsü sensörün seri giriş bağlantı ucunun lojik 1 olarak tetiklenmesi ile başlatılır. Hold adı verilen dahili bir sinyal, seri giriş bağlantısının yükselen kenarından üretilir ve piksel devresindeki analog anahtarlara iletilir. Bu işlem, 128 anahtarlı kapasitenin tümünün kendi bağlantısının kesilmesine sebep olur ve integral alıcının sıfırlama periyodunu başlatır. Seri giriş darbesi kaydırma yazmacı üzerinden tetiklendiğinden, anahtarlı kapasitede depolanan yük, sırasıyla sensörün analog çıkışı üzerinde voltaj üreten bir yük bağlaşımlı çıkış amplifikatörüne bağlanır. Eş zamanlı olarak, ilk 18 saat döngüsü boyunca, tüm piksel integral alıcıları sıfırlanır ve bir sonraki entegrasyon döngüsü 19. saatte başlar. Saatin 129. yükselen kenarında, seri giriş darbesi kaydırma yazmacısından çıkarılır ve sensörün analog çıkışının yüksek empedansa sahip olduğu varsayılır. 129. saat darbesi, 128. pikselin çıkışını sonlandırmak ve dahili lojik seviyesine döndürmek için gereklidir. Bir sonraki seri giriş bağlantısı darbesi, 130. saat darbesi kadar erken başlatılabilir ve böylece başka bir piksel çıktı döngüsü oluşturulabilir. Sensörün analog çıkışı düşürücü direnç gerektiren harici bir kaynak izleyici tarafından sürülebilir. Sensörün analog çıkışı, çıkış fazında değilse, yüksek empedans durumundadır. Çıkış, ışık girişi olmadığında nominal olarak 0 V ve 3 V' luk nominal düzeyde ve tam ölçekli (doygunluk) bir beyaz seviye çıkışı için 2V' tur. [22]

TSL1401, görüntü tarama, işaretleme ve kod okuma, optik karakter tanıma (OCR) ve temaslı görüntüleme, kenar algılama ve konumlandırma, optik doğrusal ve döner kodlama gibi çok çeşitli uygulamalarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır.

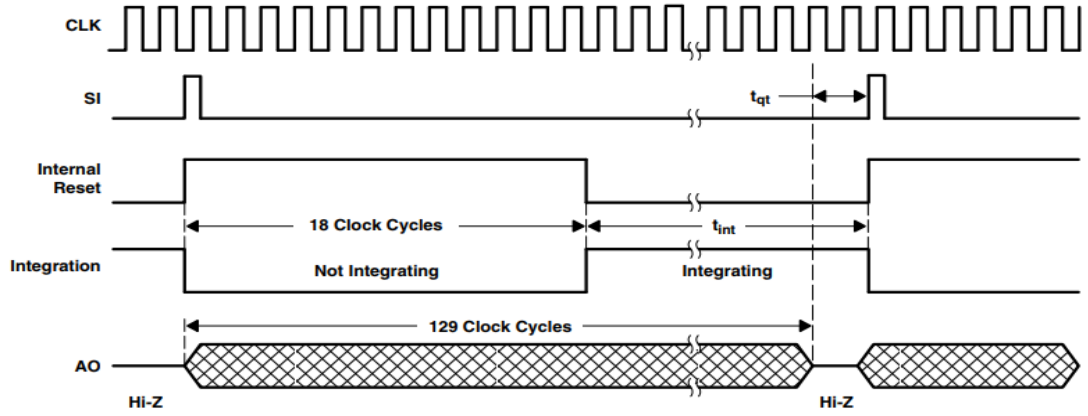
Mutlak maksimum oranları şöyledir:

- Besleme voltajı, V_{DD} 7 V
- Dijital giriş akımı aralığı, I_I -20 mA – 20 mA
- Dış hava çalışma sıcaklık aralığı, T_A 0 °C – 70 °C
- Depolama sıcaklık aralığı, T_{STG} -25 °C – 85 °C
- 10 saniye boyunca kılıftan 1,6 mm mesafede bağlantı sıcaklığı 260 °C

Önerilen çalışma koşulları aşağıdaki gibidir:

- Besleme voltajı, V_{DD} 4,5 V – 5,5 V
- Giriş voltajı, V_I 0 V – V_{DD}
- Yüksek seviye giriş voltajı, V_{IH} $V_{DD} \times 0,7$ – V_{DD}
- Düşük seviye giriş voltajı, V_{IL} 0 V – $V_{DD} \times 0,3$
- Işık kaynağı dalga boyu, λ 400 nm – 1000 nm
- Saat frekansı, f_{CLOCK} 5 kHz – 2000 kHz
- Sensör entegrasyon zamanı, t_{int} 0,0645 ms – 100 ms
- Kurulum süresi, Seri giriş, $t_{SU(SI)}$ 20 ns
- Tutma süresi, Seri giriş, $t_{H(SI)}$ 0 ns
- Dış hava çalışma sıcaklık aralığı, T_A 0 °C – 70 °C

Sensöre ait zaman-dalga formu Şekil 2.5' te verilmiştir. Sensörden veri okuyabilmek için, seri girişin bir sonraki saat darbesinin yükselen kenarından önce düşmesi gerekmektedir. Ayrıca, sensörün 129 saat darbesinden sonra yeniden veri okuyabilmek için minimum 20 μ s şarj transfer zamanına sahip olması gerekmektedir.



Şekil 2.5. Zaman - Dalga formu [22]

2.1.2. TI EK-TM4C123GXL LaunchPad

Texas Instrument'ın Tiva™ C Serisi mikrodenetleyicileri, tasarımcılara geniş bir entegrasyon kabiliyetine sahip güçlü yazılım ve geliştirme araçları ekosistemiyle yüksek performanslı ARM®Cortex™-M tabanlı bir mimari sunmaktadır. Performansı ve esnekliği hedef alan Tiva™ C serisi mimarisi, FPU' lu 80 MHz Cortex-M, çeşitli entegre hafıza birimleri ve çoklu programlanabilir GPIO sunmaktadır. Tiva™ C Serisi cihazlar, uygulamaya özel çevre birimleri entegre ederek, kart maliyetlerini ve tasarım döngüsü süresini en aza indiren kapsamlı bir yazılım araçları kütüphanesi sunmaktadır. Bu sebeple, hızlı olan ve maliyetten tasarruf sağlayan Tiva™ C serisi mikrodenetleyiciler, yüksek performanslı 32-bit uygulamalarında tercih edilmektedir [23].

Tiva™ C serisi ARM Cortex-M4 mikrodenetleyiciler ise en yüksek performans ve gelişmiş entegrasyon sağlamaktadır. Ürün ailesi, aşağıdakiler gibi önemli kontrol işlemleri ve bağlantı yetenekleri gerektiren ve minimum maliyete sahip olması istenen uygulamalar için tercih edilmektedir:

- Düşük güç, el tipi akıllı cihazlar
- Oyun ekipmanları
- Ev ve ticari saha izleme ve kontrol
- Hareket kontrolü
- Tıbbi aletler
- Test ve ölçüm cihazları
- Fabrika otomasyonu
- Yangın ve güvenlik

- Akıllı Enerji / Akıllı Şebeke çözümleri
- Akıllı aydınlatma kontrolü
- Ulaşım

Bu tez çalışmasında, TSL1401 çizgi tarama sensörünün analog çıkışından alınan verilerin seri port ile bilgisayara aktarılmasında Tiva™ C serisi EK-TM4C123GXL geliştirme kartı kullanılmıştır. Geliştirme kartının programlamasında Energia tümleşik geliştirme ortamı kullanılmıştır.

2.1.3. Çizgi lazer

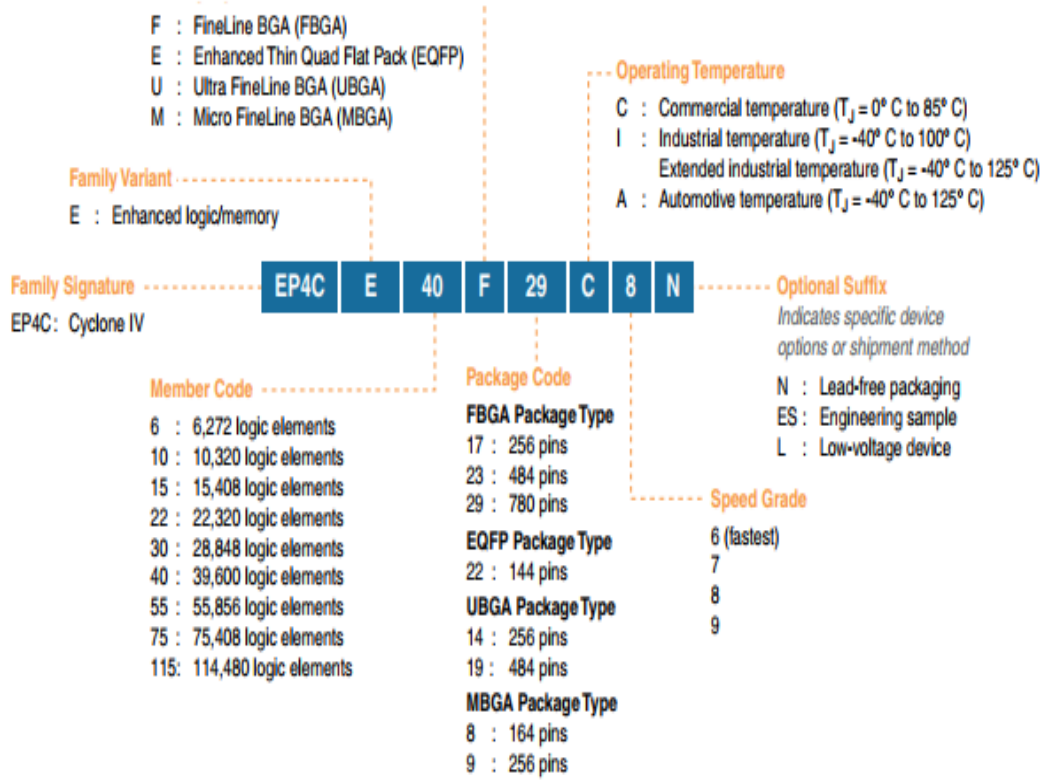
Çizgi lazerler, nokta lazerlerin özelleştirilmiş lensler yardımı ile ayarlanabilir çizgi uzunluğuna sahip lazerlere dönüştürülmüş biçimindedir. Lazer, sensörün algılayabildiği dalga boyu aralığında olmalıdır. Çizgi tarama sensörünün dalga boyu 400 – 1000 nm aralığındadır. Bu sebeple, tez çalışmasında tekli kırmızı çizgi (635 nm) lazer kullanılmıştır.

Kullanılan çizgi lazerin teknik özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Lazer gücü: 3 mW
- Ebat: 8 x 25 mm
- Uygulama mesafesi: 20 – 60 cm
- Çizgi uzunluğu: 40 cm
- Dalga boyu: 635 nm

2.1.4. Altera Cyclone IV E

Bu tez çalışmasında, lineer hareketi sağlayan step motorun kontrolü ve lazer kontrolü için Cyclone IV E (EP4CE6E22C8) FPGA kullanılmıştır. FPGA' lar alanda programlanabilir kapı dizileri olarak adlandırılmaktadır. Bu şekilde adlandırılmasının temel sebebi mantık bloklarının ve ara bağlantılarının üretim sürecinden sonra da istenen amaca göre yeniden programlanabilmesidir. FPGA' lar birbirine paralel birçok işlevi yerine getirebilmekte ve temel mantık kapılarının ve daha karmaşık olan devre elemanlarının işlevselliğini arttırmaktadır. Cyclone IV E paket düzeni Şekil 2.6' da gösterilmektedir. [24]



Şekil 2.6. Cyclone IV E paket yapısı

Günümüzde FPGA' lar; sayısal işaret işleme, görüntü işleme, kod çözme, şifreleme, Fourier dönüşümü ve konvolüsyon gibi yüksek performanslı hesaplamaların yapıldığı uygulamalar gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadırlar. FPGA' lar ile tasarım oluşturmak için donanım tanımlama dilleri veya şematik dizayn kullanılır. Bu donanım tanımlama dilleri: AHDL, ABEL, CUPL, Verilog ve VHDL' dir. Bu tez çalışmasında, yaygın olarak kullanılan VHDL donanım tanımlama dili tercih edilmiştir ve FPGA tasarımı için Altera firmasının geliştirdiği Quartus II yazılımı kullanılmıştır.

2.1.5. Lojik analizör

Lojik analizörler dijital sistemlerde giriş ve çıkış sinyallerinin takibi amacıyla kullanılır. Bu tez çalışmasında, Saleae firmasının üretmiş olduğu USB destekli bir analizör kullanılmıştır. Cihaz, 24 MHz' e kadar ulaşan örnekleme frekansına sahiptir. 8 adet dijital giriş bağlantısı ile 8 ayrı kanalın kontrolünü yapabilmektedir. Ayrıca, Arduino ve Tiva™ C başta olmak üzere birçok mikrodenetleyici ile beraber kullanılmaktadır. Tez dahilinde, çizgi tarama sensörünün seri giriş ve saat sinyalleri lojik analizör kullanılarak takip edilmiştir ve bunlar sensöre ait veri sayfasındaki

değerler ile karşılaştırılarak ideal bir veri transferinin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Şekil 2.7' de kullanılan lojik analizör gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Saleae lojik analizör

Kullanılan lojik analizörün teknik özellikleri şöyledir:

- 8 Kanal
- Farklı tetikleme desteği (Yükselen, Düşen, Yüksek ve Düşük)
- 24MHz' e kadar örnekleme frekansı
- Maksimum Çalışma Gerilimi: 5,25 V DC
- Desteklenen Protokoller: CAN, DMX-512, I2C, I2S/PCM, SPI

2.1.6 TFT 128 x 160 LCD

Projede, Tiva C geliştirme kartı ile birlikte sensörden alınan verilerin hızlı şekilde test edilmesi amacı ile 128x160 piksel, 1.8 İnç LCD ekran modülü kullanılmıştır. Tiva C geliştirme kartı ile veri alma ve test adında 2 farklı mod oluşturulmuştur. Test aşamasında sensörden alınan 128 piksel verisi gerçek zamanlı olarak modüle aktarılmıştır. Şekil 2.8' de LCD ekran modülü ve bağlantı yapısı gösterilmektedir.



led	sck	sda	dc	reset	cs	gnd	vcc
-----	-----	-----	----	-------	----	-----	-----

Şekil 2.8. 1.8 İnç 128 x 160 LCD modül ve bağlantı yapısı

2.1.7. Elektronik komponentler

Bu tez çalışmasında, sistem beslemesi için 12 V, 10 A metal kasa güç kaynağı kullanılmıştır.

Güç kaynağının teknik özellikleri şöyledir:

- Giriş Voltajı: 100-240 V AC 50/60 Hz
- Çıkış Voltajı: +12 V 10 A
- Çıkış Gücü: 145 W
- Çalışma Sıcaklığı ve Nem: (-0 °C -+ 45 °C) , % 40
- Kasa: Metal Kasa Adaptör
- Model: SL-KA145
- Ölçüler: 7.5 x 4 x 15 cm.
- Ağırlık: 350 gr.

Üzerinde Tiva™ C serisi geliştirme kartı, CCD sensör ve LCD modülü taşıyan parçanın lineer hareketi için kayış ve dişli sistemi ile birlikte dişli döner hareketini sağlayan Nema 17 bipolar step motor kullanılmaktadır.

Nema 17 bipolar step motor teknik özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Şaft tipi: 5mm "D" tipi
- Tur başına adım sayısı: 200
- Çalışma akımı: 1200 mA
- Çalışma gerilimi: 4V
- Tutunma torku: 3.2 kg-cm
- Faz direnci: 3.3 Ω
- Far başına indüktans: 2.8 mH
- Kablo sayısı: 6

Tez çalışmasında, Nema 17 bipolar step motorunu sürmek için “Easy Driver” step motor sürücüsü kullanılmıştır. Bu sürücüler, tekerlekli robotlar, 3D yazıcılar, CNC makinaları, robotik el gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Tezde, FPGA’ dan gelen tetikleme sinyali ile bu sürücüler sürülmektedir.

Motor Sürücünün teknik özellikleri aşağıdaki gibidir:

- 4, 6, 8 kablolu step motorlarla kullanılabilir.

- Motor sürme voltajı 6V-30V arasındadır.
- Mantıksal çalışma voltajı 3,3 V veya 5V olarak ayarlanabilir.
- Akım kontrolü 150 mA ile 700 mA arasında (her faz için) ayarlanabilir.

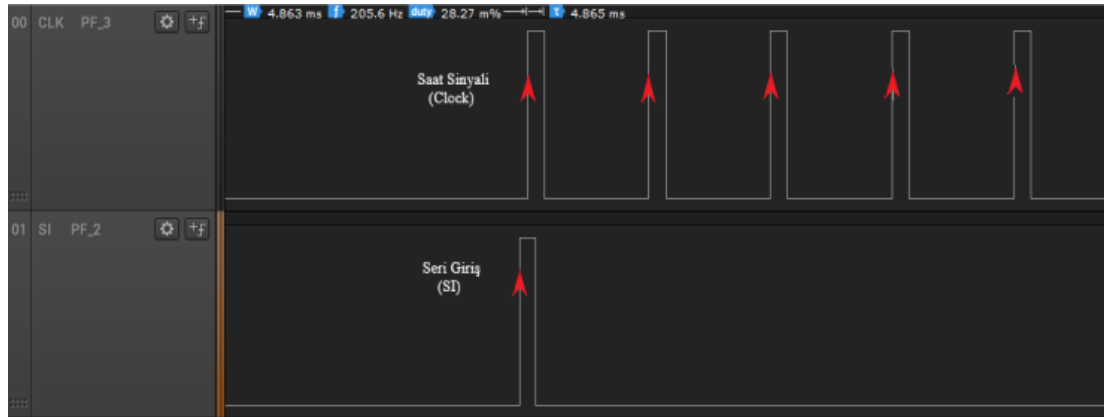
Ayrıca, 2 adet limit anahtarı kullanılarak lineer eksenle motorun hareketi sınırlandırılmıştır.

2.2. Geliştirilen Metot

Bu bölüme kadar proje dahilinde kullanılan materyaller hakkında detaylı bir açıklama yapılmıştır. Metot bölümünde öncelikle çizgi tarama sensörünün dijital pinleri, lojik analizör kullanılarak sensöre ait veri sayfasındaki parametreler ile karşılaştırılması ve uygun değerler ile kalibre edilmesi ile ilgili bilgiler verilmektedir.

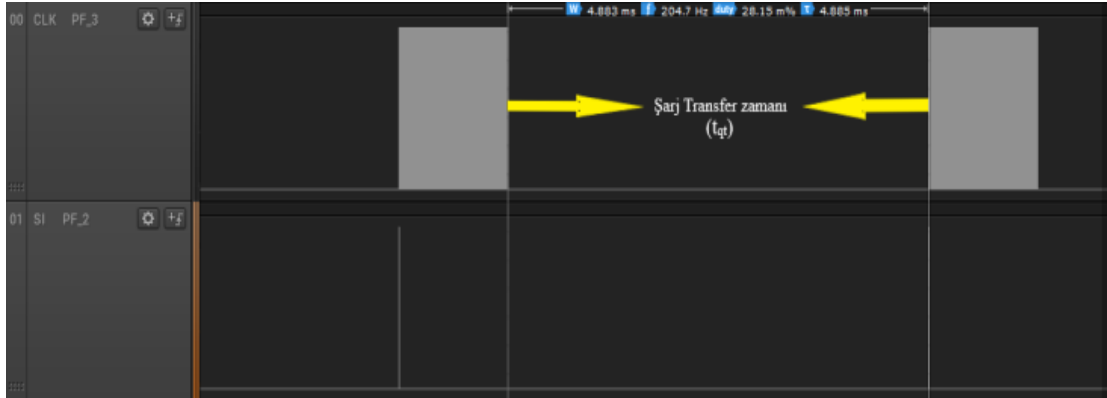
2.2.1 Sensör parametrelerinin lojik analizör ile tespiti

Saleae firmasının üretmiş olduğu USB destekli bir analizör ile çizgi tarama sensörünün seri giriş ve saat sinyali takip edilerek veri sayfasındaki parametrelere uygunluğu kontrol edilmiştir. Öncelikle, seri giriş, bir sonraki saat darbesinin yükselen kenarından önce düşmelidir. Sensör, 129 saat darbesinden sonra minimum 20 μ s şarj transfer zamanına (t_{qt}) sahip olmalıdır ve sensör entegrasyon zamanının (t_{int}) 0,0645 ms – 100 ms aralığında olması gerekmektedir. Şekil 2.9’ da Saleae firmasının geliştirdiği Logic 1.2.18 yazılımı yardımıyla saatin yükselen kenarında tetiklenmesi ile 16 MS/s örnekleme hızında alınan dijital veri gösterilmiştir.



Şekil 2.9. 16 MS/s örnekleme hızında saat sinyali ve seri giriş

Şekil 2.10' da şarj transfer zamanı gösterilmiştir. Şarj transfer zamanı 4,88 ms olarak ölçülmüştür.



Şekil 2.10. Şarj transfer zamanı

Saat sinyalinin 19. yükselen kenarı ile başlayan entegrasyon zamanı (t_{int}) 5,28 ms olarak ölçülmüştür. Sensörün veri sayfasındaki parametrelere uygun değerler seçilerek veri transferindeki hataların giderilmesi amaçlanmıştır. Bu parametreler yazılımsal olarak farklı zaman gecikmeleri uygulanarak değiştirilebilir.

Sensör parametreleri belirlendikten sonra, MATLAB yazılımı yardımıyla USB seri port üzerinden sensörün analog pininden 128 piksele ait veri kaydedilmektedir. Sensör, saatin her yükselen kenarında çıkış üretmektedir. Tiva™ C Serisi mikrodenetleyicinin analog girişinden okunan her bir veri arasında bir işaretçi olması gerekmektedir. 'Serial.print(",")' şeklinde çağırdığımız fonksiyon ile analog girişten okunan bu veriler arasına işaretçi konularak seri porta yazılır. Bu şekilde MATLAB ile seri porttan okuma yapıldığında her bir veriyi ayırtırmak kolaylaşmaktadır.

MATLAB yazılım geliştirme platformunu kullanarak sırası ile aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmiştir.

1. Tarama işlemi CameraScan m-file dosyasının çalıştırılması ile başlamaktadır. MATLAB' de, 'basla' ve 'dur' karakter dizileri tanımlanmıştır. Bu karakter dizileri yardımıyla seri iletişim kullanılarak birbirine entegre durumundaki mikrodenetleyicinin tetiklenmesi sağlanmaktadır. 'basla' komutu seri port üzerinden okunduğunda sensör ile iletişim sağlanmaktadır. 'dur' komutu seri port üzerinden okunduğunda sensör ile iletişim kesilmekte ve mikrodenetleyicinin dijital pinini yüksek empedans konumuna getirmektedir. Seviye değişimi FPGA kartını aktif hale getirmekte ve bu sayede step motor sürücüsünü tetiklemektedir.

Step motor sürücüsünün aktif hale gelmesiyle istenilen adım sayısı kadar motor hareket ettirilmiştir.

2. Veriler kullanılan işaretçi yardımıyla ayrıştırılmış ve her tarama döngüsünde 1x128 boyutunda matris elde edilmiştir.
3. Sahne konumu 1 cm aralıklarla 0-6 cm mesafesi içerisinde hareket ettirilmiştir. Bu işlem sırasında lineer ekseninde çizgi tarama sensörü ve lazer 0,2 cm adım ile hareket ettirilerek toplam 50 adım için tarama verisi kaydedilmiştir. Her bir adımda optimum değer elde edilmesi amaçlandığından, 300 örnek alınarak işlem sonunda bu verilerin ortalaması alınmıştır. Sonuç olarak, 50x128 boyutuna sahip bir matris elde edilmiştir.
4. Sahne başlangıç konumuna getirilmiştir ve nesne ile birlikte tarama verisi kaydedilmiştir.
5. Sahne ve nesneye ait veriler üzerindeki gürültülerin giderilmesi amacıyla Savitzky-Golay filtresi uygulanmıştır.
6. Filtrelenmiş veriler üzerinde doğrusal interpolasyon uygulanarak nesnenin konumuna ait tahmin yapılmıştır.

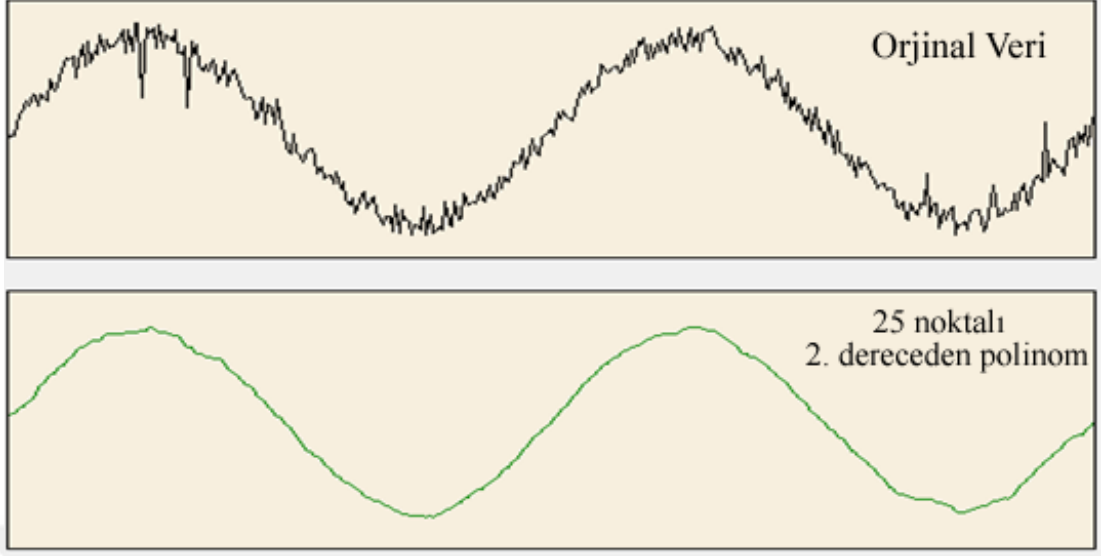
2.2.2. Savitzky-Golay filtresi

Savitzky ve Golay yerel en küçük kareler polinom yaklaşımına dayanan bir veri düzeltme yöntemi önermişlerdir. Bu yöntemde, bir giriş örneğine, bir polinom yerleştirilmiştir, sonra ortaya çıkan polinomun yaklaşık bir aralık içinde tek bir noktada değerlendirilmesi sağlanmıştır ve sabit bir dürtü yanıtı ile ayrık evrişime eşdeğer olduğu gösterilmiştir. Bu yöntemle elde edilen alçak geçiren filtreler (LPF) Savitzky-Golay filtreleri olarak bilinir. Burada, kimyasal spektrum analizörlerinden elde edilen gürültülü verilerin düzgünleştirilmesi amaçlanır ve dalgaların tepe noktalarının şekli ve yüksekliği korunurken en küçük karelerin düzgünleştirilmesi ile gürültü azaltılır [25].

Şekil 2.11' de 25 veri noktasına sahip 2. dereceden bir polinom uyumu kullanılarak, gürültülü sinüs sinyali için düzgünleştirme sonuçları gösterilmiştir [26]. Savitzky-Golay düzgünleştirme için kullanılan formülizasyon ise Eş. 2.1' de tanımlanmıştır.

$$y_t = (-2x_{t-3} + 3x_{t-2} + 6x_{t-1} + 7x_t + 6x_{t+1} + 3x_{t+2} - 2x_{t+3})/21$$

(2.1)

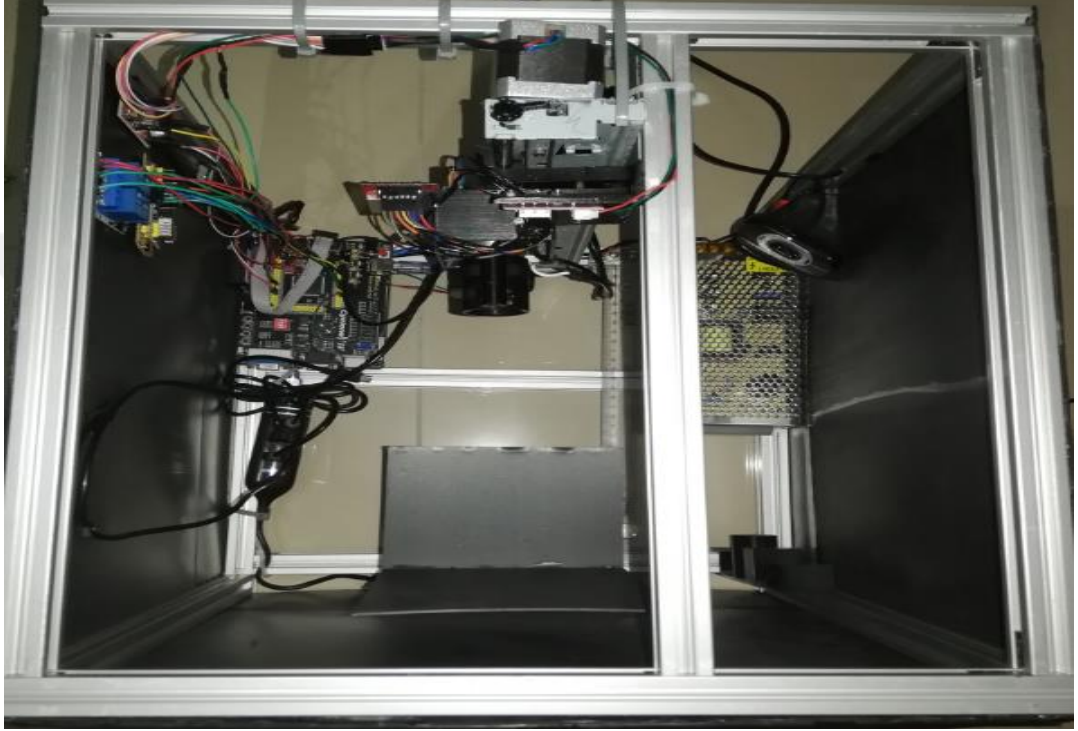


Şekil 2.11. Gürültülü sinüs sinyalinin düzgünleştirilmesi [26]

Bu bölümde tez kapsamında kullanılan materyaller ve geliştirilen metot ile ilgili bilgiler verilmiştir. Bulgular bölümünde geliştirilen sistemin çıktıları sunulmuştur.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, öncelikle tez kapsamında geliştirilen 3D lazer tarayıcı sisteminin deney ortamı tanıtılmıştır, ardından çizgi tarama sensörü, lazer ve ışık kaynağının konumlandırılması ile ilgili bilgiler verilmiştir. Şekil 3.1’ de geliştirilen 3D lazer tarayıcı sistemi görülmektedir.



Şekil 3.1. Geliştirilen 3D lazer tarayıcı sisteminin deney ortamı

Deney ortamı alüminyum profiller kullanılarak oluşturulmuştur. Geliştirilen ortamın diğer ışık kaynaklarından izole edilmesi amacıyla profiller siyah pvc levha ile çevrelenmiştir. Güç kaynağı, FPGA geliştirme kartı ve diğer komponentler deney ortamında uygun bir konuma sabitlenmiştir. Şekil 3.2’ de çizgi tarama sensörü, lazer ve ışık kaynağının yerleşimi gösterilmiştir.

Geliştirilen ortamda, çizgi tarama sensörünün, lazer ve ışık kaynağının lineer ekseninde birlikte hareket etmesi sağlanmıştır. Çalışmada, lazer çizgisinin bir hat boyunca homojen olmayan yapısından dolayı sahne ve nesne üzerine düşürülen ışığın mümkün olduğunca sabit kalması amaçlanmıştır.

Deney ortamının hazırlanmasının ardında çizgi tarama sensörü lineer ekseninde hareket ettirilerek test edilmiştir.



Şekil 3.2. Çizgi tarama sensörü, lazer ve ışık kaynağı

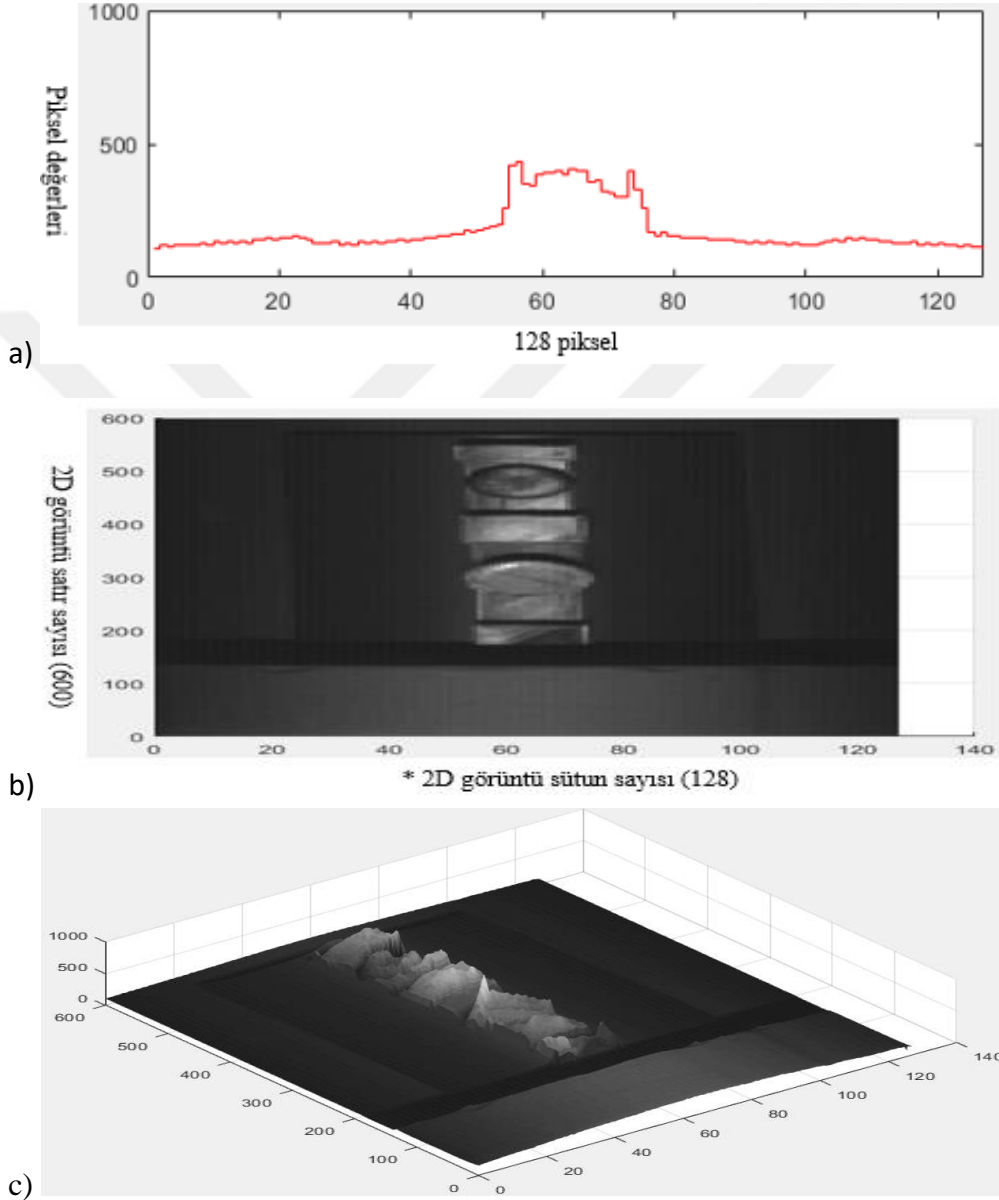
3.1. Çizgi Tarama Sensörünün Test Edilmesi

Bu çalışmada kullanılan çizgi tarama sensörü 128 piksele sahiptir. Çizgi tarama sensörü MATLAB yazılım geliştirme ortamında seri iletişim kullanılarak test edilmiştir. Her bir piksele ait analog değer mikrodenetleyicinin analog giriş pinininden okunarak MATLAB ortamında değerlendirilmiştir. Şekil 3.3' te Siemens NX 12 CAD (Bilgisayar destekli tasarım) yazılımı kullanılarak modellenmiş ve 3D yazıcı ile üretilmiş bir test modeli gösterilmiştir. Test modeli içinde dikdörtgenel ve silindirik geometriler bulunmaktadır.



Şekil 3.3. Test için kullanılan model

Şekil 3.4a’ da MATLAB basamak fonksiyonu kullanılarak oluşturulan ve çizgi tarama sensöründen alınan anlık veri görülmektedir. Şekil 3.4b’ de, modelin 2D görüntüsü verilmiştir. Şekil 3.4c’ de ise test için kullanılan modelin çizgi tarama sensörü ile taranmış ve MATLAB “surf” fonksiyonu kullanılarak oluşturulmuş yüzey grafiği gösterilmiştir. Bu tarama çıktısının çözünürlüğü 600x 128’ dir [27] .

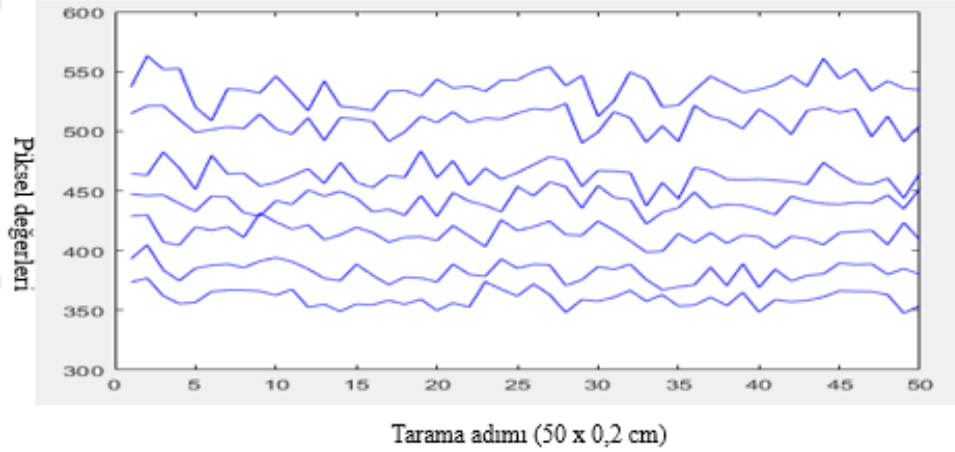


Şekil 3.4. (a) Kamera sensöründen alınan anlık veriye ait basamak fonksiyonu
(b) Tam bir tarama ile oluşturulan 2D görüntü
(c) Tam bir tarama ile oluşturulan görüntünün yüzey grafiği (600 x 128 çözünürlüğünde).

3.2 Uygulama

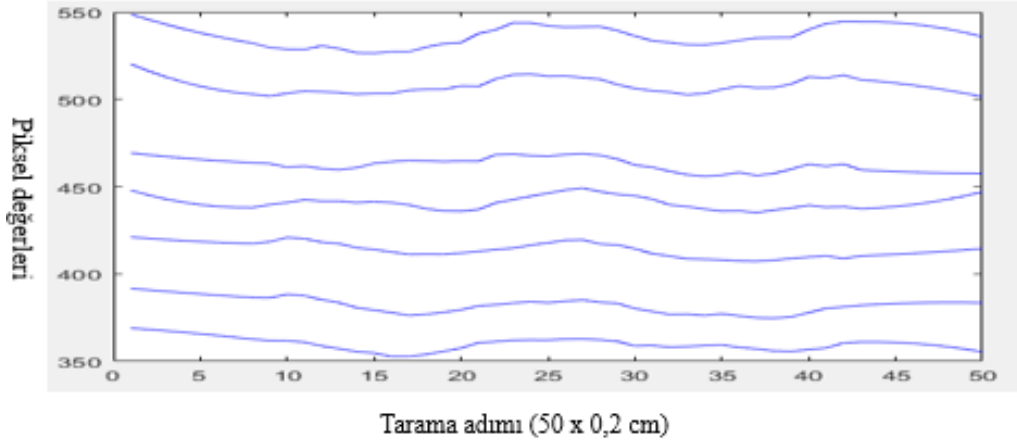
Çizgi tarama sensörünün test edilmesinin ardından, sahne başlangıç konumundan itibaren 1 cm aralıklar ile 0-6 cm mesafesi için hareket ettirilmiştir. Bu değerler oluşturulan deney ortamına göre belirlenmiştir. Çizgi tarama sensörü, lazer ve ışık kaynağının olduğu sistem 0,2 cm adım ile hareket ettirilerek toplam 50 adım için tarama verisi bilgisayara kaydedilmiştir. Her mesafe için 300 örnek alınmış ve ardından bu değerlerin ortalaması alınarak tek satırdan oluşan bir matris haline dönüştürülmüştür.

Şekil 3.5' te kaydedilen 7 mesafe verisinin grafiği gösterilmiştir. Her bir piksel üzerine düşen ışık miktarı grafiğe aktarılmıştır ve en uygun verilerin 62. piksel üzerinde olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.5. 0-6 cm mesafe verisi

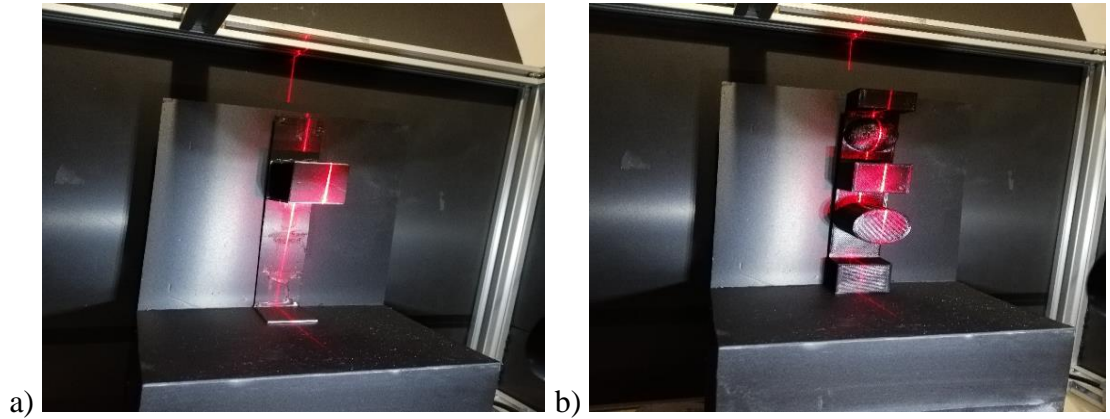
İşlem sonucunda 50x7 boyutlarında bir matris elde edilmiştir. Bu deneyde, mesafe verilerinin yaklaşık olarak 350-550 değerleri arasında yer aldığı gözlemlenmiştir. Ancak, sistemdeki hataların giderilmesi ve daha düzgün sinyallerin elde edilmesi amacıyla Savitzky-Golay filtresi uygulanmıştır. Bu sebeple, Şekil 3.6' da filtre uygulandıktan sonraki mesafe verileri gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Savitzky-Golay filtresi uygulanmış mesafe verileri

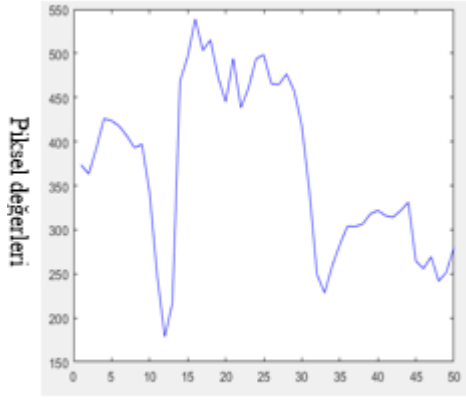
Filtre, 15 veri noktasına sahip 2. dereceden bir polinom uyumu kullanılarak uygulanmıştır. Savitzky-Golay filtresi için MATLAB yazılım geliştirme platformunda 'sgolayfilt(x, order, framelen)' fonksiyonu çağırılmıştır. Bu fonksiyon 3 parametreye sahiptir. Sırasıyla; giriş sinyali, polinomun derecesi ve veri noktası sayısı tanımlanmıştır.

Mesafe verilerinin kaydedilmesinin ardından model üzerinde çalışılmıştır. Sistemi test etmek için 2 farklı model seçilmiştir ve her birisi için aynı işlemler tekrarlanmıştır. Şekil 3.7a ve 7b' de kullanılan tekli ve çoklu geometriye sahip modeller gösterilmiştir.

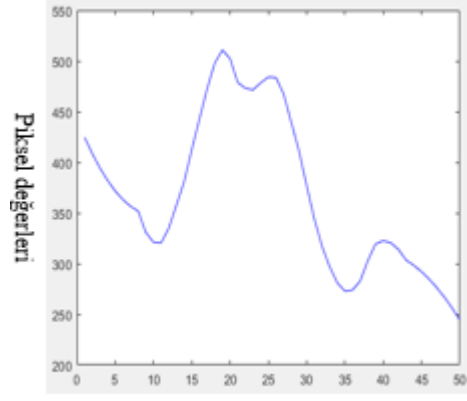


Şekil 3.7. Sistemi test için kullanılan modeller (a) Tekli geometri (b) Çoklu geometri

Şekil 3.8a' da, Şekil 3.7a' daki model verilerine ait grafik verilmiştir. Şekil 3.8b' de ise Şekil 3.7a' daki model verilerine filtre uygulanarak oluşturulan grafik gösterilmiştir.



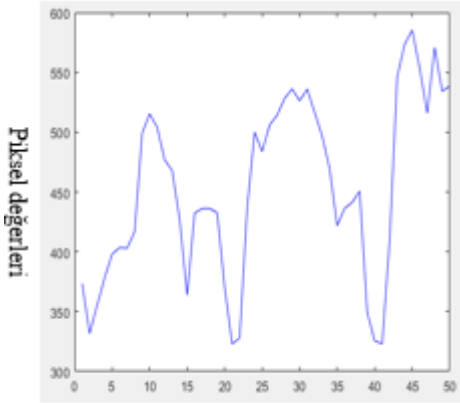
a)



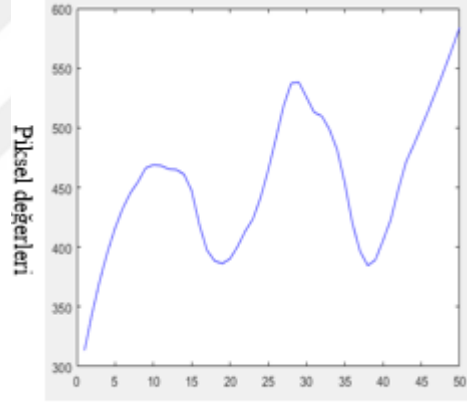
b)

Şekil 3.8. (a) Şekil 3.7a' daki model verilerine ait grafik (b) Şekil 3.7a' daki model verilerine filtre uygulanarak oluşturulan grafik.

Benzer şekilde, Şekil 3.9a' da, Şekil 3.7b' deki model verilerine ait grafik verilmiştir. Şekil 3.9b' de ise Şekil 3.7b' deki model verilerine filtre uygulanarak oluşturulan grafik gösterilmiştir.



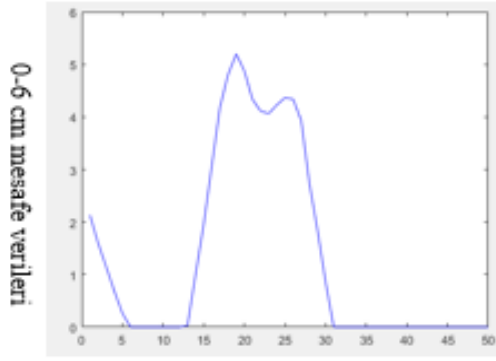
a)



b)

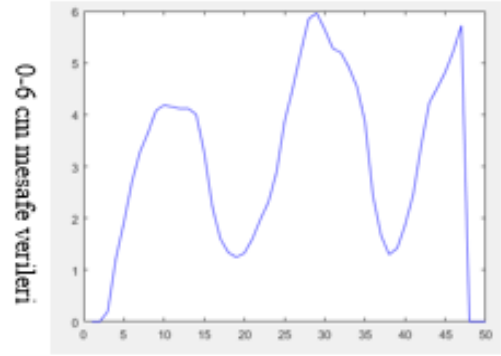
Şekil 3.9. (a) Şekil 3.7b' deki model verilerine ait grafik, (b) Şekil 3.7b' deki model verilerine filtre uygulanarak oluşturulan grafik.

Çalışmada, mesafe ve modellere ait verilerin kaydedilmesinin ardından, doğrusal interpolasyon metodu kullanılarak ara değerler tahmin edilmiştir. Böylece, taranan modele ait koordinatlar hesaplanmıştır. Doğrusal interpolasyon, 'interp1' fonksiyonu çağırılarak uygulanmıştır. Şekil 3.10 a' da, Şekil 3.7 a' daki modele ait uzaklık bilgisi, Şekil 3.10 b' de, Şekil 3.7 b' deki modele ait uzaklık bilgisi gösterilmiştir.



a)

Tarama adımı (50 x 0,2 cm)

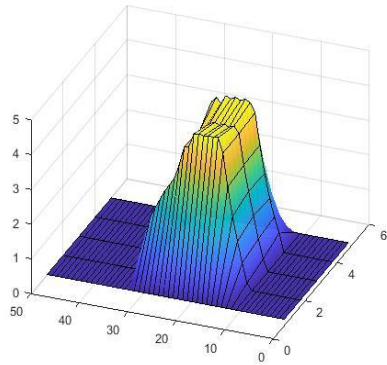


b)

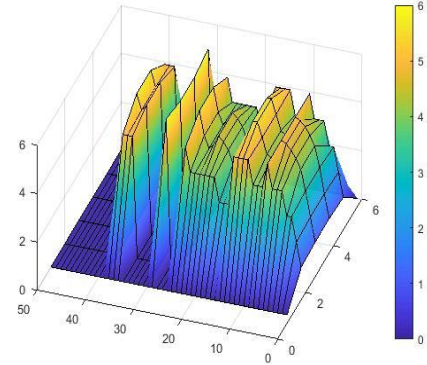
Tarama adımı (50 x 0,2 cm)

Şekil 3.10. (a) Şekil 3.7a’ daki modele ait uzaklık bilgisi, (b) Şekil 3.7b’ deki modele ait uzaklık bilgisi (x ekseni 0-6 cm aralığını göstermektedir)

Şekil 3.11a ve Şekil 3.11b’ de, Şekil 3.7a ve Şekil 3.7b’ deki model üzerinden seçilen 5 kesit noktası baz alınarak, MATLAB “surf” fonksiyonu ile oluşturulan yüzey grafiği gösterilmiştir.



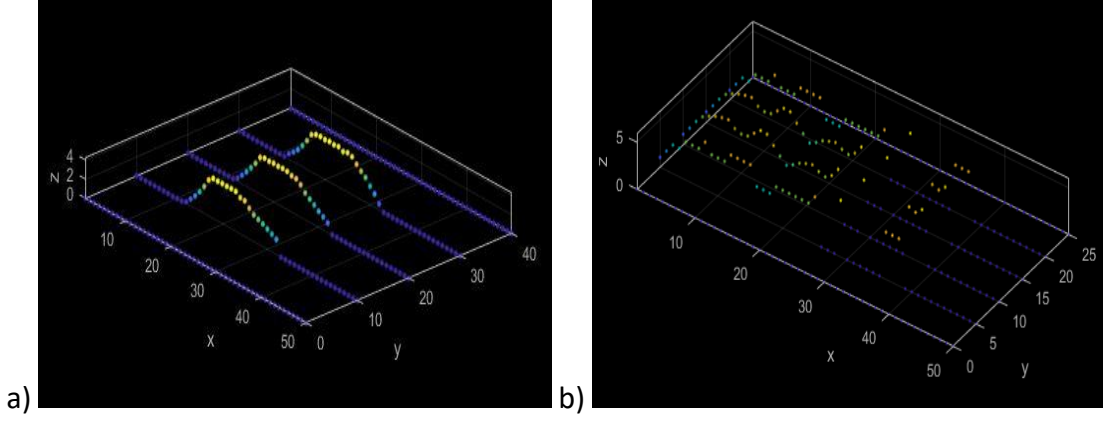
a)



b)

Şekil 3.11. (a) Şekil 3.7a’ daki modelin yüzey grafiği, (b) Şekil 3.7b’ deki modelin yüzey grafiği

Seçilen kesit noktalarının koordinatları baz alınarak Şekil 3.12a ve Şekil 3.12b’ de 2 modele ait nokta bulutu gösterilmiştir. Nokta bulutu MATLAB “point cloud” fonksiyonu yardımıyla oluşturulmuştur.



Şekil 3.12. (a) Şekil 3.7a’ daki model verileri ile oluşturulan nokta bulutu, **(b)** Şekil 3.7b’ deki model verileri ile oluşturulan nokta bulutu

Bu çalışmada kullanılan 2 modelin fiziksel büyüklükleri ile çizgi tarama sensörü ile bulunan ölçümler karşılaştırılmıştır. Buna göre Çizelge 3.1’ den Şekil 3.10a’ daki uzaklık bilgileri görülmektedir. Çizelge 3.1’ de model üzerindeki dikdörtgensel bölgenin hesaplandığı veriler gösterilmiştir. İnterpolasyon sonucu elde edilen 50x1 boyutundaki matrisin, 14-29. sütun aralığındaki değerler karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.1. 14-29. satır aralığındaki değerler

Satır Numarası	Mesafe (cm)	Satır Numarası	Mesafe (cm)
14	1,002	22	4,111
15	1,956	23	4,064
16	3,074	24	4,228
17	4,186	25	4,366
18	4,806	26	4,337
19	5,198	27	3,930
20	4,876	28	2,740
21	4,334	29	1,845

Dikdörtgensel bölgenin fiziksel ölçüleri 3,3 x 4,2 cm’ dir. Tarama sonuçları bu bölgenin, modelin fiziksel ölçüleri ile benzerlik olduğunu göstermiştir. Ancak Şekil 3.7b gibi detaylı modellerde, özellikle farklı geometriler arasındaki geçişlerde lazer çizgisinin sensör tarafından tam olarak tesbit edilememesinden kaynaklı hatalar görülmüştür.

Çizelge 3.2’ de, Şekil 3.10a ve Şekil 3.10b’ deki mesafe verileri ile modelin fiziksel ölçüleri karşılaştırılarak hata yüzdeleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Modellere ait hata yüzdeleri

Şekil 3.10a mesafe verileri (cm)	Fiziksel ölçüler (cm)	Hata yüzdesi (%)	Şekil 3.10b mesafe verileri (cm)	Fiziksel ölçüler (cm)	Hata yüzdesi (%)
1,002	0	100	1,085	1,5	27,666
1,956	0	100	2,066	1,5	37,733
3,074	0	100	3,116	1,5	107,733
4,186	4,2	0,333	3,962	3	32,066
4,806	4,2	14,428	4,367	3	45,566
5,198	4,2	23,771	4,679	3	55,966
4,876	4,2	16,109	4,896	3	63,2
4,334	4,2	3,192	5,006	3	66,866
4,111	4,2	2,119	4,413	3	47,1
4,064	4,2	3,233	4,173	4	4,325
4,228	4,2	0,688	4,310	4	7,75
4,366	4,2	3,964	4,951	4	23,775
4,337	4,2	3,276	5,559	4	38,975
3,930	0	100	5,528	4	38,2
2,740	0	100	4,661	4	16,525
1,845	0	100	3,894	4	2,65

Bu hataların minimum seviyeye indirgenmesi için öncelikle çoklu filtrelerden geçirilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Ayrıca, bu çalışmada kullanılan 128 piksel çözünürlüğe sahip bir sensör yerine kullanılacak daha yüksek çözünürlükteki bir sensör, hata oranını önemli bir ölçüde azaltacaktır.

Literatürde lazer tarama sistemleri için farklı bir yaklaşımı Chromasens isimli ticari bir şirket ortaya koymuştur. Bu firmanın geliştirdiği ticari ürünlerden biri çift çizgi tarama sensörü kullanan 3DPIXA’ dır [28]. Bu teknoloji ile yüksek çözünürlükte 2D

görüntü ve aynı zamanda 3D veri ve tam renkli görüntüye ulaşılabilir. Bu kamera tipinde, belirli bir mesafedeki 2 lens, bir CCD sensördeki nesnenin görüntülerini oluşturur. 3DPIXA kompakt kameranın CCD sensörü, tek bir stereo görüntü sağlayan bir ön sekmeye ve bir arka sekmeye ayrılmıştır. 2 görüntü, nesnenin biraz farklı perspektif görünümünü gösterir. Bu görüntüler 3D hesaplama için kullanılır. Bu üründe kullanılan yöntem dışında, birden fazla satırdan oluşan çizgi tarama sensörlerinin kullanılması da 3D veriler oluşturmada etkili olabilir.



4. SONUÇ VE ÖNERİLER

3D tarayıcı teknolojisi son yıllarda endüstride yaygın kullanım alanlarına sahiptir. Bu teknoloji, üzerinde çeşitli komponentlerin bulunduğu baskı devre kartlarının denetiminde, bütün elektronik bileşenlerinin montaj ve bağlantılarının kontrol edilmesinde yaygın olarak kullanılır. Ayrıca 3D görüntüleme, devre yolunun kalınlığı veya bağlanma kontaklarının bütünlüğü gibi kritik faktörlerin ölçülmesini sağlar. Böylece, arızalı lehimleme, yabancı parçacıklar veya bileşenlerin hatalı konumlandırılması gibi durumlar otomatik olarak algılanabilir. Ayrıca, karmaşık demiryolu ağlarında demiryolu araçlarının hatasız bir şekilde çalışmasının sağlanması yüksek hassasiyetli 3D görüntü yakalama sistemleri ile gerçekleştirilmektedir. 3D tarama sistemleri ile tersine mühendislik yapılarak ürünlerin tasarım ve mühendislik anlamında iyileştirilmesi ya da yeniden üretilmesi mümkün olabilmektedir. Ayrıca, 3D modelleme, 3D oyun, 3D özel efektler, 3D animasyon ve gelişmiş görselleştirme gibi diğer uygulamalarda da tercih edilmektedirler.

Bu tez çalışmasında, çizgi tarama sensörü kullanılarak 3D model oluşturan temassız ve düşük maliyetli bir 3D lazer tarama sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemde, 128 piksele sahip bir çizgi tarama sensörünün analog pininden elde edilen veriler MATLAB ortamında görselleştirilmiştir. Sensör, lazer ve ışık kaynağı hareketli bir sistem üzerinde 0,2 cm adım mesafesinde hareket ettirilerek çoklu örnekler alınmıştır. Modelin konumlandırıldığı sahne ve sensör arasındaki farklı uzaklıklar için veriler kaydedilmiş ve ara değerlerin hesaplanmasında doğrusal interpolasyon metodu tercih edilmiştir. Daha sonra, alınan veriler üzerindeki gürültüyü engellemek için filtre kullanılmıştır ve böylece optimum verilerin elde edilmesi sağlanmıştır. Geliştirilen sistem farklı modeller ile test edilmiştir ve özellikle detaylı modellerde geometriler arasındaki geçişlerde sensörün hatalı veriler ortaya koyduğu gözlemlenmiştir. Test modeli üzerinde 3 kesit seçilerek 3D model oluşturulmuştur. Çoklu tarama verilerinin alınması modelin doğruluğunu arttıracaktır ancak her tarama verisi üzerindeki farklı gürültü noktalarının oluşması çoklu filtrelerin kullanılmasını gerektirmektedir. Ayrıca, lazer ışığının bir miktar kırınımından dolayı piksel verileri üzerinde hatalara yol açmaktadır.

Yüksek çözünürlükteki çizgi tarama sensörlerinin kullanımı kaydedilen veriler üzerindeki hataları azaltacaktır. Çoklu çizgiden oluşan lazerlerin kullanımı tarama aşamasında zamandan tasarruf edilmesini sağlayacaktır.

Gelecekte, sensör teknolojisinin gelişimi ve maliyetlerin düşmesi çizgi tarama sensörlerinin 3D tarama sistemlerinde kullanımının artmasına yol açacaktır.



5. KAYNAKLAR

- [1] **Marshall, G.F.** (2004). Handbook of Optical and Laser Scanning, Marcel Dekker, Inc.
- [2] **Ebrahim, A-B.M.** (2014). 3D Laser Scanners: History, Applications and Future, King Abdulaziz University, Saudi Arabia DOI: 10.13140/2.1.3331.3284.
- [3] **Url-1** <http://vr.isdale.com/3DScanners/3d_scan_history/history.html>, alındığı tarih: 22.08.2019.
- [4] **Bernardini, F., Rushmeier, Holly E.** (2002). The 3D Model Acquisition Pipeline, Comput. Graph. Forum 21 (2): 149–172.
- [5] **Curless, B.** (2000). From Range Scans to 3D Models, ACM SIGGRAPH Computer Graphics 33 (4): 38–41.
- [6] **Url-2** <http://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner>, alındığı tarih: 22.08.2019.
- [7] **Url-3** <<http://um3d.dc.umich.edu>>, alındığı tarih: 25.08.2019.
- [8] **Altan, O., Ayar, U.** (2014). “3 Boyutlu Yüzeylerin Toplam En Küçük Kareler Yöntemi İle Eşleştirilmesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi (Doktora Tezi), İstanbul
- [9] **Petty, R.S., Robinson, M., Evans, J.P.O.** (1997). “3D measurement using rotating line-scan sensors”, The Nottingham Trent University, Nottingham, UK DOI: 10.1088/0957-0233/9/3/005
- [10] **Ozan, Ş., Gümüştekin, Ş.** (2012). “Calibration of a 3D environmet scanner with a pair of line lasers”, 20th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Mugla, DOI: 10.1109/SIU.2012.6204468.
- [11] **Duran, Z., Akyol, O.** (2011). “Düşük Maliyetli Lazer Tarayıcı Sistemi Tasarımı”, İstanbul Teknik Üniversitesi (Y.Lisans Tezi), İstanbul.
- [12] **Çelik, R.N., Yüksel, B.** (2008). “Taş Duvarların Lazer Tarayıcı Verileriyle Modellenmesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi (Y.Lisans Tezi), İstanbul.
- [13] **Şeker, D.Z., Yazıcılar, E.E.** (2011). “Obje Yüzeylerinin Belirlenmesinde Lazer Tarayıcıların Kullanım Olanakları”, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, DOI: 10.15317/Scitech.2017.70

- [14] **Koyuncu, B., Küllü, K.** (2010). “Üç Boyutlu Lazer Tarayıcı ve Bilgisayar Teknikleri ile Cisimlerin Sanal Ortama Aktarılması”, Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, Ankara.
- [15] **Url-4** <https://www.novuslight.com/line-scan-vs-area-scan-what-is-right-for-machine-vision-applications_N6824.html>, alındığı tarih: 15.11.2019.
- [16] **Marvin, M.** (1961). Microscopy apparatus. US Patent 3,013,467, Dec. 19.
- [17] **Moerner, W.E.** (2015). Single-molecule spectroscopy, imaging, and photocontrol: Foundations for super-resolution microscopy (nobel lecture). Volume 54 Issue 28, Pages 8067-8093, Angewandte Chemie.
- [18] **Zhang, Z.** (2012). Microsoft kinect sensor and its effect. IEEE multimedia, 19 (2): 4-10.
- [19] **Keselman, L., Woodfill, J.I., Grunnet-Jepsen, A. ve Bhowmik, A.** (2017). Intel (r) realsense (tm) stereoscopic depth cameras. In IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), pages 1267-1276. IEEE.
- [20] **Gehm, M., Brady, D.** Compressive sensing in the eo/ir. Applied optics, 54(8): C14–C22.
- [21] Teledyne Dalsa, (2014). Understanding Line Scan Camera Applications.
- [22] Texas Advanced Optoelectronic Solutions Inc. 800 Jupiter Road, Suite 205 Plano, TX 75074 (972) 673-0759 (www.w-r-e.de/robotik/data/tsl1401.pdf). Erişim Tarihi: 03.08.2019.
- [23] **Url-5** <<http://www.ti.com/tool/EK-TM4C123GXL#technicaldocuments>>, alındığı tarih: 03.08.2019.
- [24] Cyclone IV Device Handbook, Volume 1, May 2013 (<https://www.intel.com/.../us/.../cyclone-iv/cyiv-51001.pdf>) Erişim Tarihi: 03.08.2019.
- [25] **Savitzky, A., Golay, M.J.E.** (1964). “Soothing and differentiation of data by simplified least squares procedures,” Anal. Chem., vol. 36, pp. 1627-1639.

[26] **Url-6** <http://www.statistics4u.com/fundstat_eng/cc_filter_savgolay.html#>, alındığı tarih: 15.11.2019.

[27] **Gedik, M.I., Karakış, R., Ünsal, E.** (2019). “FPGA Tabanlı Üç Boyutlu Lazer Tarayıcı Tasarımı”, 2. Uluslararası 19 Mayıs Yenilikçi Bilimsel Yaklaşımlar Kongresi, p.797-805, Samsun.

[28] **Url-7** <<https://www.chromasens.de/en>>, alındığı tarih: 15.11.2019.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Mehmet İrfan GEDİK
Doğum Yeri ve Tarihi	Malatya, 04.09.1989
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Cumhuriyet Üniversitesi Optik Mühendisliği Ana Bilim Dalı 58140 Sivas
E-posta Adresi	m.irfan.gedik@outlook.com.tr

Eğitim ve Akademik Durumu

Lisans	Niğde Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 2016
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi Optik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 2020

İş Tecrübesi

Devlet Demir Yolları Elektronik Bakım ve Onarım

(07.2015 - 08.2015) / Staj

AYKON Elektrik Taahhüt San. ve Tic. Ltd. Şti.

(08.2014 - 09.2014) / Staj

Bildiriler

- 1- M.I. GEDİK, R. KARAKIŞ, E. ÜNSAL, “FPGA Tabanlı Üç Boyutlu Lazer Tarayıcı Tasarımı”, 2. Uluslararası 19 Mayıs Yenilikçi Bilimsel Yaklaşımlar Kongresi, p.797-805, Samsun, 2019.