

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE ENDÜSTRİ 4.0 TABANLI
TOZALTI KAYNAK YAPAN OTONOM ROBOT
GELİŞTİRİLMESİ**

**Hazırlayan
Ömer Faruk ÇOLAKOĞLU**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DANACI**

Yüksek Lisans Tezi

**Ocak 2021
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE ENDÜSTRİ 4.0 TABANLI
TOZALTI KAYNAK YAPAN OTONOM ROBOT
GELİŞTİRİLMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

**Hazırlayan
Ömer Faruk ÇOLAKOĞLU**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DANACI**

**Ocak 2021
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Ömer Faruk ÇOLAKOĞLU

İmza

“Görüntü İşleme ile Endüstri 4.0 Tabanlı Tozaltı Kaynak Yapan Otonom Robot Geliştirilmesi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Ömer Faruk ÇOLAKOĞLU

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DANACI

Bilgisayar Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Veysel ASLANTAŞ

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DANACI danışmanlığında **Ömer Faruk ÇOLAKOĞLU** tarafından hazırlanan “**Görüntü İşleme ile Endüstri 4.0 Tabanlı Tozaltı Kaynak Yapan Otonom Robot Geliştirilmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Bilgisayar Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

.../.../2021

JÜRİ:

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DANACI

Üye : Prof. Dr. Veysel ASLANTAŞ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Rifat KURBAN

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun tarih vesayılı kararı ile onaylanmıştır.

...../...../.....

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

“Görüntü İşleme ile Endüstri 4.0 Tabanlı Tozaltı Kaynak Yapan Otonom Robot Geliştirilmesi” isimli yüksek lisans tez çalışmam kapsamında bilgi, tecrübe ve desteğini esirgemeyen kıymetli danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DANACI’ya teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmada bana destek veren Isısan A.Ş.’ye ve Mehmet ÖZTÜRK’e teşekkür ederim.

Ömer Faruk ÇOLAKOĞLU

Ocak 2021, KAYSERİ

GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE ENDÜSTRİ 4.0 TABANLI TOZALTI KAYNAK YAPAN OTONOM ROBOT GELİŞTİRİLMESİ

Ömer Faruk ÇOLAKOĞLU

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2021

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DANACI

ÖZET

Basınçlı kap üretiminde kaynak işlemi hem iş yükü maliyetinde hem de ürünün kalitesinin belirlenmesinde çok önemli bir işlemdir. Çünkü basınçlı kaplar içlerinde taşıdıkları basınçlı gaz materyali ile patlama riski çok yüksek olan ürünlerdir. Bu yüzden kaynak işlemi belli bir mukavemet seviyesini sağlayacak şekilde yapılmalıdır. Basınçlı tank üretiminde en çok kullanılan kaynak tekniklerinden biri “Toz altı Kaynağı” teknolojisidir. Burada kaynak yapılacak bölgeye bir kaynak tozu dökülmekte ve kaynak teline yüksek akımlı elektrik verilerek kaynak işlemi gerçekleştirilmektedir. Yaklaşık 3 metre çapında silindir ve dönen bir tankın içerisinde hareketli bir kaynak traktörü ile 7 milimetre genişliğinde bir bölgeyi maksimum 1 milimetre tolerans payı ile kaynatmak için tankın içerisinde iki kişi çalışmaktadır. Bir kişi toz altı kaynak makinesinden dökülen kaynak tozlarını toplarken diğeri de direksiyonu kontrol etmekte ve kaynak telini 7 milimetre genişliğindeki kaynak bölgesinin tam ortasında tutmaya çalışmaktadır. Burada sürecin insan kontrolünde yürütülmesi sebebiyle hem işgücü kaybı hem de insan kaynaklı hatalar yaşanmaktadır. Bu durum üretim süreçlerinin gecikmesine ve kalite hatalarına sebep olmaktadır.

Bu tez çalışmasında insan ile yapılan yönlendirme işlemini tamamen otonom hale getirmek amaçlanmıştır. Endüstri 4.0. felsefesi genel olarak akıllı sistemler kullanmak ya da mevcut sistemi akıllı ve otonom hale getirmek esasına dayanır. Bu amaç doğrultusunda toz altı kaynak traktörünün görüntü işleme tekniklerini kullanarak hassas bir şekilde kaynak yolunu takip etmesi için bir sistem geliştirilmiştir. Ayrıca kaynak traktörünün direksiyon kısmına takılan bir motor ile direksiyonun yönlendirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Otonom kontrolü sağlamak için bir lazer sensör (seam tracking sensor) geliştirilmiştir. Bu sensörden alınan bilgi, geliştirilen görüntü işleme yazılımı ile direksiyona komut

olarak gönderilmektedir. Direksiyon üzerinde yapılan ani yönlendirme hareketlerinin kaynak makinesinin yolundan çıkmasına sebep olmaması için de PID algoritması kullanılarak traktörün osilasyon hareketi yapmadan hassas bir şekilde hareket etmesi sağlanmıştır. Tezde yapılan çalışmalar gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Gerek geliştirilen sensör, gerek görüntü işleme yazılımı ve gerekse mekanik kontrol sistemi sadece kaynak amaçlı değil diğer endüstriyel operasyonlarda da mevcut sistemleri otonom hale getirmek için kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Toz altı kaynak traktörü, Toz altı ark kaynağı, Basınçlı kaplar, Otonom çalışma, Görüntü işleme, Çizgi takibi, Kaynak izi takibi, kaynak dikişi takibi, Endüstri 4.0

DEVELOPMENT OF INDUSTRY 4.0 BASED SUBMERGED WELDING AUTONOMOUS ROBOT WITH IMAGE PROCESSING

Ömer Faruk ÇOLAKOĞLU

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, Month Year

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DANACI

ABSTRACT

Welding process in pressure vessel production is a very important process in determining both the workload cost and the quality of the product. Since pressure vessels are products with a very high risk of explosion with the pressurized gas material they contain, the welding should be done in a way that provides a certain strength level. One of the most used welding techniques in pressure tank production is "Submerged Arc Welding" technology. In this technique, a welding powder is poured into the area to be welded and the welding process is carried out by applying high current electricity to the welding wire. Two people work in the tank to weld an area of 7 millimeters with a maximum tolerance of 1 millimeter using a movable welding tractor inside a rotating cylinder with the diameter of about 3 meters. While one person collects the welding dust spilled from the submerged arc welding machine, the other one controls the steering wheel and tries to keep the welding wire in the middle of the 7 millimeter wide welding zone. Because the process is carried out under human control, both labor loss and human errors can be occurred. These can cause delay of the production processes and quality defects.

In this thesis, a completely autonomous system is developed to replace the aforementioned process. The philosophy of Industry 4.0 is generally based on using smart systems or making the existing system smart and autonomous. For this purpose, a system has been developed for the submerged arc welding tractor to precisely follow the welding path using image processing techniques. In addition, the welding tractor was directed by a motor attached to the steering part of the tractor.

A laser sensor (seam tracking sensor) has been developed to provide information to the autonomous system. The information obtained by the sensor is sent to the steering wheel as a command using the developed image processing software. In order to keep

the welding machine on the right path, a PID algorithm is employed to prevent sudden movements that cause oscillations. The research conducted in this thesis is put into real time practice. The results obtained are quite satisfactory.

The developed sensor, the image processing software and the mechanical control system can be used not only for welding purposes, but also similar systems utilized in other industrial operations.

Keywords: Submerged arc welding tractor, Autonomous operation, Image processing, Line tracking, Mobile welding robot, Weld line position detection, Automatic detection system, Industry 4.0

İÇİNDEKİLER

GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE ENDÜSTRİ 4.0 TABANLI TOZALTI KAYNAK YAPAN OTONOM ROBOT GELİŞTİRİLMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI	ii
KABUL ONAY	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Problemin Durumu	3
1.2. Araştırmanın Amacı	5
1.3. Araştırmanın Önemi.....	5
1.4. Tanımlar	6
1.4.1. Basınçlı Kap	7
1.4.2. Toz Altı Kaynağı.....	7
1.4.2.1. Toz Altı Kaynağının Avantajları.....	7
1.4.2.2. Toz altı kaynağının dezavantajları	8

2. BÖLÜM

ÇALIŞMADA KULLANILAN TEKNOLOJİ, CİHAZ VE KAVRAMLAR

2.1. Görüntü İşleme Kavramı	10
-----------------------------------	----

2.1.1. Görüntü İşlemenin Kullanım Alanları	11
2.1.2. Görüntü işlemede kullanılan platformlar	14
2.2. PID Kavramı	15
2.3. Arduino Kontrol Kartı	15

3. BÖLÜM

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

3.1. Endüstride Kullanılan Sistemlerin İncelenmesi	18
3.1.1. Kaynak Traktörü	20
3.1.2. Lazer Sensör (Seam Tracker)	20
3.2. Literatürde Yapılan Çalışmaların İncelenmesi.....	22
3.3. Problemin İncelenmesi ve Çözüm Üretilmesi.....	25

4. BÖLÜM

UYGULAMA-1 GÖRÜNTÜ İŞLEME

4.1. Çalışma Adımları	34
4.1.1. Kalibrasyon Yapma	36
4.1.2. Kameradan Görüntü Alma	37
4.1.3. Çalışmada Görüntü İşleme Kullanımı	37
4.1.4. Kameradan görüntü alma	37
4.1.5. Bandpass filtre kullanmadan görüntü alma	38
4.1.6. Bandpass filtre kullanarak görüntü alma	39
4.2. Görüntü İşleme.....	41
4.2.1. Görüntüde kırmızı kanalı kullanma.....	41
4.2.2. Görüntüyü ikili (binary) formata çevirme	43
4.2.3. Görüntü Üzerinde Gaussian Filtre Uygulama.....	44
4.2.4. Görüntü Üzerinde Median Filtre Uygulama	46
4.2.5. Çizgi İnceltme	47
4.2.6. Görüntünün Yatay Histogramını Çıkartarak Çizgiyi Düzgünleştirme	48

4.2.7. Üçgenin Köşe Noktalarını Bulma	49
4.2.8. Üçgenin tepe noktasını bulma	50

5. BÖLÜM

UYGULAMA-2 OTONOM YÖNLENDİRME

5.1. Aracın Rotada Olup Olmadığını Tespit Etme.....	51
5.2. Rotadan Çıkan Aracı Yönlendirme.....	52
5.3. Motoru Hassas Şekilde Hareket Ettirme	55
5.4. PID	56
5.4.1. PID'nin Kullanım Alanları.....	57
5.4.2. Çalışmada PID Kavramı.....	57

6. BÖLÜM

BULGULAR

6.1. Çalışmada Elde Edilen Sonuçlar	60
---	----

7. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

7.1. Tartışma	65
7.2. Sonuç ve Öneriler	66
KAYNAKÇA	68
ÖZGEÇMİŞ.....	73

KISALTMALAR

PID : Proportional, Integral, Derivative

G/Ç : Giriş/Çıkış

RGB : Red Green Blue

PLC : Programming Logic Unit



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Tozaltı kaynak traktörü.	3
Şekil 1.2.	Basınçlı tank imalatında toz altı kaynak traktörü kullanımı.	4
Şekil 1.3.	Robot kol ile toz altı kaynak otomasyonu.....	4
Şekil 1.4.	Column and boom sistem ile toz altı kaynak traktörü.....	5
Şekil 1.5.	Basınçlı kaplar.....	6
Şekil 1.6.	Toz altı kaynağı: (a) şematik gösterim, (b) imalatta kullanımı.	9
Şekil 2.1.	Sayısal görüntü ve piksel.....	11
Şekil 2.2.	Görüntü iyileştirme uygulaması.	12
Şekil 2.3.	Cisim tanıma uygulaması	13
Şekil 2.4.	Sağlık sektöründe görüntü işleme kullanımı.	13
Şekil 2.5.	Savunma sanayisinde görüntü işleme kullanımı.	14
Şekil 2.6.	Arduino kartın temel bileşenleri.....	16
Şekil 3.1.	Robot kola lazer sensör takılarak otonom kaynak yapma işlemi	18
Şekil 3.2.	Column and Boom sistem üzerine lazer sensör takılarak otonom kaynak yapma işlemi	19
Şekil 3.3.	Lazer sensör (seam tracker).....	19
Şekil 3.4.	Lazer sensör ile haritalama (çizim)	20
Şekil 3.5.	Lazer sensör ile haritalama (gerçek görüntü)	21
Şekil 3.6.	Lazer sensör ile iz takibi.....	22
Şekil 3.7.	Lazer sensör ile robot kola iz takibi	23
Şekil 3.8.	Lazer sensör ile column and boom sistem iz takibi	24
Şekil 3.9.	Lazer sensör ile mobil kaynak traktörü kullanımı.....	25
Şekil 3.10.	Bombe ve modül birleştirme İşlemi	26
Şekil 3.11.	Makara üzerindeki tank ve tankın içindeki çalışma şekli.	26
Şekil 3.12.	İki modülün kaynak birleşme noktası (çizim).....	27
Şekil 3.13.	İki modülün kaynak birleşme noktası (gerçek görüntü).....	27
Şekil 3.14.	Lazer sensör ile mobil kaynak traktörü kullanımı.....	28

Şekil 3.15. Lazer sensör ile kaynak iz takibi	28
Şekil 3.16. Lazer sensör ile 3d harita çıkarma.....	29
Şekil 3.17. Lazer kaynak noktasına dik ve aynı açıda.....	30
Şekil 3.18. Lazer kaynak noktasına dik, kamera 45 derecelik açıya sahip.	30
Şekil 3.19. Kamera ve lazer arasındaki açıya göre elde edilen görüntüler.....	31
Şekil 3.20. Bandpass filtre çalışma prensibi.....	31
Şekil 3.21. Çalışmada kullanılan Edmund Optics marka bandpass filtre.....	31
Şekil 3.22. Normal kamera ile elde edilen lazer görüntüsü.....	32
Şekil 3.23. Kamera önüne bandpass filtre takılarak elde edilen kamera görüntüsü.....	32
Şekil 3.24. Prototip çalışma.....	33
Şekil 4.1. Geliştirilen çalışmanın algoritması-1 Görüntü işleme süreci.	35
Şekil 4.2. Geliştirilen çalışmanın algoritması-2, aracı yönlendirme süreci.....	36
Şekil 4.3. Traktörün ilk kalibrasyonunu yapıp ortalayarak yerleştirme.	36
Şekil 4.5. İlk denemelerde kullanılan kablosuz kamera Sony QX100.	38
Şekil 4.6. Bandpass filtre kullanmadan kameradan alınan görüntü	38
Şekil 4.7. Bandpass filtre kullanılarak elde edilen görüntü.....	39
Şekil 4.8. Bandpass Filtre çalışma prensibi.....	39
Şekil 4.9. Çalışmada kullanılan Edmund Optics bandpass filtre.....	40
Şekil 4.10. Çalışmada kullanılan Edmund Optics bandpass filtrenin teknik özellikleri.....	40
Şekil 4.11. Çalışmada kullanılan Edmund Optics bandpass filtrenin teknik özellikleri.....	41
Şekil 4.12. Sayısal bir resmin R, G ve B kanalları.	41
Şekil 4.14. Bandpass filtre ile alınan görüntü.....	43
Şekil 4.15. Görüntünün R kanalı	43
Şekil 4.16. R kanalı alınan görüntü.	44
Şekil 4.17. Binary (ikili) hale çevrilmiş görüntü.	44
Şekil 4.18. Gaussian filtrenin gösterimi [19].....	45
Şekil 4.19. Gaussian filtre uygulanmış görüntü	45

Şekil 4.20. Median filtre.....	46
Şekil 4.21. Median filtre uygulanmış görüntü.....	47
Şekil 4.22. Çizginin orta noktasını tespit etme.....	47
Şekil 4.23. Kalın çizgiyi 1 piksel haline getirme.....	47
Şekil 4.24. Yatay histogram.	48
Şekil 4.25. Orta noktanın bulunması.	48
Şekil 4.26. Üçgenin bulunması gereken kenarları.....	49
Şekil 5.1. Kalibrasyon yapılan gerçek görüntü	51
Şekil 5.2. Düzenlenerek kadraj kontrolü yapılan görüntü	52
Şekil 5.3. Üçgenin kenarlarının bulunduğu görüntü	52
Şekil 5.4. 86HS120 - 86mm 12 Nm Step Motor	53
Şekil 5.5. Step motor sürücüsü M860H 40V 80V	53
Şekil 5.6. Otonom sistemin çalışma prensibi	55
Şekil 5.7. NBN8-18GM50-E0 Manyetik sensör	54
Şekil 5.8. Direksiyon üzerine yerleştirilen manyetik sensörler.....	54
Şekil 5.9. PID Algoritması çalışma prensibi	56
Şekil 5.10. PID sisteminin geliştirilen sistemde çalışma prensibi.....	59

GİRİŞ

Basınçlı kapların yüksek mukavemet seviyesini sağlayabilmesi için kaynak işlemleri hatasız bir şekilde yapılmalıdır. Yaygın olarak kullanılan toz altı kaynağı teknolojisinde kaynak işlemi dönen bir tankın içerisindeki hareketli kaynak traktörünün iki kişi ile yönlendirilmesi ile basınçlı kabı oluşturan sacların birbirine kaynatılması şeklinde gerçekleştirilmektedir. Sürecin insan yönetiminde yürütülmesi sonucunda iş gücü kaybı ve kalite hataları meydana gelmektedir.

Hali hazırda endüstride bu sorunların önüne geçmek amacıyla robot kol, column and boom gibi teknolojiler kullanılmaktadır. Bu teknolojiler otonom şekilde çalışmaya uygundur. Ancak robot kollar büyük ölçekli basınçlı kapların içerisinde çalışmaya uygun yapıda değildir. Ayrıca robot kollar ve column and boom sistemler sabit istasyon mantığı ile çalıştığı için büyük ölçekli basınçlı kapların bu istasyonlara taşınması gerekmektedir. Hem bu durum, hem de büyük ölçekli robot kolların ve column and boom sistemlerin mobil traktör sistemlerine göre pahalı olması bu sistemlerin tercih edilebilirliğini azaltmaktadır.

Bu tez çalışmasında, özellikle basınçlı kap sektöründe yoğun şekilde kullanılan toz altı kaynağı metodolojisinin endüstri 4.0. standartlarında geliştirilmesi ve insan marifetiyle yapılan kaynak işleminin görüntü işleme ve robotik teknikler kullanarak otonom şekilde yapılabilir hale getirilmesi amaçlanmaktadır. Çalışma sonunda, insan tarafından yönlendirilen bir toz altı kaynak traktörü, geliştirilen görüntü işleme ve robotik kontrol sistemleri ile tamamen otonom şekilde çalışır ve kaynak iz takibi yapabilir hale getirilmiştir. Çalışma, kaynak traktörü üzerinde bu alanda geliştirilen ve sahada uygulanan tek uygulama olduğu için bu özelliği ile değerlidir.

Tez organizasyonu aşağıda belirtildiği gibidir;

Birinci bölümde, özellikle basınçlı kap sektöründe kullanılan kaynak teknolojilerinden olan toz altı kaynağı ve bu çalışmada kullanılan tanımlar açıklanmaktadır.

İkinci bölümde, bu tez çalışmasında kullanılan; görüntü işleme kavramı, PID tekniği, Arduino kartı gibi teknolojiler, teknikler ve donanımlar anlatılmaktadır.

Üçüncü bölümde, problem ile alakalı yapılan literatür çalışmalarına, endüstrideki kullanım şekillerine ve endüstride kullanılan cihaz ve tekniklere değinilmiştir.

Dördüncü bölümde, çalışmanın birinci uygulama adımı olan görüntü işleme algoritması anlatılmaktadır.

Beşinci bölümde, ikinci uygulama kısmı olan kaynak traktörünü rotasında tutma işlemi adımları açıklanmaktadır.

Altıncı bölümde, çalışmada elde edilen bulgular ve sonuçlar paylaşılmaktadır.

Yedinci bölümde, bu tez çalışması sonucunda elde edilen durum değerlendirilmekte, tartışılmakta ve öneriler paylaşılmaktadır. Ayrıca, bu çalışmada geliştirilen sistemin başka hangi amaçlara ne şekilde uygulanabileceğinden bahsedilmektedir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Bu bölümde özellikle basınçlı kap sektöründe kullanılan kaynak teknolojilerinden olan toz altı kaynağı ve bu çalışmada kullanılan tanımlar açıklanmaktadır.

1.1. Problemin Durumu

Günümüzde basınçlı kap üreten firmaların birçoğu bu üretimde toz altı kaynağı tekniğini kullanmaktadır. Toz altı kaynağı, kaynak yapılacak iki çelik yüzeyin arasına kaynak tozu dökmek suretiyle ve yüksek amperde elektrik vererek kimyasal bir tepkime ile bu iki metali birbirine kaynatmaktadır.



Şekil 1.1. Tozaltı kaynak traktörü.

Kaynak işlemi yaparken kullanılan teknikler [7];

- Toz altı kaynak traktörü
- Kaynak robot kolu
- Column and boom sistemler

olarak sıralanabilir. Şekil 1.1’de 3 tekerlekli bir toz altı kaynak traktörü ve Şekil 1.2’de toz altı kaynak traktörünün bir basınçlı kap içerisinde kullanımı görülmektedir.



Şekil 1.2. Basınçlı tank imalatında toz altı kaynak traktörü kullanımı.

Şekil 1.3’de robot kol ile toz altı kaynak otomasyonu, Şekil 1.4’te column and boom sistem ile toz altı kaynak traktörü gösterilmektedir.



Şekil 1.3. Robot kol ile toz altı kaynak otomasyonu

Bu teknikler arasında en efektif ve en ekonomik olan toz altı kaynak traktörü ile yapılan kaynak işlemidir [2]. Ancak burada insana bağımlılık ve hata oranının diğer yöntemlere göre yüksek olması gibi durumlar söz konusudur [3]. Bu sebeple, bu işlemi insandan

bağımsız hale getirmek hem verimliliği arttıracak hem de hata oranını düşürecektir [4]. İnsan ile yapılan bir işlemin otonom şekilde yapılmasını sağlayan ve oldukça uygun bir maliyetle bu işin yapılabilmesini sağlayan, ayrıca yerden bağımsız mobil bir şekilde çalışabilmesi sebebiyle ciddi kazanç sağlatabilecek bu çalışma, sektörde bir ilk olması sebebiyle oldukça önemlidir.



Şekil 1.4. Column and boom sistem ile toz altı kaynak traktörü

1.2. Araştırmanın Amacı

Bu araştırmanın amacı, insan ile kontrol edilen basınçlı kaynak sisteminin insansız ve otonom şekilde kontrol edilebilmesini sağlamaktır. Böylece, görüntü işleme ve robotik teknikleri kullanarak kaynak makinesinin yolunu kendisi tayin edecek şekilde bir sistem geliştirilmiş olacaktır.

1.3. Araştırmanın Önemi

Mevcut durum incelendiğinde, basınçlı kap kaynak işlemlerinde kullanılan otomasyon tekniklerinde robotik sistemler oldukça pahalıdır. Ayrıca mobilite imkânı kısıtlıdır. Kaynak iz takibi yapabilmek amacıyla çeşitli sensörler mevcuttur ancak bu sensörler de yine oldukça pahalı sensörlerdir. Bununla birlikte toz altı kaynak traktörünü otonom yapmak için mevcutta çalışmalar yapılmıştır [4-6].

Birden fazla teknolojiyi içinde barındıran ve oldukça uygun bir maliyetle bu işin yapılabilmesini sağlayan, ayrıca yerden bağımsız mobil bir şekilde çalışabilmesi

sebebiyle ciddi kazanç sağlayabilecek bu çalışma sektöründe bir ilk olması sebebiyle oldukça önemlidir.

1.4. Tanımlar

Bu bölümde, bu çalışmada kullanılan çeşitli yöntem, materyal ve cihazların tanımı yapılmaktadır.



(a) Gaz tüpü



(b) Hava tankı



(c) LPG tankı



(d) Kompresör



(e) Boru hattı



(f) Sınai gaz tankı



(g) Kriojenik tank

Şekil 1.5. Basıncılı kaplar.

1.4.1. Basınçlı Kap

İç basıncı 0.5 bardan büyük olan ve içerisinde sıvı ya da gaz depolanan kap ve ekipmanlara denir. Şekil 1.5’de örnekleri görülen basınçlı kapların temel olarak aşağıdaki gibi çeşitleri vardır.

- Gaz tüpü
- Hava tankı
- LPG tankı
- Kompresör
- Boru hattı
- Sınai gaz tankı
- Kriojenik tank

1.4.2. Toz Altı Kaynağı

Toz altı kaynağı genelde basınçlı kap, tank, kazan, boru, LPG tüpleri, çelik konstrüksiyon, gemi inşaatı gibi sektörlerde kullanılır.

Toz altı kaynağı ergimiş metal bölgesini havadaki olumsuz durumlardan korumak için bir çeşit toz kullanılarak yapılan bir kaynak yöntemidir. Burada kaynak için kullanılan toz, kaynak yapılacak bölgeye dökülür. Kaynak teli kaynak bölgesine doğru sürülür. Kaynak teli akım ile birlikte kaynak bölgesini ve kaynak tozunu ertirir. Burada ergiyen kaynak tozu kaynak dikiş bölgesinin üstüne cüruf olarak çıkar. Kaynak işlemi devam ettikçe de oluşan bu cüruf kaynak bölgesinden kopar. Ergimeyen toz ise tekrar toplanarak sonraki kaynak işlemlerinde kullanılabilir [7]. Toz altı kaynağının şematik gösterimi ve imalat sektöründeki kullanımı Şekil 1.6’da verilmiştir.

1.4.2.1. Toz Altı Kaynağının Avantajları

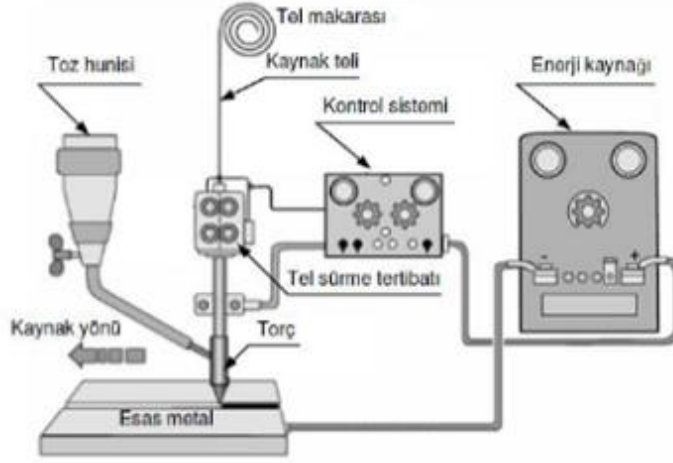
Toz altı kaynağı yönteminin avantajları şu şekilde sıralanabilir [8]:

- Kaynak hızı yüksektir.
- Kaynak mukavemetinin yüksek ve dayanıklıdır.

- Metal yığıma oranı diğer kaynak türlerine göre yüksektir.
- Kaliteli ve görsel olarak düzgün kaynak dikişi elde edilir.
- Kaynak metal üzerine derin bir şekilde nüfuz eder.
- Kaynak sonrası oluşan cürufun kolayca temizlenir.
- Kalınlığı fazla olan metallere de rahatlıkla uygulanabilir.
- Kaynak arkının, kaynak tozunun altında kalması sebebiyle etrafa ışın saçılmasının önüne geçilir ve kaynak operatörünün kaynak işlemini güvenli bir şekilde gerçekleştirebilir.
- Açık ve kapalı ortamlarda rahatlıkla kullanılabilir.
- Toz altı kaynağı düzeneği diğer kaynak türlerine göre daha kolaydır ve operatör için ek bir el becerisi gerektirmez.

1.4.2.2. Toz altı kaynağının dezavantajları

- Toz altı kaynağı sistemlerinin maliyetleri yüksektir.
- Kaynak işleminden önce 2-3 saat 300 C derecede fırınlanmalıdır. Aksi takdirde toz nem alabilir ve tozda nem kalırsa ve nemli şekilde kaynatılırsa hidrojen çatlağı riski oluşur.
- Kaynak öncesinde yüzeyde bulunan yağ, pas gibi kirler temizlenmelidir. Bu yapılan temizlik kaynak dikişi kalitesinde oldukça önemli role sahiptir.
- Toz altı kaynak yöntemi 5 mm kalınlığın altında kalan malzemelerde kullanılmaya uygun değildir.
- Toz altı kaynak yöntemi ile her çeşit metal alaşım kaynatılamaz.



(a)



(b)

Şekil 1.6. Toz altı kaynağı: (a) şematik gösterim, (b) imalatta kullanımı.

2. BÖLÜM

ÇALIŞMADA KULLANILAN TEKNOLOJİ, CİHAZ VE KAVRAMLAR

Bu bölümde, toz altı kaynak traktörünün otonom çalışır hale getirilmesi amacıyla kullanılan teknik ve teknolojilerden bahsedilmektedir. Bu kavram ve cihazlar şu şekildedir:

- Görüntü işleme teknikleri
- Arduino mikro kontrolcü kartı
- Step motor
- PID kontrol algoritması

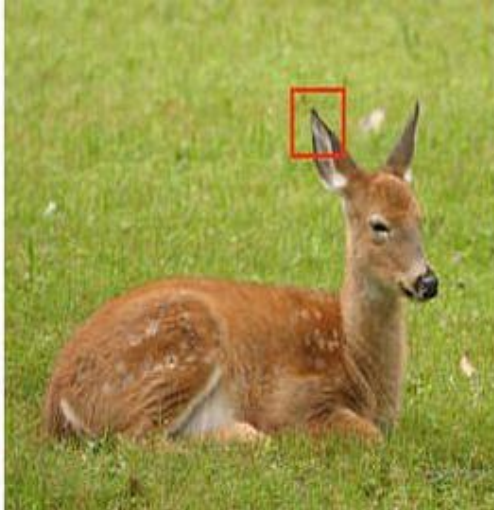
2.1. Görüntü İşleme Kavramı

Bir görüntü iki boyutlu bir $f(x,y)$ fonksiyonu olarak tanımlanabilir. Burada x ve y uzaysal koordinatlardır. f fonksiyonun her hangi bir x, y koordinatındaki genliği görüntünün o noktadaki gri seviyesi olarak adlandırılır. x, y ve f in gri seviye değerleri hep birlikte sonlu ve ayrık büyüklükte olduğunda görüntü sayısal görüntü olarak adlandırılmaktadır. Sayısal gri seviye işleme alanı, sayısal bilgisayar aracılığıyla sayısal görüntüleri işleme olarak bilinir [9].

Sayısal bir görüntü sonlu sayıda bileşenden oluşmaktadır ve her bir bileşen belli bir görüntünün değerini içermektedir. Bu bileşenlere resim görüntü elemanı veya piksel adı verilir. Piksel sayısal bir görüntünün bileşenlerini göstermede en yaygın şekilde kullanılan bir terimdir. Örneğin *full hd* bir görüntü 1080p olarak adlandırılır ve 1920 x 1080 pikselden oluşur [9]. Örnek bir sayısal görüntü ve görüntüdeki belirli bir bölgenin yakınlaştırılmasıyla belirgin hale gelen pikseller Şekil 2.1’de verilmiştir.

Renkli görüntü, her pikselin üç değerle belirtilen bir renge sahip olduğu bir görüntüdür. Grafik dosya formatları, renkli görüntüleri 24-bit görüntüler olarak depolar, burada üç renk kanalının her biri 8 bittir. Böylelikle işlemlerde 16 milyon renk potansiyeli sağlanmış olur. Gerçek hayattaki bir görüntünün kopyalanabilmesindeki hassasiyet, yaygın olarak kullanılan renkli görüntü terimine yol açmıştır. RGB görüntüler, en yaygın renkli görüntü türüdür. RGB görüntülerde üç renk kanalı kırmızı, yeşil ve mavidir. Her bir piksel bu üç renk değerinden 0 ile 255 arasında değer alır [10].

Görüntü işleme sistemleri yüz tanıma, nesne tanıma, akıllı araçlar, sağlık, trafik, askeri sistemler gibi, uzay çalışmalar, havacılık çalışmaları gibi birçok alanda kullanılan sistemlerdir [11,12].



(a) Sayısal görüntü

(b) Bölgenin yakınlaştırılmış hali ve pikseller

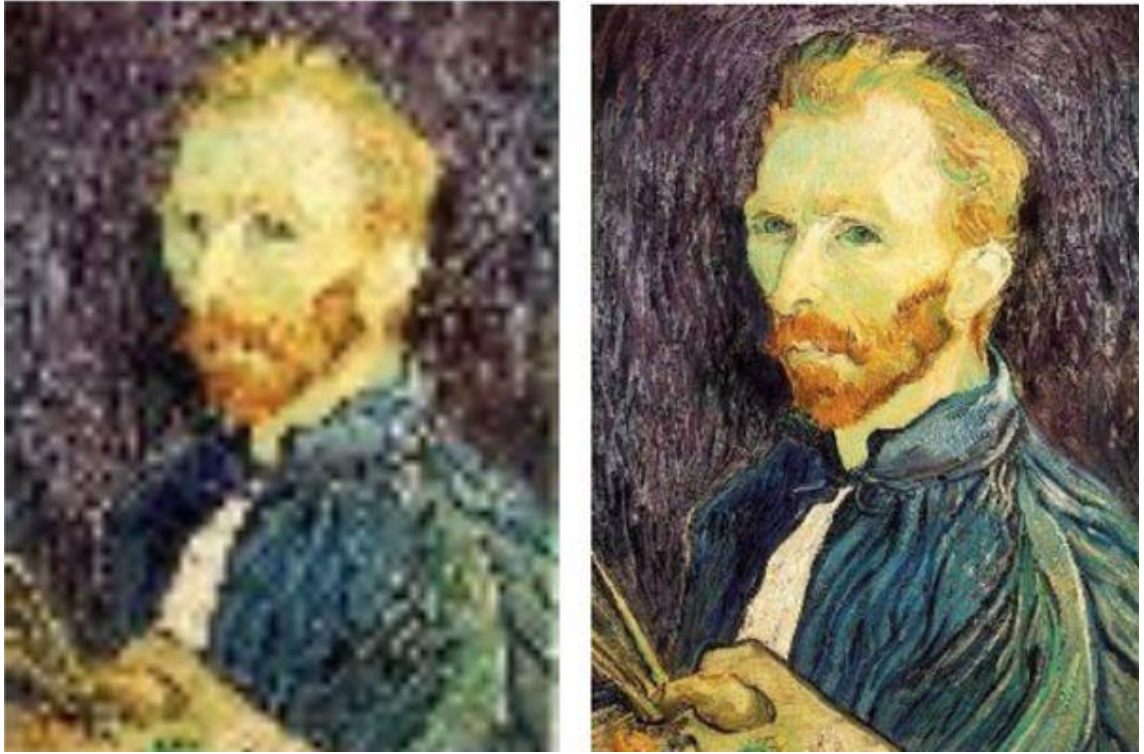
Şekil 2.1. Sayısal görüntü ve piksel.

2.1.1. Görüntü İşlemenin Kullanım Alanları

Görüntü İyileştirme

Görüntüdeki bilgilerin izleyiciler için algılanmasını iyileştirmek ve diğer otomatik görüntü işleme teknikleri için daha iyi girdi sağlamaktır. Görüntü iyileştirmenin temel amacı, belirli bir görev ve belirli bir izleyici için bir görüntünün niteliklerini değiştirerek onu daha uygun hale getirmektir. Bu işlem sırasında, görüntünün bir veya daha fazla özneliği değiştirilir. Özneliklerin seçimi ve değiştirilme biçimleri, belirli bir göreve özeldir. Ayrıca, insan görme sistemi ve izleyicinin deneyimi gibi faktörler, görüntü

iyileştirme yöntemlerinin seçimine büyük ölçüde öznellik katacaktır [13]. Bu iyileştirme işlemlerinden en çok kullanılanlara örnek olarak Median (ortanca filtre) filtre verilebilir. Bu teknik kullanılarak görüntü daha kaliteli bir hale getirilebilir [14]. Şekil 2.2’de bulanık bir görüntünün iyileştirme uygulaması görülmektedir.



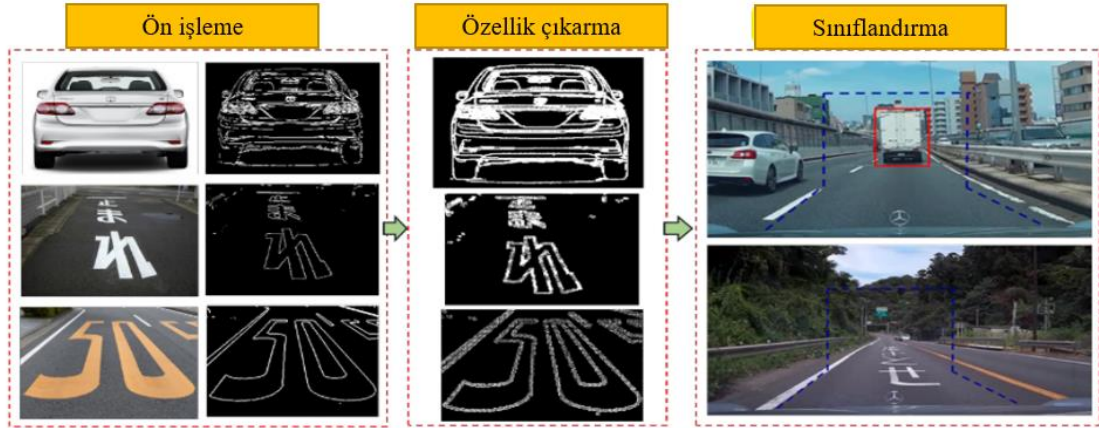
(a) Bulanık görüntü

(b) İyileştirilmiş görüntü.

Şekil 2.2. Görüntü iyileştirme uygulaması.

Cisim Tanıma

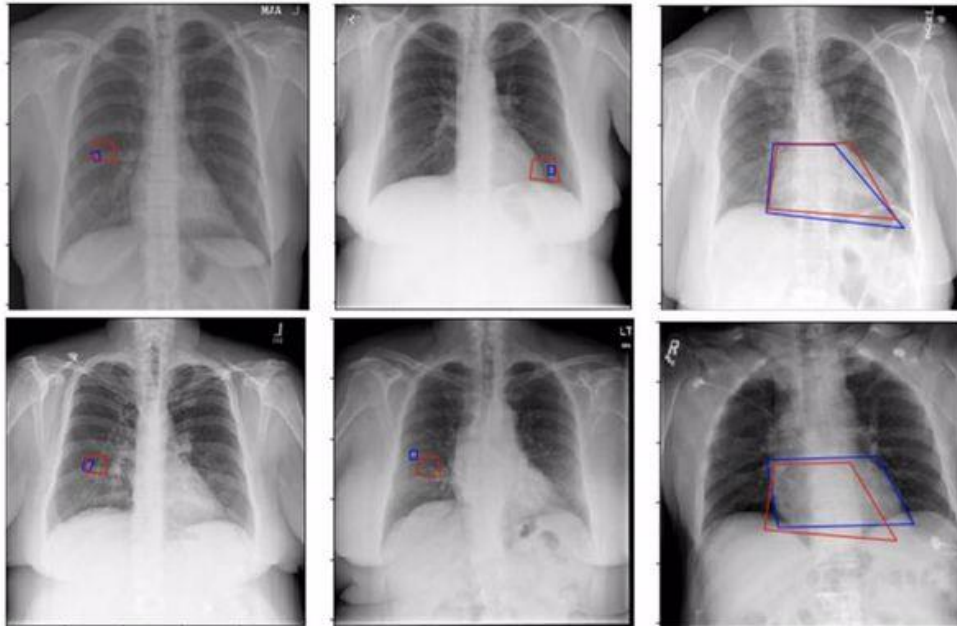
Günümüzde güvenlik, trafik, fabrika imalat hatları, sağlık sektörü, çeşitli kalite kontrol sistemleri gibi birçok alanda cisim ve nesne tanıma işlemleri gerçekleştirilmektedir. Örneğin trafikteki araç yoğunluğunun sayılması, askeri hava araçları ile yerdeki hedeflerin tespiti, yüz tanıma ile güvenlik sistemlerinin çalıştırılması, kanserli hücrelerin radyografi görüntüleri üzerinde tespiti gibi birçok alan da cisim tanıma işlemleri görüntü işleme teknikleri ile gerçekleştirilmektedir [15]. Şekil 2.3’de otonom araçlar için bir araç ve şerit tanıma uygulaması verilmiştir.



Şekil 2.3. Cisim tanıma uygulaması [15].

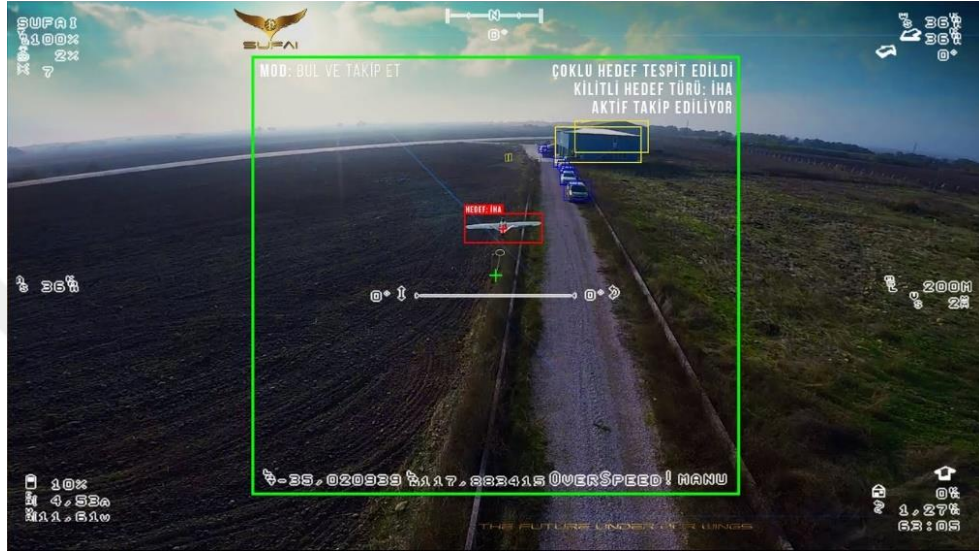
Sağlık Sektörü

Artık görüntü işleme teknikleri ile birçok hastalığın teşhisi yapılabilmektedir. Şekil 2.4’de bir örneği görülen radyografi görüntülerinin incelenmesi, doğum öncesinde fetüsün anne karnındaki takibi ve kanserli hücrelerin tespiti gibi bir çok işlem artık görüntü işleme teknikleri kullanılarak yapılabilmekte ve böylece erken teşhis ve tedavi işlemleri gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, beyin görüntüleme, kemik yapısının analizi, gibi işlemlerde tıp alanında yoğun şekilde kullanılmaktadır [16-17]



Şekil 2.4. Sağlık sektöründe görüntü işleme kullanımı.

Savunma Sanayi: İnsansız hava araçları, görüntü ile hedef takibi yapan roketler gibi araçların bünyesinde bulunan donanımlar, görüntü işleme sonucu elde edilen veriler doğrultusunda hareket gerçekleştirir [17]. Şekil 2.5’de bir insansız hava aracı üzerine yerleştirilmiş kameradan elde edilen görüntüler çoklu hedef tespit uygulaması görülmektedir.



Şekil 2.5. Savunma sanayisinde görüntü işleme kullanımı.

Görüntü işleme sistemlerinin kullanıldığı diğer alanlar ise aşağıdaki gibidir:

- Uydu görüntüleri üzerinden tarım, çevre kirliliği ve iklim değişikliklerinin izlenmesi [18]
- Güvenlik sistemleri [19]
- Kriminal laboratuvar uygulamaları [20]
- 3 boyutlu haritalama sistemleri [21]
- Şehir izleme sistemleri [22]

2.1.2. Görüntü işlemede kullanılan platformlar

Görüntü işleme sistemleri birçok farklı yazılım dili tarafından geliştirilebilir. Ancak bazı platformlar özellikle bu alanda özelleşmiştir. Bu uygulamalar aşağıdaki gibidir:

MATLAB: Mühendislik uygulamalarının pek çok alanında kullanılan bir yazılımdır. Image processing toolbox ile görüntü işlemede kullanılan birçok algoritma burada hazır şekilde bulunmaktadır [23].

OpenCV: OpenCV görüntü işleme için kullanılan açık kaynak kodlu ve ücretsiz bir kütüphanedir. Bir kütüphane olması sebebiyle birçok platformda ve programlama dilinin içinde doğrudan kullanılabilir. Günümüzde görüntü işleme çalışmalarında en çok kullanılan kütüphanelerden biridir. C++, C#, Java, Python gibi birçok platform içerisinde kullanılabilir [24].

Halcon: Bilgisayar görü üzerine geliştirilen ticari bir yazılımdır. İçinde barındırdığı hazır fonksiyonlar ile bu alanda çok hızlı bir şekilde proje geliştirilebilir [25].

Fiji: Java için geliştirilmiş bir görüntü işleme kütüphanesidir. Genellikle bilimsel görüntü analizi için kullanılır. Bununla birlikte genetik, hücre biyolojisi, nöro-bilim gibi alanlar için özelleştirilmiş algoritmalara sahiptir. Açık kaynak kodludur [26].

2.2. PID Kavramı

PID (Proportional, Integral, Derivate) kavramı genelde bir sistemde hatayı sönümlemek ve osilasyon miktarını azaltmak amacı ile kullanılmaktadır. Bu çalışmada amaç, kaynak traktörünü rotasında tutmaya çalışmaktır. Hedeflenen değere olan uzaklığa “hata” denir. Bu hata PID sistemine gönderilir ve PID bu hatayı bir katsayı ile çarpıp türevini ve integralini alır ve tekrar çıkışa gönderir. Bu işlem hata minimuma inene kadar devam eder [27-28].

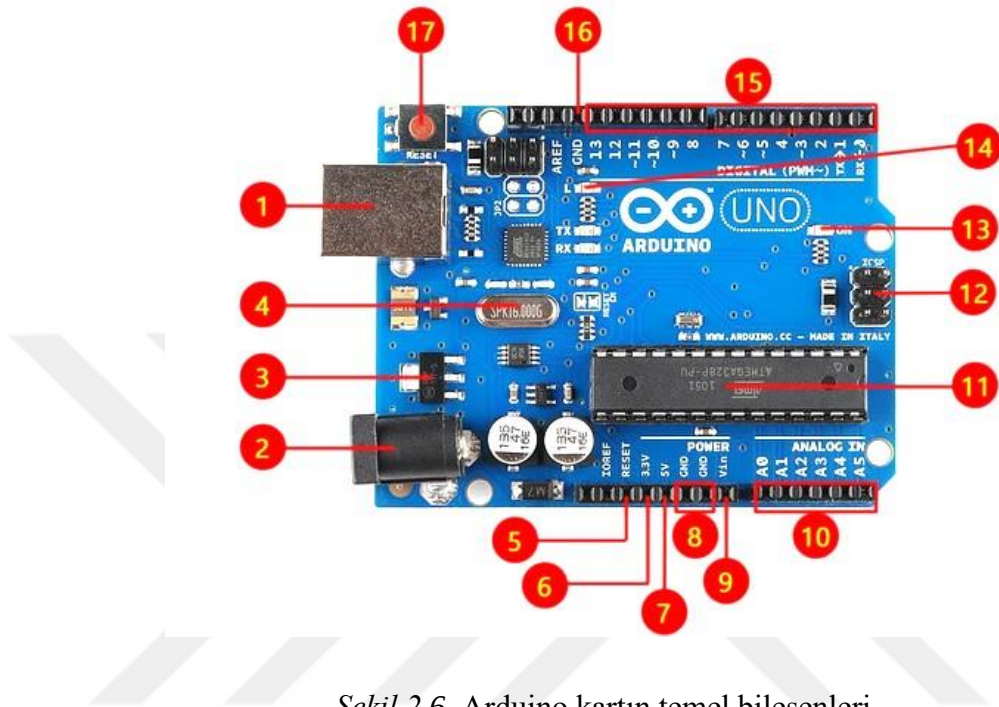
2.3. Arduino Kontrol Kartı

Arduino bir giriş/çıkış kartı ve geliştirme ortamından oluşan bir fiziksel programlama platformudur. Arduino içerisinde çeşitli giriş ve çıkış portları bulunmakta ve bu portlar üzerinden veri okuma ve veri yazma işlemleri gerçekleştirilmektedir [29].

Bu tez çalışmasında, toz altı kaynak traktörünün direksiyon hareketini gerçekleştiren motor ve motor sürücünün kontrolü Arduino Mega kontrol kartı ile sağlanmıştır.

2.3.1. Arduino Kontrol Kart'ının Temel Bileşenleri

Bir Arduino kartının temel bileşenleri Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Arduino kartın temel bileşenleri.

1. **Power USB:** Bilgisayar ile kart arasındaki iletişim noktasıdır. Bilgisayara bağlandığında bilgisayar bu kartı bir seri port olarak görür. Aynı zamanda bilgisayardan bağımsız kullanımlar için güç kaynağı girişi olarak kullanılır.
2. **Power soket:** Kartın çalışması için gereken güç harici bir güç kaynağı ile buradan da verilebilir.
3. **Voltaj regülatörü:** Arduino üzerine gelen voltajın düzgün ve dalgasız bir şekilde diğer elemanlara dağıtılmasını sağlar.
4. **Kristal osilatör:** Arduino işlemcisinin çalışabilmesi için gereken frekans üretimini yapar.
5. **Reset:** Devre kartını sıfırlar.
6. **3,3V DC çıkış sağlar**
7. **5V DC çıkış sağlar**
8. **GND:** Toprak bağlantısının yapıldığı porttur.

9. Vin: 9Volt güç gerektiren (motor gibi) uygulamalarda 9 V harici güç girişi için kullanılır.

10. Analog In: Arduino üzerine bağlanacak analog girişleri okumak için kullanılan portlardır. Arduino Uno üzerinde 6 adet analog port bulunur. Sıcaklık, nem, voltaj gibi analog değerleri okumak için bu portlar kullanılır.

11. Mikro denetleyici: Arduino üzerinde bulunan mikro denetleyici entegresidir. Çıkış portlarından veri yazma, giriş portlarından gelen verileri okuma ve çeşitli matematiksel işlemleri yapmak için kullanılır.

12. ICSP: Bu port SPI kütüphanesini kullanarak SPI haberleşme işlemini gerçekleştirir.

13. Power led: Karta güç geldiğinin göstergesidir.

14. Çıkış led: Arduino'un 13 numaralı portunun bağlı olduğu ışıktır.

15. Digital portlar: Arduino Uno üzerinde 14 adet dijital giriş ve çıkış portu vardır. Bu portlar dijital olarak haberleşme için kullanılır.

16. Serial 0 (RX) ve 1 (TX): Bu portlar seri haberleşme için kullanılan portlardır.

17. Harici kesmeler (2 ve 3): Bu portlar bir kesmeyi (interruption) tetiklemek için kullanılabilir.

18. PWM: 3, 5, 6, 9, 10, ve 11: Bu portlar “analogWrite” fonksiyonu ile 8-bit PWM sinyali sağlar.

19. AREF: Analog girişler için referans voltajıdır. “analogReference” fonksiyonu ile kullanılır.

20. GND: Toprak bağlantısının yapıldığı porttur.

21. Reset: Mikro denetleyiciyi sıfırlamak için kullanılan porttur.

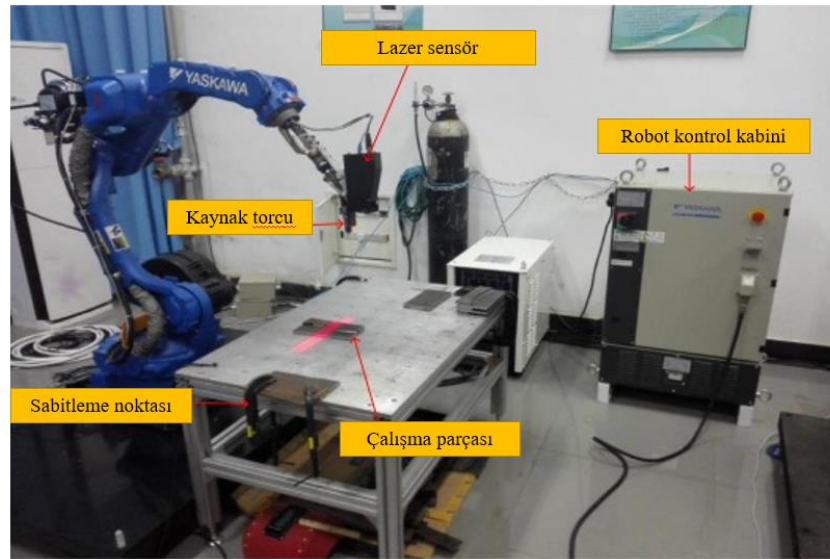
3. BÖLÜM

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

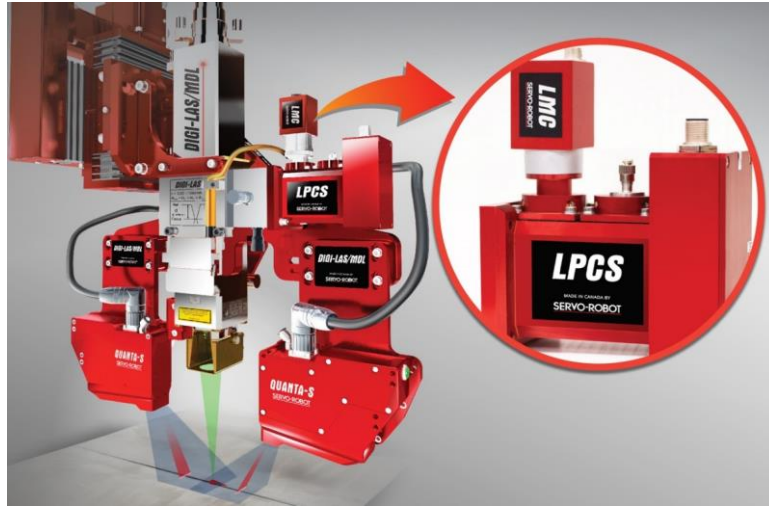
Bu bölümde tez çalışmasının amacına uygun olarak gerek endüstride ve gerekse literatürde neler yapıldığı araştırılmış ve bir toz altı kaynak sistemini otonom hale getirme ile alakalı çalışmalar incelenerek en uygun yöntem belirlenmeye çalışılmıştır.

3.1. Endüstride Kullanılan Sistemlerin İncelenmesi

Bu çalışma yapılırken endüstride kullanılan sistemler incelenmiştir. Endüstride genelde insan tarafından yönlendirilen ve otonom olarak çalışan toz altı kaynak sistemleri mevcuttur [1-3]. Otonom çalışma, robot kol ve column and boom sistemlere çeşitli lazer sensörler entegre edilerek gerçekleştirilmektedir [4]. Şekil 3.1’de robot kol ile otonom çalışma, Şekil 3.2’de ise column and boom sistemler ile otonom çalışma örneği gösterilmektedir.

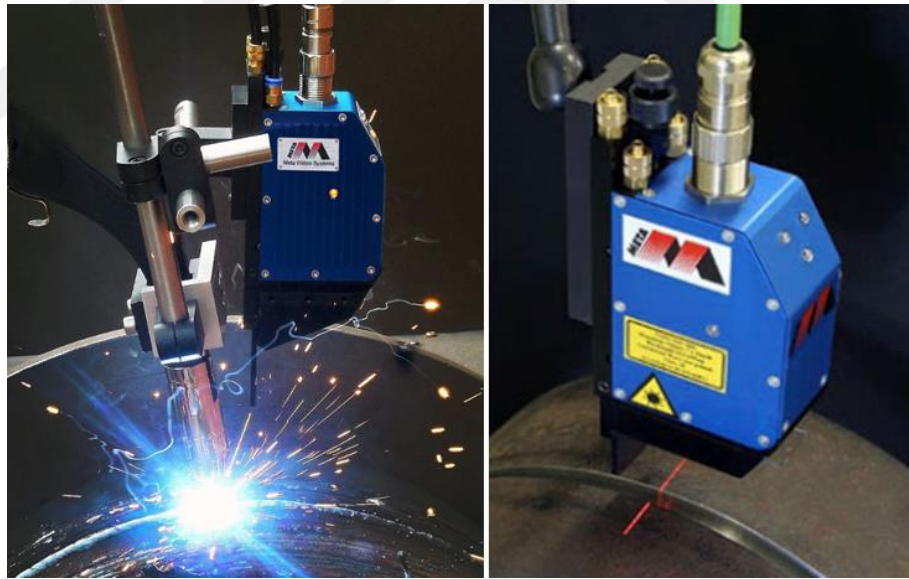


Şekil 3.1. Robot kola lazer sensör takılarak otonom kaynak yapma işlemi



Şekil 3.2. Column and Boom sistem üzerine lazer sensör takılarak otonom kaynak yapma işlemi

Şekil 3.3’de görülen bu sensörlere “seam tracker (kaynak dikişi takipçisi)” adı verilmektedir [30].



Şekil 3.3. Lazer sensör (seam tracker)

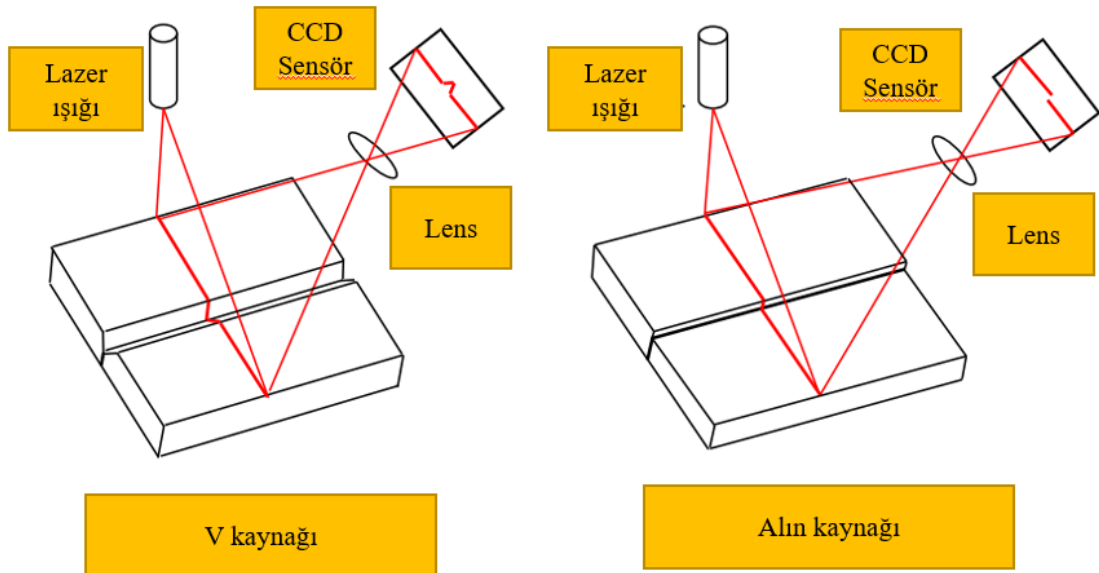
Bu sistemler endüstride yoğun şekilde kullanılmaktadır. Ancak hem robot kolların, hem column and boom sistemlerin ve hem de lazer sensörlerin maliyetleri oldukça yüksektir. Ayrıca farklı türlerde, ebatlarda, kalınlıklarda üretim yapan imalatçılar için bu donanımlar çok esnek değildir. Çünkü her bir farklı ürün için setup zamanları ve sabit robot istasyonlarına taşıma maliyetleri gibi dezavantajları bulunmaktadır [3, 4].

3.1.1. Kaynak Traktörü

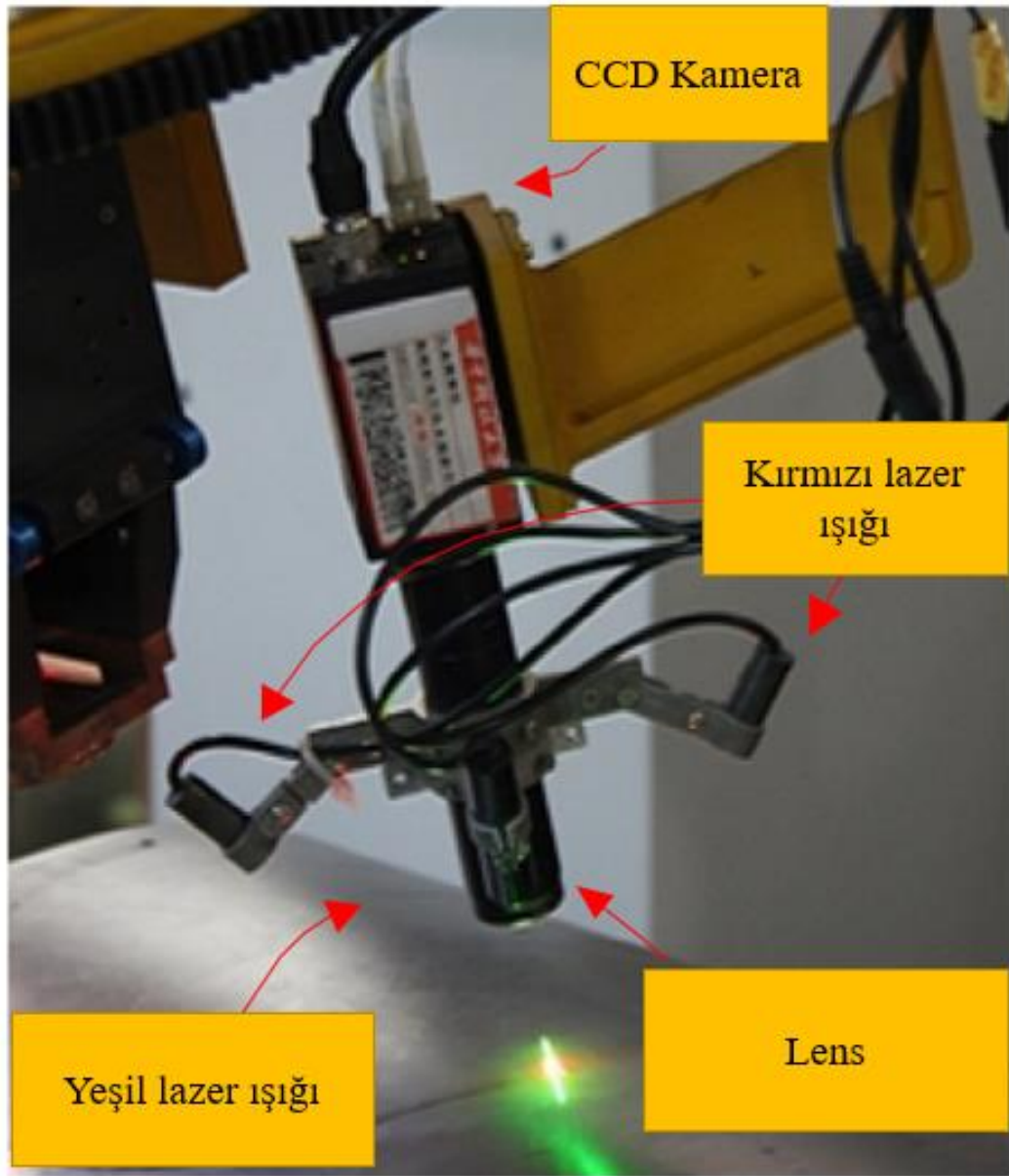
Basınçlı kap sektöründe toz altı kaynağında yoğun şekilde kullanılan kaynak makinelerinden biridir. Esas itibarıyla 3 ya da 4 tekerlekli bir araba şeklinde olup 50-80 cm genişliğe ve 50-70 cm yüksekliğe ve yaklaşık 25-40 kg arası ağırlığa sahiptir. Portatif ve demonte yapısı ile küçük deliklerden kapalı kaplar içerisine girip içeride kaynak yapmaya elverişli olduğu için çoklukla tercih edilir. Büyük robotik sistemlerin aksine kullanıcılara büyük bir mobilité avantajı sağlar. Ayrıca robotik sistemlere göre oldukça ekonomiktir. Ön kısmında bulunan direksiyon vasıtası ile yönlendirmesi insan eli ile sağlanır.

3.1.2. Lazer Sensör (Seam Tracker)

Lazer sensör cihazları içerisinde en az bir çizgi lazer ve bir CCTV kamera bulunduran sistemlerdir. Lazer ile kamera birbirine belli bir açı ile kutulanmıştır. Lazer, yüzeye çizgi şeklinde lazer ışığı düşürür, Düz yüzeylerde çizgi düz şekilde görülürken, dikey olarak kıvrımlı ya da kırılğan noktalarda lazer ışığı da bu bölgenin şeklini alır. Kamera ise düşen bu görüntüyü Şekil 3.4’de görüldüğü üzere yakalar ve işler.

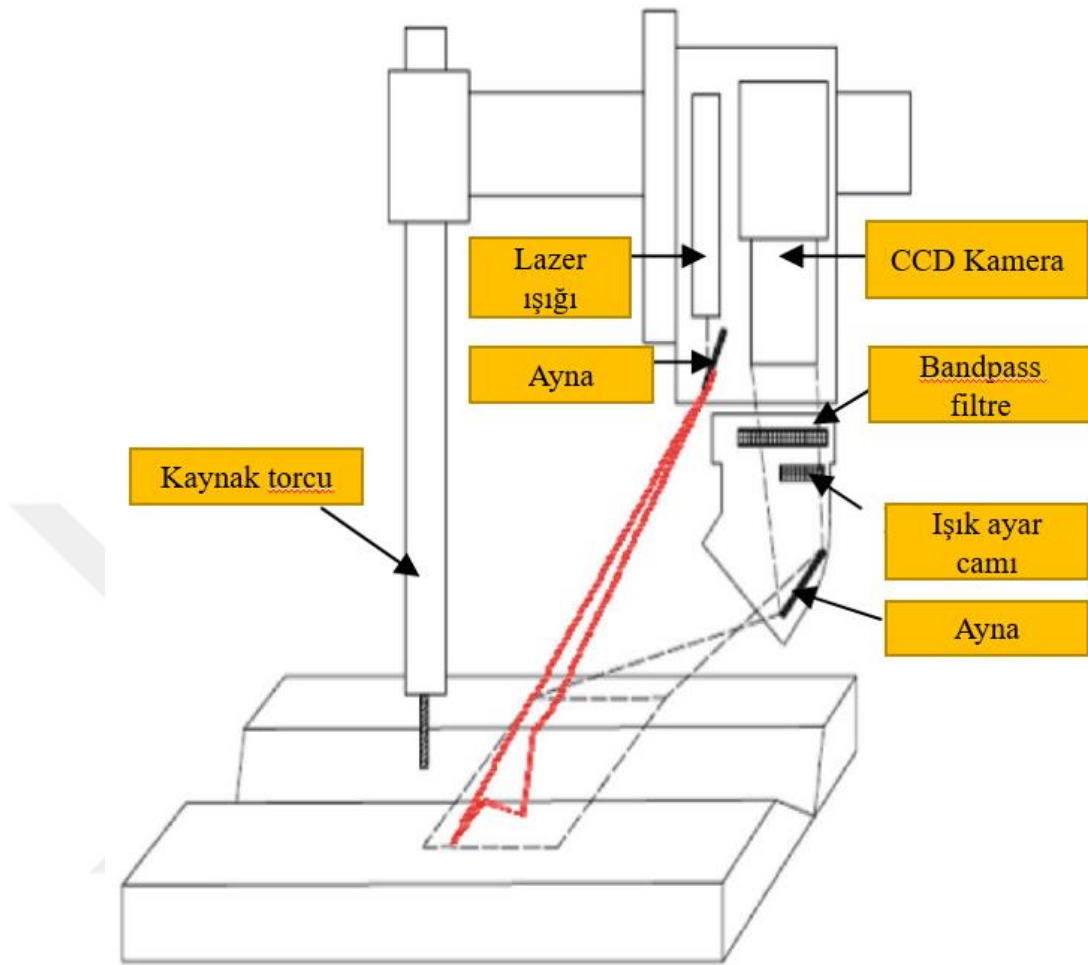


Şekil 3.4. Lazer sensör ile haritalama (çizim) [31]



Şekil 3.5. Lazer sensör ile haritalama (gerçek görüntü) [31]

Kameranın önünde sadece lazer dalga boyunu geçirecek bir filtre vardır. Böylece lazer ışığı dışında başka bir görüntüyü algılamaz. Lazer ışığı üzerine düştüğü yüzeye göre kırılır ve böylece bölgenin haritası Şekil 3.5’de verildiği gibi çıkarılır. Bu haritalama kaynak, iz takibi, kalite kontrol gibi proseslerde kullanılır. Şekil 3.6’da kaynak amacı ile kullanımı görülmektedir.



Şekil 3.6. Lazer sensör ile iz takibi [32]

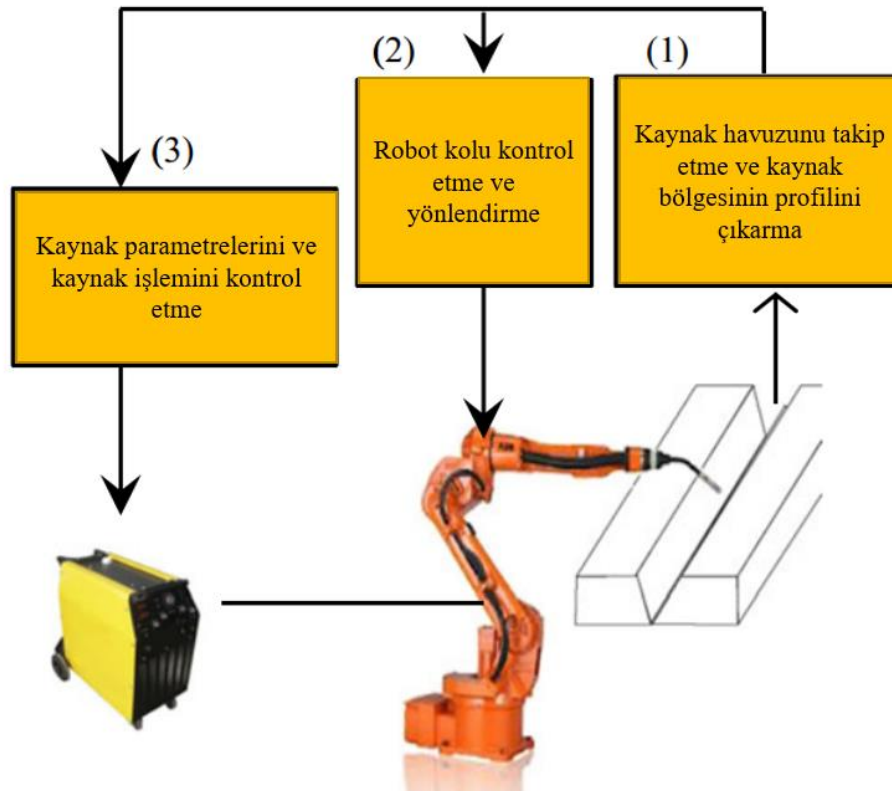
3.2. Literatürde Yapılan Çalışmaların İncelenmesi

Problem ile alakalı sektör araştırması yapıldığında hazır ve pahalı sistemlerin hazır olarak bulunduğu görülmüştür. İhtiyaç ise bellidir: kaynak işlemini hazır ve pahalı robotlar ile değil daha uygun maliyetli, mobil ve ergonomik olan kaynak traktörleri ile yapmak. Amaç otonom şekilde çalışacak bir taşınabilir bir kaynak traktörü geliştirmektir. En büyük sorun, maksimum 7mm genişliğinde bir kaynak yarığı içinde kaynak traktörünün rotasından çıkmadan en fazla 1 mm tolerans ile otonom şekilde yolunda devam etmesini sağlamaktır. Aslında oldukça hassas bir çizgi izleyen robot yapmak gerekmektedir. Bu amacın görüntü işleme teknikleri ile gerçekleştirilebileceği ön görülmüş ve bu amaçla literatür taraması yapılmıştır [27-28].

Yapılan araştırmalarda genel olarak iki tür çalışma yapıldığı görülmüştür.

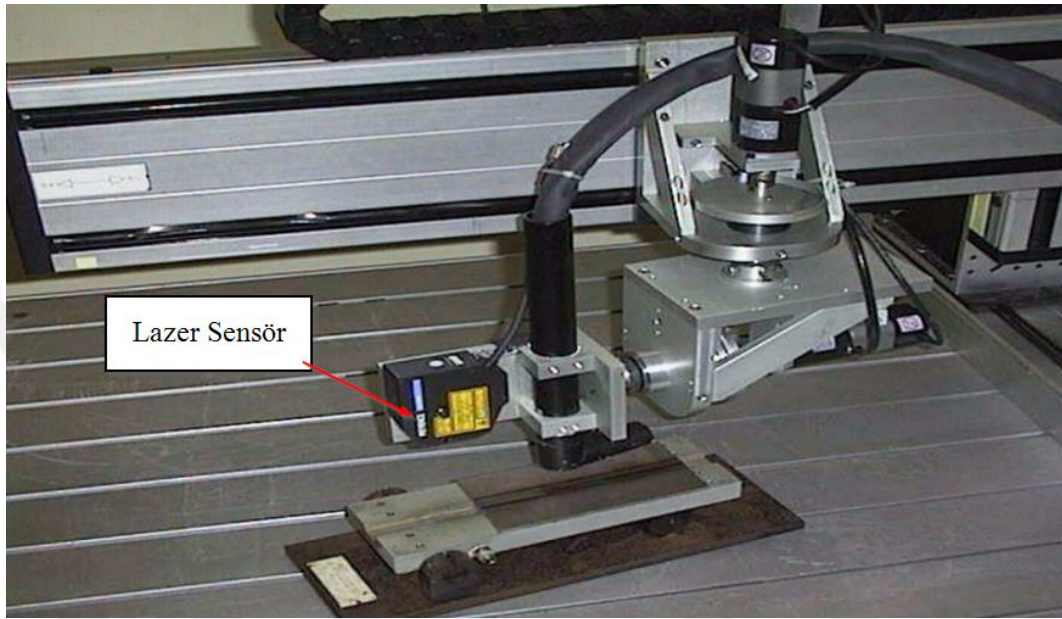
1. Kameradan alınan görüntüde kaynak iz noktasının tespit edilmesi ve robota yönlendirme yapılması [33, 34].
2. 1 adet lazer, 1 adet kamera ve sadece lazer dalga boyunu geçirecek bir bandpass filtre ile bir lazer sensör geliştirilmesi ve bu sensör üzerinden gelen görüntüyü işleyen bir görüntü işleme yazılımı ile robotun yönlendirilmesi [32, 35, 36].

Görüntü işleme ya da lazer sensör ile bir şekilde iz noktası tespit edilebilirken işin bir de kaynak makinesini hareket ettirme yani iz takibi noktası vardır. Yine yapılan çalışmalar incelendiğinde genelde robot kollar üzerinde uygulama yapıldığı gözlemlenmiştir. Çünkü bu sistemleri kontrol etmek kolaydır. Robot kollar zaten doğru şekilde yönlendirildiğinde oldukça hızlı ve yüksek doğrulukta hareket etme yeteneğine sahiptir şekil 3.7’de robot kola lazer sensör entegre edilerek otonom iz takibi gerçekleştirilmiştir [35].



şekil 3.7. Lazer sensör ile robot kola iz takibi [35]

Column and boom sistemler bir CNC tezgâhı gibi çalışır. X ve Y eksenlerinde doğrusal hareket edebilen yapılardır. Bu sebeple robot kollarda olduğu gibi bu sistemlerde de geliştirme yapmak kolaydır. Şekil 3.8’da column and boom sistem üzerinde geliştirilen çalışma görülmektedir.



Şekil 3.8. Lazer sensör ile column and boom sistem iz takibi [37]

Robot kol ve column and boom sistemlerde mekaniği olması gereken şekilde hareket ettirmenin kolay olmasına rağmen 3 tekerlekli bir arabada bu işlemi yapmak o kadar kolay değildir. Direksiyon çok hassas bir şekilde hareket ettirilmelidir. Bu konuda Zhang’ın çalışması incelendiğinde yapılan çalışmanın mobil bir ortamda geliştirildiği gözlemlenmiştir [5]. Ancak bu çalışmada da hazır lazer sensör kullanıldığı görülmüştür. Ayrıca kullanılan araba gerçek bir kaynak traktörü değildir. Şekil 3.9’daki haliyle ulaşılacak istenilen amaç hem bir sensör geliştirmek hem de bu sensör ile entegre şekilde çalışan otonom bir kaynak traktörü geliştirmektir.



Şekil 3.9. Lazer sensör ile mobil kaynak traktörü kullanımı [5].

3.3. Problemin İncelenmesi ve Çözüm Üretilmesi

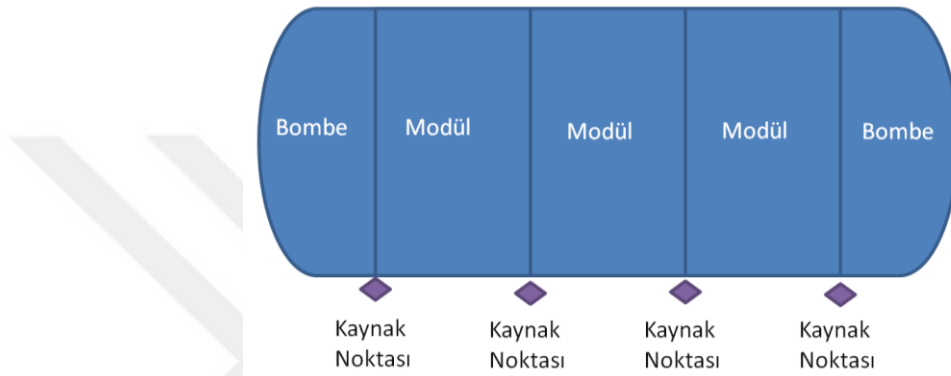
Yapılan literatür çalışmalarına göre görüntü işleme teknikleri ile iz takibi yapılabileceğine karar verilmiş ve bu noktada hazır bir lazer sensör (seam tracking sensor) kullanmak yerine lazer sensörün yaptığı işi yapabilecek bir düzenek geliştirme kararı verilmiştir. Çünkü hazır bir sensör kullanmak oldukça maliyetlidir. Lazer sensörler maliyet olarak kaynak traktörünün kendisinden daha pahalı sistemlerdir.

Bu sistem üzerinde görüntü işleme teknikleri ile kaynak traktörünün yolunu bulması ve yine geliştirilecek mekanik bir sistem ile traktörün direksiyon vasıtası ile otomatik olarak yönlendirilmesi amaçlanmıştır.

Sistem incelendiğinde traktör üzerine konulacak bir kamera ile kaynak noktasının gelişmiş bir çizgi izleme algoritması ile takip edilebileceğine karar verilmiştir. Böylelikle direksiyon üzerine konulacak bir motor ile de çizgiden çıkıldığı anda sağ ya

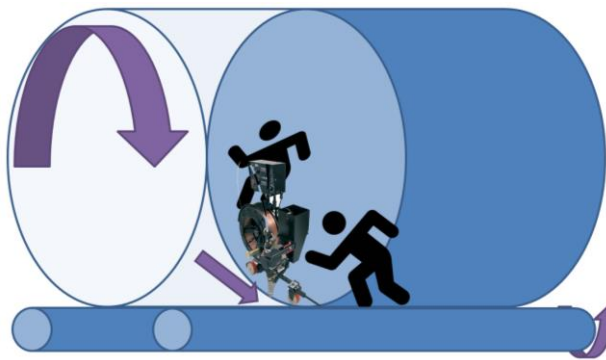
da sol yaparak iz takibi yapılabilir ve kaynak teli kaynak bölgesinden çıkmadan traktör işlevini otonom bir şekilde gerçekleştirebilir.

Şekil 3.10’da bir basınçlı kabın kaynak birleştirme noktaları görülmektedir. Burada basınçlı kap silindirik şeklinde bükülen modüller ve bu modüllerin kenarını kapatacak tas şeklinde bombe bileşenlerinden oluşmaktadır. Bu bombe ve modüller birleşerek kabı oluştururlar. Birleşme noktalarına ise toz altı kaynağı işlemi gerçekleştirilir.



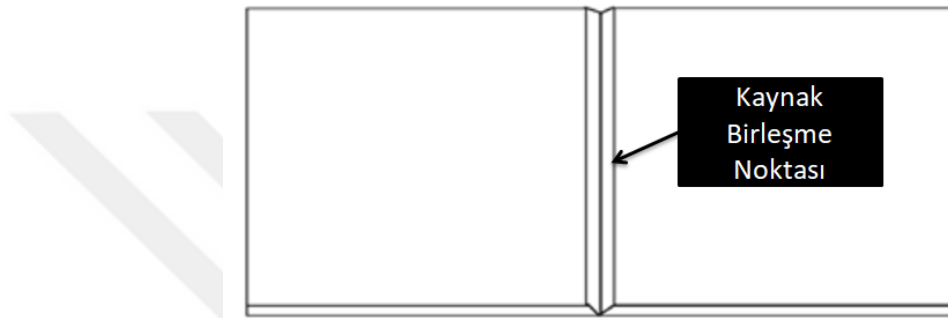
Şekil 3.10. Bombe ve modül birleştirme İşlemi

Mevcut sistem incelendiğinde toz altı kaynak traktörünün önünde bir operatör işçi ve arkasında bir operatör işçi olduğu görülmüştür. Basınçlı kap bir makara üzerinde döndürülmekte ve içerisinde bulunan traktör aynı hızda tersi yönde hareket etmektedir. Operatörlerden biri direksiyonu kontrol etmekte, diğeri ise arkadan dökülen kaynak tozunu toplamaktadır. Basınçlı kap içerisinde toz altı kaynak yapma işlemi Şekil 3.11’de gösterilmektedir. Bu çalışmada tam otonomluğu sağlamak adına ayrıca arka tarafta dökülen kaynak tozunu toplayan operatör yerine bir vakum sistemi de düşünülmüştür.

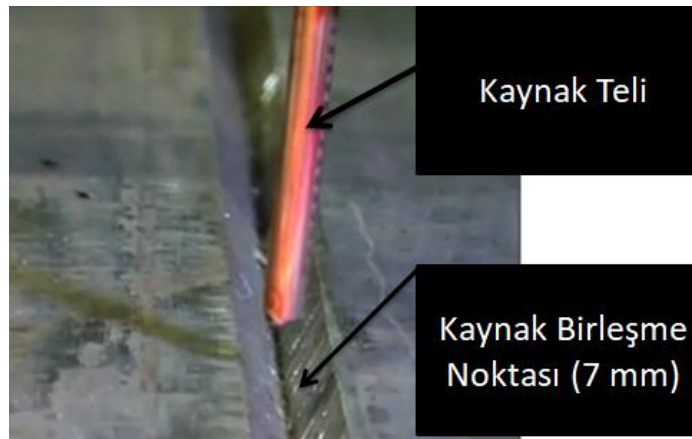


Şekil 3.11. Makara üzerindeki tank ve tankın içindeki çalışma şekli.

İki modülün birleştiği kaynak yapılacak nokta detaylı incelendiğinde bu iki kenarın birbirine daha iyi kaynaması için yaklaşık 45 derecelik bir açı ile “Kaynak Ağzı Açma” işlemi denilen bir yöntem ile eğimli olarak kesildiği ve birleştirildiğinde “V” şeklinde bir şeklin oluştuğu gözlemlenmiştir. Şekil 3.12’de iki plakanın kaynak yapılacak noktası kaynak olan kaynak birleşme noktasının “V” şeklinde olduğu çizim üzerinde görülmektedir. Şekil 3.13’de ise aynı bölgenin fotoğrafı görülmekte olup iki plakanın birleşme noktası mesafesi yaklaşık 7 mm’dir.



Şekil 3.12. İki modülün kaynak birleşme noktası (çizim)



Şekil 3.13. İki modülün kaynak birleşme noktası (gerçek görüntü)

Burada kaynak traktörünün üzerine bir kamera konularak çizgi tespitinin yapılabilir ve üzerine konulacak bir bilgisayar ve kamera ile bir görüntü işleme uygulaması geliştirilerek bu çizgiyi takip etmesinin sağlanabilir olduğu görülmüştür.

Sistem üzerinde denemeler yapıldığında, ışık şartlarının metal yüzey üzerinde pas, kir bulunması ve işlenen metalin bir kısmının parlak bir kısmının mat olması gibi sebepler

ile sağlıklı bir görüntü işleme yapılamayacağı görülmüştür. Şekil 3.14’de metal plaka üzerindeki bu kir, pas ve parlamalar detaylı şekilde görülmektedir.



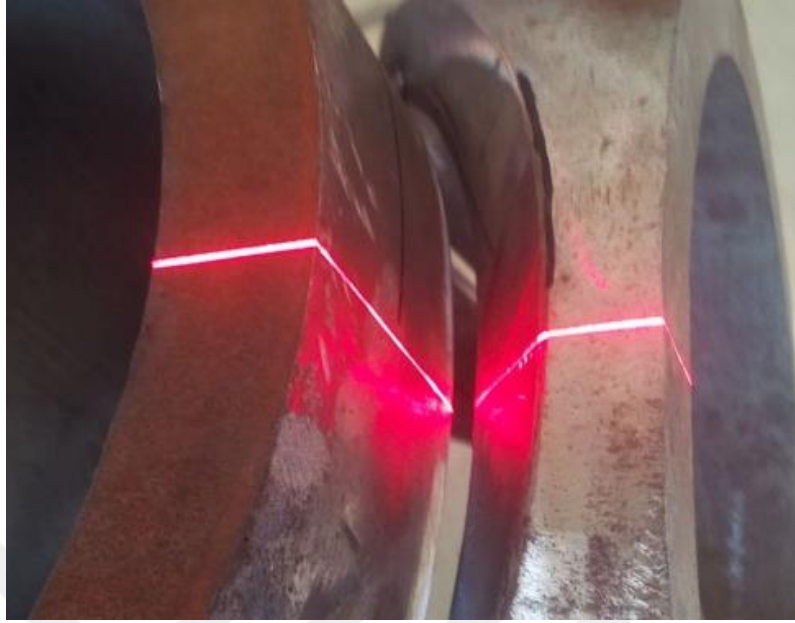
Şekil 3.14. Lazer sensör ile mobil kaynak traktörü kullanımı [37]

Bunun için mevcut teknolojiler araştırılmış, literatür taraması yapılmış ve bu konuda lazer ile üç boyutlu harita çıkardığı gözlemlenmiştir [31]. Şekil 3.15 ve 3.16’da bu sensörler örnek olarak gösterilmektedir.

Lazer iz takip sensörler kendilerine bağlı bir robot kol ya da column and boom sistemi yönlendirebilme özelliğine sahiptir.



Şekil 3.15. Lazer sensör ile kaynak iz takibi

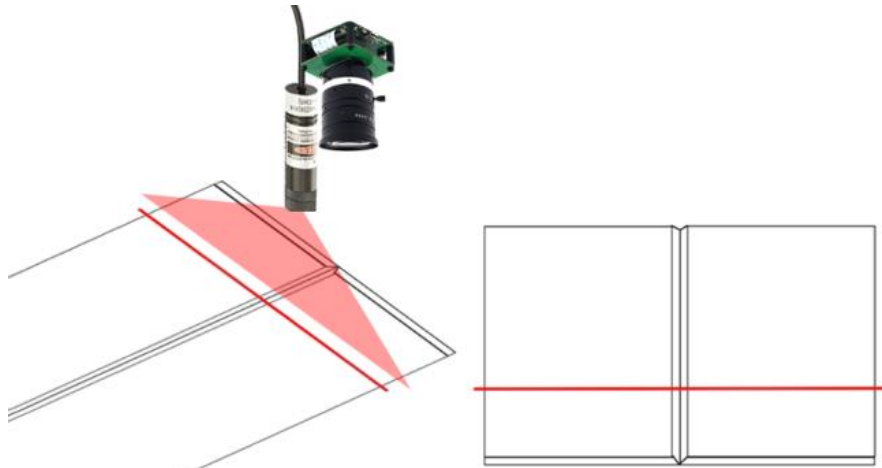


Şekil 3.16. Lazer sensör ile 3d harita çıkarma

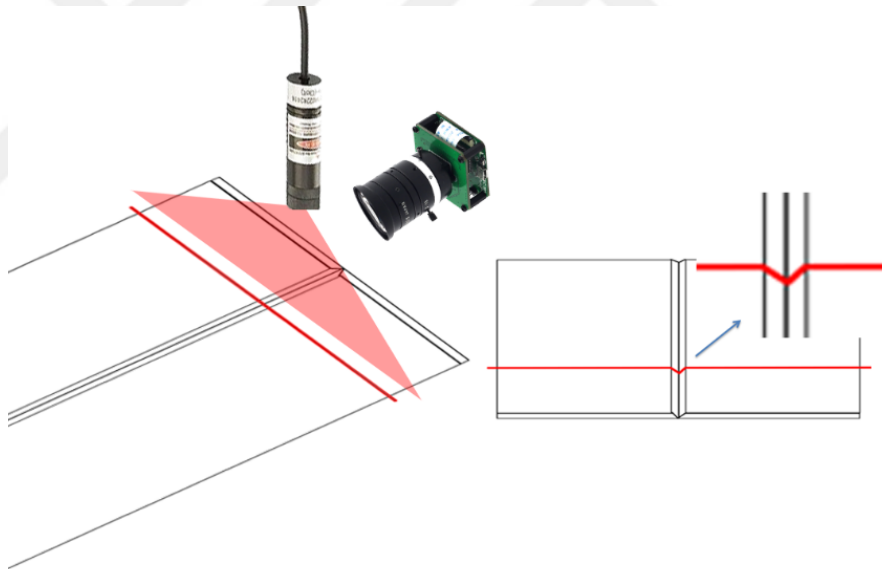
Endüstride hali hazırda geliştirilen sensörler olsa da bu sistemlerin hem pahalı çözümler olması hem de arkasında yönlendirebileceği akıllı bir robot mekanizmaya ihtiyacı olması sebebiyle kullanılabilirliği oldukça zordur.

Bu çalışmada mevcut traktör sistemini iyileştirmek için daha uygun maliyetle bir lazer sensör sistemi geliştirilmiştir.

Kameradan alınan görüntü bir “V” şeklidir. Ya da bir ters üçgendir. Üçgenin tepe noktası ise izlenilmesi gereken bölgenin tam orta noktasıdır. Burada üçgenin tepe noktasını her zaman kamera görüntüsünün ortasında tutmaya çalışmak yani buradan kayma gerçekleştikçe tersi yönde bir direksiyon hareketi sistemi teorik olarak istenilen amaca ulaştıracaktır. Şekil 3.17’de lazer ve kamera aynı açıda yüzeye dik olarak bakmaktadır ve çizgi lazerden elde edilen görüntü kaynak birleşme noktasında da plakanın diğer yüzeylerinde de düz bir çizgi olarak görülmektedir. Şekil 3.18’de ise lazer ve kamera arasında 45 derecelik bir açı bulunmaktadır ve bu şekilde kameradan alınan görüntüde kaynak birleşme noktasındaki lazer çizginin görüntüsü “V” şeklinde görülebilmektedir.

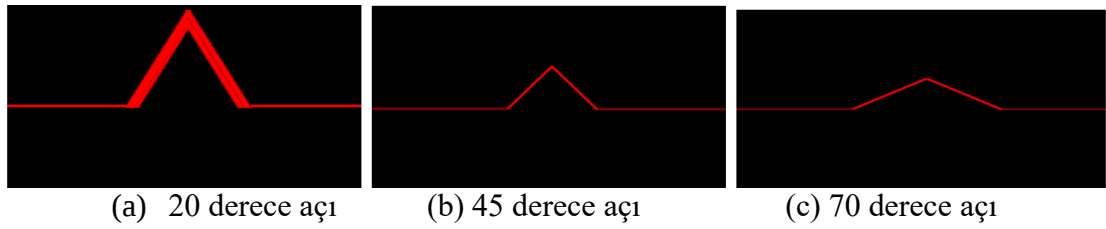


Şekil 3.17. Lazer kaynak noktasına dik ve aynı açıda



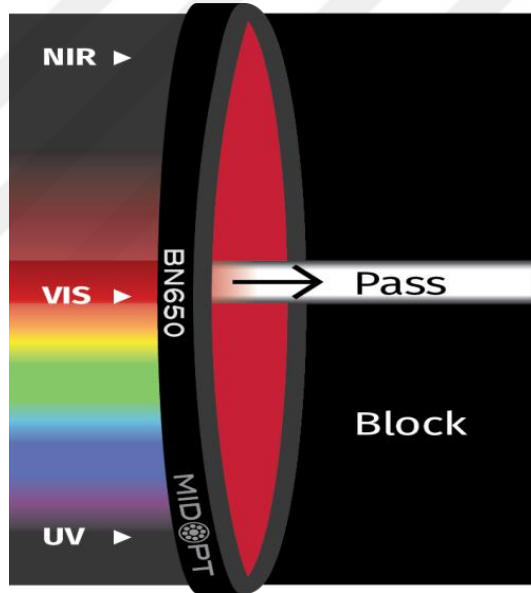
Şekil 3.18. Lazer kaynak noktasına dik, kamera 45 derecelik açıya sahip.

Burada temel nokta, kamera ve lazerin açısal olarak yerleşimidir. V şeklindeki yüzeyin en iyi şekilde görülebilmesi için kamera ve lazer arasında 45 derecelik açı olmalıdır. Bu değer, denemeler sonunda elde edilmiştir. 45 derecenin altında olduğu zaman lazer çizgisi kalınlaşmaktadır. Şekil 3.19’da kamera ve lazer arasındaki açının 45 derece, 20 derece ve 70 derece olduğunda nasıl bir görüntü elde edildiği bilgisi temsili olarak gösterilmektedir.

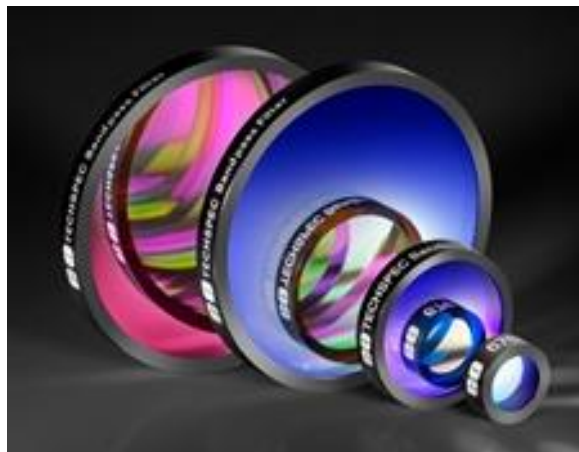


Şekil 3.19. Kamera ve lazer arasındaki açıya göre elde edilen görüntüler.

Burada, lazer ışığının yetersiz ve dışarıdaki ışık kaynaklarından etkileniyor olması kamera görüntüsündeki lazer çizgisini tespit etmede işi zorlaştırmaktadır. Bu problemin çözümü için kameranın önüne takılan bir takım özel camlar ile sadece belli dalga boylarındaki ışığı geçiren filtrelerin kullanıldığı görülmüştür [38,39]. Şekil 3.20’de bir kameranın önüne takılan bir bandpass filtre camının çalışma prensibi gösterilmektedir.



Şekil 3.20. Bandpass filtre çalışma prensibi



Şekil 3.21. Çalışmada kullanılan Edmund Optics marka bandpass filtre.

Şekil 3.21’de çalışmada kullanılan Edmund Optics’e ait bandpass filtre görülmektedir. Kameranın önüne takılan bu bandpass filtre ile kameradan alınan görüntüyü temiz ve işlenebilir bir hale gelmiştir. En önemlisi görüntü dış ışık kaynaklarından da etkilenmeyecek duruma gelmiştir. Şekil 3.22’de kamera önüne bandpass filtre camı takılmadan elde edilen görüntü, Şekil 3.23’te ise kamera önüne bandpass filtre camı takıldığında elde edilen görüntü görülmektedir. Görüldüğü gibi filtre kullanıldığında sadece lazer ışığı görülmekte ve temiz bir görüntü elde edilmektedir.



Şekil 3.22. Normal kamera ile elde edilen lazer görüntüsü

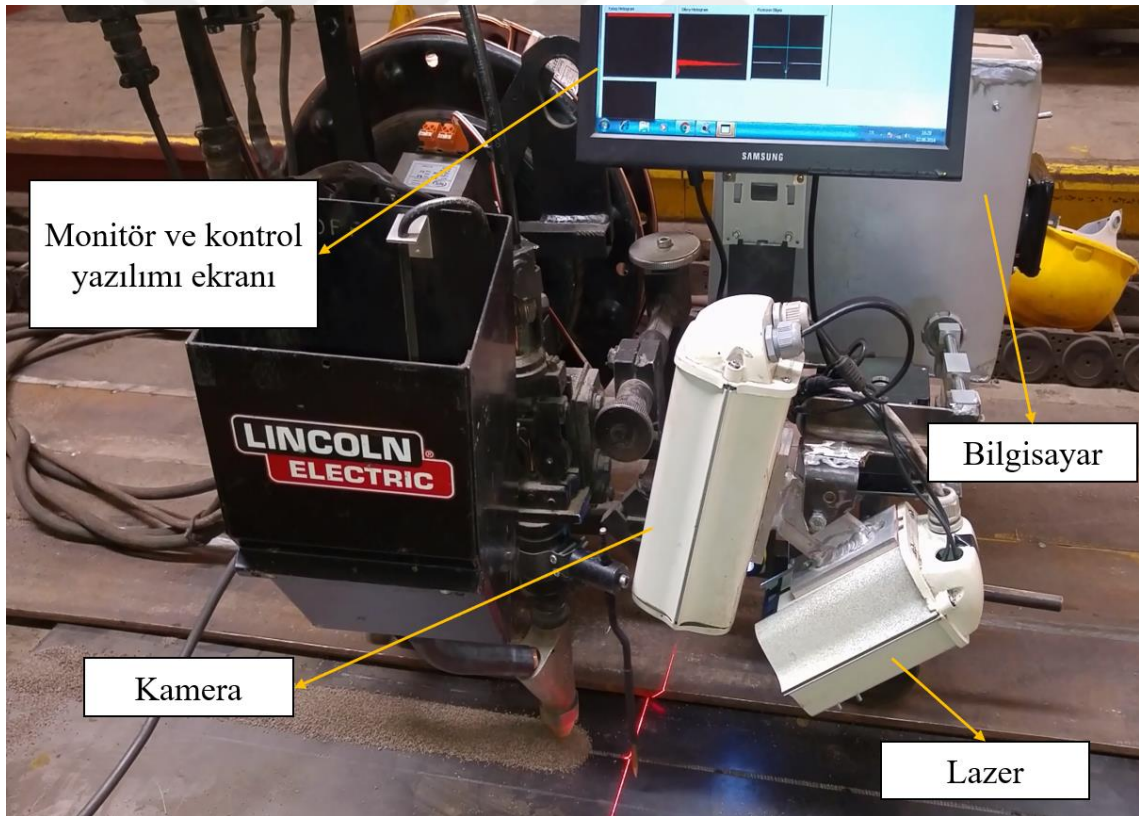


Şekil 3.23. Kamera önüne bandpass filtre takılarak elde edilen kamera görüntüsü

Bir sonraki aşama; kamera, bilgisayar ve lazerin kaynak traktörü üzerine monte edilmesi ve görüntü işleme yazılımının geliştirilmesi olmuştur. Bunun için birden fazla mekanik deneme yapılmış ve ar-ge aşaması için en uygun düzenek elde edilmiştir. Bu düzenekte kaynak traktörü üzerine

- lazer
- kamera
- bilgisayar
- monitör

monte edilerek yazılım geliştirme sürecine geçilmiştir. Şekil 3.24’de bu prototip çalışma görülmektedir.



Şekil 3.24. Prototip çalışma

4. BÖLÜM

UYGULAMA-1 GÖRÜNTÜ İŞLEME

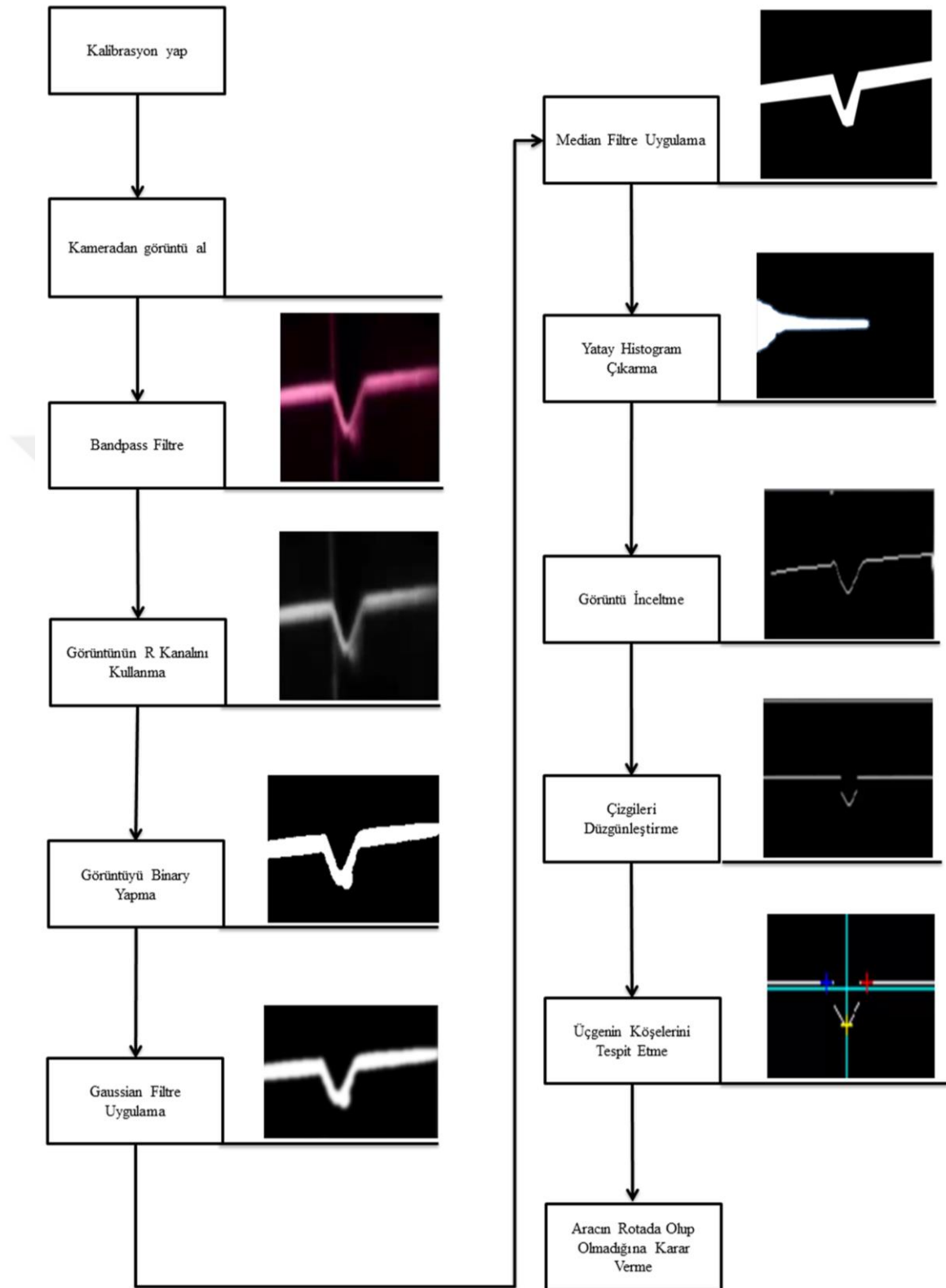
Bu bölümde problemin çözümüne ilişkin üretilen yöntem ve çalışmanın görüntü işleme kısmındaki detayları anlatılmaktadır.

4.1. Çalışma Adımları

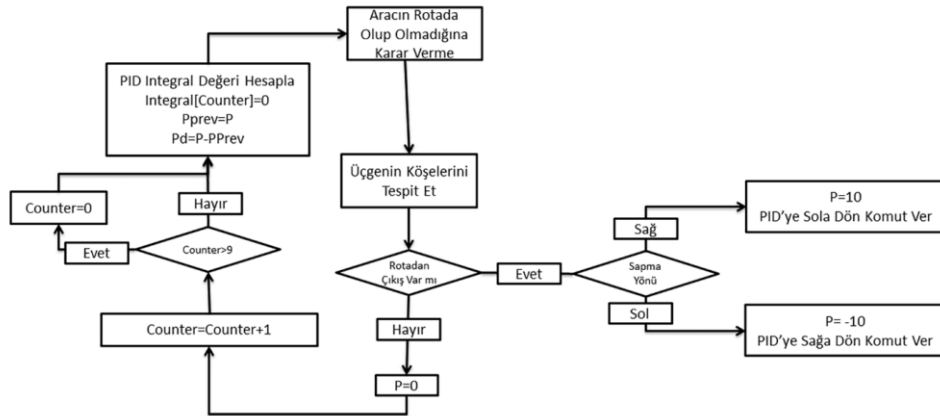
Projenin çalışma algoritması temel olarak ikiye ayrılmıştır. Bunlardan birincisi görüntü işleme modülü olup, bu modülde kurulan düzenden alınan görüntü işlenmekte ve elde edilen sonuca göre direksiyona yönlendirme komutu verilmektedir. Şekil 4.1’de görüntü işleme adımları ve elde edilen sonuçlar sıra ile gösterilmektedir.

Diğer tarafta ise yönlendirme kısmı da oldukça karışıktır. Zira Şekil 4.2’de belirtildiği gibi her şey hareketlidir. Tankı çeviren makaralar hareketlidir. Böylece tank kendi etrafında silindirik şekilde dönmektedir. Tankın içerisindeki kaynak traktörü hareketlidir ve tankın döndüğü yönün tersine doğru hareket etmektedir. Ayrıca traktör herhangi bir rayın üzerinde olmadığı için bağımsız hareket etmektedir. Şayet ilk başta traktörün kalibrasyonu iyi yapılmamış ise ya da 30-40 ton ağırlığındaki bir tankın hareketi ile bir şekilde dengesi kaymış ise kaynak telinin izlemesi gereken 7mm’lik bir kaynak yarığından çıkması olasılığı çok yüksektir. Bununla birlikte traktörün 3 tekerlekli olması da mobilete özelliğini arttırmaktadır.

Bütün bu hareketli düzeneğin içinde sistemin çok hassas ve çok stabil şekilde yönlenmesi gerekmektedir. Sistemi yönlendiren algoritma Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Geliştirilen çalışmanın algoritması-1 Görüntü işleme süreci.



Şekil 4.2. Geliştirilen çalışmanın algoritması-2, aracı yönlendirme süreci.

4.1.1. Kalibrasyon Yapma

Bu bölümde tamamen fiziken, elle yerleştirme ve kaynak elektrodunu tamamen orta noktaya gelecek şekilde kalibre etme işlemi gerçekleştirilmektedir. Kaynak yapacak kişi kaynak traktörünü en başta kaynak iz noktasını tam ortalayacak şekilde manuel olarak yerine yerleştirir.



Şekil 4.3. Traktörün ilk kalibrasyonunu yapıp ortalayarak yerleştirme.

4.1.2. Kameradan Görüntü Alma

Sistemde 2 MP CCTV USB kamera kullanılmıştır Şekil 4.4'te kullanılan kamera gösterilmektedir. Kamera üzerinde 2,8-12 mm ayarlanabilir lens bulunmaktadır. Kameradan görüntüyü almak için Visual Studio üzerinde OpenCV kütüphanesi kullanılmıştır [24].



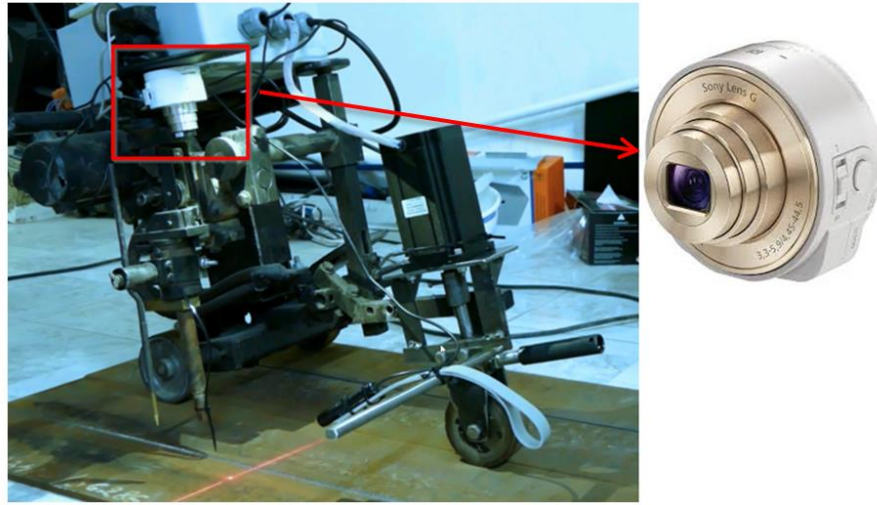
Şekil 4.4. Çalışmada kullanılan kamera.

4.1.3. Çalışmada Görüntü İşleme Kullanımı

Çalışmanın görüntü işleme kısmı Visual Studio ortamında geliştirilmiştir. Sadece kameradan görüntü almak için OpenCV kütüphanesi kullanılmış, onun dışındaki tüm algoritmalar için herhangi bir kütüphane ya da hazır paket yazılımlar kullanılmamış olup görüntü işleme filtreleri bu tez çalışması kapsamında yazılmıştır.

4.1.4. Kameradan görüntü alma

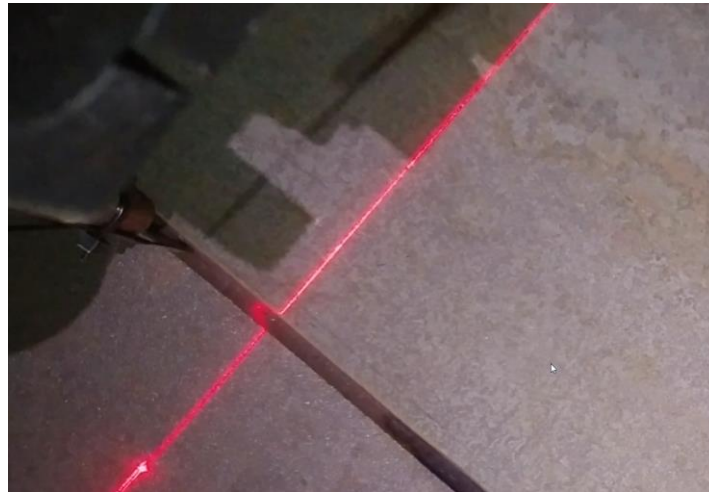
Kameradan görüntü alınırken görüntünün gerçek zamanlı ve gecikmesiz gelmesi önemlidir. Çünkü sistem çok hassas hareket etmektedir ve mekanik olarak zaten bir gecikme olacağından görüntü alma durumunda bir gecikme yaşanmaması çok önemlidir. Bu yüzden kamerada Ethernet bağlantısı yerine USB bağlantısı tercih edilmiştir. İlk denemelerde rahat çalışmak üzere kablosuz kamera kullanılmış ancak bu kamerada da ortalama 0.5-1 saniye gecikme görüldüğünden bu kamera kullanılmamıştır. Şekil 4.5'te ilk denemelerde kullanılan Sony QX100 kablosuz kamera gösterilmektedir.



Şekil 4.5. İlk denemelerde kullanılan kablosuz kamera Sony QX100.

4.1.5. Bandpass filtre kullanmadan görüntü alma

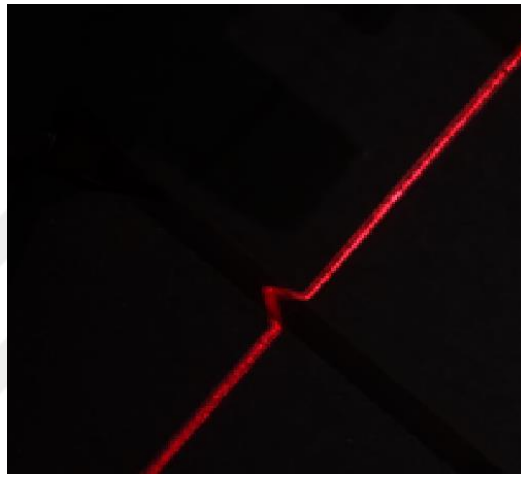
Çalışmanın başlangıcında kameradan alınan görüntü doğrudan işlenmek istenmiştir. Şekil 4.6'da görüldüğü gibi kırmızı lazer izini ve “V” şeklindeki yarığı tespit etmek için çeşitli görüntü işleme teknikleri kullanılsa da kaynak yapılan yer tankın içi olduğundan ve harici bir aydınlatma ile aydınlatıldığından homojen bir aydınlatma durumu söz konusu değildir. Kimi zaman bu aydınlatma kaynağının gücü lazer görüntüsünü bastırmakta ve görünmez hale getirmektedir. Ayrıca sac üzerinde bulunan paslı ve parlak bölgeler de kameradan alınan görüntünün işlenmesini oldukça zorlaştırmaktadır. Bu durum ise çok hassas olması gereken bir sistem için istenilmeyen bir durumdur.



Şekil 4.6. Bandpass filtre kullanmadan kameradan alınan görüntü

4.1.6. Bandpass filtre kullanarak görüntü alma

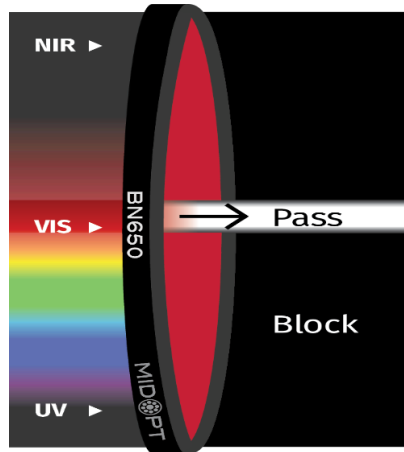
Kameradan görüntü alırken amaç kırmızı lazer çizgisini yakalamak olduğu için mümkün olduğu kadar lazer görüntüsü dışındaki görüntülerden kurtulmak gerekmektedir. Bunun için bir araştırma yapılmış ve sadece kırmızı lazer dalga boyunu geçirecek bir filtre bulunup temin edilmiştir. Temin edilen bu filtre kameranın önüne takılarak Şekil 4.7'deki görüntü elde edilmiştir. Görüldüğü gibi sadece kırmızı lazer çizgisi görünmekte diğer tüm renkler kaybolduğundan siyah renkte görülmektedir.



Şekil 4.7. Bandpass filtre kullanılarak elde edilen görüntü

Çalışmada Edmond Optics firmasına ait 636nm CWL, 25mm Dia., Hard Coated OD 4.0 10nm Bandpass filter özellikte filtre kullanılmıştır

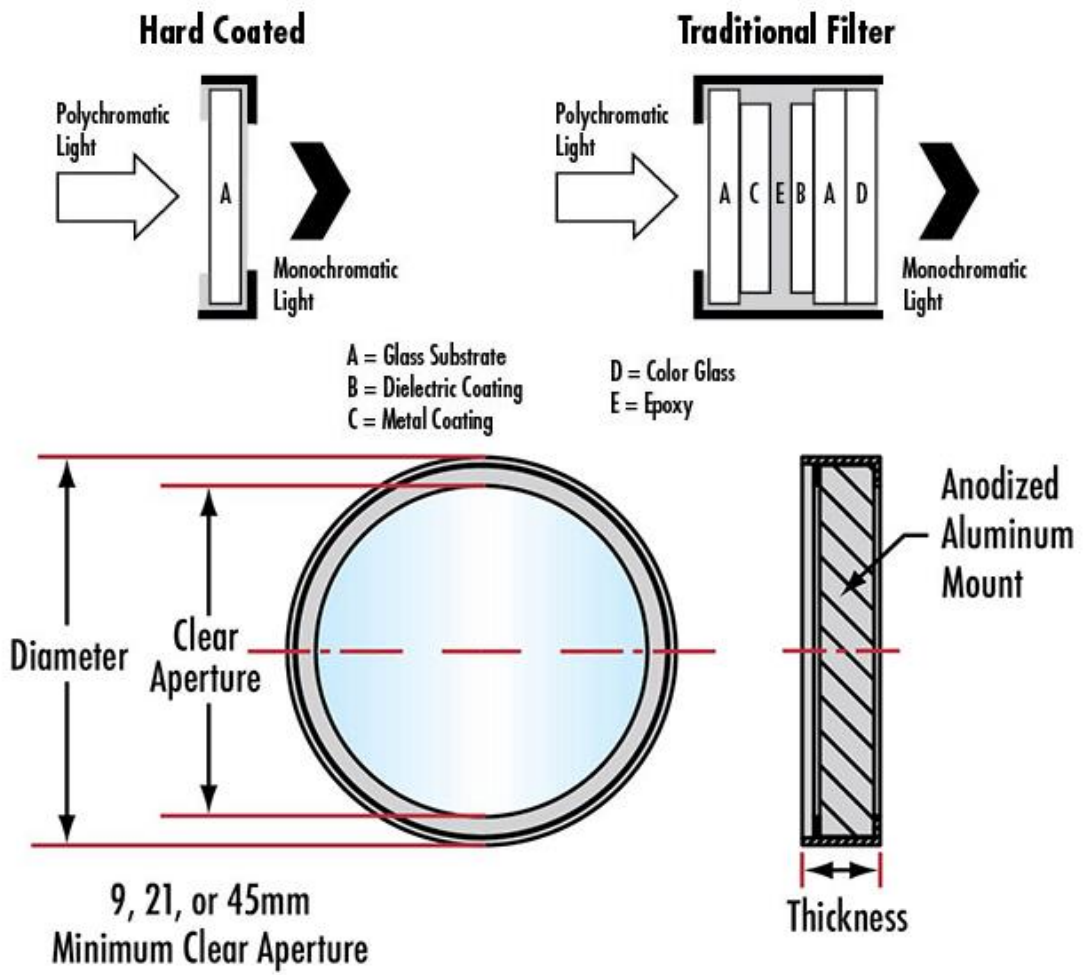
Kullanılan filtrenin detaylı teknik özellikleri Şekil 4.8-4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Bandpass Filtre çalışma prensibi



Şekil 4.9. Çalışmada kullanılan Edmund Optics bandpass filtre.



Şekil 4.10. Çalışmada kullanılan Edmund Optics bandpass filtrenin teknik özellikleri.

Diameter (mm):	25.00 +0.0/-0.1	Center Wavelength CWL (nm):	636.00 ±2.0
Full Width-Half Max FWHM (nm):	10.00 ±2.0	Minimum Transmission (%):	≥85
Optical Density OD (Average):	≥4.0	Coating:	Hard Coated
Typical Applications:	Alexa Fluor® 633	Blocking Wavelength Range (nm):	200 - 1200
Clear Aperture CA (mm):	21.0	Surface Quality:	80-50
Angle of Incidence (°):	0	Construction:	Mounted in Black Anodized Ring
Environmental Durability:	MIL-STD-810F, Section 507.4	Mount Thickness (mm):	5.0 ±0.1
Physical Durability:	MIL-C-48497A, Section 3.4.1	Substrate:	Optical Glass
Substrate Thickness (mm):	3.5 ±0.5 typical	Type:	Bandpass Filter

Regulatory Compliance

RoHS 2015:	Compliant	Reach 209:	Compliant
------------	-----------	------------	-----------

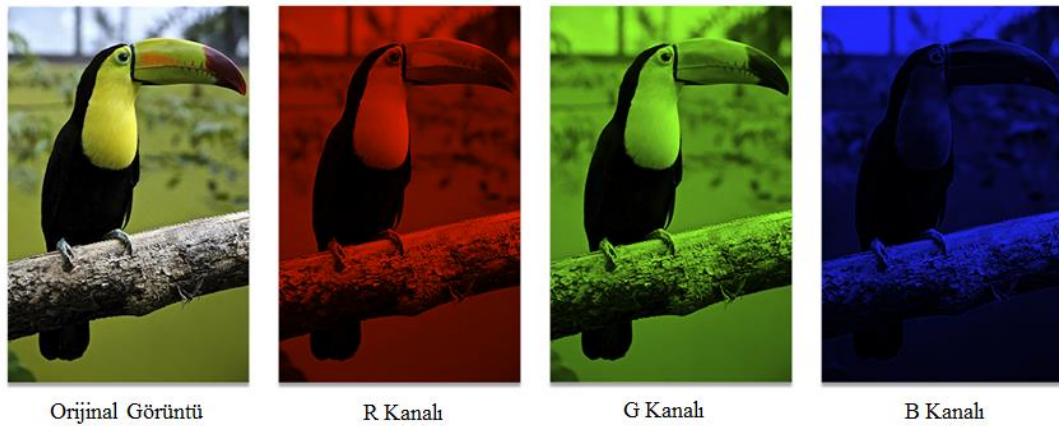
Şekil 4.11. Çalışmada kullanılan Edmund Optics bandpass filtrenin teknik özellikleri.

4.2. Görüntü İşleme

Çalışmanın görüntü işleme bölümünde kameradan alınan görüntü üzerinde çeşitli görüntü işleme filtreleri ve algoritmalar kullanılarak üçgenin tepe noktası olan nokta tespit edilmektedir.

4.2.1. Görüntüde kırmızı kanalı kullanma

Kameradan aldığımız görüntü RGB formatındadır [9]. Şekil 4.12’de gösterildiği gibi bir sayısal resim kırmızı (red), yeşil (green) ve mavi (blue) kanallarından oluşur.



Şekil 4.12. Sayısal bir resmin R, G ve B kanalları.

Yani her piksel 0-255 arasında kırmızı, yeşil ve mavi değerleri alır. Oysa bu çalışmada renkli bir çalışmaya yani tüm kanalları kullanmaya gerek yoktur. Çünkü tüm kanalları kullanmak demek her bir kanalın 8 bit olduğu varsayıldığında 3 kat daha fazla işlem yapmak demektir. Daha az işlem ile sonuca ulaşmak için görüntü işleme tekniklerinde genelde gri tonlamaya çevirme işlemi yapılır. Gri tonlamaya çevirme bir pikselin R, G,

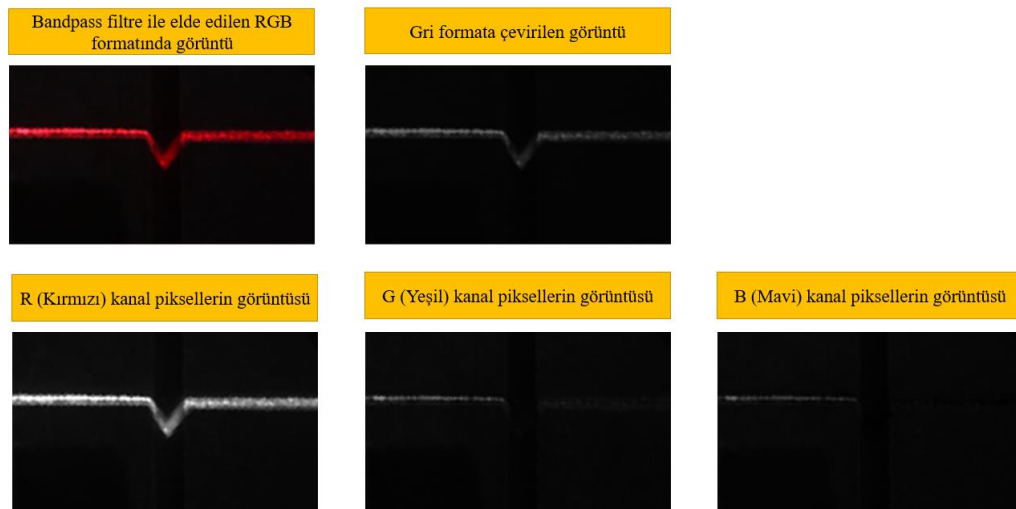
B değerlerinin ortalamasının bulunmasıdır. Gri tonlamaya çevirme formülü Denklem 4.1’de verilmiştir [9].

$$Gri = (Kırmızı + Yeşil + Mavi)/3 \quad (4.1)$$

Görüntü işleme sistemlerinde gri tonlamaya çevirmenin işlem yükünü azalttığını belirtilmişti, ancak bu çalışmadaki problemde gri tonlamaya çevirmek yerine her bir pikselin sadece R bandının alınması daha doğru olacaktır. Zira kullanılan lazer kırmızı lazer ve kullanılan bandpass filtre de sadece kırmızı rengi geçiren bir filtre olduğu için diğer kanallar Şekil 4.14’te görüldüğü gibi çoğunlukla siyah olarak görünecektir.

Gri tonlamada her bir piksel 0-255 arasında değer alır. 0 siyah, 255 beyazdır. Arada kalan değerler ise grinin tonlarıdır. Resim üzerinde çalışmak için, 300 x 150 piksel büyüklüğünde görüntü kullanılmıştır. Bu büyüklükteki bir resim, üçgen noktasını bulmak için yeterince büyük, sistemi yormadan hızlı bir şekilde görüntünün işlenmesi için yeterince küçük bir resimdir.

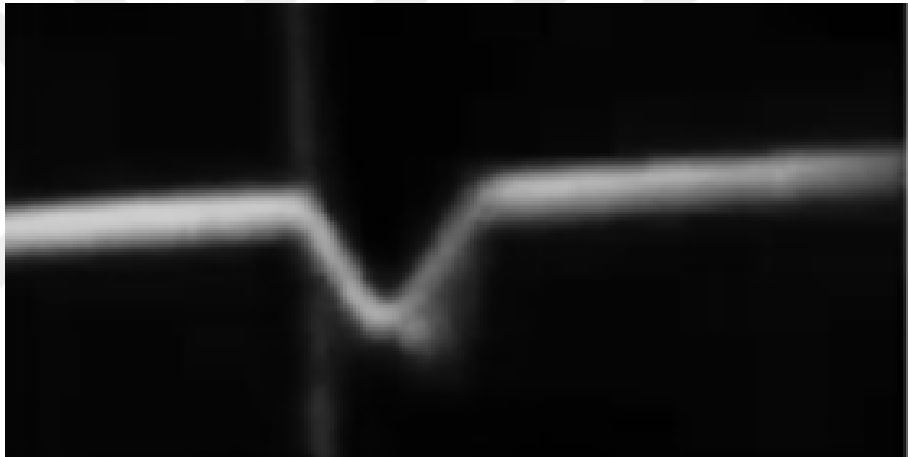
Normalde gri tonlamaya dönüştürülürken R, G, B değerlerinin ortalaması alınırken bu çalışmadaki görüntü zaten sadece kırmızı renkten oluştuğu için sadece R değeri alınarak resim gri tonlamaya dönüştürülmüştür. Şekil 4.14’te bandpass filtre ile kameradan alınan görüntünün hem RGB, hem gri tonlama ve hem de R, G, B kanallarının ayrı ayrı gri tonlamaya çevirilen halleri gösterilmektedir. Görüldüğü gibi işlenmek üzere sadece R kanalının alınması daha doğru olacaktır.



Şekil 4.13. Kameradan alınan lazer çizgi görüntüsünün RGB, Gri, R, G, B kanalları.



Şekil 4.14. Bandpass filtre ile alınan görüntü.

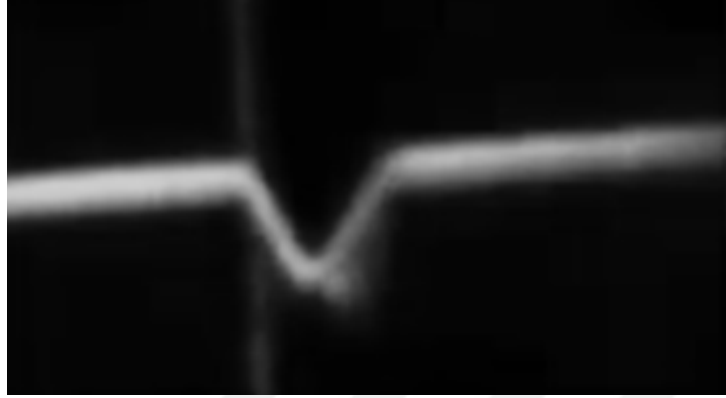


Şekil 4.15. Görüntünün R kanalı

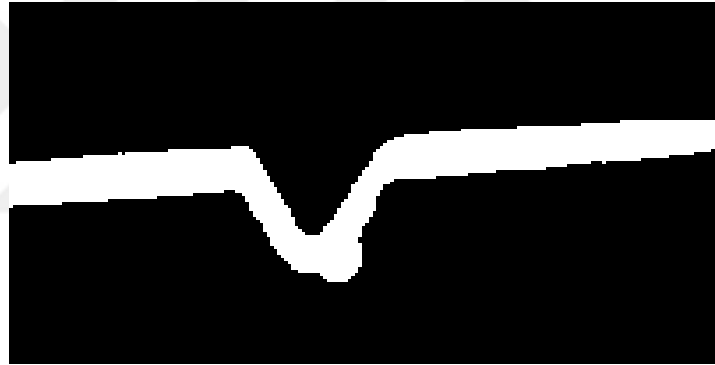
4.2.2. Görüntüyü ikili (binary) formata çevirme

Resim üzerinde daha hızlı çalışabilmek ve lazer tarafından oluşturulan çizgiyi tek bir çizgi haline getirebilmek adına daha keskin görüntüye ihtiyaç vardır. Bunun için 0 ile 255 arasındaki değerler 1 ve 0 olarak işaretlenmiştir. Bu şekilde sadece iki değerden oluşan görüntülere ikili görüntü denilmektedir [9]. İkili formatta 0 ve 1 olan piksel değerleri siyah ve beyaz olacaktır. Burada bir eşik değeri verilip bu eşik değerinden büyük olan değerler beyaz, küçük olanlar siyah olacaktır. Bu çalışmada ikili formata çevirme eşik değeri 100 olarak belirlenmiştir. Bu değer tamamen deneme yanılmalar sonucunda uygun değer olarak tespit edilmiştir. Denklem 4.2' de bir resmin R kanalının ikili formata dönüştürülmesi verilmiştir:

$$Ikili = \begin{cases} 0 & R < 100 \\ 1 & R \geq 100 \end{cases} \quad (4.2)$$



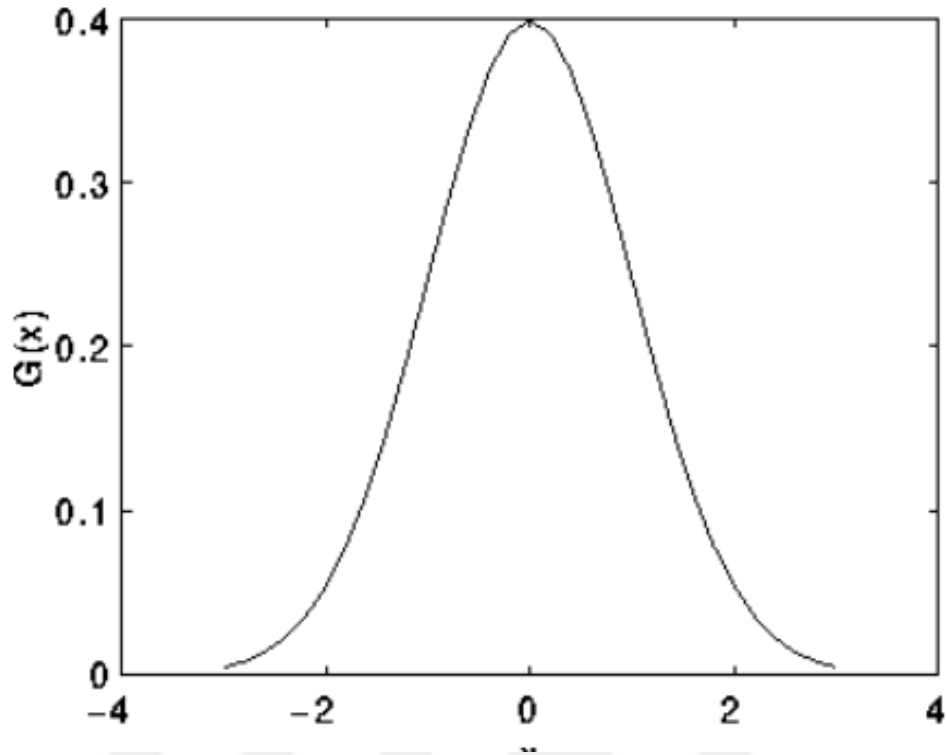
Şekil 4.16. R kanalı alınan görüntü.



Şekil 4.17. Binary (ikili) hale çevrilmiş görüntü.

4.2.3. Görüntü Üzerinde Gaussian Filtre Uygulama

Gauss yumuşatma operatörü, görüntüleri 'bulanıklaştırmak', ayrıntı ve gürültüyü ortadan kaldırmak için kullanılan 2 boyutlu konvolüsyon (çekirdek matris ile resim üzerindeki piksellerin çarpımı işlemi) operatörüdür. Bu anlamda, ortalama (mean) filtreye benzer. Ancak Gauss aşağıda resmi verilen "çan şeklindeki" grafikte temsil edilebilecek farklı bir çekirdek şablon (matris) kullanır. Gauss'un çan şeklindeki grafiği Şekil 4.18'de görülmektedir. Bu grafiği veren formül Denklem 4.3'te gösterilmektedir [9, 19, 22] .



Şekil 4.18. Gaussian filtrenin gösterimi [19].

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (4.3)$$

İkili formata çevirilen görüntü üzerinde istenmeyen gürültüler ve keskin geçişler olmaktadır. Bu keskin geçişleri yumuşatmak adına görüntü üzerinde Gaussian Filtre uygulanmıştır. Gaussian filtre uyguladıktan sonra elde edilen görüntü Şekil 4.19'daki gibidir.

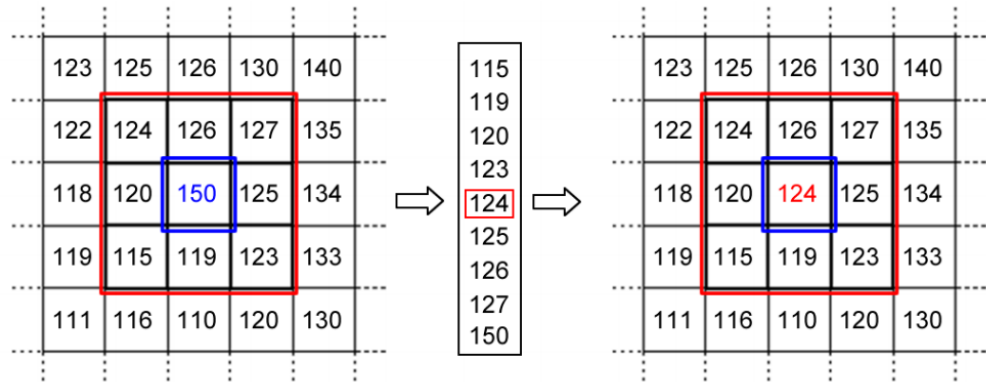


Şekil 4.19. Gaussian filtre uygulanmış görüntü

4.2.4. Görüntü Üzerinde Median Filtre Uygulama

Median filtre, bir görüntü üzerindeki gürültüyü azaltmak için kullanılan bir filtredir. Resim üzerinde belli büyüklükte bir kare pencere dolaştırılır. Örneğin Şekil 4.20.'de 3x3 lük bir pencere dolaştırılmıştır. Bu pencere içerisinde bulunan 9 piksel büyüktür küçüğe sıralanır ve en ortadaki nokta pikselin yeni değeri olarak atanır. Böylece 3x3 matrisin içinde ortalamanın çok üstünde olan bir gürültü noktası varsa bu nokta orta değer ile değiştirilir ve böylece gürültü temizlenmiş olur.

Şekil 4.20. incelendiğinde ortada bulunan 150 değeri genel değerlere aykırı bir değerdir ve çok büyük ihtimalle bir gürültüdür. Bu gürültüyü temizlemek için matrisin değerleri sıralanır. Sıralandıktan sonra (115, 119, 120, 123, 124, 125, 126, 127,150) şeklinde bir dizi elde edilir. Bu dizinin orta değeri 124'tür. 150 yerine 124 yazılarak yeni değer belirlenmiş olur ve böylece gürültü temizlenmiş olur [23, 39].



Şekil 4.20. Median filtre.

Gaussian filtre uygulanarak yumuşatılan görüntü üzerinde gürültülerden tamamen kurtulmak amacı ile Median filtre uygulanmıştır. Burada 3x3'lük bir pencere uygulanmıştır.

Median filtre uygulandıktan sonra elde edilen görüntü Şekil 4.21'deki gibidir.

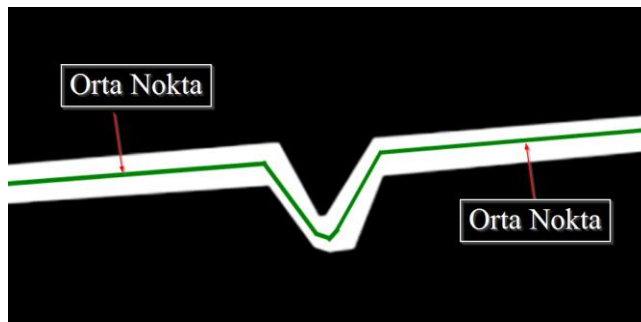


Şekil 4.21. Median filtre uygulanmış görüntü.

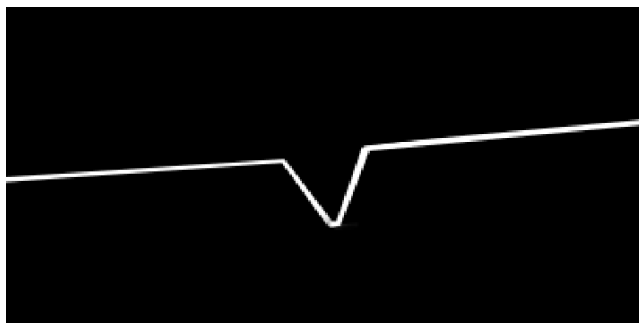
4.2.5. Çizgi İnceltme

Görüntüde asıl amaç oluşan üçgenin tepe noktasını bulmak olduğu için kalın bir çizgi halindeki görüntüyü 1 piksel genişliğinde bir çizgiye dönüştürmek gerekmektedir. Şekil 4.21’de median filtre uygulanan görüntüde bu kalın çizgi görülmektedir. Bu çizgiyi tek bir piksel haline getirmek için her bir satırda beyaz noktanın başladığı ve bittiği y eksenini bulunur. Şekil 4.22’de gösterildiği gibi y düzlemindeki başlama ve bitiş noktalarının orta noktaları çizgi boyunca işaretlenir.

Şekil 4.23’te gösterildiği gibi işaretlenen bu pikseller 1, diğer pikseller 0 olarak işaretlenir ve görüntü tek çizgi haline dönüştürülmüş olur.



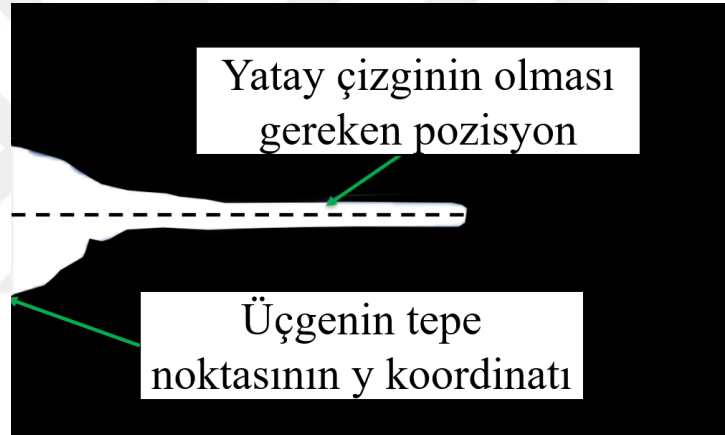
Şekil 4.22. Çizginin orta noktasını tespit etme.



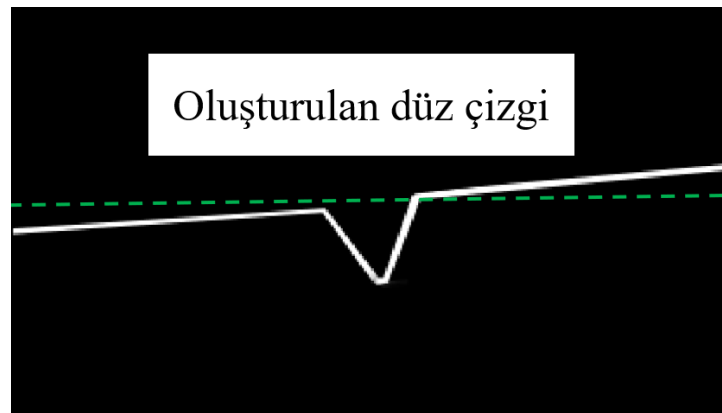
Şekil 4.23. Kalın çizgiyi 1 piksel haline getirme.

4.2.6. Görüntünün Yatay Histogramını Çıkartarak Çizgiyi Düzgünleştirme

İnceltilerek tek piksel haline getirilen görüntüde yapılacak işlemler nispeten kolaylaşmıştır. Ancak tam düz bir görüntü henüz elde edilememiştir. Yatay ekseninde çizgi eğik durmaktadır. Oysa üçgenin tespit edilebilmesi için çizginin düz hale getirilmesi gerekmektedir. Bu noktada inceltilen resmin yatay histogramı çıkartılmış ve çıkartılan histogramda her bir satırdaki beyaz pikseller sayılarak beyazların en fazla olduğu satır düz çizginin olması gereken nokta olarak belirlenmiştir ve bu satır için görüntünün en başından en sonuna çizgi çekilmiştir. Şekil 4.24'te yatay görüntünün yatay histogramının çıkartılmış hali görünmektedir. Şekil 4.25'te ise eğik olan çizgi eksenini düz bir çizgi olarak çekilmiştir.



Şekil 4.24. Yatay histogram.



Şekil 4.25. Orta noktanın bulunması.

4.2.7. Üçgenin Köşe Noktalarını Bulma

İnceltilecek tek piksel haline getirilen görüntüde artık üçgenin köşe noktalarını bulmak kolaydır. Bunun için;

- Her bir pikselin kendi değerine
- Kendisinden önceki yataydaki 5 piksel değerinin toplamına
- Kendisinden sonraki yataydaki 5 piksel değerinin toplamına bakılmıştır.

Bu durumda

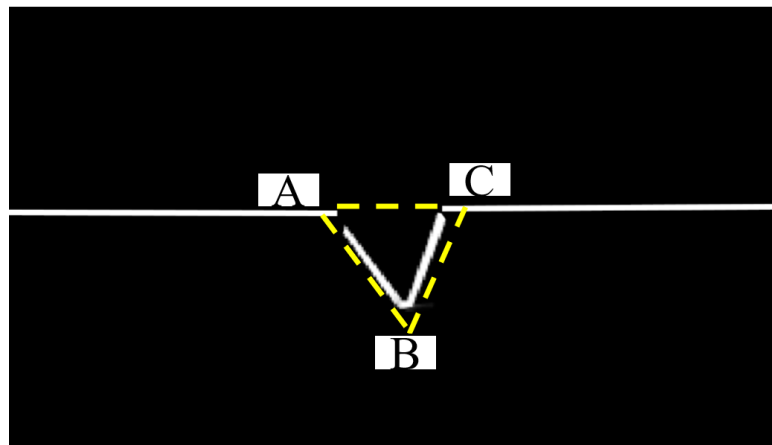
- Pikselin değeri =1
- Kendinden önceki yataydaki 5 pikselin toplamı >3
- Kendinden sonraki yataydaki 5 pikselin toplamı <2

ise burası üçgenin 1. köşe noktasıdır. (A noktası)

- Pikselin değeri =1
- Kendinden önceki yataydaki 5 pikselin toplamı <2
- Kendinden sonraki yataydaki 5 pikselin toplamı >3

ise burası üçgenin 1. köşe noktasıdır. (C noktası)

Şekil 4.26'da üçgenin A, B ve C köşe noktaları gösterilmektedir.



Şekil 4.26. Üçgenin bulunması gereken kenarları

4.2.8. Üçgenin tepe noktasını bulma

Görüntünün yatay histogramı çıkarıldığında satır olarak en alttaki nokta, üçgenin tepe noktasını işaret eder (B noktası). Zira yan yana en az sayıda beyaz pikselin olduğu nokta üçgenin tepe noktası diye tabir edilen B noktasına tekabül etmektedir. Böylelikle B noktasının y koordinatı tespit edilmiştir. x koordinatını tespit etmek içinse bu satırdaki piksellere bakılarak en orta noktadaki beyaz nokta bulunur. Böylece B noktasının x koordinatı da bulunarak üçgenin kenar noktaları tamamen tespit edilmiş hale gelmiştir.



5. BÖLÜM

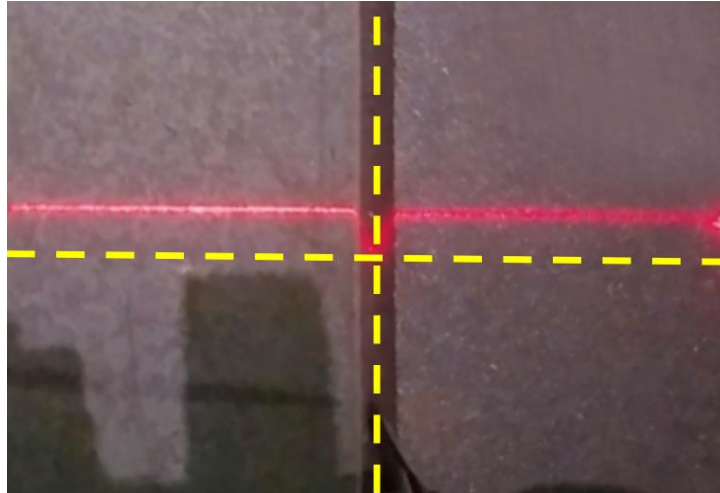
UYGULAMA-2 OTONOM YÖNLENDİRME

Bu bölümde görüntü işleme ile elde ettiğimiz değerlere göre aracın rotasında olup olmadığının nasıl tespit edildiği ve aracın direksiyonunun otonom şekilde nasıl hareket ettirildiği anlatılmaktadır.

5.1. Aracın Rotada Olup Olmadığını Tespit Etme

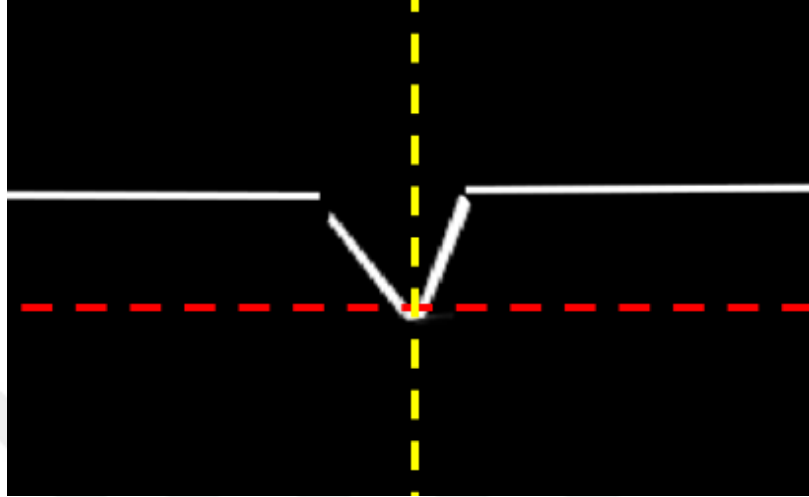
Aracın olması gereken rotada olup olmadığını tespit etmek için önceki bölümde yerini tespit ettiğimiz üçgenin tepe noktasının kameradan alınan görüntünün tam ortasında olması gerekmektedir. Bunun için görüntü üzerine tam ortalayacak şekilde x ve y koordinatlarına göre kılavuz çizgileri çizdirilir.

En başta yapılan kalibrasyon ile üçgenin tepe noktası Şekil 5.1.'de görüldüğü orta noktaya gelecek şekilde manuel olarak kalibre edilir. Sonrasında ise ortalama 80 milisaniyede bir kere çalışacak şekilde bu çizgiler kontrol edilir ve üçgenin tepe noktasının orta noktadan uzaklaşıp uzaklaşmadığına göre yönlendirme motoruna gereken yöne dönmesi için komut gönderilir.

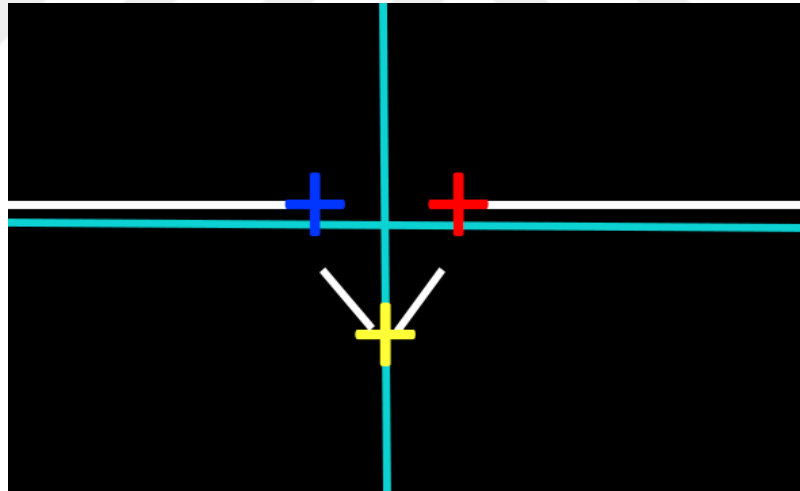


Şekil 5.1. Kalibrasyon yapılan gerçek görüntü

Şekil 5.2’de kalibre edilerek kadraj kontrolü yapılan görüntü gösterilmektedir. Şekil 5.3’te ise üçgenin köşe noktalarının tespiti gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Düzenlenerek kadraj kontrolü yapılan görüntü



Şekil 5.3. Üçgenin kenarlarının bulunduğu görüntü

5.2. Rotadan Çıkan Aracı Yönlendirme

Bu çalışmada araç rotasından çıktığında onu tersi yönde hareket ettirmek için öndeki direksiyonun üstüne bir step motor takılmıştır. Şekil 5.4’te görüldüğü gibi Kullanılan step motorun kodu 86HS120’dir. Ayrıca Şekil 5.5’te görüldüğü gibi bu motoru sürmek için M860H step motor sürücüsü kullanılmıştır.



Şekil 5.4. 86HS120 - 86mm 12 Nm Step Motor.

Bu düzeneği kontrol etmek için ise Arduino mega kontrol kartı kullanılmıştır. Ancak sistemin çok hassas çalışması gerektiği için ve motorun bazı zamanlarda gerçekte verilen adım sayısından daha fazla ya da daha az döndüğü tespit edilmiştir. Bu durumda sistemi frenleyecek bir mekanizmaya ihtiyaç duyulmuştur.

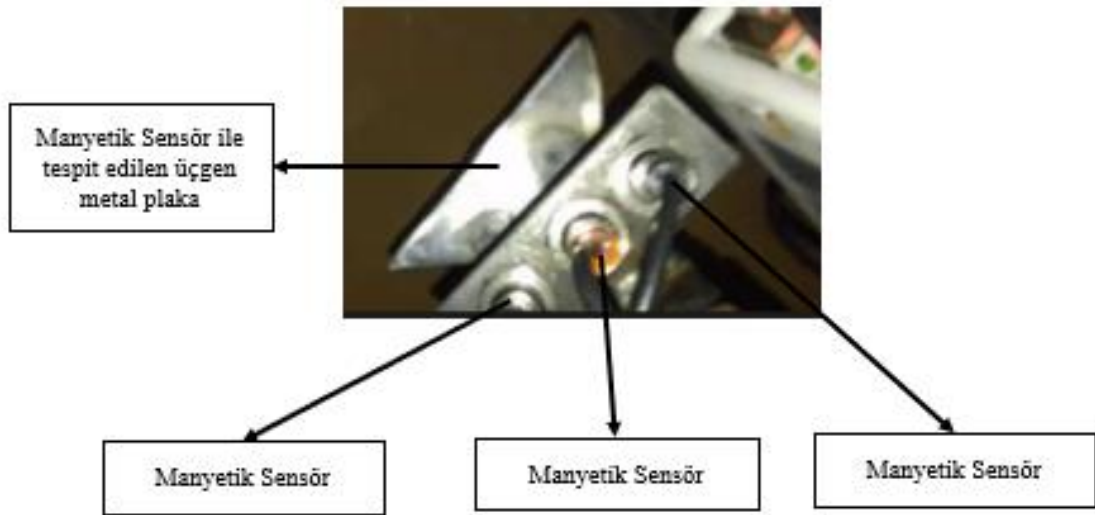


Şekil 5.5. Step motor sürücüsü M860H 40V 80V

Motor üzerinde en fazla 5 adım (5 derece) dönüşe izin verecek şekilde sisteme manyetik sensörler eklenerek direksiyon metal ucu bu sensörlere 1 mm yaklaştığında direksiyon motorunun, komut verilse dahi dönüş hareketini durdurması sağlanmıştır. Böylece kazara yoldan çıkmaların önüne geçilmiştir. Şekil 5.6'da kullanılan manyetik sensörler gösterilmektedir. Şekil 5.7'de ise bu sensörlerin traktörün direksiyonu üzerine yerleştirilmiş halleri gösterilmektedir.

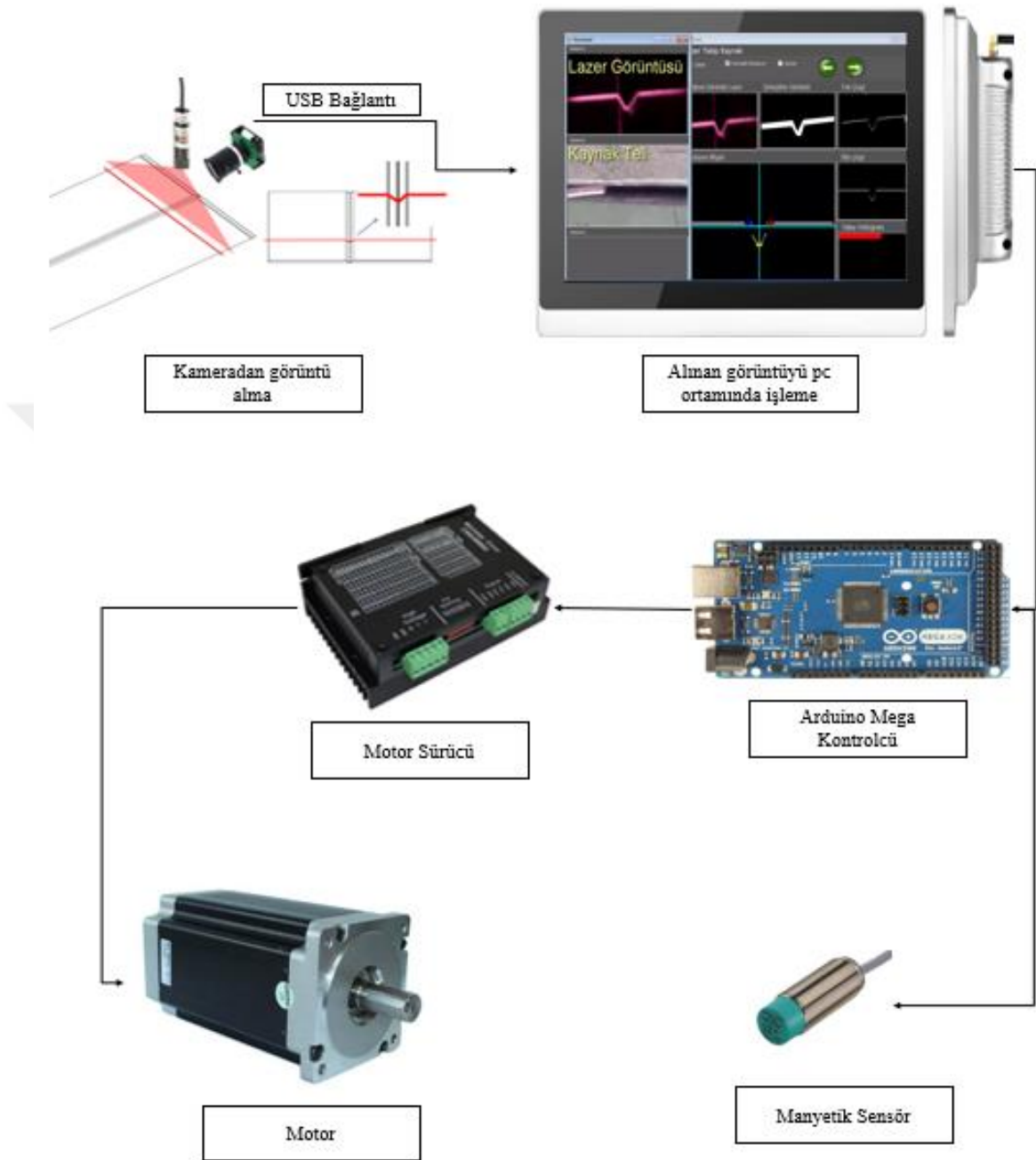


Şekil 5.6. NBN8-18GM50-E0 Manyetik sensör



Şekil 5.7. Direksiyon üzerine yerleştirilen manyetik sensörler

Yönlendirme sisteminin çalışma düzeneği Şekil 5.8.'de gösterilmektedir.



Şekil 5.8. Otonom sistemin çalışma düzeneği

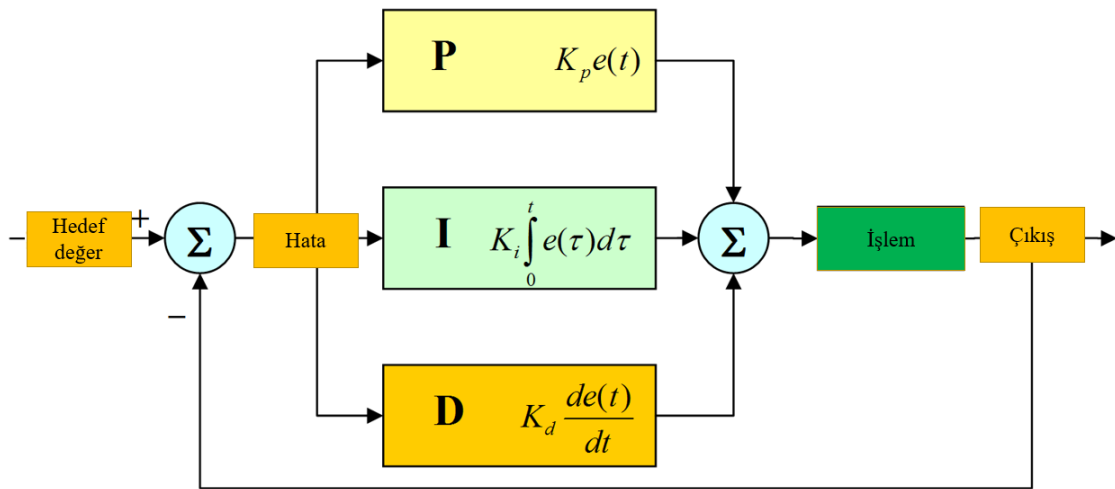
5.3. Motoru Hassas Şekilde Hareket Ettirme

Sistemin düzgün çalışması motorun hassas şekilde direksiyonu yönlendirmesine bağlıdır. Burada sistemin hızlı tepkime vermesi için görüntü işleme kısmı yeterince hızlı şekilde çalışmaktadır. Ancak motor kontrolünün de aynı oranda anlık tepkimeleri hızlı

vermesi gerekmektedir. Burada motor üzerinde yapılan çalışmalarda direksiyon motorunun sağa ya da sola 10 derece gibi büyük oranda dönmelerinde osilasyon hareketi yaptığı ve tekerleğin çizgiden çıktığı gözlenmiştir. 1-2 derece gibi daha küçük açıdaki dönmelerde ise motor izi takip etmekte yavaş kalmaktadır [40-41]. Bu problemin çözümü için PID algoritması sisteme entegre edilmiştir.

5.4. PID

PID (Proportional (Oransal), Integral (İntegral), Derivate (Türev)) Controller, geri besleme yoluyla girişe gönderilen sinyal ile giriş sinyalini karşılaştırarak hatayı hesaplar. Bu hata PID'ye gönderilir ve PID bu hatayı bir katsayı ile çarpıp türevini ve integralini alır, tekrar çıkışa gönderilir. Bu işlem hata minimuma inene kadar devam eder. PID kontrol algoritmasının çalışma prensibi şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9. PID'nin çalışma prensibi.

Proportional (Oransal) Terim

P terimi sistemdeki hatayı bir katsayı (K_p) ile çarparak küçültmeyi hedefler. Bu işlemle birlikte hata hızlıca düzeltilir ancak çıkışta osilasyon görülme ihtimali artar. Bu yüzden salınımları önlemek için K_p değeri yüksek seçilmemelidir.[24][25]

Burada hata t anındaki hedeflenen değerden olan uzaklıktır. K_p P 'nin katsayısı olup P değeri bu katsayı ile ağırlıklandırılarak çarpılır.

Integral (İntegral) Terimi

İntegral hatanın alanını bulmak anlamına gelir. Her bir periyottaki hata katsayı (K_i) ile çarpılarak toplanır. Sürekli toplama işlemi yapıldığı için integral çok fazla artmadan sınırlandırılması gerekir. Burada K_i , integralin katsayısıdır.

Derivate (Türev) Terimi

Türev zamana bağlı değer değişimi ile ilgilidir. Sistemde gerçekleşen değişimden gerçekleşecek değişimi fark eder ve sistemi istenen değer üzerine çıkmaması için yavaşlatır. Eğer iki örnek arasındaki hatada değişim olmadıysa türev sıfır olur. Burada, H_D iki örnek arasındaki hataların farkı, K_d türevin katsayısıdır. K_p , K_i ve K_d değerleri deneysel olarak bulunur.

Denklem 4.4'te gösterildiği gibi P , I ve D değerleri belirlenen katsayılar ile çarpılır ve toplanarak giriş değeri olarak verilir.

$$PID = (K_p \times P) + (K_i \times I) + (K_d \times D) \quad (4.4)$$

5.4.1. PID'nin Kullanım Alanları

PID sistemler sönümlleme temelli çalışan sistemler olduğu için hassas olması gereken birçok noktada kullanılmaktadır. Özellikle denge gerektiren hava araçları, gürültü önleme sistemleri, roket sistemleri, motor sistemleri, araç amortisör sistemleri, insansız araçlar, sanayide kullanılan makineler gibi birçok alanda kullanılmaktadır [42-45].

5.4.2. Çalışmada PID Kavramı

Bir sistemi kontrol etmemizin sebebi sistemden alınmak istenilen çıkış ile sistemin verdiği çıkış arasındaki farkı bulmaktır. Bu farka hata denir. Sistemin girişi değiştirilerek, hata en aza indirilmeye çalışılır.

Bu çalışmadaki hata değeri üçgenin tepe noktasının, merkeze olan uzaklığının piksel cinsinden değeridir. Burada görüntüde ± 5 piksel'den fazla bir sapma olduğunda yönlendirme sistemi devreye girmektedir. Bu yönlendirme sistemi PID değerine göre çalışmaktadır.

PID algoritmasının projeye en önemli katkısı hızlı tepki vermesi gereken yerlerde aracı yoldan çıkarmadan direksiyonu fazla döndürmesi, yavaş tepki vermesi gereken yerde de yine aracı yoldan çıkarmadan, sarsmadan dinamik olarak dönüş hızını ayarlayabiliyor olmasıdır. Bu işlemi yaparken sadece t anında anlık olarak ölçülen hataya değil,

- Kendisinden önce ölçülen 10 hatanın $\pm$ toplamına (I)
- Kendisinden önce ölçülen hata ile anlık olarak ölçülen hatanın farkına (D)
- Anlık olarak ölçtüğü hata değerlerine (P) bakmaktadır.

Burada bulduğu değerleri bir ağırlık değeri ile çarpmakta ve ağırlık ile çarpılan değerleri tekrar toplayarak bir hata değeri elde etmekte ve bu değer eşik değerinden büyükse motora kaç derece döneceği bilgisini göndermektedir.

Burada yapılan denemelerde

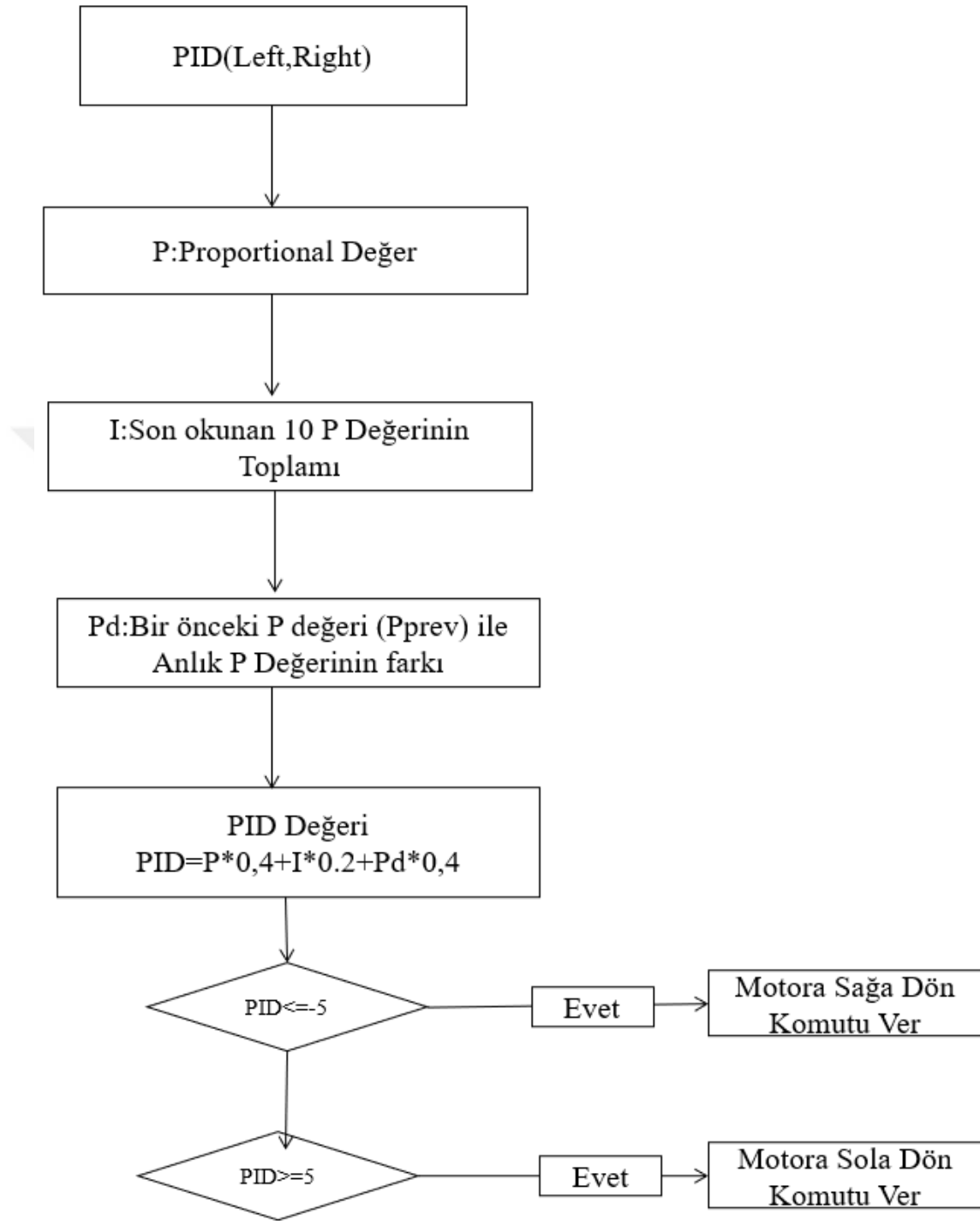
KP:0.4

KI:0.2

KD:0.4

olarak belirlenmiştir.

PID sisteminin geliştirilen sistemde çalışma prensibi Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10. PID sisteminin geliştirilen sistemde çalışma prensibi

6. BÖLÜM

BULGULAR

6.1. Çalışmada Elde Edilen Sonuçlar

Bu çalışma sonucunda bir yazılım ve bir sistem geliştirilmiş olup tüm sistem toplamda yaklaşık 4 ay gibi bir sürede geliştirilmiştir.

Görüntü işleme ve motor kontrol yazılımları Visual Studio ortamında geliştirilmiştir.

Kullanılan donanımlar aşağıdaki gibidir.

Bilgisayar: i7 6. Nesil işlemci, 8 GB ram

Kamera: 2 Mp Elso USB Kamera, 2.8-10 mm lens

Bandpass filtre: 636nm CWL, 25mm Dia., Hard Coated OD 4.0 10nm Bandpass Filter

Lazer: Kırmızı çizgi lazer, 150mw güç , 650nm dalga boyu

Mikro kontrolcü: Arduino Mega

Step motor: 86HS120 - 86mm 12 Nm Step Motor

Motor sürücü: M860H step motor sürücüsü

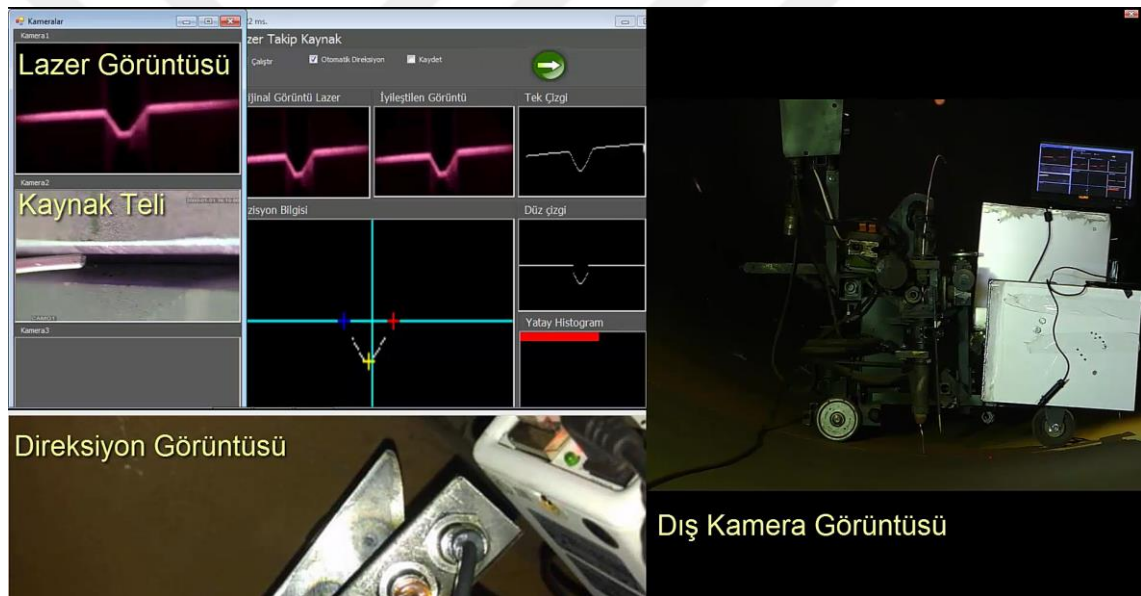
Sistem kaynak traktörü üzerine monte edilmiş olup sahada istenilen yerde çalıştırılma imkânı vardır.

Kaynak traktörü yapılacak kaynağın türüne göre 20 cm/dakika ile 35 cm/dakika hızlarında hareket etmektedir.

Bu çalışma sonucunda 7mm genişliğinde bir kaynak yarığı hem silindir şeklindeki tankta hem de lineer düzlemde bulunan bir sac parçası üzerinde başarı ile kaynatılmıştır.

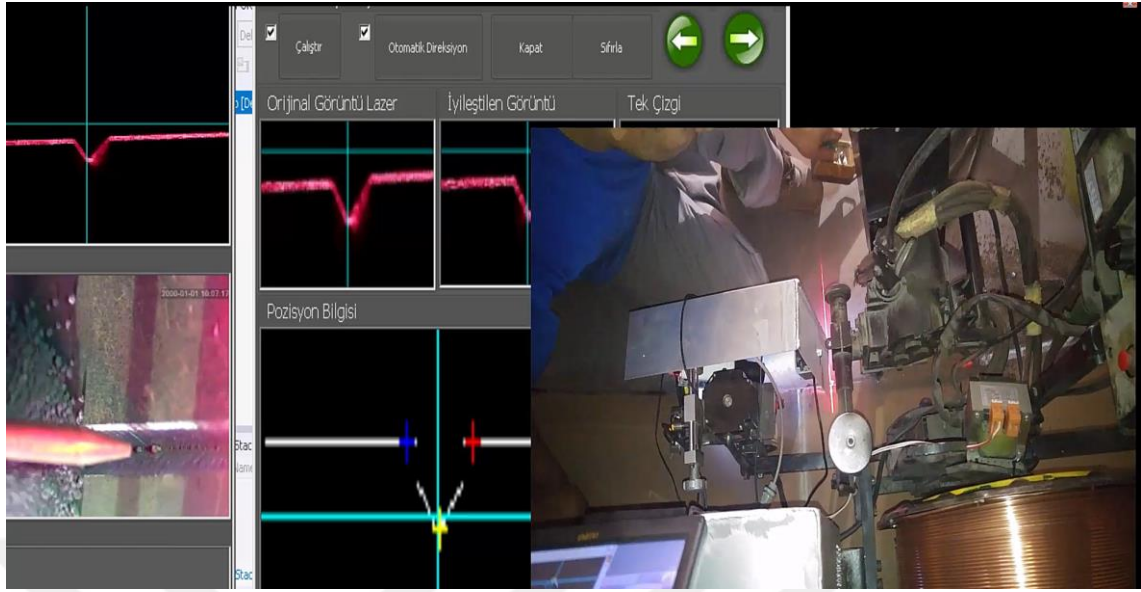
Kaynak işleminde kayma toleransı %20 den fazla olmamalıdır. 7mm için bu tolerans yaklaşık 1mm'dir. Yapılan çalışmalarda geliştirilen otonom traktör hem dairesel bir düzlem olan basınçlı kabın içerisinde, hem de çizgisel bir düzlem olan düz plaka üzerinde otonom şekilde çalıştırılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

Şekil 6.1'de geliştirilen yazılım, kaynak traktörünün görüntüsü ve direksiyon üzerinden alınan görüntü gösterilmektedir. Burada traktör bir basınçlı kabın içerisinde dairesel bir düzlemde hareket otonom şekilde hareket etmektedir.



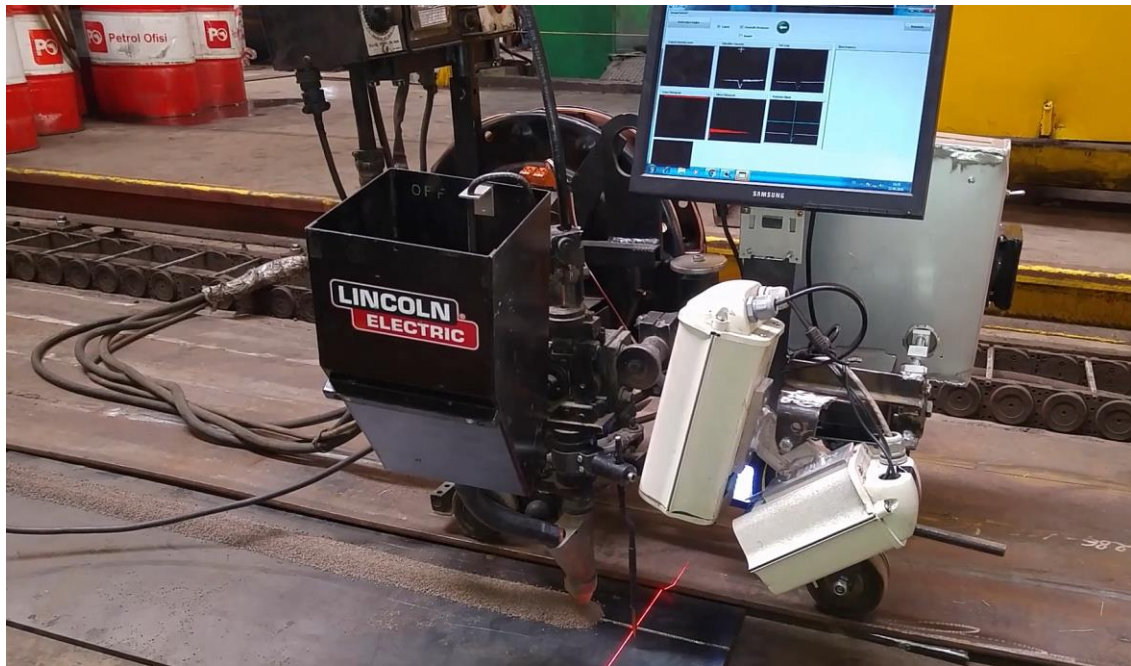
Şekil 6.1. Uygulamanın tankın içinde dairesel düzlemde çalışma görüntüsü

Şekil 6.2'de geliştirilen uygulama ile bir basınçlı kap içerisinde dairesel bir düzlemde toz altı kaynağı işleminin otonom şekilde yapılması gösterilmektedir.



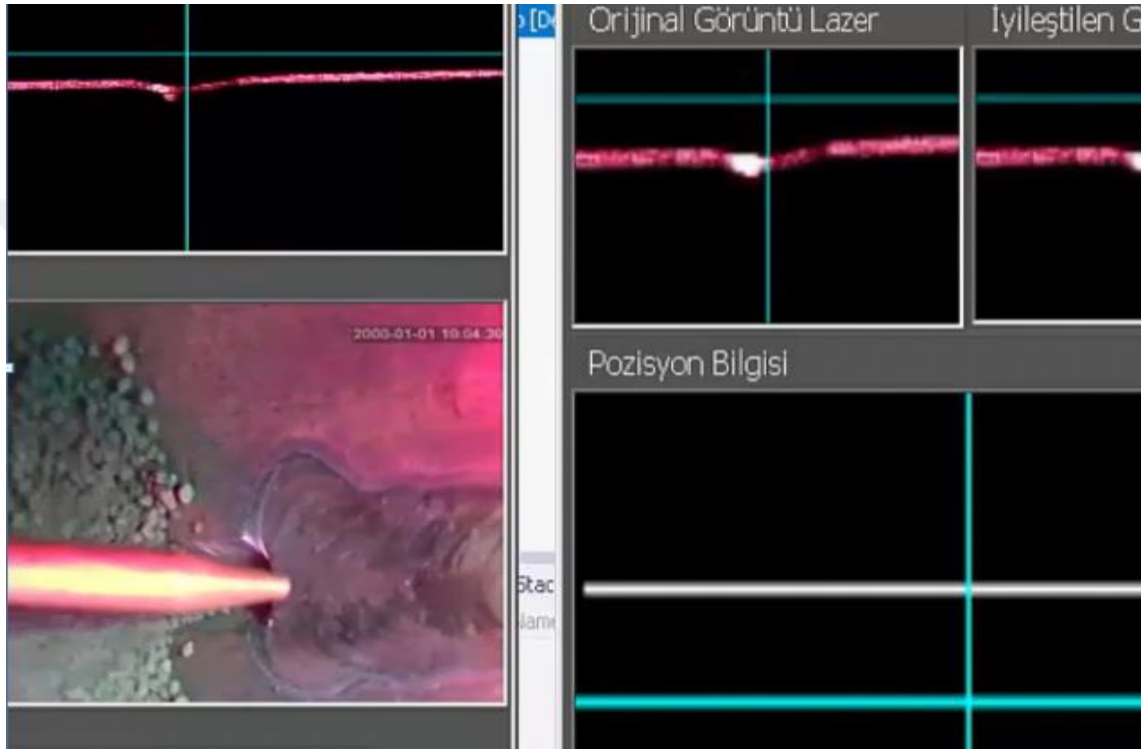
Şekil 6.2. Uygulamanın tankın içinde dairesel düzlemde çalışma görüntüsü

Şekil 6.3'te ise uygulamanın çizgisel bir plaka üzerinde çalıştırılması gösterilmektedir. Bu çalışmada 120 cm'lik bir sac plaka kullanılmış ve kaynak başlangıç noktasının kenara uzaklığı 10 cm kaynak bitiş noktasının kenara uzaklığı 15 cm olacak şekilde eğik bir kaynak yolu belirlenmiştir. Traktörün bu farkı otonom olarak tespit etmesi ve yolunu bulması amaçlanmıştır.



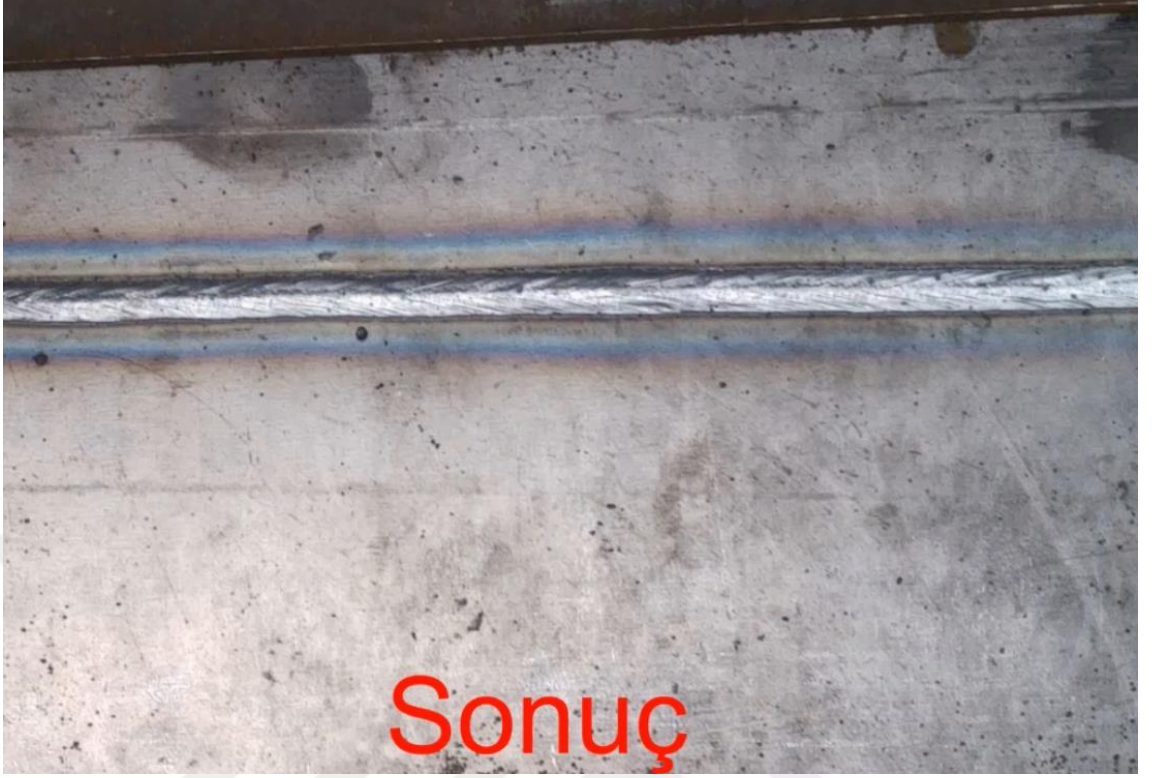
Şekil 6.3. Uygulamanın çizgisel düzlemde çalışma görüntüsü.

Sistem “V” şeklinin kaybolduğu (punta vs gibi görüntülerin denk geldiği) noktalarda da tutarlılığını korumuştur ve gitmesi gereken çizgiden çıkmamıştır. Şekil 6.4’te “V” formunun kaybolduğu gözlemlenmektedir. Sistem “V” şeklinin kaybolduğu noktada da sistem rotasını bozmadan devam etmektedir.



Şekil 6.4. Punta noktasında geldiğinde de sistem stabil şekilde kaynatmaya devam etmektedir.

Sistem 7mm’lik kaynak aralığı için başarılı bir şekilde çalışmıştır. Şekil 6.5’te, Şekil 6.3’te verilen başı ve sonu arasında fark olan kaynak noktalarının otonom şekilde kaynatılması sonucu elde edilen sonuç gösterilmektedir. Sistem doğru şekilde bu izi takip etmiştir.



Şekil 6.5. Sistem ile otonom yapılan kaynağın sonucu.

7. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. Tartışma

Bu tez çalışmasında basınçlı kap imalatında kullanılan ve insan eliyle yönlendirmesi yapılan toz altı kaynak traktörünün endüstri 4.0. prensipleri ile otonom hale dönüştürülmesi işlemi yapılmıştır. Çalışma çeşitli hacimlerdeki LPG tankları üzerinde yaklaşık 6-7 mm genişliğindeki kaynak yarıkları üzerinde denenmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Endüstrideki benzer çalışmalara bakıldığında robot kollar üzerinden bu tarz çalışmaların yapıldığı gözlenmiştir. Şüphesiz robot kolları bu yöntem ile kontrol etmek daha kolaydır fakat robot kolun şu dezavantajları vardır:

- Robot kollar oldukça pahalıdır.
- Mobilite imkanı yoktur. Tankın robot kolun bulunduğu istasyona götürülmesi gerekmektedir.
- Lazer sensör ile (seam tracker) kontrol edilmelidir ve bu sensörler oldukça pahalıdır.
- İçten yapılan kaynaklar için robot kolun kapalı tankın içine girme imkanı yoktur.

Alternatif yöntem bu işlemin column and boom sistemler ile yapılmasıdır. Column and boom sistemler bir CNC tezgahı gibi çalışır. Uzun bir hat üzerinde x ve y eksenlerinde hareket eden yapılardır. Robot kola göre avantajı ve dezavantajları vardır:

- Column and boom sistemler robot kollara göre daha pahalıdır.
- Çok daha büyük hacimlidir.
- Kaynak yapan hareketli kol uzun olduğu için büyük bir basınçlı kabın içine ve dışına doğru uzanabilir.
- Lazer sensörler ile (seam tracker) kontrol edilebilir ancak bu da pahalı bir sistemdir.

Bu çalışmada olduğu gibi kaynak traktörünü otonom bir şekilde kullanmak ise oldukça pratik bir çözümdür. Sistemi avantajları şu şekilde özetlenebilir:

- Tüm diğer sistemlere göre en ekonomik olanıdır.
- Mobilite imkanı olduğu için büyük tankları sabit kaynak istasyonlarına getirmek yerine kaynak makinesi tankların yanına götürülebilir. Bu da büyük bir taşıma zamanı ve iş gücü kazancı anlamına gelir.
- Lazer sensör yerine ar-ge yapılarak geliştirilen bir sistem kullanıldığı için yine maliyet düşüktür.
- PID tekniği kullanılmaktadır.

7.2. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma sonrasında geliştirilen sistem başarı ile çalışmıştır. Sistem esasında tamamen manuel olarak çalışan bir kaynak makinesini bir bilgisayar vasıtası ile otonom hale getirmiştir. Böylece sistemin üzerinde bir bilgisayar bulunmasının tüm avantajlarından yararlanılabilecek durumdadır.

Örneğin kaynak makinesinin yaptığı iş ile alakalı bilgiler ve bu işi yaparken kaynak kalitesinde çok önemli faktörler olan akım, voltaj ve hız değerleri ölçülerek kayıt altına alınabilir ve sonrasında analiz edilebilir.

Diğer taraftan bir sonraki aşamada işe özel olarak kullanıcı tarafından elle ayarlanan kaynak parametrelerinin de kullanıcı inisiyatifine bırakılmadan yapılan işin çeşidine göre kaynak makinesi üzerinde otomatik olarak ayarlanması sağlanabilir.

Böylece,

- Otonom çalışan
- Veri toplayabilen
- Parametreleri merkezi olarak değiştirilebilen

bir yapı ile tam bir Endüstri 4.0. otomasyon sistemi geliştirilmiş olur.

Ayrıca sistem mevcutta iki operatör ile yönetilmektedir. Bu çalışma ile direksiyon kullanan operatörün işi otonom hale gelmiştir. Arka tarafta kaynak tozunu toplayan operatör için ise daha basit bir vakum yöntemi ile bu işlemde otonom hale getirilebilir.

Çalışma bu haliyle sadece kaynak yapmak için değil, iz takibi gerektiren bütün operasyonlar için kullanılabilir haldedir.

Ayrıca ar-ge ortamı için düşük maliyetli bir Arduino kullanılmıştır. Bir sonraki aşamada motoru kontrol etmek için endüstriyel bir PLC kullanılabilir.

Çalışma yapılırken motor olarak bir step motor kullanılmıştır. Ancak bir servo motor kullanmak daha doğru olacaktır.

Bu çalışma ile geliştirilen sistem artık her türlü geliştirmeye açık olduğu için yapay zekâ, derin öğrenme, optimizasyon gibi tekniklerin de uygulanması ile farklı problemler için adaptif hale getirilebilir.

KAYNAKÇA

1. Karaoğlu, S., Secgin, A., 2008. Sensitivity analysis of submerged arc welding process parameters. **Journal of materials processing technology**, **202** (1-3), 500-507.
2. Houldcroft, P.T., 1990. Submerged-arc welding. Woodhead publishing.
3. Fan, H., Ravala, N.K., Wikle III, H.C., Chin, B.A., 2003. Low-cost infrared sensing system for monitoring the welding process in the presence of plate inclination angle. **Journal of materials processing technology**, **140**(1-3), 668-675.
4. Goloborodko, Z.G., Dragan, S.V., Simutenkov, I.V., 2013. Automatic submerged arc surfacing of structural steels with transverse high-frequency movements of electrode. **The Paton Welding J**, **6**, 34-37.
5. Lü, X., Zhang, K., Wu, Y., 2017. The seam position detection and tracking for the mobile welding robot. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, **88**(5-8), 2201-2210.
6. Luo, H., Chen, X., 2005. Laser visual sensing for seam tracking in robotic arc welding of titanium alloys. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, **26**(9), 1012-1017.
7. Kaya, Y., Kahraman, N., 2013. Farklı özellikteki malzemelerin tozaltı ark kaynak yöntemi ile birleştirilmesi ve birleştirmelerin tahribatlı ve tahribatsız muayenesi. **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, **17**(1), 85-96.
8. Weman, K., 2011. Welding processes handbook. Elsevier.
9. Gonzalez, R.C., Woods, R.E., 2008, Digital image processing - Third edition. Pearson.
10. Anonim, 2021. Image types. (Web sayfası: <https://www.mathworks.com/help/images/image-types-in-the-toolbox.html>) (Erişim tarihi: Ocak 2021).
11. Solomon, C., Breckon, T., 2011. Fundamentals of Digital Image Processing: A practical approach with examples in Matlab. John Wiley & Sons.

12. Aslantas, V., 2009. An optimal robust digital image watermarking based on SVD using differential evolution algorithm. **Optics Communications**, 282(5), 769-777.
13. Maini, R., Aggarwal, H., 2010. A comprehensive review of image enhancement techniques. **arXiv preprint** arXiv:1003.4053.
14. Appiah, O., Asante, M., Hayfron-Acquah, J. B., 2020. Improved Approximated Median Filter Algorithm for real-time Computer Vision Applications. **Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences**, basımda.
15. Varagula, J., ITOb, T., 2017. Object Detection Method in Traffic by On-Board Computer Vision with Time Delay Neural Network. **Procedia computer science**, 112, 127-136.
16. Ghieh, D., Saade, C., Najem, E., El Zeghondi, R., Rawashdeh, M. A., & Berjawi, G. (2020). Staying abreast of imaging—Current status of breast cancer detection in high density breast. **Radiography**.
17. Rabah, M., Rohan, A., Talha, M., Nam, K. H., Kim, S. H., 2018. Autonomous vision-based target detection and safe landing for UAV. **International Journal of Control, Automation and Systems**, 16 (6), 3013-3025.
18. Vibhute, A., Bodhe, S. K., 2012. Applications of image processing in agriculture: a survey. **International Journal of Computer Applications**, 52(2).
19. Aydin, I., Othman, N.A. 2017. A new IoT combined face detection of people by using computer vision for security application. In *2017 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)* (pp. 1-6). IEEE.
20. Trivedi, A.K., Thounaojam, D.M., Pal, S., 2020. Non-Invertible cancellable fingerprint template for fingerprint biometric. **Computers & Security**, 90, 101690.
21. Nex, F., Remondino, F., 2014. UAV for 3D mapping applications: a review. **Applied geomatics**, 6(1), 1-15.

22. Zhang, G., Pan, Y., Zhang, L., Tiong, R. L. K., 2020. Cross-scale generative adversarial network for crowd density estimation from images. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, **94**, 103777.
23. Gonzalez, R.C., Woods, R.E., Eddins, S.L., 2004. Digital Image Processing Using MATLAB, Pearson.
24. Domínguez, C., Heras, J., Pascual, V., 2017. IJ-OpenCV: combining ImageJ and OpenCV for processing images in biomedicine. **Computers in biology and medicine**, **84**, 189-194.
25. Xu, B., Ye, W., Wang, Y., 2018. Design of Machine Vision Defect Detecting System Based on Halcon. In *2018 International Conference on Mechanical, Electrical, Electronic Engineering & Science (MEEES 2018)*. Atlantis Press.
26. Miguez-Salas, O., Dorador, J., Rodríguez-Tovar, F.J., 2019. Introducing Fiji and ICY image processing techniques in ichnological research as a tool for sedimentary basin analysis. **Marine Geology**, **413**, 1-9.
27. Balaji, V., Balaji, M., Chandrasekaran, M., Elamvazuthi, I., 2015. Optimization of PID control for high speed line tracking robots. **Procedia Computer Science**, **76**, 147-154.
28. Colak, I., Yildirim, D., 2009. Evolving a Line Following Robot to use in shopping centers for entertainment. In *2009 35th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics* (pp. 3803-3807). IEEE.
29. Chikhale, M. V., Gharat, M. R., Gogate, M. S., Amireddy, M. R., 2017. Voice controlled robotic system using Arduino microcontroller. **International Journal of New Technology and Research**, **3**(4), 263302.
30. Fang, Z., Weng, W., Wang, W., Zhang, C., Yang, G., 2019. A vision-based robotic laser welding system for insulated mugs with fuzzy seam tracking control. **Symmetry**, **11** (11), 1385.
31. Kah, P., Shrestha, M., Hiltunen, E., & Martikainen, J. 2015. Robotic arc welding sensors and programming in industrial applications. **International Journal of Mechanical and Materials Engineering**, **10**(1), 1-16.

32. He, Y., Chen, Y., Xu, Y., Huang, Y., Chen, S. 2016. Autonomous detection of weld seam profiles via a model of saliency-based visual attention for robotic arc welding. **Journal of Intelligent & Robotic Systems**, **81**(3-4), 395-406.
33. Micallef, K., Fang, G., Dinham, M., 2011. Automatic seam detection and path planning in robotic welding. *In Robotic welding, intelligence and automation* (pp. 23-32). Springer, Berlin, Heidelberg.
34. Shi, F., Zhou, L., Lin, T., Chen, S., 2007. Efficient weld seam detection for robotic welding from a single image. *In Robotic Welding, Intelligence and Automation* (pp. 289-294). Springer, Berlin, Heidelberg.
35. Shao, W. J., Huang, Y., Zhang, Y. 2018. A novel weld seam detection method for space weld seam of narrow butt joint in laser welding. **Optics & Laser Technology**, **99**, 39-51.
36. Muhammad, J., Altun, H., Abo-Serie, E. 2017. Welding seam profiling techniques based on active vision sensing for intelligent robotic welding. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, **88** (1-4), 127-145.
37. Luo, H., Chen, X. Q., 2004. Laser visual sensing and process control in robotic arc welding of titanium alloys. *In Robotic Welding, Intelligence and Automation* (pp. 110-122). Springer, Berlin, Heidelberg.
38. Zou, Y., Wang, Y., Zhou, W., Chen, X. 2018. Real-time seam tracking control system based on line laser visions. **Optics & Laser Technology**, **103**, 182-192.
39. Xue, B., Chang, B., Peng, G., Gao, Y., Tian, Z., Du, D., Wang, G. 2019. A vision based detection method for narrow butt joints and a robotic seam tracking system. **Sensors**, **19**(5), 1144.
40. Nagu, M., Shanker, N.V. 2014, Image de-noising by using median filter and weiner filter. **Image**, **2**(9).
41. Watanabe, K. (1998, April). Control of an omnidirectional mobile robot. In *1998 Second International Conference. Knowledge-Based Intelligent Electronic Systems. Proceedings KES'98 (Cat. No. 98EX111)* (Vol. 1, pp. 51-60). IEEE.

42. Abdelhay, S., Zakriti, A., 2019. Modeling of a quadcopter trajectory tracking system using pid controller. **Procedia Manufacturing**, **32**, 564-571.
43. Kusuma, D. H., Ali, M., & Sutantra, N. (2016, August). The comparison of optimization for active steering control on vehicle using PID controller based on artificial intelligence techniques. In *2016 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (ISemantic)* (pp. 18-22). IEEE.
44. Kumar, M. S., 2008. Development of active suspension system for automobiles using PID controller.
45. Bingi, K., Ibrahim, R., Karsiti, M.N., Hassan, S.M., Harindran, V.R., 2019, Real-time control of pressure plant using 2DOF fractional-order PID controller. **Arabian Journal for Science and Engineering**, **44** (3), 2091-2102.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı Ömer Faruk ÇOLAKOĞLU

Uyruğu Türkiye (T.C)

Doğum Tarihi ve Yeri

Medeni Durum

e-mail

Yazışma Adresi

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği	-
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği	2004
Lise	Melikgazi Lisesi, KAYSERİ	1998

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2013-Halen	Isısan Isı San. Tic. A.Ş., Bilgi Teknolojileri Müdürü	7
2011-2013	Kelebek Mobilya, Bilgi Teknolojileri Müdürü	2
2003-2011	İstikbal Mobilya, Yazılım Geliştirme Şefi	8

YABANCI DİL

İngilizce