

**DİZİ LASER DİYOTLARIN POTANSİYEL ENDÜSTRİYEL
UYGULAMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BATTAL ÇOBAN

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
EKİM - 2019**

**DİZİ LASER DİYOTLARIN POTANSİYEL ENDÜSTRİYEL
UYGULAMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BATTAL ÇOBAN

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

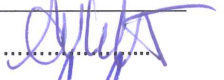


**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**Danışman
DOÇ. DR. ALKAN ALKAYA**

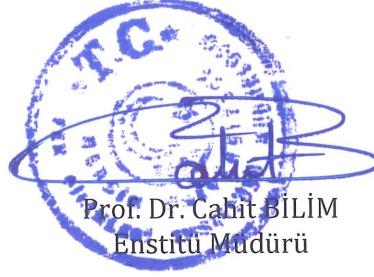
**MERSİN
EKİM - 2019**

ONAY

Battal Çoban tarafından Doç. Dr. Alkan Alkaya danışmanlığında hazırlanan "Dizi lazer diyotların potansiyel endüstriyel uygulamaları" başlıklı çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından 03/10/2019 tarihinde yapılan Tez Savunma Sınavı sonucunda oy birliği ile Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Görevi	Ünvanı, Adı ve Soyadı	İmza
Başkan	Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Naci METE	
Üye	Doç. Dr. Alkan ALKAYA	
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Murat FURAT	

Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 22/11/2019 tarih ve 2019/15/1313 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Cahit BİLİM
Enstitü Müdürü

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, tablo ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

ETİK BEYAN

Mersin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğinde belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlâk kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
 - Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak kullandığımı,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
 - Bu tezin herhangi bir bölümünü Mersin Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,
 - Tezin tüm telif haklarını Mersin Üniversitesi'ne devrettiğimi
- beyan ederim.

ETHICAL DECLARATION

This thesis is prepared in accordance with the rules specified in Mersin University Graduate Education Regulation and I declare to comply with the following conditions:

- I have obtained all the information and the documents of the thesis in accordance with the academic rules.
- I presented all the visual, auditory and written informations and results in accordance with scientific ethics.
- I refer in accordance with the norms of scientific works about the case of exploitation of others' works.
- I used all of the referred works as the references.
- I did not do any tampering in the used data.
- I did not present any part of this thesis as an another thesis at Mersin University or another university.
- I transfer all copyrights of this thesis to the Mersin University.

03/10/2019

İmza / Signature

B. Goban

Öğrenci Adı ve Soyadı / Student Name and Surname

Battal GÖBAN

ÖZET

DİZİ LASER DİYOTLARIN POTANSİYEL ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI

Sanayi devrimi beraberinde dünya nüfusundaki üstel artış, kişi başına düşen enerji ve kaynak kullanımı ihtiyacının günbegün yükselmesi, gelişen teknoloji; kaynak kullanımının yeniden değerlendirilmesi ve endüstriyel üretim tekniklerinin gözden geçirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Endüstriyel dünyada hergün bir yeniliğin baş gösterdiği Endüstri 4.0 konsepti kapsamında otomasyon sistemleri de değişmekte ve gelişmektedir.

Otomasyon sistemleri dahilinde son yıllarda görüntü işleme teknolojilerinde yaşanan önemli gelişmeler konvansiyonel görüntü algılama sistemlerinin kullanım alanını da genişletmiştir. CCD (Charge Coupled Device) ve CMOS (Complementary Metal Oxide) sensörlerin üretim sürecindeki teknolojik ilerlemeler bu alandaki esnekliği daha da artırmıştır. Bununla birlikte bu sensörler özel ışık kaynakları ile kullanılarak yeni tipte algılama metotları da geliştirilmektedir.

Bu çalışmada, ışık kaynağı olarak yarıiletken lazer üretici kullanılan bir lazer sensörden çıkan ışık, cisimlerin yüzeyinden yansıtılarak entegre bir CMOS sensörü ile okunmakta ve bilgisayar ortamındaki bir dosyaya nokta bulutu şeklinde yazılmaktadır. Daha sonra bu nokta bulutu doyası MATLAB ortamında işlenerek nesnenin görsel bir imajı elde edilmektedir. Elde edilen bu görsel üzerinde yorumlar yapılmakta ve bu yapının geliştirilmesi için önerilerde bulunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Lazer, 3 Boyutlu Modelleme, Nokta Bulutu, Matlab, Tersine Mühendislik, Simülasyon.

Danışman: Doç. Dr. Alkan Alkaya, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin Üniversitesi, Mersin.

ABSTRACT

POTENTIAL INDUSTRIAL APPLICATIONS OF LINE LASER DIODES

Following the Industrial Revolution, the world has begun changing rapidly due to the exponential population growth of human kind. Together with the population growth and technological developments; human demands changed, as well. Thus, the industrial production methods are in reconsideration and rejuvenation in terms of resources usage and process methodology, day by day. In parallel with daily technological development within Industry 4.0 concept, automation methodology and systems are changing and developing gradually.

In recent years, the technological development in the image processing applications has resulted widespread use of imaging based sensing systems. The technological development resulting from the flexibility of the usage of CCD (Charge Coupled Device) and CMOS (Complementary Metal Oxide) imagers has increased the application varieties and the fields of usage. However, those image sensors are widely available to be used with some certain light sources and this may result in new sensing methodologies.

Throughout this study, a laser sensor which is basically a combination of a semiconductor laser light source and a CMOS imager is lasing, and the light reflecting from the object is captured by the imager. The regarding data is written into a point-cloud format text file. Once getting the point-cloud data into a file, the file is processed by a MATLAB script to get a figure of the point-cloud showing a virtual copy of the target object. The virtual image is being analysed and comments are made to propose new methods to improve the system.

Keywords: Laser, 3-D Modelling, Point cloud, Matlab, Sensor, Reverse engineering.

Advisor: Assist. Prof. Alkan Alkaya, Department of Electrical and Electronics Engineering, University of Mersin, Mersin.

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın ortaya çıkmasında fikir, görüş ve önerileriyle bana her zaman destek olan ve katkılarını esirgemeyen danıőmanım Sayın Doç. Dr. Alkan Alkaya'ya, Sn. Dr. Günseli Bobuő Alkaya'ya; test çalışmalarında bana destek sağlayan Sayın Onur Akırmak, Sayın Zafer Ecevit ve Sayın Sinan akmakı'ya; ve de bu çalıőmanın en baőından en sonuna kadar yanımnda olan annem, babam ve kardeőlerime ayrı ayrı teőekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	i
ONAY	ii
ETİK BEYAN	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR ve SİMGELER	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	3
2.1.Lazer Teorisi	3
2.1.1. Elektromanyetik teori	5
2.1.2. Einstein'ın lazer teorisi	6
2.1.2.1. Emilim	7
2.1.2.2. Kendiliğinden ışım	8
2.1.2.3. Uyarımlı ışım	8
2.1.3. Maser	9
2.1.4. Lazer üretimi	9
2.1.5. Lazer türleri	15
2.1.6. Lazerlerin endüstriyel uygulamaları	17
2.2. Üç Boyutlu (3B) Modelleme	18
2.2.1. Işığın uçuş süresi (TOF)	20
2.2.2. Lazer triangülasyonu	21
2.2.3. Lazer ile modelleme çalışmaları	22
3. MATERYAL ve YÖNTEM	24
3.1. MSL123 Lazer Pofil Sensörü	25
3.1.1. Teknik Özellikler	26
3.1.2. Çalışma prensibi	31
3.2. MATLAB	33
3.2.1. pcshow fonksiyonu	34
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	36
4.1. Deneysel çalışmalar	36
4.1.1. Modelleme çalışmaları	36
4.1.1.1. Işık sensörü nesnesinin nokta bulutu imajının oluşturulması	36
4.1.1.2. USB Bellek nesnesinin nokta bulutu imajının oluşturulması	41
4.1.1.3. RJ45 konnektör muhafaza kılıfı nesnesinin nokta bulutu imajının oluşturulması	44
4.1.1.4. Kablo soyacağı nesnesinin nokta bulutu imajının oluşturulması	47
4.1.1.5. Lego nesnesinin nokta bulutu imajının oluşturulması	50
4.1.2. Görüntü analiz çalışmaları	53
4.1.2.1. PCB üzerinde eksik komponent tespiti	53
4.1.2.2. Rakor nesnesi farklı açılarda çoklu tarama	55
4.1.2.3. Plastik bağlantı borusu için farklı açılarda çoklu tarama	58
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR	62
EKLER	67
ÖZGEÇMİŞ	71

TABLULAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1. MSL 123 Lazer profil sensörü optik özellikleri	26
Tablo 3.2. MSL 123 Lazer profil sensörü elektriksel özellikleri	27
Tablo 3.3. MSL 123 Lazer profil sensörü mekanik özellikleri	28
Tablo 3.4. MSL 123 Lazer profil sensörü diğer özellikleri	28
Tablo 3.5. "pcshow" komutu parametreleri	34
Tablo 4.1. "sensor.txt" nokta bulutu değerleri (ilk 10 değer)	37
Tablo 4.2. "usb Bellek.txt" nokta bulutu değerleri (ilk 10 değer)	42
Tablo 4.3. "numune.txt" nokta bulutu değerleri (ilk 10 değer)	45
Tablo 4.4. "cablecutter.txt" nokta bulutu değerleri (ilk 10 değer)	48
Tablo 4.5. "lego.txt" nokta bulutu değerleri (ilk 10 değer)	51



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Elektromanyetik dalga spektrumu	3
Şekil 2.2. Lazer dalgaboyları şeması	4
Şekil 2.3. Elektromanyetik dalganın yayılımı (propagation)	5
Şekil 2.4. 2 seviyeli bir atomik yapıda üç temel ışımaya etkileşimi süreci: (a) emilim (b) ani ışımaya (c) uyartımlı ışımaya. (a), (b) ve (c) şekillerinin her birinde sol yarı bir seviyenin ilk doluluk durumunu, sağ yarı ise süreçten sonraki doluluk durumunu göstermektedir.	7
Şekil 2.5. Charles Townes ve ilk maser cihazı	9
Şekil 2.6. İlk lazer (yansıtıcı kasası yok)	10
Şekil 2.7. Enerji yüklü atoma uygun dalgaboyundaki ışığın yaklaşımı	11
Şekil 2.8. Atomun yanından geçen fotonun etkisi ile elektronun bir alt enerji seviyesine inmesi	11
Şekil 2.9. Elektronun bir alt seviyeye inmesiyle açığa çıkan enerji ile ışığın yükseltgenmesi	11
Şekil 2.10. Lazer uyartım düzeneği (Uyartım ışığı devre dışı)	12
Şekil 2.11. Lazer uyartımı başlangıç safhası (Uyartım ışığı devrede)	13
Şekil 2.12. Rastgele uyartım safhası (Uyartım ışığı devrede)	13
Şekil 2.13. Rastgele uyartım sürecinde ileri safhalar (Uyartım ışığı devrede.)	14
Şekil 2.14. Lazer ışığının oluşumu (Uyartım ışığı devrede.)	14
Şekil 2.15. 3 Boyutlu modelleme safhaları	19
Şekil 2.16. Nesne ölçümleme için ışık dalgaları ile temassız ölçüm metotları kullanılarak üç boyutlu modelleme teknikleri	20
Şekil 2.17. Işığın uçuş zamanı prensibi	21
Şekil 2.18. Lazer çizgi triangülasyonu	22
Şekil 3.1. MLSL123 Lazer profil sensörü fiziksel yapısı	25
Şekil 3.2. MLSL123 Lazer sensörü yapısal detaylar	26
Şekil 3.3. MLSL123 Lazer profil sensörü fiziksel ebatlar	29
Şekil 3.4. MLSL123 Lazer profil sensörü operasyon tuşları ve göstergeleri	30
Şekil 3.5. MLSL123 Lazer profil sensörü bağlantı detayları ve sinyaller	30
Şekil 3.6. MLSL123 Lazer profil sensörü ölçüm alanı	31
Şekil 3.7. MLSL123 Lazer profil sensörü çalışma prensibi	31
Şekil 3.8. Entegre kameranın sensör yapısı	32
Şekil 4.1. "sensor.txt" ölçüm nesnesi fiziksel yapısı	36
Şekil 4.2. "sensor.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı	38
Şekil 4.3. "sensor.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı yakın görünüm	40
Şekil 4.4. "sensor.txt" nokta bulutu noktasal değer örnekleri	40
Şekil 4.5. "usbbellek.txt" ölçüm nesnesi fiziksel yapısı	41
Şekil 4.6. "usbbellek.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı	42
Şekil 4.7. "usbbellek.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı yakın görünüm	43
Şekil 4.8. "usbbellek.txt" nokta bulutu noktasal değer örnekleri	43
Şekil 4.9. "numune.txt" ölçüm nesnesi fiziksel yapısı	44
Şekil 4.10. "numune.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı	45
Şekil 4.11. "numune.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı yakın görünüm	46
Şekil 4.12. "numune.txt" nokta bulutu noktasal değer örnekleri	46
Şekil 4.13. "cablecutter.txt" ölçüm nesnesi fiziksel yapısı	47
Şekil 4.14. "cablecutter.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı	48
Şekil 4.15. "cablecutter.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı yakın görünüm	49
Şekil 4.16. "cablecutter.txt" nokta bulutu noktasal değer örnekleri	49

	Sayfa
Şekil 4.17. "lego.txt" ölçüm nesnesi fiziksel yapısı	50
Şekil 4.18. "lego.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı	51
Şekil 4.19. "lego.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı yakın görünüm	52
Şekil 4.20. "lego.txt" nokta bulutu noktasal değer örnekleri	52
Şekil 4.21. PCB nesnesi fiziksel yapısı	53
Şekil 4.22. "pcb_ok.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı	54
Şekil 4.22. "pcb_ok.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı	54
Şekil 4.24. PCB taramalarında entegrenin (a) yerinde olması ve (b) yerinde olmaması durumu	55
Şekil 4.25. PCB taramalarında entegrenin yerinde olması(a) ve yerinde olmaması (b) durumunda z koordinat değişimi	55
Şekil 4.26. Plastik rakor nesnesi fiziksel yapısı	56
Şekil 4.27. "unionside.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı	56
Şekil 4.28. "uniontop.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı	57
Şekil 4.29. Rakor nesnesinin yatay ve dikey görünümünün ilişkisi	57
Şekil 4.30. Plastik bağlantı borusu nesnesi fiziksel yapısı	58
Şekil 4.31. "blackpiperight.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı	58
Şekil 4.32. "blackpipeleft.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı	59
Şekil 4.33. Plastik bağlantı borusu nesnesinin diagonal açılardan taramaları arasındaki ilişki	59

KISALTMALAR ve SİMGELER

Kısaltma/Simgesi	Tanım
Agil	Tümü gaz fazında iyodin lazer
A_{21}	Einstein'in kendiliğinden ışımaya katsayısı
b	Referans çizgisi
\vec{B}	Manyetik Alan
B_0	Manyetik alan genliği
B_{12}	Einstein'in B-emilim katsayısı
B_{21}	Einstein'in uyartımlı ışımaya katsayısı
C	Işığın hızı
CAD	Bilgisayar destekli tasarım
COIL	Kimyasal oksijen-iyodin lazer
\vec{E}	Elektrik Alan
ES	Elektromanyetik spektrum
E1	Düşük enerji seviyesi
E2	Yüksek enerji seviyesi
E_0	Elektrik alan genliği
f	Odak uzaklığı
FPGA	Alanlı programlanabilir kapı dizisi
GPS	Global konumlama sistemi
HTL	Yüksek eşikdeğeri lojiği
IBM	İmaj bazlı modelleme
IBR	İmaj bazlı görşelleştirme
Inf	Sonsuz
LIDAR	Işık tespit ve algılama
Laser	Radyasyon/ışımaya yayılımının uyartımı ile ışığın yükseltgenmesi
Maser	Radyasyon/ışımaya yayılımının uyartımı ile mikrodalga ışımının yükseltgenmesi
NaN	Değer bir sayı değil
N_1	Düşük enerji seviyesi popülasyon yoğunluğu
N_2	Yüksek enerji seviyesi popülasyon yoğunluğu
PCB	Baskı devre kartı
ROI	İlgi bölgesi
\vec{S}	Poynting vektörü
TOF	Işığın uçuş süresi
TTL	Transistör - Transistör lojiği
TCP/IP	İletim kontrol protokolü/ İnternet protokolü
2B	2 Boyut
3B	3 Boyut
ϵ_r	Malzemenin elektrik geçirgenliği
ϵ_0	Vakum elektrik geçirgenliği
n	Malzemenin kırılma indisi
θ	Lazer ışın açısı
μ_0	Vakum manyetik geçirgenliği
μ_r	Malzemenin manyetik geçirgenliği
u_E	Elektrik enerji
u_M	Manyetik enerji
τ	Kendiliğinden ışımaya ömrü
ω	Açısal frekans
\hbar	Planck sabiti = $6,626 \times 10^{-34}$ Js

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında gerek bant üzeri üretim yapan firmalar gerekse proses bazlı üretim yapan firmaların üretim metotlarını değiştirmesi ve geliştirmesinde ana etmenler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- üretim hızını artırmak,
- üretilen ürünün kalitesini sabit kılmak veyahut da artırmak
- insana dayalı işgücünü azaltmak
- ergonomi ve emniyet
- sürdürülebilirlik.

Yukarıda tanımlanan ihtiyaçları karşılamada şüphesiz ki en kullanışlı araç kontrol ve otomasyon sistemlerinin geliştirilmesidir.

Bir otomasyon sistemi tasarlanırken, sistemin verimliliğini belirleyen en önemli etkenlerden biri de sistem dahilinde kullanılan sensörlerin, ölçme ihtiyacı duyulan değişkene uygun seçilmesi ve ölçüm çözünürlüğünün olabildiğince yüksek olmasıdır.

Son yıllarda CCD (Charge Coupled Device) ve CMOS (Complementary Metal Oxide) görüntü sensörlerinin kullanımında meydana gelen teknolojik değişimlerin getirdiği iki önemli avantajdan bahsedilebilir. İlk olarak, sensör üzerindeki her bir pikselin ürettiği elektriksel sinyali diğer hücrelerden bağımsız olarak kullanma imkanı doğmuştur. İkinci önemli avantaj ise, sensörün farklı ışık dalga boylarına karşı oluşturduğu sinyalleri ayrı ayrı analiz etme imkanı elde edilmiştir. Bu sensörlerden elde edilen verilerden bir veri kümesi oluşturularak ve çeşitli yazılım ortamları kullanılarak (C, C#, .net vb.); uygulama geliştiriciler tarafından hem son kullanıcıların doğrudan kullanabileceği program paketleri oluşturulabilmekte, hem de ara derleyiciler vesilesiyle son kullanıcıların kendi uygulamalarını geliştirmesi sağlanabilmektedir.

Bu tarz yapı ve sistemlerde kullanılan referans ışık kaynakları çok çeşitli olabilmektedir. Bunlardan biri de lazer ışığıdır. Teknolojik gelişmeler ışığında lazer insanoğlu için önemli bir araç haline gelmiştir. Bilim ve mühendislikten başlayarak haberleşme, tıp, endüstriyel üretim ve malzeme işleme, eğlence ve sanat, astronomi ve metrolojiye kadar uzanan geniş bir skalada kullanılıyor olması, lazerin günlük hayata ne kadar nüfuz ettiğinin en önemli göstergesidir. Günümüzde artık modern fizik, kimya, biyoloji, tıp bilimleri alanındaki araştırmaların bir çoğunun artık lazer olmadan yapılması neredeyse olanaksız hale gelmiştir.

Lazer etkisi maddenin katı, sıvı, gaz ve plazma olmak üzere bütün hallerinde meydana gelebilir. Katı, sıvı, gaz ve plazma halindeki bu maddelerin ürün lazer spektrumu, hafif x-ray ışınları ve yüksek derece ultraviyole ışınlar ile milimetrik dalgalıyları arasında değişmektedir. Belirli bazı dalgalıylarında çalışan lazerlerin yanısıra, bazı lazer türleri geniş dalgalıy bantlarında çalışacak şekilde ayarlanabilmektedir. Farklı frekans dönüşüm teknikleri uygulamak suretiyle ilgili lazer dalgalıy daha kısa veya daha uzun dalgalıylarına dönüştürülebilmektedir. Lazerler sıklıkla yeni bir lazer dalgalıy üreten medyalar için bir uyartım kaynağı olarak da kullanılmaktadırlar.

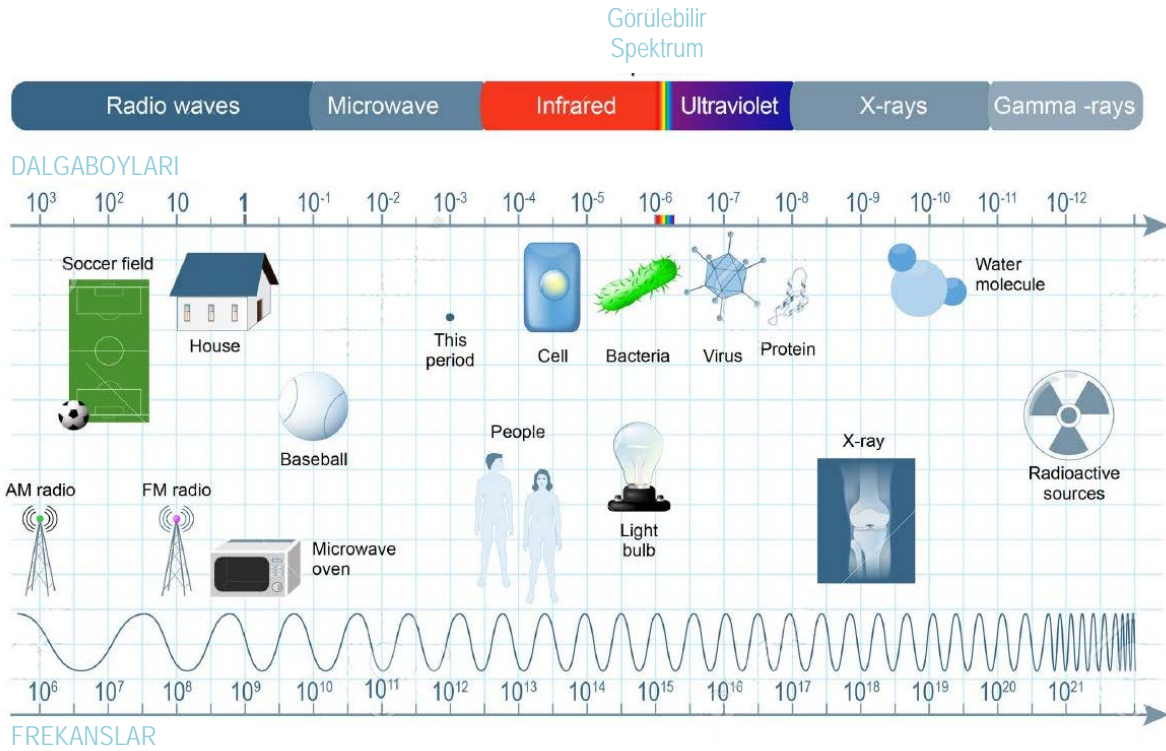
Aktif lazer indükleme iyonunun veya atomun niteliklerine, medyanın bileşimine, uyartım ve çalışma ortamına bağlı olarak üretilen lazerin yapısında farklılıklar meydana gelebilir. Bazı türdeki lazerler için periyodik tablo özellikleri incelenmekte ve analiz edilmekte iken, özellikle katı hal lazerleri için maddenin bileşimleri ile ilgili çalışmalar daha çok ilerleme göstermektedir. Yarıiletken lazerlerde ise bir atom katmanında; sıvı faz kaplaması, moleküler epitaksi ve metal-organik kimyasal depolama özellikleri vesilesi ile belirli bir zamanda özel yapıların oluşturulabilmesi, quantum kuyuları, stnrg (superlattice) gibi çeşitli yeni lazer yapılarının, ve çalışma konfigürasyonlarının, ve de yeni lazer dalgalıylarının elde edilmesine olanak sağlamaktadır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1. Lazer Teorisi

LASER sözcüğü (L)ight (A)mplification by the (S)timulated (E)mision of (R)adiation sözcüklerinin baş harflerinin birleşiminden meydana gelmektedir. Genel bir tabirle Radyasyon/ışın yayılımının uyarımı ile ışığın yükseltgenmesi şeklinde yorumlanabilir.

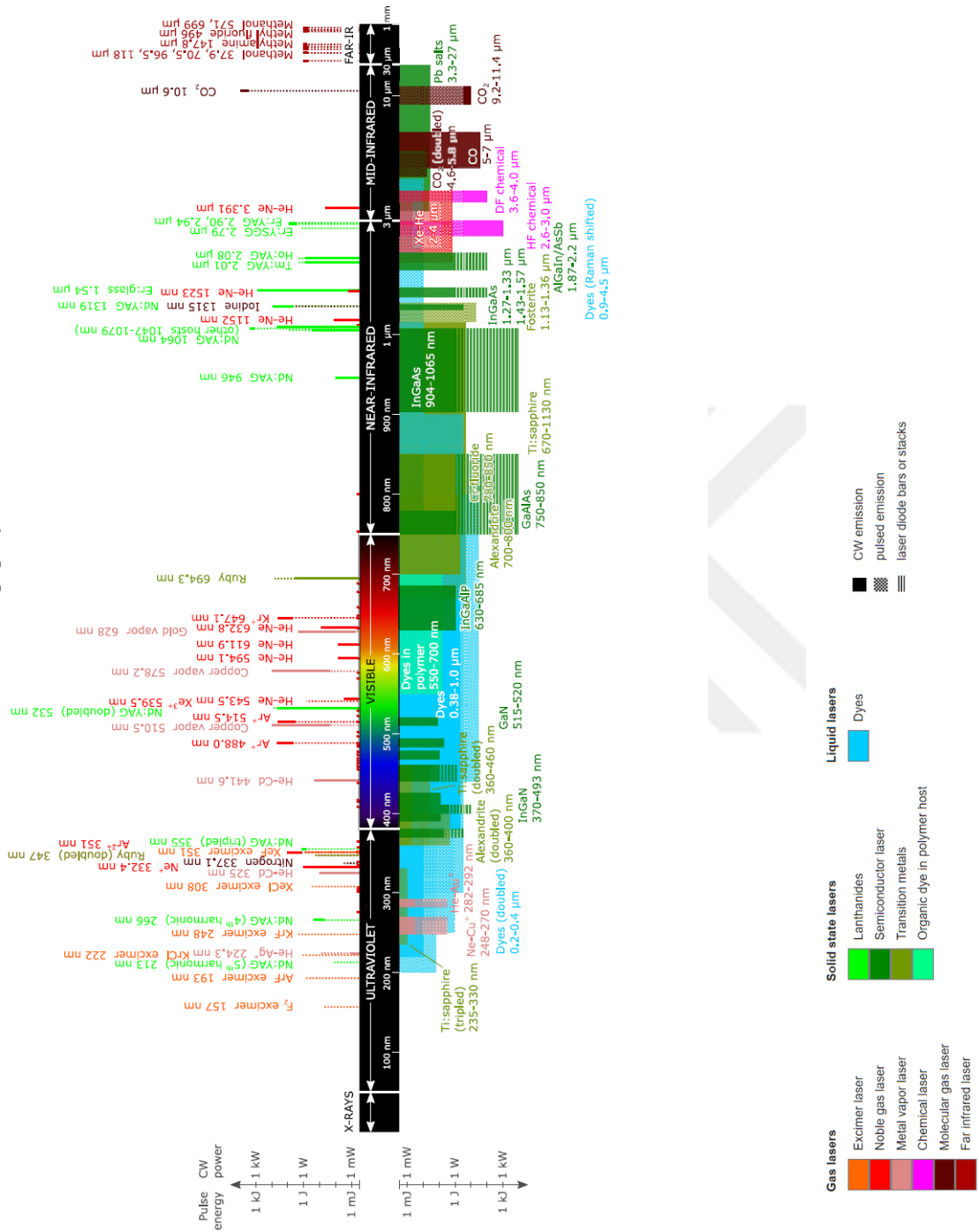
En genel tanımı ile ışık bir elektromanyetik dalga formudur. Elektromanyetik dalganın kendisi ise enerjinin uzayda hareket etme yöntemidir. Enerjinin uzayda elektromanyetik dalga formunda verilmiş geniş bir spektrumu aşağıda Şekil 2.1.'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Elektromanyetik dalga spektrumu

Elektromanyetik spektrumda insanın çıplak gözle görebildiği dalga boyları ise 400 nanometre (4×10^{-7} m, mor) ile 700 nanometre (7×10^{-7} m, kırmızı) arasındadır. Bütün elektromanyetik dalgalar bir renk ve parlaklık ile ifade edilir, ve de belirli bir açıyla titreşir (Polarizasyon). Aynı durum lazer ışık içinde geçerlidir. Ancak lazer ışığında ışınlar diğerlerine göre daha "paralel" ilerlemektedir. Işın demetindeki bütün ışınlar (hemen hemen) aynı yönde ilerler. Dolayısı ile ışınlarda saçılım/dağılım çok azdır. İyi yapılandırılmış bir lazer ile 1 km mesafedeki bir nesne 60 mm'lik bir nokta ile aydınlatılabilir.

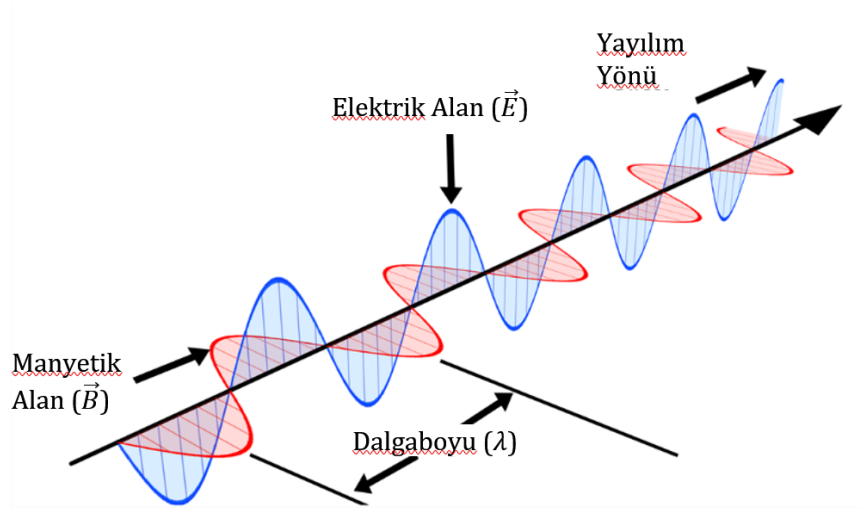
Lazer ışınlarının elektromanyetik alan spektrumu üzerinde nasıl yerleştiği ve değişik lazer uygulamalarının kullandığı dalgaboyları Şekil 2.2.'de gösterilmiştir [1].



Şekil 2.2. Lazer dalgaboyları şeması

2.1.1. Elektromanyetik teori

Elektromanyetik dalganın esas karakteristiği frekansıdır. Maxwell'e göre, değişen elektrik alan bir manyetik alan oluşmasına yol açar. İvmelendirilmiş bir yük zamana bağlı değişen bir elektrik alanı ve beraberinde zamana bağlı değişen bir manyetik alanı meydana getirir. Bundan kaynaklı olarak bir elektromanyetik dalga sinüs dalgası formunda zamana bağlı değişen, ve birbirine dik elektrik ve manyetik alanlar içermektedir. Şekil 2.3.'de bir elektromanyetik dalganın genel yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Elektromanyetik dalganın yayılımı (propagation)

Elektromanyetik dalgaların genel özellikleri ve karakteristikleri aşağıda verildiği gibidir:

- Elektromanyetik dalgalar doğada birbirine dik zamana bağlı değişen elektrik ve manyetik alan oluşturarak ilerlerler.
- İvmelenmiş yükler elektromanyetik dalgalar meydana getirir.
- Elektromanyetik dalgalar boşlukta (vakum) sabit hızla hareket eder ve bu hız yaklaşık olarak

$$C = 3 \times 10^8 \text{ms}^{-1} \quad (1)$$

ile ifade edilir. Ve de

$$C = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (2)$$

denklemleri ile tanımlanır.

- Elektromanyetik dalga yayılımı herhangi bir malzemeden teşkil ortama ihtiyaç duymaz.
- Elektromanyetik dalganın esas karakteristiği frekansıdır. Elektromanyetik dalga ortam değiştirirken frekans değişmez ancak genliği değişir.
- Bir malzemenin kırılma indisi

$$n = \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \quad (3)$$

ile ifade edilir.

- Elektromanyetik dalgalar üstüüste binme ilkesine (principle of superposition) tabidir.
- Işık vektörü (elektrik vektör olarakta adlandırılabilir) elektromanyetik dalgaların optik etkilerinin sebebidir.
- Bir elektromanyetik dalgada elektrik ve manyetik alanlar aynı fazdadır ve büyüklükleri birbirine sabit orantılıdır. Elektrik ve manyetik alanların genliklerinin birbirine oranı ışığın hızına eşittir. Başka bir deyişle,

$$c = \frac{E_0}{B_0} \quad (4)$$

olarak elde edilir.

- Elektromanyetik dalganın elektrik ve manyetik alanları tarafından taşınan enerjiler birbirine eşittir. Diğer bir deyişle elektrik enerji (u_E) ve manyetik enerji (u_M) birbirine eşittir.

$$u_E = u_M \quad (5)$$

- Elektromanyetik dalganın birim alanda birim saniye başına transfer ettiği enerji \vec{S} vektörel büyüklüğü ile ifade edilir.

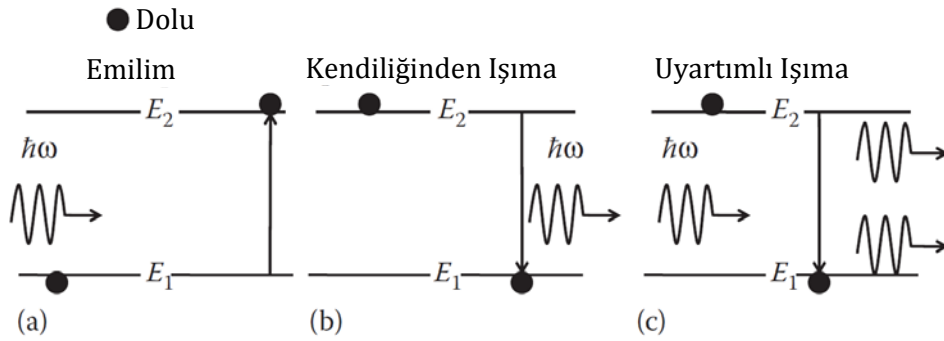
$$\vec{S} = \frac{1}{\mu} \vec{E} \times \vec{B} \quad (6)$$

2.1.2. Einstein'ın lazer teorisi

Her ne kadar Einstein lazer teorisini bulan kişi olmasa da, teorinin temellerini onun çalışmaları oluşturmuştur. Einstein enerjinin ani emilim ve yayılımı ile birlikte ışımanın ve uyarımlı yayılımının gerçekleşebileceğinden bahseden kişidir. Einstein çalışmalarında foton aritmetiğini kullanarak fazla enerji ile yüklenmiş ve rastgele zamanda rastgele bir doğrultuda

foton saçmaya hazır büyük atom topluluklarını incelemiştir. Şayet başıboş bir foton yanbaşıandan geçer ise, bu fotonun varlığı ile atom uyarılır foton saçmaya başlar. Daha önemli olan husus ise saçılan fotonun orijinal foton ile aynı frekans ve aynı doğrultuda hareket etmesidir. Sonrasında, diğer atomlar arasında hareket eden fotonlar diğer atomları uyararak daha fazla fotonun atomik alanı terkedip rastgele yönlerde saçılmasına neden olacaktır. Bundan sonrasında lazer ışını imal etmek için, uygun türde atom ve yansıtıcı aynalar kullanmak yeterli olacaktır. Yansıtıcı aynalar uyarımlı yayılımın devam etmesine yardımcı olacaktır.

Bir EM dalğanın madde ile etkileşmesinde 3 temel süreçten biri işler: (1) emilim, (2) ani ışıma, ve (3) uyarımlı ışıma. Bu süreçler ilk olarak Einstein tarafından 1917 yılında tarif edilmiştir. Bu süreç Şekil 2.4. 'te, yalnız iki enerji seviyesi olan farazi bir atom üzerinden gösterilmiştir. Bu atomun enerji seviyeleri E_1 (düşük seviye) ve E_2 (yüksek seviye)'dir. Bu atomlardaki popülasyon yoğunluğu sırasıyla N_1 ve N_2 'dir. $\omega = (E_2 - E_1)/\hbar$ açısai frekansındaki koşutlanmış tek renkli bir ışın demeti atomlar ile aşağıda belirtilen 3 yoldan biriyle etkileşime girmektedir [2]:



Şekil 2.4. 2 seviyeli bir atomik yapıda üç temel ışıma etkileşimi süreci: (a) emilim (b) kendiliğinden ışıma (c) uyarımlı ışıma. (a), (b) ve (c) şekillerinin her birinde sol yarı bir seviyenin ilk doluluk durumunu, sağ yarı ise süreçten sonraki doluluk durumunu göstermektedir [3].

2.1.2.1. Emilim

Normal koşullarda bütün maddeler ışığı emer. Şekil 2.4.a'da enerjisi $\hbar\omega = E_2 - E_1$ olan bir fotonun, elektronu düşük enerji seviyesinden yüksek enerji seviyesine çıkararak emilimi gösterilmektedir. Şekil 2.4.a'nın sol tarafı atomun ilk durumunu gösterirken sağ tarafı geçişten sonraki durumu betimlemektedir. Emilimden dolayı gelen ışığın yoğunluğu azalmıştır ancak yayılım yönü ve polarizasyonu değişmemiştir. Emilim miktarı aşağıda verildiği gibidir.

$$\frac{dN_1(t)}{d(t)} = -B_{12}N_1\rho(\omega) = -\frac{dN_2(t)}{dt} \quad (7)$$

Burada B_{12} Eienstein'in B-emilim katsayısını, ρ gelen foton akısının enerji yoğunluğunu ifade etmektedir.

2.1.2.2. Kendiliğinden ışıma

Şekil 2.4.b.'de gösterilen bu süreçte üst enerji seviyesindeki atom kendiliğinden alt enerji seviyesine iner, ve \hbar enerjisine sahip bir foton ışıması yapar. Yayılan ışımının yönü ve polarizasyonu rastgeledir. Bu süreçte oran aşağıda verildiği gibidir:

$$\frac{dN_1(t)}{d(t)} = -A_{21}N_2\rho(\omega) = -\frac{dN_2(t)}{dt} \quad (8)$$

Burada A_{21} Eienstein'in A-katsayısını ifade eder, ve kendiliğinden ışıma ömrü $\tau = (A_{21})^{-1}$ ile bağlantılıdır.

2.1.2.3 Uyartımlı ışıma

Şekil 2.4.c.'de gösterilen bu süreçte gelen ışın, atomu bir üst seviyeden bir alt seviyeye elektron geçişi yapacak şekilde indükler. Açığa çıkan fotonun frekans, faz, polarizasyonu ve yayılma doğrultusu elektron geçişini uyartan, gelen fotonla aynıdır. Bu süreçte oran aşağıda verildiği gibidir:

$$\frac{dN_2(t)}{d(t)} = -B_{21}N_2\rho(\omega) = -\frac{dN_1(t)}{dt} \quad (9)$$

Burada B_{21} Einstein'in uyartımlı ışıma için B-sabitidir.

Normal koşullarda atomlar ve moleküller rastgele fazlarda ve rastgele yönlerde az veya çok ışık saçarlar. Ampul, mum, neon tüpler ve güneş ışığı dahil bütün kaynaklardan ışık bu şekilde açığa çıkar.

Eğer atom içerisinde enerji birikmiş ve uygun dalgaboyunda ışık yakınından geçer ise bu sefer farklı bir olay gözlemlenir. Atom bu yakından geçen ışık ile tamamıyla senkron bir ışık

yayar. Bu yakından geçen ışığın yükseltgenmesi olarak tanımlanır ki bu durum lazer üretiminde lazer aynaların arasında ışığın salınımı için gereklidir [3].

2.1.3. Maser

1954 yılında Charles Townes ve Arthur Schawlow ammonia gazı ve mikrodalga ışımasını kullanarak maser'i (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) keşfetti. Maser optik lazerden daha önce keşfedildi. Teknolojik olarak aynı prensibe dayalı olmasına rağmen farklı olarak maserde görülebilen ışık dalgaboyları kullanılmamaktadır. Charles Townes 24 Mart 1959 'da maser'in patentini aldı. Maser uzay araştırmaları yapmak maksadıyla radyo dalgalarını yükseltmek için kullanılıyordu ve ultra hassas bir dedektör işlevi görmekteydi [4].



Şekil 2.5. Charles Townes ve ilk maser cihazı [4]

1958 yılında Charles Townes ve Arthur Schawlow görülebilir dalgaboylarında lazer ile ilgili teoriyi ortaya koydu ve makaleler yayınladı. Bu teori infrared veya görülebilir ışık spektrumun kullanıldığı bir çalışma idi ancak bu çalışmaları ilerlemedi.

2.1.4. Lazer retimi

Bugün dünyada lazer olarak adlandırılan yapıyı -ki aynı zamanda "yakut lazer" olarak da bilinmektedir- ise, 1960 yılında ilk icat eden kişi Theodore Maiman'dır.

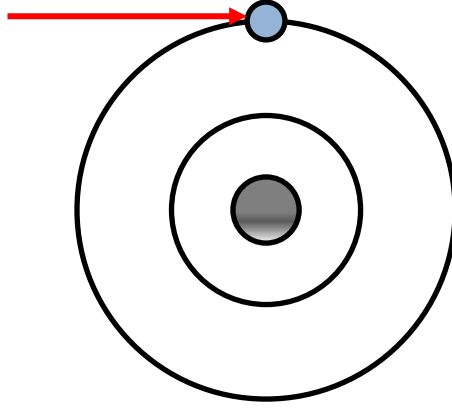
Yakut kristali, bazı alüminyum atomlarının yerini krom atomlarının aldığı bir alüminyum oksit bileşimidir. Krom yakuta doygun kırmızı rengini verir. Basitçe bir anlatımla; bir silindirik formunun içine yerleştirilmiş bir yakutun bir tarafına tam yansıtıcı, bir tarafına kısmi yansıtıcı ayna yerleştirilerek etrafına yüksek yoğunlukta beyaz ışık verebilen ve lazer üretimini tetikleyen bir spiral ışık kaynağı dolandır. Şekil 2.6.'da Maiman'ın yaptığı ilk lazer cihazının tüpsüz hali görülmektedir [5].



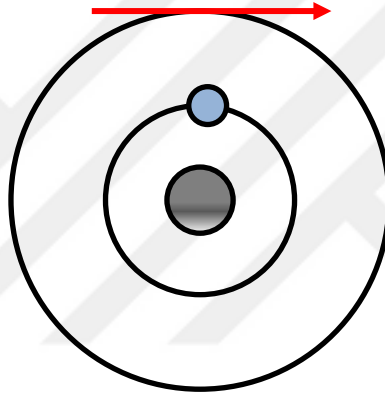
Şekil 2.6. İlk lazer (yansıtıcı kasası yok)

Sonrasında çok çeşitli türde lazerler icat edilmiş olsa da, Maiman'ın yakut lazeri kozmetik, yüksek hızlı fotografi ve darbeli holografi gibi alanlarda hala kullanılmaktadır.

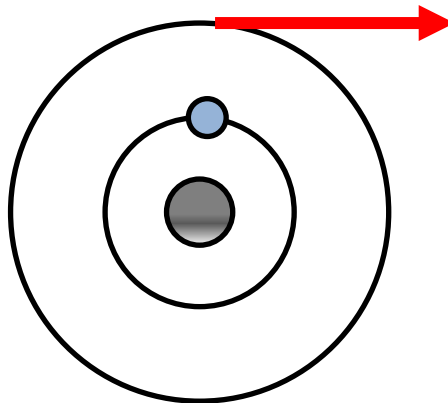
Lazer temel olarak ışığın elektronlar ile etkileşmesi sonucunda ortaya çıkar. Elektronlar ait oldukları atom veya moleküllerin yörüngesinde belirli bir enerji seviyesinde bulunurlar. Enerji seviyeleri çekirdek etrafındaki çemberler yahut yörüngeler şeklinde düşünülebilir. Dış yörüngedeki elektronlar iç yörüngelerdeki elektronlara nazaran daha yüksek enerji seviyesindedirler. Elektronlar sözcümlü bir ışık parlaması vesilesiyle enerjinin atoma enjekte edilmesi sureti ile daha yüksek enerji seviyesine çıkartılabilirler. Bir elektron yüksek enerji seviyesinden daha düşük bir enerji seviyesine indiğinde fazla enerji ışık olarak açığa çıkar. Sırasıyla Şekil 2.7., Şekil 2.8 ve Şekil 2.9'da bir fotonun atom ve elektronlar ile etkileşim süreci gösterilmektedir[5].



Şekil 2.7. Enerji yüklü atoma uygun dalgaboyundaki ışığın yaklaşımı

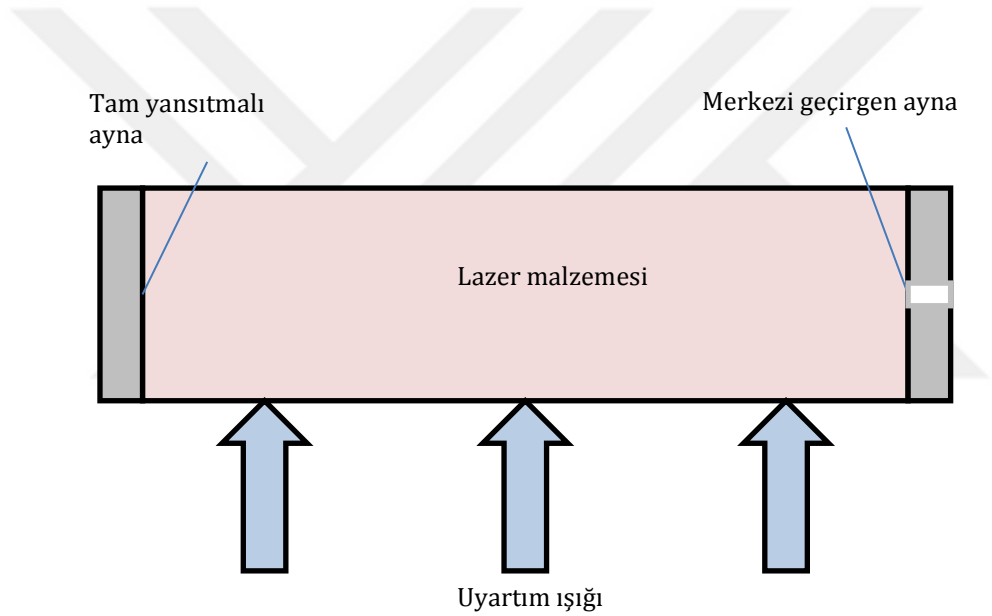


Şekil 2.8. Atomun yanından geçen fotonun etkisi ile elektronun bir alt enerji seviyesine inmesi



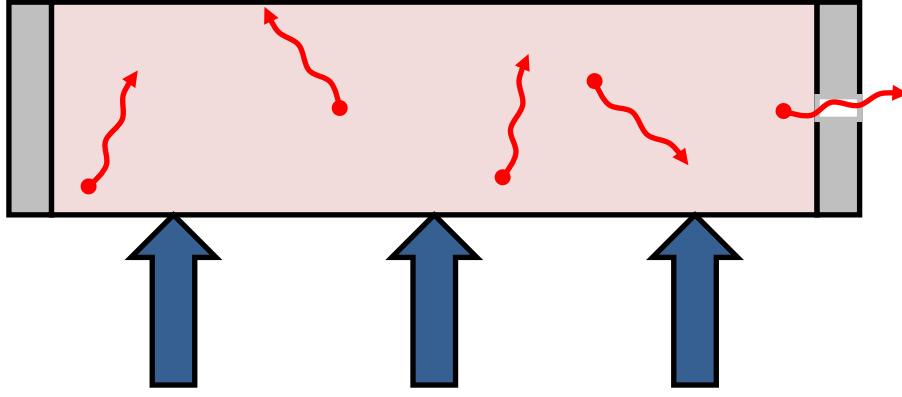
Şekil 2.9. Elektronun bir alt seviyeye inmesiyle açığa çıkan enerji ile ışığın yükseltgenmesi

Yayılan ışığın dalgaboyu veyahut da rengi serbest kalan enerjinin miktarı ile ilgilidir. Lazerin üretileceği materyalin türüne bağlı olarak, ışığın belirli dalgaboyları emilir (elektronları uyarmak için) ve belirli bir dalgaboyunda bir ışık yayılır (elektronlar kendi ilk enerji seviyesine indiğinde). Örneğin kırmızı lazer ışığını elde etmek için bir yakut silindirin iki açık uçlarından birisine tam yansıtıcı diğerine kısmi yansıtıcı aynalar yerleştirilir. Lazer etkisini başlatmak için yüksek şiddette beyaz ışık saçan bir lamba bu silindirin etrafına spiral şeklinde sarılır. Kaynak ışığındaki mavi ve yeşil dalgaboylarındaki fotonlar atomları bir bir üst enerji seviyesine çıkaracak şekilde uyarır, enerjilendirir. Elektronlar normal enerji seviyelerine geri dönerken kırmızı-yakut renkte ışık yayar. İki uçta bulunan aynalar bu ışığı ileri-geri sürekli olarak yansıtarak diğer krom atomlarını uyarır ve bu şekilde daha fazla kırmızı ışık elde edilir. Bu ışığın bir bölümü kısmi yansıtıcı ayna tarafından düzenek dışına yayılır. Buradan dışarıya yansıyan ışığa lazer adı verilir [6].



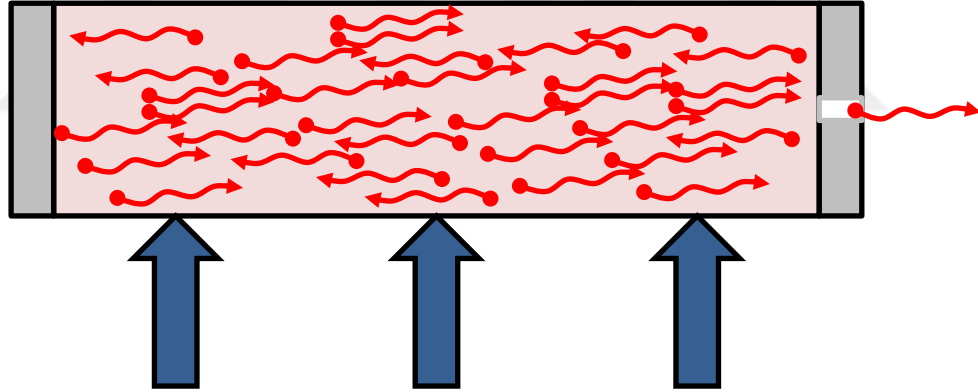
Şekil 2.10. Lazer uyartım düzeneği (Uyartım ışığı devre dışı)

Şekil 2.10'da bir lazer düzeneğinin genel yapısı gösterilmektedir. İlk durumda, yani uyartım ışığı verilmeden lazer kaynak materyalinde herhangi bir ışık yayılımı meydana gelmez, durağandır.



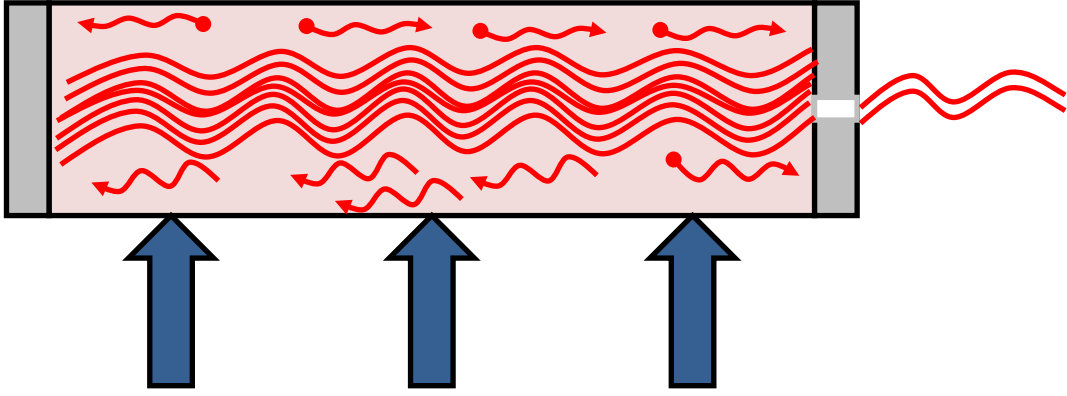
Şekil 2.11. Lazer uyartımı başlangıç safhası (Uyartım ışığı devrede)

Şekil 2.11.'de uyartım ışığının devreye girmesiyle başlayan lazer uyartım süreci gösterilmektedir. Uygun dalgaboyundaki kaynak ışık aktif hale gelir gelmez, enerji yüklü atomun yörüngesindeki elektronlar uyartımla fazla enerjiyi ışıyarak bir alt enerji seviyesine inerler. Bazı fotonlar kısmi geçirgen aynadan dış ortama yayılır.



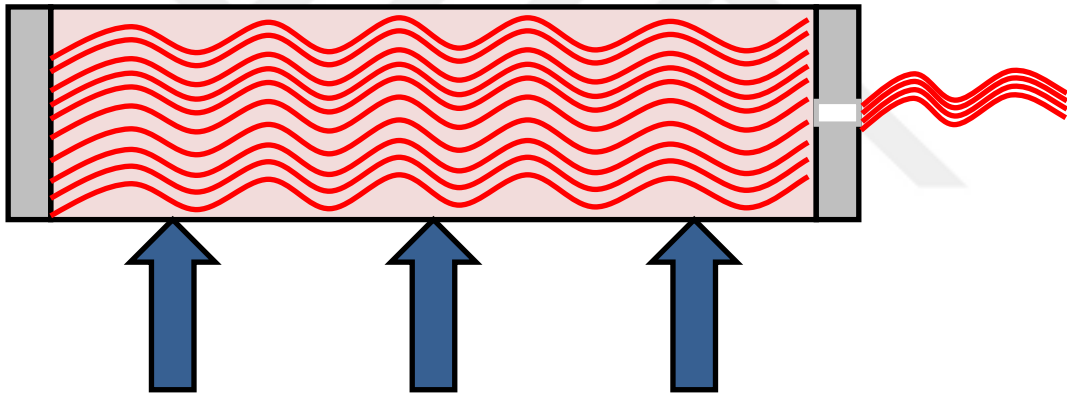
Şekil 2.12. Rastgele uyartım safhası (Uyartım ışığı devrede)

Şekil 2.12'de uyartımın devam etmesi durumunda fotonların ilk baştaki davranışları gösterilmektedir. Uyarılan fotonlar tam yansımali yüzeylere çarparak diğer elektronların uyarılmasına ve bir alt seviyeye inmesine neden olurlar. Madde içindeki uyartım gitgide artar. Kısmi geçirgen bölümden dış ortama daha fazla foton saçılır.



Şekil 2.13. Rastgele uyardım sürecinde ileri safhalar (Uyardım ışığı devrede.)

Şekil 2.13. 'te devam eden uyardımın bir sonraki safhası gösterilmektedir. Rastgele yüzeylere ve diğer atomlara çarpan fotonların miktarı oldukça artmıŐtır. Kısmi geçirgen bölümden dış ortama saçılan foton oranı daha da artar. Lazer ışımaya süreci baŐlamıŐtır.



Şekil 2.14. Lazer ışığının oluşumu (Uyardım ışığı devrede).

Şekil 2.14'te lazer uyardımının nihai safhası gösterilmektedir. Dzenekten lazer ışın yayılımı baŐlamıŐtır. Lazer ışımaya tam yoğunlukta, kaynak ışık uyardımı kesilinceye veyahut da maddenin atomlarının yörüngesindeki elektronların tamamı alt enerji seviyesine ininceye kadar devam eder [7].

2.1.5. Lazer türleri

Enerji seviyesine göre:

1. İki seviye: bu durumda foton uyarılma ile yarı kararlı durumdan ikinci seviyeye atlar
2. Üç seviye: bu durumda foton uyarılma ile yarı kararlı durumdan üçüncü seviyeye atlar
3. Dört seviye: bu durumda foton uyarılma ile yarı kararlı durumdan dördüncü seviyeye atlar [8].

Kullanılan malzemeye göre:

Gaz Lazerler

Helium-neon lazer, Argon lazer, Kripton lazer, Xenon iyon lazer, Nitrojen lazer, Karbondioksit lazer, Karbonmonoksit lazer Eksimer lazer en sıklıkla kullanılan gaz lazer türleridir. Holografi, spektroskopi, optik gösteriler, iplik lazerlerin uyarıtımı, hava kirliliği ölçümleri, malzeme işleme (delme, kesme vb.), lazer cerrahi gibi birçok kullanım alanları vardır [9].

Kimyasal lazerler

Hidrojenflorit lazer, Deteryumflorit lazer, COIL (Chemical oxygen-iodinelaser / Kimyasal oksijen iyodin lazer), Agil(Allgas-phaseiodine lazer / Tümüyle gaz fazında iyodin lazer) en yaygın kullanılan türleridir. Genel olarak enerji yönlendirmeli lazer silahların yapımında kullanılmakla birlikte bilimsel araştırmalar ve uzay endüstrisinde de kullanılmaktadırlar [9].

Boya lazerler

En sık kullanılan dalgaboyları 390-435 nm (stilbene), 460-515 nm (coumarin102), 570-640 nm (rhodamine6G)'dir. El feneri, doğum lekesinin silinmesi, spektroskopi ve araştırma amaçlı kullanılmaktadırlar [9].

Metal buharı lazerleri

Helyum-Kadmiyum(HeCd) metal-buharı lazeri, Helyum-Cıva (HeHg) metal-buharı lazeri, Helyum-Selenyum (HeSe) metal-buharı lazeri, Helyum-Gümüş (HeAg) metal-buharı lazeri Neon-Bakır (NeCu) metal-buharı lazeri, Bakır buharı lazeri, Altın buharı lazeri en yaygın olanlarıdır. Lazer ile yazılama, bilimsel araştırma, cilt tedavisi, yüksek hızlı fotoğraflama, boya lazerler için uyartım ışığı kaynağı, sahte para analizi, amatör lazer yapımında sıklıkla kullanılmaktadırlar [9].

Katı Hal lazerleri

Lazer türleri arasında en çok çeşitlilik gösteren lazerlerdir. Yakut laser, Nd:YAG lazer Er:YAG lazer, NeodymiumYLF(Nd:YLF) katı hal lazeri, Neodmiyum katkılı İttriyum orto vanadat (Nd:YVO4)) lazer, Neodmiyum katkılı İttriyum Kalsiyumoksoborat Nd:YCa4O(BO3) ya da diğer adıyla Neodmiyum cam lazeri, Titanyum safir(Ti:sapphire) lazer, TulyumYAG(Tm:YAG) lazer, İterbiyum YAG(Yb:YAG) lazer, İterbiyum 203 (cam yada seramik) lazer, İterbiyum katkılı cam lazer, Seryum katkılı lityum stronsiyum (veya kalsiyum) alüminyum florit (Ce:LiSAF,Ce:LiCAF), Prometyum 147 katkılı (147 Pm+3:Glass) fosfat cam katı hal lazeri, Krom katkılı krizoberil (Alexandrite) lazer, Erbiyum ve aderbiyum-iterbiyum katkılı cam lazer, iki değerlikli samaryum katkılı kalsiyum florit (Sm:CaF 2) lazer gibi çok farklı türleri bulunmaktadır.

Holografi, dövme silme, malzeme işleme, mesafe ölçüm, lazerle hedef işaretleme, diğer lazerlerin uyartılması, araştırma geliştirme, el lambası, dişçilik, optik soğutma, LIDAR, çoklu foton mikroskobisi, telekomünikasyon gibi birçok alanda kullanılmaktadırlar [10].

Yarıiletken lazerler

Lazer diyot olarakta anılırlar. GaN, AlGaAs, InGaAsP, Kurşun tuzu, Kuantum kaskad lazer, Hibrid silikon lazer gibi çeşitleri bulunmaktadır. Genel olarak malzemenin aktif olduğu bölgeye bağlı 0.4 – 20 µm dalgaboyunda lazer üretirler. Optik CD, optik DVD okuyucu ve yazıcılar, lazer yazıcılar, lazer işaretleyiciler, veri iletimi, metal işleme, endüstriyel proses kontrol, nefes analizörü gibi tıbbi kullanımları bulunmaktadır [10].

Diğer lazerler

Serbest elektron lazeri, Gaz dinamik lazer, nikelimsi lazer, Raman lazeri, nükleer uyartımlı lazer bunlardan birkaçıdır. DNA yapı analizi, virüs karakteristiğinin incelenmesi, nükleer füzyon,

atmosfer araştırmaları, malzeme bilimi, askeri uygulamalar, fiberoptik lazer ve daha bazı özel uygulamalar da kullanılmaktadır [10].

2.1.6. Lazerlerin endüstriyel uygulamaları

Bilgi teknolojileri

Lazer teknolojilerinin en büyük uygulamaları optik veri depolama cihazlarıdır(örneğin CD ve DVD çalarlar). Bu uygulamalarda yarıiletken lazerden odaklanmış, 1 mm'den daha dar bir ışın demeti disk yüzeyini tarayıp okumakta veya yazmaktadır. Diğer bazı günlük kullanım araçları barkod okuyucular, lazer yazıcılar ve lazer işaretçileridir. Geçen 25 yılda matbaa ve gazete endüstrisi geleneksel "sıcak metal" ile yazdırmanın yerini lazerin alması ile adeta bir devrim yaşamıştır.

Haberleşme

Lazerin diğer bir önemli uygulama alanı ise fiber optik haberleşmedir. Genişbant veri iletimi, lazer ile üretilen ve anahtarlanan ışık darbelerinin optik fiberler üzerinden iletilmesi prensibine dayanmaktadır. Bu teknoloji ilk olarak İngilterede icat edilen ve uzun mesafe fiber linklerinin en önemli parçası olan fiber yükselteçler sayesinde hayata geçmiştir.

Tıp

Lazer, yoğunlaştırılmış enerjiyi hassasiyetle kontrol edilebilen ışın demetlerine dönüştürülebilmektedir. Bu sayede tıp insanları daha az acı ve ağrı, daha az kesik, daha az kan ve daha hızlı iyileşmeye olanak sağlayan mikrocerrahi operasyonlarını başarı ile gerçekleştirebilir noktaya gelmiştir. Örneğin doktorlar esnek optik fiberler vesilesi ile mide içerisine ulaşabilmekte kanamakta olan bir ülserle müdahale edebilmektedir. Başka bir yaygın kullanımı ise göz hastalıklarının tedavi edilmesi ve göz bozukluklarının iyileştirilerek daha iyi bir görüş sağlanması olmuştur.

Üretim

Lazer ile metalleri ısıtmak ve eritmek için gerekli miktarda enerji hedef nesneye pompalanabilir. Bu yaklaşımla lazerler kesme ve kaynak proseslerinde kullanılmaktadır. Bir bilgisayar ile kontrol edildiğinde lazer kağıt, ahşap gibi malzemeleri çok kompleks yapılarda

kesebilir ki bunun uygulamaları son yıllarda mobilya ve diğer ev eşyalarında da sıklıkla görülmektedir.

Ölçüm ve Analiz

Lazerler uzun bir süreden beri askeri alanda mesafe ölçmek amaçlı kullanılmıştır. Oysa günümüzde emlakçılar bile şeritmetre yerine lazerli ölçüm cihazlarını kullanmaktadırlar. Lazerler belirli dalgaboylarında çok hassas şekilde ayarlanabildiğinden kimyasal ve fiziksel yapıları analiz etmeye olanak sağlamakta, böylelikle fabrikaların kalite kontrol süreçlerinde ve çevreyi kirleten atıkların uzaktan izlenmesinde veya analiz edilmesinde; lazer interferometrisi (girişim ölçümü) ile mesafelerdeki çok ufak değişimlerin ölçülmesinde kullanılabilirler.

Bilimsel Araştırmalar

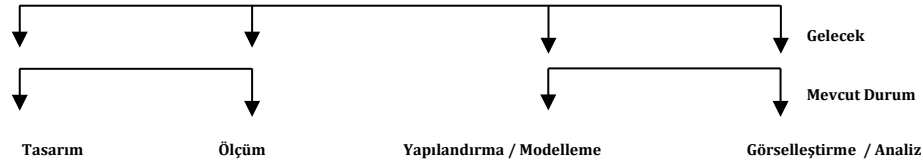
Günümüzde dünyada birçok üniversitenin, enstitünün ilgili bölümlerinde lazer üzerine uzmanlaşılmasını gerektiren araştırma programları zorunlu hale gelmiştir. Fizik ile diğer disiplinlerin arasındaki sıkı ilişkinin bir ürünü olan lazer olmadan, günümüzdeki birçok buluşun yapılması mümkün olmayacaktı. Lazer madde ile quantum mertebesinde etkileşim içerisine girmekte ve araştırmacılar için çok önemli bir sondaj ucu niteliği kazanmaktadır. Lazerler kimyasal reaksiyonları izlemek ve atomik ve moleküler seviyede analizler yapmak için kullanılabilirler. Yaşambilimciler hücresel yapıları incelemek için lazerle çalışan yeni tip mikroskopları kullanmaktadırlar [11].

2.2. Üç Boyutlu (3B) Modelleme

Bir nesnenin üç boyutlu modellenmesi, veri toplamadan başlayarak bilgisayar ortamında nesnenin 3 boyutlu interaktif bir görselinin oluşturulmasına kadar toplam bir süreç olarak ele alınabilir. Bu türde görüntü tabanlı bir 3 boyutlu modelleme süreci genel olarak 4 safhadan oluşan bir süreçtir:

- 1- Tasarım (Sensör ve ağ geometrisi)
- 2- Ölçümler (nokta bulutları, çizgiler vb.)
- 3- Yapılandırma/Modelleme (geometri, doku)
- 4- Görselleştirme/Analiz

Şekil 2.15.'te 3 boyutlu modelleme sürecinde mevcut durum ve gelecekteki yönelim gösterilmektedir.



Şekil 2.15. 3 Boyutlu modelleme safhaları [12]

3 boyutlu modelleme kavramı değerlendirilirken çoğunlukla ölçümü yapılmış bir nokta bulutunun üçgen noktalar ağına ("mesh") veya dokulu yüzeye dönüştürülmesi şeklinde düşünülür. Bu tanımlama kısmen doğru olsa da, üç boyutlu modelleme kavramının daha bütünlüklü bir tanımlama ile sürecin bütün basamaklarıyla değerlendirilip bir objenin yeniden biçimlendirilme süreci olarak ele alınması daha doğrudur. Üç boyutlu modelleme metotları ölçüm ve yapılandırma süreçleri esas alınarak temassız (koordinat ölçüm makineleri, kalınlıkölçerler, cetveller veya kılavuzlar vb.) ve temassız (X-Ray, SAR, fotogrametri, lazer tarama vb.) metotlar olmak üzere iki şekilde sınıflandırılabilirler.

Günümüzde, 3 boyutlu modelleme süreci genel olarak ışık dalgaları kullanılmak suretiyle temassız ölçüm metotları üzerinden yürütülmektedir. Bazı uygulamalarda CAD modellerinden, ölçüm sonuçlarından veya GPS sistemlerinden alınan veriler diğer verilerle entegre edilerek derlenmektedir. Genelde aktif sensörler imaj ağ örgüsünü oluşturmak için gerekli verileri doğrudan sağlayabilmektedir. Pasif sensörlerin kullanılm durumunda ise, üç boyutlu model çıkarabilmek için sensörlerden alınan verilerin ara süreçlerle işlenmesi gerekmektedir. Ölçümlerden elde edilen veriler önce düzenlenir ve yapılandırılır ve akabinde üç boyutlu gerçekçi bir model oluşturmak için çok köşeli bir yapıya dönüştürülür. Aktif ve pasif sensörler baz alınarak 4 farklı nesne modelleme metodu tanımlanabilir:

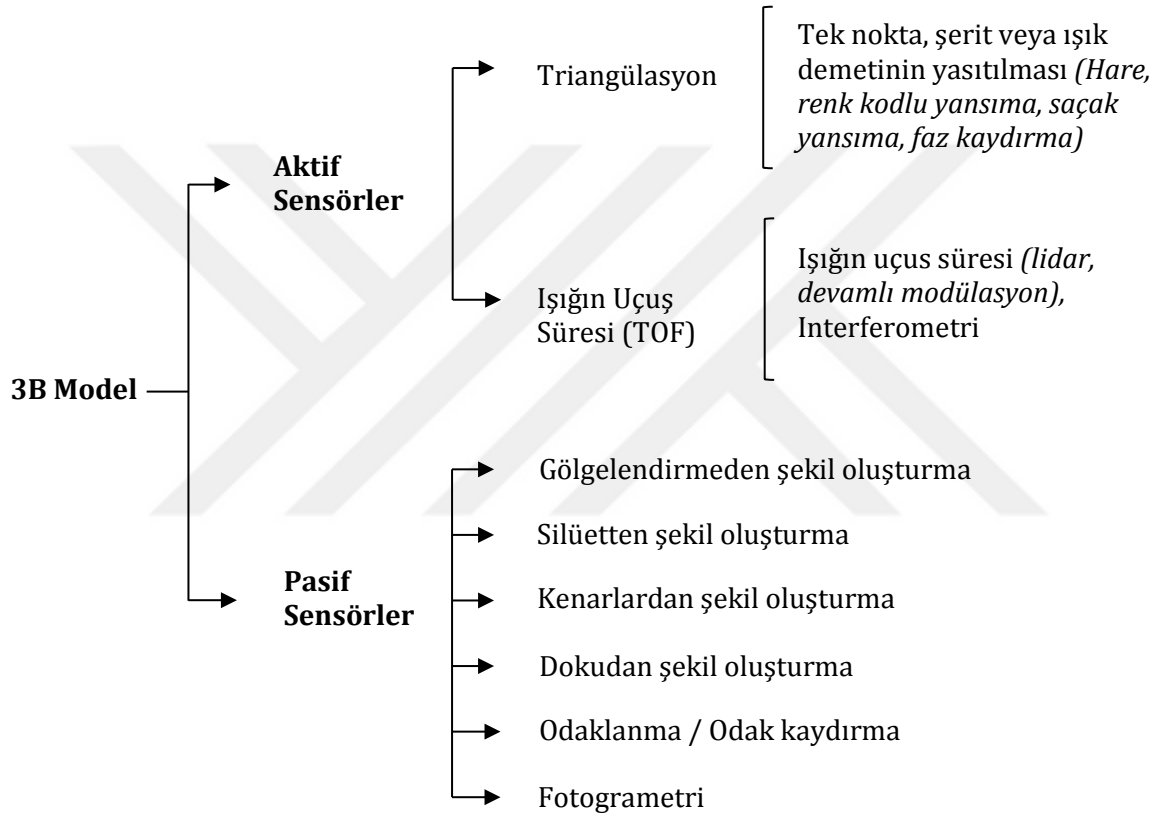
(1) İmaj bazlı görselleştirme (IBR) : Bu metot geometrik bir üç boyutlu model oluşturulması aşamasını içermez, ancak belirli kamera hareketleri ve ortam koşullarında, 3 boyutlu sanal görüntüler oluşturmak için iyi bir metottur. IBR ile doğrudan girdi imajlardan sanal bir görsel elde edilir.

(2) İmaj bazlı modelleme (IBM): Bu metot daha çok mimari objelerin geometrik yüzeylerinin oluşturulmasında, hassas arazi ve şehir modellemesinde kullanılır.

(3) Mesafe bazlı modelleme: Bu metotta nesneden doğrudan üç boyutlu geometrik bilgiler algılanır. Bu yöntemde, mevcut pazar koşullarında maliyetleri daha yüksek olan aktif tip sensörler kullanılır ve nesnelerin daha yüksek doğruluklu modelleri oluşturulabilir.

(4) Birleşik imaj ve mesafe bazlı modelleme: Çoğu durumda bir modelleme metodu istenen performansta bir sonucun elde edilmesine olanak sağlamayabilir. Bu durumda iki metod birden kullanılır. Çoğu durumda fotogrametri ve lazer taramadan elde edilen veriler birleştirilmek suretiyle yorumlanır ve bir model oluşturulur. Genelde, nesnenin yüzeysel yapısı imaj bazlı modelleme, detayları ise mesafe bazlı modelleme ile oluşturulur [12,13].

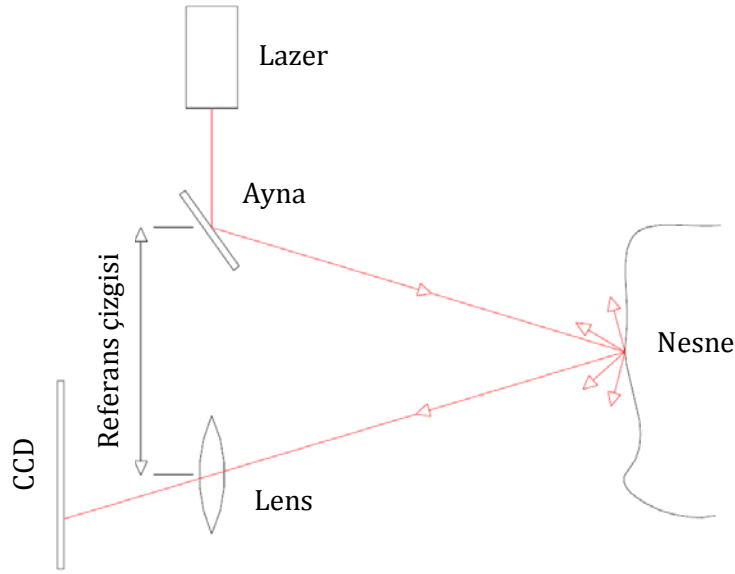
Şekil 2.16.'da ise 3 Boyutlu modelleme metodları ölçüm ve analiz tekniklerine göre sınıflandırılmıştır.



Şekil 2.16. Nesne ölçümleme için ışık dalgaları ile temassız ölçüm metodları kullanılarak üç boyutlu modelleme teknikleri [13]

2.2.1. Işığın uçuş süresi (TOF)

Şekil 2.17 'den de görülebileceği gibi, bir lazer darbesi nesne üzerine gönderilir ve gönderici ile yansıtıcı nesne arasındaki mesafe gönderim zamanı ile dönüş zamanı arasındaki fark zamandan yola çıkılarak hesaplanır.



Şekil 2.17. Işığın uçuş zamanı prensibi

Bu metodun en sık kullanıldığı alanlardan biri elektronik takometrelerdir. Bu metotta sinyal işleme süreci zaman aldığından tepki süresi uzundur. Hassasiyeti milimetreler mertebesindedir. Ölçümleme burada aynı zamanda ışının açısal odağının doğruluğuna da bağlıdır. Bu metod faz karşılaştırma metodu başlığında da incelenmektedir.

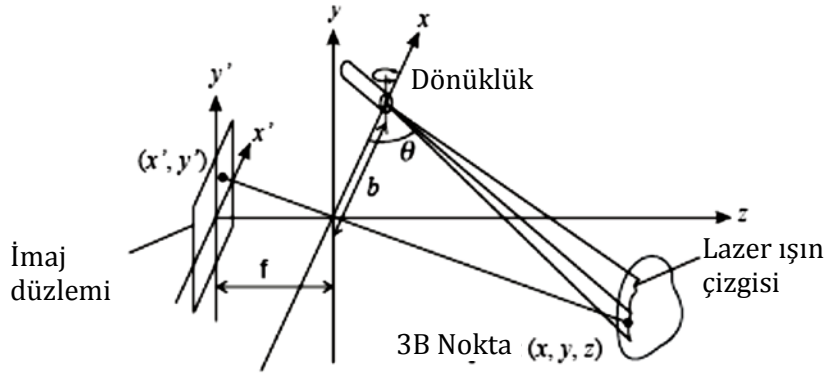
Faz karşılaştırma: Bu metotta gönderilen ışık bir harmonik dalga tarafından modüle edilmekte ve mesafe, giden ışık ile dönen ışık arasındaki faz farkından yola çıkılarak hesaplanmaktadır. Kullanıcı açısından metodik olarak uçuş süresi hesaplama metodundan farklı değildir. Bu metotta daha karmaşık analizler yapılması gerekmekte ise de, doğruluk/hassasiyet oranı daha yüksektir.

2.2.2. Lazer triangülasyonu

Temassız bir ölçüm metodu olması, basit fiziksel yapısı, yüksek doğruluk ve ölçüm hızı gibi özellikleri lazer triangülasyonunu üç boyutlu görüntü elde etme metodları arasında en ön plana çıkarmıştır. Lazer triangülasyon prensibi ile çalışan tarayıcılar genellikle kalite kontrolü, yüzey profil analizi, 3 boyutlu modelleme ve tersine mühendislik uygulamalarında sık kullanılmaktadır.

Lazer triangülasyon prensibi ile çalışan bir ölçüm sistemi genel olarak bir lazer çizgisi ve hareketli veya sabit yüzeye montajlanmış bir kameradan oluşmaktadır. Hedef objenin yüzeyinden yansıtılan ışının, dijital bir kamera tarafından yakalanması prensibine dayanır. Eğer lazer kaynağı ile kamera arasındaki mesafe biliniyor (baseline : referans çizgi olarak adlandırılır)

ise, lazer ışının 3 boyutlu pozisyonu trigonometri kullanılarak hesaplanabilir. Örnek bir triangülasyon sistem konfigürasyonu aşağıdaki Şekil 2.18 'de gösterilmektedir [14].



Şekil 2.18. Lazer çizgi triangülasyonu

Yansıyan ışığın (x',y') koordinatlarındaki görüntü piksellerine düşen bir ışının, gerçek uzayda karşılığı olan bir üç boyutlu noktanın (x,y,z) koordinatları aşağıdaki (7), (8) ve (9) nolu denklemler ile hesaplanabilir.

$$x = \frac{bx'}{f \cot \theta - x'} \quad (10)$$

$$y = \frac{by'}{f \cot \theta - x'} \quad (11)$$

$$z = \frac{bf}{f \cot \theta - x'} \quad (12)$$

burada b referans çizgisini, θ lazer ışın açısını f ise odak uzaklığını ifade etmektedir[14,15,16].

2.2.3. Lazer ile modelleme çalışmaları

Paul J. Besl 1998 yılında Machine Vision and Applications dergisinde yayınladığı makalesinde [17] aktif, optik mesafe ölçümleme sensörlerinin detaylı bir analizini yapmıştır. Bu sensörler cisimlerin yüzeyinden yansıyan ışınları örnekleyerek noktasal olarak ölçümleme imkanı vermektedir. Bu çalışmada farklı tipte ve özellikteki sensör ve ışın kaynakları kullanılmıştır. Hedef cisimden yansıyan ışınlar mesafe doğruluğu, görüş derinliği ve imaj yakalama süreleri figürler aracılığıyla yorumlanmıştır. R. Lange, P. Seitz, A. Biber ve R. Schwarte

[18] ise ışığın seyahat süresi prensibini kullanmışlardır. Bu çalışmada 2.0mm CMOS/CCD teknolojisi kullanarak üretilen 108 pikseli 100% dolum faktörlü bir çizgi sensör, ve 64X25 piksel ve 20% dolum faktörlü görüntü sensörlerini kullanarak bir nesne üzerine yansıttıkları module LED ışınları ile mesafe ölçümlemesi yapmışlardır.

Wolfgang Boehler ve Andreas Marbs [19] ise çalışmalarında yüzeyden yansıyan ışınların 3 Boyutlu koordinat sisteminde oturtulması metodu ile elde edilen verilerin nasıl derlenmesi gerektiği üzerine odaklanmıştır. Bu çalışmada tarama hızı ve çözünürlüğü, ölçüm limitleri, radyasyon ışımasının etkileri, görüş açısı, kamera ve güç kaynağının etkileri, tarama yazılımının kalitesi gibi etkenler incelenmiştir. Yunling Zhang ve arkadaşları [20] ise 3 boyutlu tarama sensörleri ile yapılan ölçümlerde meydana gelen sapmaların nedenlerini analiz ederken, bu hata kaynaklarını gidermede en önemli etken olarak sensör kalibrasyonu için metod önerisinde bulunmuşlardır.

3 Boyutlu modelleme uygulamalarının haritalamada kullanıldığı bazı önemli çalışmalarda lazer tarayıcılar ile yüzeyden yapılan taramalardan elde edilen veriler ile 3 boyutlu modeller elde edilmiştir. Bu çalışmalarda 3 boyutlu şehir modellerinin çıkarılması, tarihi eserlerin modellenmesi ve sanal dökümantasyonu önerilmiştir[21, 22, 23]. D. Skarlatos ve S. Kiparissi ise fotogrametri ile ölçülen nokta bulutlarının işlenmesinde kullanılan iki farklı yazılımsal aracı karşılaştırarak 3 boyutlu modellemede hız, çözünürlük, eşlenirlik parametrelerini ölçümleyerek, oluşan farklılıkların nedenlerini analiz etmişlerdir[24]. Abdil Kuş, 3 boyutlu modellemeyi bir tersine mühendislik uygulamasında ele almış ve fiziksel nesneden bir CAD modeli üreterek, bu modelin tasarlanan ideal yazılımsal modelden farklarını ortaya çıkarmıştır. Bu uygulamanın otomotiv sektöründe örneklemesinden yola çıkarak üretim sürecinin nasıl iyileştirilebileceğine dair bir öneri getirmiştir[25]. Quanhong Feng [26] yeraltı kazılarında 3 boyutlu modelleme araçlarını ve tekniklerini kullanarak kazılan alanın 3 boyutlu bir modelini çıkarmıştır. Bu süreçte ham verilerin toplanması, bu verilerin dönüştürülmesi, verilerin görselleştirilmesi, kaydedilmesi ve kayıtlı imajların analizi ile ilgili süreçleri incelemiştir. Benjamin Ummenhofer ve Thomas Brox [27] ise 3 Boyutlu tarama neticesinde elde edilen nokta bulutlarının gerçek resimlerle eşlenmesi ve oluşturulan modelde oluşan yapısal bozuklukların optimize edilmesini sağlamıştır. Lazer sensörlerin kullanıldığı en önemli alanlardan biri otomotiv sektörüdür. Xing-Qiang Li, Zhong Wang and Lu-Hua Fu araç motor bloğunun lazer sensör kullanılmak suretiyle, kalite kontrol sürecinin otomatikleştirilmesine dair bir çalışma yapmışlardır[28].

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada lazer spektrumu kullanılarak hedef cisim yüzeyine bir dizi lazer ışık atılacaktır. Yüzeyden yansıyan ışık kombine bir CMOS sensörü üzerine düşürülecektir. Cisim üzerinden yansıyan bu ışık demetinin CMOS sensör hücrelerinde oluşturduğu elektronik sinyaller sensör tarafından yükseltgenip dijital sinyallere dönüştürülecektir. Burada, bir çizgi lazer ışık atıldığında oluşan noktalar dizisi

$$L_1 = P_1(x_1, y_1, z_1), P_2(x_2, y_2, z_2), \dots, P_n(x_n, y_n, z_n), \quad (13)$$

olarak ifade edilsin. İkinci lazer çizgisi atımında oluşan çizgi

$$L_2 = P_{n+1}(x_{n+1}, y_{n+1}, z_{n+1}), P_{n+2}(x_{n+2}, y_{n+2}, z_{n+2}), \dots, P_{2n}(x_{2n}, y_{2n}, z_{2n}), \quad (14)$$

şeklinde olacaktır. Bu şekilde cisim yüzeyine atılan m'inci çizgi

$$\begin{aligned} L_m = & P_{(m-1)n+1}(x_{(m-1)n+1}, y_{(m-1)n+1}, z_{(m-1)n+1}), \\ & P_{(m-1)n+2}(x_{(m-1)n+2}, y_{(m-1)n+2}, z_{(m-1)n+2}), \\ & \dots, P_{mn}(x_{mn}, y_{mn}, z_{mn}) \end{aligned} \quad (15)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Bu formda oluşan noktalar, sensör gömülü derleyicisi tarafından tutulmakta ve belirlenen bir dosya dizinine bir metin dosyası şeklinde aşağıdaki düzende kaydedilebilmektedir.

$$\text{"text1.txt"} = \begin{pmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \\ \vdots \\ L_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_n \\ P_{n+1} \\ \vdots \\ P_{mn} \end{pmatrix} \quad (16)$$

Burada, n satır sonundaki nokta numarasını, m en son çizginin numarasını gösterir.

Bu formdaki metin dosyası bir MATLAB kod dizini tarafından "PC" isimli 3 x (mn) boyutunda bir matrisin elemanları şeklinde düzenlenecek ve MATLAB'ın "pcshow" fonksiyonu vesilesi ile 3 boyutlu kartezyen koordinat sistemine oturtulmuş bir figür halinde görselleştirebilecektir. Daha sonra oluşan bu imajlar üzerinden yorumlar yapılarak, öneriler sunulacaktır.

Bu çalışmada temel olarak iki sistem elemanı kullanılmıştır:

- Lazer profil sensörü
- MATLAB yazılımı

3.1. MSL123 Lazer Profil Sensörü

2B/3B lazer profil sensörü ölçüm yapılacak obje üzerine doğrusal bir lazer ışını yansıtmakta ve nirengi teşkil edecek şekilde ayarlanmış dahili kamerası ile doğrultulmuş bir yükseklik profili oluşturmaktadır. şekil 3.1.'de MSL 123 lazer profil sensörünün fiziksel görünümü verilmiştir [30].



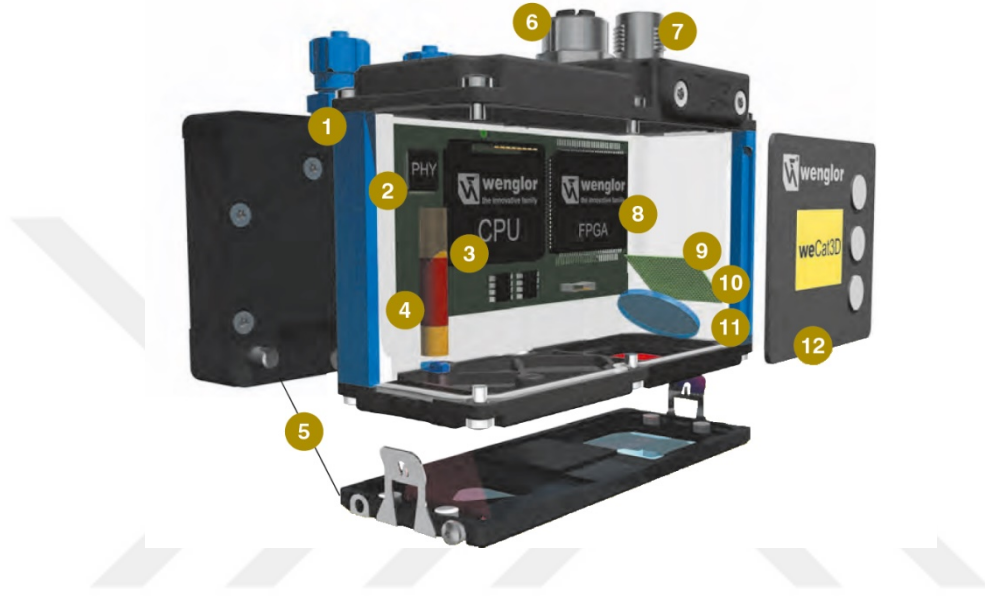
şekil 3.1. MSL123 Lazer profil sensörü fiziksel yapısı

Lazer sensörü genel olarak řu elemanlardan oluşmaktadır:

- 1- Sensör kasası
- 2- Elektronik anakart
- 3- Wenglor spesifik merkezi işlemci
- 4- Lazer şerit modülü
- 5- Soğutma nitesi
- 6- 4 adet konfigüre edilebilir I/O, veya HTL ve RS-422 TTL enkoder bağlantı için programlanabilir standard M12×1 fiş
- 7- 100 Mbit/s'den 1 Gbit/s (3,6 milyon ölçüm noktası) hıza kadar konfigüre edilebilir Ethernet TCP/IP bağlantısı için M12×1 fiş

- 8- FPGA teknolojisi ile gerçek zamanlı çalışan sinyal işleme çipi
- 9- CMOS kamera
- 10- CMOS kamera gürültü baskılama devresi
- 11- Optik mercek ünitesi
- 12- OLED display ve konfigürasyon tuşları

Şekil 3.2.'de lazer profil sensörünün yapısal detayları gösterilmiştir [30].



Şekil 3.2. MSL123 Lazer sensörü yapısal detaylar

3.1.1. Teknik Özellikler

Tablo 3.1'de sensörün teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.1. MSL123 Lazer profil sensörü optik özellikleri

Tanım	Değer
Z eksenli çalışma aralığı	90...280 mm
Z eksenli ölçüm aralığı	190 mm
X eksenli ölçüm aralığı	62...145 mm
Doğrusallık sapması	95 µm
Z ekseninde çözünürlük	9,4...49 µm

X ekseninde çözünürlük	54...123 µm
Işık kaynağı	Lazer (kırmızı)
Dalga boyu	660 nm
Hizmet ömrü (T = +25 °C)	20000 h
Lazer Sınıfı (EN 60825-1)	2M
Maks. Ortam parlaklığı	5000 Lüks

Sensörün elektriksel özellikleri Tablo 2.3.'de verildiği gibidir.

Tablo 3.2. MSL 123 Lazer profil sensörü elektriksel özellikleri

Tanım	Değer
Kaynak Gerilimi	18...30 V DC
Akım tüketimi (U _b = 24 V)	300 mA
Ölçüm hızı	200...4000 /s
Sıcaklık aralığı	0...45 °C
Muhafaza aralığı	-20...70 °C
Giriş/Çıkışlar	4
Devreye girme çıkış gerilim düşümü	< 1,5 V
Devreye giriş çıkış/Devreye girme akımı	100 mA
Kısa devre koruması	Evet
Ters kutuplama koruması	Evet
Aşırı yük koruması	Evet
Arayüz	Ethernet TCP/IP
Veri akış hızı	100/1000 Mbit/s
Koruma sınıfı	III
FDA kabul numarası	1610450-002

Tablo 3.2.'de sensörün mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.3. MLSL 123 Lazer profil sensörü mekanik özellikleri

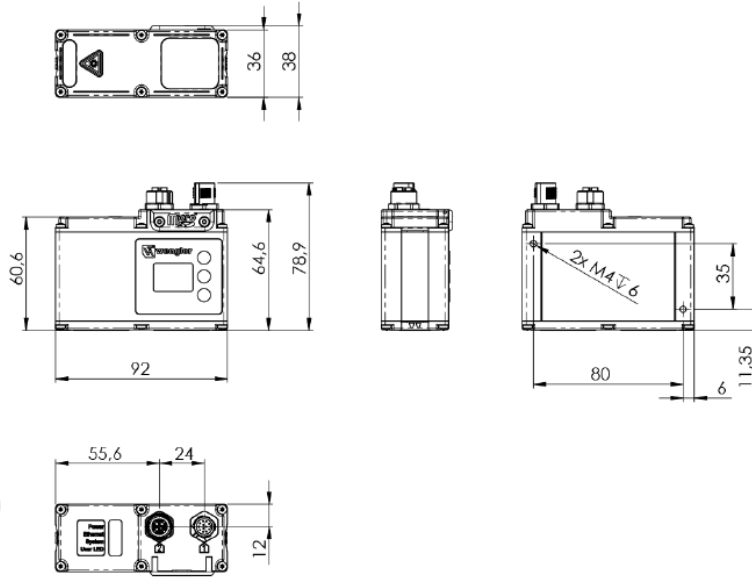
Tanım	Değer
Kutu malzemesi	Aluminyum; Plastik
Koruma Sınıfı	IP67
Bağlantı	M12 × 1; 12-uç
Ethernet bağlantı şekli	M12 × 1; 8-uç, X-kod.
Optik kapak	Plastik

Sensörün diğer özellikleri Tablo 3.4.'de verildiği gibidir.

Tablo 3.4. MLSL 123 Lazer profil sensörü diğer özellikleri

Tanım	Değer
Web Sunucusu	•
PNP/NPN/çek bırak konfigürasyonu	•
Bağlantı şema no	1022 1034
Kontrol panel no	X2 A22
Uygun bağlantı ekipman no	50 87
Uygun montaj teknoloji no	343

Lazer profil sensörünün fiziksel ebatları Şekil 3.3.'de görüldüğü gibidir[30].



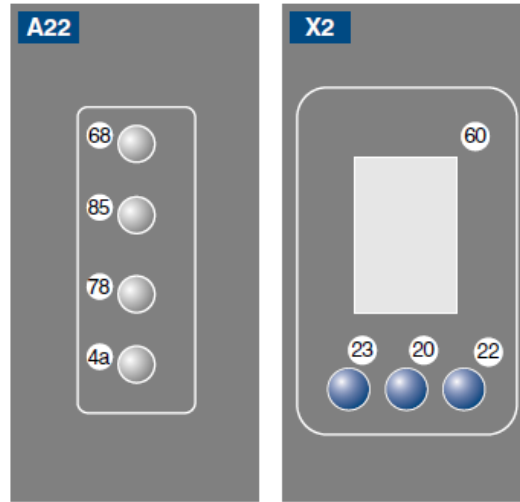
* Ölçüler mm cinsinden verilmiştir.

Şekil 3.3. MSL123 Lazer profil sensörü fiziksel ebatlar

Tuş ve gösterge fonksiyonları:

- 20 = Giriş düğmesi
- 22 = Yukarı Düğmesi
- 23 = Aşağı Düğmesi
- 4a = Kullanıcı Işığı
- 60 = Ekran
- 68 = Kaynak gerilimi göstergesi
- 78 = Modül durumu
- 85 = Bağlantı/Aktivite Işığı

Lazer profil sensörünün operasyon tuşları ve gösterge fonksiyonları Şekil 3.4.'de verilmiştir [30].

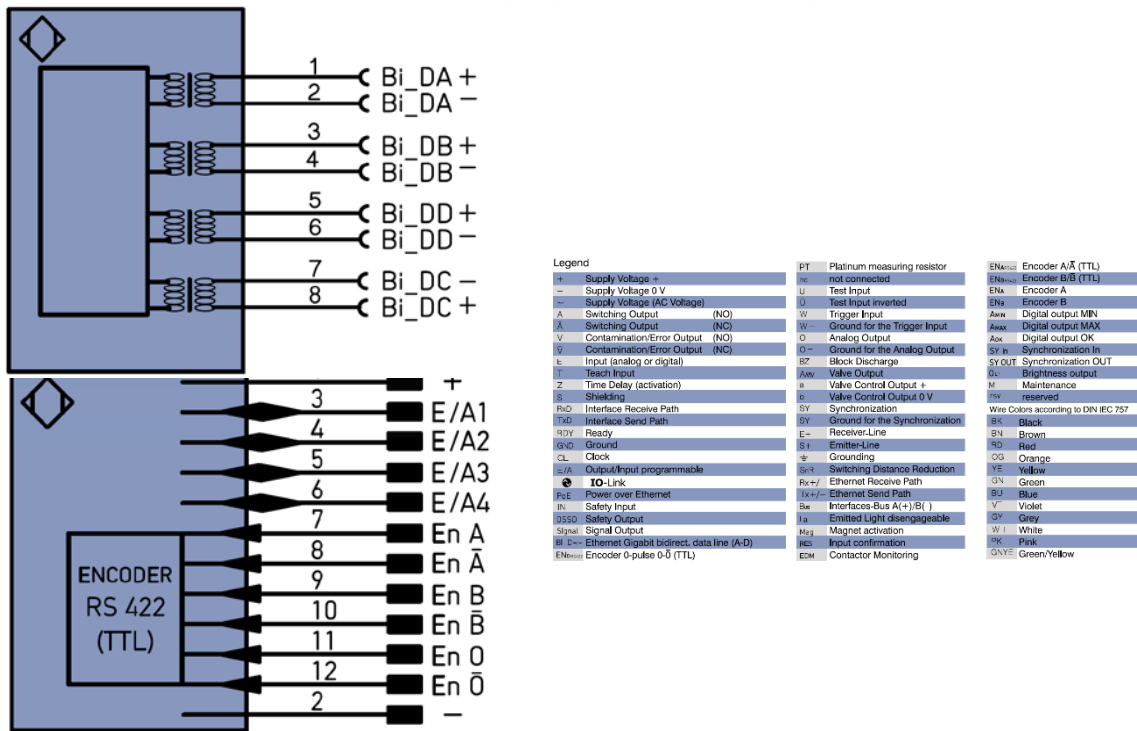


Şekil 3.4. MSL123 Lazer profil sensörü operasyon tuşları ve göstergeleri

Bağlantı detayları ve sinyal tanımları

Sensörün diğer cihaz ve sistemlerle bağlantısı için gerekli bağlantı detayları Şekil3.5.'de verilmiştir [30].

1022



Şekil 3.5. MSL123 Lazer profil sensörü bağlantı detayları ve sinyaller

- (1) = Çizgi lazer ışık
- (2) = Nesne
- (3) = Entegre Kamera
- (4) = Triangülasyon açısı

X eksenini x yönündeki ölçüm aralığını ifade etmektedir.

a, X eksenini etrafında dönüş açısına karşılık gelmektedir.

Y eksenini y yönündeki ölçüm aralığını ifade etmektedir.

b, Y eksenini etrafında dönüş açısına karşılık gelmektedir.

Z eksenini z yönündeki ölçüm aralığını ifade etmektedir.

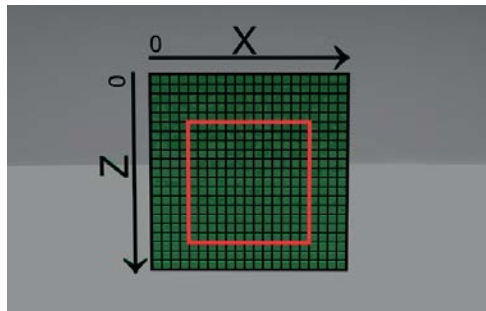
c, Z eksenini etrafında dönüş açısına karşılık gelmektedir.

Lazer profil sensörünün genel çalışma ilkesi bölüm 2.2.2.'de anlatıldığı üzere triangülasyon ilkesine dayanmaktadır. Yüzeye gönderilip geri yansıyan ışınlar entegra kamera tarafından okunarak mesafe bilgisi değerlendirilerek bir noktalar bütünü bilgisi oluşturulmaktadır.

İlgi Bölgesi

İlgi bölgesi (ROI : Region of Interest) ya da bir diğer deyişle sensörün aktif bölgesi dört parametre ile ifade edilmektedir: Ofset X, genişlik X, Ofset Z ve yükseklik Z. Bu değişkenler piksel cinsinden tanımlanır ve limitleri dahilinde istenilen değerlere ayarlanabilir. Böylelikle sensörün aktif bölgesi istenilen bölgeyi okuyacak şekilde artırılıp azaltılabilir.

ROI gerektiği kadar büyük ve mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır. Bu bölge ne kadar küçük olur ise, hesaplama o kadar hızlı yapılır ve toplam okuma hızı o kadar artmış olur. Böylece sensör uygulamaya daha hızlı reaksiyon vermiş olur. Şekil 3.8.'de entegre kameranın sensör yapısı ve ROI alanı gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Entegre kameranın sensör yapısı [30]

Kamera sensörünün referans noktası sol üst köşesidir.

X, X yönündeki sütun ölçüm aralığını gösterir.

Z satırların ölçüm aralığını gösterir

Offset X

Cihaz içindeki entegre kamera üzerinde sürekli olarak okuma yapan 1280 sütun vardır. Varsayılan değer olarak ofset X değeri 0 olarak ayarlıdır. Bu değer arttırıldığında bütün sütunlar okunmuş olmaz, yalnızca bu yeni başlangıç noktasından başlayarak okuma yapılmış olur.

Genişlik X

X yönünde okunacak toplam sütun sayısını belirler. Varsayılan ayar olarak 1280 sütunun hepsi okunur.

Offset Z

Cihaz içindeki entegre kamera üzerinde sürekli olarak okuma yapan 1024 satır vardır. Varsayılan değer olarak ofset Z değeri 0 olarak ayarlıdır. Bu değer arttırıldığında bütün satırlar okunmuş olmaz, yalnızca bu yeni başlangıç noktasından başlayarak okuma yapılmış olur.

Yükseklik Z

X yönünde okunacak toplam satır sayısını belirler. Varsayılan ayar olarak 1024 satırın hepsi okunur [29].

3.2. MATLAB

Bu çalışmada lazer sensörden alınan nokta bulutu formundaki verilerin işlenip nesnenin sanal bir imajının oluşturulması için yazılım aracı olarak MATLAB kullanılmıştır. MATLAB programı Mathworks tarafından geliştirilen çok paradigmalı programlama yapmaya olanak sağlayan bir programlama dilidir. MATLAB günümüzde özellikle akademi ve mühendislik dünyasında çok önemli bir çalışma aracı haline gelmiştir. MATLAB ile özellikle matematiksel işlemler kolaylıkla yapılmakta, matris işlemleri yapılabilmekte, algoritmalar oluşturulabilmekte, kullanıcı arayüzleri geliştirilebilmekte ve fonksiyon ve veri kümelerinin çizimleri yapılabilmekte ve de geliştirilen uygulamalar C, C++, C#, Java, Fortran and Python gibi temel kodlama yazılımları ile entegre edilebilmektedir.

Özellikle fonksiyonların ve veri kümelerinin çizilmesi, grafik çıktılarının oluşturulması için MATLAB'da geliştirilmiş özel fonksiyonlar bulunmaktadır. Bunlardan biri de pcshow fonksiyonudur.

3.2.1. pcshow fonksiyonu

pcshow 3 boyutlu nokta bulutu çizebilen bir matlab fonksiyonudur. pcshow(ptCloud) fonksiyonu bir nokta bulutu objesi olan ptCloud objesi içerisinde noktaları konum ve renkleriyle birlikte gösterir. Bu fonksiyon daha çok statik nokta bulutu datasının gösterimi için kullanılır.

pcshow(xyzPoints) $M \times 3$ veya $M \times N \times 3$ boyutlarındaki xyzPoints matrisi muhteviyatındaki konum belirten noktaları gösterir. xyzPoints matrisi M kadar veya $M \times N$ kadar $[x,y,z]$ noktası içerir. Her noktanın renk verisi, doğrusal olarak haritalanmış geçerli renk kartelası kullanılarak Z değerleri tarafından belirlenir,

pcshow(xyzPoints,C) $M \times 3$ veya $M \times N \times 3$ boyutlarındaki xyzPoints matrisi muhteviyatındaki konum belirten noktaları, C ile belirtilen renkler ile gösterir. Bütün noktalar için aynı rengi tanımlamak için C 1×3 boyutunda RGB vektörü ya da bir renk dizgisi olmalıdır. Her renk için ayrı bir nokta tanımlamak için ise C iki şekilde tanımlanabilir:

- Geçerli renk haritasında lineer olarak renklere haritalanmış bir vektör ya da $M \times N$ boyutunda bir matris
- Her nokta için RGB değerlerini ihtiva eden $M \times 3$ veya $M \times N \times 3$ boyutunda bir matris

ax = pcshow(...) eksen özelliklerini parametrik olarak saklar.

pcshow(...,Name,Value) Name ve Value parametresinin biri veya her ikisi ile belirlenen özelliklerin kullanımına olanak sağlar.

Tablo 3.5. “pcshow” komutu parametreleri

Parametre	Tanım	Varsayılan değer
'MarkerSize'	Nokta işaretleyicinin yaklaşık çapını tanımlayan pozitif bir sayı, MATLAB graphics ile tanımlanan bir birim.	6
'VerticalAxis'	Dikey eksenin 'X', 'Y' veya 'Z' olarak tanımlayan bir dize.	'Z'

'VerticalAxisDir'	Dikey eksenin yönünü aşağı 'down' veya yukarı 'up' olarak tanımlayan bir dize.	'up'
'Parent'	Görselde ekseninde bir çıktı gösterimine olanak sağlar.	

Bu fonksiyonda noktaları içeren matriste NaN veya Inf olarak belirlenmiŐ noktalar gösterilmez. 'MarkerSize' 6 noktadan büyük seçilmesi görselleştirme performansını düŐürebilmektedir. Bu fonksiyonla birlikte kamera araç çubuğu çizim ekranında otomatik olarak gelmektedir [30].



4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Deneysel çalışmalar

Bu çalışmada çeşitli endüstriyel nesnelere kullanılarak, bu nesnelerin bilgisayar ortamında sanal imajları oluşturulmuştur. Oluşturulan imajların nitelikleri ve gerçek objelere yapısal yakınsaması değerlendirilmiştir.

4.1.1. Modelleme çalışmaları

Bu bölümde farklı özelliklere sahip çeşitli endüstriyel mamullerin taramaları yapılarak bunların modelleri oluşturulmuş ve metodoloji açıklanmıştır.

4.1.1.1 Işık sensörü nesnesinin nokta bulutu imajının oluşturulması

İlk test çalışmasında plastik malzemeden kasası olan bir ışık sensörü seçilmiştir. Bu nesne hem yuvarlak hem de köşeli hatlara sahip olduğundan ve üzerinde hem içe doğru girintiler hem de dışa doğru çıkıntılar olduğu için seçilmiştir. Ayrıca sensörün üzerinde bazı etiket ve yazılar mevcuttur. Denede bu niteliklerin lazer sensör ile algılanabilirliğinin gösterilmesi hedeflenmiştir. Şekil 4.1.'de ışık sensörünün gerçek fiziksel görünümü verilmiştir.



Şekil 4.1. "lightsensor.txt" ölçüm nesnesi fiziksel yapısı

MLSL123 sensöründen yansıtılan lazer ışın şeridi ışık sensörü boyunca gezdirilmiştir. Yüzeiden yansıyan ışınlar lazer sensör içerisine entegre halde konumlandırılmış 1280 piksel X 1024 piksel büyüklüğündeki CMOS görüntü sensörüne çarpılmaktadır. CMOS sensör yüzeyine çarpan ışığın yarı iletken pikseller üzerinde ürettiği gerilim yükseltgenerek işlenebilir elektrik

sinyaline dönüştürülmektedir. Burada oluşan sinyalin genliği bize ışığın aldığı mesafeyi ölçme imkanı vermektedir. Bu değer bize lazer sensörün ışık sensörünün yüzeyine olan uzaklığını ifade eden bir değer verecektir (z-koordinat).

Her bir pikselden elde edilen değerler, ve bu değerlerin oluştuğu pikselin koordinatları ise oluşan z-koordinat değerinin x-y düzleminde hangi noktada oluştuğunu ifade etmektedir. Lazer sensörün örnekleme hızına bağlı olarak x-y düzleminde görüntünün çözünürlüğü elde edilecektir.

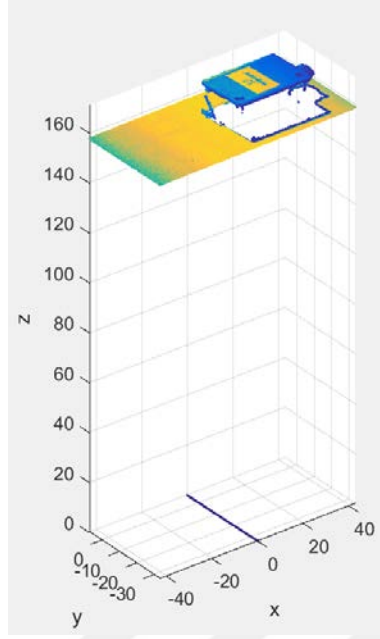
Bu x, y, ve z koordinat ve renk değerleri sensör konfigürasyonu esnasında belirlenen dizin ve dosyanın içerisine aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

Tablo 4.1. "lightsensor.txt" nokta bulutu değerleri (ilk 10 değer)

x değeri	y değeri	z değeri	Renk değeri
-42.6918	6.7500	157.8808	0229
-42.6334	6.7500	157.8412	0239
-42.5567	6.7500	157.8812	0228
-42.4862	6.7500	157.8946	0229
-42.4167	6.7500	157.9037	0231
-42.3512	6.7500	157.8950	0232
-42.2847	6.7500	157.8908	0233
-42.2182	6.7500	157.8866	0233
-42.1507	6.7500	157.8868	0229
-42.0842	6.7500	157.8826	0228

Bu deneyde dosya ismi "lightsensor.txt" olarak belirlenmiştir. "lightsensor.txt" dosyasının büyüklüğü 34.437.966 byte'dır. Dosya içerisindeki toplam değer sayısı 3.670.016 'dır.

Sensör tarafından oluşturulan bu "lightsensor.txt" dosyası x,y,z, ve parlaklık bilgisi içeren bir nokta bulutu dosyası formundadır. Bu dosya geçerli matlab dizinine kopyalanmış ve dizinden bu dosyanın gösterimi için oluşturulan ilgili matlab dosyası çalıştırılmıştır.



Şekil 4.2. "lightsensor.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı

Çalıştırılan "lightsensor.m" matlab kod dosyasının kod yapısı aşağıda açıklandığı gibidir.

```
fileID = fopen('lightsensor.txt','r');
```

fopen komutu ile sensor.txt dosyası binari değerler olarak okuma izni ('r') suretiyle erişime açılmaktadır. Burada açılan dosyaya belirtici indis olarak, matlab tarafından daha önce açılan dosya olma durumuna göre, 3 veya daha büyük bir değer verilmektedir. Bu indis değeri fileID değişkenine atanmaktadır.

```
sizePC=[4 inf];
```

Açılan dosyayı 4 satır ve değer sayısı kadar sütundan oluşan bir matrise yerleştirmek için bu boyutlarda bir matris tanımlaması yapılmıştır.

```
formatSpec = repmat('%f ',[1 sizePC(1,1)]);
```

formatSpec değişkeni ile okunan değerlerin formatı belirlenmektedir. Nokta bulutu ile gelen değerlerin ondalıklı değer ('%f') olarak okunması sağlanmaktadır.

```
[PC,count] = fscanf(fileID,formatSpec,sizePC);
```

Matlabda erişime açılan ve fileID ile indislenen dosya fscanf fonksiyonu kullanılarak sizePC boyutlarında, PC matrisine okunmaktadır. Toplam okunan değer sayısı count değişkenine atanmaktadır.

```
fclose(fileID);
```

Okuma komut satırı işlendikten sonra ilgili indisli dosya kapatılmaktadır.

```
PC=PC' ;
```

Oluşan 4 satır matris transpoze edilerek 4 sütun büyüklüğünde bir matris olacak şekilde yeniden PC matrisi oluşturulmaktadır.

```
color=PC;
```

Oluşturulan PC matrisinde renk değerlerini ayırtmak için "color" matrisi bu matrise eşitlenmektedir.

```
PC(:,4)=[ ];
```

PC matrisi, renk değerleri çıkartılarak x,y,z koordinatları kalacak şekilde yeniden yapılandırılmaktadır.

```
color(:,1)=[ ];
```

```
color(:,1)=[ ];
```

```
color(:,1)=[ ];
```

color matrisinden x,y,z koordinatları çıkarılmak suretiyle bu matriste sadece renk bilgisinin kalması sağlanmaktadır.

```
xyzPoints=PC;
```

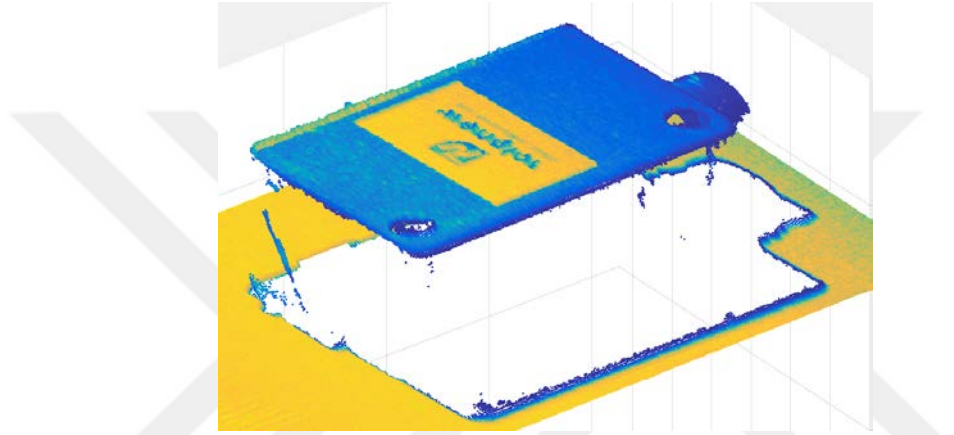
```
pcshow(xyzPoints,color)
```

Oluşturulan PC matrisi xyzPoints matrisine eşlenerek pcshow fonksiyonun girdi kümesi olarak ayarlanmaktadır. Bir sonraki satırda ise pcshow fonksiyonu kullanılarak nokta bulutunun

grafikte xyz kartezyen koordinat sisteminde ve "color" matrisindeki renk bilgileri ile gösterimi sağlanmaktadır.

```
xlabel('x')  
ylabel('y')  
zlabel('z')
```

x,y,z eksenlerinde eksen isimlerinin gösterimi için xlabel, ylabel ve zlabel komutları işlenmiştir. İşletilen matlab kod dizinleri neticesinde Şekli 4.2. 'deki görünüm elde edilmiştir.



Şekil 4.3. "sensor.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı yakın görünüm

Matlab'da çalıştırılan komut dosyasından elde edilen 3 boyutlu grafik görüntü hedef nesne merkezde olmak suretiyle yakınlştırıldığında Şekil 4.3. 'deki görünüm elde edilmiştir. Bu görünümde vida boşlukları, baş bağlantı bölümü sensör dış çeperleri gibi sensörün genel fiziksel yapısı algılanmakta ve sensörün üzerindeki yazı ve etiketleri açıkça görülebilmektedir.



Şekil 4.4. "sensor.txt" nokta bulutu noktasal değer örnekleri

Sensör üzerinde bazı noktalar seçilip bu noktaların koordinat değerleri işlendiğinde bazı analizlerin yapılması mümkün olabilmektedir. Sözelimi z değerleri incelendiğinde zemin seviyesinin yaklaşık 158.4 mm uzaklıkta olduğu, sensör üst seviyesinin ise 170.7 mm' olduğu görülmektedir. Buradan sensörün yüksekliğinin yaklaşık 20 mm olduğu görülebilir. X değerlerinin farkından sensörün uzunluğunun yaklaşık 50 mm, Y değerlerinin farkından ise genişliğinin 30 mm olduğu değerlendirilebilmektedir. Vida boşluklarında beklenildiği üzere z değerlerinin boşluktan dolayı zemin seviyesiyle yakın değerlerde olduğu görülmektedir.

4.1.1.2. USB Bellek nesnesinin nokta bulutu imajının oluşturulması

İkinci çalışmada hedef nesne olarak bir adet USB bellek seçilmiştir. Bu nesne farklı metal alaşımlarından oluştuğu ve herbir metal alaşımın şekli farklı olduğundan seçilmiştir. Yine nesne üzerinde farklı şekil ve yazılar bulunmaktadır. Deneyde bu niteliklerin lazer sensör ile algılanabilirliğinin gösterilmesi hedeflenmiştir. Kullanılan USB belleğin fiziksel görünümü Şekil 4.5.'deki gibidir.



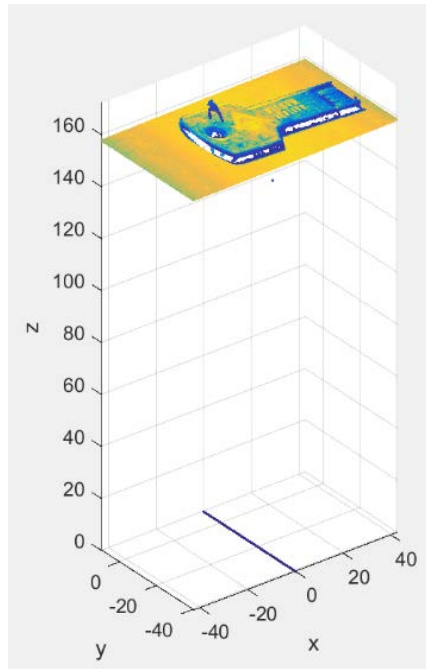
Şekil 4.5. "usbbellek.txt" ölçüm nesnesi fiziksel yapısı

MLSL123 sensöründen yansıtılan lazer ışığı entegre CMOS görüntü sensörü ile x, y ve z koordinatları ve renk bilgisini verecek şekilde geri algılanmaktadır. Bu x, y, ve z koordinat ve renk değerleri sensör konfigürasyonu esnasında belirlenen dizin ve dosyanın içerisine aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

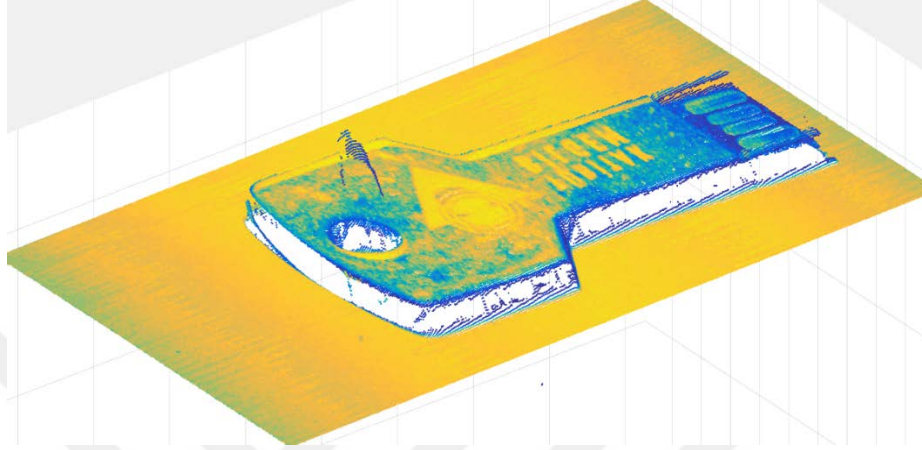
Tablo 4.2. "usb Bellek.txt" nokta bulutu değerleri (ilk 10 değer)

z değeri	y değeri	x değeri	Renk değeri
-42.7363	9.6600	157.6863	0177
-42.6698	9.6600	157.6821	0181
-42.6022	9.6600	157.6823	0184
-42.5366	9.6600	157.6737	0181
-42.4680	9.6600	157.6783	0179
-42.3974	9.6600	157.6918	0183
-42.3288	9.6600	157.6964	0188
-42.2623	9.6600	157.6922	0185
-42.1957	9.6600	157.6880	0177
-42.1301	9.6600	157.6794	0169

Bu deneyde bu değerlerin yazıldığı metin dosyasının ismi "usb Bellek.txt" olarak belirlenmiştir. "usb Bellek.txt" dosyasının büyüklüğü 28.141.090 byte'dır. Dosya içerisindeki toplam değer sayısı 3.104.768 'dir.

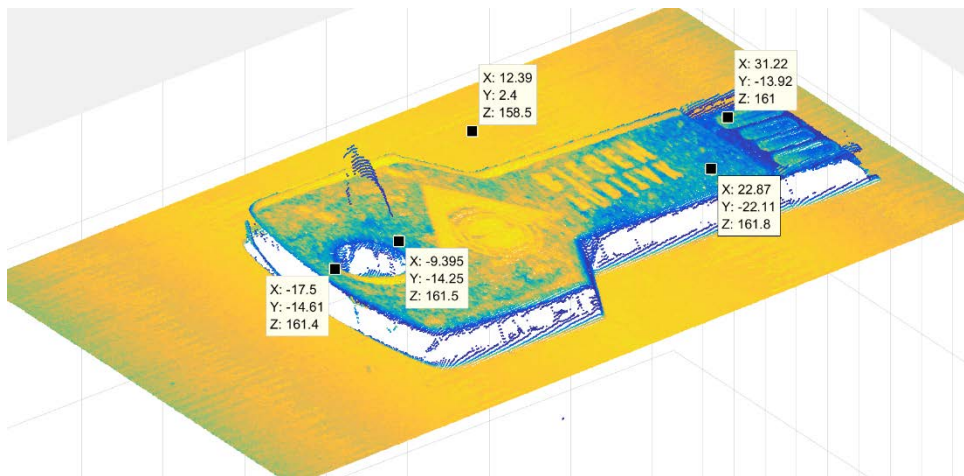
**Şekil 4.6.** "usb Bellek.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı

İşletilen matlab kod dizinleri neticesinde Şekli 4.6 'daki görünüm elde edilmiştir. Burada matlab tarafından oluşturulan figürde nesnen belirginliği bir biçimde görülmektedir. Nesne üzerindeki küçük detaylar, yazılar ve şekiller açıkça algılanmaktadır.



Şekil 4.7. "usbbellek.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı yakın görünüm

Matlab'da çalıştırılan komut dosyasından elde edilen 3 boyutlu grafik görüntü hedef nesne merkezde olmak suretiyle yakınlaştırıldığında Şekil 4.7.'deki görünüm elde edilmiştir. Bu görünümde sensör gövde bölümünün ortasındaki delik, iletken ayakların bulunduğu uç bölüm kenarları gibi sensörün genel fiziksel yapısı algılanmaktadır. Sensörün üzerindeki amblem ve yazılar algılanmakta ve okunaklıdır .



Şekil 4.8. "usbbellek.txt" nokta bulutu noktasal değer örnekleri

Yapılan çalışmada sensör üzerinde bazı noktalar x,y,z datalarını etiketle verecek şekilde işaretlenmiştir. Bu noktalardan yola çıkılarak bellek resmi üzerinde bazı yorumlar yapılabilir. Sözgelimi x koordinatlarındaki iki noktanın farkı bize belleğin boyunun yaklaşık 55 mm olduğu bilgisini vermektedir. Yine z eksenindeki değer değişimleri inceleğinde sensör üst yüzeyi baş bölümünde bulunan iletken ayakların arasındaki yükseklik farkının yaklaşık 0.8 mm olduğu tespit edilmektedir.

4.1.1.3. RJ45 konnektör muhafaza kılıfı nesnesinin nokta bulutu imajının oluşturulması

Üçüncü çalışmada hedef nesne olarak bir adet RJ45 konnektör muhafaza kılıfı seçilmiştir. Bu nesne farklı bir plastik türü olmakla birlikte, bombe kısımları, boğumlu yapısı ve üzerinde algılanması güç bir çukur olması sebebiyle seçilmiştir. Bu plastik konnektör muhafazasının fiziksel görünümü aşağıda Şekil 4.9.'daki gibidir.



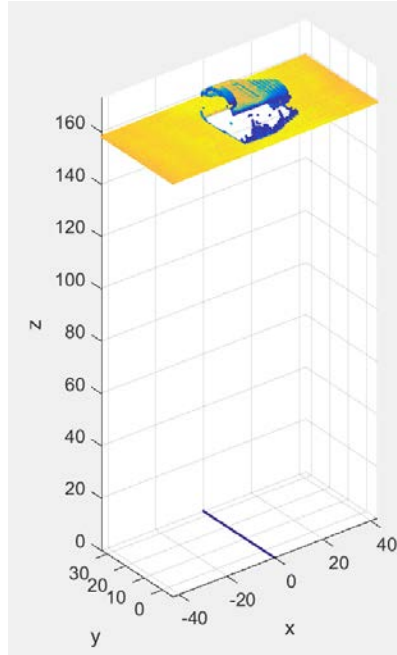
Şekil 4.9. "numune.txt" ölçüm nesnesi fiziksel yapısı

MLSL123 sensöründen yansıtılan lazer ışığı entegre CMOS görüntü sensörü tarafından x, y ve z koordinatlarının bilgisini verecek şekilde okunmaktadır. Bu x, y, ve z koordinat ve renk değerleri sensör konfigürasyonu esnasında belirlenen dizin ve dosyanın içerisine aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

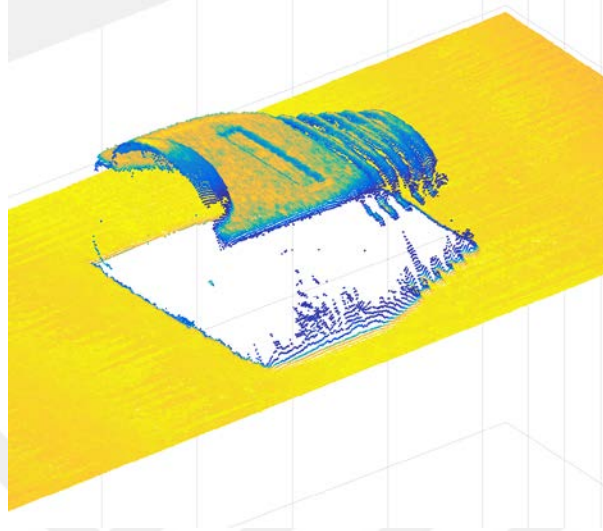
Tablo 4.3. "numune.txt" nokta bulutu değerleri (ilk 10 değer)

x değeri	y değeri	z değeri	Renk değeri
-42.5958	33.0000	158.2991	0209
-42.5285	33.0000	158.2994	0209
-42.4611	33.0000	158.2996	0214
-42.3958	33.0000	158.2910	0220
-42.3304	33.0000	158.2824	0218
-42.2630	33.0000	158.2826	0214
-42.1927	33.0000	158.2960	0215
-42.1223	33.0000	158.3094	0217
-42.0530	33.0000	158.3184	0215
-41.9866	33.0000	158.3142	0217

Bu deneyde değerlerin yazıldığı metin dosyasının ismi "numune.txt" olarak belirlenmiştir. "numune.txt" dosyasının büyüklüğü 43.464.058 byte'dır. Dosya içerisindeki toplam değer sayısı 4.997.120 'dir.

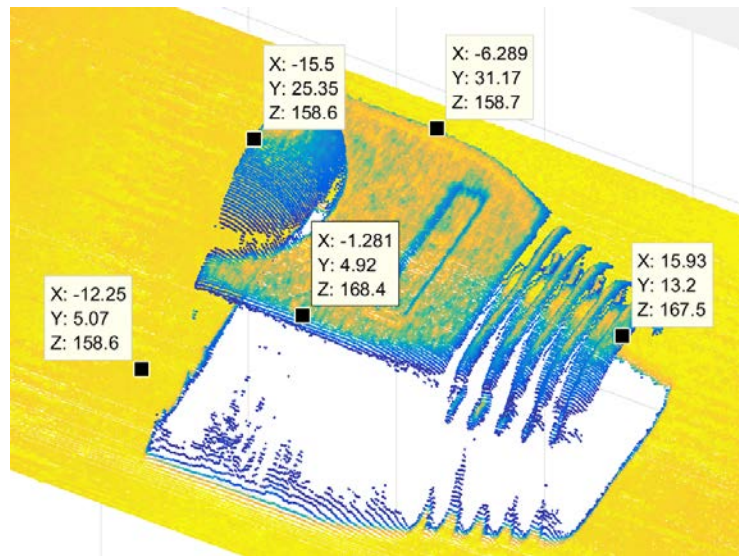
**Şekil 4.10.** "numune.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı

İşletilen matlab kod dizinleri neticesinde Şekli 4.10 'daki görünüm elde edilmiştir. Burada matlab tarafından oluşturulan şekilde nesnenin genel yapısı ve rengi belirgin bir şekilde algılanabilmektedir..



Şekil 4.11. "numune.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı yakın görünüm

Matlab'da çalıştırılan komut dosyasından elde edilen 3 boyutlu grafik görüntü hedef nesne merkezde olmak suretiyle yakınlaştırıldığında Şekil 4.11.'deki görünüm elde edilmiştir. Bu görünümde parçanın üst çeperleri; ön kısımdaki bombe bölüm, omuz bölümündeki çukur, arka bölümdeki boğumlar gibi fiziksel yapılar net şekilde algılanmaktadır ve detayları işlenebilecek bütünlüklü bir görüntü elde edilmiştir. Resmin yakın görünümünde taramayı oluşturan çizgilerde belirgin şekilde seçilebilmektedir.



Şekil 4.12. "numune.txt" nokta bulutu noktasal değer örnekleri

Sensör üzerinde bazı noktalar seçilip bu noktaların koordinat değerleri işlendiğinde bazı analizlerin yapılması mümkün olabilmektedir. Sözelimi z değerleri incelendiğinde parçanın yüksekliğinin 15 mm olduğu kuyruk kısmına doğru 10 mm'ye kadar düştüğü görülmektedir.

4.1.1.4. Kablo soyacağı nesnesinin nokta bulutu imajının oluşturulması

Dördüncü test çalışmasında hedef nesne olarak bir adet kablo soyacağı seçilmiştir. Bu kablo soyacağı plastik malzemedendir ve siyah renktedir. Siyah renk cisimlerin görüntü algılayan sensörler tarafından algılanması oldukça güçtür ve endüstride önemli bir problemidir. Çünkü siyah renkli cisimler üzerine düşen ışığı tamamen emer ve algılanmaları oldukça güçtür. Ayrıca nesnenin yüzeyinde algılanması zor olan farklı çaplarda yuvarlak girintiler mevcuttur. Bu kablo soyucunun fiziksel görünümü Şekil 4.13.'de görüldüğü gibidir.



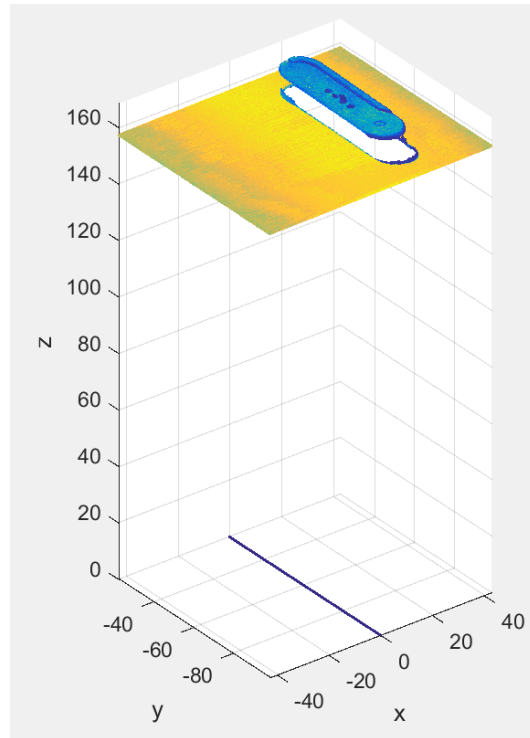
Şekil 4.13. "cablecutter.txt" ölçüm nesnesi fiziksel yapısı

MLSL123 sensöründen yansıtılan lazer ışığı entegre CMOS görüntü sensörü tarafından x, y ve z koordinatları ve renk bilgisini verecek şekilde okunmaktadır. Bu x, y, ve z koordinat ve renk değerleri sensör konfigürasyonu esnasında belirlenen dizin ve dosyanın içerisine aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

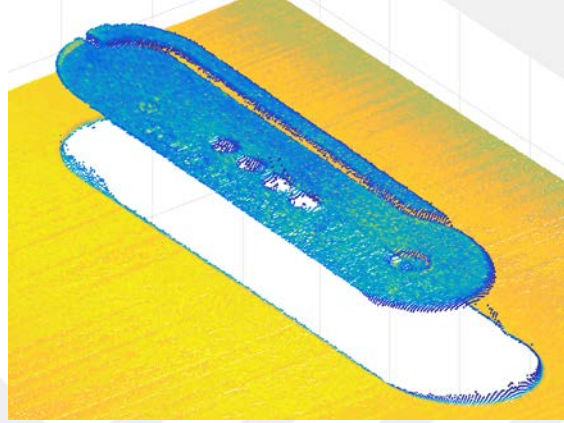
Tablo 4.4. "cablecutter.txt" nokta bulutu değerleri (ilk 10 değer)

x değeri	y değeri	z değeri	Renk değeri
-42.7922	-22.7100	157.4428	0183
-42.7255	-22.7100	157.4385	0187
-42.6568	-22.7100	157.4432	0187
-42.5871	-22.7100	157.4522	0179
-42.5205	-22.7100	157.4480	0175
-42.4609	-22.7100	157.4127	0198
-42.3952	-22.7100	157.4041	0207
-42.3275	-22.7100	157.4043	0208
-42.2568	-22.7100	157.4178	0205
-42.1821	-22.7100	157.4491	0185

Bu deneyde değerlerin yazıldığı metin dosyasının ismi "cablecutter.txt" olarak belirlenmiştir. "cablecutter.txt" dosyasının büyüklüğü 33.662.329 byte'dır. Dosya içerisindeki toplam değer sayısı 3.637.248 'dir.

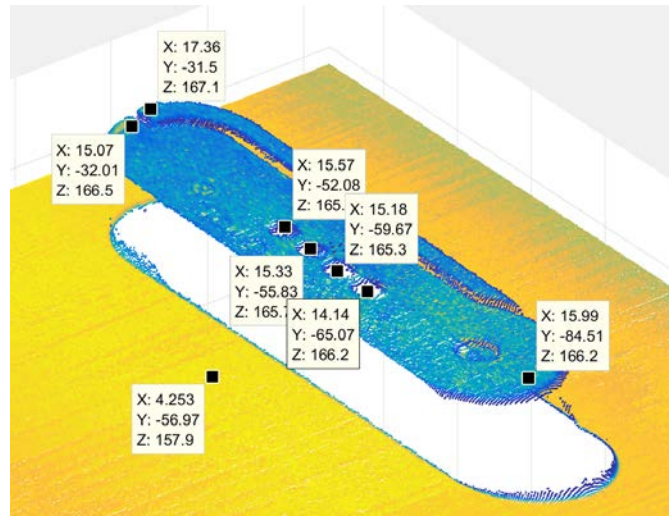
**Şekil 4.14.** "cablecutter.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı

İşletilen matlab kod dizinleri neticesinde Şekli 4.14 'daki görünüm elde edilmiştir. Bu çalışmada da matlab tarafından oluşturulan figürde nesnenin belirgin bir görüntüsü elde edilmiştir.



Şekil 4.15. "cablecutter.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı yakın görünüm

Matlab'da çalıştırılan komut dosyasından elde edilen 3 boyutlu grafik görüntü hedef nesne merkezde olmak suretiyle yakınlştırıldığında Şekil 4.15.'deki görünüm elde edilmiştir. Bu görünümde üst bölümdeki boşluklar, oluklu yapı, kabloların geçtiği boşluklar gibi parçanın üst çeperlerinin fiziksel yapısı belirgin şekilde algılanmaktadır. Objenin rengi siyah olmasına rağmen fiziksel yapı başarılı şekilde algılanmıştır.



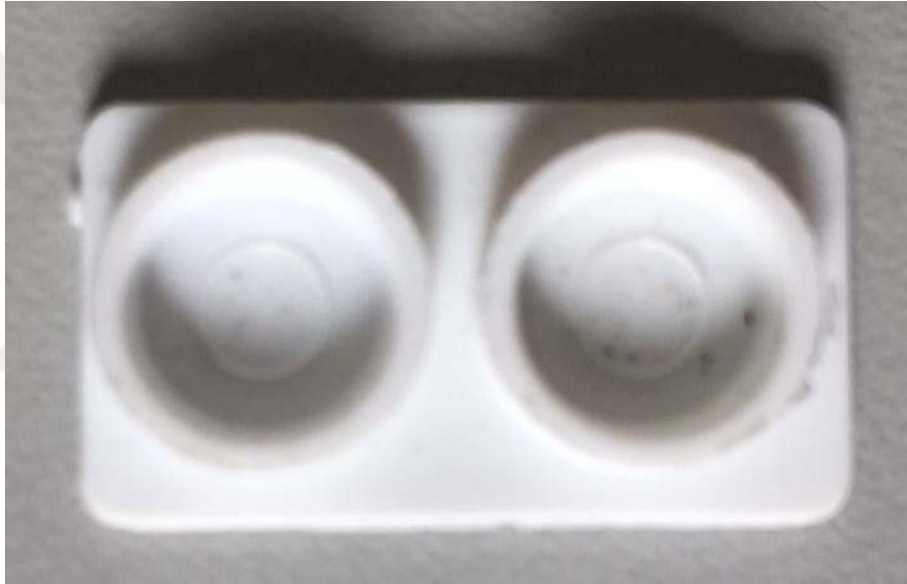
Şekil 4.16. "cablecutter.txt" nokta bulutu noktasal değer örnekleri

Sensör üzerinde bazı noktalar seçilip bu noktaların koordinat değerleri işlendiğinde bazı analizlerin yapılması mümkün olabilmektedir. Sözelimi z ve y koordinat değerleri

incelendiğinde parçanın yüksekliğinin 10mm uzunluğunun 50 mm olduğu söylenbilir. Nesne zerindeki kablo delikleri arasındaki mesafeler sırasıyla birbirine 3 mm, 4 mm ve 5mm uzaklıktadır.

4.1.1.5. Lego nesnesinin nokta bulutu imajının oluşturulması

Beşinci çalışmada hedef nesne olarak bir adet plastik bir lego parçası alınmıştır. Bir nceki deneyin aksine bu parça beyaz renklidir. Beyaz nesnelerin algılanması endüstride yine başka önemli bir problemdir, zira beyaz renkli nesneler zerlerin düşen bütün ışığı yansıtırlar ve bu nedenle detaylarının algılanması oldukça güçtür. Bu parçanın fiziksel görünümü şekil 4.17'deki gibidir.



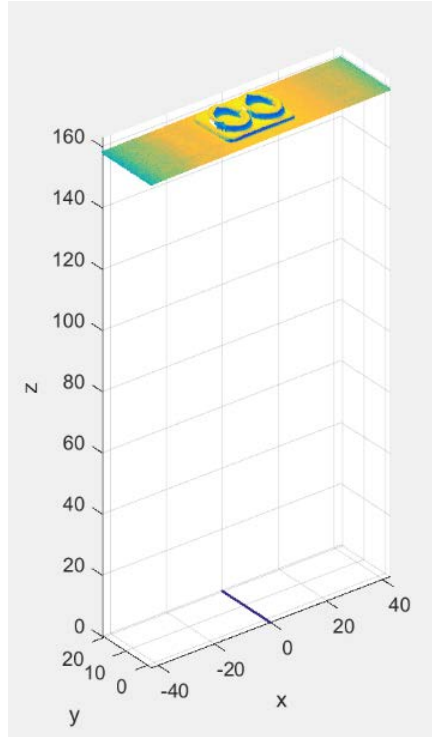
şekil 4.17. "lego.txt" lm nesnesi fiziksel yapısı

MLSL123 sensöründen yansıtılan lazer ışığı entegre CMOS görüntü sensörü tarafından x, y ve z koordinatlarının bilgisini verecek şekilde okunmaktadır. Bu x, y, ve z koordinat ve renk değerleri sensör konfigürasyonu esnasında belirlenen dizin ve dosyanın içerisine aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

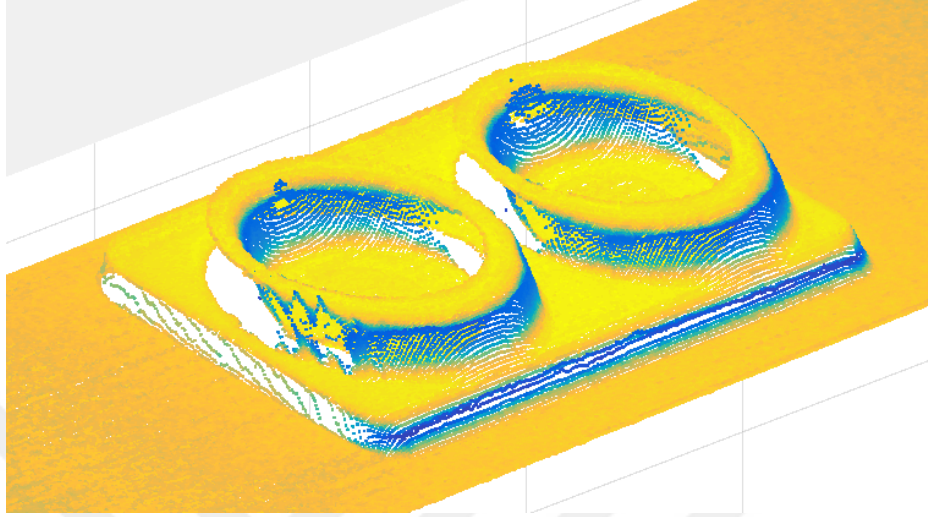
Tablo 4.5. "lego.txt" nokta bulutu değerleri (ilk 10 değer)

x değeri	y değeri	z değeri	Renk değeri
-42.6160	20.6100	158.2112	0119
-42.5476	20.6100	158.2158	0110
-42.4772	20.6100	158.2292	0103
-42.4098	20.6100	158.2294	0110
-42.3444	20.6100	158.2208	0118
-42.2750	20.6100	158.2298	0118
-42.2047	20.6100	158.2432	0116
-42.1393	20.6100	158.2347	0116
-42.0739	20.6100	158.2261	0121
-42.0045	20.6100	158.2351	0120

Bu testte değerlerin yazıldığı metin dosyasının ismi "lego.txt" olarak belirlenmiştir. "lego.txt" dosyasının büyüklüğü 33.66.329 byte'dır. Dosya içerisindeki toplam değer sayısı 3.981.132 'dir.

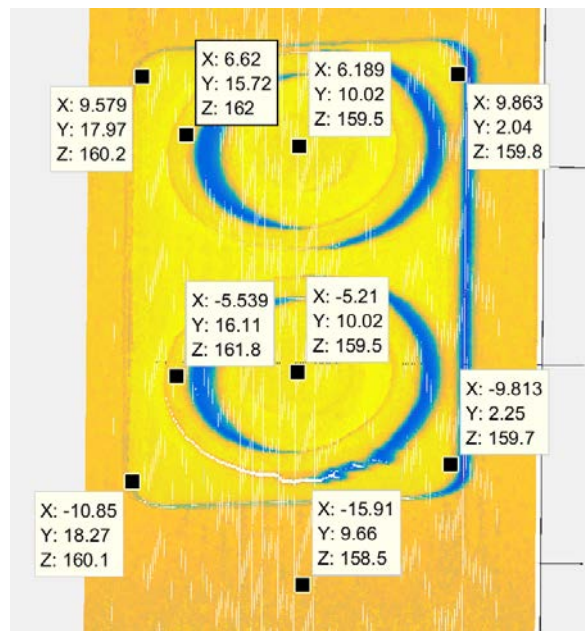
**Şekil 4.18.** "lego.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı

İşletilen matlab kod dizinleri neticesinde Şekli 4.18 'deki görünüm elde edilmiştir. Bu çalışmada da matlab tarafından oluşturulan figürde nesnenin belirgin bir 3 boyutlu görüntüsü elde edilmiştir.



Şekil 4.19. "lego.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı yakın görünüm

Matlab'da çalıştırılan komut dosyasından elde edilen 3 boyutlu grafik görüntü hedef nesne merkezde olmak suretiyle yakınlaştırıldığında Şekil 4.19.'daki görünüm elde edilmiştir. Bu görünümde legonun fiziksel yapısı kolaylıkla ayırt edilebilmektedir ve çözünürlük oldukça tatmin edici düzeydedir. Legonun üzerindeki yuvarlak kraterler açıkça görülebilmekte ve tarama çizgileri algılanabilmektedir.



Şekil 4.20. "lego.txt" nokta bulutu noktasal değer örnekleri

Sensör üzerinde bazı noktalar seçilip bu noktaların koordinat değerleri işlendiğinde bazı analizlerin yapılması mümkün olabilmektedir. Sözgelimi x ve y değerleri incelendiğinde parçanın dış ebatlarının x yönünde 200 mm genişliğinde, y yönünde 16 mm genişliğinde olduğu değerlendirilebilir. Yine y değerlerinden iki dairenin çaplarının 8'er mm olduğu anlaşılmaktadır. Z değerleri ise kraterlerin yüksekliğinin 1.5 mm olduğu bilgisini vermektedir.

4.1.2. Görüntü analiz çalışmaları

Bu bölümde bir önceki bölümde yapılan deneylere ek olarak oluşturulan 3 boyutlu imajların geliştirilmesi ile ilgili uygulama örnekleri verilmiştir.

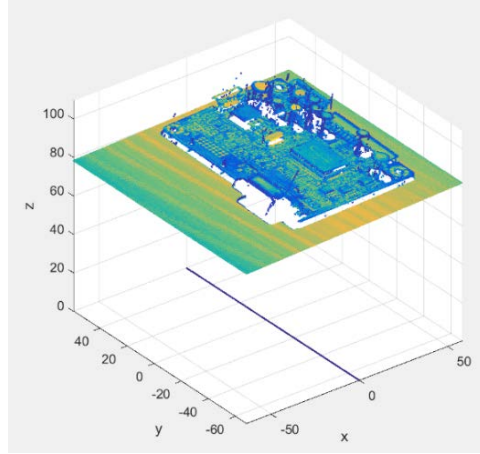
4.1.2.1. PCB üzerinde eksik komponent tespiti

Bu deneyde hedef olarak bir PCB kullanılmıştır. Gelişen teknoloji ile birlikte PCB'ler endüstrinin her alanında kullanılır hale gelmiştir. Bir PCB üzerinde bir çok farklı malzemeden imal edilen, farklı yapı ve renkte elemanlar kullanılmaktadır. Bu elemanların sağlıklı bir şekilde görüntülenip modellenmesi, üzerinde eksik komponent var ise bunların tespit edilmesi oldukça güç, diğer yandan da önemlidir. Kullanılan PCB'nin gerçek görünümü Şekil 4.21.'deki gibidir.



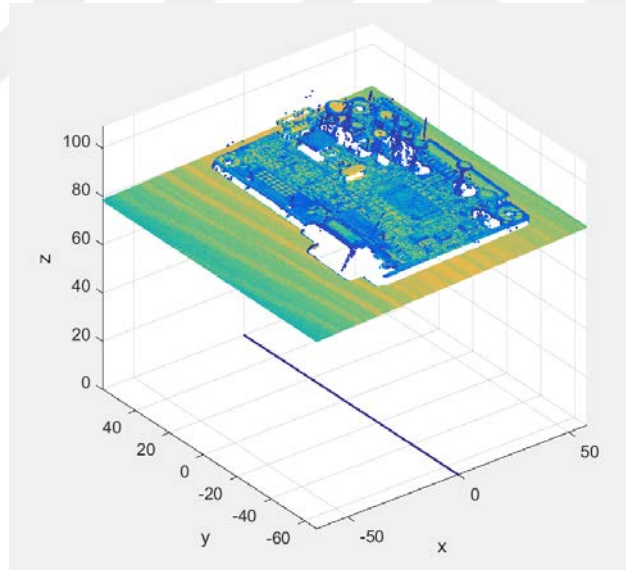
Şekil 4.21. PCB nesnesi fiziksel yapısı

PCB üzerinde birinci durumda komponentler tam olacak şekilde, ikinci durumda ise komponentlerden biri çıkarılmak suretiyle taranmıştır. PCB üzerindeki komponentler tam iken yapılan tarama "pcb_ok.txt" dosyasına taratılmıştır. Daha sonra bu tarama Matlab'da "pcb_ok.m" komut dosyası çalıştırılmak sureti ile 3 boyutlu görüntüye dönüştürülmüştür. Bu taramadan Şekil 4.22'deki görüntü elde edilmiştir.



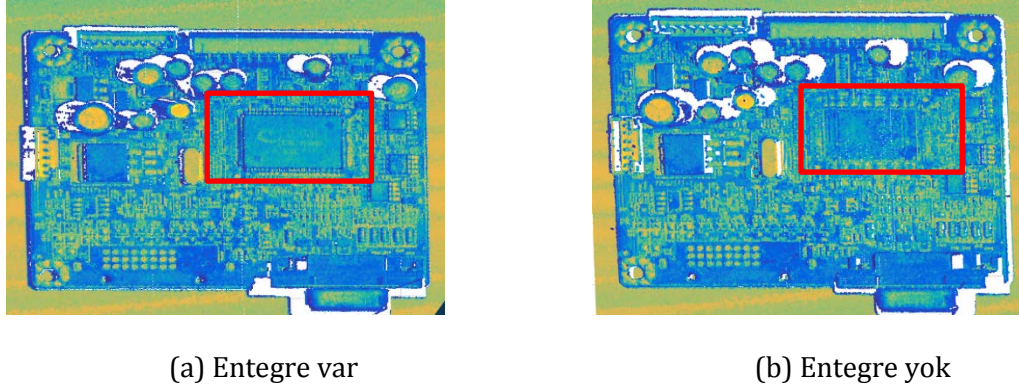
Şekil 4.22. "pcb_ok.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı

İkinci taramada ise yapılan taramadan elde edilen nokta bulutu "pcb_not_ok.txt" dosyasına kaydedilmiştir. Bu dosyada bulunan nokta bulut verileri Matlab'da "pcb_not_ok.m" komut dosyası çalıştırılmak sureti ile 3 boyutlu modele dönüştürülmüştür. Bu taramadan ise Şekil 4.23'deki görüntü elde edilmiştir.



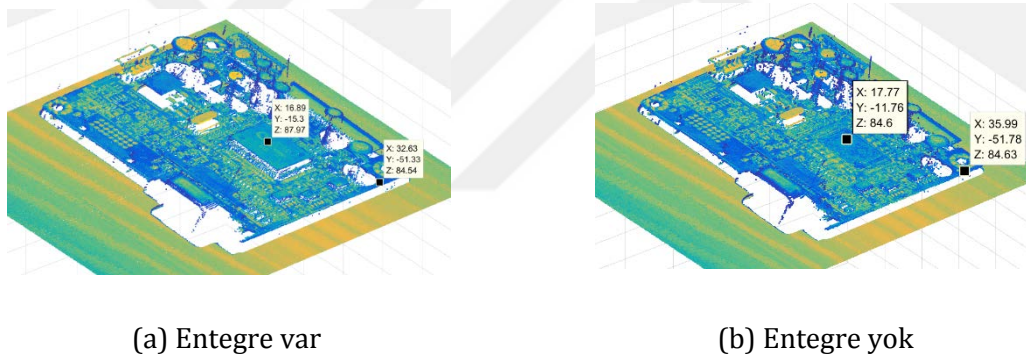
Şekil 4.23. "pcb_not_ok.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı

Bu iki taramadan elde edilen görüntüler yakınlaştırılıp görsel olarak karşılaştırıldığında, Şekil.24(a) ve (b)'de kırmızı ile işaretlenmiş bölgede gömülü entegrenin olmadığı net olarak görülmektedir.



Şekil 4.24. PCB taramalarında entegrenin (a) yerinde olması ve (b) yerinde olmaması durumu

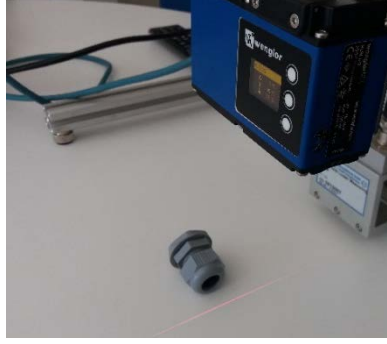
Yine gömülü entegrenin bulunduğu bölgede z değerleri Şekil4.25'deki gibi incelendiğinde, bu değerler arasındaki farktan da komponentin yerinde olmadığı neticesine ulaşılabilmektedir. PCB üzerinde entegre olduğu durumda $z = 87.97$ iken, entegrenin yerinde olmadığı durumda ise $z = 84.6$ 'dır.



Şekil 4.25. PCB taramalarında entegrenin yerinde olması(a) ve yerinde olmaması (b) durumunda z koordinat değişimi

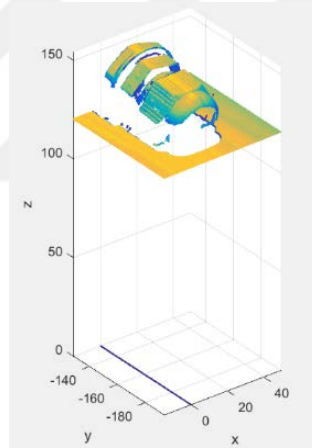
4.1.2.2. Rakor nesnesi farklı açılarda çoklu tarama

Günümüzde plastik ekstrüzyon endüstride çok önemli bir yer tutmaktadır. Plastik mamuller araba tamponundan çamaşır leğenine, penadan enjektöre kadar çok farklı formlarda üretilebilmektedir. Bu çalışmada obje olarak plastik bir rakor kullanılmıştır. Kullanılan rakorun gerçek fiziksel görünümü Şekil 4.26.'de görüldüğü gibidir.



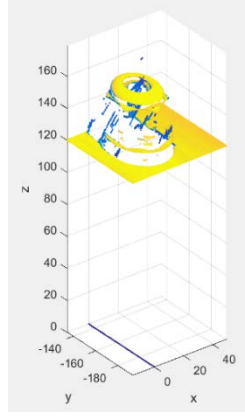
Şekil 4.26. Plastik rakor nesnesi fiziksel yapısı

Bu deneyde kullanılan rakor ilk olarak yatay pozisyonda taramıŐ ve elde edilen koordinat ve renk verileri "unionside.txt" dosyasına nokta bulutu olarak kaydedilmiştir. İlgili Matlab dizinine aktarılan nokta bulutu dosyası, "unionside.m" komut dosyası suretiyle açılıp işlenerek ile Şekil 4.27.'deki görüntü elde edilmiştir.



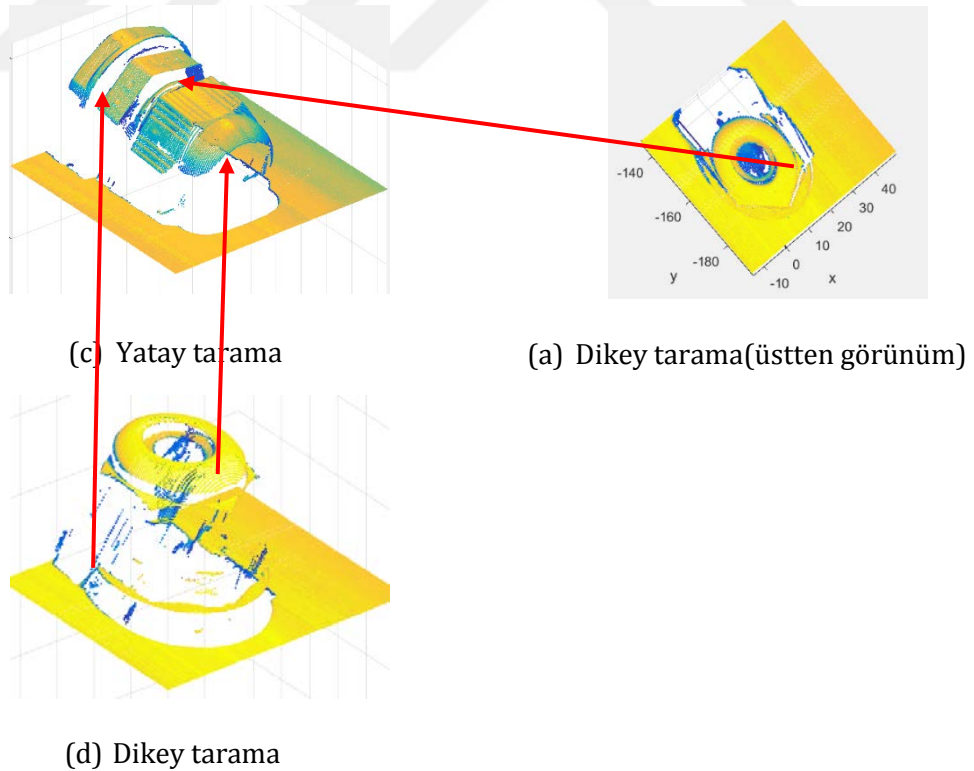
Şekil 4.27. "unionside.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program ıktısı

Daha sonra ikinci taramada obje dik konumda iken tarama yapılmış ve elde edilen koordinat ve renk verileri "unionside.txt" dosyasına nokta bulutu olarak kaydedilmiştir. Sonrasında Matlab'da çalıştırılan "uniontop.m" komut dosyası ile Şekil 4.28.'deki görüntü elde edilmiştir.



Şekil 4.28. "uniontop.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı

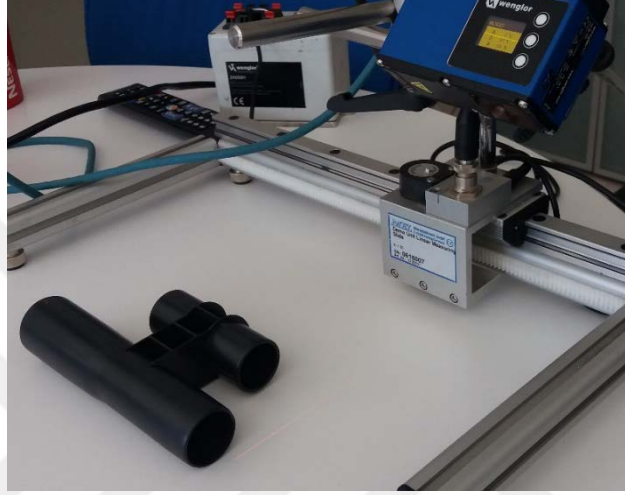
Rakor nesnesinin yatay ve dikey taramaları arasındaki ilişki Şekil 4.29 (a), (b) ve (c) 'de görüldüğü gibidir. Şekillerden de görülebileceği üzere yatay taramada rakorun ara boğumlarına lazer ışığı düşmediğinden, bu bölümler oluşturulan şekilde görülmektedir. Ancak dikey taramada bu bölümler görülebilmektedir. Ayrıca rakor orta bölümünde bulunan delikte üst taramada görülmektedir. Yan taramada nesne hakkında böyle bir bilgi elde edilememektedir.



Şekil 4.29. Rakor nesnesinin yatay ve dikey görünümünün ilişkisi

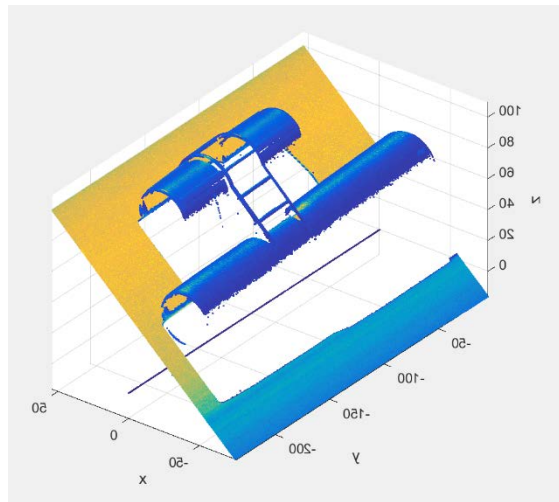
4.1.2.3. Plastik bağlantı borusu için farklı açılarda çoklu tarama

Plastik, demir, paslanmaz çelik, karbon çelik, alüminyum vb. birçok formda üretilen borular ve yardımcı elemanları endüstride ve günlük hayatta en çok kullanılan mamullerdir. Boruların imalatı neticesinde düzgün formda olması, istenilen çapta üretilmiş olması oldukça önem teşkil etmektedir. Bu deneyde obje olarak plastik bir bağlantı borusu kullanılmıştır. Kullanılan plastik boru formunun gerçek fiziksel görünümü Şekil 4.30.'de görüldüğü gibidir.



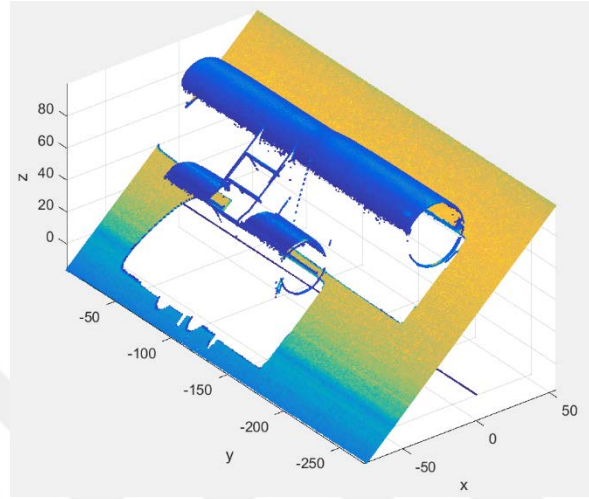
Şekil 4.30. Plastik bağlantı borusu nesnesi fiziksel yapısı

Kullanılan plastik boru ilk olarak bir taraftan 45 derece açı ile taranmış ve elde edilen koordinat ve renk verileri "blackpiperight.txt" dosyasına nokta bulutu olarak kaydedilmiştir. İlgili Matlab dizinine aktarılan nokta bulutu dosyası, "blackpiperight.m" komut dosyası suretiyle açılıp işlenerek Şekil 4.31.'deki görüntü elde edilmiştir.



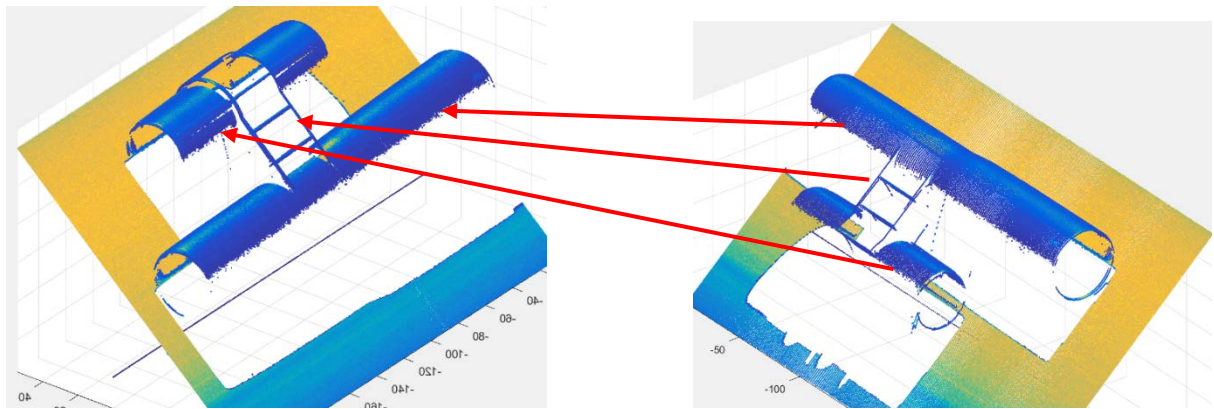
Şekil 4.31. "blackpiperight.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı

Daha sonra ikinci taramada obje karşı yönden yine 45 derecelik açıyla taranmış ve elde edilen koordinat ve renk verileri "blackpipeleft.txt" dosyasına nokta bulutu olarak kaydedilmiştir. Sonrasında Matlab'da çalıştırılan "blackpipeleft.m" komut doyası ile Şekil 4.32.'deki görüntü elde edilmiştir.



Şekil 4.32. "blackpipeleft.txt" nokta bulutu dosyasının matlab program çıktısı

Bu iki taramadan elde edilen görüntüler birlikte incelendiğinde, sağ taraftan yapılan tarama da plastik forma ait küçük parça boru ve büyük parça borunun solda kalan tarafı lazer ışık bu bölgelere düşmediğinden modelde yapılanmadığı görülmüştür. Bu bölümler sol taraftan tarandığında ise elde edilen modelin borunun modelini tamamlayıcı formda olduğu görülmektedir. Şekil 4.33 (a) ve (b) 'de bu ilişki kırmızı oklarla gösterilmiştir.



(a) Sağdan tarama

(b) Soldan tarama

Şekil 4.33. Plastik bağlantı borusu nesnesinin diagonal açılardan taramaları arasındaki ilişki

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Günümüzde endüstriyel üretim süreci neredeyse insan türünün varlığının ve medeniyetin temel taşı haline gelmiştir. Bununla beraber, her geçen gün artan insan nüfusu ve değişen ihtiyaçlar, endüstriyel üretim sürecinin de sürekli olarak değişmesini, ziyadesinde gelişmesini de ihtiyaç haline getirmiştir. Hatta denilebilir ki endüstriyel sürecin insanlığın değişen ve gelişen ihtiyaçları karşısında atıl kalmaması için her daim daha geniş perspektifli ve daha esnek bir yapıya ihtiyacı vardır. Bu ihtiyacın karşılanmasının temelinde ise “verimli” bir üretim süreci tasarlamak yatmaktadır.

Endüstriyel üretimde verimlilik birden fazla üretim parametresinin aynı anda değerlendirilerek sürekli olarak iyileştirilmesiyle ancak ve ancak değişen ihtiyaçlara karşılık verebilmektedir. Sözelimi, bugün artık bir ürünün yalnızca üretiliyor olması tek başına bir anlam ifade etmemektedir. Öncelikle ürünün pazarda rekabet edebilmesi için minimum giderle üretilmesi gerekmektedir. Diğer yandan tüketici grubunun kalite beklentisi karşılanmalı ve taahhüt edilen kalite sürdürülebilir olmalıdır. Bunun yanı sıra üretim sürecinin insan sağlığına ve çevreye olan olumsuz etkileri de en aza indirilmelidir. Bütün bu beklentilere cevap verecek bir üretim sürecinin mutlaka ki her bir aşaması titizlikle tasarlanmalı ve izlenmelidir.

Bu tez çalışmasında, endüstriyel üretimde kontrol ve izleme süreçlerinde her geçen gün etkinliği ve kullanım alanı artan lazer ışığının kullanımı ve yorumlanmasıyla ilgili bir metot üzerinde çalışılmıştır. Entegre bir yarı-iletken lazer kaynağı ile nesnelere üzerine yansıtılan lazer ışığı, CMOS sensörü ve gömülü entegre işlemci tarafından bir sayısal değerler kümesine dönüştürülmüştür. Bu noktasal konum verileri MATLAB programı ve yazılan komut kümesi dosyası aracılığıyla görselleştirilerek, nesnelere sanal bir imaj oluşturulmuştur. Oluşturulan sanal imaj bir nokta bulutu şeklindedir. Bu nokta bulutunda her bir nokta tek tek işlenebilir olduğundan nesne ile ilgili birçok analizi yapmak mümkün olabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında toplam 11 adet tarama yapılmıştır. İlk 5 taramada 3 boyutlu modelleme uygulamalarına örnekler verilmiştir. Burada daha çok 3 boyutlu modelleme çalışmalarında karşılaşılan yapısal farklılıklardan kaynaklı zorlukların üstesinden nasıl geldiği gösterilmiştir. Sözelimi tamamıyla siyah veya tamamıyla beyaz renklerdeki nesnelere modellenerek kullanılan metodun farklı renkler için etkin sonuç verdiği gösterilmiştir. Yine metal ve plastik gibi farklı malzemelerden imal edilmiş nesnelere kullanılarak, bu nesnelere de kolaylıkla modellenildiği gösterilmiştir. Ayrıca dizi lazerler ile tarama yapılarak, yuvarlak, köşeli, doğumlu, bombeli gibi farklı parçaları bulanan nesnelere algılanmasında başarılı sonuçlar elde edildiği gösterilmiştir.

Diğer 6 taramada ise mevcut verilerle yapılabilecek bazı analizlere örnekler verilmiştir. Örneğin; üzerinde komponenti eksik olan bir PCB kartının üzerindeki parçanın tarama sonucunda elde edilen modelde yerinde olmadığı gösterilmiştir. Bu şekilde montaj hatlarında eksik veya hatalı montajı yapılan ürünlerin veya bileşenlerinin tespit edilebileceği gösterilmiştir. Diğer taramalarda ise aynı nesnenin birden fazla açıdan tarandığında elde edilen modellerin birbirini nasıl tamamladığı gösterilmiştir. Bu deneylerde farklı endüstriyel mamullerin üretildiği malzemelerin öznelikleri ve fiziksel yapıları farklı olsa da, lazer sensör ile tarandığında oldukça kullanışlı bir 3 boyutlu modelin elde edilebildiği görülmüştür.

Bununla birlikte analiz metotları daha da geliştirilebilir. Sözelimi, daha etkin grafik işleme yazılımları kullanılarak, nesne imajının detayları daha belirgin hale getirilebilir. Buna ek olarak, bu tarz bir uygulama geliştirilirken kullanıcıya daha yakın bir arayüz tasarımının yapılması mümkündür. Örneğin kullanıcıya, oluşturulan imajın üzerinde kes-kopyala-yapıştır yapabileceği platform oluşturulabilir. Bu çalışmada sensörden alınan renk değerleri ile çalışılmıştır. İlerleyen çalışmalarda kullanıcının imaj için farklı kartelalar seçmesi sağlanabilir. Bu çalışma da ışığın çarpmadığı yüzeyler de analiz yapmak için metotlar önerilmiştir. Bu metotlar geliştirilebilir. Örneğin birden fazla ve farklı açılarda konumlandırılmış sensörler entegre kullanılarak cismin her yönden görünmesi ve analiz edilmesi sağlanabilir. Bu sensörlerin oluşturduğu nokta kümeleri bir algoritma ile birleştirilmek suretiyle işlenebilir. Mevcut çalışma da referans uzayın merkezi lazer kaynağıdır. Başka bir çalışmada nesnenin belirli bir uzay içerisindeki konumu tespit edilebilir. Yine bu hedef objenin başka objeler veyahut grafik imajla birleştirip tasarlanmış model ile ölçülmüş model arasındaki farklılıkların gözlenebilmesi sağlanabilir.

Bir nesnenin gerçek fiziksel yapısında uygun bir sanal imajının oluşturulması, endüstriyel sahada birçok sürecin daha hızlı işlemesine, kontrolün artırılmasına ve ürünün geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Sözelimi bu türde uygulamalar ile üretim hattı üzerindeki ürünün ara proseslerde bulunduğu konum izlenebilir, ürünün boyutları takip edilebilir, ara proseslerde uygulanan metotta bir sorun olup olmadığı gözlemlenebilir. Bu şekilde hatalı üretim oranı azaltılabilir. Hatalı üretime sebep olan kök nedenler tespit edilip giderilebilir. İşletmelerin girdilerinin etkin kullanımı sağlanarak, toplam üretim maliyetleri azaltılabilir.

KAYNAKLAR

- [1]. Martin J. Weber, *Handbook Of Laser Wavelengths*, CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, 1999.
- [2]. William T . Silfvast, *Handbook of Optics*, McGraw-Hill, Orlando , Florida,1994; p. 11.4.
- [3]. P. K. Basu, Bratati Mukhopadhyay, Rikmantra Basu, *Semiconductor Laser Theory*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, 2016; p.4.
- [4]. A. L. Schawlow and C. H. Townes, Infrared and Optical Masers, *Physical Review*, **1958**, 112, 6.
- [5]. T. H. Maiman, Stimulated Optical Radiation Ruby, *Nature*, **1960**, 187, 494.
- [6]. Jagdeep, Singh Laser, Action, Einstein Theory of Laser, Types, Applications in Industry and Medical Field”, Term Paper, Lovely Professional University, Phagwara,India.
- [7]. Wolfgang Demtröder, *Atoms, Molecules and Photons: An Introduction to Atomic Molecular and Quantum Physics*, Sprimger, Heidelberg, 2006, pp.283-319.
- [8]. A. Yariv and J. P. Gordon, *The Laser*, Proceedings of IEEE, Bell Telephone Laboratories Inc. Murray Hill, New Jersey, January 1962, pp. 4-29.
- [9]. H.J. Eichler, B. Eppich, J. Fischer, R. Güther, G.G. Gurzadyan, A. Hermerschmidt, A. Laubereau, V.A. Lopota, O. Mehl, C.R. Vidal, H. Weber, B. Wende, *Laser Physics and Applications*, Springer, Heidelberg, 2005.
- [10]. Bela A. Lengyel, *Introduction to Laser Physics*, John Wiley and Sons Inc., New Jersey, 1966.
- [11]. Dr. M. N. Avadhanulu and Dr. P.S. Hemne, *An Introduction To Lasers Theory And Applications*, S. Chand & Company Pvt. Ltd., Ram Nagar, New Delhi, 2001.
- [12]. Fabio Remondino, Sabry El-Hakim, Image-Based 3D Modelling A Review, *The Photogrammetric Record*, **2006**, 21(115): 269-291.
- [13]. Fabio Remondino, Sabry El-Hakim, *Critical Overview of Image-based 3D modeling*, International Workshop on recording, modeling and visualization of cultural heritage, London, 2006.
- [14]. Ali Peiravi, Behrai Taabbodi, A Reliable 3D Laser Triangulation-based Scanner with a New Simple but Accurate Procedure for Finding Scanner Parameters, *Journal of American Science*, **2010**, 6(5).
- [15]. Stanisław Mikulski, Laser triangulation in three-dimensional scanners, *Computer Applications in Electrical Engineering*, **2013**, Vol. 11 | 485-491 .
- [16]. Zhixu Dong, Xingwei Sun, Weijun Liu and Heran Yang, Measurement of Free-Form Curved Surfaces Using Laser Triangulation, *Sensors*, **2018**, 18, 3527.
- [17]. Paul J. Besl, Active, Optical Range Imaging Sensors, *Machine Vision and Applications*, **1988**, 1:127-152.
- [18]. R. Lange, P. Seitz, A. Biber and R. Schwarte, *Time-of-Flight Range Imaging with a Custom Solid-State Image Sensor*, Laser Metrology and Inspection Proc. SPIE, Munich, 1999, Vol. 3823.
- [19]. Wolfgang Boehler, Andreas Marbs, *3D Scanning Instruments*, Proceedings of the CIPA WG 6 International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording, Corfu,Greece, September 1-2 2002, pp. 9-12 .
- [20]. Yunlin Zhang, Hangbin Wu, Xiaojun Cheng, Chun Liu, *Accuracy Evaluation of Three Dimensional Laser Range Scanner Based on Field Calibration*, Proceedings of the 8th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, Shanghai, P. R. China, June 25-27, 2008, pp. 119-126.
- [21]. Tien Thanh Nguyen, Quang Minh Nguyen, Xiu Guo Liu, Yao Yevenyo Ziggah, *3D Object Model Reconstruction Based on Laser Scanning Point Cloud Data*, International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences, 2012.
- [22].Karsten Lambers, Henri Eisenbeiss, Martin Sauerbier, Denise Kupferschmidt, Thomas Gaisecker, Soheil Sotoodeh, Thomas Hanusch , *Combining photogrammetry and Laser Scanning for the Recording and Modelling of the Late Intermediate Period site of Pinchango Alto, Palpa, Peru*, Journal of Archaeological Science, **2007**, 10. - p. 1702-1712.
- [23]. P. Grussenmeyer, T. Landes, T. Voegtler, K. Ringle, *Comparison Methods of Terrestrial Laser Scanning, Photogrammetry and Tacheometry Data for Recording of Cultural Heritage Buildings*, Photogrammetry and Geomatics Group, MAP-PAGE UMR 694 - INSA de Strasbourg, Strasbourg, France, **2008**.

- [24]. D. Skarlatos, S. Kiparissi, *Comparison of Laser Scanning, Photogrammetry and SFM-MVS Pipeline Applied in Structures and Artificial Surfaces*, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXII ISPRS Congress, Melbourne, Australia, 25 August – 01 September 2012, Volume I-3.
- [25]. Abdil Kuş, Implementation of 3D Optical Scanning Technology for Automotive Applications, *Sensors*, **2009**, 9, 1967-1979.
- [26]. Quanhong Feng, Practical Application of 3D Laser Scanning Techniques to Underground Projects, *Rock Engineering Research Foundation BeFo Report 14*, Stockholm, 2012.
- [27]. Benjamin Ummenhofer, Thomas Brox, *Point-Based 3D Reconstruction of Thin Objects*, 2013 IEEE International Conference on Computer Vision, Sydney, Australia, 1-8 December 2013, .
- [28]. Xing-Qiang Li, Zhong Wang and Lu-Hua Fu, “A Laser-Based Measuring System for Online Quality Control of Car Engine Block” *Sensors* 2016, 16, 1877, State Key Laboratory of Precision Measuring Technology and Instruments, Tianjin University, Tianjin 300072, China.
- [29]. Wenglor sensoric GmbH online, Products, 2D/3D Sensors, <https://www.wenglor.com/vision-world/2d3d-sensors/2d3d-profile-sensors-wecat3d/wecat3d-misl/>
- [30]. The MathWorks, Inc. Online, Products, Matlab <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>

EKLER

1- "lightsensor.m" matlab program kod dizgisi

```
fileID = fopen('lightsensor.txt','r');
sizePC=[4 inf];
formatSpec = repmat('%f ',[1 sizePC(1,1)]);
[PC,countPC] = fscanf(fileID,formatSpec,sizePC);
fclose(fileID);
PC=PC';

color=PC;
PC(:,4)=[];

color(:,1)=[];
color(:,1)=[];
color(:,1)=[];

xyzPoints=PC;
pcshow(xyzPoints,color)

xlabel('x')
ylabel('y')
zlabel('z')
```

2- "usbbellek.m" matlab program kod dizgisi

```
fileID = fopen('usbbellek.txt','r');
sizePC=[4 inf];
formatSpec = repmat('%f ',[1 sizePC(1,1)]);
[PC,countPC] = fscanf(fileID,formatSpec,sizePC);
fclose(fileID);
PC=PC';

color=PC;
PC(:,4)=[];

color(:,1)=[];
color(:,1)=[];
color(:,1)=[];

xyzPoints=PC;
pcshow(xyzPoints,color)

xlabel('x')
ylabel('y')
zlabel('z')
```

3- "numune.m" matlab program kod dizgisi

```
fileID = fopen('numune.txt','r');
sizePC=[3 inf];
formatSpec = repmat('%f ',[1 sizePC(1,1)]);
[PC,count] = fscanf(fileID,formatSpec,sizePC);
fclose(fileID);
PC=PC';

colormap(jet);

xyzPoints=PC;
pcshow(xyzPoints)

yl = ylim; % Get current limits.
ylim([0, yl(2)]); % Replace lower limit only with a y of 0.
xl = xlim; % Get current limits.
xlim([0, xl(2)]); % Replace lower limit only with a x of 0.
zl = zlim; % Get current limits.
zlim([0, zl(2)]); % Replace lower limit only with a z of 0.

xlabel('x')
ylabel('y')
zlabel('z')
```

4- "cablecutter.m" matlab program kod dizgisi

```
fileID = fopen('cablecutter.txt','r');
sizePC=[4 inf];

formatSpec = repmat('%f ',[1 sizePC(1,1)]);
[PC,countPC] = fscanf(fileID,formatSpec,sizePC);

fclose(fileID);

PC=PC';

color=PC;
PC(:,4)=[];

color(:,1)=[];
color(:,1)=[];
color(:,1)=[];

xyzPoints=PC;
pcshow(xyzPoints,color)

xlabel('x')
ylabel('y')
zlabel('z')
```

5- "lego.m" matlab program kod dizgisi

```
fileID = fopen('lego.txt','r');
sizePC=[4 inf];
formatSpec = repmat('%f ',[1 sizePC(1,1)]);
[PC,countPC] = fscanf(fileID,formatSpec,sizePC);
fclose(fileID);
PC=PC';

color=PC;
PC(:,4)=[];

color(:,1)=[];
color(:,1)=[];
color(:,1)=[];

xyzPoints=PC;
pcshow(xyzPoints,color)

xlabel('x')
ylabel('y')
zlabel('z')
```

6- "pcb_ok.m" matlab program kod dizgisi

```
fileID = fopen('pcb_ok.txt','r');
sizePC=[4 inf];
formatSpec = repmat('%f ',[1 sizePC(1,1)]);
[PC,countPC] = fscanf(fileID,formatSpec,sizePC);
fclose(fileID);
PC=PC';
color=PC;
PC(:,4)=[];

color(:,1)=[];
color(:,1)=[];
color(:,1)=[];

xyzPoints=PC;
pcshow(xyzPoints,color)

xlabel('x')
ylabel('y')
zlabel('z')
```

7- "pcb_not_ok.m" matlab program kod dizgisi

```
fileID = fopen('pcb_not_ok.txt','r');
sizePC=[4 inf];
formatSpec = repmat('%f ',[1 sizePC(1,1)]);
[PC,countPC] = fscanf(fileID,formatSpec,sizePC);
fclose(fileID);
PC=PC';
color=PC;
PC(:,4)=[];

color(:,1)=[];
color(:,1)=[];
color(:,1)=[];

xyzPoints=PC;
pcshow(xyzPoints,color)

xlabel('x')
ylabel('y')
zlabel('z')
```

8- "unionside.m" matlab program kod dizgisi

```
fileID = fopen('unionside.txt','r');
sizePC=[4 inf];
formatSpec = repmat('%f ',[1 sizePC(1,1)]);
[PC,countPC] = fscanf(fileID,formatSpec,sizePC);
fclose(fileID);
PC=PC';
color=PC;
PC(:,4)=[];

color(:,1)=[];
color(:,1)=[];
color(:,1)=[];

xyzPoints=PC;
pcshow(xyzPoints,color)

xlabel('x')
ylabel('y')
zlabel('z')
```

9- "uniontop.m" matlab program kod dizgisi

```
fileID = fopen('uniontop.txt','r');
sizePC=[4 inf];
formatSpec = repmat('%f ',[1 sizePC(1,1)]);
[PC,countPC] = fscanf(fileID,formatSpec,sizePC);
fclose(fileID);
PC=PC';
color=PC;
PC(:,4)=[];

color(:,1)=[];
color(:,1)=[];
color(:,1)=[];

xyzPoints=PC;
pcshow(xyzPoints,color)

xlabel('x')
ylabel('y')
zlabel('z')
```

10- "blackpiperight.m" matlab program kod dizgisi

```
fileID = fopen('blackpiperight.txt','r');
sizePC=[4 inf];
formatSpec = repmat('%f ',[1 sizePC(1,1)]);
[PC,countPC] = fscanf(fileID,formatSpec,sizePC);
fclose(fileID);
PC=PC';
color=PC;
PC(:,4)=[];

color(:,1)=[];
color(:,1)=[];
color(:,1)=[];

xyzPoints=PC;
pcshow(xyzPoints,color)

xlabel('x')
ylabel('y')
zlabel('z')
```

11- "blackpipeleft.m" matlab program kod dizgisi

```
fileID = fopen('blackpipeleft.txt','r');
sizePC=[4 inf];
formatSpec = repmat('%f ',[1 sizePC(1,1)]);
[PC,countPC] = fscanf(fileID,formatSpec,sizePC);
fclose(fileID);
PC=PC';
color=PC;
PC(:,4)=[];

color(:,1)=[];
color(:,1)=[];
color(:,1)=[];

xyzPoints=PC;
pcshow(xyzPoints,color)
```

```
xlabel('x')
ylabel('y')
zlabel('z')
```

12- pshow fonksiyonu kod dizgisi

```
function ax = pshow(varargin)

[X, Y, Z, C, markerSize, vertAxis, vertAxisDir, currentAxes] = ...
    validateAndParseInputs(varargin{:});

if isempty(currentAxes)
    currentAxes = newplot;
end

hFigure = get(currentAxes,'Parent');

if strcmpi(hFigure.Renderer, 'painters')
    error(message('vision:pointcloud:badRenderer'));
end

if isempty(C)
    scatter3(currentAxes, X, Y, Z, markerSize, Z, '.');
elseif (ischar(C) || isequal(size(C),[1,3]))
    try
        plot3(currentAxes, X, Y, Z, '.', 'Color', C, 'MarkerSize',
markerSize);
        grid(currentAxes, 'on');
    catch exception
        throwAsCaller(exception);
    end
else
    scatter3(currentAxes, X, Y, Z, markerSize, C, '.');
end
```

```
ptCloudThreshold = [1920*1080, 1e8];

vision.internal.pc.initializePCSceneControl(hFigure, currentAxes,
vertAxis,...
    vertAxisDir, ptCloudThreshold, true);

if nargin > 0
    ax = currentAxes;
end
end

function [X, Y, Z, C, markerSize, vertAxis, vertAxisDir, ax] =
validateAndParseInputs(varargin)
narginchk(1, 10);

if ~bitget(nargin, 1) && ~isa(varargin{1}, 'pointCloud')
    [X, Y, Z, C] =
vision.internal.pc.validateAndParseInputsXYZC(mfilename,
varargin{1:2});
    pvpairs = varargin(3:end);
else
    [X, Y, Z, C] =
vision.internal.pc.validateAndParseInputsXYZC(mfilename,
varargin{1});
    pvpairs = varargin(2:end);
end

parser = vision.internal.pc.getSharedParamParser(mfilename);

parser.AddParameter('Parent', [], ...
    @vision.internal.inputValidation.validateAxesHandle);

parser.parse(pvpairs{:});

params = parser.Results;

markerSize = params.MarkerSize;
ax = params.Parent;
vertAxis = params.VerticalAxis;
vertAxisDir = params.VerticalAxisDir;

end
```

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı :Battal oban

Doğum Tarihi :05.01.1980

E-mail :battalcoban@hotmail.com

ğrenim Durumu :Lisans

Derece	Bölüm/Program	niversite	Yıl
Lisans	Elektrik – Elektronik Mühendisliği	Gaziantep Üniversitesi	2002
Yüksek Lisans			
Doktora			

Görevler :

Görev nvanı	Görev Yeri	Yıl
Araştırma Görevlisi	Mersin Üniversitesi	2002-2005
Sistem Uzmanı	ACT Güvenlik Sistemleri	2006-2008
Teknik Őef	Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı	2008-2011
Proje Koordinatörü	Process Automation Solutions	2012-....

ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

- 1.
- 2.
- 3.