

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ARAÇ LASTİĞİ SIRT PROFİLİNİN BİLGİSAYARDA GÖRÜ**  
**YAKLAŞIMI İLE KONTROLÜ**

**Ramazan DUVAR**

**KOCAELİ 2012**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ARAÇ LASTİĞİ SIRT PROFİLİNİN BİLGİSAYARDA GÖRÜ**  
**YAKLAŞIMI İLE KALİTE KONTROLÜ**

**Ramazan DUVAR**

**Doç.Dr. Oğuzhan URHAN**  
**Danışman, Kocaeli Üniv.**

**Prof.Dr. Sarp ERTÜRK**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.**

**Doç.Dr. Cabir VURAL**  
**Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.**

  
.....

  
.....

  
.....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 27.08.2012**

## **ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR**

Otomotiv sektörünün gelişmesine bağlı olarak lastik üretim sektörü de gelişmekte , üretim kapasitesi artmaktadır. Bu üretim kapasitesi artışı , tüketici memnuniyetinin sağlanması gerekliliği ve güvenlik gibi nedenlerden dolayı üretilen ürünlerin üretim esnasında veya sonrasında incelenmesi ve kalite kontrolünden geçirilmesi ihtiyacı doğmaktadır.

Bu tez çalışmasında, kamera ve çizgi lazer kullanarak lastik sırt profillerinin ölçülerini hesaplayan ve kontrol eden bir sistem geliştirilmiştir. Yapılan çalışmaların bu alanda çalışacak araştırmacılara yararlı olmasını dilerim.

Bu konuda çalışma yapmama olanak sağlayan, çalışmamın her aşamasında ilgi ve desteğini eksik etmeyen değerli hocalarım Doç. Dr. Oğuzhan Urhan'a, Yrd. Doç. Dr. Kemal Güllü'ye ve Prof. Dr. Sarp Ertürk'e, çalışma ekibinde benimle birlikte yer alan Ahmet Burak Gökbayrak'a ve son olarak benim için hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen babam Ahmet Duvar'a ve annem Hidayet Duvar'a teşekkür ederim.

Bu çalışma Bilim, Teknoloji ve Sanayi Bakanlığı tarafından 00795.STZ.2011-1'nolu Sanayi Tezleri (SANTEZ) projesi kapsamında desteklenmiştir.

Ağustos - 2012

Ramazan DUVAR

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR .....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT .....	vii
GİRİŞ .....	1
1. PROBLEM TANIMI.....	4
2. LASTİK PROFİLİ ÖLÇÜM SİSTEMİ DONANIMI.....	8
3. LASTİK PROFİLİ ÖLÇÜM YAKLAŞIMI .....	12
3.1. Giriş.....	12
3.2. Lastik Profilinin Görüntü İşleme ile Ölçümü.....	12
3.2.1. Kamera kalibrasyonu .....	12
3.2.2. Perspektif bozunumun düzeltilmesi.....	15
3.2.3. Gürültü giderimi .....	19
3.2.4. Kenar bulma.....	21
3.2.5. Lazer çizgisinin inceltilmesi .....	24
3.2.6. Ölçüm kalibrasyonu ve modelin ölçülerinin hesaplanması .....	25
3.2.7. Kameralardan alınan ölçümlerin birleştirilmesi .....	29
3.3. Kullanıcı Arayüzü .....	32
4. ÖLÇÜM SİSTEMİ İLE ELDE EDİLEN DENEYSEL SONUÇLAR.....	37
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	40
KAYNAKLAR .....	41
KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER.....	43
ÖZGEÇMİŞ .....	44

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Araç lastiği üretim aşamaları .....	5
Şekil 1.2. Örnek bir lastik sırt imgesi.....	5
Şekil 1.3. Ekstrüder makinası .....	6
Şekil 1.4. Üretim bandında akan örnek bir lastik sırtı .....	6
Şekil 1.5. Örnek bir lastik sırtının üstten görünümü .....	7
Şekil 1.6. Örnek bir lastik sırtının üretimi sırasında alınan görüntü .....	7
Şekil 2.1. Ölçüm sisteminin genel yapısı.....	8
Şekil 2.2. Kullanılan kameralar.....	9
Şekil 2.3. Örnek bir çizgi lazer kaynağı.....	10
Şekil 2.4. Çizgi lazerin lastik sırtına iz düşürülmesiyle elde edilen örnek görüntü .	10
Şekil 2.5. Ölçüm sistemi kutusunun örnek tasarımı.....	11
Şekil 2.6. Ölçüm sisteminin kutusunun üst parçası.....	11
Şekil 3.1. Görüntü işleme yazılımının akış şeması .....	13
Şekil 3.2. Dairesel bozunumun gerçekleşmesi.....	14
Şekil 3.3. Kameraların yerleşimi.....	15
Şekil 3.4. Perspektif bozunumu gidermek için tasarlanan şablon.....	16
Şekil 3.5. Şablon üzerinde kameraların gördüğü bölümler.....	16
Şekil 3.6. Perspektif bozunumun etkisi.....	17
Şekil 3.7. Perspektif bozunum düzeltilmiş imge.....	19
Şekil 3.8. Benek gürültüsü bulunan örnek görüntü(kırmızı kanal).....	20
Şekil 3.9. Ortanca süzgecin uygulaması .....	20
Şekil 3.10. Benek gürültüsü giderilmiş görüntü(kırmızı kanal).....	21
Şekil 3.11. Ön işlemlerden geçirilmiş örnek bir imge .....	21
Şekil 3.12. Canny algoritması ile kenar bulma işlemi yapılmış örnek bir imge .....	22
Şekil 3.13. Boş bölgelerin bulunduğu örnek bir imge .....	23
Şekil 3.14. Boş bölge problemlerinin giderildiği bir imge.....	23
Şekil 3.15. İmge üzerindeki lazer çizgisinin karakteristiği .....	24
Şekil 3.16. Lazer çizgisi inceltilerek iskeleti çıkartılmış örnek bir görüntü .....	25
Şekil 3.17. Tasarlanan kalibrasyon parçası .....	26
Şekil 3.18. Piksel-Gerçek ölçü grafiği .....	27
Şekil 3.19. Yatay kalibrasyon için kullanılan imge .....	28
Şekil 3.20. Sol-üst kameradan elde edilen iskelet.....	29
Şekil 3.21. Sağ-üst kameradan elde edilen iskelet .....	29
Şekil 3.22. Ölçümlerin birleştirilmesi için tasarlanan model.....	30
Şekil 3.23. Bir kameranın gördüğü perspektif bozunumu düzeltilmiş görüntü .....	30
Şekil 3.24. Ölçümlerin birleştirilmesi için kullanılan referans noktalar .....	31
Şekil 3.25. İki kameradan alınan verilerin farklı renklerle gösterilmesi.....	31
Şekil 3.26. Kameralardan alınan verilerin birleştirildiği örnek bir görüntü.....	32
Şekil 3.27. Ağ yapısı şeklinde oluşturulan model.....	32
Şekil 3.28. Örnek bir lastik sırt grafiği.....	33
Şekil 3.29. Alınan örnek ölçümler .....	33
Şekil 3.30. Arayüz programında asıl model ölçülerini kaydetme.....	34

Şekil 3.31. Kalibrasyon arayüzü .....	35
Şekil 3.32. Kamera parametrelerini ayarlama arayüzü .....	35
Şekil 3.33. Sistem arayüzünün genel görünümü .....	36
Şekil 4.1. Alınan örnek bir ölçüm sonucu.....	38
Şekil 4.2. Ölçüm sisteminin örnek bir görüntüsü.....	38
Şekil 4.3. Üretim bandına monte edilmiş ölçüm sisteminin uzaktan görüntüsü.....	39
Şekil 4.4. Üretim bandına monte edilmiş ölçüm sisteminin yakından görüntüsü....	39

## **SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR**

### **Kısaltmalar**

OpenCV: Open Source Computer Vision (Açık Kaynak Bilgisayarda Görü )

OpenGL: Open Graphics Library (Açık Grafik Kütüphanesi)

## **ARAÇ LASTİĞİ SIRT PROFİLİNİN BİLGİSAYARDA GÖRÜ YAKLAŞIMI İLE KALİTE KONTROLÜ**

### **ÖZET**

Bu tez çalışmasında araç lastik üniformitasını, balansını ve performansını etkileyen sebeplerin (iç gerilmeler) ortaya çıkarılmasında yönelik çevrimiçi bir ölçüm sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilmiş olan ölçüm sistemi üç adet çizgi lazer ve dört adet kameradan oluşmaktadır. Çizgi lazer ölçümü alınacak olan lastik profilinin üzerine düşürülerek lastik profilinin modeli çıkartılmaktadır. Kamera ile alınan görüntülere imge eşikleme, süzgeç uygulama gibi işlemler uygulanmaktadır. Boyutları bilinen bir kalibrasyon cismi ile kamera kalibrasyonu yapıldıktan sonra kalibrasyon verilerine göre lastik profilinin modeli oluşturulmuştur. Geliştirilmiş olan sistem 0,12 mm doğrulukla lastik profilinin modelini oluşturabilmektedir. Ayrıca bu tez çalışması kapsamında alınan anlık ölçümleri gözlemek ve kontrol etmek amacıyla grafiksel bir kullanıcı arayüzü geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çizgi Lazer, Kamera, Lastik, Ölçüm Sistemi



## **QUALITY CONTROL OF VEHICLE TYRE TREAD PROFILES USING COMPUTER VISION APPROACH**

### **ABSTRACT**

In this thesis study, an online three-dimensional profile measurement systems in order to determine reasons, internal tensions etc., which affect tyre uniformity, balance and performance has been developed. Measurement system that was developed consists of three line laser and four cameras. Three dimensional model of the tyre profile has been reconstructed by projection of the line laser onto the tyre surface. Operations such as thresholding, filtering have been applied to the captured images. After camera calibration has been done using calibration object, the three dimensional model has been reconstructed. The measurement system developed , is able to obtain 3-dimensional model of the tyre profile with 0,12 mm accuracy. After 3-dimensional model is obtained, a graphical user interface is developed in order to monitoring three dimensional mesh and measurements taken on the tyre.

**Keywords:** Line Laser, Camera, Tyre, Measurement System

## GİRİŞ

Otomobil lastikleri hareketsiz arabayı taşımak, kalkış ve fren anında ortaya çıkan büyük yük transferlerine mukavemet göstermek, fren yapıldığında ve viraj alırken motorun gücünü yola aktarmak, zevkli bir sürüş için güven içinde ve uzun müddet dayanmak, yolun durumu ve iklim şartları ne olursa olsun aracı emniyetle yönlendirmek, şoförün ve yolcuların konforunu sağlamak, aracın uzun ömürlü olması için yoldaki pürüzlerin etkisini azaltmak, performansını milyonlarca lastik devri boyunca en üst düzeyde tutmak için uzun ömürlü olmak gibi görevleri ve kıstasları yerine getirmelidir [1]. Otomotiv sektörünün gelişmesine bağlı olarak lastik üretim sektörü de gelişmekte, üretim kapasitesi artmaktadır. Bu üretim kapasitesi artışı, tüketici memnuniyetinin sağlanması gerekliliği ve güvenlik gibi nedenlerden dolayı üretilen ürünlerin üretim esnasında veya sonrasında incelenmesi ve kalite kontrolünden geçirilmesi ihtiyacı doğmaktadır.

Lastik profilleri için üretimden önce bir kalıp tasarlanmakta ve lastik sırt profili bu kalıba göre üretilmektedir. Bir kalıba göre üretildiklerinden dolayı lastik sırt profillerinin sağlanması gereken ölçüler vardır. Sağlıklı bir üretim için bu kalıpların ölçüleri ve deformasyona uğramaması çok önemlidir.

Araç lastik sırtları çevrimdışı ve çevrimiçi olmak üzere iki şekilde kalite kontrolünden geçirilebilir. Çevrimdışı kalite kontrolünde üretim sonra erdikten sonra lastik profilinden örnek alınmakta ve bu örnek kontrol edilmektedir. Çevrimiçi ölçüm sistemlerinde ise lastik sırt profili ekstruder hattı çıkışında incelenmektedir. Üretime gerçek zamanlı olarak müdahale edebilmek için lastik sırt profilinin ekstruder çıkışında kontrol edilmesi en doğru olan yöntemdir.

[2]'de optik veya lazer temelli tahripsiz kontrol (non-destructive testing, NDT) yöntemleri ele alınarak bu yöntemlerin giderek artan kullanım alanları vurgulanmaktadır.

[3]'de otomotiv lastik profil ölçümü için optik, akustik ve görüntüleme temelli üç farklı tahripsiz kontrol yöntemi ele alınmıştır. Bu yüksek lisans tezi esnasında yapılan laboratuvar çalışmalarında farklı yöntemlerin gereksinim ve başarımları ele alınmış ve bu çalışmaların sonucunda ışık örüntüsü ve kamera kullanılan üçgenleme temelli sistemin gerçekleştirilmesine karar verilmiştir.

[4]'de lastik kablo için süreç içi lazer temelli kalınlık ölçümü sistemi ele alınmaktadır. Bu çalışmada lazer üçgenleme temelli yaklaşımın doğrulama işlemleri ele alınarak, malzemenin sadece bir tek yönünün (üst tarafının) taranmasının kontrol edildiği bir düzenekte ilgili sistemin sorunsuz çalıştırılabildiği gösterilmiştir.

[5]'de temassız profil ölçümü için üçgenleme temelli bir mesafe ölçer sunulmaktadır. Bu amaçla nesne lazer ile aydınlatılmakta ve kamerada görüntülenmektedir. Aydınlatma açısı, kameranın bakış açısı ve kamera ile lazer kaynağı arasındaki taban çizgisi ölçülecek nesnenin 3-boyutlu şekli ve derinliğinin tespit edilebilmesini sağlayan üçgenleme geometrisini tanımlamaktadır.

[6]'da Bytewise firması tarafından geliştirilen çevrimdışı lastik sırtı ölçüm sistemi verilmiştir. Bu ölçüm sistemi iki adet kamera ve iki adet çizgi lazer kullanarak lastik sırtından alınan bir parçanın ölçümünü yapmaktadır. Bir adet kamera ve çizgi lazer lastik sırtının üst bölgesine bakacak şekilde, bir adet kamera ve çizgi lazer ise lastik sırtının alt bölgesine bakacak şekilde konumlandırılmıştır. Alınan lastik sırtı örneği sistem tarafından kamera ve çizgi lazerin hareketiyle taranmakta ve alınan örneğin ölçüleri hesaplanmaktadır. Bu sistemin dezavantajı çevrimdışı olarak ölçüm yapmasıdır. Alınan belirli bir örnek kontrol edildiği için üretilen lastik sırtının tamamı hakkında yorum yapılamamaktadır.

[7]'de ise Bytewise firması tarafından geliştirilen çevrimiçi lastik sırtı ölçüm sistemi verilmiştir. Bu sistem üretim bandına monte edilmekte kamera ve çizgi lazer yardımıyla lastik sırt profiline anlık olarak ölçüm yapılmaktadır. Ölçümü yapılacak olan lastik sırtının genişliğine göre sistemdeki kamera ve çizgi lazer sayısı belirlenmektedir. Sistemde dört adet kamera kullanılıyorsa iki adet kamera ve iki adet çizgi lazer lastik sırtının üst bölgesine, iki adet kamera ve iki adet de çizgi lazer de lastik sırtının alt bölgesine bakacak şekilde konumlandırılmaktadır.

Bu tez çalışmasında çizgi lazer ve kamera kullanarak ölçüm yapan çevrimiçi bir ölçüm sistemi geliştirilmiştir. Kullanılan sistemde 3 adet çizgi lazer, 4 adet kamera bulunmaktadır.

Tez kapsamında ilk olarak lastik üretim aşamalarından ve lastik sırtının bu üretimdeki yerinden bahsedilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde kullanılan donanım parçalarından, kameraların ve çizgi lazerlerin yerleşiminden ve tasarlanan kutudan bahsedilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde doğru bir ölçüm alabilmek için yapılması gerekli olan kamera kalibrasyonu ve perspektif bozunumu düzeltimi işlemleri açıklanmıştır. Bu bölümde ayrıca görüntülere uygulanan gürültü giderimi, kenar bulma gibi işlemlerden bahsedilmiştir. Görüntü uzayından gerçek uzaya geçmek için kamera kalibrasyonundan farklı olarak gerçek ölçülere geçebilmek için de kalibrasyon yapılması gerekmektedir. Bu bölümde yatay ve düşey kalibrasyon işlemlerinden ve 4 kameradan ayrı olarak alınan ölçümlerin birleştirilmesi de ele alınmıştır. Bu bölümde son olarak geliştirilen arayüz programından ve bu programın özelliklerinden bahsedilmiştir.

Tez çalışmasının dördüncü bölümü olan deneysel sonuçlar kısmında sistemin doğruluğunu ölçmek için yapılan testler ve alınan örnek ölçümler verilmiştir.

Çalışmanın son kısmında ise gerçekleştirilen sistem hakkında genel değerlendirme yapılmış ve öneriler sunulmuştur.

## 1. PROBLEM TANIMI

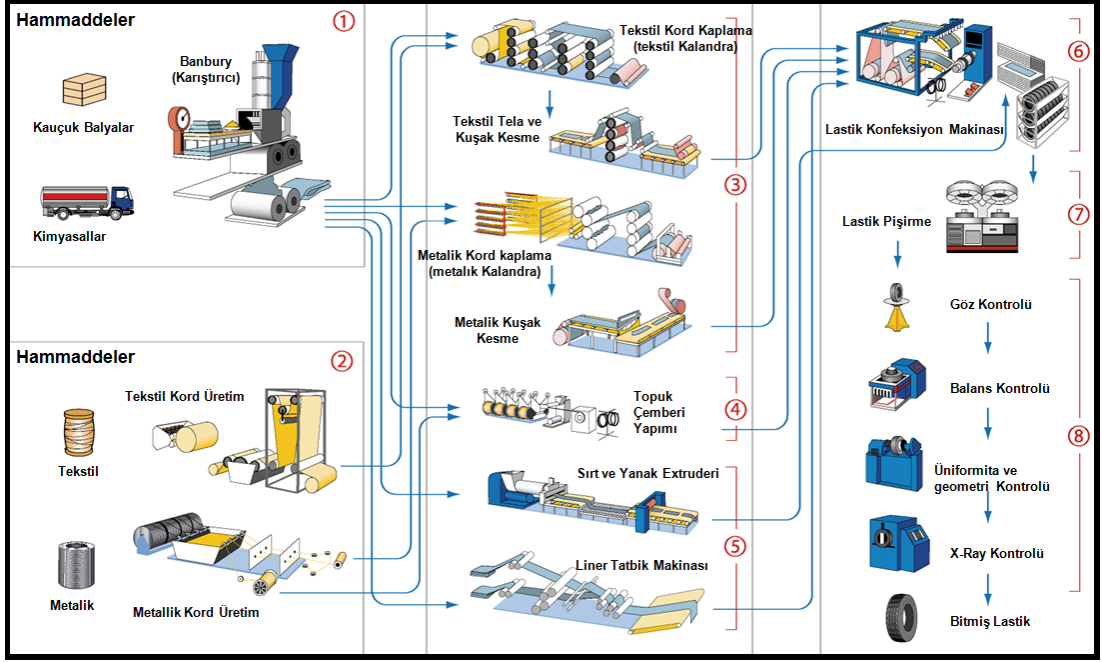
Lastik; kauçuk, kord bezi ve çelik teller ile çok farklı kimyasal maddelerin bileşiminden oluşan ve aracın yol ile temasını sağlayan tek ve en önemli parçasıdır.

Lastik, üzerindeki belirli bir yükü, (lastik üreticilerinin belirlediği yük endeksini) gerekli yüksek basınçlı havayı muhafaza ederek taşır. Aracın ürettiği gücünün zemin yüzeyine transferini sağlayarak, motorun yarattığı tork ve aktarma organlarından gelen kuvvet ile aracın hareketlerini/çekişini ve fren sisteminin yarattığı frenleme kuvveti ile de durmasını sağlar. Sürücü kontrolü ile aracın, yüksek hızlarda düz bir hatta ilerlemesini, slalom ve benzeri manevralar yapıldığında ve virajlarda savrulmasını önleyerek araç emniyetini sağlar [8].

Bir çok malzemenin üretiminde olduğu gibi araç lastikleri de üretimde çeşitli aşamalardan geçmektedir. Araç lastiği üretim aşamaları Şekil 1.1'de verilmiştir.

Araç lastiği üretilirken ilk olarak kauçuk, silikon gibi hammaddeler alınmakta ve mikserlerde karıştırılmaktadır. Lastik sırtı veya yanağı üretilmek isteniyorsa oluşturulan karışım ekstrudere gönderilir. Lastik sırtı üretilen bir lastiğin %30'u ile %50'si arasındaki bir ağırlığa karşılık gelmektedir. Üretilen lastik sırtı lastik karkasına sarılır ve lastik pişirme makinasına gönderilir. Buradaki kalıplar yardımıyla lastik temel şeklini alır ve çeşitli kontrollerden sonra lastik üretimi tamamlanır.

Lastik sırtı üretimi araç lastiği üretimindeki en önemli aşamalardan birisidir. Lastik sırtı üretimindeki hatalar lastik geometrisinde bozukluğa neden olmaktadır. Lastik geometrisindeki bozukluklar ise lastik balansını etkilemektedir. Lastik sırtının olması gerekenden daha hafif veya daha ağır olması lastiğin dönme direncini etkilemektedir. Lastik sırtının olması gerekenden daha ağır olması da üretimde maliyet artışına neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı lastik sırtının üretim aşamasında kontrol edilmesi gerekmektedir.



Şekil 1.1. Araç lastiği üretim aşamaları [9]

Lastik profilleri için üretimden önce bir kalıp tasarlanmakta ve ekstruderde lastik sırt profili bu kalıba göre üretilmektedir. Bir kalıba göre üretildiklerinden dolayı lastik sırt profillerinin sağlaması gereken ölçüler vardır ve bu kalıpların ölçüleri ve deformasyona uğramaması çok önemlidir. Çevrimiçi ölçüm sistemlerinde ise lastik sırt profili ekstruder hattının çıkışında incelenmektedir. Üretime gerçek zamanlı olarak müdahale edebilmek, lastik sırt profillerinin istenen ölçülere göre doğru bir şekilde üretilmesini sağlamak için lastik sırt profilinin ekstruder çıkışında kontrol edilmesi en doğru olan yöntemdir. Şekil 1.2'de örnek bir lastik sırtı verilmiştir.



Şekil 1.2. Örnek bir lastik sırtı imgesi

Bu tez çalışmasında Şekil 1.3'de verilen örnek bir ekstrüder makinasına monte edilebilecek şekilde, 300 mm genişliğe ve 20 mm kalınlığa sahip lastik sırt profillerini düşeyde 0,3 mm ve yatayda 3 mm doğrulukla ölçebilen, kamera ve çizgi lazer kullanan bir ölçüm sistemi geliştirmek amaçlanmıştır.



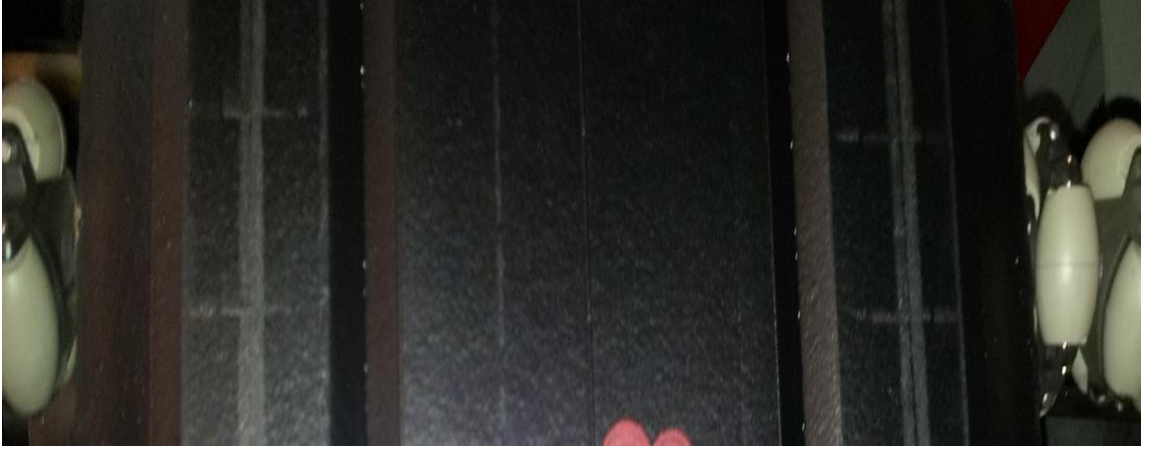
Şekil 1.3. Ekstrüder makinası

Şekil 1.4'de üretim bandında akan örnek bir lastik sırtı verilmiştir.



Şekil 1.4. Üretim bandında akan örnek bir lastik sırtı

Şekil 1.5'de örnek bir lastik sırtının üstten görünümü verilmiştir.



Şekil 1.5. Örnek bir lastik sırtının üstten görünümü

Şekil 1.6'da örnek bir lastik sırtının üretimi sırasında alınan bir görüntü verilmiştir.

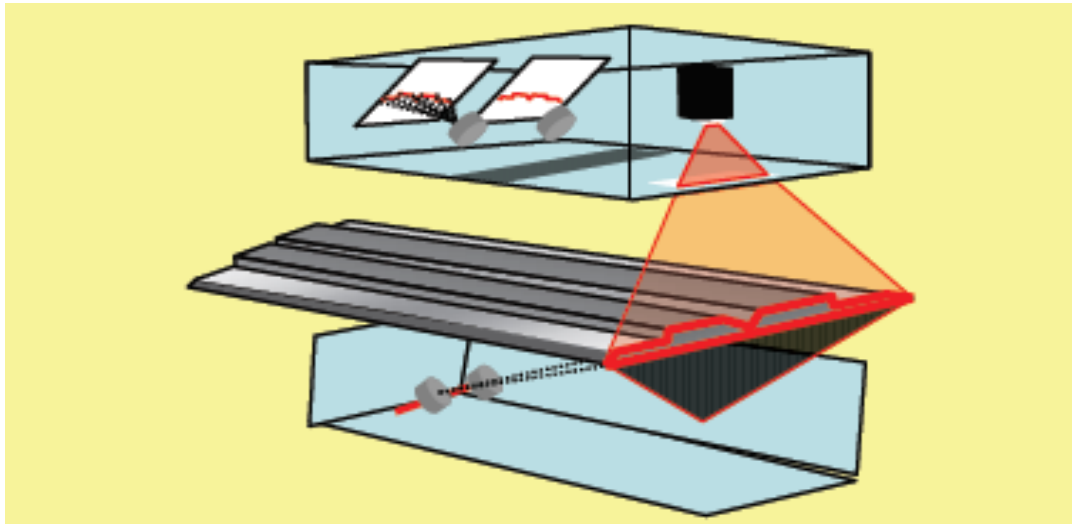


Şekil 1.6. Örnek bir lastik sırtının üretimi sırasında alınan görüntü



## 2. LASTİK PROFİLİ ÖLÇÜM SİSTEMİ DONANIMI

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilmiş olan ve blok şeması Şekil 2.1'de gösterilen dört kameralı sistemle aynı anda hem üst hem de alt taraftan lastik sırt profiline çizgi lazer düşürülerek her iki tarafta bulunan kameralarla alınan görüntülerin işlenmesi sonucunda lastik sırtının çift taraflı profili çıkarılabilmektedir.



Şekil 2.1. Ölçüm sisteminin genel yapısı

Kameralarla düzlem arasındaki açı azaldığında aralarındaki geometriden dolayı ölçüm hassasiyeti de artmaktadır. Fakat bu açının gereğinden fazla azalması bakış açısını bozmaktadır. Kameraların uzakta olması ölçüm hassasiyetini düşürmekte, çok yakında olması ise genişlikleri 10 ile 25 cm arasında değişen lastik sırtlarının tamamının ölçülmesini engellemektedir. Yatayda ve düşeyde ölçüm hassasiyetini arttırmak, lastik sırtlarının genişliklerini sorunsuz bir şekilde ölçebilmek 4 adet kamera kullanan bir sistem tasarlanmıştır.

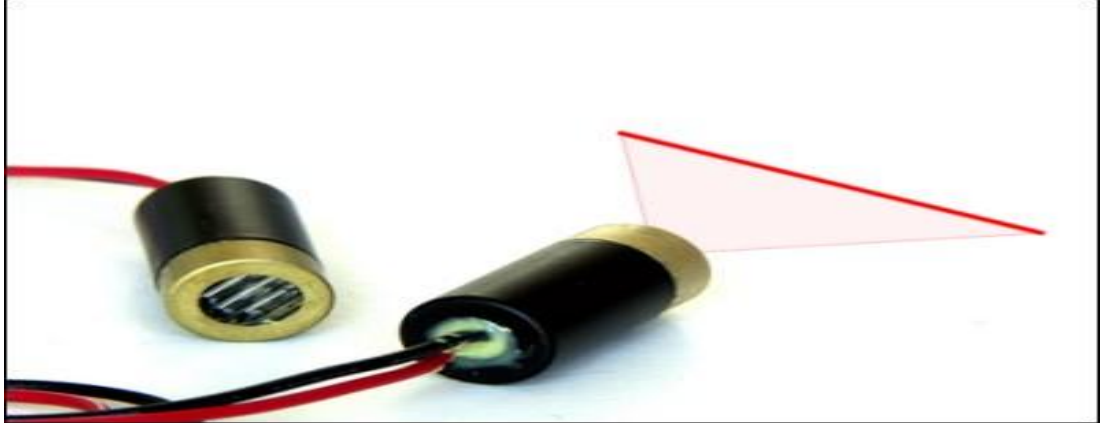
Kalite kontrolünde alınan ölçüm sayısının fazla olması üretilen ürün hakkında daha doğru bir değerlendirme yapılmasını ve üretime zamanında müdahale edilebilmesini sağlar. Bu bağlamda daha çok ölçüm alabilmek için kullanılan kameraların yüksek

çerçeve/saniye oranlarında görüntü alması gerekmektedir . Bu kriter gözönüne alınarak Basler firmasının Gig-E (gigabit ethernet) teknolojisiyle çalışan endüstriyel kameraları tercih edilmiştir. Kullanılan kameralar 2590 x 1944 piksel çözünürlüğünü desteklemektedir. Şekil 2.2'de kullanılan kameralar verilmiştir.



Şekil 2.2. Kullanılan kameralar

Lastik sırt profilini doğru bir şekilde ölçebilmek için kullanılacak olan çizgi lazerin seçimi de çok önemlidir. Doğru ölçümler alabilmek için çizgi lazerin lastik üzerine iz düşürülen kısmının belirli bir kalınlığın altında olması gerekmektedir. Lastik sırtına iz düşürülen kalın bir lazer çizgisi ölçümde bozulmalara neden olabilir. Çizgi lazer ışını belirli bir merkezden çıkmakta ve yayılmaktadır. Çizgi lazer ışığı özellikle kenar bölgelerde zayıflayabilir. Çizgi lazer ışığının lastik sırtına zayıflayarak düşmesi yada bazı bölgelerde hiç düşmemesi alınan ölçümlerin doğru olmasını engellemektedir. Lastik sırtının düz bir şekle sahip olmaması da göz önüne alınarak lastik sırtının üst profilini çıkarmak için iki adet çizgi lazer kullanılmıştır. Lastik sırtının alt profili düz bir yapıda olduğu için alt profilini çıkarmak için bir adet çizgi lazer yeterli görülmüştür. Kullanılan çizgi lazerler 75 mW gücündedir. Şekil 2.3'de örnek bir çizgi lazer kaynağı verilmiştir. Şekil 2.4'de çizgi lazer ışığının lastik sırtının üzerine iz düşürülmesiyle elde edilen örnek bir görüntü verilmiştir. Seçilen çizgi lazer kırmızı renkte lazer ışığı yaymaktadır.

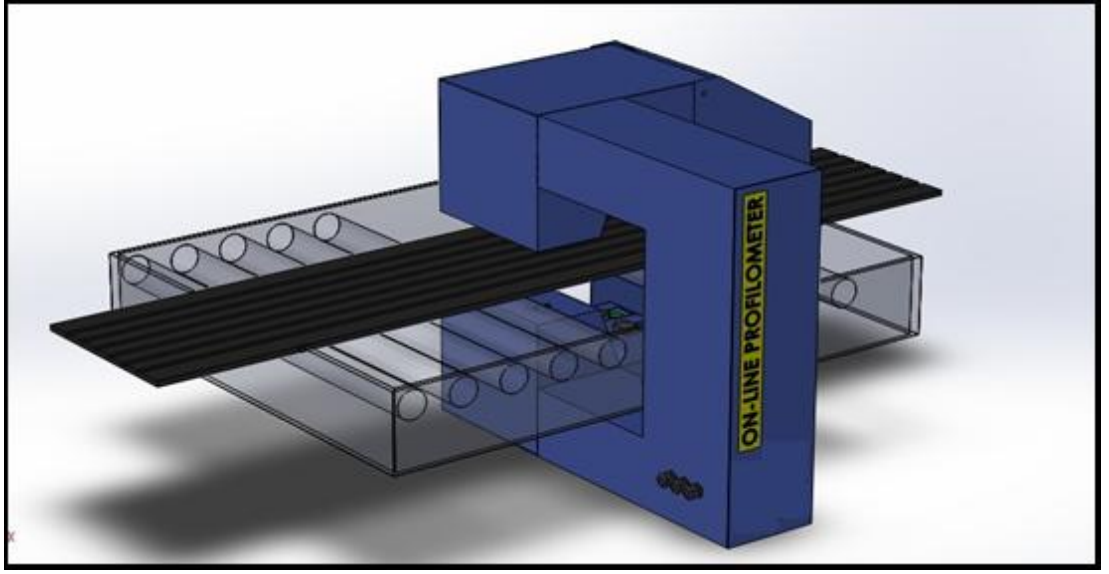


Şekil 2.3. Örnek bir çizgi lazer kaynağı

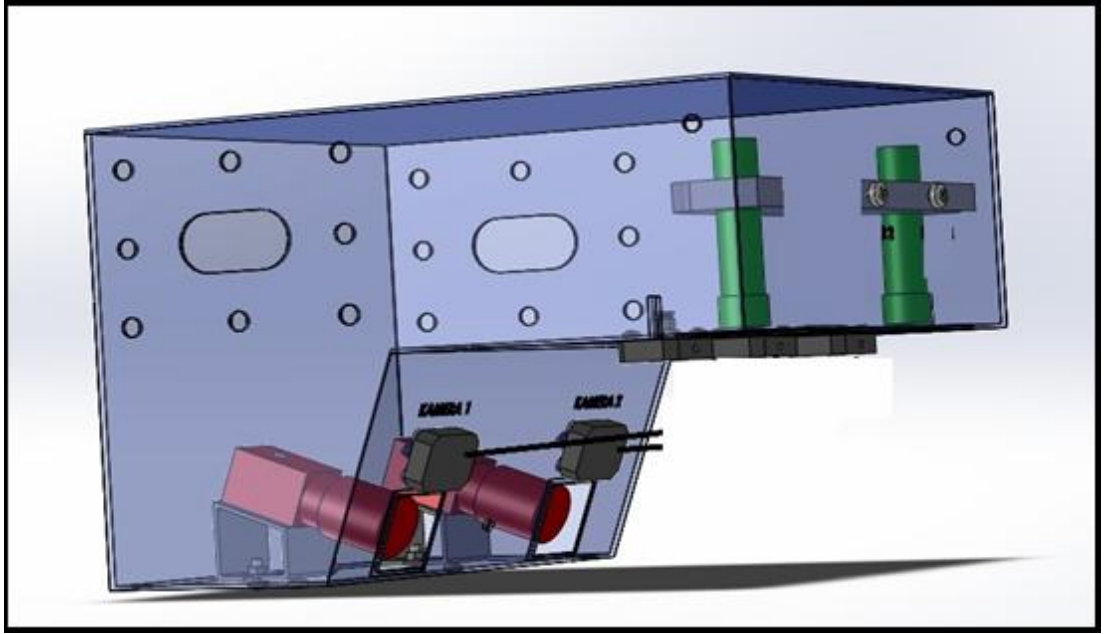


Şekil 2.4. Çizgi lazerin lastik sırtına iz düşürülmesiyle elde edilen örnek görüntü

Lastik sırt profilleri üretim bandında ekstruder hattının çıkışında incelenmektedir. Ölçüm sistemi de bu üretim bandına takılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Sistem 4 adet kamera ve 3 adet çizgi lazerden oluşmaktadır. Ölçüm sistemi kutusunun tasarımı Solidworks programı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da bu tasarımın örnek çıktıları vardır. Ayrıca tasarlanan kutu yardımıyla ölçüm yapılan bölge ışıktan yalıtılmıştır. Böylece imge üzerine iz düşürülen çizgi lazerin bulunması kolaylaştırılmış ayrıca hesap yükü ağır işlemlerden kaçılarak daha basit işlemlerle ölçüm alınabilmesi sağlanmıştır.



Şekil 2.5. Ölçüm sistemi kutusunun örnek tasarımı



Şekil 2.6. Ölçüm sisteminin kutusunun üst parçası

### **3. LASTİK PROFİLİ ÖLÇÜM YAKLAŞIMI**

#### **3.1. Giriş**

Bu tez çalışmasında geliştirilen lastik profili ölçümü sisteminin bilgisayar yazılımı görüntü işleme ve arayüz olmak üzere iki parça halinde ele alınmıştır. Görüntü işleme bölümünde ölçüm aşamasına kadar görüntülere uygulanan işlemlerden açıklanmış, arayüz bölümünde ise arayüzden ve sağladığı özelliklerden bahsedilmiştir.

#### **3.2. Lastik Profilin Görüntü İşleme ile Ölçümü**

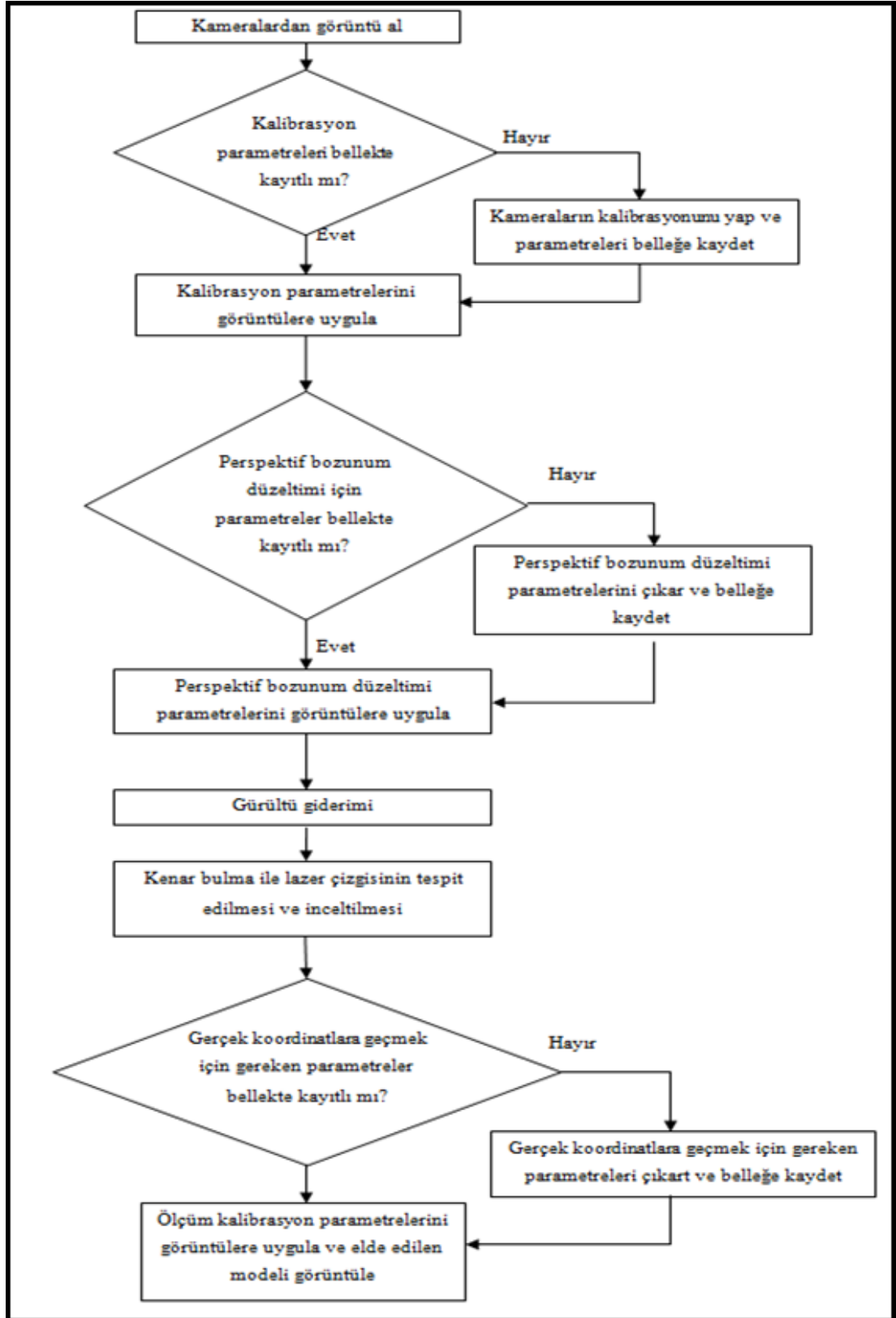
Bu tez çalışması kapsamında lastik profili ölçümü için geliştirilen yaklaşımın akış şeması Şekil 3.1'de verilmiştir.

Aşağıdaki alt bölümlerde Şekil 3.1'de verilen blokların detayları açıklanmaktadır.

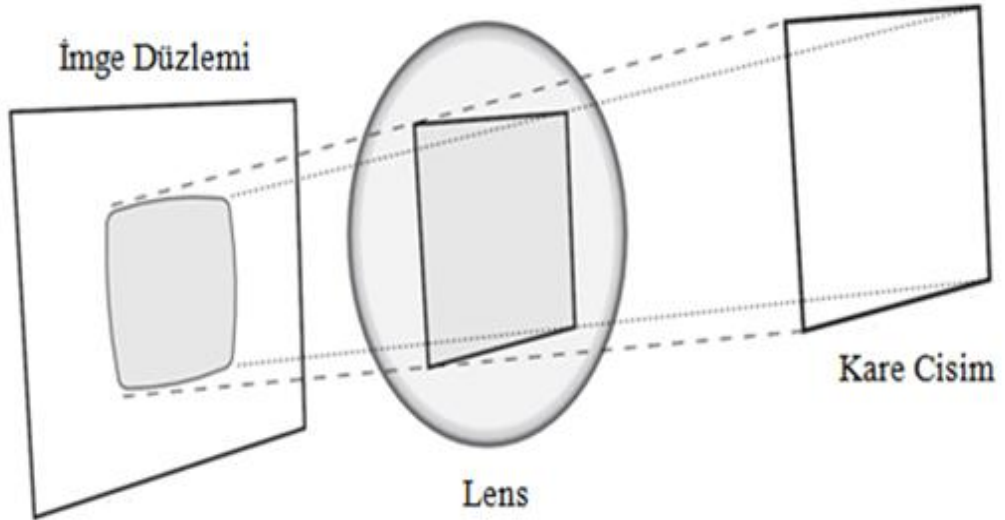
##### **3.2.1. Kamera kalibrasyonu**

Teoride bir lensi bozunumsuz olarak tanımlamak mümkündür. Fakat bu durum pratikte geçerli değildir. Küresel bir lensin üretimi ideal bir parabolik bir lensin üretimine göre çok daha kolaydır. Bu nedenle üreticiler küresel lensler üretmekte ve bu da lenslerin dairesel ve teğetsel bozunma olmak üzere iki tür bozunuma sahip olmasına neden olmaktadır [10].

Bazı lens türlerinde lens merkezinden uzakta olan ışınlar bozunuma uğrarlar. Bazı lenslerde ise bu etki olması gerekenden fazladır. Bu etki fiçı (barrel) bozunumu veya dairesel bozunum olarak adlandırılır [10]. Dairesel bozunumun nasıl gerçekleştiği Şekil 3.2'de gözükmektedir.



Şekil 3.1. Görüntü işleme yazılımının akış şeması



Şekil 3.2. Dairesel bozunumun gerçekleşmesi [10]

Dairesel bozunumda imge merkezinde bozunum yoktur ve imge merkezinden uzaklaştıkça bozunum artar. Bu bozunum Taylor serileriyle açıklanabilir. Dairesel lens bozunumunu düzeltmek için gereken eşitlikler Denklem (3.1) ve (3.2)'de verilmiştir [10].

$$x_{\text{corrected}} = x(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \quad (3.1)$$

$$y_{\text{corrected}} = y(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \quad (3.2)$$

Bu denklemlerde  $x$  ve  $y$  bozunumun mevcut olduğu imgedeki piksel konumlarını,  $x_{\text{corrected}}$  ve  $y_{\text{corrected}}$  ise imgedeki fiçı (barrel) bozunumu düzeltildiğinde  $x$  ve  $y$  piksellerinin alacağı yeni konumu temsil etmektedir.  $k$  parametreleri ise fiçı (barrel) bozunumu katsayılarıdır.

Lensin görüntü düzlemine tam olarak paralel yerleştirilememesinden dolayı da teğetsel (tangential) bozunum ortaya çıkmaktadır. Teğetsel bozunum  $p_1$  ve  $p_2$  olmak üzere iki parametreyle açıklanabilir. Teğetsel bozunumu düzeltmek için gereken eşitlikler Denklem (3.3) ve (3.4)'de verilmiştir [10].

$$x_{\text{corrected}} = x + [2p_1 y + p_2 (r^2 + 2x^2)] \quad (3.3)$$

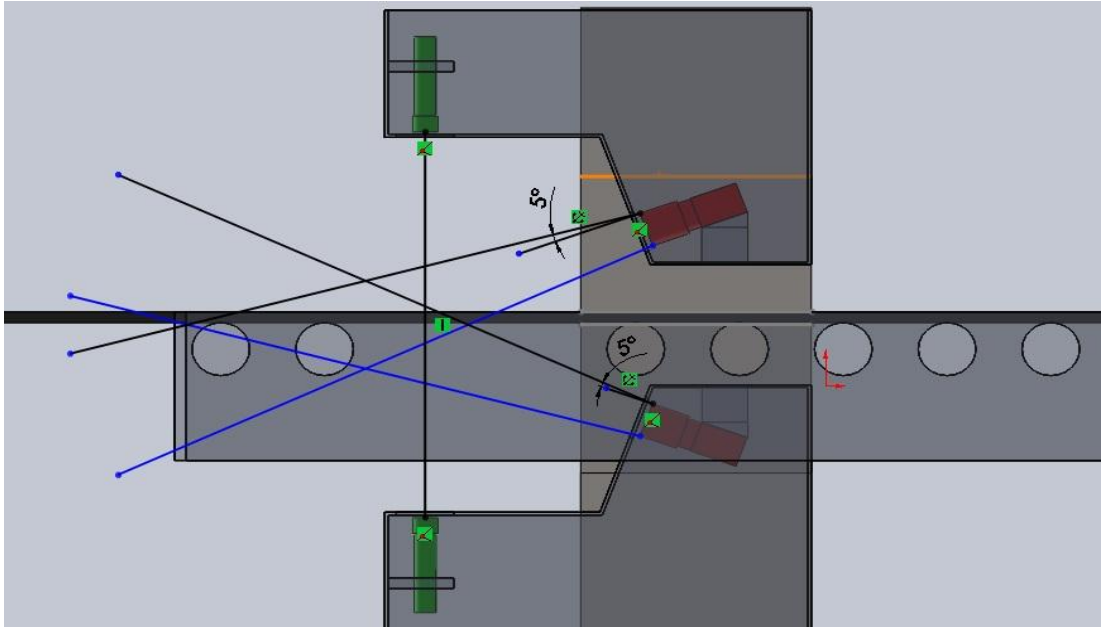
$$y_{\text{corrected}} = y + [2p_1 x + p_2 (r^2 + 2y^2)] \quad (3.4)$$

Bu denlemlerde  $x$  ve  $y$  bozunumunun mevcut olduğu imgedeki piksel konumlarını,  $x_{corrected}$  ve  $y_{corrected}$  ise imgedeki teğetsel (tangential) bozunumu düzeltilmiş  $x$  ve  $y$  piksellerinin alacağı konumu temsil etmektedir.  $p$  parametreleri ise teğetsel (tangential) bozunum katsayılarıdır [10].

Çalışmanın bu aşamasında alınan görüntülerdeki lens bozunumunu gidermek amaçlanmıştır. INTEL tarafından geliştirilmiş olan OpenCV kütüphanesi lens bozunumunu düzeltmek ve kamera kalibrasyonunu yapmak için fonksiyonlar sunmuştur. OpenCV kütüphanesi yardımıyla bir kalibrasyon şablonu (pattern) kullanarak lens bozunumunu düzeltilebilir. OpenCV kütüphanesi kamera kalibrasyonu işlemi için Zhang algoritmasını kullanmaktadır [11]. Bu tez çalışmasında da lens bozunumunu gidermek için gereken parametreleri çıkarmak ( $k_1, k_2, k_3, p_1, p_2$ ) ve bunları görüntüye uygulayarak lens bozunumu olmayan görüntüler elde etmek OpenCV kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.2. Perspektif bozunumunun düzeltilmesi

Bu tez kapsamında geliştirilen ölçüm sisteminde kameraların yerleşimi ve lastik sırtlarına bakış açısı Şekil 3.3'de görüldüğü gibidir.

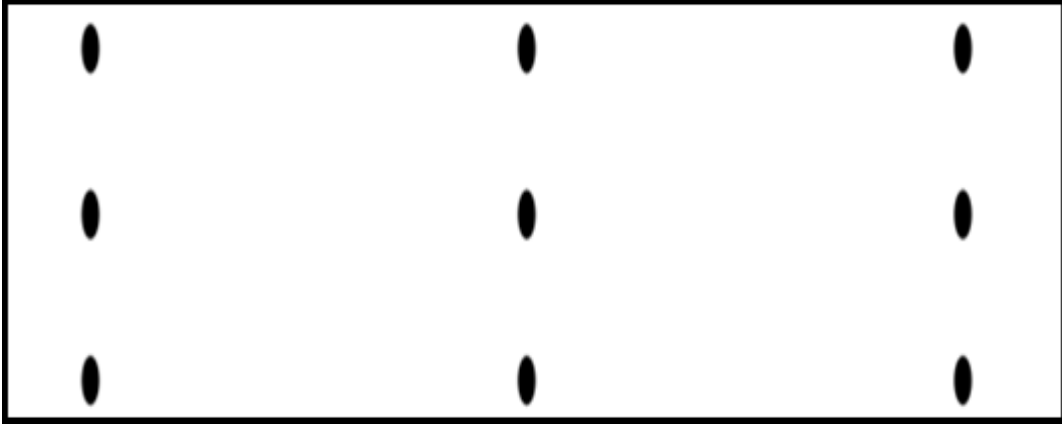


Şekil 3.3. Kameraların yerleşimi



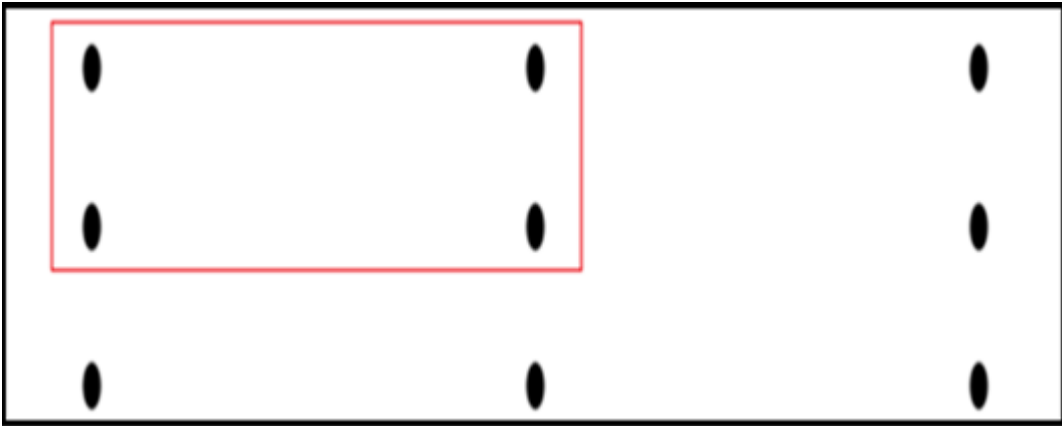
Kameralarla düzlem arasındaki açı azaldığında aralarındaki geometriden dolayı ölçüm hassasiyeti de artmaktadır. Fakat bu açının gereğinden fazla azalması bakış açısını bozmaktadır.

Perspektif bozunumu düzeltmek için Şekil 3.4'deki gibi bir şablon tasarlanmıştır.



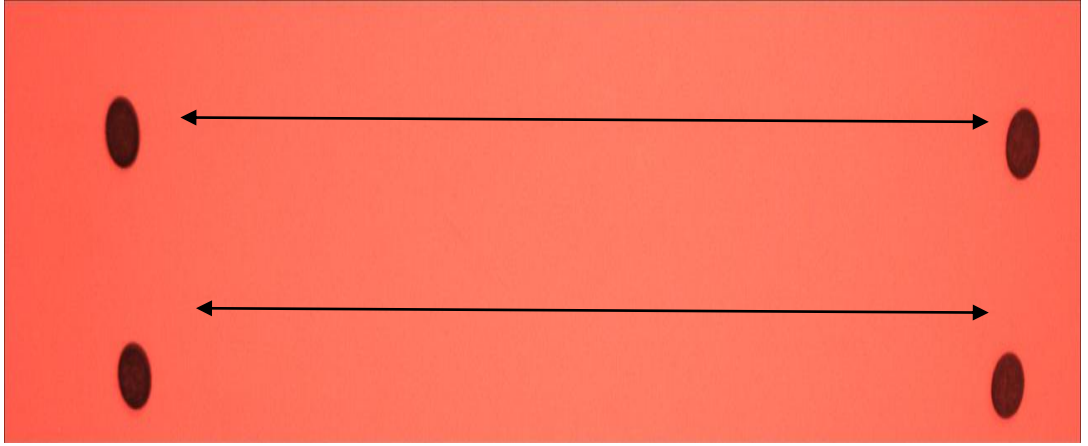
Şekil 3.4. Perspektif bozunumu gidermek için tasarlanan şablon

Ölçüm sistemindeki her kamera bu sistemin belirli bir bölümünü görmektedir. Her kamera Şekil 3.5'de işaretlendiği şekilde hazırlanan şablonun belirli bir bölgesini görmektedir ve her kameranın gördüğü bölge birbirleriyle kesişmektedir.



Şekil 3.5. Şablon üzerinde kameraların gördüğü bölümler

Bu şablon Şekil 3.3'de görülen kutu üzerinde çizgi lazerlerin arasına kameraların görebileceği şekilde yerleştirilmektedir. Kameralar bu şablona belirli bir açıyla baktığından dolayı perspektif bozunum meydana gelmektedir. Kameraların aldığı bir görüntüdeki bozunumun etkisi Şekil 3.6'da görülebilir.



Şekil 3.6. Perspektif bozunumunun etkisi

Şekil 3.6 ve 3.4'den görüldüğü üzere normalde eşit olması gereken iki uzaklık perspektif bozunumundan dolayı farklıdır. Lastik sırtlarına da bu şekilde bakılacağı düşünülürse bu sistemin ölçüm performansını olumsuz etkiler ve ölçüm için yatay kalibrasyon değerlerinin çıkarılmasını zorlaştırır. Bu nedenlerden dolayı perspektif bozunumunun düzeltilmesi gerekmektedir.

Perspektif bozunum düzeltilirken Şekil 3.6'da görülen grid yapısı kullanılmıştır. Şekil 3.6'daki noktalar ve o noktaların perspektif bozunum olmadığına olması gereken konumları göz önüne alınarak bir homografi (homography) matrisi hesaplanmış ve imgeye uygulanmıştır.

Perspektif bozunum olmayan bir görüntü elde etmek için Şekil 3.6 'da sağ üst bölgede bulunan nokta ile sağ alt bölgede bulunan nokta, sol üst bölgede bulunan nokta ile sol alt bölgede bulunan nokta yatay düzlemde aynı konumda olmalıdır.

Şekil 3.6'daki imgeye homografi matrisi yardımıyla bir geometrik dönüşüm uygulanarak perspektif bozunum giderilebilir. Homografi matrisi kullanılarak imge üzerinde bir piksel bir imge düzleminde başka bir imge düzlemine aktarılmaktadır.  $x_2$  bir imge düzlemindeki piksel,  $x_1$  ise başka bir imge düzlemindeki piksel ve  $H$  homografi matrisi olmak üzere bu iki piksel arasındaki ilişki homojen koordinatlar kullanılarak Denklem (3.5)'deki gibi ifade edilebilir [11].

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} & H_{13} \\ H_{21} & H_{22} & H_{23} \\ H_{31} & H_{32} & H_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Homojen koordinatlarda Denklem (3.6) ve (3.7)'deki gibi bir ilişki kullanılabilir [12].

$$x'_2 = x_2/z_2 \quad (3.6)$$

$$y'_2 = y_2/z_2 \quad (3.7)$$

Denklem (3.6) ve (3.7)'de elde edilen sonuçlar Denklem (3.8) ve (3.9)'da kullanılır [12].

$$x'_2 = (H_{11}x_1 + H_{12}y_1 + H_{13}z_1) / (H_{31}x_1 + H_{32}y_1 + H_{33}z_1) \quad (3.8)$$

$$y'_2 = (H_{21}x_1 + H_{22}y_1 + H_{23}z_1) / (H_{31}x_1 + H_{32}y_1 + H_{33}z_1) \quad (3.9)$$

Piksellerin iki boyutlu düzlemde olduğu göz önüne alınarak  $z_1=1$  kabul edilip gerekli işlemler yapıldığında Denklem (3.8) ve (3.9) Denklem (3.10) ve (3.11)'e dönüşür [12].

$$x'_2(H_{31}x_1 + H_{32}y_1 + H_{33}z_1) - H_{11}x_1 + H_{12}y_1 + H_{13}z_1 = 0 \quad (3.10)$$

$$y'_2(H_{31}x_1 + H_{32}y_1 + H_{33}z_1) - H_{21}x_1 + H_{22}y_1 + H_{23}z_1 = 0 \quad (3.11)$$

Denklem (3.12), (3.13) ve (3.14) kullanılarak Denklem (3.10) ve (3.11) yeniden düzenlendiğinde Denklem (3.15) ve (3.16) elde edilir [12].

$$h = (H_{11}, H_{12}, H_{13}, H_{21}, H_{22}, H_{23}, H_{31}, H_{32}, H_{33})^T \quad (3.12)$$

$$a_x = (-x_1, -y_1, -1, 0, 0, 0, x'_2x_1, x'_2y_1, x'_2)^T \quad (3.13)$$

$$a_y = (0, 0, 0, -x_1, -y_1, -1, x'_2x_1, x'_2y_1, x'_2)^T \quad (3.14)$$

$$a_x^T h = 0 \quad (3.15)$$

$$a_y^T h = 0 \quad (3.16)$$

Başka imge düzlemlerindeki pikseller göz önüne alındığında Denklem (3.17) kullanılarak Denklem (3.18)'deki lineer eşitlik oluşturulabilir [12].

$$A = \begin{pmatrix} a_{x1}^T \\ a_{y1}^T \\ \vdots \\ a_{xN}^T \\ a_{yN}^T \end{pmatrix} \quad (3.17)$$

$$Ah=0 \quad (3.18)$$

Denklem (3.18) Tekil Değer Ayırıştırma (Singular Value Decomposition) yöntemi ile çözümlenerek h vektörü elde edilmektedir. h vektörü homografi matrisinin katsayılarını içermektedir. Elde edilen homografi matrisi Denklem (3.5)'de olduğu gibi Şekil 3.6'daki imgenin tüm piksellerine uygulanarak perspektif bozunum düzeltilmektedir. Bu işlem her kamera için tekrar edilmektedir. Perspektif bozunum düzeltildikten sonra Şekil 3.6'daki imge Şekil 3.7'deki duruma gelmiştir.

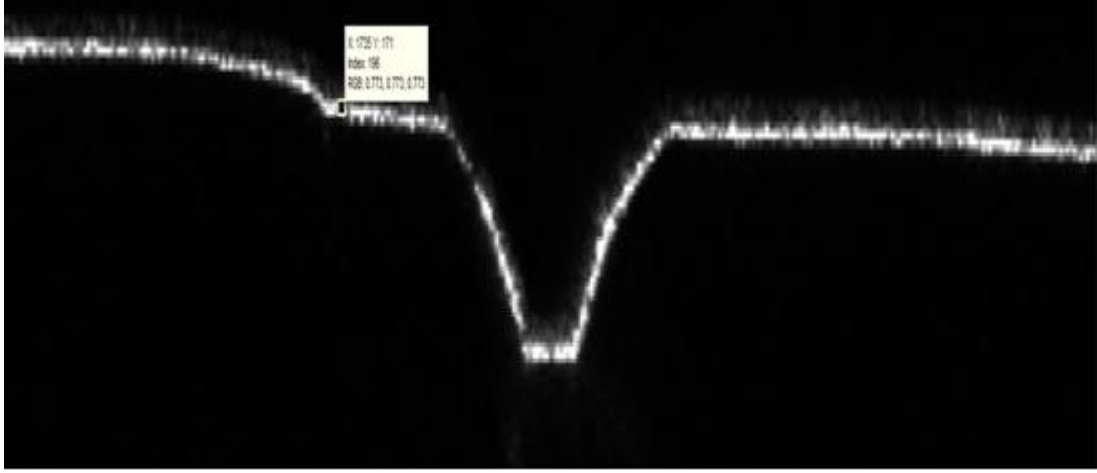


Şekil 3.7. Perspektif bozunum düzeltilmiş imge

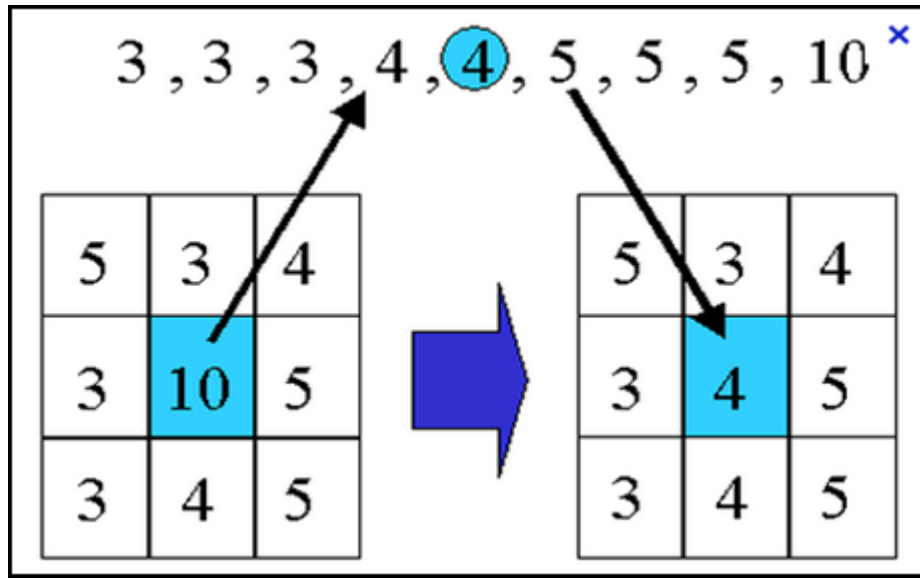
### 3.2.3. Gürültü giderimi

[13]'de lazer üçgenleme temelli ölçüm sistemlerinde ölçüm belirsizliğinin benek gürültüsü (speckle noise) ile sınırlandırıldığı ifade edilmiştir. Benek gürültüsü tutarlı bir ölçüm alınmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle alınan görüntülerdeki benek gürültüsünün giderilmesi gerekmektedir. Şekil 3.8'de benek gürültüsü olan bir örnek verilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda hesapsal yükü düşük olan ortanca süzgecin benek gürültüsünü gidermede yararlı olduğu görülmüştür. Ortanca süzgeç Şekil 3.9'daki gibi uygulanır.



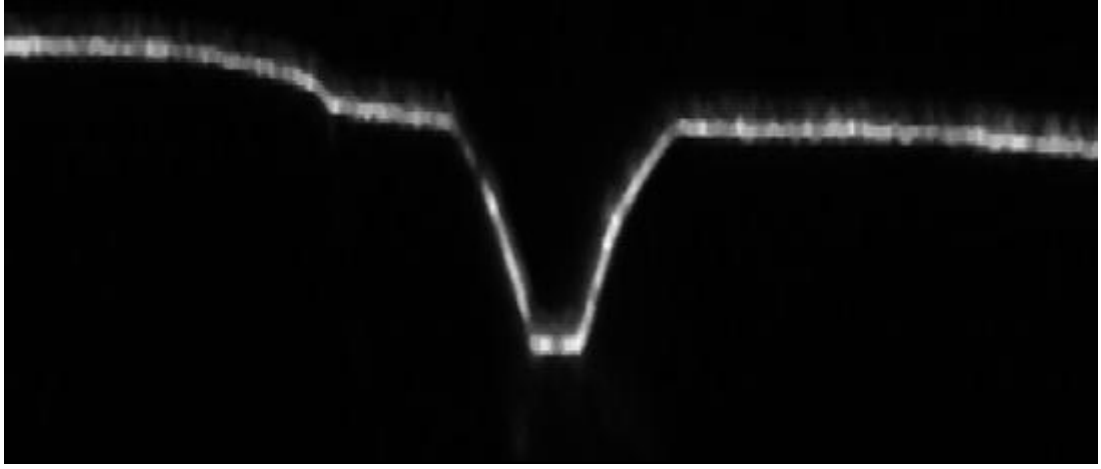
Şekil 3.8. Benek gürültüsü bulunan örnek görüntü(kırmızı kanal)



Şekil 3.9. Ortanca süzgecin uygulanışı [14]

Ortanca süzgeç uygulanırken her piksel için o pikselin etrafında bir blok seçilir. Bu blokta bulunan pikseller parlaklık değerlerine göre sıralanır. Orta sırada yer alan pikselin parlaklık değeri çıkış değeri olarak seçilir. Ortanca süzgeç sensörden ya da kamera kazanç(gain) parametresinden kaynaklı olan gürültülerin giderilmesini sağlamaktadır.

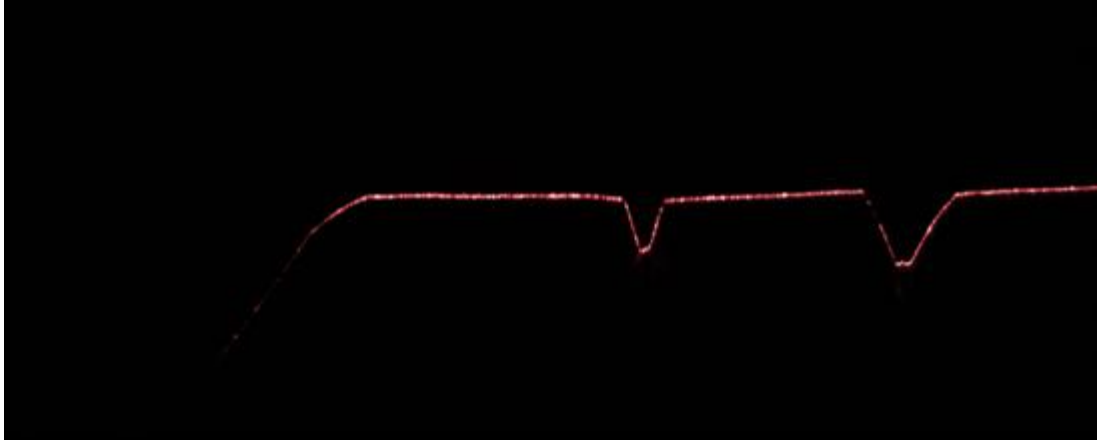
Şekil 3.8'deki görüntünün 5x5 piksel boyutlarında ortanca süzgeç uygulanmış hali Şekil 3.10'da verildiği gibidir.



Şekil 3.10. Benek gürültüsü giderilmiş görüntü(kırmızı kanal)

#### 3.2.4. Kenar bulma

Lens bozunumu ve projektif bozunumu giderilmiş, ortanca süzgeç uygulanarak gürültü giderimi yapılmış örnek bir imge Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Ön işlemlerden geçirilmiş örnek bir imge

Bir görüntü üzerinde bulunan anlamsal bilgiler ve şekil bilgileri imge üzerindeki kenar bilgilerinden tahmin edilebilmektedir. Homojen olmayan bir aydınlatma imge üzerinde kenarlara neden olmaktadır [15]. Bu çalışmada da çizgi lazer kullanılarak imge üzerinde kenarlar oluşturulmuştur. Bu kenarlar bulunarak çizgi lazer imge üzerinde tespit edilmektedir.

Canny algoritması en çok kullanılan kenar bulma yöntemlerinden birisidir. Canny algoritması 4 adımla açıklanabilir [15].

1. Gürültüden etkilenmemek ve dolayısıyla yanlış kenar tespiti yapmamak için imge üzerindeki gürültünün giderilmesi gerekmektedir. İmgeye Gauss süzgeci uygulanmakta ve gürültü bastırılmaktadır.

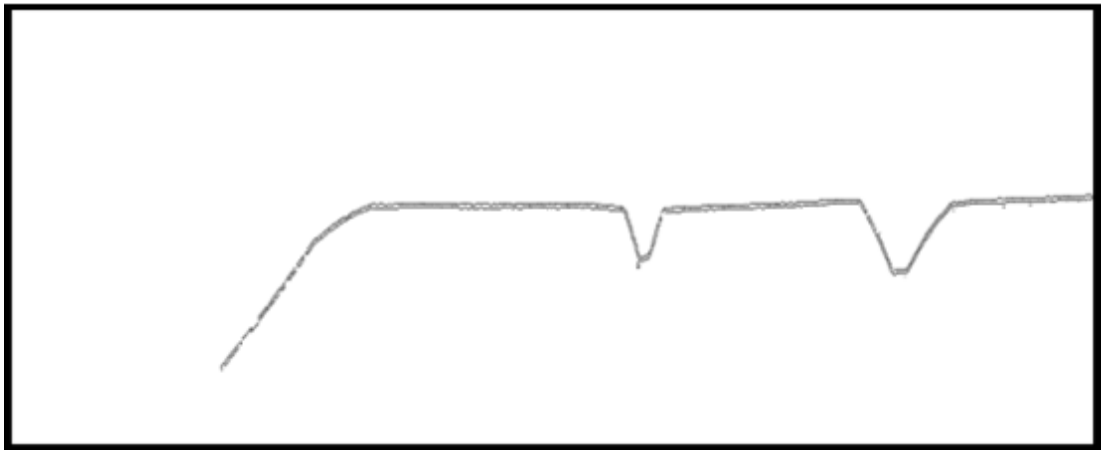
2. Kenar bölgelerinde yüksek tepki veren bir süzgeç kullanılarak ( Roberts , Prewitt Sobel gibi ) kenar bölgeleri pekiştirilmektedir.

3. Kalın kenarlar inceltilmektedir.

4. Görüntüye ikili eşikleme uygulanarak kenarlar belirlenmektedir. Yüksek eşik değeri uygulanarak işleme başlanmakta ve bir kenar izlenirken başlangıç noktası gibi güçsüz kenarları bulmak için alt eşik uygulanmaktadır.

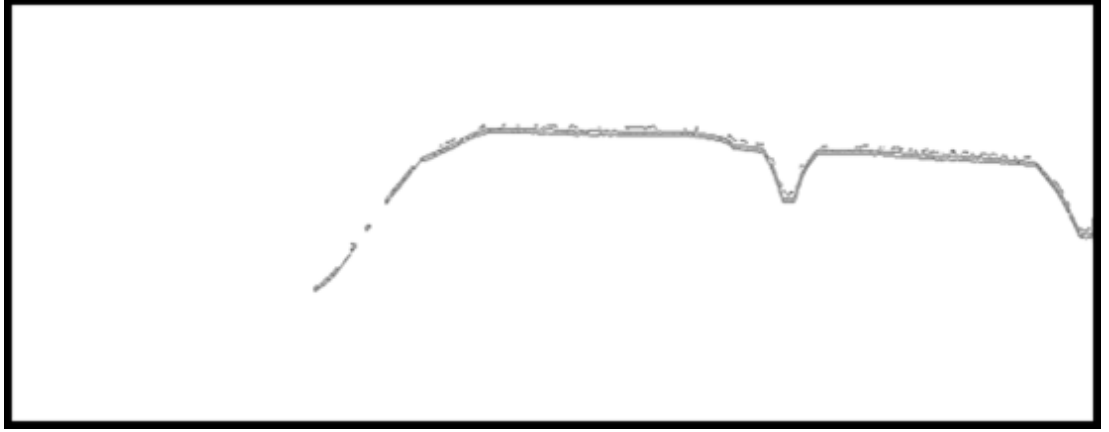
Bu işlemlerin sonunda her pikselin kenar olup olmadığını işaretleyen ikili bir imge elde edilmektedir.

Canny algoritması ile kenar bulma işlemi yapılmış örnek bir imge Şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.12. Canny algoritması ile kenar bulma işlemi yapılmış örnek bir imge

Lastik sırtının geometrisinden bazı durumlarda Canny algoritması ile tespit edilen kenarlarda Şekil 3.13'de görüldüğü gibi boş bölgeler oluşabilmektedir.

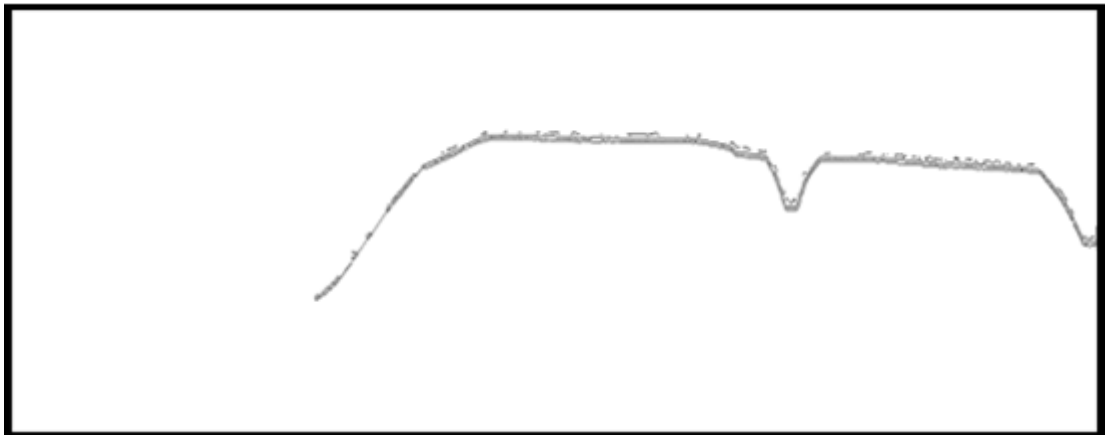


Şekil 3.13. Boş bölgelerin bulunduğu örnek bir imge

Bu durum lastik sırtının doğru bir biçimde ölçülmesini engellemektedir. Bu durumlarda sırasıyla aşağıdaki işlemler uygulanır:

1. Kenar bulunamayan boş bölgeler tespit edilip kaç piksel olduğunu hesaplanmaktadır.
2. Eğer boş bölgeler belirli bir piksel sayısından azsa doğrusal ara değerlendirme (interpolation) yaparak boş bölgeler doldurulmaktadır.
3. Eğer boş pikseller belirli bir sayıdan fazlaysa eşik değerlerini düşürerek boş bölgeleri belirli bir piksel sayısının altına indirilmekte ve doğrusal ara değerlendirme uygulanmaktadır.

Bu işlemler uygulanarak Şekil 3.13'deki imge Şekil 3.14'deki duruma getirilmiştir.



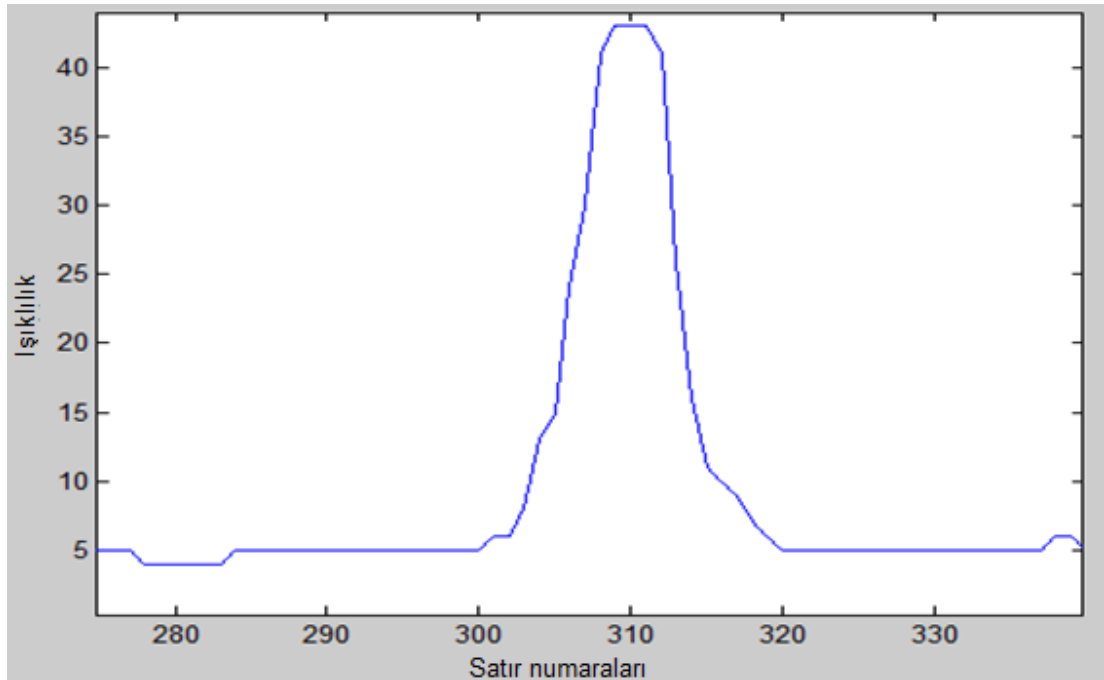
Şekil 3.14. Boş bölge problemlerinin giderildiği bir imge



### 3.2.5. Lazer çizgisinin inceltilmesi

[5]'de lazer ölçüm sistemlerinde imge üzerindeki lazer çizgisini inceltmek için imge üzerinde lazer ışığıyla beraber yüksek değişim gösteren noktaların ortalamasının kullanılabilmesi yada imge üzerindeki piksel ağırlık merkezlerinin (center of gravity) kullanılabilmesi ifade edilmiştir.

Bu çalışmada kenar bulma işlemi imge üzerindeki lazer çizgisinin tespiti için yapılmış ve kenar bulma işlemi sayesinde ani değişikliklerin bulunduğu bölgeler tespit edilmiştir. Bu aşamadan sonra yapılması gereken işlem her sütunda tek pikselin bulunduğu ince bir çizgi oluşturmaktır. Lazer ışınlarının dağılımından dolayı sadece bulunan kenarların ortalamasını almak yerine o kenarların bulunduğu bölgedeki piksel ağırlık merkezleri hesaplanmıştır. Ölçüm hesaplaması yapılırken belirsizlik oluşmamasını sağlamak amacıyla her bir sütun için tek bir piksel elde edilmesi gerekmektedir. Şekil 3.15'de imgedeki bir sütun üzerine düşen lazer çizgisinin karakteristiğini gösteren bir grafik verilmiştir.



Şekil 3.15. İmge üzerindeki lazer çizgisinin karakteristiği

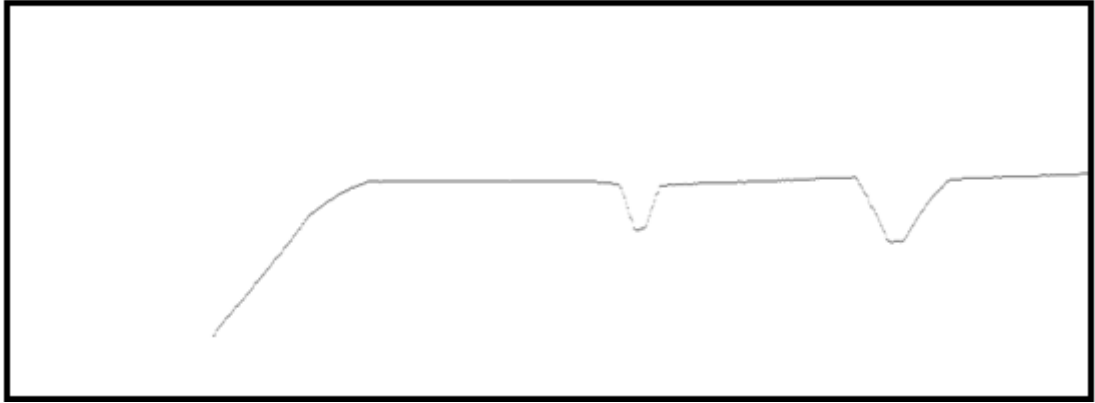
İmge üzerindeki kenarları bulmak lazer çizgisini tespit edebilmek için kolaylık sağlamıştır. Ancak ölçüm hesaplaması için daha yüksek ışıklılık değerine sahip

piksellerin kullanılması daha doğru bir seçimdir. Ölçüm kalibrasyonu ve ölçüm için kullanılacak tüm imgelerde bu işlemler yapılmaktadır.

Lazer çizgisinin kalınlığı da göz önüne alınarak bulunan kenar bölgeleri etrafında bulunan piksellerin parlaklık değerleri kullanılarak her sütun için bir ağırlık merkezi hesaplanarak piksel altı çözünürlükte bir iskelet çıkartılmıştır. Ağırlık merkezi hesabı denklem (3.19)'da verilmiştir [5].

$$\text{tepe noktası} = \frac{\sum_{x=a}^b xI(x)}{\sum_{x=a}^b I(x)} \quad (3.19)$$

Şekil 3.16'da lazer çizgisi inceltilerek iskeleti çıkartılmış örnek bir görüntü verilmektedir.

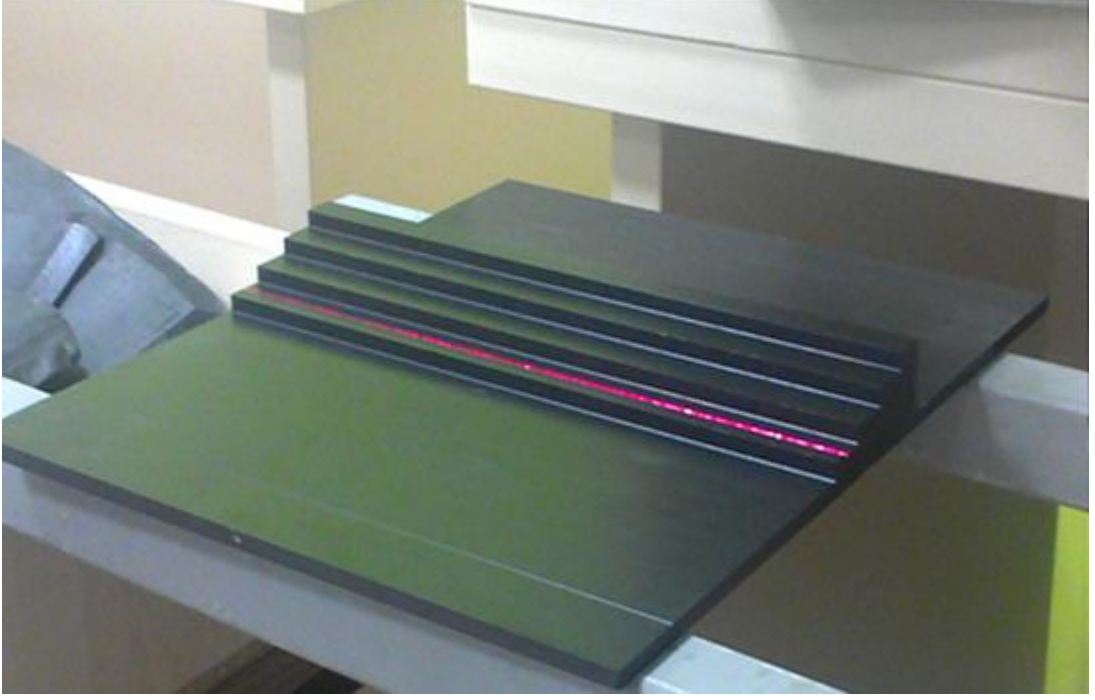


Şekil 3.16. Lazer çizgisi inceltilerek iskeleti çıkartılmış örnek bir görüntü

### 3.2.6. Ölçüm kalibrasyonu ve modelin ölçülerinin hesaplanması

Kamera ile yakalanan her görüntüye sırası ile ortanca süzgeç, kenar bulma ve lazer çizgisi inceltme işlemleri uygulanmaktadır. Ölçüm yapabilmek için elde edilen iskeletin piksel koordinatlarından gerçek dünya koordinatlarına geçirilmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında düşey kalibrasyon işlemi yapmak için lastik sırtına benzer ölçülerde bir kalibrasyon parçası tasarlanmış ve kalibrasyon işlemi bu parçanın piksel koordinatlarındaki ölçülerine göre yapılmıştır. Şekil 3.17'de tasarlanan kalibrasyon parçası verilmiştir.

Kalibrasyon işlemi başlangıçta bir kere yapılmakta ve kalibrasyon verileri belleğe kaydedilmektedir. Ölçüm yapılırken ise veriler bellekten okunarak kullanılmaktadır.

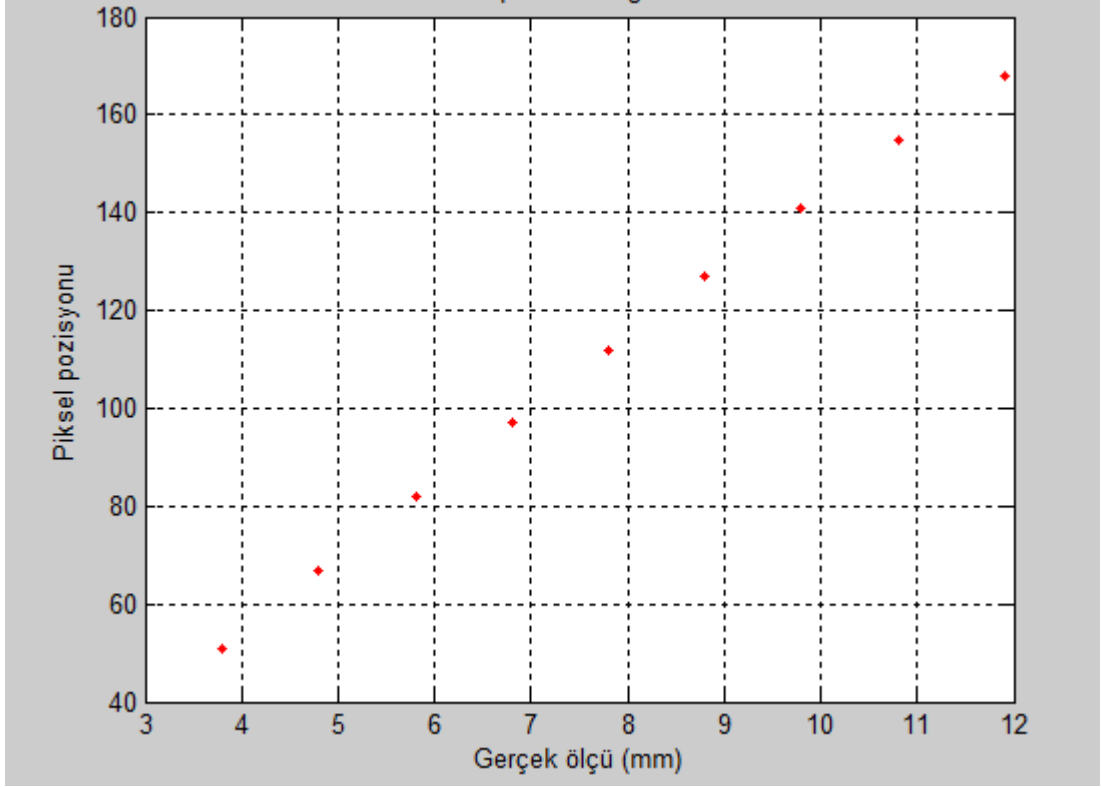


Şekil 3.17. Tasarlanan kalibrasyon parçası

[5]'de algılayıcının kalibrasyonu için polinomsal yaklaşım temelli bir yöntem uygulanmıştır. Bu çalışmada ise doğrusal yaklaşımlar denenmiş ve elde edilen kalibrasyon verileri kullanılarak gerekli doğruluk sınırları içinde ölçümlerin elde edilebildiği görülmüştür.

Kalibrasyon parçasının her basamağının ölçüsü belirlidir ve kalibrasyon parçası %3 hassasiyetle üretilmiştir. Kalibrasyon işlemi yapılırken kalibrasyon parçasının her basamağının üzerine Şekil 3.17'deki gibi lazer ışığı düşürülerek görüntü alınır. Alınan görüntülere gerekli işlemler uygulanır ve iskelet çıkartılır. Şekil 3.18'deki grafik kalibrasyon parçasının her basamağı için bulunan piksel değerini göstermektedir.

Kalibrasyon parçasının her basamağı için Şekil 3.18'de verilen grafiğe göre doğru denklemleri hesaplanmakta ve doğru denklemlerinin parametreleri ile kalibrasyon parçasının her basamağı için çıkarılan iskeletin verileri ölçüm hesabında kullanılmak üzere belleğe kaydedilmektedir. Elde edilen doğru denklemlerinin parametreleri piksel verilerinden gerçek ölçüm verilerini elde etmek için kullanılmaktadır.



Şekil 3.18. Piksel-Gerçek ölçü grafiği

Lastik sırtının düşey koordinatları hesaplanırken ise belleğe yazılan veriler program ilk çalıştırıldığında bellekten okunmaktadır. Sonrasında ise alınan görüntüden lastik sırtının iskeleti çıkarılmaktadır. Lastik sırtı iskeletinin her sütunun hangi doğru denklemine karşılık geleceği bulunmakta ve gereken doğru denklemi uygulanmaktadır. Doğru denklemi hesaplanması sırasında ilk olarak iki nokta üzerinden geçen doğrunun eğiminin hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplama işlemi Denklem (3.20)'de verilmiştir [16].

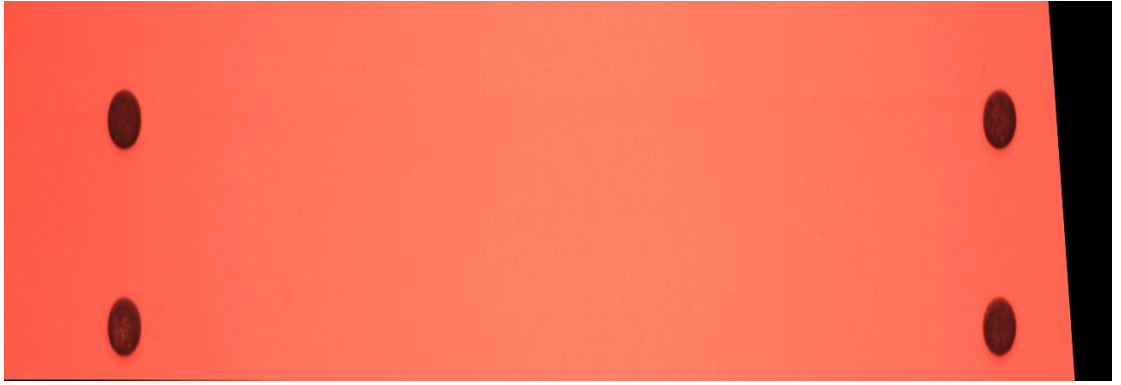
$$m=(a_2-a_1)/(y_2-y_1) \quad (3.20)$$

Denklem (3.20)'de  $a_2$  ve  $a_1$  düşeydeki milimetre cinsinden gerçek ölçüler ,  $y_2$  ve  $y_1$  imge üzerinde düşeydeki piksel ölçüleridir. Eğim hesaplandıktan sonra Denklem (3.21) kullanılarak piksel koordinatlarından milimetre cinsinden gerçek koordinatlar hesaplanmaktadır [16].

$$a=m(y-y_1)+a_1 \quad (3.21)$$

Denklem (3.21)'de  $a$  ve  $a_1$  düşeydeki milimetre cinsinden gerçek ölçüler,  $y$  ve  $y_1$  imge üzerinde düşeydeki piksel ölçüleridir.  $y$  parametresi iskelet çıkarma işlemi sonucunda elde edilmektedir. Denklem (3.21) uygulandığı zaman düşeydeki gerçek koordinat elde edilmektedir. Bu işlem elde edilen iskeletteki tüm veriler için tekrarlanmaktadır.

Yatay kalibrasyon işlemi yapılırken ise Şekil 3.19'da görülen imge kullanılmaktadır. Bu imgede bulunan noktaların arasındaki uzaklık belirlidir ve perspektif bozunum düzeltilmiş olduğu için her satırında aynı katsayı kullanılabilir. Yataydaki noktaların arasında bulunan gerçek uzaklık ile piksel cinsinden uzaklık arasında bir katsayı çıkartılır ve lastik sırtı ölçümü alınırken bu katsayı uygulanarak piksel koordinatlarından gerçek koordinatlara geçilir.



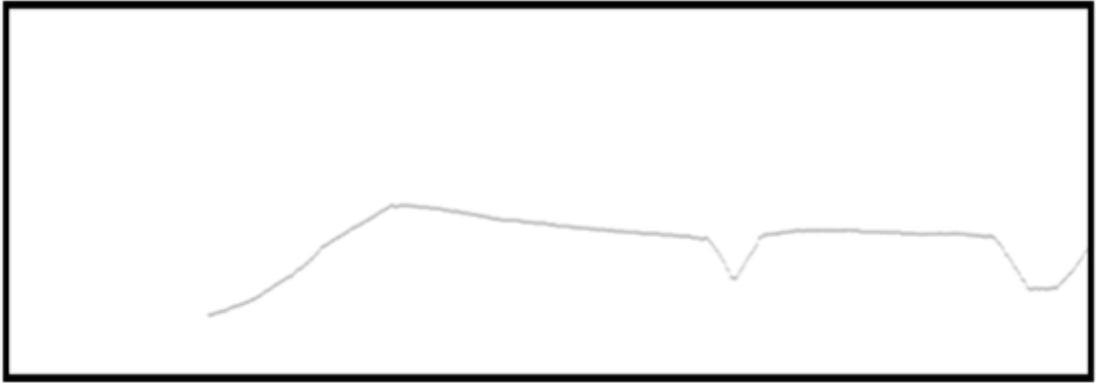
Şekil 3.19. Yatay kalibrasyon için kullanılan imge

Kameraların bakış açıları ve lastik sırtlarına olan uzaklıkları sistemin ölçüm hassasiyetini etkilemektedir. Üst bölgede ve alt bölgede birer kamera kullanıldığı zaman lastik sırtının genişliğini tam olarak hesaplayabilmek için kameranın daha uzağa konumlandırılması gerekmektedir. Bu durum da ölçüm hassasiyetini düşürmektedir. Ayrıca üst bölge ve alt bölgede birer kamera kullanıldığında lastik sırtının geometresinden dolayı bazı durumlarda lastik sırtının iskeletin çıkarılmasında boş bölgeler gibi sorunlarla karşılaşmıştır. Bu sorunların önüne geçmek ve ölçüm hassasiyetini arttırmak için 4 adet kamera kullanan bir ölçüm sistemi tasarlanmıştır.

Yukarıda bahsedilen işlemlerin hepsi her kamera için ayrı ayrı yapılmaktadır. Her kamera lastik sırtının ayrı bir bölgesinin ölçümünü yapmaktadır.

### 3.2.7. Kameralardan alınan ölçümlerin birleştirilmesi

Bu tez çalışmasında tüm kameralar ayrı ayrı kalibre edilmiştir ve her kamera kendi görüş açısında gördüğü lastik sırt bölgesinin ölçümünü yapmaktadır. Lastik sırtına üstten bakan kameralar lastik sırtının üst bölgesinin, alt taraftan bakan kameralar ise lastik sırtının alt bölgesinin ölçülerini hesaplamaktadır. Her kameranın ayrı olarak aldığı ölçümlerin birleştirilmesi ve alınan verilerin tek bir ölçüm hâline getirilmesi gerekmektedir. Şekil 3.20 ve Şekil 3.21'de lastik sırtına üst bölgeden bakan kameraların elde ettiği ölçümlerin iskeletleri verilmiştir.

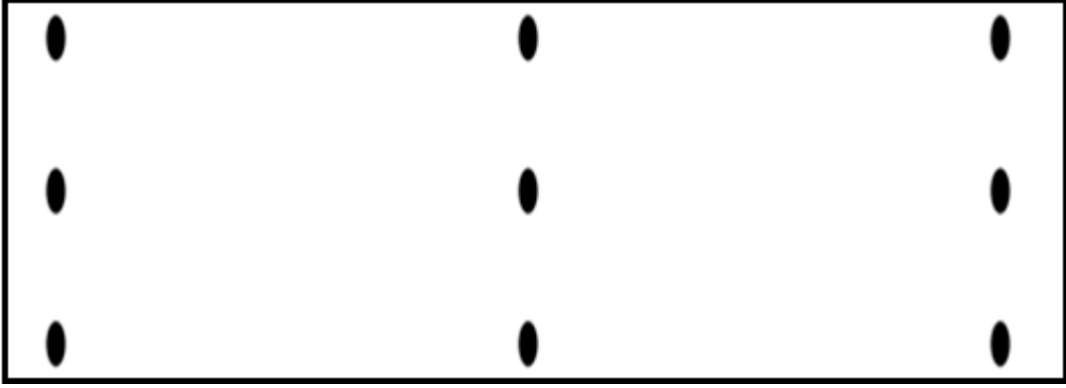


Şekil 3.20. Sol-üst kameradan elde edilen iskelet



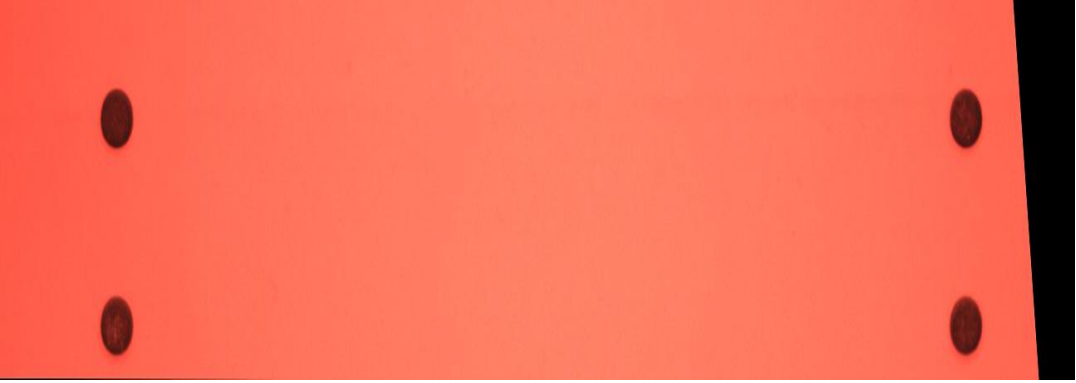
Şekil 3.21. Sağ-üst kameradan elde edilen iskelet

Kameralar ilk başta konumlandırılırken alınan kameraların yakaladığı görüntüler dolayısı ile ölçümler bir bölgede kesişecek şekilde kameraların konumlandırılması yapılmıştır. Alınan ölçümlerin birleştirilmesi için Şekil 3.22'de görülen yapıda bir model tasarlanmıştır.



Şekil 3.22. Ölçümlerin birleştirilmesi için tasarlanan model

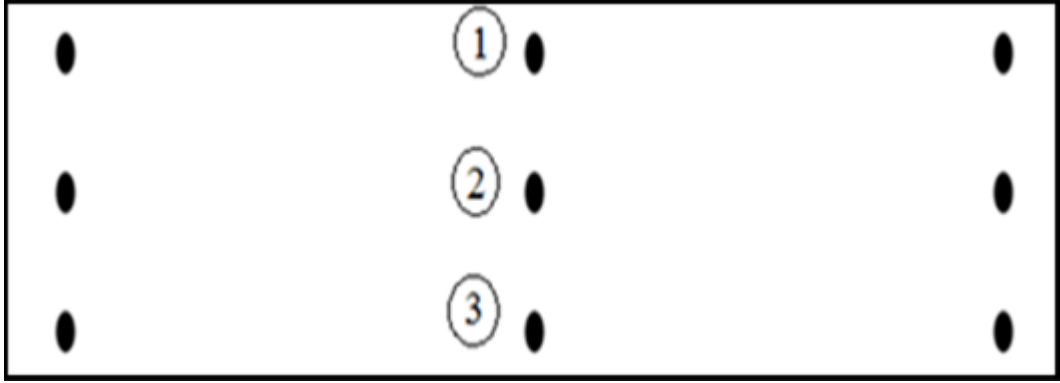
Her kamerada bu modelin belirli bir bölgesini görmektedir. Şekil 3.23'de bir kameranın aldığı örnek bir görüntü verilmiştir. Şekilde verilen görüntü perspektif bozunumunu düzeltilmiş olduğu bir görüntüdür. Perspektif bozunumu düzeltme işlemi tüm kameraların aldığı görüntülerin aynı düzleme getirilmesini sağlamıştır.



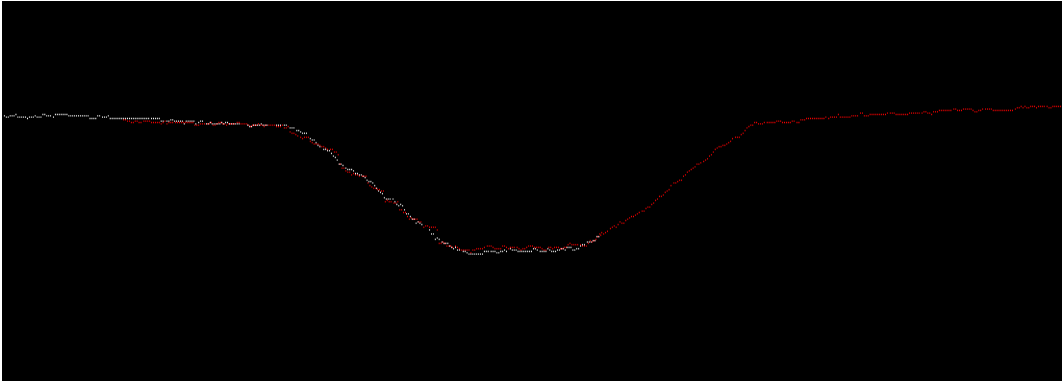
Şekil 3.23. Bir kameranın gördüğü perspektif bozunumu düzeltilmiş görüntü

Üst ve alt kameralardan alınan görüntüler kendi aralarında birleştirilirken Şekil 3.24'de numara verilen ve birleştirilecek her iki kamerada görüntüsünde de bulunan noktalar referans nokta olarak kullanılmıştır. Bu noktalar kameraların aldıkları görüntülerde kesişen bölgelerde bulunan noktalardır. Şekil 3.24'de 1 ve 2 numaralı noktalar üst bölgede konumlandırılmış kameraların, 2 ve 3 numaralı noktalar ise alt bölgede konumlandırılmış kameraların kesişim bölgeleri içinde kalmaktadır. Perspektif bozunum düzeltilerek tüm imgelerin aynı düzleme getirilmesi ve böylece kameralardan ayrı olarak alınan ölçümlerin birleştirilmesi işleminde direk olarak Şekil 3.24'deki numaralandırılmış noktaların gerçek koordinatlarının hesaplanılarak kullanılması amaçlanmıştır. Yatay ve düşey kalibrasyon işlemi yapıldıktan sonra

imge üzerindeki noktaların gerçek koordinatları çıkartılır ve alınan ölçümleri birleştirme işlemi referans noktaların gerçek koordinatları üzerinden yapılır. Alınan ölçümlerde işaretlenen referans noktalar gerçek koordinat uzayında üst üste gelecek şekilde birleştirilmektedir. Şekil 3.25'de üst kamera ile alınan iki ölçümün birleştirilmesi sırasında kameralardan gelen veriler farklı renklerle kullanılarak gösterilmektedir.



Şekil 3.24. Ölçümlerin birleştirilmesi için kullanılan referans noktalar



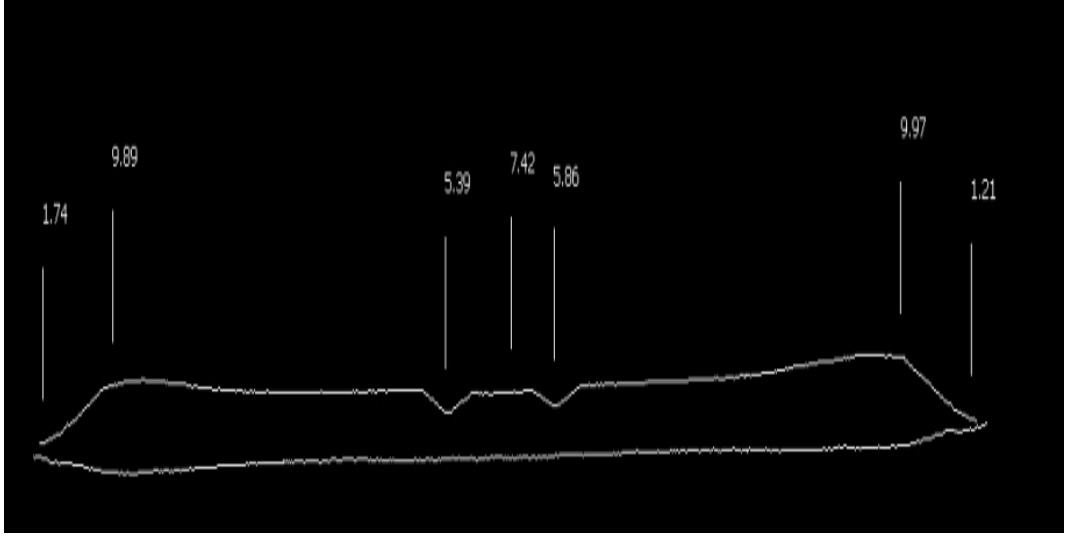
Şekil 3.25. İki kameradan alınan verilerin farklı renklerle gösterilmesi

Şekil 3.25'den görüldüğü üzere kameralardan alınan ölçüm verileri arasında küçük boyutta farklılıklar olabilmektedir. Bu farkların önüne geçmek için kesişim bölgesinde ortalama alma işlemi yapılmaktadır.

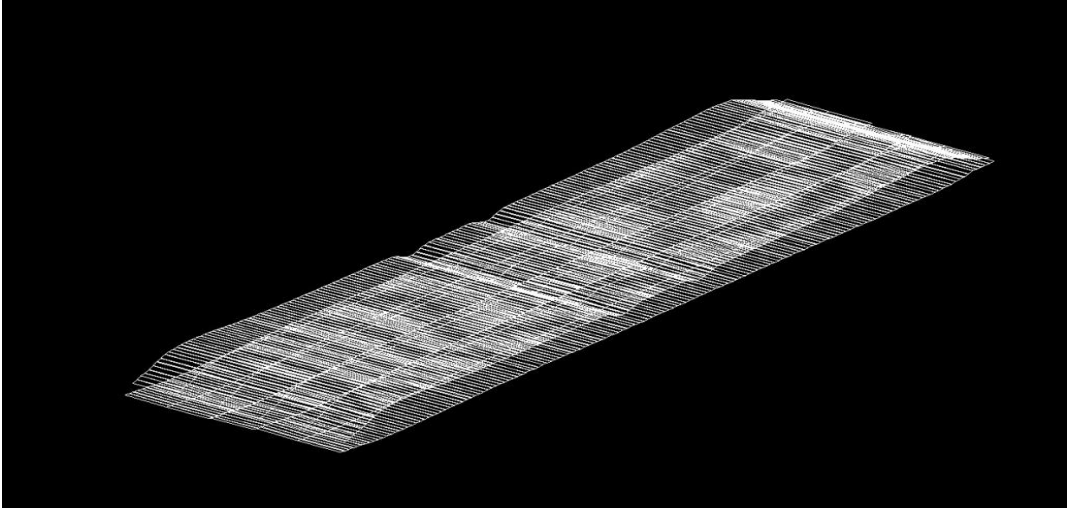
Şekil 3.26'da alt ve üst kameralardan gelen ölçüm verilerinin birleştirildiği bir örnek verilmiştir.

Bunlara ek olarak sırasıyla alınan ölçümler birleştirilerek model ağ yapısı şeklinde oluşturulmaktadır. Bu ağ yapısı Şekil 3.27'de verilmiştir.





Şekil 3.26. Kameralardan alınan verilerin birleştirildiği örnek bir görüntü

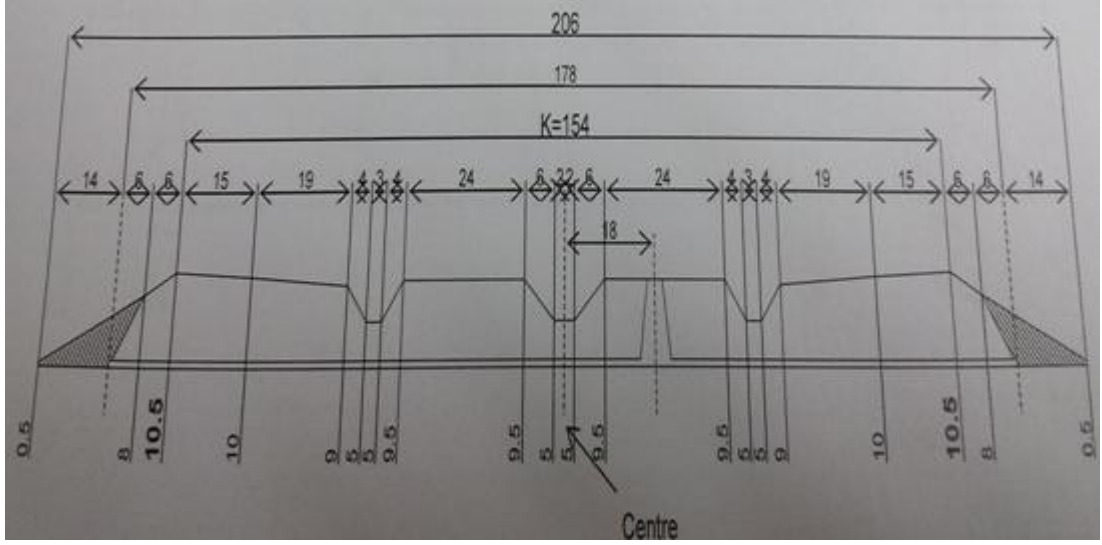


Şekil 3.27. Ağ yapısı şeklinde oluşturulan model

### 3.3. Kullanıcı Arayüzü

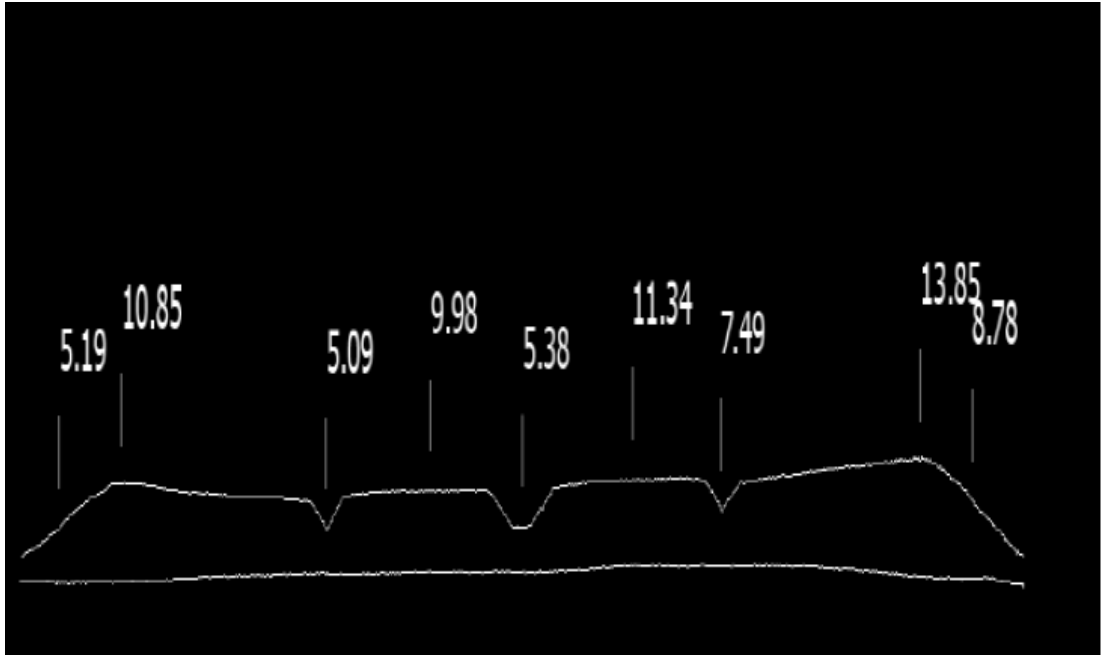
Alınan anlık ölçümleri ve modelin ağ yapısını gözleyebilmek için grafiksel bir kullanıcı arayüzü hazırlanmıştır. Arayüz hazırlanırken Qt kütüphanesi kullanılmıştır. Ölçümleri ve modelin ağ yapısını gözlemek için OpenGL kütüphanesinden yararlanılmıştır.

Lastik sırtları belirli ölçülere göre üretilmektedir ve çeşitli ölçülerde lastik sırtları bulunmaktadır. Şekil 3.28'de örnek bir lastik sırt grafiği ölçüleriyle beraber verilmiştir.



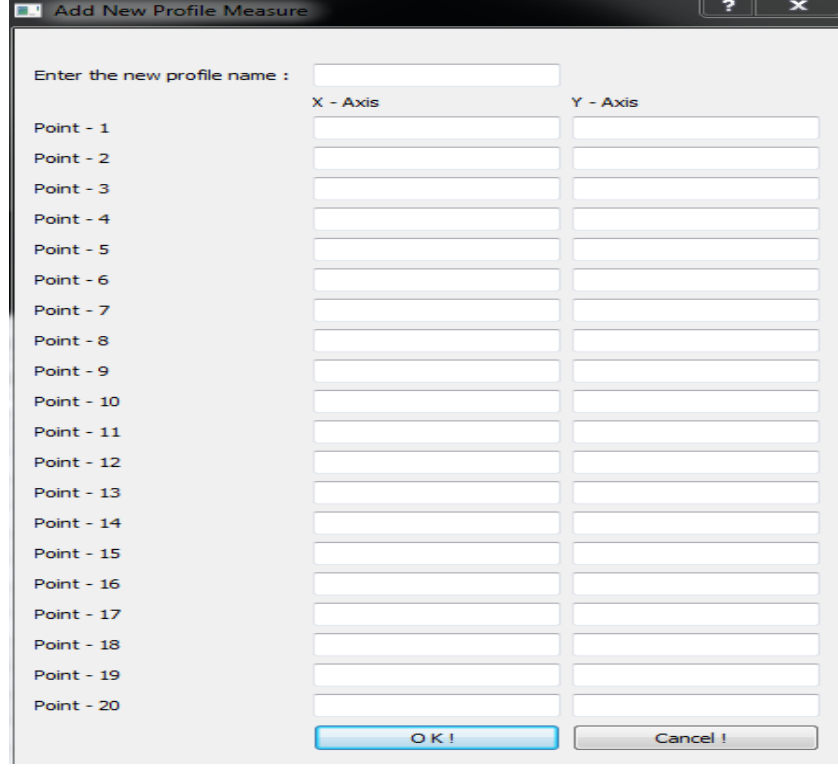
Şekil 3.28. Örnek bir lastik sırt grafiği

Lastik sırtlarının üretim doğruluğu hesaplanırken lastik sırtı üzerindeki köşe bölgeleri referans olarak kabul edilmektedir. Hazırlanan kullanıcı arayüzü lastik sırtı üzerinde ölçümünü almak için istenen bölgesinin seçilmesine izin vermektedir. Bu işlem yapılırken OpenGL kütüphanesinin seçme özelliğinden yararlanılmıştır. Kullanıcı ölçüm almak istediği bölgeyi bilgisayar faresi ile seçmektedir. Şekil 3.29'da alınan ölçümlerin gösterildiği bir örnek verilmiştir.



Şekil 3.29. Alınan örnek ölçümler

Hazırlanan program üretilen lastik sırtlarının modelin aslına uygunluğunu kontrol etmektedir. Bunun için modelin gerçek ölçülerinin de programa girilmesi gerekmektedir. Arayüz programı modelin asıl ölçülerinin kaydedilmesini sağlamaktadır. Şekil 3.30'da arayüz programının bu işlemi yapan bölümü verilmiştir.



	X - Axis	Y - Axis
Point - 1		
Point - 2		
Point - 3		
Point - 4		
Point - 5		
Point - 6		
Point - 7		
Point - 8		
Point - 9		
Point - 10		
Point - 11		
Point - 12		
Point - 13		
Point - 14		
Point - 15		
Point - 16		
Point - 17		
Point - 18		
Point - 19		
Point - 20		

Şekil 3.30. Arayüz programında asıl model ölçülerini kaydetme

Hazırlanan program model ölçülerini model numaralarıyla beraber bir Excel dosyasına kaydetmektedir. Kullanıcı karşılaştırma yapmak istediği modeli arayüz programının ilgili bölümünden seçmektedir. Kullanıcı karşılaştırma yapmak için referans noktaları fare ile seçmelidir. Program modelin aslındaki referans noktalar ile ölçümü alınan model üzerindeki referans noktaların farkını hesaplamaktadır. Bu hatanın tolerans içinde olup olmadığına göre şekilde işaretlenen bölgeler her referans nokta için kırmızı yada yeşil rengini almaktadır. Ayrıca program hesaplanan ölçümleri de başka bir Excel dosyasına kaydetmektedir.

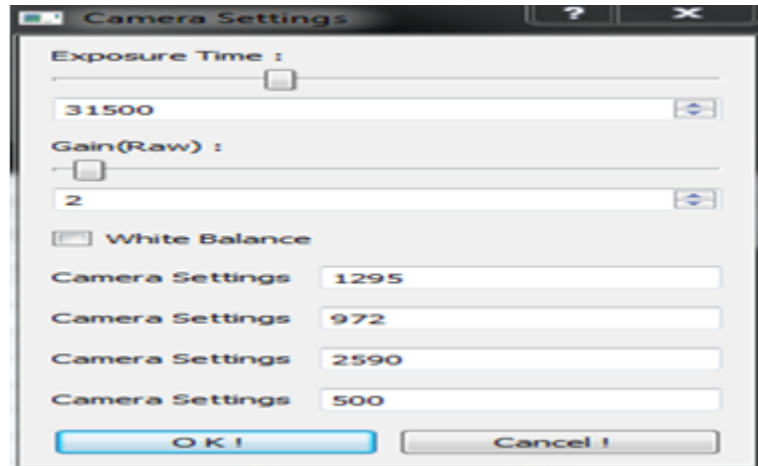
Kalibrasyon işlemi için kullanıcı arayüzü içerisinde farklı bir bölüm oluşturulmuştur. Kullanıcı kalibrasyon yapmak istediğinde bölümü seçmeli ve tüm kameralar için kalibrasyon parçasının kaydırarak görüntü almalıdır. Kalibrasyon arayüzü Şekil 3.31'de verilmiştir.



Şekil 3.31. Kalibrasyon arayüzü

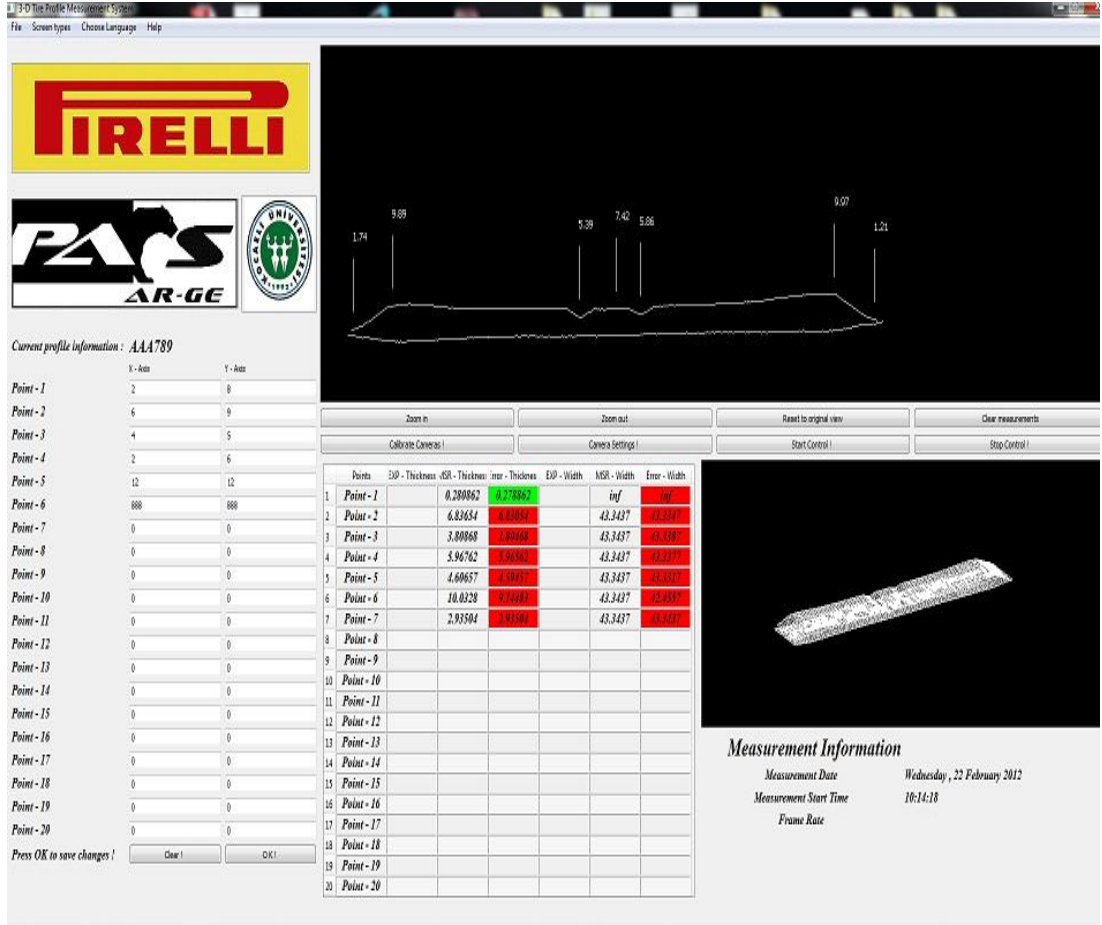
Tüm kameralar için sırasıyla görüntü alınmakta, sistem görüntü alma işlemi sona erdiğinde gerçek koordinatlara geçmek için parametrelerini hesaplayıp belleğe kaydetmektedir.

Ayrıca arayüz kullanılarak kullanılan kameraların kazanç vb. parametreleri de ayarlanabilmektedir. Kamera parametreleri arayüzü Şekil 3.32'de verilmiştir.



Şekil 3.32. Kamera parametrelerini ayarlama arayüzü

Şekil 3.33'de ise ölçüm sistemi arayüzünün ölçüm alma anındaki genel görünümü verilmiştir.



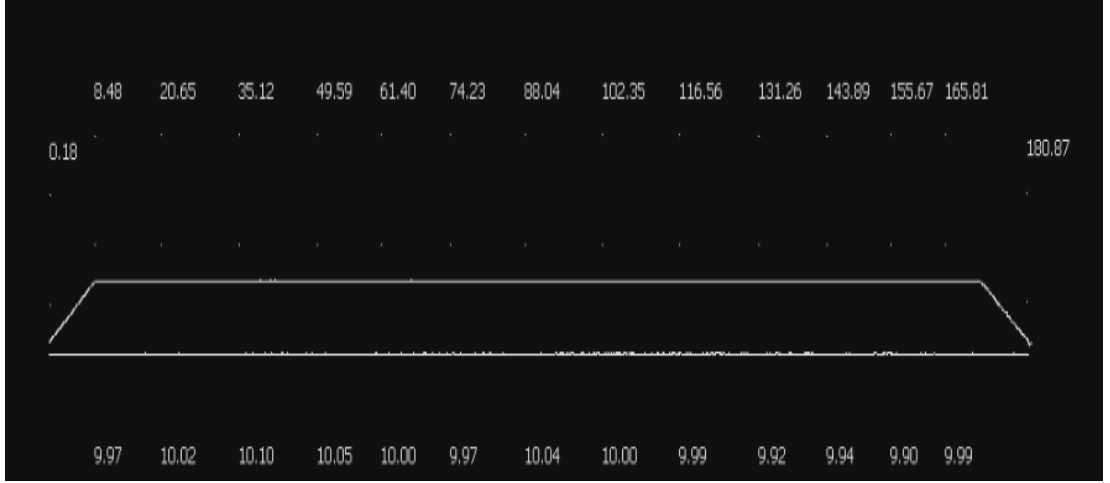
Şekil 3.33. Sistem arayüzünün genel görünümü

#### 4. ÖLÇÜM SİSTEMİ İLE ELDE EDİLEN DENEYSEL SONUÇLAR

Bu tez çalışmasına başlanırken lastik sırt profillerinin yatayda 3 mm , düşeyde is 0,3 mm hassasiyetle ölçülmesi hedeflenmiştir. Çalışma sırasında ilk etapta üst tarafta bir kamera alt tarafta bir kamera kullanılmıştır. Bu durumda istenen hassasiyet değerlerine ulaşılmıştır fakat üst bölgede tek kamera kullanımı dik geçişlere sahip lastik sırtlarında kamera bakış açısından dolayı problemlere lastik sırtındaki ilgili kenarların bulunamaması, oluşturulan iskelette boş bölgelerin bulunması gibi durumlara sebep olmuştur. Bu problemin önüne geçmek için üst bölgede ve alt bölgede kamera sayısı ikiye çıkarılmıştır. Ayrıca kamera sayısını arttırmak istenen tolerans değerlerinden daha hassas olarak ölçüm yapılmasını sağlamıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda lastik sırt profilleri ortalama olarak yatayda 0,36 mm, düşeyde 0,12 mm hata payı ile ölçülebilmektedir.

Lastik sırt profillerinin ölçüleri sıcaklık, profilin bükülmesi vb. nedenlerden dolayı üretim aşamasında ve sonrasında farklılık gösterebilir. Bu sebeplerden dolayı sistemin ölçüm doğruluğunu test etmek için boyutları bilinen cisimlerin ölçümleri alınmıştır. Yapılan testlerde sistemin en fazla 0,12 mm hata yaptığı görülmüştür. Kalınlığının 10 mm, genişliğinin 181 mm olduğu bilinen bir cisim kullanılarak alınan örnek ölçüm sonucu Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Kameraların ve çizgi lazerlerin yerleşimi için tasarımı yapılan kutunun lastik sırtı üretim bandına monte edilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.2'de hazırlanan ölçüm sisteminin üretim bandına takılmadan önceki , Şekil 4.3'de ve Şekil 4.4'de ise ölçüm sisteminin üretim bandına monte edilmiş hâldeki görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.1. Alınan örnek bir ölçüm sonucu

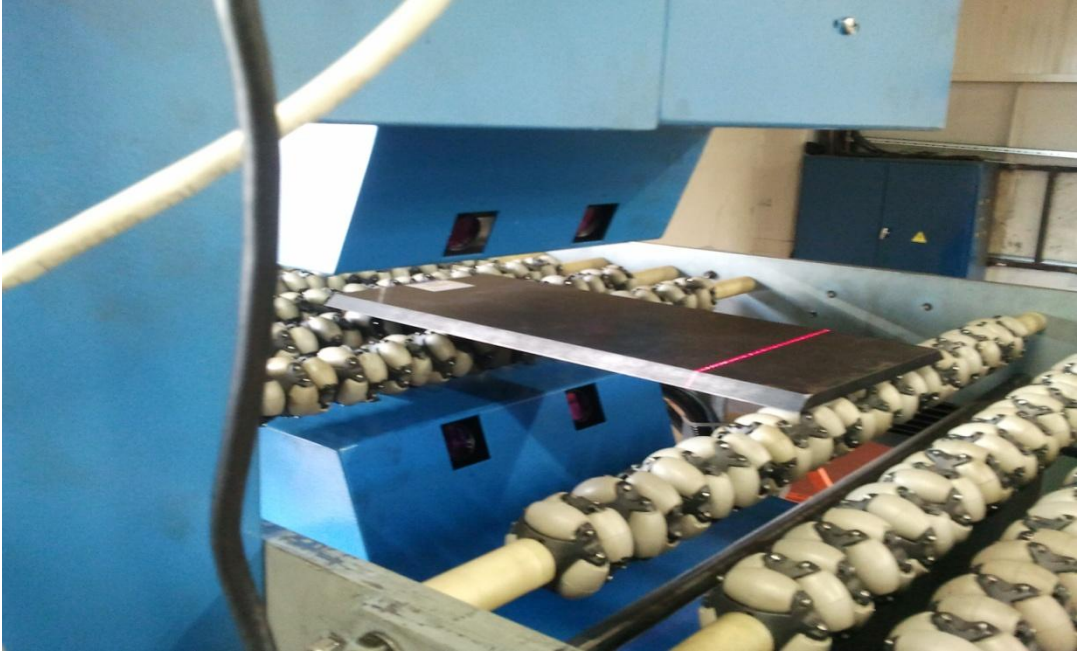


Şekil 4.2. Ölçüm sisteminin örnek bir görüntüsü





Şekil 4.3. Üretim bandına monte edilmiş ölçüm sisteminin uzaktan görüntüsü



Şekil 4.4. Üretim bandına monte edilmiş ölçüm sisteminin yakından görüntüsü



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada üç adet çizgi lazer ve dört adet kamera kullanarak üretim bandında ilerleyen malzemenin modelini oluşturan çevrimiçi bir ölçüm sistemi geliştirilmiştir. Benek gürültüsü kaynaklı olan lazer üçgenleme temelli ölçüm sistemlerindeki ölçüm belirsizliğini gidermek için ortanca süzgeç kullanılmıştır. Lazer ışığının görüntülerdeki iskeletinin çıkarılması için kenar bulma işlemi yapılmış ve bu kenar verilerinden yararlanarak alınan görüntülerdeki lazer ışığının ağırlık merkezi hesaplanmıştır. Sistem çevrimdışı bir şekilde aşamalı olarak kalibre edilmiş ve elde edilen kalibrasyon verileri modelin gerçek koordinatlardaki değerlerinin hesaplanması için kullanılmıştır. Dört kameradan alınan gerçek koordinat değerleri birleştirilerek lastik sırt profilin ölçüleri hesaplanmış ve modeli oluşturulmuştur. Kameraların ve çizgi lazerlerin üretim bandına yerleştirilebilmesi için bir kutu tasarımı yapılmış ve üretim bandına takılmıştır.

Bu çalışmada Basler firmasının Bayer renk filtresi kullanan aca2500-14gc modeli kullanılmıştır. Bu kamerada Bayer filtresinin yapısından dolayı kırmızı renk uzayındaki piksellerin sayısı yeşil renk uzayındaki piksel sayısına göre daha azdır. Kırmızı renkli piksellerin az olması alınan görüntülerin bazılarındaki kırmızı lazer çizgilerinde kenar bulma problemleri dolayısı ile süreksizlik yaratabilmektedir. Bu nedenle bir sonraki geliştirilecek olan sistemde monokrom kamera kullanılması düşünülmektedir. Bu sayede alınan görüntülerde kırmızı rengin etkisi daha çok olacağından lastik geometrisinden ve yapısından kaynaklı olarak yaşanan süreksizlik probleminin önüne geçilmesi hedeflenmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] [http://tr.wikipedia.org/wiki/Otomobil\\_Lastikleri](http://tr.wikipedia.org/wiki/Otomobil_Lastikleri), (Ziyaret tarihi: 05.08.2012).
- [2] Monchalin J., Optical And Laser Ndt: A Rising Star, *16th WCNDT World Conference on NDT*, Montreal, Canada, 8-9 April 2004.
- [3] Karapetian A., Automobile tire profile measurement, *University of Twente*, Netherlands, 026CE2007, 1-60, 2007.
- [4] Petrović P., Rubberized Cord Thickness Measurement Based on Laser Triangulation – Part II: Validation, *FME Transaction*, 2007, **35**, 85-93.
- [5] Kumar S., Tiwari P. K., Chaudhury S.B., An optical triangulation method for non-contact profile measurement, *IEEE 9th International Conference on Industrial Technology*, Bhubaneswar, Orissa, India, 18-21 December 2006.
- [6] <http://www.byewise.com/products/profilometer/default.html>, (Ziyaret tarihi: 05.08.2012).
- [7] <http://www.byewise.com/products/on-line-profilometer/default.html>, (Ziyaret tarihi: 05.08.2012).
- [8] <http://www.lastikcim.com.tr/Oto-Lastik,AR-115.html>, (Ziyaret tarihi:05.08.2012)
- [9] <http://www.docstoc.com/docs/36507098/Maxxis-Tire-Production-Flow-Chart>, (Ziyaret tarihi: 05.08.2012).
- [10] Bradski G., Kaehler A., *Learning OpenCV : Computer Vision with OpenCV Library*, 1st ed., O'Reilly Media, Sebastopol, 2008.
- [11] Zhang Z., A Flexible New Technique for Camera Calibration, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2000, **22**, 1330-1334.
- [12] Kriegman D., Homography Estimation, *University of California*, San Diego, [http://cseweb.ucsd.edu/classes/wi07/cse252a/homography\\_estimation/homography\\_estimation.pdf](http://cseweb.ucsd.edu/classes/wi07/cse252a/homography_estimation/homography_estimation.pdf), (Ziyaret tarihi: 27.08.2012).
- [13] Dorsch R. G., Hausler G. and Herrmann J. M., Laser triangulation: fundamental uncertainty in distance measurement, *Applied Optics*, 1994, **33**, 1306-1314.
- [14] <http://www.scimedia.com/fis/support/download/bva/ver0703/RelNoteV0703.html#L1-3>, (Ziyaret tarihi: 05.08.2012).

- [15] Cabir Vural, Sayısal Görüntü İşleme(Kenar Bulma), Sakarya Üniversitesi, <http://web.sakarya.edu.tr/~cvural/BSM422/Slides/Week4.pptx>, (Ziyaret tarihi: 04.08.2012).
- [16] [http://tr.wikipedia.org/wiki/Do%C4%9Frusal\\_denklem](http://tr.wikipedia.org/wiki/Do%C4%9Frusal_denklem), (Ziyaret tarihi: 27.08.2012).

## **KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER**

1. **Duvar R.**, Gökbayrak A.B., Aytekin H.S., Güllü M.K., Urhan O., Ertürk S., Lastik Profillerinin Bilgisayarda Görü Yaklaşımı ile Gerçek Zamanlı Kontrolü, 20. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, Muğla, Türkiye, 18-20 Nisan 2012.

## **ÖZGEÇMİŞ**

1988 yılında Tekirdağ'ın Çorlu ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Burdur Gazi İlköğretim Okulunda, lise öğrenimini ise Ankara Hasan Âli YÜCEL Anadolu Öğretmen Lisesinde tamamladı. 2006 yılında kazandığı Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nden 2010 yılında mezun oldu. 2010 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2012 yılında mezun olma durumundadır.2012 Şubat ayından itibaren Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Bölümü Ana Bilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.