



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARMAŞIK ŞEKİLLİ MAMÜLLERİN GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ KULLANILARAK GERÇEK ZAMANLI BOYUT KONTROLÜ

Murat AKDOĞAN

DOKTORA TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalını

Temmuz-2018

KONYA

Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

DOKTORA TEZİ

KARMAŞIK ŞEKİLLİ MAMÜLLERİN GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİKLERİ KULLANILARAK GERÇEK ZAMANLI BOYUT KONTROLÜ

Murat AKDOĞAN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Süleyman YALDIZ

2018, 96 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Süleyman YALDIZ
Prof. Dr. Faruk ÜNSAÇAR
Prof. Dr. Ulvi ŞEKER
Prof. Dr. Hacı SAĞLAM
Prof. Dr. Şakir TAŞDEMİR

Gelişen teknolojiye uygun olarak üretimde kalite ve verimliliği artırmak için makine görme sistemlerinin kullanılması yaygınlaşmaktadır. Üretimin toleranslara uygun olarak yüksek hızlarda ve düşük maliyetlerle sağlanabilmesi araştırmacıların üzerinde çalıştığı temel konulardan biridir. Ayrıca, kalite muhafaza edilirken, hatalı üretim en aza indirgenmelidir.

Bu çalışmada amaç, ekstrüzyon hattından gelen karmaşık şekilli profil parçalarının hassas kısımlarına ait istenen boyutların ve hassasiyetlerin, uygun olup olmadığını belirleyen özerk bir gerçek zamanlı sistem tasarlamak olmuştur.

Dijital kamera tarafından elde edilen karmaşık şekilli profil parçalarına ait görüntüler, ilk olarak çalışma ortamından kaynaklanan gürültüleri düzeltmeye yönelik ardışık işlemlere tabi tutulmuştur. Daha sonra 2 boyutlu ölçüm gerçekleştirmek için çeşitli görüntü işleme algoritmaları uygulanmıştır. Yapılan araştırmalarda, endüstriyel ürünlerin görüntü işleme teknikleri ile boyut kontrolünde genellikle temel geometrik şekillerin dikkate alındığı görülmektedir. Bu çalışmada diğer uygulamalardan farklı olarak karmaşık şekilli profillere yönelik görüntü işleme sistemi tasarlanmıştır. Çalışma hem bilgisayar üzerinde çevrimdışı olarak hem de prototip olarak tasarlanan ekstrüzyon hattında gerçek zamanlı olarak test edilmiştir. Klasik ölçme aletlerinden dijital kumpaslarla yapılan ölçümler bu çalışmada geliştirilen sistemin ürettiği sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Uygun ölçme şartları karşılanamadığı takdirde her iki yöntemde de olumlu ve olumsuz etkiler karşımıza çıkmaktadır.

Gerçek zamanlı ölçme kontrol sistemi gereksiz hammadde tüketimini en aza indirmek, profil kalitesini iyileştirmek, maliyetleri azaltmak, standart olmayan malzemelerin üretimini azaltmak, üretim hattının kapasitesini artırmak ve diğer üreticilerle rekabet edebilmek için tercih edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Eşzamanlı ölçme, Görüntü filtreleme, Kalite kontrol, Kenar bulma, Kontur bulma, Sayısal görüntü analizi, Sayısal görüntü işleme.

ABSTRACT

Ph.D THESIS

REAL TIME DIMENSION CONTROL OF COMPLEX SHAPED PRODUCTS USING IMAGE PROCESSING TECHNIQUES

Murat AKDOĞAN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Süleyman YALDIZ

2018, 96 Pages

Jury
Prof. Dr. Süleyman YALDIZ
Prof. Dr. Faruk ÜNSAÇAR
Prof. Dr. Ulvi ŞEKER
Prof. Dr. Hacı SAĞLAM
Prof. Dr. Şakir TAŞDEMİR

In order to increase quality and efficiency in production process, using of the machine vision systems are prevailing by the developing technology. To provide the production which is in accordance with product tolerances on high speed and low cost are one of the main subjects which researchers study on. Besides, while the quality is being kept, defective production in process must be minimized.

The purpose of this application is that the designing an autonomous real-time system which determines whether desired dimensions and precisions belonging to sensitive areas of complex shaped profile parts coming from extrusion line are appropriate or not.

The images of complex shaped profile parts, taken by digital camera, is the first process a sequential operations which are correcting noisy images caused by working environment, then various image processing algorithms are applied to carry out 2 dimensional measurement. The most important characteristic of this operation separating other process is that real-time controlling of the parts which have complex shaped profile. This operation is both tested by computer as offline and applied with real-time on extrusion line. The acquiring results are compared with the results obtained by conventional systems. If the appropriate measurement conditions are not met, positive and negative effects are encountered in both methods.

Real-time dimension control system is preferred to minimize unnecessary consumption of raw materials, improve the quality of profiles, minimize the cost of labor, decrease the production of non-standard materials, increase the capacity of line and compete with the other manufacturers.

Keywords: Contour finding, Digital image analysis, Digital image processing, Edge detection, Image filtering, Quality control, Real time measurement.

ÖNSÖZ

Doktora tez çalışmam boyunca değerli yönlendirme, öneri ve yardımlarıyla bana destek olan danışmanım Sayın Prof. Dr. Süleyman YALDIZ'a, tez süresince kıymetli bilgilerinden faydalandığım tez izleme kurulu üyeleri Sayın Prof. Dr. Fatih M. BOTSALI'ya ve Sayın Prof. Dr. Şakir TAŞDEMİR'e, yazılımın geliştirilmesinde önemli katkıları olan Sayın İsrafil BAYRAM'a, yabancı dilde teknik katkılarından dolayı Sayın Yavuz BUYRUKBİLEN'e, çalışmaya maddi destek sağlayan Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinatörlüğüne teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, akademik çalışmalara başlamama vesile olan rahmetli babam Abdulkadir AKDOĞAN'a, hayır dualarını hiç eksik etmeyen sevgili annem Cennet AKDOĞAN'a, çalışmam boyunca manevi desteğini esirgemeyen ve sabır gösteren sevgili eşim Yasemin AKDOĞAN'a ve değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Murat AKDOĞAN
KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET iv

ABSTRACT v

ÖNSÖZ vi

İÇİNDEKİLER vii

ŞEKİLLER ix

KISALTMALAR vii

1. GİRİŞ 1

1.1. Extrüzyon Çeşitleri 2

1.2. PVC Üretimi ve Kullanım Alanları 3

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 5

2.1. Taranan Yayınların Analizi 8

3. MATERYAL VE YÖNTEM 9

3.1. Geliştirilen Sistemde Ölçme Metodu 11

3.2. Görüntü Alma ve Ön İşleme 11

3.3. Geliştirilen Sistemde Faydalanılan Kütüphane (OpenCV) 13

4. SAYISAL GÖRÜNTÜ İŞLEME 15

4.1. Temel Görüntü İşlemleri 17

4.1.1. Görüntü eşik değeri bulma 17

4.1.2. Medyan filtreleme 18

4.1.3. Gaussian Filtreleme 20

4.2. Kenar Algılama 20

4.2.1. Gradyant tabanlı kenar algılama metodları 22

4.2.1.1. Roberts kenar algılama operatörü 24

4.2.1.2. Prewitt kenar algılama operatörü 25

4.2.1.3. Sobel kenar algılama operatörü 27

4.2.2. Laplasyen tabanlı kenar algılama metotları 29

4.2.2.1. Laplasyen-Gauss (LOG) kenar algılama operatörü 29

4.2.2.2. Canny kenar algılama operatörü 30

5. İKİ BOYUTLU KONTUR ALGILAMA VE ÖLÇME 33

5.1. Konturların maksimum ve minimum noktalarını tespit etme 36

5.1.1. Konturun sıfir (0) noktasının tespit edilmesi 38

5.1.2. Konturun en üst noktasının tespit edilmesi 39

5.1.3. Konturun en sağ noktasının tespit edilmesi 40

5.1.4. Konturun en alt noktasının tespit edilmesi 41

5.1.5. Konturun en sol noktasının tespit edilmesi 41

5.1.6. Konturun sol orta noktasının tespit edilmesi 42

5.1.7. Konturun alt orta noktasının tespit edilmesi 43

5.1.8. Konturun sağ orta noktasının tespit edilmesi 43

5.1.9. Konturun üst orta noktasının tespit edilmesi 44

5.1.10. Konturun merkez x ve y noktalarının tespit edilmesi 45

5.1.11. Konturda iki nokta arası mesafe ölçümü ve çizim işlemi 46

6. ÖLÇÜMLERİ SAĞLANAN DENEY NUMUNELERİ 47

6.1. Görüntü İşleme Metoduyla Ölçümleri Sağlanan Diğer Profiller 53

7. UYGULAMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 54

7.1. Tablo Değerlerinin Analizi 62

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 76

KAYNAKLAR 78

ÖZGEÇMİŞ 82

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Ekstrüzyon işleminin genel şeması 2
Şekil 1.2. Çoklu tip ekstrüzyon (co-extrusion) makinası ve örnek mamul 3
Şekil 1.3. Levha tip ekstrüzyon (sheet-extrusion) makinası 3
Şekil 1.4. Boru tip ekstrüzyon (sheet-extrusion) makinası 3
Şekil 1.5. 2015 bölgesel verilere göre PVC kapasitesi 4
Şekil 1.6. Dünyada en büyük üretici pvc üretim kapasiteleri 4
Şekil 3.1. Dijital verviyerli kumpas 9
Şekil 3.2. CCD kamera 10
Şekil 3.3. Led aydınlatma kaynağı 10
Şekil 3.4. Geliştirilen görüntü işleme sisteminin blok diyagramı 11
Şekil 3.5. Görüntü işleme deney düzeneği 12
Şekil 3.6. OpenCv temel bileşenleri 13
Şekil 4.1. RGB renk uzayı 16
Şekil 4.2. HSV renk uzayı 16
Şekil 4.3. Eşik değeri belirlenen pvc profilin görünümü 18
Şekil 4.4. Medyan filtreleme operasyonları 19
Şekil 4.5. Gaussian filtre uygulanmış pvc profil görüntüsü 20
Şekil 4.6. Kenar algılama operatörlerinin sınıflandırılması 21
Şekil 4.7. Türev operatörleri 1-B, giriş Sinyali f(t), ilk türevi f'(t) ve ikinci türevi f''(t) 22
Şekil 4.8. Gradyantlar 22.5°-67.5° ve 67.5°-112.5 23
Şekil 4.9. Gradyantlar 122.5°-157.5° ve 0°-22.5° veya 157.5°-180° 23
Şekil 4.10. Filtreleme öncesi profil görüntüsü 24
Şekil 4.11. Roberts metodu ile filtrelenen görüntü 25
Şekil 4.12. Prewitt metodu ile filtrelenen görüntü 26

Şekil 4.13. Sobel metodu ile filtrelenen görüntüler 28
Şekil 4.14. Maksimum olmayanların bastırılması 31
Şekil 4.15. Canny kenar algılamada kullanılacak orjinal profil görüntüsü..... 32
Şekil 4.16. Canny kenar algılama operatörü uygulanmış profil görüntüsü 32
Şekil 5.1. Görüntü işleme sisteminin akış diyagramı 34
Şekil 5.2. Profili oluşturan konturların çizimi ve numaralandırılması 35
Şekil 5.3. Profildeki en dış konturda sıfır noktasının gösterilmesi 39
Şekil 5.4. Profildeki en dış konturda enüst noktanın gösterilmesi 40
Şekil 5.5. Profildeki en dış konturda ensağ noktanın gösterilmesi 40
Şekil 5.6. Profildeki en dış konturda enalt noktanın gösterilmesi 41
Şekil 5.7. Profildeki en dış konturda ensol noktanın gösterilmesi 42
Şekil 5.8. Profildeki en dış konturda solorta noktanın gösterilmesi 42
Şekil 5.9. Profildeki en dış konturda altorta noktanın gösterilmesi 43
Şekil 5.10. Profildeki en dış konturda sağorta noktanın gösterilmesi 44
Şekil 5.11. Profildeki en dış konturda üstorta noktanın gösterilmesi 44
Şekil 5.12. Profildeki en dış konturda merkez x ve merkez y noktalarının gös. 45
Şekil 5.13. Konturda mesafe ölçme ve çizdirme işleminin gösterilmesi 46
Şekil 6.1. 1 numaralı deney numunesi görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları..... 47
Şekil 6.2. 2 numaralı deney numunesi görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları 47
Şekil 6.3. 3 numaralı deney numunesi görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları 48
Şekil 6.4. 4 numaralı deney numunesi görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları 48
Şekil 6.5. 5 numaralı deney numunesi görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları 49
Şekil 6.6. 6 numaralı deney numunesi görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları 49
Şekil 6.7. 7 numaralı deney numunesi görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları 50
Şekil 6.8. 8 numaralı deney numunesi görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları 50

Şekil 6.9. 9 numaralı deney numunesi görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları 51
Şekil 6.10. 10 numaralı deney numunesi görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları 51
Şekil 6.11. 11 numaralı deney numunesi görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları 52
Şekil 6.12. 12 numaralı deney numunesi görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları 52
Şekil 6.13. Tip2 profil görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları 53
Şekil 6.14. Tip3 profil görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları 53
Şekil 7.1. Görüntü işleme tabanlı ölçümleri sağlanan profilin imalat resmi 55
Şekil 7.2. Deney numunesi için kritik noktalarının numaralandırılması 55
Şekil 7.3. Deney numuneleri "yükseklik" değerleri için hata oranları 62
Şekil 7.4. Deney numuneleri "üst genişlik" değerleri için hata oranları 63
Şekil 7.5. Deney numuneleri "toplam üst genişlik" değerleri için hata oranları 64
Şekil 7.6. Deney numuneleri "alt genişlik" değerleri için hata oranları 64
Şekil 7.7. Deney numuneleri "sol yan yükseklik" değerleri için hata oranları 65
Şekil 7.8. Deney numuneleri "iç yükseklik" değerleri için hata oranları 66
Şekil 7.9. Deney numuneleri "iç genişlik" değerleri için hata oranları 66
Şekil 7.10. Deney numuneleri "sağ yan conta kanal kenar u." değer. için hata oran 67
Şekil 7.11. Deney numuneleri "sol yan conta kanal kenar u." değer. için hata oran 68
Şekil 7.12. Deney numuneleri "üst kalınlık" değerleri için hata oranları 68
Şekil 7.13. Deney numuneleri "alt kalınlık" değerleri için hata oranları 69
Şekil 7.14. Deney numuneleri "sağ kalınlık" değerleri için hata oranları 70
Şekil 7.15. Deney numuneleri "sol kalınlık" değerleri için hata oranları 70
Şekil 7.16. Deney numuneleri "sağ yan conta kanal genişliği" değer. için hata oran. .. 71
Şekil 7.17. Deney numuneleri "sol yan conta kanal genişliği" değer. için hata oran. ... 72
Şekil 7.18. Deney numuneleri "çıta kanalı alt kenar genişliği" değer. için hata oran. .. 72
Şekil 7.19. Deney numuneleri "çıta kanalı genişliği" değerleri için hata oranları 73

Şekil 7.20. Deney numuneleri “çıta kanalı toplam genişliği” değer. için hata oran. 74

Şekil 7.21. Deney numuneleri “ispanyolet yatağı altı” değerleri için hata oranları 74

Şekil 7.22. Deney numuneleri “ispanyolet yatağı yüksekliği” değer. için hata oran. 75

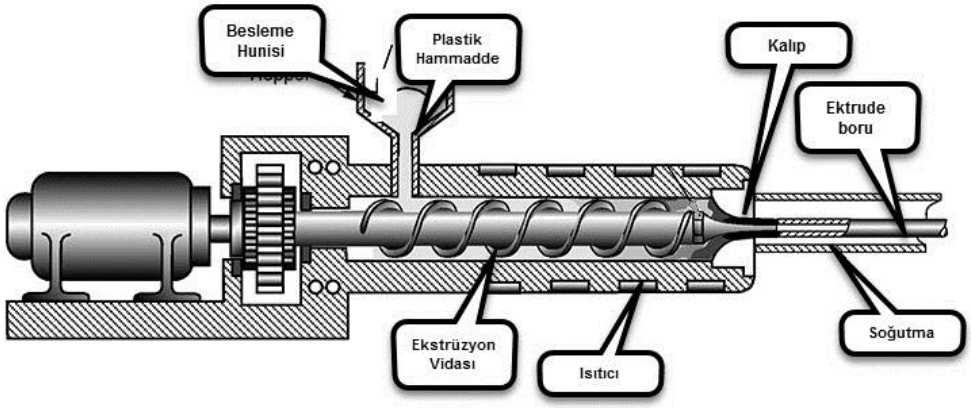
KISALTMALAR

Bit	En küçük veri depolama birimi
CCD	Charge Coupled Device (Elektriksel yük bağlamalı eleman)
CMOS	Complementary metal oxide semiconductor (bütünleyici metal oksit yarı iletken)
C-Mount	Lens montaj standardı
FFT	Fast Fourier Transform (Hızlı fourier dönüşümü)
FPS	Frame Per Second (Saniyedeki görüntü karesi sayısı)
GB	Gigabyte, 1024MB (Veri depolama birimi)
HSV	Hue, Saturation, Value (Renk özü, Doygunluk, Değer)
HT	Hough Transform (Hough dönüşümü)
LED	Light Emitting Diode (Işık yayan diyot)
MB	Megabyte, 1024KB
MP	Mega piksel (Çözünürlük birimi)
OpenCV	Open Source Computer Vision Library (Açık kaynak görüntü işleme kütüphanesi)
Pixel	Sayısal görüntülerin en küçük birimi
PVC	Polyvinyl chloride (Polivinil klorür)
RGB	Red, Green, Blue (Kırmızı, Yeşil, Mavi)

1. GİRİŞ

Ekstrüzyon, eritilmiş plastik veya başka herhangi bir materyalin iki boyutlu bir kalıp içerisinden geçirildiği bir yöntemdir. Ekstrüzyon yönteminde, bitmiş ürünler, uzunlukları sürekli olan iki boyutlu bir forma sahiptir. Ekstrüzyon yöntemi karmaşık kesitleri oluşturmaya yardımcı olur. Ekstrüzyon metodu doğrusal şekiller üretir ve bu metot kullanılarak kırılgan ve sert malzemeler istenilen herhangi bir formda oluşturulabilir. Ayrıca, ürün haline getirilmiş malzemeler enjeksiyon yöntemi de dahil olmak üzere diğer işlemlerle karşılaştırıldığında düzgün bir yüzeye sahiptir. Ekstrüzyon işleminde kullanılan malzeme, yüksek bir viskozite seviyesi ile karakterize edilir ve ürünler, istenen şeklin bir kesitiyle elde edilir. Ekstrüzyon, diğer bir deyişle mekanik kuvvetler, yüksek sıcaklık ve nem etkisi altında gerçekleşen karmaşık bir fiziksel-kimyasal süreç olarak düşünülebilir. İşlenmiş hammaddeler, iç sürtünme ve malzemenin deformasyonunun üstesinden gelme işlemi sırasında ve ayrıca harici ısıtma nedeniyle açığa çıkan ısı ile extrüzyona tabi tutulur.

Plastiklerin prosesinde en yaygın olarak kullanılan metotlardan birisi olan ekstrüzyon işlemi silindir içindeki bir vidanın kullanılmasıyla olmaktadır. Plastik genellikle toz veya tanecik formunda vidaya bir huniden beslenir. Vida ve kovan plastik malzemenin iletilmesi, eritilmesi ve basınç oluşturulmasında etkin olan birimlerdir. Dişli sistemi vidayı kontrollü hızda döndürür. Kovan, sıcaklık kontrolörlerine bağlı olan ısıtma ve soğutma ekipmanları ile donatılmıştır (Turaçlı H., 1999). Ekstrüzyon işleminin genel şeması Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Ekstrüzyon işleminin genel şeması

Ekstrüzyon yöntemiyle elde edilen pvc profillerin şekil ve boyut olarak kalitesine etki eden pek çok unsur vardır. Bunlar; kalıp sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, enjeksiyon hızı, soğutma zamanı, çekici ve kesici hızı olarak sayılabilir. Şayet profil ölçülerinin verilen toleransların dışına çıktığı tespit edilirse, belirtilen bu değişkenler sırasıyla gözden geçirilerek ölçü sınırları içerisine tekrar getirilmeye çalışılır. Görüntü işleme tekniği uygulaması yöntemiyle, problemlerin tespiti daha hızlı sağlanabilmekte ve müdahale edilmesi gereken bölgeler için gerekli önlemler kolaylıkla alınabilmektedir. Aynı zamanda kalite kontrol alanında çalışanların üzerindeki yük nispeten hafifletilmiş olmaktadır (Huang, M.C. ve ark., 2001).

Extrüzyon yöntemiyle üretilen profillerin özellikle kesitlerindeki et kalınlıklarının ve conta boşluklarının, üretimin kalitesini doğrudan etkileyen boyutsal unsurlar olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla, bu ölçümlerin istenilen toleranslar arasında olup olmadığını belirlemeye yönelik örnekleme muayenesi zorunluluktur.

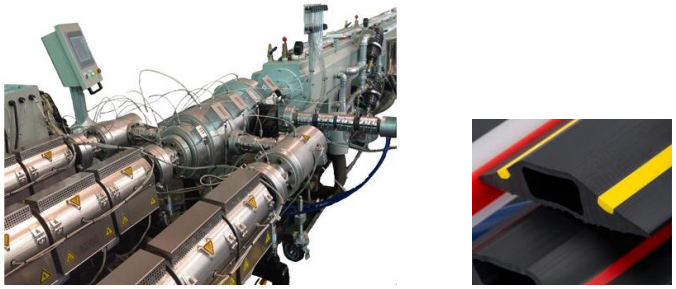
Profillerin conta boşlukları, et kalınlıkları, iç ve dış boyutları periyodik olarak çalışanlar tarafından klasik ölçme aletleri ile (Kumpas) kontrol edilmektedir. Temaslı ölçümlerde, en sık rastlanan hataların başında hatalı ya da kalibre edilmemiş ölçme aletlerinin kullanılması görülmektedir. Çalışan personelin yeterli hassasiyeti göstermemesinden kaynaklanan problemler de göz ardı edilmemelidir.

Bu çalışmada bahsedilen bu problemleri en az seviyeye indirmek için görüntü işlemeye dayalı bir ölçme sistemi tasarlanmıştır.

1.1. Ekstrüzyon Çeşitleri

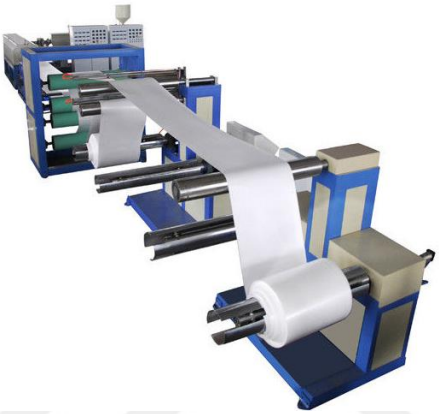
1797 yılında ilk olarak Joseph Bramah kurşundan boru imalatı için ekstrüzyon yöntemini geliştirmiştir. 1820'li yıllarda Thomas Burr tarafından ilk hidrolik tahrikli pres kullanılana kadar ekstrüzyon işlemi kas gücü ile gerçekleştirilmiştir. 1894 yılında Alexander Dick extrüzyon yöntemini bakır ve pirince de uygulayarak geliştirmiştir. Üreticilerin hedeflerini gerçekleştirmek için kullandıkları ekstrüzyon formları, levha (sheet extrusion), çoklu (co-extrusion), ve boru (tubing extrusion) tip olarak sınıflandırılmaktadır (Bauser ve ark., 2006).

Çoklu form extrüzyon iki kaynaktan gelen plastiklerin tek bir formda birleştirilmesi istenen mamullerde uygulanmaktadır. Şekil 1.2'de çoklu tip ektrüzyon makinası gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Çoklu tip ekstrüzyon (co-extrusion) makinası ve örnek mamul

Film (tabaka) veya levha formlu ekstrüzyon, rulo şeklinde kullanılabilecek tüm ürünlerde tercih edilmektedir. Şekil 1.3'te levha tip ektrüzyon makinası gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Levha tip ekstrüzyon (sheet-extrusion) makinası

Boru ekstrüzyonu ise üretimin bir tüp şeklinde olması istenen yerlerde tercih edilmektedir. Şekil 1.4'te boru tip ektrüzyon makinası gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Boru tip ekstrüzyon (sheet-extrusion) makinası

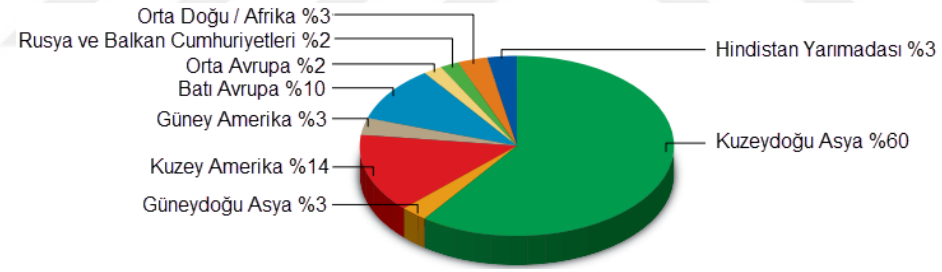
1.2. PVC Üretimi ve Kullanım Alanları

Polivinil klorid (PVC) 19. yüzyılda iki farklı halde, 1835'te Henri Victor Regnault ve 1872'de Eugen Baumann tarafından keşfedilmiştir. 20. yüzyılın başlarında,

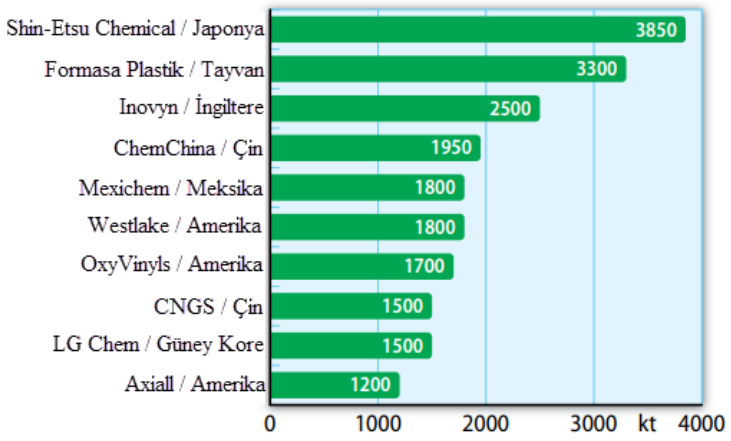
Rus kimyacı Ivan Ostromislensky ve Fritz Klatte Alman kimya şirketi Griesheim Elektron ile PVC'yi ticari ürünlerde denemiş, fakat katı halde işlem görme zorlukları ve polimerin gevrekliği bu çabaları durdurmuştur. 1926'da, B.F. Goodrich şirketinden Waldo Semon, PVC'yi farklı katkı maddeleri ile karıştırıp, plastikleştirme metodu geliştirmiştir. Bu sonuç, daha esnek ve daha kolay işlenebilir malzemeyi vermiş ve ticari alandaki yaygın kullanım bundan yakın bir zaman sonra başarılmıştır (Smil, 2014).

IHS Chemical (Kimyasal Bilgi İşleme Servisi) verilerine göre PVC dünya çapında üretim kapasitesi 2016 yılında yaklaşık 62 milyon tona ulaşmış ve 2012'den bu yana 8 milyon ton arttığı görülmüştür. Bu büyümenin %90'ından fazlası küresel kapasitenin %51'inden fazlasına sahip olan Çin'den gelmektedir. Dünyadaki PVC talebi öncelikle inşaat faaliyetleri tarafından belirlenmektedir. Küresel olarak en önemli uygulamalar; pvc boru ve bağlantı elemanları için %43, profil ve tüpler için %17, sert film ve levhalar için %17 ve kablolar için %8 olarak gerçekleşmiştir (Schellerer, 2016).

2015 bölgesel verilere göre PVC kapasite kullanımı Şekil 1.5'te gösterilmiştir. Dünyanın en büyük üretim kapasitesine sahip 10 üretici firma ise 2016 verilerine göre Şekil 1.6'da gösterilmiştir.



Şekil 1.5. 2015 bölgesel verilere göre PVC kapasitesi



Şekil 1.6. Dünyada en büyük üretici pvc üretim kapasiteleri

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Günümüzde görüntü işleme teknikleri kullanılarak 2 boyutlu ürünlerin dış hatlarının ölçümünü gerçekleştiren sistemlere ait çalışmalar mevcut olmasına rağmen iç hatlara sahip olan karmaşık parçalara yönelik çalışmalara çok sık rastlanılmamaktadır. Bu bağlamda yapılacak çalışma uygulama safhası sonrası, üretim sektöründeki bu açığı kapatacağı düşünüldüğünde üretimde kullanılan enerji ve hammaddeden yapılacak tasarruf, aynı zamanda ülke ekonomisine ciddi katkılar sağlayacaktır. Görüntü işleme teknikleri ile ilgili literatürde yer alan araştırmalar bu bölümde özetlenmiştir.

Chen ve Su (1996), Bilgisayarlı Tümleşik İmalat Sisteminde görüntü işlemeye dayalı olarak lokma anahtarlarının ağızları için görüntü işleme tabanlı bir kalite kontrol sistemi geliştirmişlerdir. Lokma anahtarlarının imalatı sırasında, özellikle köşelerde ortaya çıkabilecek kusurlar, bunların eşzamanlı olarak tespit edilmesiyle imalatın verimli bir şekilde sürdürülmesini mümkün hale getirmektedir. Yapılan çalışmada insan faktörüne bağlı olarak ortaya çıkabilecek kalite kontrol hataları önemli ölçüde ortadan kaldırılmıştır.

Angrisani ve arkadaşları (1998), otomotiv contalarının boyutlandırılması için görüntü işlemeye dayalı geometrik ve fiziksel bir ölçme sistemi geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmanın otomotiv kapı ve pencere contalarında üretim esnasında oluşabilecek kusurları önceden tespit etmede ve üretimin kalitesini artırmada faydalı bir çalışma olduğu görülmüştür.

Kim ve arkadaşları (1999), lehim bağlantılarının sınıflandırılması için görsel inceleme sistemi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Farklı aydınlatma açılarıyla 3 katmanlı halka şeklinde ledler kullanılarak, 3 adet görüntü ardışık olarak elde edilmiştir. Bu görüntüler yardımıyla lehimli bölgeler diğer bölgelerden ayırt edilmiştir. Yapılan çalışmada, lehimli bölgelerin karakteristik özellikleri ve iki boyut özellikleri dikkate alınarak önemli noktaları tespit edilmiştir. Yapay sinir ağlarının geriye yayınma algoritmalarına dayalı olarak her lehim bağlantısı ön tanımlı tiplerden birisine karşılık gelecek şekilde sınıflandırılmıştır. Deneysel sonuçlar 2D ve 3D özelliklerle yapılan sınıflandırmanın tanıma oranının yüksek düzeylerde olduğunu ortaya koymuştur.

Derganc ve arkadaşları (2002), mil yataklarının eksantrikliğini ölçmek için makina görme sistemi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Burada, elektromekanik kilometre saatleri için önemli olan mil yataklarının incelenmesine yönelik makina görme sistemi kullanımı hedeflenmiştir. Sistem video kartına sahip bir kişisel

bilgisayar, siyah beyaz görüntü işleyebilen tarayıcı bir kamera ve özel bir motor ile kontrol edilen step motora sahip mekanik bir aygıttan oluşmaktadır. Mil yataklarının kalitesi iğnenin eksantrikliğine ve yatak dışına çıkan iğnenin uzunluğuna bağlıdır. Bu iki özellik Hough dönüşümü (HT) ve doğrusal bağlanımın (Lineer regression) başarılı bir uygulamasıyla rijit ve doğru olarak belirlenmiştir.

Elektro-mekanik kilometre saatlerinin en önemli parçası ölçme iğnesini destekleyen üst yataklama sistemidir. Ölçüm iğnesi gerilim ve akım tarafından üretilen elektromanyetik etki altında ana şafta bağlı alüminyum plakalarla birlikte döner. Kilowatt saatin doğru olarak ölçülmesi iğnenin eksantrikliğine ve taşma miktarına bağlıdır.

Manuel olarak ölçüm, iğnenin siluetinin ara bir ekrana yansıması üzerinde simetrik bir doğru çizimi ve dönme esnasında en çok salınım yaptığı noktanın işaretlenmesi ile gerçekleştirilmekte iken, makine görmesi sisteminin kullanılması daha kesin sonuçlar ortaya koymuştur. Manuel ve geliştirilen otomatik sistemle elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, manuel ile otomatik ölçüm arasındaki mutlak fark 8 μm'den daha küçük olduğu ve (MSE - mean square error) ortalama hata kareleri toplamı 21.9 olduğu görülmektedir. Araştırmacılar önerilen sistemin kilowattsaat metre üretim hattında kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır.

Chaudhuri ve arkadaşları (2003), oluk köşegenli profil külçelerde kesit alanı ve hacim ölçümleri üzerine, çelik malzemelerde ise geometrik profiller için hacim ölçme üzerine görüntü işlemeye dayalı bir sistem geliştirmişlerdir. Geliştirilen sistemle elde edilen sonuçların gerçeğe çok yakın değerler olduğu görülmüştür.

Liguori ve arkadaşları (2004), kauçuktan ekstrüzyon metoduyla elde edilen gasket adı verilen otomotiv lastik contalarının eş zamanlı olarak boyutsal kontrolü için stereo görme sistemi üzerine bir çalışma yapmışlardır.

Araştırmacıların geliştirmiş olduğu deney setinde, 180-220 derece arasındaki sıcaklıkta ısıtılmış fırından çıkan ektrüzyon malzemesi, yaklaşık 13 m/dk hızda hareket etmektedir. Ekstrüzyon esnasında enjekte edilen nitrojen basıncı kararlı bir şekilde ayarlanarak, ürünlerin istenilen ölçü sınırları içerisinde çıkmaları sağlanmıştır. Geliştirilen deney setinde üretim hattının sonuna iki adet CCD kamera yerleştirilmiştir. Kesim sonrası görüntünün kontrastını artırmak için aydınlatma kullanılmış ve iki kamera vasıtasıyla ürünlerin kesit görünüşleri elde edilmiştir. Gasket kenarlarının belirlenmesinde Canny algoritması kullanılmış ve on-line ölçme sistemi ile 0.1 mm hassasiyette sonuçlar elde edilmiştir.

Akbar ve Prabuwono (2008), endüstride preslenerek imal edilen ürünlerin boyutlarının kontrol edilmesinde gerçek zamanlı web kamera görüntüleme sisteminden faydalanmışlardır. Gerçek zamanlı kontrol metotlarının üretim kalitesini artırmaya etkisinin büyük olduğunu ancak, on-line görüntü işlemenin çok basit olmadığını belirlemişlerdir. Web kameralı gerçek zamanlı boyut kontrolü için görüntü alma, aydınlatma, işleme ve kontrol birlikte ele alınmalıdır.

Sun ve arkadaşları (2010), elektrik kontaklarının üst, yan ve alt yüzeylerindeki deformasyonları inceleyen görüntü işlemeye dayalı bir sistem üzerinde çalışmışlardır. Yapılan çalışmada üç yönden elde edilen görüntülerle yüzeylerdeki çatlak, çizik ve deformasyonlar incelenmiştir. Her bir yüzeyde farklı görüntü işleme metotlarından faydalanılmıştır. Sonuç olarak sistemin hataların tespitinde etkili olduğunu ortaya koymuşlardır.

Shuxia ve arkadaşları (2011), parmak freze takımlarının çaplarının ölçülmesi ve dönme esnasında oluşabilecek maksimum sapma miktarlarının tespitine yönelik bir görüntü işleme sistemi üzerinde çalışmışlardır. Yapılan çalışmada parmak freze takımlarının çaplarında 0.34-2.5 μm arasında değişen değerlerde sapma olduğunu ortaya koymuşlardır.

Shen ve arkadaşları (2012), rulmanlarda dış koruyucu kapaklardaki deformasyon, çizik, çatlak, yağ, kir gibi yabancı maddeleri görmeye dayalı bir kalite kontrol sistemi geliştirmişlerdir. Yapılan çalışmada rulman hatalarının tespitinde bir dizi görüntü işleme metodu kullanmışlardır. Elde edilen deneysel sonuçlar rulman hatalarının tespitinde sistemin oldukça etkili olduğunu ortaya koymuştur.

Sun ve arkadaşları (2014), geliştirdikleri bir görüntü işleme ile millerin çaplarının boyutsal doğruluğunu kontrol etmişlerdir. Çalışmada yüksek hassasiyette ve temassız ölçüm sistemi olan dijital kamera tekniği kullanılmıştır. İlk aşamada, geliştirilen bir yöntemle kamera kalibre edilmiş, ikinci aşamada mil çapı tayin edilmiş, üçüncü aşamada ise çapı bilinen bir mil yardımı ile parametreler tekrar kalibre edilmiştir. Hassas ölçüm yenilenen parametrelere göre tekrar edilmiştir. Sonuç olarak 0,005 mm ölçme hassasiyetine ulaşılmıştır.

Peng ve arkadaşları (2016), sızdırmazlık elemanlarından olan O-ringlerin üretim hatalarının incelenmesi ve ölçümleri üzerine görüntü işleme algoritması geliştirmişlerdir. O-ringler kullanıldıkları aygıtların kararlılığına ve doğruluğuna direkt olarak etki etmektedir. Araştırmacılar çalışmalarında O-ringlerin kalite yönünden incelenmesi, iç ve dış çapların ölçümü ve yüzey kusurlarının tespiti için görüntü işleme

algoritması geliştirmişlerdir. Önerilen metot O-ringlerin ölçümü için kenarları belirlemede ve kusurların tespit edilmesinde etkili olmuştur.

Leo ve arkadaşları (2017), elektromekanik parçaların görüntü işlemeye dayalı inceleme sistemi tasarlamışlarıdır. Üst ve yandan görüntü alacak şekilde iki kamera kullanarak görüntüleri elde etmişlerdir. Sistem sayesinde bobinlerdeki hatalar, gevşek bakır tel bağlantıları ve bağlantılar arasındaki mesafeler tespit edilmiştir. Geliştirdikleri algoritmada öncelikle renkli görüntüler ikili (binary) görüntülere dönüştürülmüş, morfolojik işlemlerle ilk olarak bobin bağlantısı ortadan kaldırılmış ve elde edilen iki görüntü arasında fark alınarak sadece gevşek kablo bağlantısı ortaya çıkarılmıştır. Ölçme ve hata düzeltmeye yönelik analitik bir model ortaya koymuşlardır. Geliştirdikleri sistem İtalya'daki Bitron fabrikasının üretim hattında faaliyet göstermektedir. Temassız ölçüm inceleme sistemi üretim atıklarının ciddi şekilde azaltılmasına ve ürün maliyetlerin düşmesine vesile olmuştur.

Dai ve arkadaşları (2018), ürün kalitesini ve takım ömrünü artırmaya yönelik gerçek zamanlı makine görme sistemi üzerinde çalışma yapmışlardır. Mikro işleme teknolojisi ile üretilen parçaların kalite kontrolünde takım davranışlarını izleme önemli bir husustur. Takım aşınması mamulün doğruluğunu kayda değer şekilde azalmakta ve takım ömrünü kısaltmaktadır. Mikro frezeleme karakteristiklerine göre kademeli takım aşınmasını tespit etmede görüntü işleme algoritması oluşturulmuştur. Deneysel çalışmalarda, inceleme amaçlı makine görme sisteminin takımdaki kademeli aşınma miktarını ölçmede etkili olduğunu ortaya koymuşlardır.

2.1. Taranan Yayınların Analizi

Görüntü işleme tabanlı boyut kontrolüne yönelik yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda, sadece temel geometrik şekiller üzerinde durulduğu, karmaşık şekilli mamullere yer verilmediği görülmüştür. Yapılan literatür taraması görüntü işleme teknolojilerinin farklı sanayi ürünlerinin boyutsal özelliklerini belirleme, bu özellikleri kullanarak kalite kontrol alanında uygulama gibi amaçlarla başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Bu çalışmada PVC profillerin görüntü işleme teknolojisi kullanılarak boyutsal doğruluğu kontrol edilip, kalite yönünden irdelenmesi yapılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Günümüzde görüntü işleme sadece akademik alanda değil aynı zamanda endüstride de yaygın olarak kullanılır hale gelmiştir. Örneğin, tüm parçaların, alt grupların ve nihai ürünlerin %100 kalite güvencesine ulaşma hedefi, seri üretim tesisleri için bir zorunluluktur. Kalite kontrol işlemlerinin operatör tarafından yapılması, daha fazla zaman harcanmasına ve süreç maliyetlerinin artmasına sebep olacaktır (Rosas ve ark., 2005). Ekstüzyon metoduyla imal edilen pvc ürünlerin boyut ve şekil yönünden kalitesine etki eden pek çok etmen vardır. Bunlar; kalıp sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, enjeksiyon hızı, soğutma süresi, çekme ve kesme hızıdır. Şayet profil ölçüleri tolerans aralığı dışında ise, daha iyi kalitede pvc ürün elde etmek için kalıp parametreleri ayarlanabilir. Görüntü işleme teknikleri kullanılarak pvc ürünlerdeki boyutsal hatalara sebep olan faktörler belirlenebilir. Bu olumsuz faktörleri belirlemeye yarayan ve otomatize edilmiş bir görüntü işleme sistemi, işletmelerin kalite kontrol biriminde çalışan sorumluların görevlerini önemli ölçüde azaltabilir.

Ekstrüzyon yöntemi ile üretilmiş pvc profillerin et kalınlıkları ve conta boşlukları profilin kalitesine doğrudan etki eder. Dolayısıyla, kalınlıkların tolerans aralıklarında olup olmadığını belirlemek için numune incelemesine ihtiyaç vardır. Genellikle profillerin et kalınlıkları ve conta boşluklarını ölçmek için verniyerli kumpaslar kullanılır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Dijital verniyerli kumpas

Temaslı ölçümden kaynaklı temel eksiklikler, iyi eğitilmemiş çalışandan kaynaklı olabileceği gibi yetersiz hassasiyete sahip ya da kalibre edilmemiş ölçme aletinden olabilir. Profil boyutlarını ölçmek için kullanılan otomatik sistemler çok az ya da sıfira yakın bir hataya sahip olmalıdır. Yazılım mühendisliğinin gelişmesiyle birlikte görüntü işleme algoritmaları, yazılıma dayalı olarak daha fazla uygulanmaktadır.

Günümüzde, ekstrüzyon ile üretilen karmaşık profilli mamullerin hassas ölçüm işlemlerinde yüksek performanslı görüntü işleme sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma, görüntü işlemeye dayalı olarak ekstrüzyon yöntemi ile üretilmiş karmaşık şekilli profillerin boyutlarını belirleme metodunu ortaya koymaktadır.

Görüntüleri elde etmede 3264x2448 çözünürlükte ve 5-50 mm odak ayarlı lense usb bağlantılı kamera kullanılmıştır (Şekil 3.2). CCD kameralar küçüklüğü, hassasiyeti, sabitliği, düşük fiyatı ile tercih gören bir video kamera türüdür.



Şekil 3.2. CCD kamera

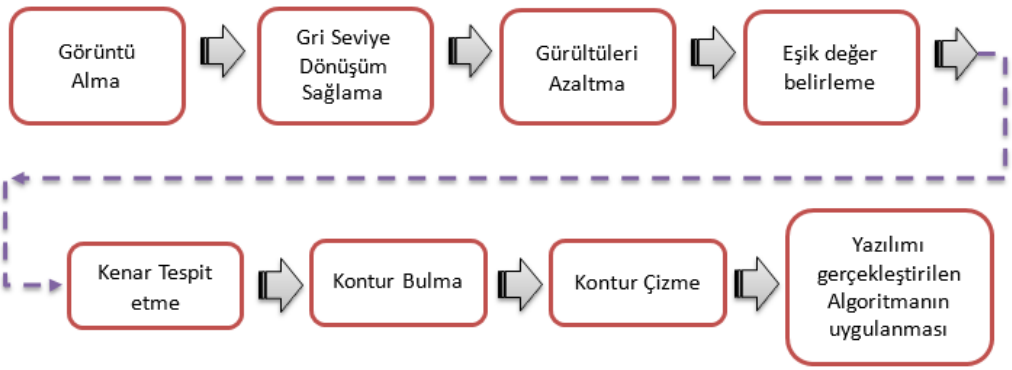
Profilin kesit alanının görüntü kontrastını artırmak için 30W 5600/3200K ayarlanabilir 396 led ışıklandırma sistemi aydınlatma elemanı olarak kullanılmıştır. Karanlık ortamlarda bu sayede görüntünün daha parlak ve temiz olması sağlanmıştır. Şekil 3.3'te sistemde kullanılan aydınlatma kaynağı verilmiştir.



Şekil 3.3. Led aydınlatma kaynağı

Profillerin sınırları görüntü işlemede temel bir unsurdur, bu yüzden profillerin kenarlarının algılamasında gerekli olmayan arka plan verileri filtrelenerek azaltılmış ve gereksiz bilgiler yok sayılmıştır. Görüntü işlemede kenar algılama, nesnelerin belirlenmesinde ön sıralarda yer alır. Çalışmada öncelikle kameradan görüntü elde edilmiş ve akabinde lüzumsuz addedilen gürültü kaldırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra görüntünün eşik değerini bulma işlemi ile ele alınacak bölgeler ortaya

çıkarılmış, görüntü bölütleme algoritması ve kontur bulma algoritmaları uygulanmıştır. Son olarak geliştirilen algoritma, elde edilen görüntü üzerine uygulanarak ekstrüzyon ile üretilen parçaların boyutları tespit edilmiştir. Geliştirilen görüntü işleme sisteminin blok diyagramı Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Geliştirilen görüntü işleme sisteminin blok diyagramı

3.1. Geliştirilen Sistemde Ölçme Metodu

Bu çalışmada geliştirilen ölçme sistemiyle 2 boyutlu karmaşık şekilli ekstrüzyon parçalar için 3 aşamalı bir ölçme metodu kullanılmıştır. Bunlar:

- ✓ Ekstüzyon profil görüntüleri elde etme ve temel ön işlemlere tabi tutma,
- ✓ Profillerin kontur bölgelerini çıkartma,
- ✓ Profillerin konturlarını kullanarak dış hatların, et kalınlıklarının, conta kanallarının ve özel bölümlerin ölçümünü gerçekleştirecek algoritmanın uygulanması.

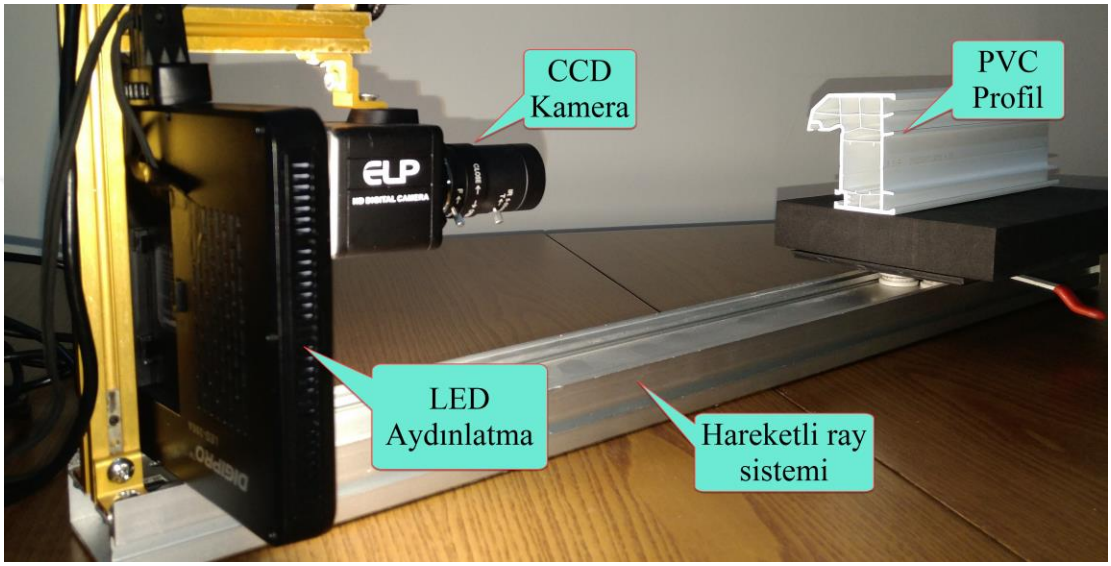
3.2. Görüntü Alma ve Ön İşleme

Özellikle endüstride ekstrüzyon yöntemi ile süreklilik arz eden bir ürünün üretim sürecini durdurup numune almaktan ziyade, uzaktan ve hızlı bir şekilde görüntü almak ve işlemek üreticilerin arzu ettikleri bir durumdur.

Adından da anlaşıldığı gibi ön işleme (gürültüleri azaltma, görüntünün kontrastını artırma vb.), kameradan elde edilen sayısal görüntüyü kullanmadan önce, daha başarılı bir sonuç elde etmek için, görüntünün bazı ön işlemlere tabi tutulmasıdır.

Tasarlanan deney setinden elde edilen görüntülerle pvc profil boyutlarını belirlemeye yönelik algoritma geliştirilmiştir. Sistemi oluşturan elemanları şu şekilde

özetlemek mümkündür: Şekilde bir ışık kaynağı ile aydınlatılmış profil numunesi bulunmaktadır. Taşıyıcı sistemin son noktasına kamera yerleştirilmiştir. Profil numunesi ile kamera arasındaki mesafe hareketli ray sistemi ile eş zamanlı olarak ayarlanabilmektedir. Sistem bu sayede profilin hareketi esnasında görüntünün alınabilmesine imkan vermektedir. Boyutları kontrol edilecek profilin kesit görüntüsü, stoğa gönderilmek üzere nihai kesme işlemi yapılmadan birkaç saniye önce alınır. Şekil 3.5'te görüntü işleme deney düzeneği verilmiştir.



Şekil 3.5. Görüntü işleme deney düzeneği

Ekstüzyon ile elde edilen pvc görüntüsünün en önemli adımı profilin geometrisini çıkarmaktır. Kameradan elde edilen görüntü, kamera açısı, ortam aydınlatması, toz ve benzeri diğer faktörlerden kolayca etkilenebilecek durumdadır. Bu aşamada profil, dış etkenlerden kaynaklı olabilecek olumsuzlukları ortadan kaldırmaya yönelik bazı ön işlemlere tabi tutulmuştur. Genel olarak ön işlemeler dört safhada ele alınmıştır. Bunlar; renkli olarak elde edilen görüntünün gri ton düzeyine dönüştürülmesi, görüntü yumuşatma ve keskinleştirme işlemleri ve görüntüyü siyah-beyaz renk seviyesine indirgeme (ikili düzenleme) ve kenar algılama operasyonlarıdır.

Profillerin görüntüsünün ön işlenmesi; orjinal görüntü bilgilerinin karmaşıklığını azaltacak, profilin geometrisinin basit ve hızlı bir şekilde belirlenmesini sağlayacak ve ayrıntıların kolayca tespit edilmesine imkân verecektir. Çalışmada öncelikle boyutsal doğruluğu kontrol edecek profillerin görüntüsü elde edilmiş ve daha sonra görüntüden kaynaklanan gürültüler çeşitli filtreler vasıtasıyla yok edilmiştir. Ön işlem aşaması

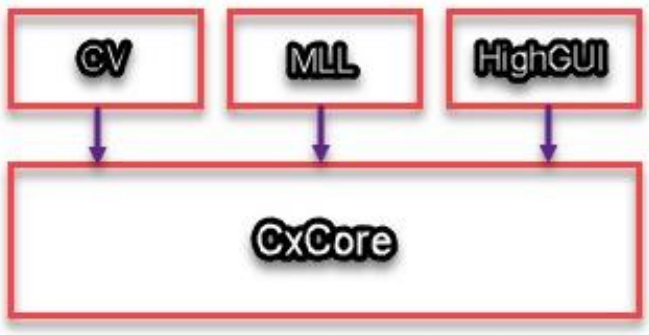
kontur çıkarma işleminden önce yapılması gereken bir operasyondur. Profilden elde edilen görüntülerin gürültülerinin giderilmeden işlem yapılması durumunda profili oluşturan kontur sayısı yanlış hesaplanmakta ve bu durum algoritmanın başarısını olumsuz yönde etkilemektedir. Görüntü almada kullanılan kameranın kalibrasyonunda ölçümü yapılacak deney numunesinin dış boyutları kullanılmıştır.

Görüntüyü alma esnasındaki aydınlatma ise başka bir önemli sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. İyi bir görüntü ancak doğru seçilmiş aydınlatma kaynağı ve ortamı ile elde edilebilir.

3.3. Geliştirilen Sistemde Faydalanılan Kütüphane (OpenCV)

OpenCV, bir resim ya da video içindeki anlamlı bilgileri çıkarıp işleyebilmek için INTEL tarafından C ve C++ dilleri kullanılarak geliştirilmiş, açık kaynak kodlu bir "Bilgisayarla Görme" kütüphanesidir. Özellikle gerçek zamanlı uygulamalar hedef alınarak geliştirilmiş olması, ticari kullanımı dahil ücretsiz olması ve Windows, Linux, MacOS X gibi farklı platformlarda kullanılabilmesi, bu kütüphaneyi diğer görüntü işleme araçlarından bir adım öne çıkarmaktadır. Esas itibariyle OpenCV, hesaplama verimliliğini artırmak ve gerçek zamanlı uygulamalar için tasarlanmıştır (Bradski ve Kaehler, 2008).

1999'da Intel'de Gary Bradsky tarafından geliştirilmiş ve ilk tanıtımı 2000'de gerçekleştirilmiştir (Mordvintsev ve Abid, 2014). Günümüzde OpenCV, Makine görmesi ve makine öğrenmesi ile tanımlanan hesaplamaların veya algoritmaların önemli bir bölümünü desteklemektedir. OpenCV, C ++, Python ve Java gibi programlama dilleri ve aynı zamanda Windows, Linux, Android tabanlı pek çok işletim sistemi ile de uyumlu olarak kullanılabilmektedir. OpenCV, Şekil 3.6'da görüleceği gibi, genel olarak 4 ana bileşenden oluşmaktadır:



Şekil 3.6. OpenCV temel bileşenleri

Bu bileşenler:

- ✓ CV, temel görüntü işleme ve üst düzey bilgisayar görme algoritmalarını,
- ✓ ML, birçok istatistiksel sınıflandırıcıyı ve kümeleme araçlarını içeren makine öğrenme algoritmalarını,
- ✓ HighGUI, video ve resimlerin depolanması ve yüklenmesi için I/O yordamları ve işlevleri,
- ✓ CXCore, temel veri yapılarını ve içeriğini ifade eder.

OpenCV, NumPy ve Scipy gibi görüntü ve video analizlerinde kullanılabilecek algoritmaları içeren kütüphanelere sahiptir.

NumPy, Numerical yani Sayısal Python'un kısaltılmış halidir. Özellikle veri merkezli çalışmaların odağında yer alan bir kütüphanedir. En önemli nesneleri şunlardır:

- ✓ Hızlı çalışan çok boyutlu diziler (ndarray),
- ✓ Diziler ve dizi ile çalışan matematiksel işlemler,
- ✓ Dizi tabanlı data setlerin oluşturulması , okunması ve yazılması,
- ✓ Lineer Cebir işlemleri, Fourier dönüşümleri, rastgele sayı üretimi,
- ✓ C, C++ gibi programlama dilleri ile entegre olmayı sağlayan kodlar,

SciPy çok sayıda farklı standart problemin çözümünü içeren bir kütüphanedir. En önemli nesneleri şunlardır:

- ✓ İntegral ve diferansiyel denklem çözümleri için integrate,
- ✓ Lineer cebir işlemleri için linalg,
- ✓ Optimizasyon problemleri için optimize,
- ✓ Sinyal işleme problemleri için signal,
- ✓ Çeşitli istatistik fonksiyonları ve testleri için stats,

NumPy ve SciPy birlikte kullanıldığında Matlab programına benzer işlevler görür. Çalışmada, OpenCV kütüphanelerinden ve çeşitli görüntü işleme algoritmalarından faydalanılarak, karmaşık şekillerin ölçme işlemi için Python ortamında yeni yazılım geliştirilmiştir.

4. SAYISAL GÖRÜNTÜ İŞLEME

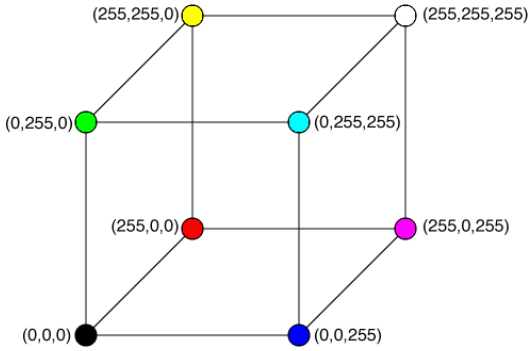
Görüntü işleme, insan görme mekanizmasının yaptığı işlemlerin bilgisayar ortamında sağlanmaya çalışılmasıdır. İnsanoğlunun görüntü algılama, ayırt etme, yorumlama gibi hislere doğuştan sahip olması nedeniyle, ilk bakışta kolay gibi düşünülen bu işlemlerin bilgisayar ortamında gerçekleştirilmesi oldukça zordur. Çünkü insan algılama sistemi; görüntü yakalama, gruplama ve analiz konusunda bilinen en karmaşık sistemdir (Jaehne, 1997).

Sayısal bir resim denildiğinde akla, analog bir sinyalin sayısal bir sinyale dönüştürülmesi gelmektedir. Bu da nesne tarafından yayılan enerjinin (analog sinyal) bir algılayıcı tarafından öngörülen elektromanyetik aralıkta algılanarak sayısal sinyale dönüştürülmesi ile mümkün olmaktadır (Haberaecker, 1991).

Bir görüntü, f(x,y) şeklinde bir fonksiyon olarak tanımlanabilir. Burada x ve y uzaysal (spatial) koordinatlar, f'in herhangi bir (x,y) koordinatındaki değeri de görüntünün o noktadaki şiddeti olarak adlandırılır (Gonzalez ve Woods, 2002). Fonksiyondaki x ve y'nin değerleri ve bunlara karşılık gelen şiddet değerleri sonlu ve ayrık ise, bu tip görüntülere dijital görüntü denir. Sayısal görüntü işlemede ilk işlem görüntünün elde edilmesidir. Yaşadığımız evrende üç boyutlu cisimler CCD yada kızılötesi kameralar, ultrason, X-Ray, MR gibi görüntüleme cihazları vasıtasıyla sayısal hale dönüştürülür. Sürekli verinin sayısal hale dönüştürülmesi ya örnekleme (sampling) ya da niceleme (kuantumlama) ile sağlanır. Görüntü için kullanılan fonksiyon, f(x,y) koordinatlarında sayısallaştırılacaksa örnekleme, genlik değerleri için sayısallaştırılacaksa niceleme yapılır. Sayısal görüntü, satır ve sütun indisleri şeklinde unsurlardan oluşan bir matris olarak algılanabilir ve bu unsurların her biri de piksel olarak adlandırılmaktadır. Görüntü, içerisinde herhangi bir noktayı tanımlayan elemanlardan meydana gelmiş bir matris olarak göz önüne alınabilir. Bu matrisin her bir elemanının barındırdığı dijital değer veya değerler, o noktanın rengi hakkındaki bilgiyi içerir. Bu dijital dizinin veya matrisin her bir elemanına, görüntü elemanı veya piksel denir. Çözünürlük, bir görüntüdeki yatay ve düşey piksel sayılarının çarpımından oluşur (Gonzalez ve Woods, 2002).

Şekil 4.1'de, eksenlerinde kırmızı, yeşil ve mavi bulunan 3-boyutlu bir küp ile temsil edilen RGB (Red-Green-Blue) renk uzayı görülmektedir. R kırmızıyı (255, 0 , 0), G yeşili (0, 255, 0), B de mavi (0, 0, 255) rengini ifade eder (Buluswar, 1998). RGB

renk uzayının orijininde siyah karşısında ise beyaz bulunur. Grilik skalası, siyah ile beyazı birleştiren doğru üzerindedir (Crane, 1997).



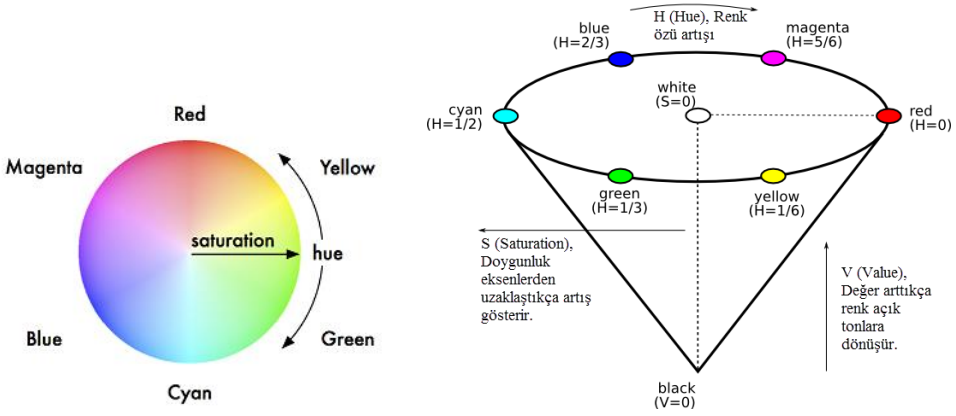
Şekil 4.1. RGB renk uzayı

Gri seviyeli görüntülerde; görüntü farklı gri seviye değerlerinden oluşur. RGB görüntüyü gri ölçekli görüntüye dönüştürmek için eşitlik 4.1 kullanılır (Crane, 1997).

$$G = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (4.1)$$

G fonksiyonu, görüntüdeki piksellerin kırmızı, yeşil ve mavi renk düzeylerindeki değerlerinin ayrı ayrı belirtilen katsayılar ile çarpımı sonucunda oluşan değerlerin toplamı ile bulunan gri seviye dönüşümün ifadesidir.

HSV (Hue, Saturation, Value) renk uzayının renk bileşenlerinden H renk özü, S doygunluk ve I ise parlaklık ya da koyuluk-açıklık oranı olarak tarif edilmektedir. İnsan gözüne benzer bir renk algılayışı ifade etmek için tanımlanmıştır. HSV, aynı zamanda renk tanıma için en uygun renk uzaylarından biridir (Chai D. ve Bouzerdoum A., 2000). Şekil 4.2'de, piramit ile temsil edilen HSV renk uzayı görülmektedir.



Şekil 4.2. HSV renk uzayı

4.1. Temel Görüntü İşlemleri

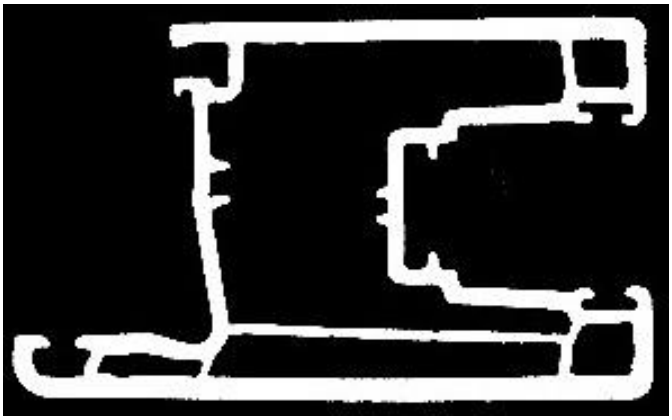
Bu bölümde üzerinde görüntü işleme teknikleri kullanılarak önemli çıkarımlar sağlanması planlanan profil görüntüleri için geliştirilen algoritmayı uygulamadan önce görüntü eşik değer bulma, medyan filtreleme ve gaussian filtreleme operasyonlarının davranışları ve etkilerinden bahsedilmektedir.

4.1.1. Görüntü eşik değeri bulma

Görüntüler üç boyutlu nesnelerin iki boyutlu yansımalarıdır. Binary görüntüler, sıfır "0" ve bir "1" yada beyaz ve siyah olarak iki değere sahiptir. Bir pikseli temsil etmek için yalnızca 1 binary değer aldığından, piksel başına 1 bitlik bir görüntüden söz edilir. Yaygın olarak, bu tür görüntüler çoğunlukla bilgisayar görme uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu iş için gereken tek bilgi, genel şekil veya ana hat olmaktadır. Çoğu zaman, bu tip görüntüler eşik değeri belirleme işlemiyle gri ölçekli hale dönüştürülen görüntülerden oluşturulur. Eşik değeri belirleme, gri tonlamalı bir görüntüden görüntü segmentasyonunun en basit yöntemidir. Eşik değeri binary görüntüler oluşturmak için kullanılabilir (Shapiro ve Stockman, 2002). Eşik değeri belirlemede esas hedef, görüntü içerisindeki nesneleri arka planından ayırt etmektir (Boykov ve Jolly, 2001). Görüntü eşik değeri belirleme işlemi sırasında orijinal görüntü taranır, her pikselin gri düzeyli değerine karşılık gelen yeni değer bulunur ve yerine yazılır (Luhman ve dig., 2011).

Eğer görüntüdeki ilgilenilen objelerin gri seviyesi biliniyorsa, ya da histogram yardımı ile tespit edilebiliyorsa, görüntü ilgilenilen detayı öne çıkarmak ve kalan detayları yok etmek için eşik değer işlemine tabi tutulabilir (Rangayyan, 2005).

Nesneleri arka plandan ayırmak için kullanılacak yöntem, histogramdan göreceli olarak belirlenen T eşik değeri ile görüntüdeki piksel değerlerini kıyaslamak olacaktır. Eğer piksel eşik değerinden büyükse istenilen nesneyi, değilse arka planı ifade edecektir (Jahne, 2002). Bu çalışmada nesne arka plandan ayırt edilirken, eşik değeri deneysel olarak tespit edilmiştir. Elde edilen kamera görüntülerinden gereksiz bilgileri azaltmak için eşik değeri belirlenmiş ve bu şekilde bilginin kaydedilmesi ve yönlendirilmesi çok kolay hale gelmiştir. Gri seviyeli görüntü 0-255 arasında parlaklık değerine sahip iken, eşik değere sahip olanlar 0 yada 255 olarak görüntülenmektedir. Şekil 4.3'te eşik değeri belirlenmiş pvc görüntüsü yer almaktadır. Eşik değerini belirlemede kullanılan fonksiyon eşitlik 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Eşik değeri belirlenen pvc profilin görünümü

$$G_{x,y} = \begin{cases} 1, f(x,y) \geq T(x,y) \\ 0, f(x,y) < T(x,y) \end{cases} \quad (4.2)$$

Gx,y, görüntüdeki herhangi bir (x, y) pikseli için; f(x, y) ≥ T(x, y) ise piksel nesneye ait, f(x,y) ≤ T(x, y) ise piksel arka plana ait olacağını ifade eden fonksiyondur.

4.1.2. Medyan filtreleme

Filtreler görüntü içerisindeki ayrıntıları ortaya çıkartmak veya istenmeyen gürültülerin yok edilmesini sağlamak için kullanılmaktadır. Görüntü işlemede, en uygun filtre pek çok filtre arasından seçilmelidir (Demigny, 2012). Filtreler, 3x3, 5x5 ya da 7x7 şeklinde matrislerden oluşabilirler. Uygulanacak filtreleme yöntemine göre bu sayı matrisleri farklı değerlerden oluşmaktadır. Filtreleme işleminde bu matrisler görüntü üzerindeki tüm piksellerde dolaştırılarak uygulanır ve her piksel için hesaplanan bu değerler, yeni gri ton değerleri olarak tekrar yerine yazılırlar. Yüksek geçirgenli filtreler (highpass filters), ton farkını belirginleştirmede, alçak geçirgenli filtreler (low-pass filters) ise ton farkını azaltmada kullanılırlar (Altuntaş ve ark., 2002). Görüntü işlemede çok yaygın olarak kullanılan medyan filtre doğrusal olmayan bir filtrelemedir ve görüntüde bir tür gürültü azaltma amacıyla kullanılır. Medyan filtre belirli koşullar altında gürültüyü giderme esnasında kenarları korumaktadır. Şekil 4.4'te medyan filtreleme operasyonlarına tabi tutulmuş profil görüntüleri verilmiştir.



(a) Filtreleme öncesi profil görüntüsü



(b) Filtreleme sonrası profil görüntüsü



(c) Eşik değer uygulanmış filtreleme öncesi profil görüntüsü



(d) Eşik değer uygulanmış filtreleme sonrası profil görüntüsü

Şekil 4.4. Medyan filtreleme operasyonları

Burada 7x7 lik bir filtreleme matrisi kullanılarak resmi yumuşatmaya ve bu sayede istenmeyen bazı görüntü kirlilikleri azaltılmaya çalışılmıştır. Medyan filtrelemede, görüntüdeki herhangi bir hedef (x,y) pikseli için; kaynak (x,y) piksel değerleri küçükten büyüğe doğru sıralandığında ortada bulunan değer hedef piksel

değeri olarak yerine yazılmıştır. Böylece eşik değer filtrelemesine geçmeden önce ayrık halde görüntüde varolan istenmeyen piksellller ortadan kaldırılmıştır.

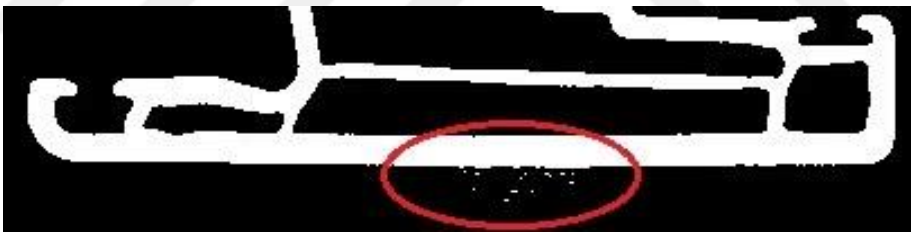
4.1.3. Gaussian filtreleme

Gaussian filtreleme görüntüleri bulanıklaştırmak ve gürültüyü gidermek için kullanılmaktadır ancak bu çalışmada kullanılan görüntüler için bu metod iyi sonuçlar vermemiştir. 2B'lu gauss dağılımının matematiksel ifadesi eşitlik 4.3'te verilmiştir.

$$G_{x,y} = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \cdot \ell^{\frac{-\left(x^2+y^2\right)}{2\sigma^2}} \tag{4.3}$$

Burada x ve y görüntü koordinatlarını, σ (sigma) ise Gaussian fonksiyonun standart sapmasını ifade etmektedir. Gaussian filtresinin boyutu, seçilen σ değerlerine göre değişecektir.

Eşik değeri belirlenen gaussian filtre uygulanmış profil görüntüsü Şekil 4.5'te verilmiştir.



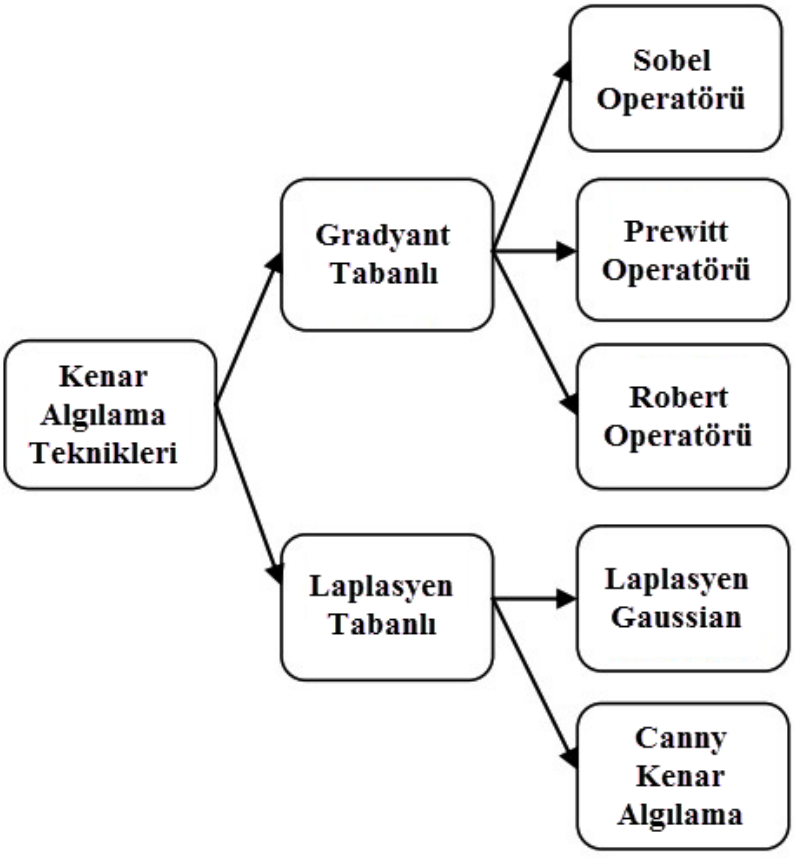
Şekil 4.5. Gaussian filtre uygulanmış pvc profil görüntüsü

4.2. Kenar Algılama

Görüntünün gri seviyelerinde ani değişikliklerin olduğu bölgelere kenar adı verilir. Kenar algılayıcılar görüntüdeki yoğunluk fonksiyonunda ani değişimleri tespit etmede kullanılan bölgesel ön işleme tekniklerindendir (Sonka ve ark., 2014). Kenar belirleme yöntemlerinin temel mantığı kısmi türeve dayanır (Young ve ark., 2007). Kenar algılama, görüntü içerisindeki nesnelerin sınırlarını bulmak için kullanılan bir görüntü işleme tekniğidir ve görüntü işlemede temel öneme sahip konulardan birisidir. Renk değişimindeki süreksizlikleri tespit ederek çalışır. Kenar algılama, belirtilen alanlarda nesneleri ayırma ve veri çıkarımı için kullanılır.

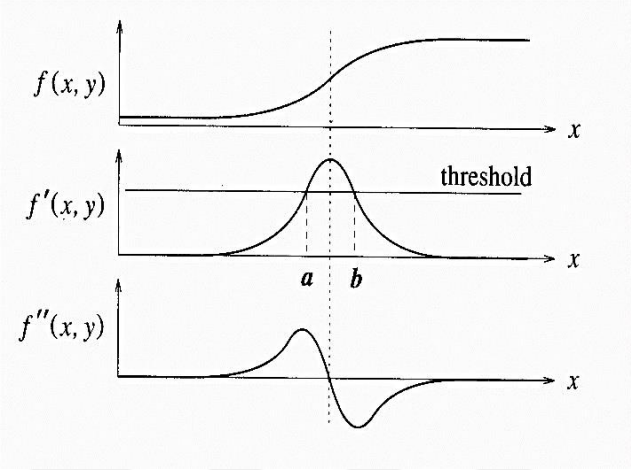
Kenar tespitinin temel amacı, işlenecek veri miktarını en aza indirmek için görüntü verisini sadeleştirmektir (Canny, 1986). Kenarlar anlamlı özelliklerden oluşur ve önemli bilgiler içerir. Kenar tespiti görüntünün önemli yapısal özelliklerini koruyarak, görüntü boyutunun miktarını önemli ölçüde azaltır ve daha az alakalı olduğu düşünülen bilgileri filtreler (Yuval, 1996). Kenar tespit işlemi doğru yapılmalı, gerçek kenar kaçırılmamalı, kenar olmayanlar kenar olarak tanınmamalı ve kenar doğru yerde olmalıdır (He ve Zhang, 2007).

Gradyant tabanlı Sobel, Prewitt ve Robert operatörü veya Laplasyen tabanlı LOG ve Canny operatörü gibi kenar tespitinde önerilen birçok yöntem vardır. Her bir metot farklı durumlar için kullanılabilir. Bu aşamada, en uygun kenar algılama algoritmasını bulmak önemlidir. Sayısal görüntülerde en geleneksel kenar algılama yöntemlerinden bazıları bu çalışmada uygulanmıştır (Shrivakshan ve Chandrasekar, 2012). Bu çalışmada uygulanan algoritmalar gerçek görüntülerle teste tabi tutulmuş ve beklenen sonuçlar elde edilmiştir. Kenar algılama operatörlerinin sınıflandırılması Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Kenar algılama operatörlerinin sınıflandırılması

Kenar algılama, genlik değerlerinde süreksizliklerin bulunması için en yaygın yaklaşımdır. Birinci ve ikinci dereceden türevleri uygulayarak, bu süreksizlikler tanımlanabilir (Kudale ve Pawar, 2010). Türev operatörleri ile kenar belirleme fonksiyon grafikleri Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Türev operatörleri 1-B, giriş Sinyali f(t), ilk türevi f'(t) ve ikinci türevi f''(t)

Kenar algılama Gradyant tabanlı ve Laplacian tabanlı olmak üzere iki farklı tür olarak sınıflandırılabilir.

4.2.1. Gradyant tabanlı kenar algılama metodları

Görüntü gradyantı; yöne bağımlı bir vektör olarak tanımlanır. Gradyant vektörünün büyüklüğü ise vektörün doğrultusu boyunca her bir birimdeki sayısal değişikliği ifade eder. Kenar belirleme algoritmasının temeli, gradyant genliğinin bulunarak bir eşik değerle karşılaştırılmasına dayanır. Gradyant, sayısal görüntü işlemede 1.türeve dayalıdır (Kudale ve Pawar, 2010). Kenarlar, görüntünün ilk türevindeki maksimum ve minimum değerin bulunmasıyla elde edilir.

Bir kenar, esas olarak iki farklı bölgeyi birbirinden ayıran sınırdır. Kenar algılama işlemi, bir görüntünün şiddet düzeyindeki belirgin lokal değişiklikleri tespit etme işlemidir (Acharya ve Ray, 2005).

Görüntünün gradyanı yaklaşık olarak eşitlik 4.4'te, gradyanın büyüklüğü 4.5'te ve yönü ise eşitlik 4.6'da verilmiştir (Jahne, 2002). Gx, x yönündeki gradyanı, Gy, y yönündeki gradyanı ifade etmektedir. G ise gradyan değerini ifade etmektedir.

$$G_x = f(x+1,y) - f(x,y) \text{ ve } G_y = f(x,y+1) - f(x,y) \quad (4.4)$$

$$G = \sqrt{G_x^{\,2} + G_y^{\,2}} \text{ yada } G = \left[f(x,y) \right] = |\Delta Gx| + |\Delta Gy| \quad (4.5)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \quad (4.6)$$

Kenara dik doğrultudaki gradyant türev eğimi, piksel yapısından dolayı dört farklı yönde oluşabilir. Şekil 4.8'de 22.5-67.5 ve 67.5-112.5 gradyant dereceleri verilmiştir.

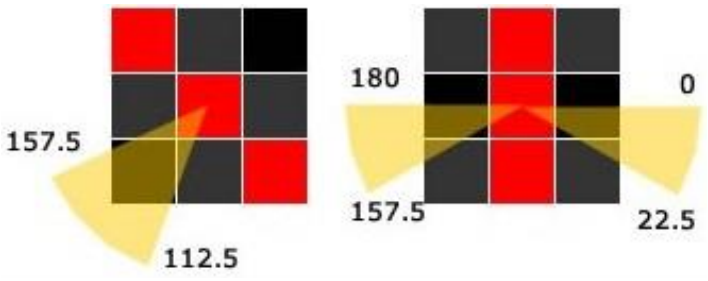
- ✓ 22.5-67.5 derece: Gradyant sol üst köşeden sağ alt köşeye yönelir. Kenar üst sağ köşeden alt sol köşeye doğrudur (Kırmızı hat).
- ✓ 67.5-112.5 derece: Gradyant üstten alta doğru yönelir. Kenar soldan sağa doğru. Pikseller yukarı ve aşağı doğru kontrol edilir.



Şekil 4.8. Gradyantlar; 22.5°-67.5° ve 67.5°-112.5°

Şekil 4.9'da 112.5-157.5 ve 0-22.5 veya 157.5-180 gradyant dereceleri verilmiştir.

- ✓ 112.5-157.5 derece: Gradyant sağ üst köşeden sol alt köşeye yönelir. Kenar üst sol köşeden alt sağ köşeye doğrudur (Kırmızı hat).
- ✓ 0-22.5 derece veya 157.5-180 derece: Gradyant yatay, kenar ise dikey durumdadır. Pikseller sola ve sağa doğru kontrol edilir.



Şekil 4.9. Gradyantlar; 122.5°-157.5° ve 0°-22.5° veya 157.5°-180°

4.2.1.1. Roberts kenar algılama operatörü

Roberts kenar algılama operatörü 1963 yılında L.G. Roberts tarafından ortaya çıkarılmıştır. Üç boyutlu yeniden oluşturma ve görüntünün ilk türevinin hesaplanmasına dayanır (Roberts, 1963). Roberts operatörü, kenarı bulmak için birinci dereceden kısmi diferansiyel kullanan bir operatördür. Bu operatörün basitliği bir avantaj olmasına rağmen operatör matrisinin küçük olmasından dolayı gürültülere karşı oldukça hassastır ve günümüz teknolojisiyle çok uyumlu değildir. Kenar algılamak için gradyan genliğinin çapraz yönünün iki bitişik pikselleri arasındaki yaklaşıklığı kullanır. 2x2 diyagonal türev alanında, sırasıyla iki konvolüsyon matrisleri ve matris hesabına ait formül eşitlik 4.6'da verilmiştir. Bu maskelerin, sol üst elemanı işlenmekte olan piksel üzerine gelecek şekilde oturtulur.

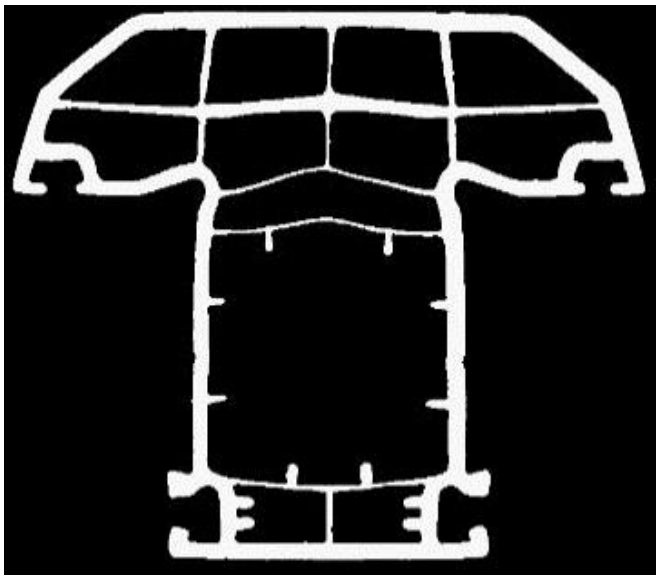
X ve Y yönlerinde Roberts maskeleme filtreleri;

$$G_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} G_y = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$

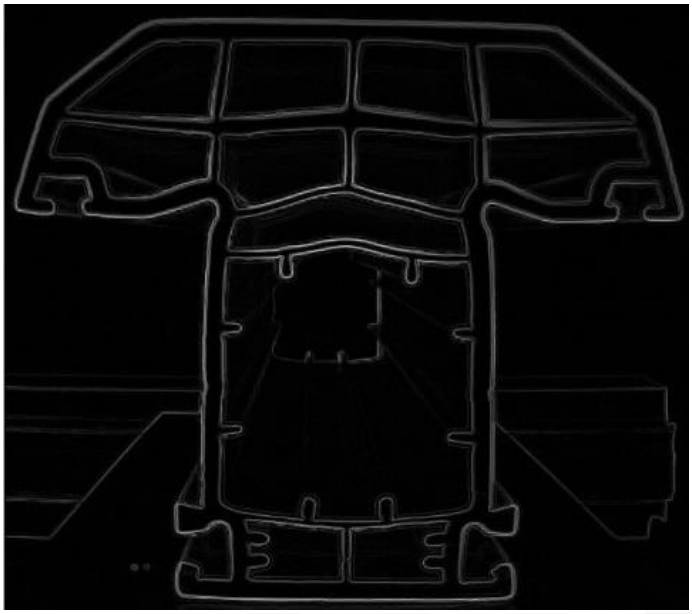
Bu iki maske ile gradyan boyu hesabı;

$$G(x,y) = \sqrt{\left[f(x,y) - f(x+1,y+1) \right]^2 + \left[f(x+1,y) - f(x,y+1) \right]^2} \qquad (4.6)$$

Filtreleme öncesi elde edilen profil görüntüsü Şekil 4.10'da, Roberts metodu kullanılarak elde edilen profil görüntüsü ise Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.10. Filtreleme öncesi profil görüntüsü



Şekil 4.11. Roberts metodu ile filtrelenen görüntü

Roberts filtreleme metodu ile elde edilen pvc görüntüsünü elde etmek için kullanılan ve Python dilinde yazılan kod dizini;

```
Image0 = cv2.imread('pvc.jpg')
Image1 = cv2.cvtColor(Image0,  cv2.COLOR_RGB2GRAY)
Image2 = np.asarray(Image1,dtype="int32")
roberts_cross_v = np.array( [[ 0, 0, 0 ],[ 0, 1, 0 ],[ 0, 0,-1 ]] )
roberts_cross_h = np.array( [[ 0, 0, 0 ],[ 0, 0, 1 ],[ 0,-1, 0 ]] )
vertical = ndimage.convolve(Image2, roberts_cross_v )
horizontal = ndimage.convolve(Image2, roberts_cross_h )
output_image = np.sqrt( np.square(horizontal) +np.square(vertical))
cv2.imshow("Roberts",output_image)
```

4.2.1.2. Prewitt kenar algılama operatörü

Prewitt kenar algılama yöntemi görüntü üzerinde filtre tarama bakımından az zaman harcar. Sobel'e göre daha gürültülü sonuçlar verme eğilimindedir (Gonzalez ve Woods, 2002). Prewitt operatörü kenar algılama maskeleri, görüntülerde kenarları tespit etmenin en eski ve en iyi yöntemlerinden biridir. Prewitt operatörü neredeyse sobel operatörüyle aynıdır ancak gürültüye karşı daha duyarlıdır. Prewitt operatörü, Sobel ve Roberts operatörlerinden daha iyi performans sağlar. Prewitt operatörü, görüntüdeki bir kenarın büyüklüğünü ve yönünü, sekiz yönelimli 3x3'lük bir matris ile kolayca tahmin

eder. Her noktada maksimum tepki veren bir konvolüsyon maskesi seçilir. Bu maskeler Prewitt operatörleri olarak adlandırılır (Prewitt, 1979). Prewitt kenar algılama yöntemi Gx ve Gy maskeleri ile görüntüyü filtreler. Şekil 4.12'de Prewitt kenar filtresinin Gx ve Gy maskeleri uygulandıktan sonraki görüntüsü yer almaktadır.

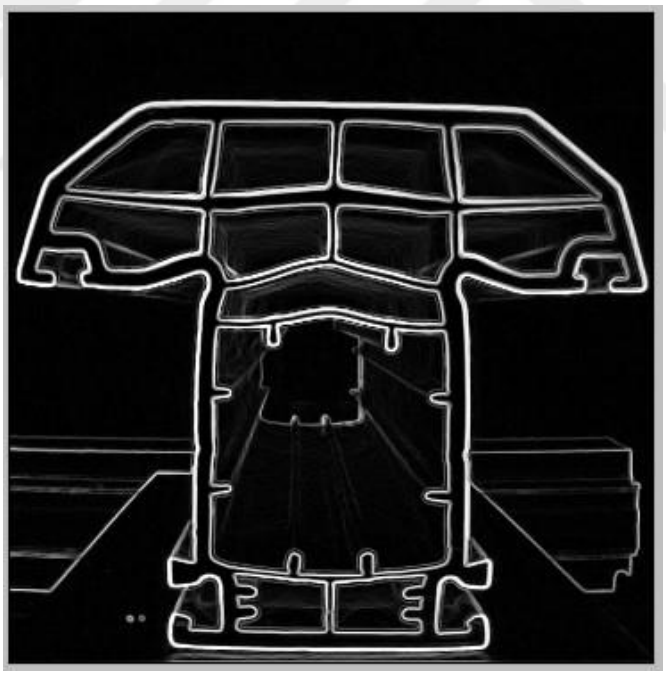
Prewitt filtreleme matrisleri sırasıyla,

X ve Y yönlerinde Prewitt maskeleme filtreleri;

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} G_y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

X ve Y yönlerinde normalleştirilmiş Prewitt maskeleme filtreleri;

$$G_x = \begin{bmatrix} -1/3 & 0 & 1/3 \\ -1/3 & 0 & 1/3 \\ -1/3 & 0 & 1/3 \end{bmatrix} G_y = \begin{bmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1/3 & -1/3 & -1/3 \end{bmatrix}$$



Şekil 4.12. Prewitt metodu ile filtrelenen görüntü

Prewitt filtreleme metodu ile elde edilen pvc görüntüsünü elde etmek için kullanılan ve Python dilinde yazılan kod dizini;

```
Image0 = cv2.imread('pvc.jpg')
Image1 = cv2.cvtColor(Image0,  cv2.COLOR_RGB2GRAY)
Image2 = np.asarray(Image1,dtype="int32")
prewitt_y = np.array([[-1,  -1,  -1],[0,  0,  0],[1,  1,  1]])
prewitt_x = np.rot90(prewitt_y)
Image_sx = signal.correlate(tip, prewitt_x, mode="same")
Image_sy = signal.correlate(tip, prewitt_y, mode="same")
g_magnitude = np.sqrt(Image_sx **2 + Image_sy **2)
cv2.imshow("Prewitt",g_magnitude)
```

4.2.1.3. Sobel kenar algılama operatörü

Sobel operatörü, Prewitt operatörünün farklı bir biçimi olarak söylenebilir. Sobel operatörü filtre maskelerinin merkezi katsayıları daha fazla ağırlığa sahiptir. Matriste görüldüğü gibi merkez konumunda daha fazla ağırlık kullanılması, daha iyi görüntü yumuşatma sağlar. Roberts operatörüne göre daha yavaş hesaplama yaparken filtreleme maskesi büyük olmasından dolayı gürültüye daha az duyarlıdır. Bu sayede gürültüden kaynaklanan hatalar azaltılır.

Sırasıyla Sobel filtreleme matrisleri ve normalleştirilmiş matrisler,

X ve Y yönlerinde Sobel maskeleme filtreleri;

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} G_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

X ve Y yönlerinde normalleştirilmiş Sobel maskeleme filtreleri;

$$G_x = \begin{bmatrix} -1/4 & 0 & 1/4 \\ -1/2 & 0 & 1/2 \\ -1/4 & 0 & 1/4 \end{bmatrix} \qquad G_y = \begin{bmatrix} -1/4 & -1/2 & -1/4 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1/4 & 1/2 & 1/4 \end{bmatrix}$$

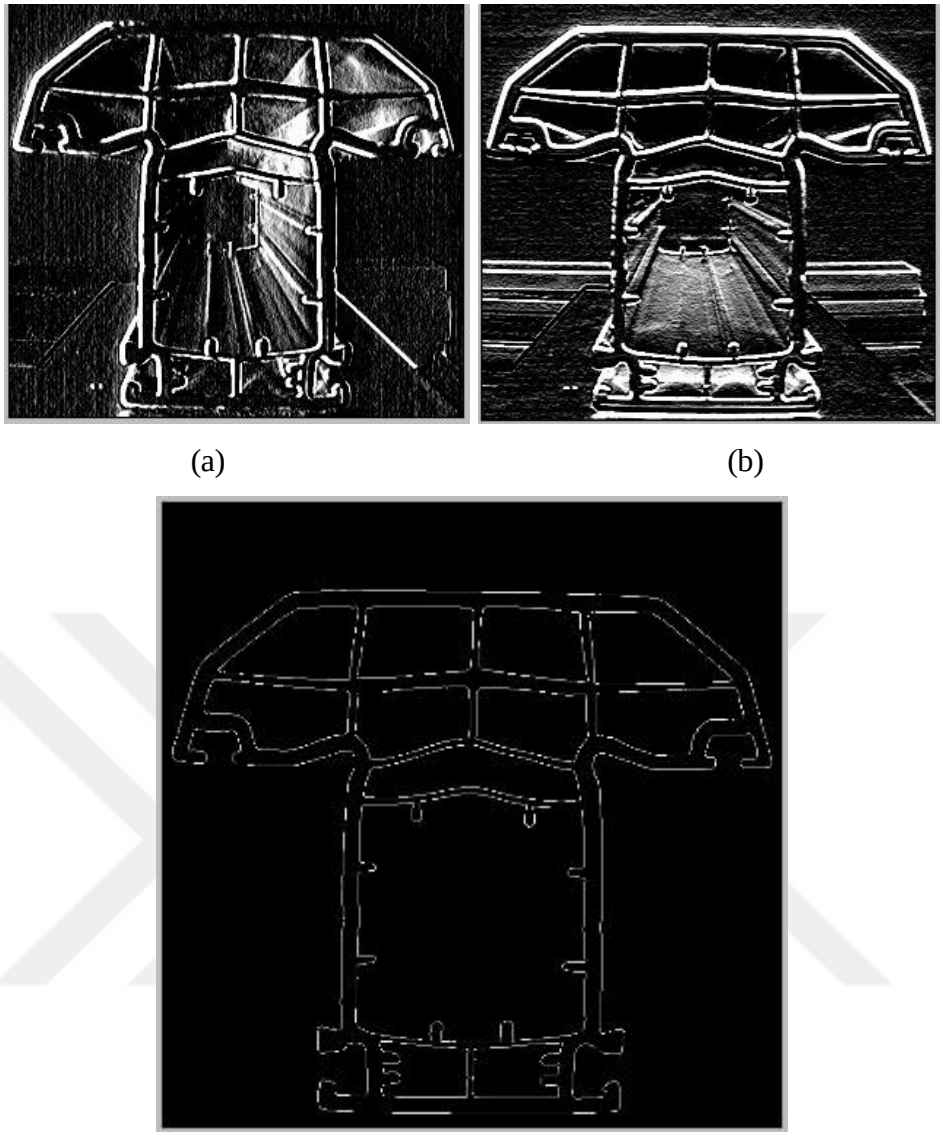
Matris hesabına ait formüller ise eşitlik 4.7 ve 4.8'de verilmiştir.

$$\Delta G(x) = f(x-1, y+1) + 2f(x, y+1) + f(x+1, y+1) - f(x-1, y-1) - 2f(x, y-1) - f(x-1, y-1) \tag{4.7}$$

$$\Delta G(y) = f(x-1, y-1) + 2f(x-1, y) + f(x-1, y+1) - f(x+1, y-1) - 2f(x+1, y) - f(x+1, y+1) \tag{4.8}$$

Gradyanın büyüklüğü ise $G = |G_x| + |G_y|$ şeklinde hesaplanır.

Sobel metodu kullanılarak elde edilen profil görüntüleri Şekil 4.13'te verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 4.13. Sobel metodu ile filtrelenen görüntüler: (a) Gx; (b) Gy; (c) G

Sobel filtreleme metodu ile elde edilen pvc görüntüsünü elde etmek için kullanılan ve Python dilinde yazılan kod dizini;

```
Image0 = cv2.imread('pvc.jpg')
Image1 = cv2.cvtColor(Image0, cv2.COLOR_RGB2GRAY)
Image2 = cv2.GaussianBlur(Image1,(3,3),0)
Image3 = cv2.threshold((Image2,200,250,cv2.THRESH_BINARY)
dx = cv2.Sobel(Image2,cv2.CV_64F,1,0,ksize=3)
dy = cv2.Sobel(Image2,cv2.CV_64F,0,1,ksize=3)
grad = np.sqrt(dx ** 2 + dy ** 2)
cv2.imshow("dx",dx)
cv2.imshow("dy",dy)
cv2.imshow("gradient", grad)
```

4.2.2. Laplasyen tabanlı kenar algılama metotları

Farklı yönlerdeki kenarlara aynı tepkiyi veren ikinci türev operatörü olan Laplace görüntü işlemede sınır belirleme ve netleştirme amaçlı olarak kullanılabilmektedir. Bir görüntüdeki kenarları bulmak için laplaysan yöntemi, ikinci mertebeden türevde sıfir geçişlerini (yani laplasyanın işaret ettiği yerler) arar. Bir kenar, tek boyutlu rampa şeklindedir ve görüntünün ikinci mertebeden türevini hesaplayarak kenar konumu belirlenebilir.

4.2.2.1. Laplasyen-Gauss (LOG) kenar algılama operatörü

Yönden bağımsız olarak laplasyen operatörünün ikinci türevine göre çalışır. Gürültülere duyarlı bir operatör olduğundan, işlem öncesi gauss filtresi kullanılarak arzu edilmeyen küçük parçalar elimine edilir. Bu durumda görüntüde yayılma söz konusudur (Glasbey ve Horgan, 1994).

Canny kenar algoritması önerilmeden önce Marr-Hildreth kenar algılaması çok popüler bir operatör olarak uygulanmaktaydı. LOG, görüntünün ikinci türevini çıkarmak için Laplacian'ı kullanan bir gradyan tabanlı operatördür. Görüntünün ikinci türevinin sıfir geçiş noktalarını bulmaya dayanır. LOG, Gaussian ve laplacian operatörünü kullanır, böylece Gauss operatörü gürültüyü azaltır ve laplacian operatörü bir görüntüdeki keskin kenarları algılar (Smith ve ark., 1988). Gauss fonksiyonu eşitlik 4.9 ve 4.10'a göre tanımlanır. LOG filtreleme matrisi Çizelge 4.9'da verilmiştir.

$$G_\sigma(x,y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}}\,\ell^{\frac{-\left(x^2+y^2\right)}{2\sigma^2}} \tag{4.9}$$

$$LoG = \frac{\partial^2}{\partial x^2}G_\sigma(x,y) + \frac{\partial^2}{\partial y^2}G_\sigma(x,y) = \frac{x^2+y^2-2\sigma^2}{\sigma^4}\,\ell^{\frac{-\left(x^2+y^2\right)}{2\sigma^2}} \tag{4.10}$$

5x5 Laplacian of Gaussian (LOG) maskeleme filtresi;

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 2 & -1 & 0 \\ -1 & -2 & 16 & -2 & -1 \\ 0 & -1 & -2 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

4.2.2.2. Canny kenar algılama operatörü

Canny kenar algılama operatörü, Marr ve Hildreth'in önceki çalışmalarından elde edilen gelişmiş bir algoritmadır. 1986'da John F. Canny tarafından geliştirilmiştir ve görüntülerde geniş bir kenar aralığı tespit etmek için çok aşamalı bir algoritma kullanımına geçiş sağlamıştır. Kenar bulmada son derece etkin olarak kullanılan bir algoritmadır. Mevcut görüntü işleme tekniklerinde hemen hemen her alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, canny kenar detektörü önemli ölçüde daha uzun zaman alan karmaşık hesaplarda optimal bir çözüm sunar. Görüntü ilk olarak gaus filtrelemesinden geçirilir. Ardından, Sobel'e benzer şekilde gradyant açısı ve büyüklüğü hesaplanır. Kenarlar, Non Maxima baskılama kullanılarak incelemeye alınır. İkili eşikleme uygulanır ve bu şekilde istenmeyen ayrıntılardan arındırılma işlemi gerçekleştirilir. Güçlü-zayıf ayrımı yapıldıktan sonra baskılama uygulanır ve asıl kenarlarla görüntüye son hali verilir. En büyük dezavantajı ise karmaşık hesaplaması nedeniyle çok zaman alıcı olmasıdır (Canny, 1986). Canny tarafından önerilen kenar tabanlı algoritma yaygın olarak kullanılmaktadır (Canny, 1986). Bu algoritmada öncelikle Gauss alçak geçiren filtreleme, daha sonra gri düzeyin gradyanının maksimum olduğu (kenarlarda) noktalar tespit edilir ve istenilen kontur noktalarına karşılık gelmesi beklenir. Siyah-Beyaz görüntü ele alınacak nesneleri içerir.

Görüntünün yumuşatılması ve gürültülerin ortadan kaldırılması için ilk olarak Gaus filtrelemesi gerçekleştirilir (Gausyan standart sapma değeri σ=1.4)

5x5 Gaussian maskeleme filtresi;

$$\frac{1}{115}\begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix}$$

İkinci adımda ise 3x3 Sobel filtreleme matrisleri kullanılarak X ve Y yönlerinde görüntünün gradyant değerleri bulunur;

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} G_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

Gradyanın büyüklüğü;

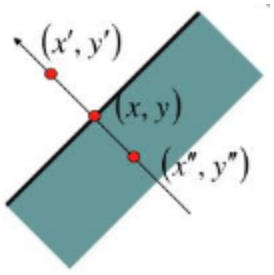
$$G = |G_x| + |G_y| \tag{4.11}$$

Üçüncü adımda gradyant açıları eşitlik 4.12 ile hesaplanır ve bulunan açılara 90° dik olacak şekilde kenar yönleri tespit edilir.

$$\theta = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \tag{4.12}$$

Dördüncü adımda maksimum olmayanların bastırılması yöntemi ile kenarlar inceltilir. Bu aşamada her bir piksel için gradyant yönü hesaplandıktan sonra, elde edilen açı değeri istikametindeki iki ilave komşu piksel seçilerek, ortanca pikselin bunlardan yüksek değerde olması istenir. Bu şart sağlanmaz ise, ortanca piksel sıfıra çekilerek kenar görüntüsünden elenir. Bu şekilde, kenar resminde sadece kenarlara dik yönde maksimum gradyant değerlerine sahip olan pikseller bırakılır. Böylece maksimum olmayanların bastırılması sağlanmış olur. Eşitlik 4.13'te yer alan G(x,y) görüntünün gradyantını, G(x′,y′) ve G(x″,y″) komşu piksellerin gradyant değerlerini ifade etmektedir (Şekil 4.14).

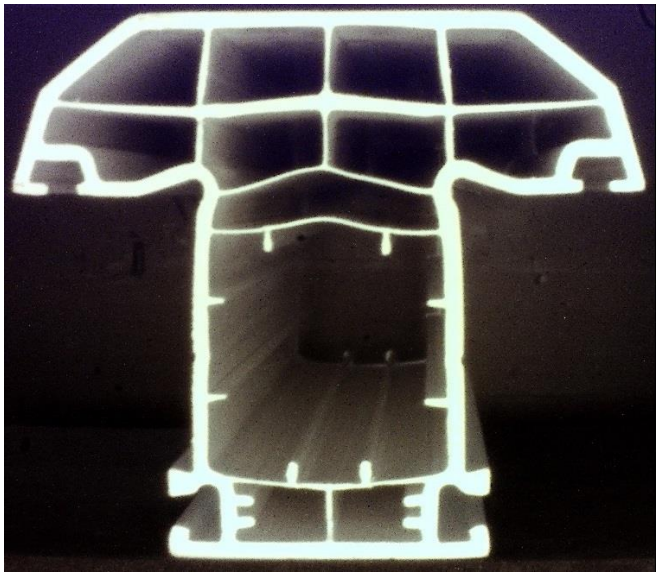
$$G(x,y) = \begin{cases} G(x,y) & G(x,y) > G(x',y') \quad ve \quad G(x,y) > G(x'',y'') \\ 0 & diğerleri \end{cases} \tag{4.13}$$



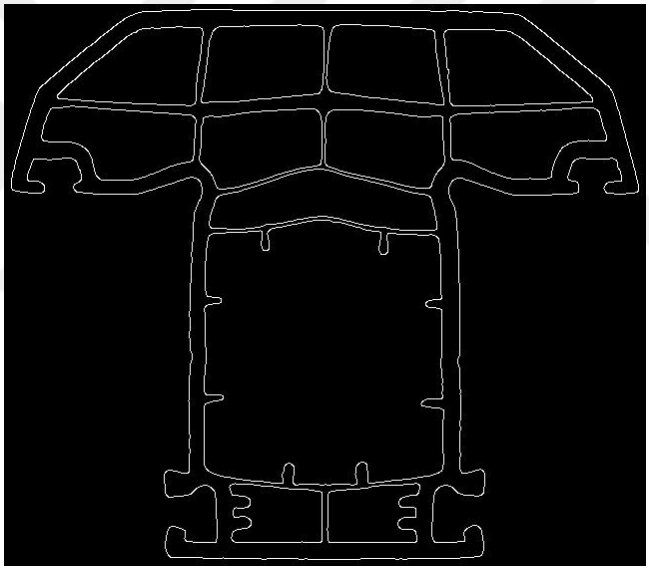
Şekil 4.14. Maksimum olmayanların bastırılması

Son olarak ise anlamsız kenar çizgileri belirli eşik değerler kullanılarak elimine edilir.

Şekil 4.15'te profil görüntüsünün orjinal hali, Şekil 4.15'te Canny kenar algılama operatörünün, profil görüntüsüne uygulanmış hali verilmiştir.



Şekil 4.15. Canny kenar algılamada kullanılacak orijinal profil görüntüsü



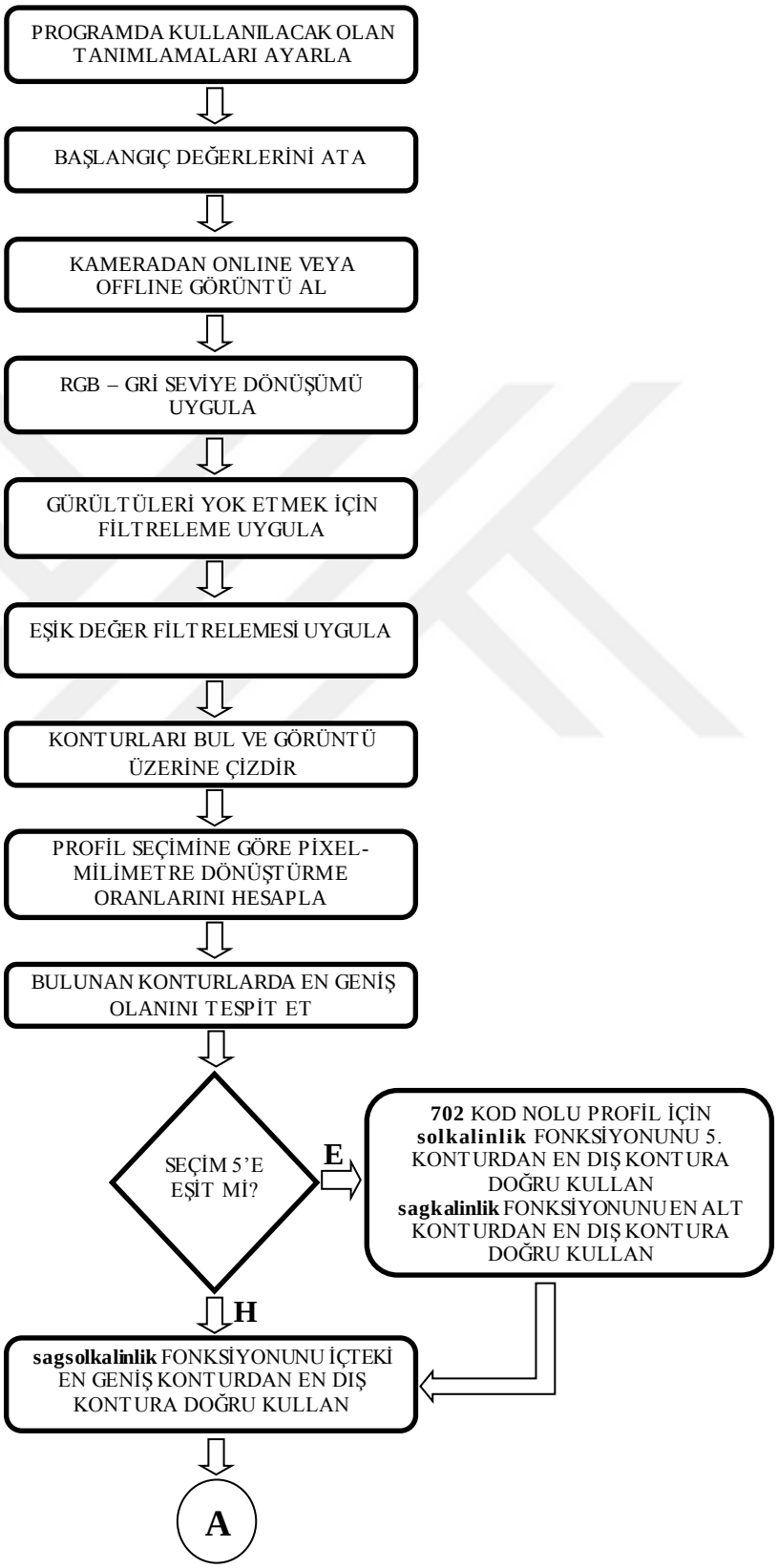
Şekil 4.16. Canny kenar algılama operatörü uygulanmış profil görüntüsü

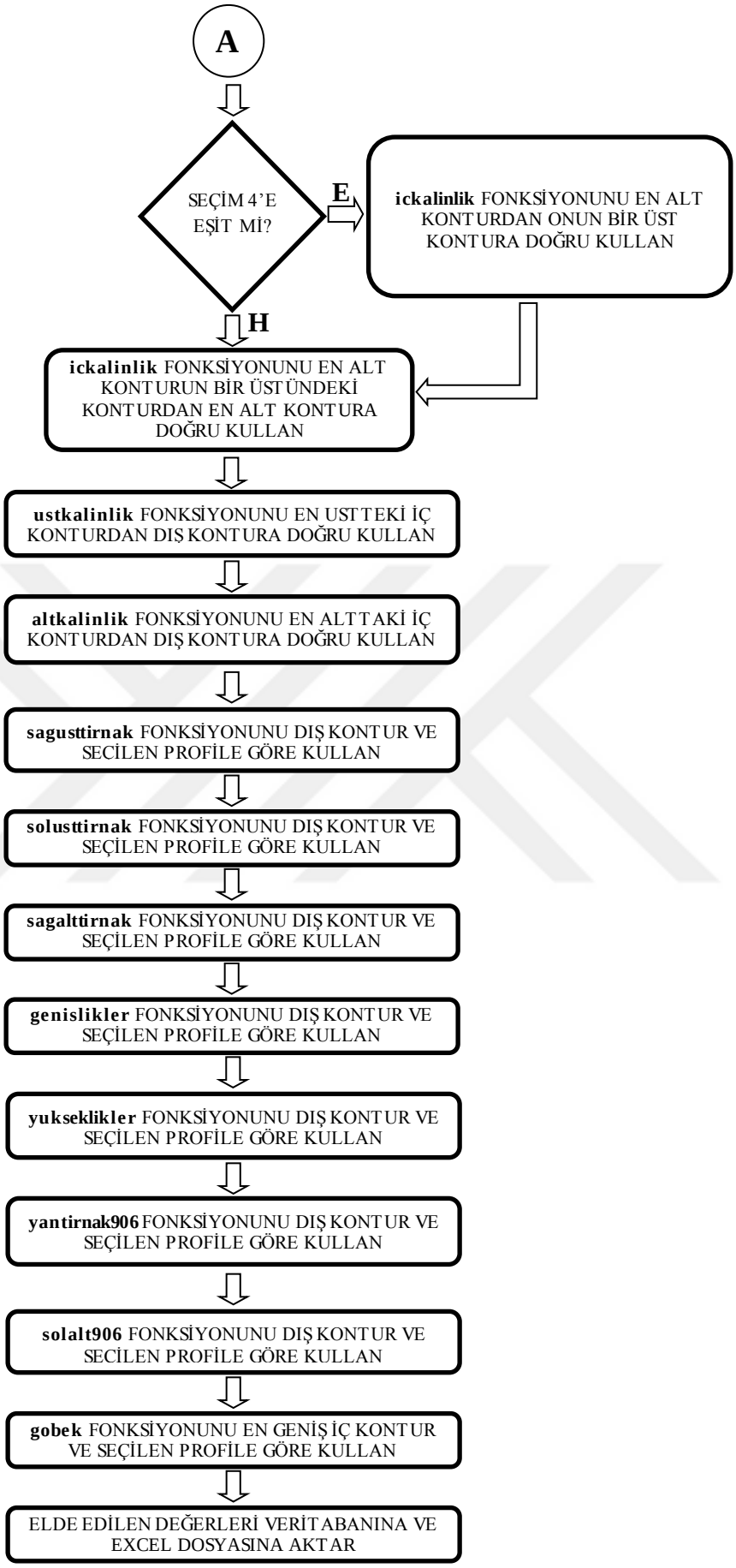
Canny kenar algılama operatörüyle pvc görüntüsünü elde etmek için kullanılan ve Python dilinde yazılan kod dizini;

```
Image0 = cv2.imread(“pvc.jpg”)
Image1 = cv2.cvtColor(Image0,
cv2.COLOR_RGB2GRAY)
Image2 = cv2.GaussianBlur(Image1,(3,3),0)
Image3 = cv2.threshold((Image2,200,250,cv2.THRESH_BINARY)
ImageCANNY = cv2.Canny (Image3, 180, 250)
cv2.imshow("Canny",ImageCANNY)
```

5. İKİ BOYUTLU KONTUR ALGILAMA VE ÖLÇME

Şekil 5.1'de geliştirilen görüntü işleme sisteminin akış diyagramı verilmiştir. Akış diyagramında Konturları bulma aşamasına kadar olan bölüm görüntü üzerinde yapılacak temel ön işlemleri ifade etmektedir.

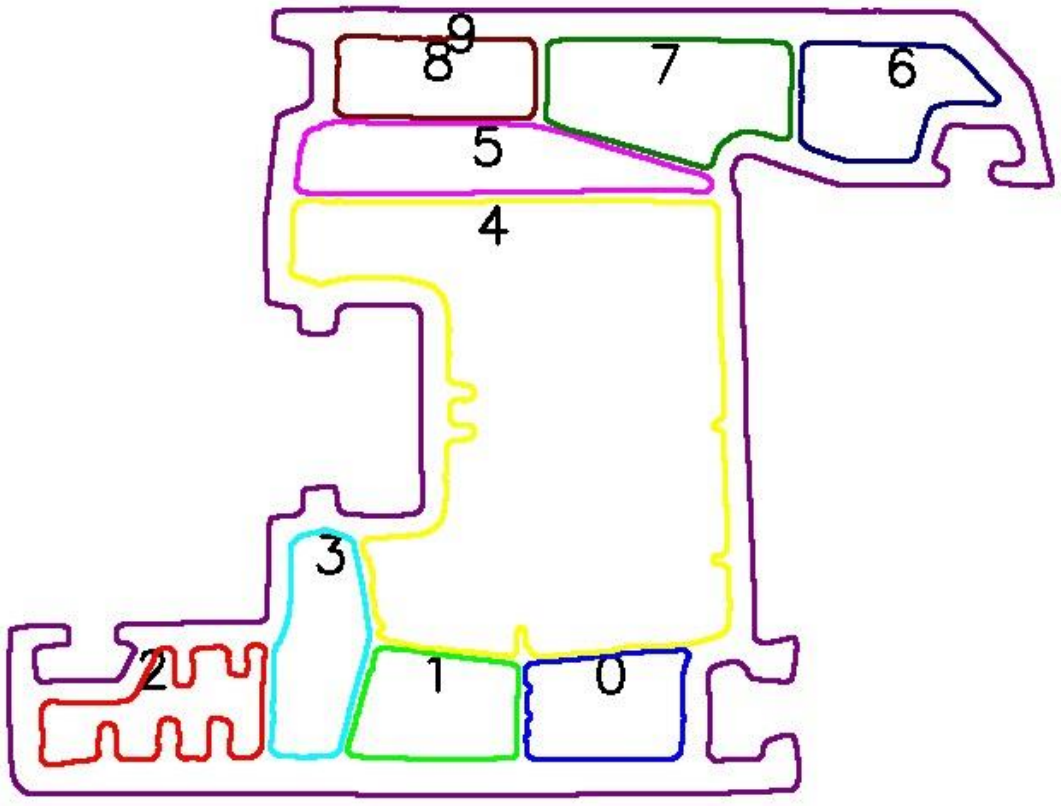




Şekil 5.1. Görüntü işleme sisteminin akış diyagramı

Algoritmanın "Konturları bul ve görüntü üzerine çizdir" aşamasında OpenCV kütüphanesi içerisinde yer alan "findContours" fonksiyonu kullanılmıştır. OpenCV, kontur takibini gerçekleştirmek için Suzuki algoritmasını kullanır (Suzuki ve Abe, 1985). Bu algoritmada öncelikle sol üst kontur pikseli bulunur. Konturun bir sonraki pikselini bulmak için ilk pikselin çevresi saat yönünde kontrol edilir. Konturun diğer pikselleri için arama, saatin ters yönünde yapılır ve konturun ilk iki pikselinin tekrar bulunmasıyla sona erer. Konturlar belirlenirken çokgen şeklinde gösterim icra edilir ve tüm konturlar bir ağaç yapısı ile ifade edilir. Bu şekilde bir dış kontur topluluğu oluşturulur.

Profili oluşturan konturların ve kontur numaralarının görüntülenmesi için kaynak dosyanın boyutlarıyla eşit olacak şekilde yeni bir görüntü dosyası oluşturulmuştur. Oluşturulan görüntü dosyası üzerine profile ait tüm konturlar kolayca ayırt edilebilmesi için farklı renklerde çizdirilerek, numaralandırılmıştır. Şekil 5.2'de deneysel çalışmada kullanılan profile ait iç ve dış konturların çizimi ve numaralandırılması verilmiştir.



Şekil 5.2. Profili oluşturan konturların çizimi ve numaralandırılması

Python dilinde yazılan, Konturları etiketlemeye yönelik oluşturulan kod dizini;

```
im2, contours, hierarchy = cv2.findContours(th4, cv2.RETR_LIST,cv2.CHAIN_APPROX_NONE)
for i,cnt in enumerate(contours):
cv2.drawContours(blank_image,contours,0 ,(255,0,0),2)
cv2.drawContours(blank_image,contours,1 ,(0,255,0),2)
cv2.drawContours(blank_image,contours,2 ,(0,0,255),2)
cv2.drawContours(blank_image,contours,3 ,(255,255,0),2)
cv2.drawContours(blank_image,contours,4 ,(0,255,255),2)
cv2.drawContours(blank_image,contours,5 ,(255,0,255),2)
cv2.drawContours(blank_image,contours,6 ,(127,0,0),2)
cv2.drawContours(blank_image,contours,7 ,(0,127,0),2)
cv2.drawContours(blank_image,contours,8 ,(0,0,127),2)
cv2.drawContours(blank_image,contours,9 ,(127,0,127),2)
if hierarchy[0,i,3]  == -1 and cv2.contourArea(cnt)>300:
x,y,w,h  = cv2.boundingRect(cnt)
cv2.putText(blank_image,"{}".format(i),  (int(x+w/2-w/12),int(y+25)),
cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX,  1, (0, 0, 0), 2)
```

5.1. Konturların Maksimum ve Minimum Noktalarını Tespit Etme

Konturların maksimum ve minimum noktalarını bulmada kullanılan noktalama fonksiyonu olarak geliştirilen kod dizininde yer alan ifadeler aşağıda açıklanmıştır. Ölçüm yapılması istenilen konturlar için noktalama fonksiyonu işletilerek fonksiyonun dönüş sağladığı verilerden gerekli olanlar seçilir. Bu veriler sırasıyla:

- ✓ 0 (enu) Kontur En Üst Noktası,
- ✓ 1 (ens) Kontur En Sağ Noktası,
- ✓ 2 (ena) Kontur En Alt Noktası,
- ✓ 3 (enl) Kontur En Sol Noktası,
- ✓ 4 (b1) Kontur Sol Orta Noktası,
- ✓ 5 (b2) Kontur Alt Orta Noktası,
- ✓ 6 (b3) Kontur Sağ Orta Noktası,
- ✓ 7 (b4) Kontur Üst Orta Noktası,
- ✓ 8 (cenx) Kontur Merkez X Noktası,
- ✓ 9 (ceny) Kontur Merkez Y Noktası, olarak ifade edilmiştir.

Yapılan çalışmada pvc üzerindeki tüm konturların maksimum ve minimum noktalarını tespit etmede kullanılan kod dizini;

```
def noktalama(pt1,pt2,pt3):
mylist1 = [0]
mylist2= [0]
for i in range(pt1,pt2):
mylist1.append(np.array(pt3[i])[:,1])
mylist2.append(np.array(pt3[i])[:,0])
mylist1.remove(0)
mylist2.remove(0)
enalt=max(mylist1)
ena=mylist1.index(enalt)
ensag=max(mylist2)
ens=mylist2.index(ensag)
enust=min(mylist1)
enu=mylist1.index(enust)
ensol=min(mylist2)
enl=mylist2.index(ensol)
ortanokta=int(ensag+ensol)/2
try: altorta=mylist2.index(ortanokta)
except: pass
try: altorta=mylist2.index(ortanokta+1)
except: pass
try: altorta=mylist2.index(ortanokta-1)
except: pass
mylist1[:] = []
mylist2[:] = []
merkezx=int(ensag+ensol)/2
merkezy=int(enalt+enust)/2
cenx=merkezx
ceny=merkezy
for i in range(0,len(pt1)-1):
nx=np.array(pt1[i])[:,1]
ny=np.array(pt1[i])[:,0]
if nx<cenx and ny==ceny: b1=i
if nx == cenx and ny > ceny: b2=i
if nx > cenx and ny == ceny: b3=i
if nx == cenx and ny < ceny: b4=i
return
[enu,ens,ena,enl,b1,b2,b3,b4,merkezx,merkezy]
```

Kod dizininde ifade edilen “pt1” değişkeni birinci sınır noktasını, “pt2” ikinci sınır noktasını ve “pt3” ise kontur adını, “mylist1” y koordinatlarını kaydeden diziyi, “mylist2” ise x koordinatlarını kaydeden diziyi işaret etmektedir.

```
im2, contours, hierarchy = cv2.findContours (blackpage_resized.copy(),
cv2.RETR_LIST,cv2.CHAIN_APPROX_NONE)
for i,cnt in enumerate(contours):
        if hierarchy[0,i,3] == -1 and cv2.contourArea(cnt) > 2500:
            x,y,w,h = cv2.boundingRect(cnt)
            cv2.drawContours(whitepage2, cnt, -1, (255, 0, 0),1)
genoran=float(w)/float(h)
ks=len (contours)
t1=ks-1
kontur1 = contours[t1]
if w>=780:
        if genoran<=1.34 and genoran>=1.30 and ks==10:
                cv2.imwrite("702Z.png",blackpage_resized1)
                dosyaadi = "702Z.png"
```

```
secim=5
yoran = round(w/82.0,3)
doran = round (h/61.0,3)
break
```

OpenCv “findContours” fonksiyonu ile “blackpage_resized” görüntü dosyası üzerindeki tüm kontur noktaları, “findContours” fonksiyonunun “CHAIN_APPROX_NONE” parametresi kullanılarak tespit edilir. Bulunan bu konturlarda hiyerarşik sıralama yapılarak, kontur alanının 2500 piksel boyutlarından büyük olanlar “drawContours” fonksiyonu ile daha önce oluşturulan “whitepage2” isminde boş görüntü dosyası üzerine çizdirilir. En dış konturun genişlik oranı “genoran” değişkeni ile hesap edilir. “Ks” değişkeni ise profildeki kontur sayısını ifade etmektedir. Şayet görüntüsü incelenen profilde genişlik piksel sayısı 780’den büyük ise ve profilin genişlik oranı 1.30-1.34 arasında ve kontur sayısı da 10’a eşit ise on-line olarak görüntülenen profil, 702Z.png dosya ismiyle kaydedilir. Secim değişkenine kullanıcının profil tipini tanımlamak için belirlemiş olduğu sayı atanır (örnek profil için 5). Kontur sayısından bir eksik olarak profildeki en geniş ve en dış konturu “t1” değişkeni ifade etmektedir. Dış konturu noktalama fonksiyonunda kullanabilmek için “t1” değişkeni “kontur1” olarak atanmıştır. “yoran” ve “doran” değişkenleri, profile ait ekranda okunan en geniş konturun yatay ve düşey piksel değerlerinin sırasıyla profilin genişliğine ve yüksekliğine oranını ifade etmektedir. 5 nolu profil tipi için en dış konturda “noktalamatest(kontur1,secim)” fonksiyonu çalıştırılır. Sıfırdan başlamak üzere en dış konturda kontur sayısal uzunluğu boyunca tüm piksellerin x ve y değerleri kaydedilir. Geliştirilen “Noktalama” fonksiyonu ile tespit edilen maksimum ve minimum noktalar arasından ilgilenilen veriler alınır. Konturların daha önce çizildiği görüntü üzerine “puttext” fonksiyonu ile noktanın ismi yazdırılır ve “circle” fonksiyonuyla yeri belirtilir.

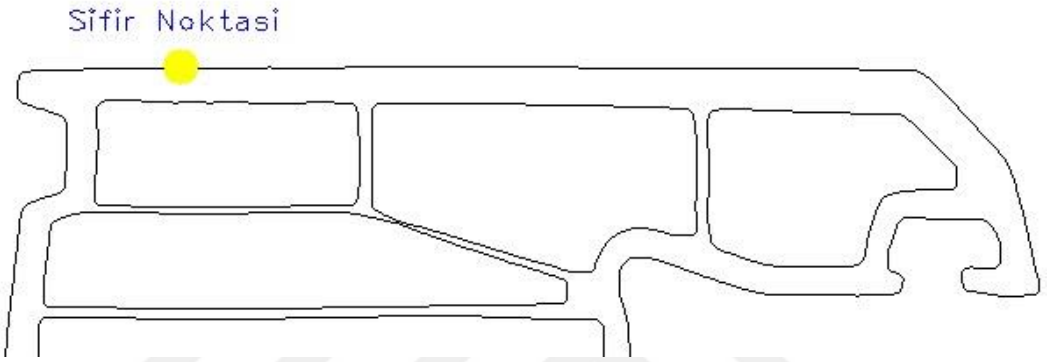
5.1.1. Konturun sıfır (0) noktasının tespit edilmesi

Noktalama fonksiyonu konturun sıfir "0" noktasından, konturun son noktasından bir önceki noktaya kadar çalıştırılır. Konturun sıfir noktası olan en tepe noktasına, "Sifir Noktası", ifadesi görüntü dosyasında yazdırılır ve yeri nokta ile gösterilir.

Geliştirilen yazılımda konturun sıfır noktasını bulmaya yönelik oluşturan kod dizini;

```
liste =noktalama(0,len(pt1)-1,pt1)
cv2.putText(blank_image,str("Sifir  Noktasi"),(np.array(pt1[0])[:,0]-65,np.array(pt1[0])[:,1]-
20),font1,1.2,(255,0,0),1)
cv2.circle(blank_image,(np.array(pt1[0])[:,0],np.array(pt1[0])[:,1]),  10, (0,255,255),  -1)
```

Konturun sıfır noktasının deney numunesi üzerinde gösterilmesi Şekil 5.3'te verilmiştir.



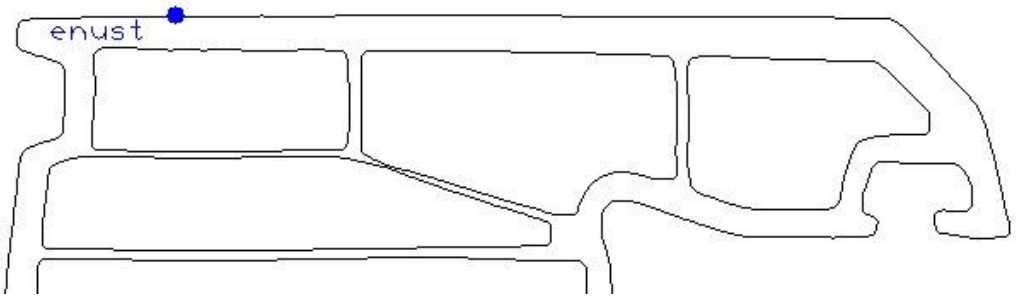
Şekil 5.3. Profildeki en dış konturda sıfır noktasının gösterilmesi

5.1.2. Konturun en üst noktasının tespit edilmesi

Listenin ilk elemanı olan "enu" değişkeni "sifir" olarak atanır. "enust", ifadesi görüntü dosyasında yazdırılır ve yeri nokta ile gösterilir. Geliştirilen yazılımda konturun en üst noktasını bulmaya yönelik oluşturan kod dizini;

```
sifir=liste[0]
cv2.putText(blank_image,str("enust"), (np.array(pt1[sifir])[:,0]-
75,np.array(pt1[sifir])[:,1]+15),font1,1.2,(255,0,0),1)
cv2.circle(blank_image,(np.array(pt1[sifir])[:,0],
np.array(pt1[sifir])[:,1]),  5, (255,0,0),  -1)
```

Konturun enüst noktasının deney numunesi üzerinde gösterilmesi Şekil 5.4'te verilmiştir.



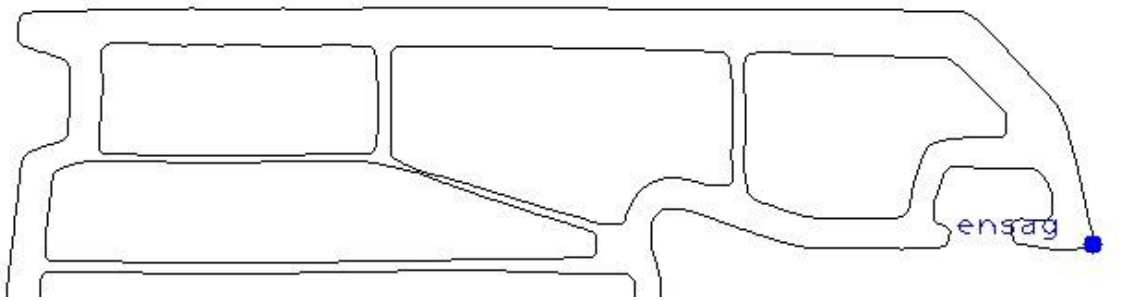
Şekil 5.4. Profildeki en dış konturda enüst noktanın gösterilmesi

5.1.3. Konturun en sağ noktasının tespit edilmesi

Listenin ikinci elemanı olan "ens" değişkeni "bir" olarak atanır. "ensag", ifadesi görüntü dosyasında yazdırılır ve yeri nokta ile gösterilir. Geliştirilen yazılımda konturun en sağ noktasını bulmaya yönelik oluşturan kod dizini;

```
bir=liste[1]
cv2.putText(blank_image,str("ensag"),(np.array(pt1[bir])[:,0]-75,np.array(pt1[bir])
[:,1]-5),font1,1.2,(255,0,0),1)
cv2.circle(blank_image,(np.array(pt1[bir])[:,0],np.array(pt1[bir])[:,1])
, 5, (255,0,0),  -1)
```

Konturun ensağ noktasının deney numunesi üzerinde gösterilmesi Şekil 5.5'te verilmiştir.



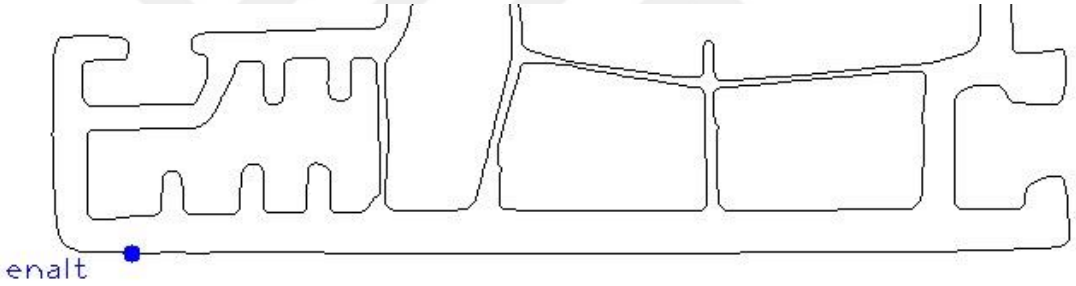
Şekil 5.5. Profildeki en dış konturda ensağ noktanın gösterilmesi

5.1.4. Konturun en alt noktasının tespit edilmesi

Listenin üçüncü elemanı olan "ena" değişkeni "iki" olarak atanır. "enalt", ifadesi görüntü dosyasında yazdırılır ve yeri nokta ile gösterilir. Geliştirilen yazılımda konturun en alt noktasını bulmaya yönelik oluşturan kod dizini;

```
iki=liste[2]
cv2.putText(blank_image,str("enalt"),(np.array(pt1[iki])[:,0]-
75,np.array(pt1[iki])[:,1]+15),font1,1.2,(255,0,0),1)
cv2.circle(blank_image,(np.array(pt1[iki])[:,0],
np.array(pt1[iki])[:,1]),  5, (255,0,0),  -1)
```

Konturun enalt noktasının deney numunesi üzerinde gösterilmesi Şekil 5.6'da verilmiştir.



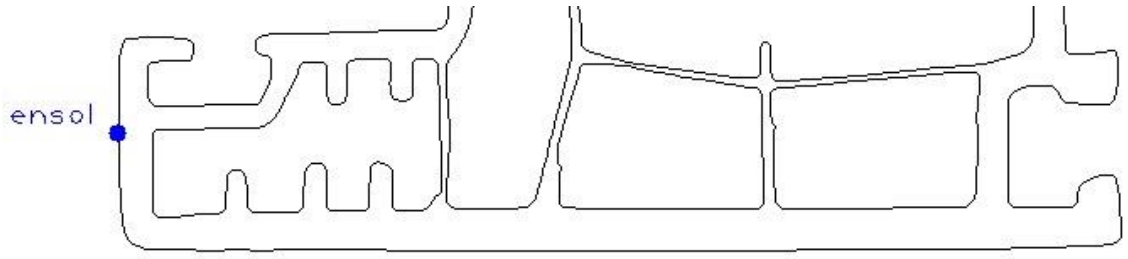
Şekil 5.6. Profildeki en dış konturda enalt noktanın gösterilmesi

5.1.5. Konturun en sol noktasının tespit edilmesi

Listenin dördüncü elemanı olan "enl" değişkeni "uc" olarak atanır. "ensol", ifadesi imaj dosyasında yazdırılır ve yeri nokta ile gösterilir. Geliştirilen yazılımda konturun en sol noktasını bulmaya yönelik oluşturan kod dizini;

```
uc=liste[3]
cv2.putText(blank_image,str("ensol"),(np.array(pt1[uc])[:,0]-65,np.array(pt1[uc])[:,1]-
5),font1,1.2,(255,0,0),1)
cv2.circle(blank_image,(np.array(pt1[uc])[:,0],np.array(pt1[uc])[:,1]),  5, (255,0,0),  -1)
```

Konturun ensol noktasının deney numunesi üzerinde gösterilmesi Şekil 5.7'de verilmiştir.



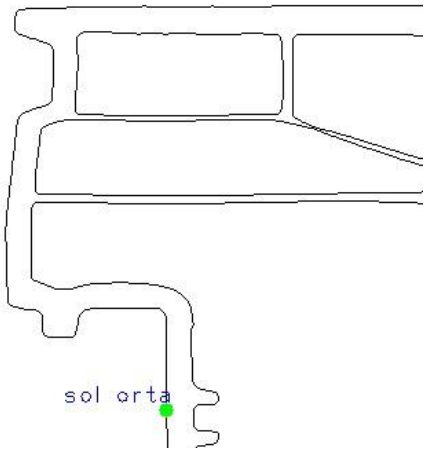
Şekil 5.7. Profildeki en dış konturda ensol noktanın gösterilmesi

5.1.6. Konturun sol orta noktasının tespit edilmesi

Listenin beşinci elemanı olan "b1" değişkeni "dort" olarak atanır. "sol orta", ifadesi görüntü dosyasında yazdırılır ve yeri nokta ile gösterilir. Geliştirilen yazılımda konturun sol orta noktasını bulmaya yönelik oluşturan kod dizini;

```
dort=liste[4]
cv2.putText(blank_image,str("sol orta"),(np.array(pt1[dort])[:,0]-75,
np.array(pt1[dort])[:,1]-5),font1,1.2,(255,0,0),1)
cv2.circle(blank_image,(np.array(pt1[dort])[:,0],
np.array(pt1[dort])[:,1]),  5, (0,255,0),  -1)
```

Konturun sol orta noktasının deney numunesi üzerinde gösterilmesi Şekil 5.8'de verilmiştir.



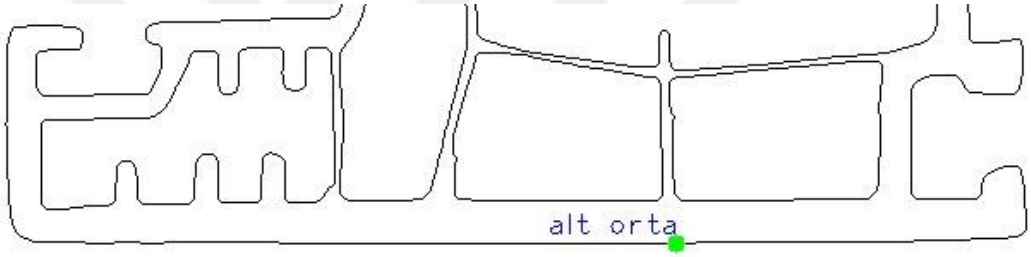
Şekil 5.8. Profildeki en dış konturda solorta noktanın gösterilmesi

5.1.7. Konturun alt orta noktasının tespit edilmesi

Listenin beşinci elemanı olan "b2" değişkeni "bes" olarak atanır. "alt orta", ifadesi görüntü dosyasında yazdırılır ve yeri nokta ile gösterilir. Geliştirilen yazılımda konturun alt orta noktasını bulmaya yönelik oluşturan kod dizini;

```
bes=liste[5]
cv2.putText(blank_image,str("alt orta"),(np.array(pt1[bes])[:,0]-75,np.array(pt1[bes])[:,1]-
5),font1,1.2,(255,0,0),1)
cv2.circle(blank_image,(np.array(pt1[bes])[:,0],
np.array(pt1[bes])[:,1]), 5, (0,255,0), -1)
```

Konturun alt orta noktasının deney numunesi üzerinde gösterilmesi Şekil 5.9'da verilmiştir.



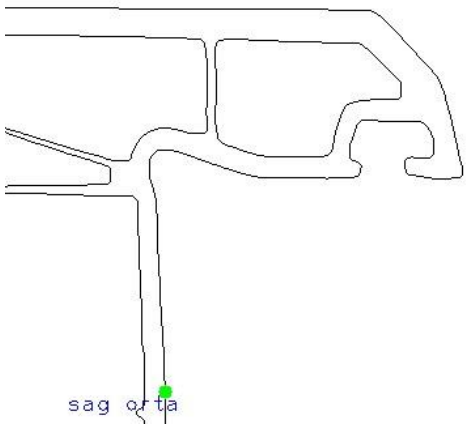
Şekil 5.9. Profildeki en dış konturda altorta noktanın gösterilmesi

5.1.8. Konturun sağ orta noktasının tespit edilmesi

Listenin altıncı elemanı olan "b3" değişkeni "alti" olarak atanır. "sağ orta", ifadesi görüntü dosyasında yazdırılır ve yeri nokta ile gösterilir. Geliştirilen yazılımda konturun sağ orta noktasını bulmaya yönelik oluşturan kod dizini;

```
alti=liste[6]
cv2.putText(blank_image,str("sag orta"),(np.array(pt1[alti])[:,0]-75,
np.array(pt1[alti])[:,1]+15),font1,1.2,(255,0,0),1)
cv2.circle(blank_image,(np.array(pt1[alti])[:,0],np.array(pt1[alti])[:,1]), 5, (0,255,0), -1)
```

Konturun sağ orta noktasının deney numunesi üzerinde gösterilmesi Şekil 5.10'da verilmiştir.



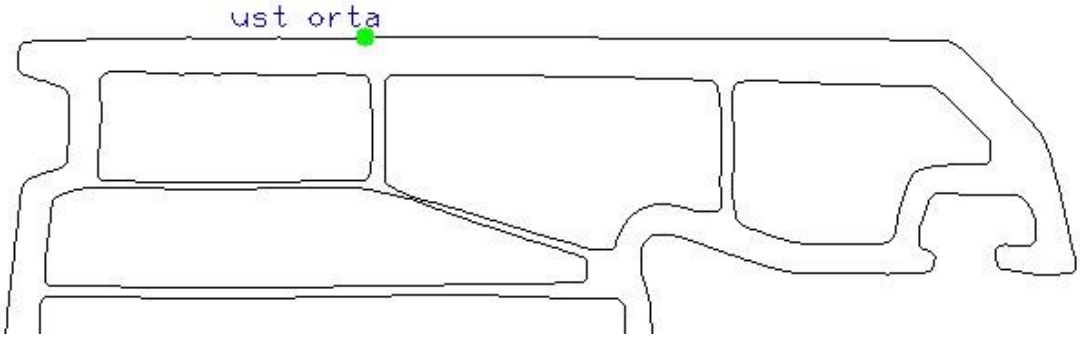
Şekil 5.10. Profildeki en dış konturda sağorta noktanın gösterilmesi

5.1.9. Konturun üst orta noktasının tespit edilmesi

Listenin yedinci elemanı olan "b4" değişkeni "yedi" olarak atanır. "üst orta", ifadesi görüntü dosyasında yazdırılır ve yeri nokta ile gösterilir. Geliştirilen yazılımda konturun üst orta noktasını bulmaya yönelik oluşturan kod dizini;

```
yedi=liste[7]
cv2.putText(blank_image,str("ust orta"),(np.array(pt1[yedi])[:,0]-75,
np.array(pt1[yedi])[:,1]-5),font1,1.2,(255,0,0),1)
cv2.circle(blank_image,(np.array(pt1[yedi])[:,0],
np.array(pt1[yedi])[:,1]),  5, (0,255,0),  -1)
```

Konturun üst orta noktasının deney numunesi üzerinde gösterilmesi Şekil 5.11'de verilmiştir.



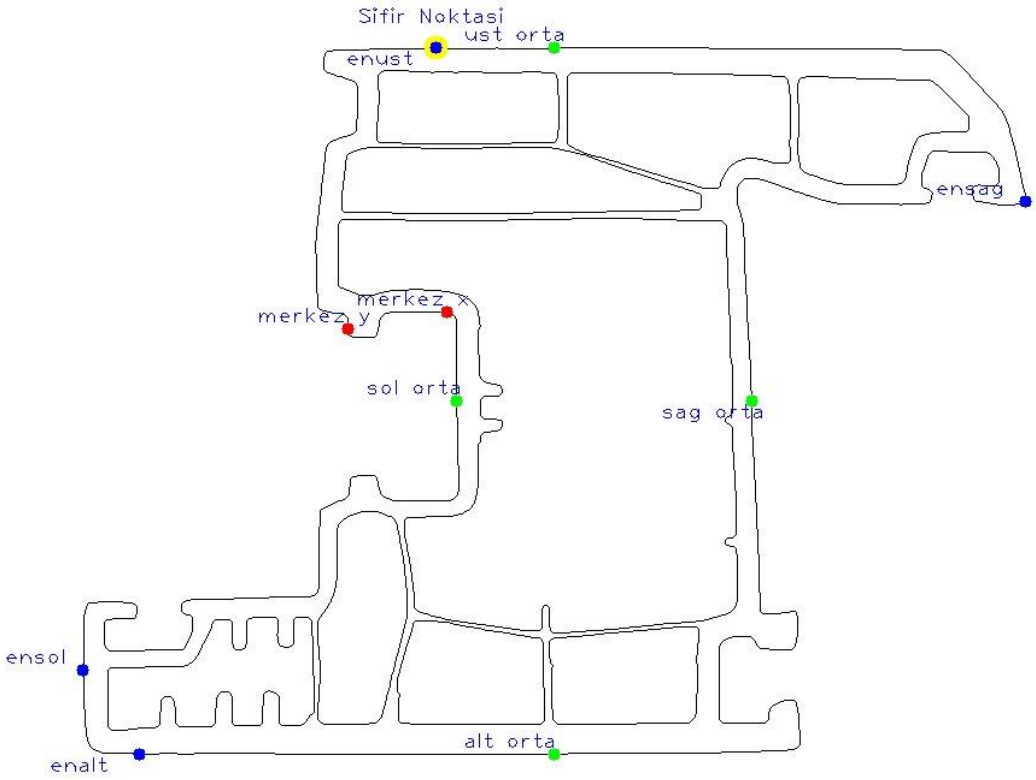
Şekil 5.11. Profildeki en dış konturda üstorta noktanın gösterilmesi

5.1.10. Konturun merkez x ve y noktalarının tespit edilmesi

Listenin sekizinci elemanı olan "cenx" değişkeni "sekiz", listenin dokuzuncu elemanı olan "ceny" değişkeni "dokuz" olarak atanır. "merkez x" ve "merkez y" ifadeleri görüntü dosyasında yazdırılır ve yerleri nokta ile gösterilir. Geliştirilen yazılımda konturun merkez x ve merkez y noktalarını bulmaya yönelik oluşturan kod dizini;

```
sekiz=liste[8]
cv2.putText(blank_image,str("merkez x"),(np.array(pt1[sekiz])[:,0]-75,
np.array(pt1[sekiz])[:,1]-5),font1,1.2,(255,0,0),1)
cv2.circle(blank_image,(np.array(pt1[sekiz])[:,0],
np.array(pt1[sekiz])[:,1]), 5, (0,0,255), -1)
dokuz=liste[9]
cv2.putText(blank_image,str("merkez y"),(np.array(pt1[dokuz])[:,0]-75,
np.array(pt1[dokuz])[:,1]-5),font1,1.2,(255,0,0),1)
cv2.circle(blank_image,(np.array(pt1[dokuz])[:,0],np.array(pt1[dokuz])[:,1]), 5, (0,0,255), -1)
```

Konturun merkezx ve merkez y noktalarının deney numunesi üzerinde gösterilmesi Şekil 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.12. Profildeki en dış konturda merkez x ve merkez y noktalarının gösterilmesi

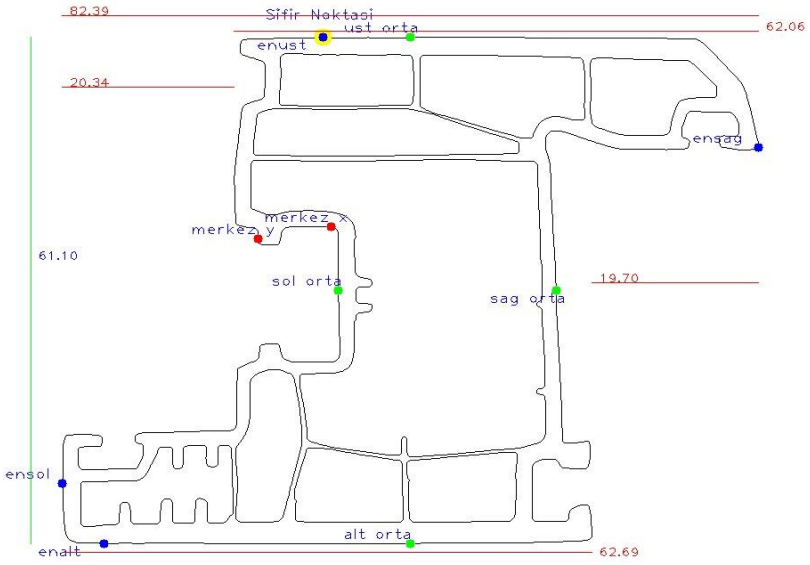
5.1.11. Konturda iki nokta arası mesafe ölçümü ve çizim işlemi

Geliştirilen yazılımda konturun iki noktası arasında mesafe ölçümünü sağlayan ve çizgi çizdiren kod dizini;

```
def yatayciz(pt1,pt2,pt3,pt4,pt5,pt6):
basla= (np.array(pt5[pt1])[:,0],np.array(pt5[pt1])[:,1]+pt3)
bitir =(np.array(pt6[pt2])[:,0],np.array(pt6[pt1])[:,1]+pt3)
uzaklik  = dist.euclidean(basla, bitir)
basla1= (np.array(pt5[pt1])[:,0],np.array(pt5[pt1])[:,1]+pt4)
cv2.line(blank_image,basla,bitir,ycr,1)
cv2.putText(blank_image,str('%5.2f'%(uzaklik/yoran)),basla1,font,size,yrenk,skal)
mesafe=np.array(pt1[bmiddle])[:,1]-np.array(pt1[altensol])[:,1]
yatayciz(uc,bir,mesafe+7,mesafe+20,pt1,pt1)
zeropoint= np.array(pt1[0])[:,0],np.array(pt1[0])[:,1]
mesafe1=np.array(pt1[ustsol])[:,1]-np.array(pt1[zeropoint])[:,1]
yatayciz(ustsol,ustsag,mesafe1-7,mesafe1-20,pt1,pt1)
```

yatayciz(uc,bir,mesafe+7,mesafe+20,pt1,pt1) fonksiyonunda, pt1 değişkeni konturun ilk noktasını (uc – en sol), pt2 değişkeni konturun ikinci noktasını (bir – en sağ), pt3 değişkeni çizginin pt1 ve pt2 noktalarına olan uzaklığını (mesafe+7), pt4 ölçüm yazısının pt1 ve pt2 noktalarına olan uzaklığını (mesafe+20), pt5 değişkeni birinci konturu, pt6 ise ikinci konturu ifade etmektedir.

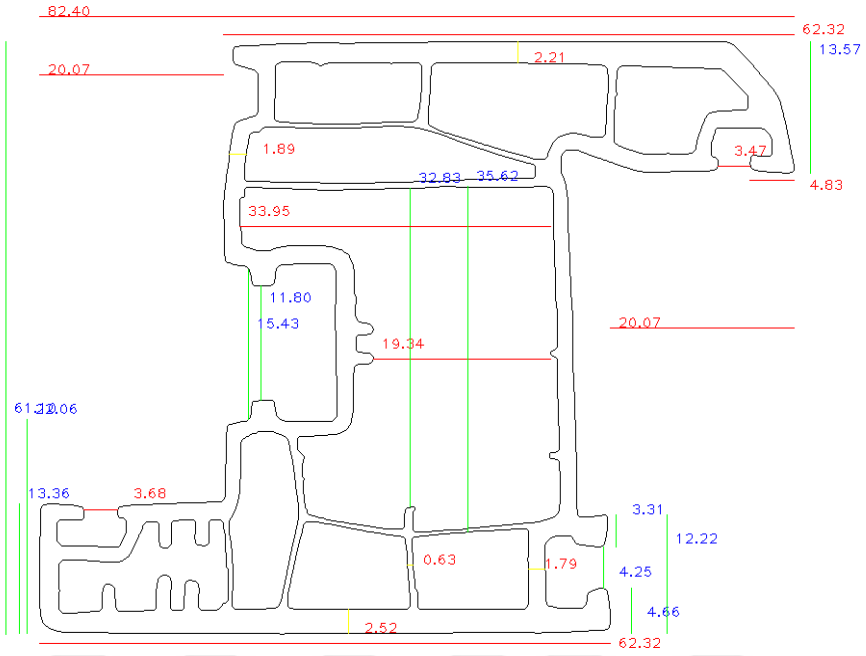
Deneysel çalışmada kullanılan pvc profili için konturda mesafe ölçme ve çizdirme işlemleri Şekil 5.13'te verilmiştir.



Şekil 5.13. Konturda mesafe ölçme ve çizdirme işleminin gösterilmesi

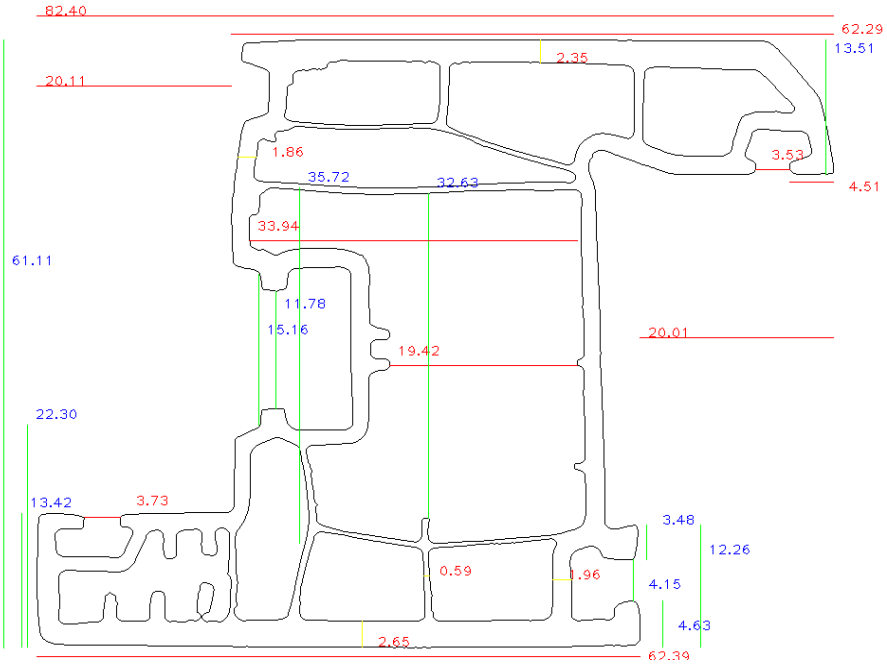
6. ÖLÇÜMLERİ SAĞLANAN DENEY NUMUNELERİ

11 Şubat 2018 tarihinde 09:00 saatinde üretim hattından alınan 1 numaralı numune profile ait görüntü işlemeye dayalı boyut değerleri Şekil 6.1'de verilmiştir.



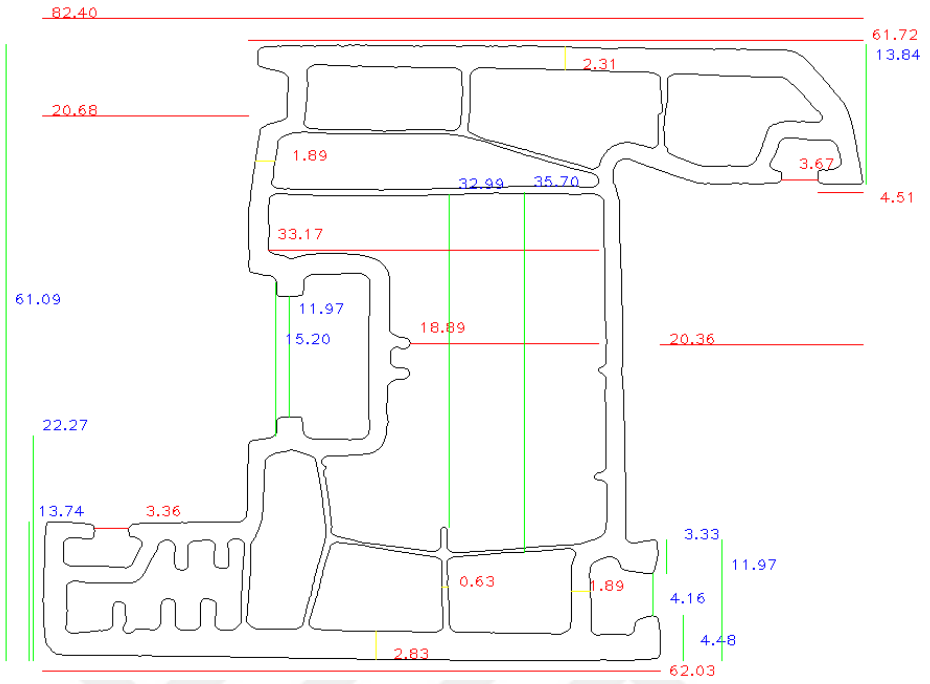
Şekil 6.1. 1 numaralı deney numunesi görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları

11 Şubat 2018 tarihinde 12:30 saatinde üretim hattından alınan 2 numaralı numune profile ait işlemeye dayalı boyut değerleri Şekil 6.2'de verilmiştir.



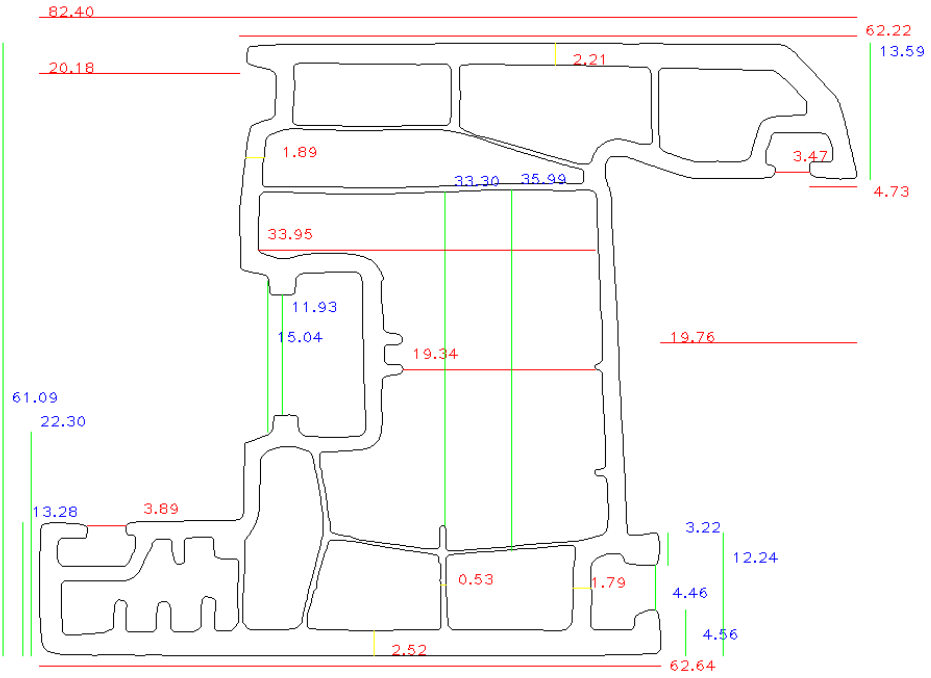
Şekil 6.2. 2 numaralı deney numunesi görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları

12 Şubat 2018 tarihinde 11:28 saatinde üretim hattından alınan 3 numaralı numune profile ait işlemeye dayalı boyut değerleri Şekil 6.3'te verilmiştir.



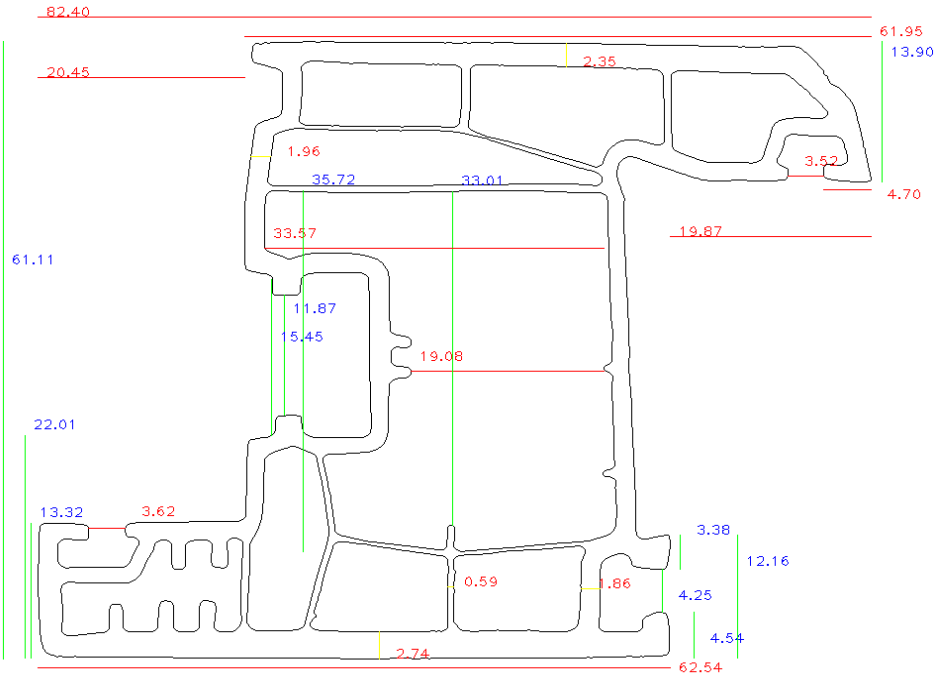
Şekil 6.3. 3 numaralı deney numunesi görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları

12 Şubat 2018 tarihinde 21:00 saatinde üretim hattından alınan 4 numaralı numune profile ait işlemeye dayalı boyut değerleri Şekil 6.4'te verilmiştir.



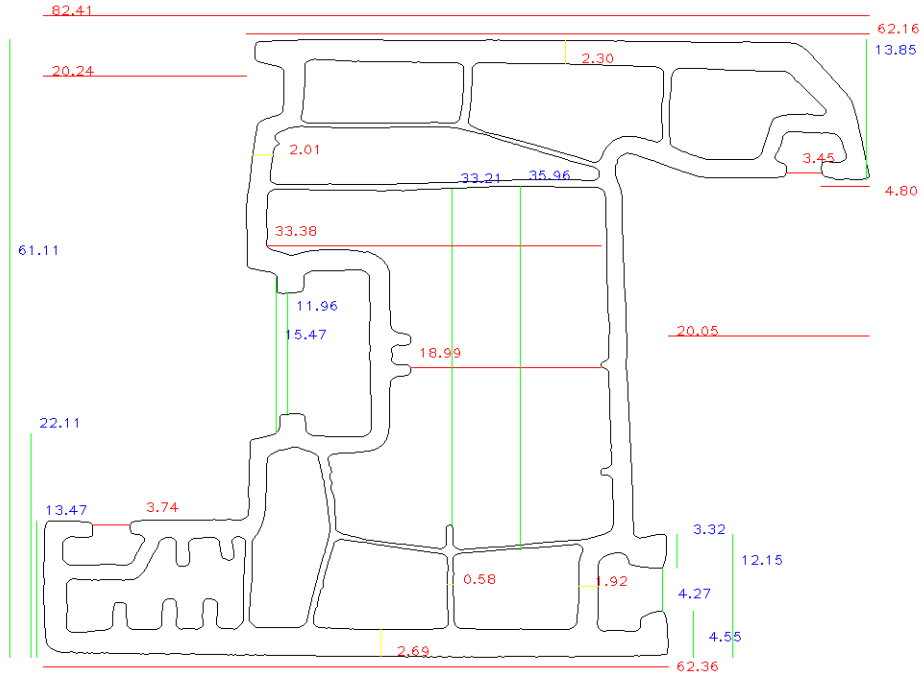
Şekil 6.4. 4 numaralı deney numunesi görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları

13 Şubat 2018 tarihinde 11:00 saatinde üretim hattından alınan 5 numaralı numune profile ait işlemeye dayalı boyut değerleri Şekil 6.5'te verilmiştir.



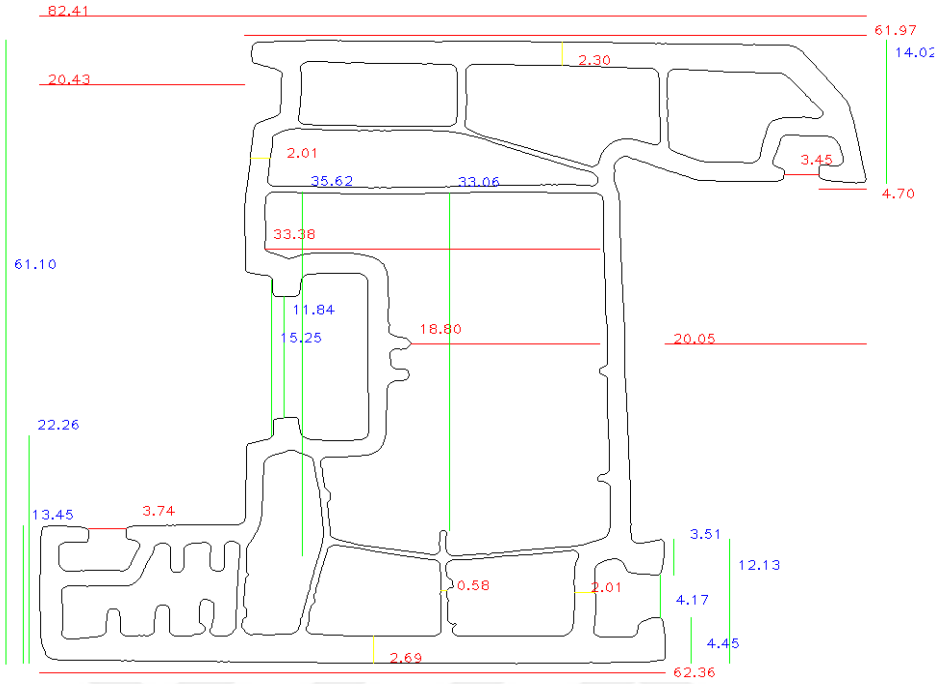
Şekil 6.5. 5 numaralı deney numunesi görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları

13 Şubat 2018 tarihinde 12:56 saatinde üretim hattından alınan 6 numaralı numune profile ait işlemeye dayalı boyut değerleri Şekil 6.6'da verilmiştir.



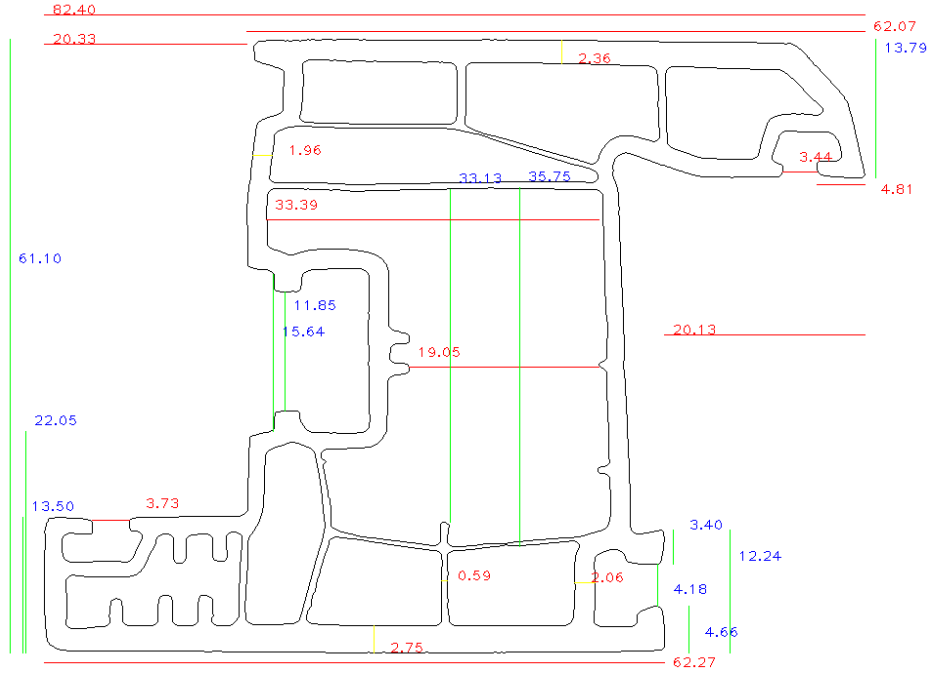
Şekil 6.6. 6 numaralı deney numunesi görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları

14 Şubat 2018 tarihinde 12:48 saatinde üretim hattından alınan 7 numaralı numune profile ait işlemeye dayalı boyut değerleri Şekil 6.7'de verilmiştir.



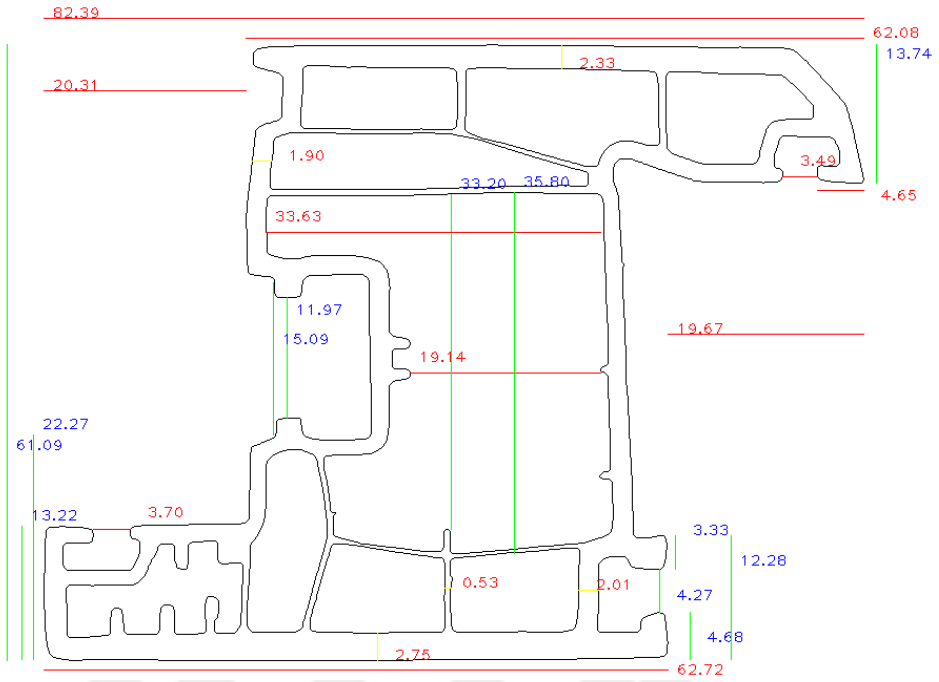
Şekil 6.7. 7 numaralı deney numunesi görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları

14 Şubat 2018 tarihinde 19:00 saatinde üretim hattından alınan 8 numaralı numune profile ait işlemeye dayalı boyut değerleri Şekil 6.8'de verilmiştir.



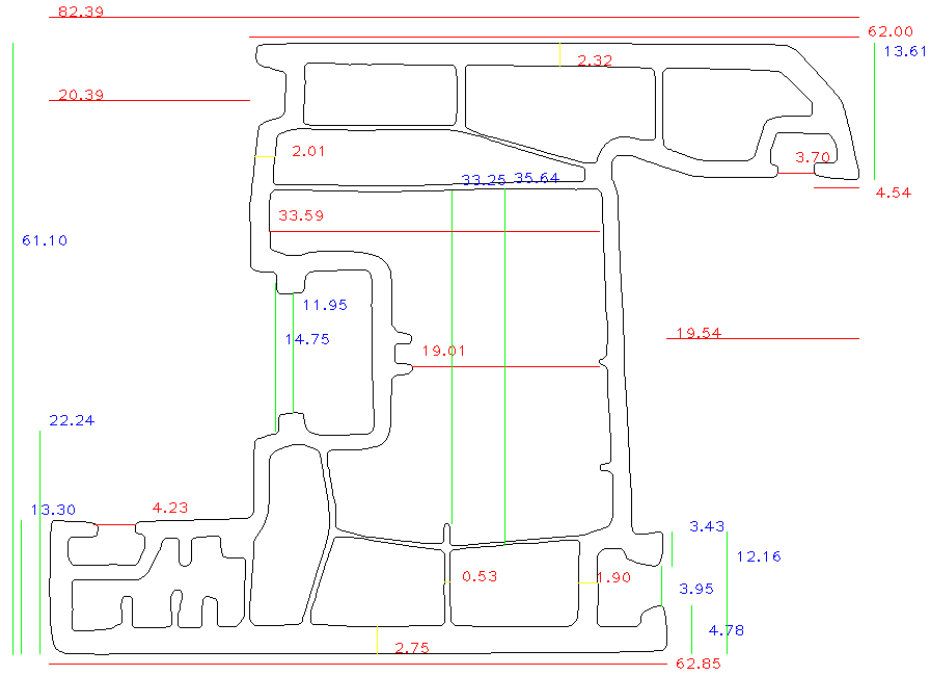
Şekil 6.8. 8 numaralı deney numunesi görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları

14 Şubat 2018 tarihinde 21:00 saatinde üretim hattından alınan 9 numaralı numune profile ait işlemeye dayalı boyut değerleri Şekil 6.9'da verilmiştir.



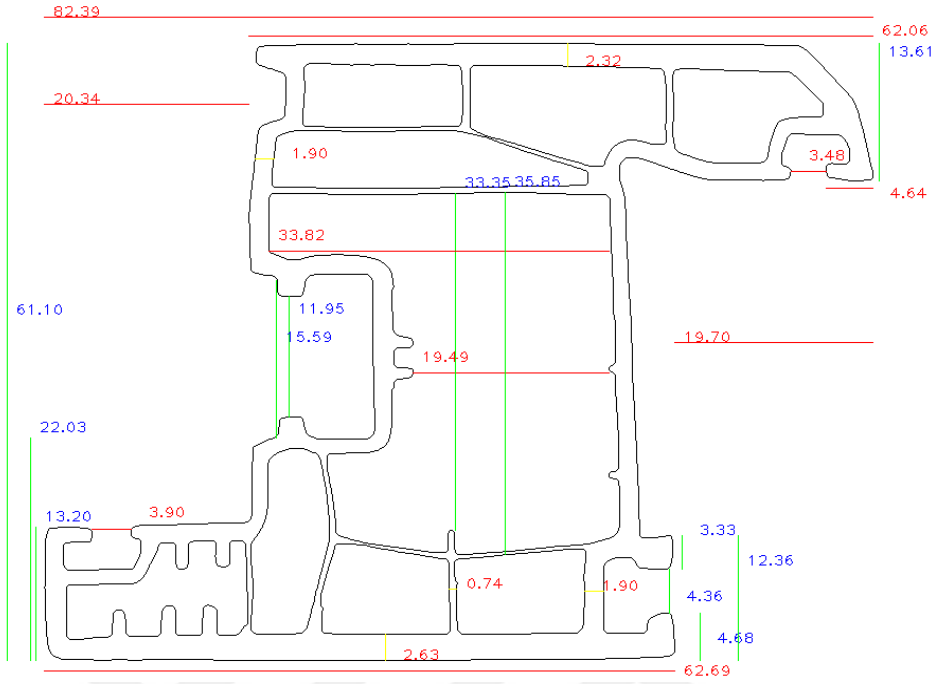
Şekil 6.9. 9 numaralı deney numunesi görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları

15 Şubat 2018 tarihinde 14:00 saatinde üretim hattından alınan 10 numaralı numune profile ait işlemeye dayalı boyut değerleri Şekil 6.10'da verilmiştir.



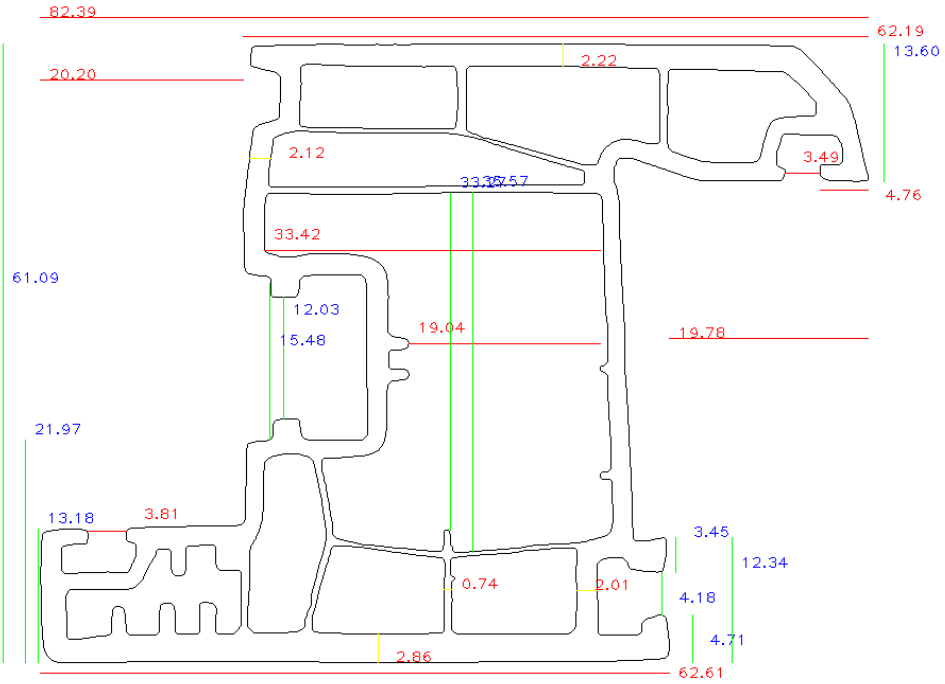
Şekil 6.10. 10 numaralı deney numunesi görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları

15 Şubat 2018 tarihinde 14:20 saatinde üretim hattından alınan 11 numaralı numune profile ait işlemeye dayalı boyut değerleri Şekil 6.11'de verilmiştir.



Şekil 6.11. 11 numaralı deney numunesi görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları

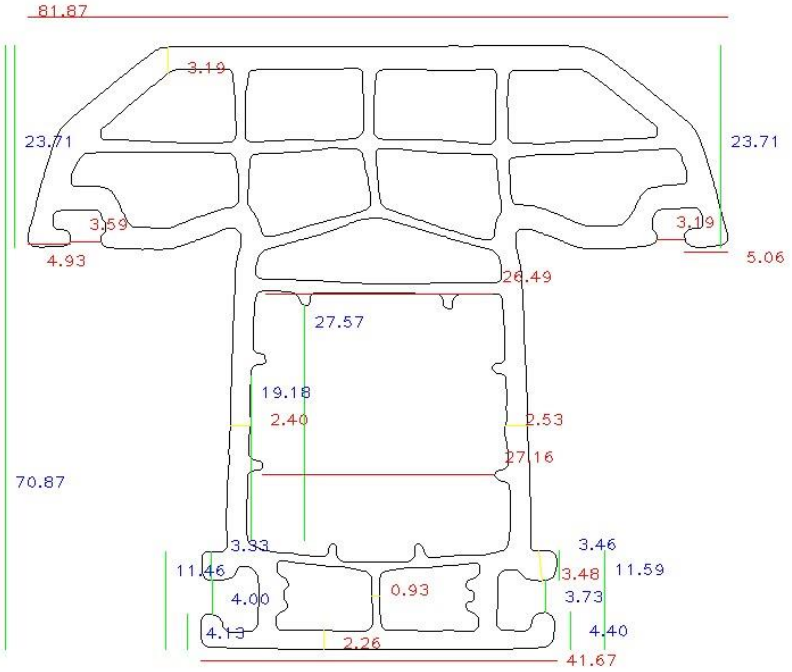
15 Şubat 2018 tarihi ve 23:00 saatinde üretim hattından alınan 12 numaralı numune profile ait işlemeye dayalı boyut değerleri Şekil 6.12'de verilmiştir.



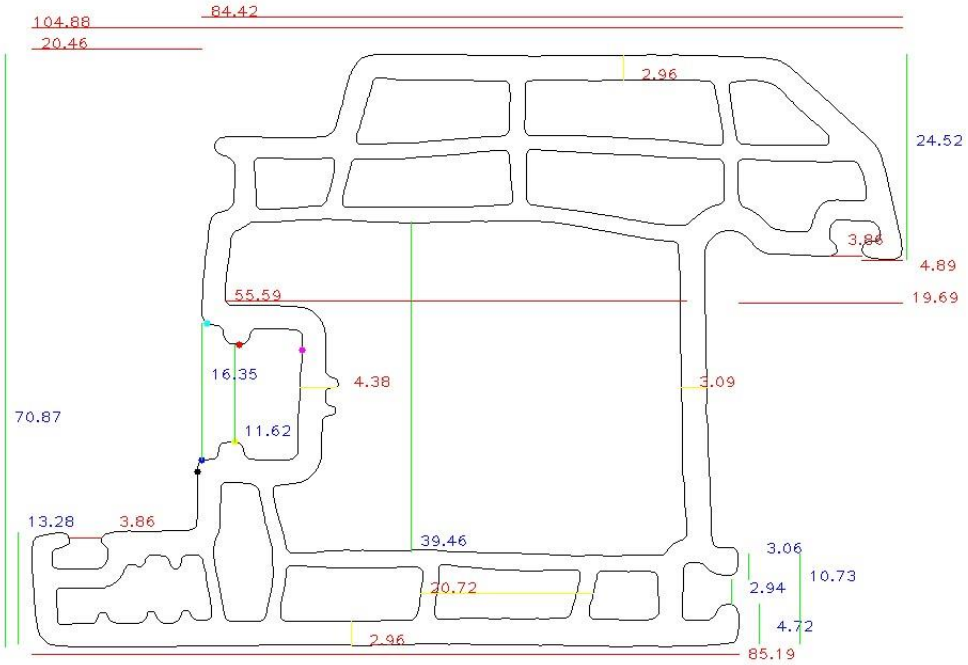
Şekil 6.12. 12 numaralı deney numunesi görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları

6.1. Görüntü İşleme Metoduyla Ölçümleri Sağlanan Diğer Profiller

Geliştirilen algoritma ile ölçümleri sağlanan diğer profil örnekleri Şekil 6.13 ve Şekil 6.14'te verilmiştir.



Şekil 6.13. Tip2 profil görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları



Şekil 6.14. Tip3 profil görüntü işleme tabanlı ölçüm sonuçları

7. UYGULAMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Yazılım Python 2.7.3 programlama dilinde, OpenCV görüntü işleme kütüphanesi kullanılarak Windows 7 işletim sistemi üzerinde gerçekleştirildi. Geliştirilen yazılımı ile elde edilen profillere ait ölçüm sonuçları incelendiğinde, klasik ölçme araçlarından dijital kumpasla ölçülen değerlere yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca profil tiplerinin geometrisine uygun olarak kural tabanları oluşturulmuştur.

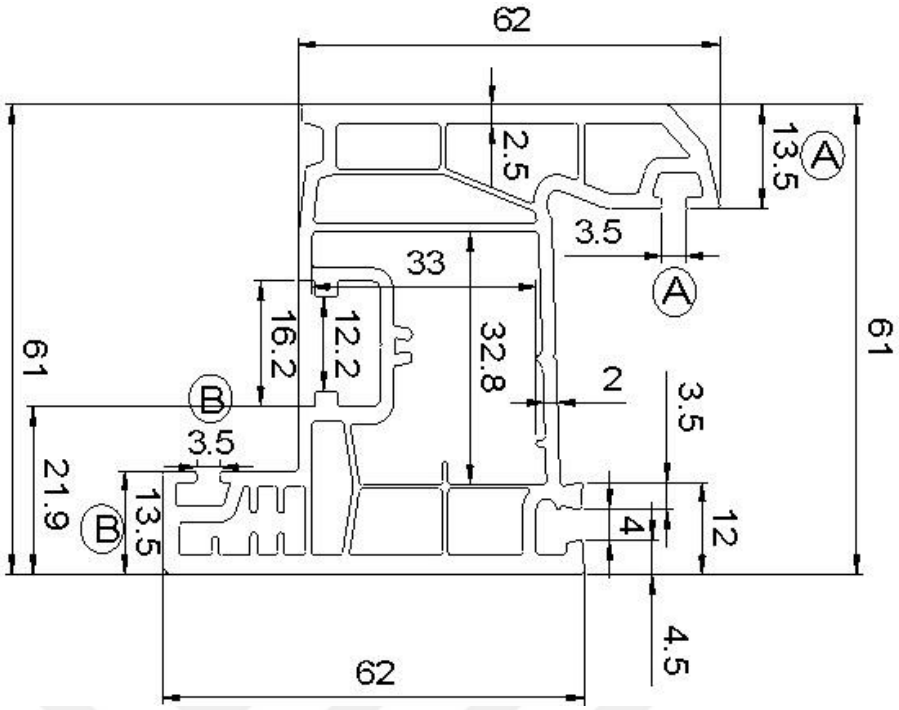
Profilin imalat resmine uygun olarak parça geometrisinde kabul edilebilir tolerans değerleri Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Görüntü işleme tabanlı ölçümleri sağlanan profilin tolerans değerleri

Kritik Noktalar		Tolerans Değerleri		
		Minimum	Standart	Maksimum
Yükseklik		61,00 mm	60,70 mm	61,30 mm
Üst genişlik		62,00 mm	61,70 mm	62,30 mm
Alt genişlik		62,00 mm	61,70 mm	62,30 mm
Sol yan yükseklik		21,90 mm	21,60 mm	22,20 mm
İç yükseklik		32,80 mm	32,30 mm	33,80 mm
İç genişlik		33,00 mm	32,50 mm	34,00 mm
Conta kanalları kenar uzunlukları	A,B	13,50 mm	13,30 mm	13,70 mm
Kritik Noktalar		Tolerans Değerleri		
		Minimum	Standart	Maksimum
Et kalınlıkları	Üst	2,50 mm	2,50 mm	------
	Alt	2,50 mm	2,50 mm	------
	Sağ	2,00 mm	2,00 mm	------
	Sol	2,00 mm	2,00 mm	------
Conta Kanalı	A	3,50 mm	3,30 mm	3,70 mm
	B	3,50 mm	3,30 mm	3,70 mm
Çıta kanalı kenar genişliği		4,50 mm	4,50 mm	4,70 mm
Çıta kanalı kenar genişliği		4,00 mm	3,80 mm	4,20 mm
Çıta kanalı toplam genişliği		12,00 mm	11,80 mm	12,20 mm
İspanyolet yatağı		16,20 mm	16,00 mm	16,40 mm
İspanyolet yatağı altı		12,20 mm	12,00 mm	12,40 mm

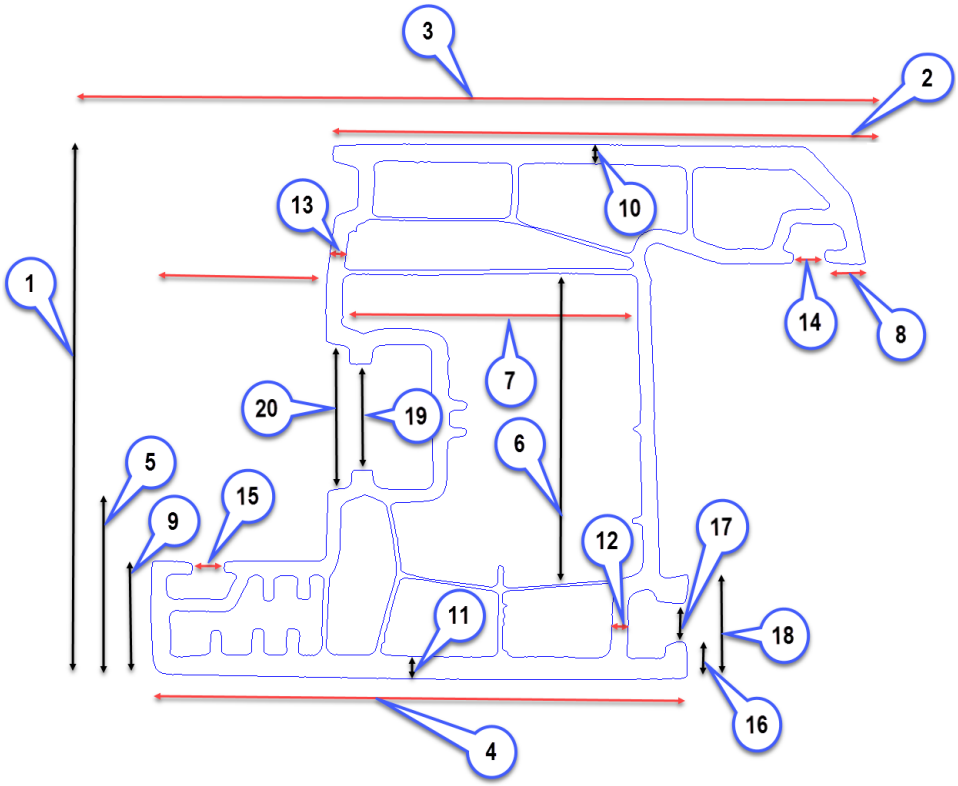
Çalışmada boyut kontrolü yapılan deney numuneleri KOMPEN PVC YAPI VE İNŞAAT MALZEMELERİ SAN. TİC. A.Ş. tarafından önerilen periyodik numune alma zamanı dikkate alınarak temin edilmiştir.

Çalışmada ölçümü yapılan profilin imalat resmi Şekil 7.1 verilmiştir.



Şekil 7.1. Görüntü işleme tabanlı ölçümleri sağlanan profilin imalat resmi

Deney numuneleri için profilin kritik noktalarının numaralandırılması Şekil 7.2'de gösterilmiştir.



Şekil 7.2. Deney numunesi için kritik noktalarının numaralandırılması

Geliştirilen yazılımla boyut değerleri ölçülen profillerin, karşılaştırılmasında kullanılan standart profil ölçüleri ve adlandırılması Çizelge 7.2'de verilmiştir.

Çizelge 7.2. Deney numunelerindeki kritik noktaların adlandırılması ve standart ölçü değerleri

1-) Yükseklik	61 mm	11-) Alt kalınlık	2.5 mm
2-) Üst genişlik	62 mm	12-) Sağ kalınlık	2 mm
3-) Toplam üst genişlik	82 mm	13-) Sol kalınlık	2 mm
4-) Alt genişlik	62 mm	14-) Sağ yan conta kanal genişliği	3.5 mm
5-) Sol yan yükseklik	21.9 mm	15-) Sol yan conta kanal genişliği	3.5 mm
6-) İç yükseklik	35 mm	16-) Çıta kanalı alt kenar genişliği	4.5 mm
7-) İç genişlik	33 mm	17-) Çıta kanalı genişliği	4 mm
8-) Sağ yan conta kanal kenar u.	4.5 mm	18-) Çıta kanalı toplam genişliği	12 mm
9-) Sol yan conta kanal kenar u.	13.5 mm	19-) İspanyolet yatağı altı	12.2 mm
10-) Üst kalınlık	2.5 mm	20-) İspanyolet yatağı yüksekliği	16.2 mm

Numunelerde imalat resmine uygun olarak toplam 20 adet kritik nokta incelenmiştir. Ayrıca bu çalışmada gerçekleştirilen görüntü işleme metoduyla 7 ayrı noktanın da ölçümleri sağlanmıştır.

Kamera ölçümleri ile standart ölçüler arasında hata oranlarının tespitinde kullanılan formül eşitlik 7.1'de verilmiştir.

$$\%\ \text{HATA ORANI} = \left| \frac{\text{Kamera Ölçüm Değeri - Standart Ölçü Değeri}}{\text{Kamera Ölçüm Değeri}} \right| \text{X } 100 \qquad (7.1)$$

Kumpas ölçümleri ile standart ölçüler arasında hata oranlarının tespitinde kullanılan formül eşitlik 7.2'de verilmiştir.

$$\%\ \text{HATA ORANI} = \left| \frac{\text{Kumpas Ölçüm Değeri- Standart Ölçü Değeri}}{\text{Kumpas Ölçüm Değeri}} \right| \text{X } 100 \qquad (7.2)$$

Kumpas ölçümleri ile kamera ölçümleri arasında hata oranlarının tespitinde kullanılan formül eşitlik 7.3'te verilmiştir.

$$\%\ \text{HATA ORANI} = \left| \frac{\text{Kumpas Ölçüm Değeri - Kamera Ölçüm Değeri}}{\text{Kumpas Ölçüm Değeri}} \right| \text{X } 100 \qquad (7.3)$$

Boyut kontrolü yapılacak deney numunelerinin hassas ölçme aletlerinden dijital kumpas ile yapılan profil ölçüm sonuçları Çizelge 7.3'te verilmiştir.

Çizelge 7.3. Profillere ait dijital kumpasla gerçekleştirilen ölçüm sonuçları

Deney Numuneleri	1 - Yükseklik	2 - Üst genişlik	3 - Toplam üst genişlik	4 - Alt genişlik	5 - Sol yan yükseklik	6 - İç yükseklik	7 - İç genişlik	8 - Sağ yan conta kanal kenar uzunluğu	9 - Sol yan conta kanal kenar uzunluğu	10 - Üst kalınlık	11 - Alt kalınlık	12 - Sağ kalınlık	13 - Sol kalınlık	14 - Sağ yan conta kanal uzunluğu
1	61,31	60,36	82,22	61,82	22,11	35,14	33,32	4,75	13,49	2,51	2,94	2,16	2,15	3,71
2	61,23	61,54	82,54	61,96	22,11	35,09	33,16	5,01	13,47	2,48	2,87	2,16	2,08	3,49
3	61,19	62,28	83,82	61,97	22,11	35,21	33,42	4,97	13,47	2,46	2,83	2,04	2,12	3,56
4	61,23	60,78	82,39	61,79	22,07	35,17	33,64	4,61	13,47	2,39	2,70	2,00	1,87	3,62
5	61,25	61,37	82,99	62,06	22,12	35,34	33,03	4,92	13,48	2,45	2,83	2,15	2,04	3,51
6	61,07	61,99	81,31	62,09	21,62	35,30	33,15	4,82	13,48	2,44	2,93	2,02	2,10	3,53
7	61,25	61,56	81,15	62,07	22,08	35,24	33,65	4,89	13,43	2,40	2,48	1,90	1,87	3,51
8	61,27	61,31	80,73	61,84	22,20	35,28	33,61	4,87	13,47	2,32	2,70	1,96	1,95	3,54
9	61,27	62,22	82,17	62,21	21,96	34,09	33,17	4,91	13,50	2,44	2,93	2,17	2,21	3,50
10	61,29	61,21	82,11	61,92	22,09	35,35	33,22	4,87	13,47	2,40	2,86	2,08	2,24	3,71
11	61,19	61,60	81,80	61,89	22,31	35,35	33,23	4,91	13,65	2,39	2,89	2,16	2,17	3,50
12	61,28	60,98	80,87	61,95	22,18	35,30	33,27	4,83	13,38	2,34	2,69	2,07	2,00	3,51

Deney Numuneleri	15 - Sol yan conta kanal uzunluğu	16 - Çıta kanalı alt kenar genişliği	17 - Çıta kanalı genişliği	18 - Çıta kanalı toplam genişliği	19 - İspanyolet yatağı altı	20 - İspanyolet yatağı yüksekliği	İç kalınlık	Sag yan yükseklik	Çıta kanalı üst kenar genişliği	Sağ yan genişlik	Sol yan genişlik	İç genişlik1	İç yükselik1
1	3,43	4,49	4,23	12,14	11,76	15,88	0,68	14,05	3,49	24,89	20,31	18,65	32,69
2	3,64	4,72	4,15	12,33	11,77	16,02	0,70	13,80	3,52	25,04	20,55	18,76	32,98
3	3,60	4,59	4,26	12,16	11,80	15,93	0,79	14,04	3,40	25,21	20,16	18,78	32,87
4	3,82	4,43	4,26	12,14	11,77	15,90	0,74	13,75	3,45	25,99	20,51	18,91	32,62
5	3,74	4,60	4,20	12,09	11,76	15,83	0,72	13,71	3,50	24,70	20,74	18,74	32,87
6	3,80	4,64	4,31	12,13	11,90	15,80	0,71	13,75	3,41	25,20	20,15	18,75	33,22
7	3,82	4,55	4,22	12,05	11,74	15,90	0,70	13,50	3,34	24,82	20,40	19,02	32,82
8	3,73	4,55	4,40	12,23	11,85	15,65	0,69	13,89	3,37	25,11	20,33	19,05	33,12
9	3,78	4,52	4,19	12,24	11,74	16,17	0,80	13,74	3,51	25,08	20,38	18,65	32,83
10	3,71	4,53	4,14	12,16	11,79	15,94	0,75	13,76	3,42	24,76	20,38	18,66	32,92
11	3,71	4,60	4,27	12,13	11,82	15,92	0,73	13,93	3,48	25,35	20,48	18,82	32,60
12	3,71	4,55	4,35	12,21	11,81	15,35	0,73	13,81	3,38	25,14	20,45	19,07	32,65

Geliştirilen yazılımla elde edilen görüntü işlemeye dayalı profil ölçüm sonuçları Çizelge 7.4'te verilmiştir.

Çizelge 7.4. Profillere ait görüntü işlemeye dayalı ölçüm sonuçları

Deney Numuneleri	1 - Yükseklik	2 - Üst genislik	3 - Toplam üst genişlik	4 - Alt genişlik	5 - Sol yan yükseklik	6 - İç yükseklik	7 - İç genişlik	8 - Sağ yan conta kanal kenar uzunluğu	9 - Sol yan conta kanal kenar uzunluğu	10 - Üst kalınlık	11 - Alt kalınlık	12 - Sağ kalınlık	13 - Sol kalınlık	14 - Sağ yan conta kanal uzunluğu
1	61,10	62,32	82,40	62,32	22,06	35,62	33,95	4,83	13,36	2,21	2,52	1,79	1,89	3,47
2	61,11	62,29	82,40	62,39	22,30	35,72	33,94	4,51	13,42	2,35	2,65	1,96	1,86	3,53
3	61,09	61,72	82,40	62,03	22,27	35,70	33,17	4,51	13,74	2,31	2,83	1,89	1,89	3,67
4	61,09	62,22	82,40	62,64	22,30	35,99	33,95	4,73	13,28	2,21	2,52	1,79	1,89	3,47
5	61,11	61,95	82,40	62,54	22,01	35,72	33,57	4,70	13,32	2,35	2,74	1,86	1,96	3,52
6	61,11	62,16	82,41	62,36	22,11	35,96	33,38	4,80	13,47	2,30	2,69	1,92	2,01	3,45
7	61,10	61,97	82,41	62,36	22,26	35,62	33,38	4,70	13,45	2,30	2,69	2,01	2,01	3,45
8	61,10	62,07	82,40	62,27	22,05	35,75	33,39	4,81	13,50	2,36	2,75	2,06	1,96	3,44
9	61,09	62,08	82,39	62,72	22,27	35,80	33,63	4,65	13,22	2,33	2,75	2,01	1,90	3,49
10	61,10	62,00	82,39	62,85	22,24	35,64	33,59	4,54	13,30	2,32	2,75	1,90	2,01	3,70
11	61,10	62,06	82,39	62,69	22,03	35,85	33,82	4,64	13,20	2,32	2,63	1,90	1,90	3,48
12	61,09	62,19	82,39	62,61	21,97	35,57	33,42	4,76	13,18	2,22	2,86	2,01	2,12	3,49

Deney Numuneleri	15 - Sol yan conta kanal uzunluğu	16 - Çıta kanalı alt kenar genişliği	17 - Çıta kanalı genişliği	18 - Çıta kanalı toplam genişliği	19 - İspanyolet yatağı altı	20 - İspanyolet yatağı yüksekliği	İç kalınlık	Sag yan yükseklik	Çıta kanalı üst kenar genişliği	Sağ yan genişlik	Sol yan genişlik	İç genişlik1	İç yükselik1
1	3,68	4,66	4,25	12,22	11,80	15,43	0,63	13,57	3,31	20,07	20,07	19,34	32,83
2	3,73	4,63	4,15	12,26	11,78	15,16	0,59	13,51	3,48	20,01	20,11	19,42	32,63
3	3,36	4,48	4,16	11,97	11,97	15,20	0,63	13,84	3,33	20,36	20,68	18,89	32,99
4	3,89	4,56	4,46	12,24	11,93	15,04	0,53	13,59	3,22	19,76	20,18	19,34	33,30
5	3,62	4,54	4,25	12,16	11,87	15,45	0,59	13,90	3,38	19,87	20,45	19,08	33,01
6	3,74	4,55	4,27	12,15	11,96	15,47	0,58	13,85	3,32	20,05	20,24	18,99	33,21
7	3,74	4,45	4,17	12,13	11,84	15,25	0,58	14,02	3,51	20,05	20,43	18,80	33,06
8	3,73	4,66	4,18	12,24	11,85	15,64	0,59	13,79	3,40	20,13	20,33	19,05	33,13
9	3,70	4,68	4,27	12,28	11,97	15,09	0,53	13,74	3,33	19,67	20,31	19,14	33,20
10	4,23	4,78	3,95	12,16	11,95	14,75	0,53	13,61	3,43	19,54	20,39	19,01	33,25
11	3,90	4,68	4,36	12,36	11,95	15,59	0,74	13,61	3,33	19,70	20,34	19,49	33,35
12	3,81	4,71	4,18	12,34	12,03	15,48	0,74	13,60	3,45	19,78	20,20	19,04	33,27

Görüntü işleme ile elde edilen ölçüm sonuçlarının doğrudan ölçme ile (dijital kumpasla) yapılan ölçümlerle karşılaştırılması sonucu elde edilen yüzde hata oranları Çizelge 7.5'te verilmiştir.

Çizelge 7.5. Kamera ölçümleri ile dijital kumpas ölçümleri arasındaki hata yüzdeleri

Deney Numuneleri	1 - Yükseklik	2 - Üst genislik	3 - Toplam üst genişlik	4 - Alt genişlik	5 - Sol yan yükseklik	6 - İç yükseklik	7 - İç genişlik	8 - Sağ yan conta kanal kenar uzunluğu	9 - Sol yan conta kanal kenar uzunluğu	10 - Üst kalınlık	11 - Alt kalınlık	12 - Sağ kalınlık	13 - Sol kalınlık	14 - Sağ yan conta kanal uzunluğu
1	0,34	3,25	0,22	0,81	0,23	1,37	1,89	1,68	0,96	11,95	14,29	17,13	12,09	6,47
2	0,20	1,22	0,17	0,69	0,86	1,80	2,35	9,98	0,37	5,24	7,67	9,26	10,58	1,15
3	0,16	0,90	1,69	0,10	0,72	1,39	0,75	9,26	2,00	6,10	0,00	7,35	10,85	3,09
4	0,23	2,37	0,01	1,38	1,04	2,33	0,92	2,60	1,41	7,53	6,67	10,50	1,07	4,14
5	0,23	0,95	0,71	0,77	0,50	1,08	1,63	4,47	1,19	4,08	3,18	13,49	3,92	0,28
6	0,07	0,27	1,35	0,43	2,27	1,87	0,69	0,41	0,07	5,74	8,19	4,95	4,29	2,27
7	0,24	0,67	1,55	0,47	0,82	1,08	0,80	3,89	0,15	4,17	8,47	5,79	7,49	1,71
8	0,28	1,24	2,07	0,70	0,68	1,33	0,65	1,23	0,22	1,72	1,85	5,10	0,51	2,82
9	0,29	0,23	0,27	0,82	1,41	5,02	1,39	5,30	2,07	4,51	6,14	7,37	14,03	0,29
10	0,31	1,29	0,34	1,50	0,68	0,82	1,11	6,78	1,26	3,33	3,85	8,65	10,27	0,27
11	0,15	0,75	0,72	1,29	1,26	1,41	1,78	5,50	3,30	2,93	9,00	12,04	12,44	0,57
12	0,31	1,98	1,88	1,07	0,95	0,76	0,45	1,45	1,49	5,13	6,32	2,90	6,00	0,57

Deney Numuneleri	15 - Sol yan conta kanal uzunluğu	16 - Çıta kanalı alt kenar genişliği	17 - Çıta kanalı genişliği	18 - Çıta kanalı toplam genişliği	19 - İspanyolet yatağı altı	20 - İspanyolet yatağı yüksekliği	İç kalınlık	Sag yan yükseklik	Çıta kanalı üst kenar genişliği	Sağ yan genişlik	Sol yan genişlik	İç genişlik1	İç yükselik1
1	7,29	3,79	0,47	0,66	0,34	2,83	7,35	3,42	5,16	19,37	1,18	3,70	0,43
2	2,47	1,91	0,00	0,57	0,08	5,37	15,71	2,10	1,14	20,09	2,14	3,52	1,06
3	6,67	2,40	2,35	1,56	1,44	4,58	20,25	1,42	2,06	19,24	2,58	0,59	0,37
4	1,83	2,93	4,69	0,82	1,36	5,41	28,38	1,16	6,67	23,97	1,61	2,27	2,08
5	3,21	1,30	1,19	0,58	0,94	2,40	18,06	1,39	3,43	19,55	1,40	1,81	0,43
6	1,58	1,94	0,93	0,16	0,50	2,09	18,31	0,73	2,64	20,44	0,45	1,28	0,03
7	2,09	2,20	1,18	0,66	0,85	4,09	17,14	3,85	5,09	19,22	0,15	1,16	0,73
8	0,00	2,42	5,00	0,08	0,00	0,06	14,49	0,72	0,89	19,83	0,00	0,00	0,03
9	2,12	3,54	1,91	0,33	1,96	6,68	33,75	0,00	5,13	21,57	0,34	2,63	1,13
10	14,02	5,52	4,59	0,00	1,36	7,47	29,33	1,09	0,29	21,08	0,05	1,88	1,00
11	5,12	1,74	2,11	1,90	1,10	2,07	1,37	2,30	4,31	22,29	0,68	3,56	2,30
12	2,70	3,52	3,91	1,06	1,86	0,85	1,37	1,52	2,07	21,32	1,22	0,16	1,90

Doğrudan ölçme ile (dijital kumpasla) yapılan ölçüm sonuçlarının profil standart ölçüleriyle karşılaştırılması sonucu elde edilen yüzde hata oranları Çizelge 7.6'da verilmiştir.

Çizelge 7.6. Kumpas ölçümleri ile standart ölçülerin arasındaki hata yüzdeleri

Deney Numuneleri	1 - Yükseklik	2 - Üst genislik	3 - Toplam üst genişlik	4 - Alt genişlik	5 - Sol yan yükseklik	6 - İç yükseklik	7 - İç genişlik	8 - Sağ yan conta kanal kenar uzunluğu	9 - Sol yan conta kanal kenar uzunluğu	10 - Üst kalınlık	11 - Alt kalınlık	12 - Sağ kalınlık	13 - Sol kalınlık	14 - Sağ yan conta kanal uzunluğu
1	0,51	2,72	0,27	0,29	0,95	0,40	0,96	5,26	0,07	0,40	14,97	7,41	6,98	5,66
2	0,38	0,75	0,65	0,06	0,95	0,26	0,48	10,18	0,22	0,81	12,89	7,41	3,85	0,29
3	0,31	0,45	2,17	0,05	0,95	0,60	1,26	9,46	0,22	1,63	11,66	1,96	5,66	1,69
4	0,38	2,01	0,47	0,34	0,77	0,48	1,90	2,39	0,22	4,60	7,41	0,00	6,95	3,31
5	0,41	1,03	1,19	0,10	0,99	0,96	0,09	8,54	0,15	2,04	11,66	6,98	1,96	0,28
6	0,11	0,02	0,85	0,14	1,30	0,85	0,45	6,64	0,15	2,46	14,68	0,99	4,76	0,85
7	0,41	0,71	1,05	0,11	0,82	0,68	1,93	7,98	0,52	4,17	0,81	5,26	6,95	0,28
8	0,44	1,13	1,57	0,26	1,35	0,79	1,81	7,60	0,22	7,76	7,41	2,04	2,56	1,13
9	0,44	0,35	0,21	0,34	0,27	2,67	0,51	8,35	0,00	2,46	14,68	7,83	9,50	0,00
10	0,47	1,29	0,13	0,13	0,86	0,99	0,66	7,60	0,22	4,17	12,59	3,85	10,71	5,66
11	0,31	0,65	0,24	0,18	1,84	0,99	0,69	8,35	1,10	4,60	13,49	7,41	7,83	0,00
12	0,46	1,67	1,40	0,08	1,26	0,85	0,81	6,83	0,90	6,84	7,06	3,38	0,00	0,28

Deney Numuneleri	15 - Sol yan conta kanal uzunluğu	16 - Çıta kanalı alt kenar genişliği	17 - Çıta kanalı genişliği	18 - Çıta kanalı toplam genişliği	19 - İspanyolet yatağı altı	20 - İspanyolet yatağı yüksekliği	İç kalınlık	Sag yan yükseklik	Çıta kanalı üst kenar genişliği	Sağ yan genişlik	Sol yan genişlik	İç genişlik1	İç yükselik1
1	2,04	0,22	5,44	1,15	3,74	2,02	11,76	3,91	0,29	19,65	1,53	1,88	0,34
2	3,85	4,66	3,61	2,68	3,65	1,12	14,29	2,17	0,57	20,13	2,68	1,28	0,55
3	2,78	1,96	6,10	1,32	3,39	1,69	24,05	3,85	2,94	20,67	0,79	1,17	0,21
4	8,38	1,58	6,10	1,15	3,65	1,89	18,92	1,82	1,45	23,05	2,49	0,48	0,55
5	6,42	2,17	4,76	0,74	3,74	2,34	16,67	1,53	0,00	19,03	3,57	1,39	0,21
6	7,89	3,02	7,19	1,07	2,52	2,53	15,49	1,82	2,64	20,63	0,74	1,33	1,26
7	8,38	1,10	5,21	0,41	3,92	1,89	14,29	0,00	4,79	19,42	1,96	0,11	0,06
8	6,17	1,10	9,09	1,88	2,95	3,51	13,04	2,81	3,86	20,35	1,62	0,26	0,97
9	7,41	0,44	4,53	1,96	3,92	0,19	25,00	1,75	0,28	20,26	1,86	1,88	0,09
10	5,66	0,66	3,38	1,32	3,48	1,63	20,00	1,89	2,34	19,22	1,86	1,82	0,36
11	5,66	2,17	6,32	1,07	3,21	1,76	17,81	3,09	0,57	21,10	2,34	0,96	0,61
12	5,66	1,10	8,05	1,72	3,30	5,54	17,81	2,24	3,55	20,45	2,20	0,37	0,46

Görüntü işleme ile elde edilen ölçüm sonuçlarının profil standart ölçüleriyle karşılaştırılması sonucu elde edilen yüzde hata oranları Çizelge 7.7'de verilmiştir.

Çizelge 7.7. Kamera ölçümleri ile standart ölçülerin arasındaki hata yüzdeleri

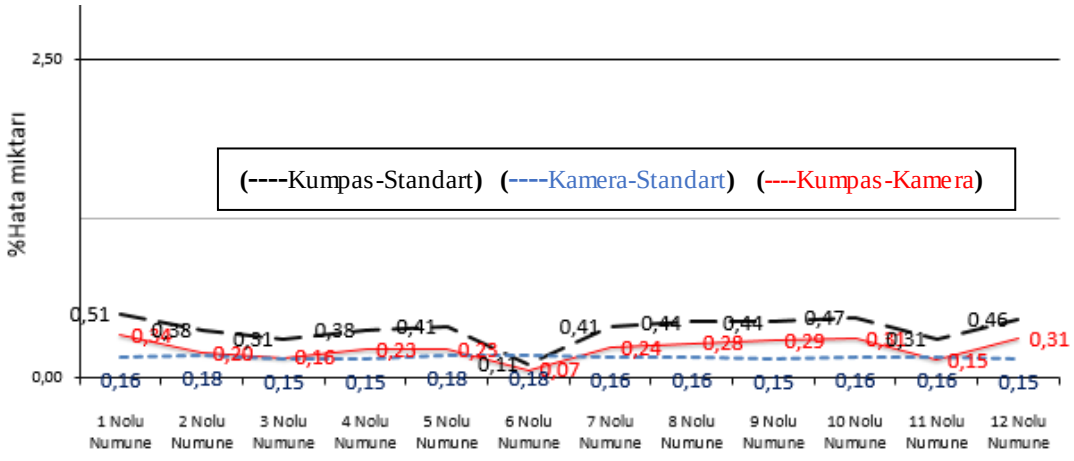
Deney Numuneleri	1 - Yükseklik	2 - Üst genislik	3 - Toplam üst genişlik	4 - Alt genişlik	5 - Sol yan yükseklik	6 - İç yükseklik	7 - İç genişlik	8 - Sağ yan conta kanal kenar uzunluğu	9 - Sol yan conta kanal kenar uzunluğu	10 - Üst kalınlık	11 - Alt kalınlık	12 - Sağ kalınlık	13 - Sol kalınlık	14 - Sağ yan conta kanal uzunluğu
1	0,16	0,51	0,49	0,51	0,73	1,74	2,80	6,83	1,05	13,12	0,79	11,73	5,82	0,86
2	0,18	0,47	0,49	0,63	1,79	2,02	2,77	0,22	0,60	6,38	5,66	2,04	7,53	0,85
3	0,15	0,45	0,49	0,05	1,66	1,96	0,51	0,22	1,75	8,23	11,66	5,82	5,82	4,63
4	0,15	0,35	0,49	1,02	1,79	2,75	2,80	4,86	1,66	13,12	0,79	11,73	5,82	0,86
5	0,18	0,08	0,49	0,86	0,50	2,02	1,70	4,26	1,35	6,38	8,76	7,53	2,04	0,57
6	0,18	0,26	0,50	0,58	0,95	2,67	1,14	6,25	0,22	8,70	7,06	4,17	0,50	1,45
7	0,16	0,05	0,50	0,58	1,62	1,74	1,14	4,26	0,37	8,70	7,06	0,50	0,50	1,45
8	0,16	0,11	0,49	0,43	0,68	2,10	1,17	6,44	0,00	5,93	9,09	2,91	2,04	1,74
9	0,15	0,13	0,47	1,15	1,66	2,23	1,87	3,23	2,12	7,30	9,09	0,50	5,26	0,29
10	0,16	0,00	0,47	1,35	1,53	1,80	1,76	0,88	1,50	7,76	9,09	5,26	0,50	5,41
11	0,16	0,10	0,47	1,10	0,59	2,37	2,42	3,02	2,27	7,76	4,94	5,26	5,26	0,57
12	0,15	0,31	0,47	0,97	0,32	1,60	1,26	5,46	2,43	12,61	12,59	0,50	5,66	0,29

Deney Numuneleri	15 - Sol yan conta kanal uzunluğu	16 - Çıta kanalı alt kenar genişliği	17 - Çıta kanalı genişliği	18 - Çıta kanalı toplam genişliği	19 - İspanyolet yatağı altı	20 - İspanyolet yatağı yüksekliği	İç kalınlık	Sag yan yükseklik	Çıta kanalı üst kenar genişliği	Sağ yan genişlik	Sol yan genişlik	İç genişlik1	İç yükselik1
1	4,89	3,43	5,88	1,80	3,39	4,99	4,76	0,52	5,74	0,35	0,35	1,76	0,09
2	6,17	2,81	3,61	2,12	3,57	6,86	1,69	0,07	0,57	0,05	0,55	2,16	0,52
3	4,17	0,45	3,85	0,25	1,92	6,58	4,76	2,46	5,11	1,77	3,29	0,58	0,58
4	10,03	1,32	10,31	1,96	2,26	7,71	13,21	0,66	8,70	1,21	0,89	1,76	1,50
5	3,31	0,88	5,88	1,32	2,78	4,85	1,69	2,88	3,55	0,65	2,20	0,42	0,64
6	6,42	1,10	6,32	1,23	2,01	4,72	3,45	2,53	5,42	0,25	1,19	0,05	1,23
7	6,42	1,12	4,08	1,07	3,04	6,23	3,45	3,71	0,28	0,25	2,10	1,06	0,79
8	6,17	3,43	4,31	1,96	2,95	3,58	1,69	2,10	2,94	0,65	1,62	0,26	1,00
9	5,41	3,85	6,32	2,28	1,92	7,36	13,21	1,75	5,11	1,68	1,53	0,73	1,20
10	17,26	5,86	1,27	1,32	2,09	9,83	13,21	0,81	2,04	2,35	1,91	0,05	1,35
11	10,26	3,85	8,26	2,91	2,09	3,91	18,92	0,81	5,11	1,52	1,67	2,51	1,65
12	8,14	4,46	4,31	2,76	1,41	4,65	18,92	0,74	1,45	1,11	0,99	0,21	1,41

7.1. Tablo Değerlerinin Analizi

Bu bölümde farklı tarihlerde üretim hattından numuneler alınarak görüntü işlemeye dayalı ölçümleri sağlanan 12 adet pvc numunesi için ölçüm grafikleri yer almaktadır. Grafiklerde kesikli siyah çizgi ile gösterilen değerler dijital kumpas ölçümlerinin, imalat resminde belirtilen profil standart ölçü değerlerine göre hata yüzdelerini, kesik mavi çizgi ile gösterilen değerler görüntü ile elde edilen ölçüm değerlerinin profil standart ölçü değerlerine göre hata yüzdelerini, kırmızı çizgi ile gösterilen değerler ise dijital kumpas ölçümleri ile görüntü işleme ile elde edilen değerler arasındaki hata yüzdelerini belirtmektedir.

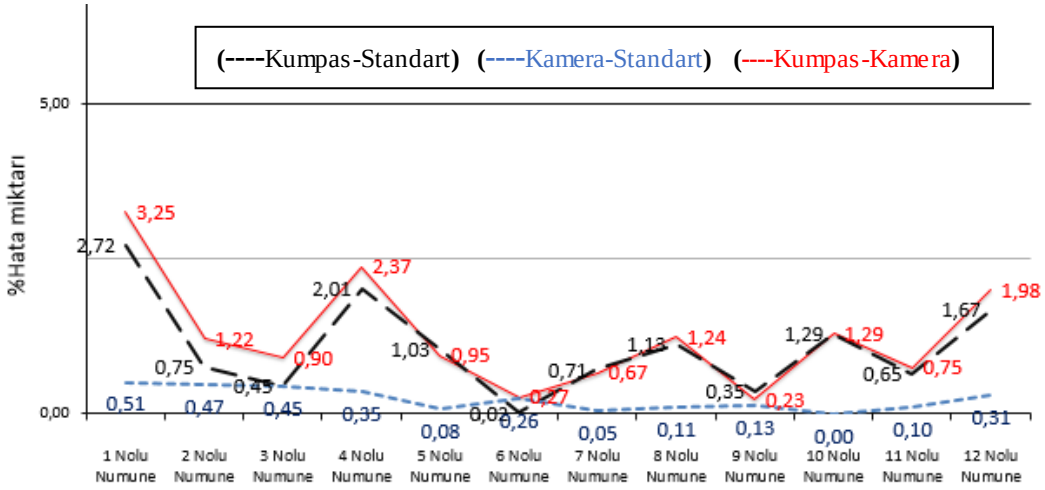
Şekil 7.3'te yükseklik için verilen grafikte dijital kumpas ölçümlerinde üretim hata yüzdesinin maksimum **%0.51**, minimum ise **%0.11** olduğu, görüntü işleme tabanlı olarak sistemin ürettiği ölçümlerde hata yüzdesinin maksimum **%0.18**, minimum ise **%0.15** olduğu, dijital kumpas ölçümleri ile geliştirilen sistemin ürettiği ölçümler arasındaki hata yüzdesinin ise maksimum **%0.34**, minimum ise **%0.07** olduğu görülmüştür. Görüntü işlemeye dayalı sistemin verdiği ölçüm hata oranlarının çok küçük değerlerde olması kamera kalibrasyonun profilin yüksekliğine göre yapılmış olmasına atfedilebilir. Yükseklik için standart ölçü değeri ise 61 mm'dir. Geliştirilen sistemle 61.09-61.11 mm, dijital kumpasla 61.07-61.31 mm aralığında ölçülmüştür.



Şekil 7.3. Deney numuneleri "yükseklik" değerleri için hata oranları

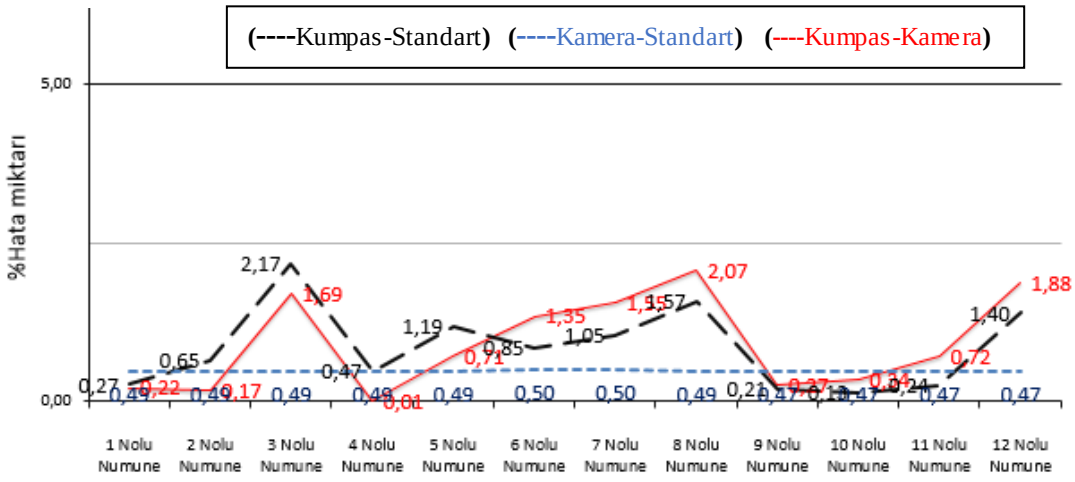
Şekil 7.4'te üst genişlik için verilen grafikte dijital kumpas ölçümlerinde üretim hata yüzdesinin maksimum **%2,72**, minimum ise **%0.02** olduğu, görüntü işleme tabanlı

olarak sistemin ürettiği ölçümlerde hata yüzdesinin maksimum **%0.51**, minimum ise **%0.00** olduğu, dijital kumpas ölçümleri ile geliştirilen sistemin ürettiği ölçümler arasındaki hata yüzdesinin ise maksimum **%3.25**, minimum ise **%0.23** olduğu görülmüştür. Görüntü işlemeye dayalı sistemin verdiği ölçüm hata oranlarının çok küçük değerlerde olması kamera kalibrasyonun profilin üst genişliğine göre yapılmış olmasına atfedilebilir. Üst genişlik için standart ölçü değeri ise 62 mm'dir. Geliştirilen sistemle 61.72-62.32 mm, dijital kumpasla 60.36-62.28 mm aralığında ölçülmüştür.



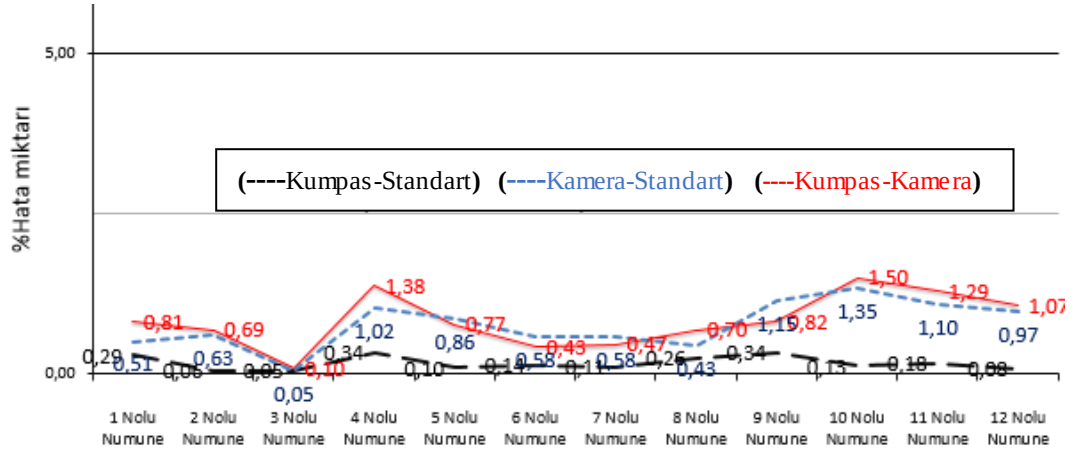
Şekil 7.4. Deney numuneleri "üst genişlik" değerleri için hata oranları

Şekil 7.5'te toplam üst genişlik için verilen grafikte dijital kumpas ölçümlerinde üretim hata yüzdesinin maksimum **%2.17**, minimum ise **%0.27** olduğu, görüntü işleme tabanlı olarak sistemin ürettiği ölçümlerde hata yüzdesinin maksimum **%0.50**, minimum ise **%0.47** olduğu, dijital kumpas ölçümleri ile geliştirilen sistemin ürettiği ölçümler arasındaki hata yüzdesinin ise maksimum **%2.07**, minimum ise **%0.01** olduğu görülmüştür. Görüntü işlemeye dayalı sistemin verdiği ölçüm hata oranlarının çok küçük değerlerde olması kamera kalibrasyonun profilin toplam üst genişliğine göre yapılmış olmasına atfedilebilir. Toplam üst genişlik için standart ölçü değeri ise 82 mm'dir. Geliştirilen sistemle 82.39-82.41 mm, dijital kumpasla 80.87-83.82 mm aralığında ölçülmüştür.



Şekil 7.5. Deney numuneleri "toplam üst genişlik" değerleri için hata oranları

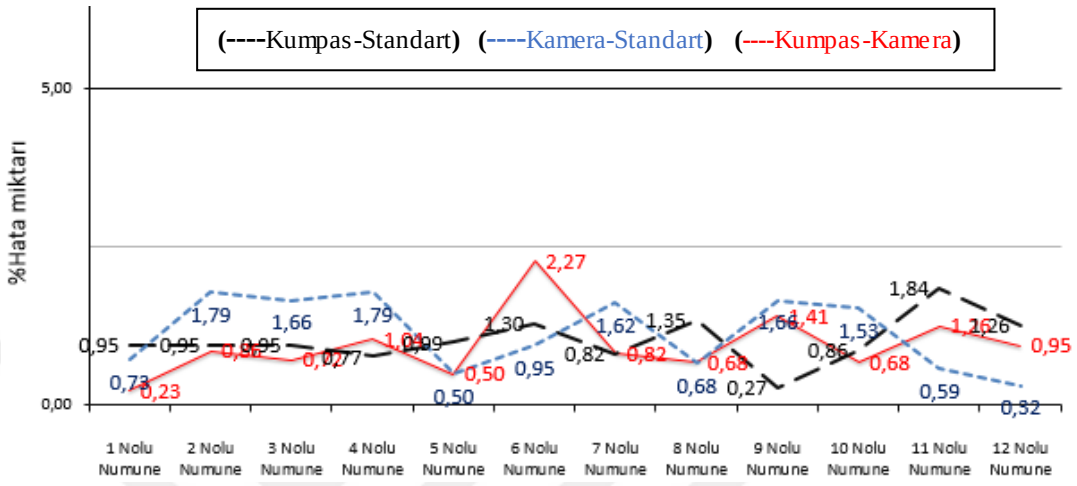
Şekil 7.6'da alt genişlik için verilen grafikte dijital kumpas ölçümlerinde üretim hata yüzdesinin maksimum **%0.34**, minimum ise **%0.05** olduğu, görüntü işleme tabanlı olarak sistemin ürettiği ölçümlerde hata yüzdesinin maksimum **%1.35**, minimum ise **%0.05** olduğu, dijital kumpas ölçümleri ile geliştirilen sistemin ürettiği ölçümler arasındaki hata yüzdesinin ise maksimum **%1.50**, minimum ise **%0.10** olduğu görülmüştür. Alt genişlik için standart ölçü değeri ise 62 mm'dir. Geliştirilen sistemle 62.03-62.85 mm, dijital kumpasla 61.79-62.21 mm aralığında ölçülmüştür.



Şekil 7.6. Deney numuneleri "alt genişlik" değerleri için hata oranları

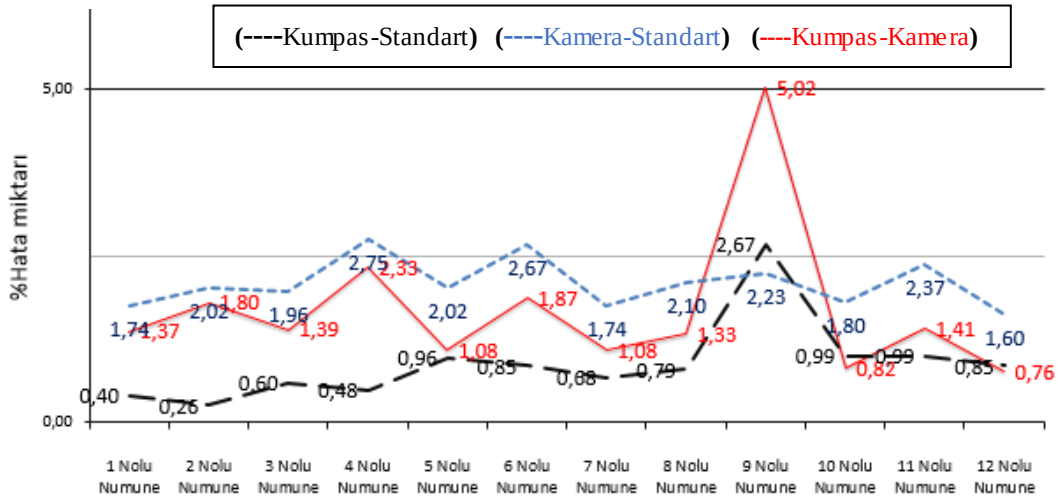
Şekil 7.7'de sol yan yükseklik (ispanyolet yatağı alt noktası ile taban arası) için verilen grafikte dijital kumpas ölçümlerinde üretim hata yüzdesinin maksimum **%1.84**, minimum ise **%0.27** olduğu, görüntü işleme tabanlı olarak sistemin ürettiği ölçümlerde hata yüzdesinin maksimum **%1.79**, minimum ise **%0.32** olduğu, dijital kumpas

ölçümleri ile geliştirilen sistemin ürettiği ölçümler arasındaki hata yüzdesinin ise maksimum **%2.27**, minimum ise **%0.23** olduğu görülmüştür. Sol yan yükseklik için standart ölçü değeri ise 21.9 mm'dir. Geliştirilen sistemle 21.97-22.30 mm, dijital kumpasla 21.96-22.32 mm aralığında ölçülmüştür.



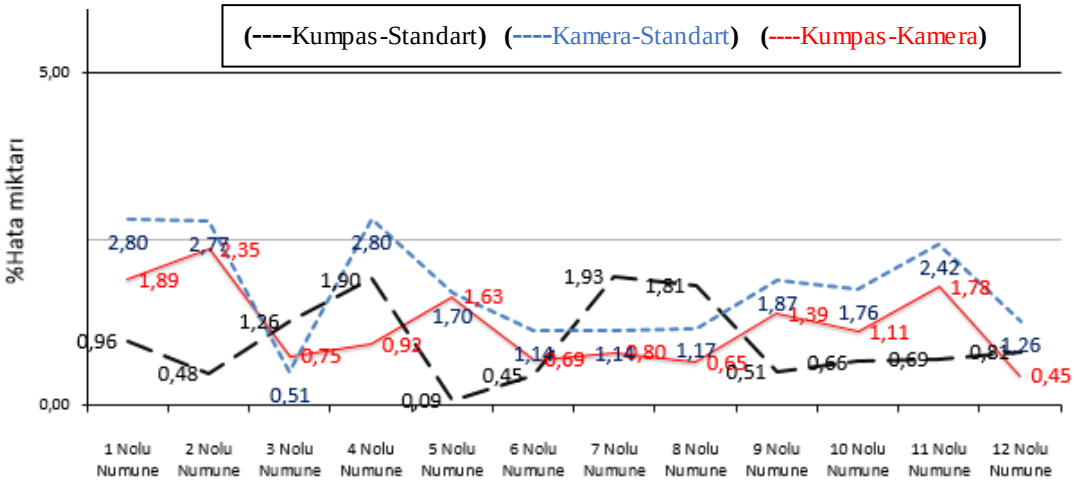
Şekil 7.7. Deney numuneleri "sol yan yükseklik" değerleri için hata oranları

Şekil 7.8'de iç yükseklik için verilen grafikte dijital kumpas ölçümlerinde üretim hata yüzdesinin maksimum **%2.67**, minimum ise **%0.26** olduğu, görüntü işleme tabanlı olarak sistemin ürettiği ölçümlerde hata yüzdesinin maksimum **%2.75**, minimum ise **%1.60** olduğu, dijital kumpas ölçümleri ile geliştirilen sistemin ürettiği ölçümler arasındaki hata yüzdesinin ise maksimum **%5.02**, minimum ise **%0.76** olduğu görülmüştür. 9 No'lu profilde dijital kumpas ölçümü ile kamera ölçümü arasındaki hata oranının yüksek çıkması, profilin orta alanındaki destek hattının yukarıya doğru çekme yapmasından dolayı geliştirilen sistemin 35.80mm, dijital kumpasla yapılan ölçümde ise 34.09mm olarak ölçülmesinden kaynaklandığına atfedilebilir. İç yükseklik için standart ölçü değeri ise 35 mm'dir. Geliştirilen sistemle 35.57-35.99 mm, dijital kumpasla 34.09-35.35 mm aralığında ölçülmüştür.



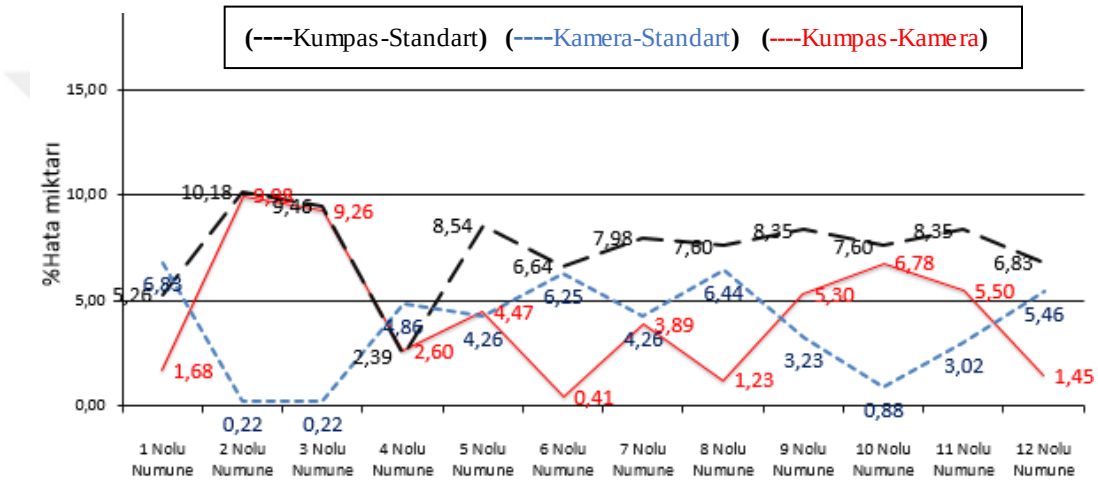
Şekil 7.8. Deney numuneleri "iç yükseklik" değerleri için hata oranları

Şekil 7.9'da iç genişlik için verilen grafikte dijital kumpas ölçümlerinde üretim hata yüzdesinin maksimum **%1.93**, minimum ise **%0.09** olduğu, görüntü işleme tabanlı olarak sistemin ürettiği ölçümlerde hata yüzdesinin maksimum **%2.80**, minimum ise **%0.51** olduğu, dijital kumpas ölçümleri ile geliştirilen sistemin ürettiği ölçümler arasındaki hata yüzdesinin ise maksimum **%2.35**, minimum ise **%0.45** olduğu görülmüştür. Geliştirilen sistemin ölçümlerinde 1, 2 ve 4 No'lu deney numunelerinde hata oranlarının yüksek olması, numune görüntülerinin elde edilmesi esnasında aydınlatmanın o bölgelere eşit dağılmadığından görüntü bozuklukları olduğuna atfedilebilir. İç genişlik için standart ölçü değeri ise 33 mm'dir. Geliştirilen sistemle 33.17-33.95 mm, dijital kumpasla 33.03-33.65 mm aralığında ölçülmüştür.



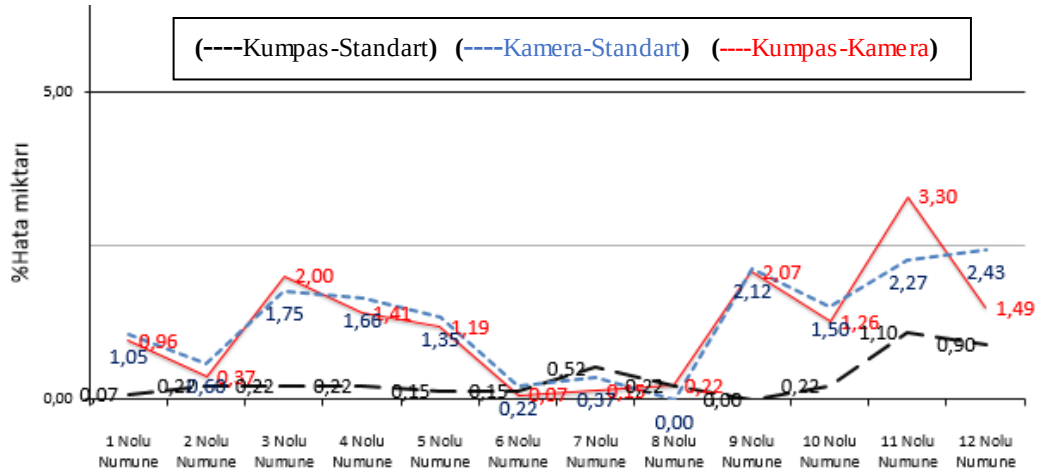
Şekil 7.9. Deney numuneleri "iç genişlik" değerleri için hata oranları

Şekil 7.10'da sağ yan conta kanal kenar uzunluğu için verilen grafikte dijital kumpas ölçümlerinde üretim hata yüzdesinin maksimum **%10.18**, minimum ise **%2.39** olduğu, görüntü işleme tabanlı olarak sistemin ürettiği ölçümlerde hata yüzdesinin maksimum **%6.83**, minimum ise **%0.22** olduğu, dijital kumpas ölçümleri ile geliştirilen sistemin ürettiği ölçümler arasındaki hata yüzdesinin ise maksimum **%9.98**, minimum ise **%0.41** olduğu görülmüştür. Görüntü işleme dayalı ölçümlerdeki hata oranları, dijital kumpas ile yapılan hata oranlarından daha az olduğu görülmüştür. Sağ yan conta kanal kenar uzunluğu için standart ölçü değeri ise 4.5 mm'dir. Geliştirilen sistemle 4.51-4.83 mm, dijital kumpasla 4.61-5.01 mm aralığında ölçülmüştür.



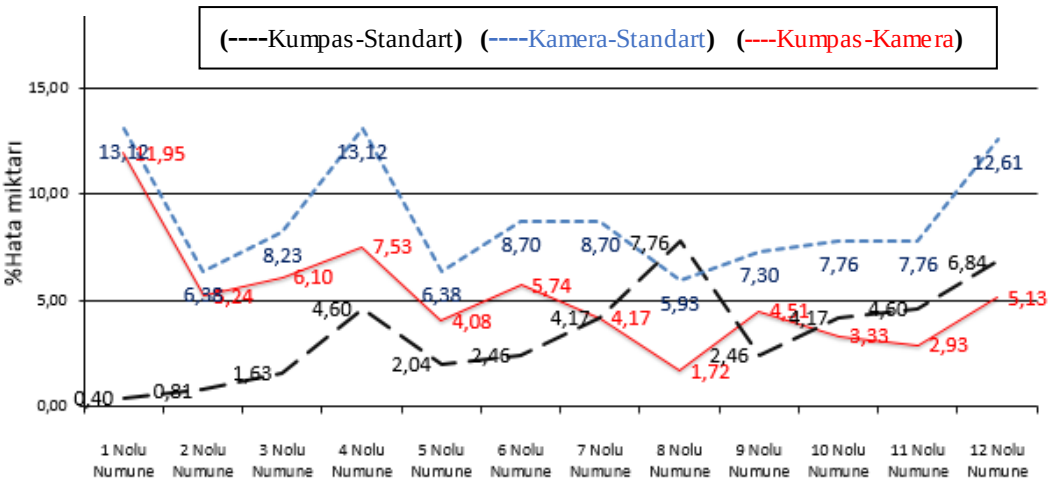
Şekil 7.10. Deney numuneleri "sağ yan conta kanal kenar uzunluğu" değerleri için hata oranları

Şekil 7.11'de sol yan conta kanal kenar uzunluğu için verilen grafikte dijital kumpas ölçümlerinde üretim hata yüzdesinin maksimum **%1.10**, minimum ise **%0.00** olduğu, görüntü işleme tabanlı olarak sistemin ürettiği ölçümlerde hata yüzdesinin maksimum **%2.43**, minimum ise **%0.00** olduğu, dijital kumpas ölçümleri ile geliştirilen sistemin ürettiği ölçümler arasındaki hata yüzdesinin ise maksimum **%3.30**, minimum ise **%0.07** olduğu görülmüştür. Görüntü işleme dayalı ölçümlerdeki hata oranları, dijital kumpas ile yapılan hata oranlarından daha fazla olduğu görülmüştür. Sol yan conta kanal kenar uzunluğu için standart ölçü değeri ise 13.5 mm'dir. Geliştirilen sistemle 13.18-13.74 mm, dijital kumpasla 13.38-13.65 mm aralığında ölçülmüştür.



Şekil 7.11. Deney numuneleri "sol yan conta kanal kenar uzunluğu" değerleri için hata oranları

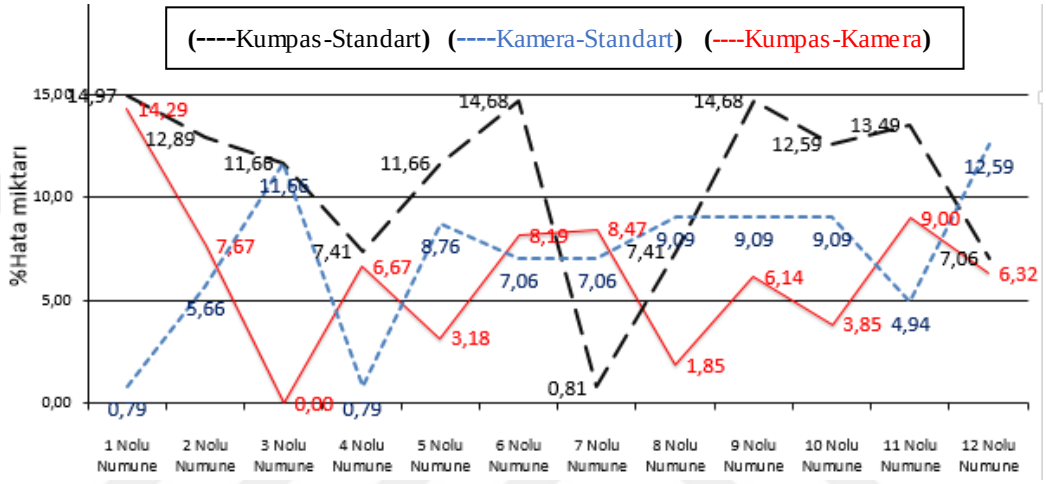
Şekil 7.12'de üst kalınlık için verilen grafikte dijital kumpas ölçümlerinde üretim hata yüzdesinin maksimum **%7.76**, minimum ise **%0.40** olduğu, görüntü işleme tabanlı olarak sistemin ürettiği ölçümlerde hata yüzdesinin maksimum **%13.12**, minimum ise **%5.93** olduğu, dijital kumpas ölçümleri ile geliştirilen sistemin ürettiği ölçümler arasındaki hata yüzdesinin ise maksimum **%11.95**, minimum ise **%1.72** olduğu görülmüştür. Görüntü işleme dayalı ölçümlerdeki hata oranları, dijital kumpas ile yapılan hata oranlarından daha fazla olduğu görülmüştür. Üst kalınlık için standart ölçü değeri ise 2.50 mm'dir. Geliştirilen sistemle 2.36-2.21 mm, dijital kumpasla 2.32-2.51 mm aralığında ölçülmüştür.



Şekil 7.12. Deney numuneleri "üst kalınlık" değerleri için hata oranları

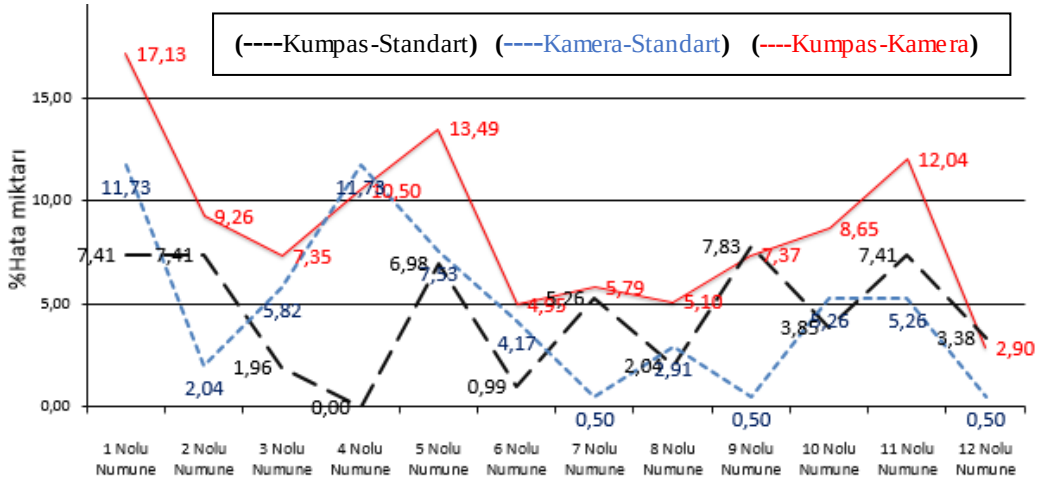
Şekil 7.13'te alt kalınlık için verilen grafikte dijital kumpas ölçümlerinde üretim hata yüzdesinin maksimum **%14.97**, minimum ise **%0.81** olduğu, görüntü işleme

tabanlı olarak sistemin ürettiği ölçümlerde hata yüzdesinin maksimum **%12.59**, minimum ise **%0.79** olduğu, dijital kumpas ölçümleri ile geliştirilen sistemin ürettiği ölçümler arasındaki hata yüzdesinin ise maksimum **%14.29**, minimum ise **%0.00** olduğu görülmüştür. Görüntü işleme dayalı ölçümlerdeki hata oranları 7 ve 8 numaralı numuneler haricinde, dijital kumpas ile yapılan hata oranlarından daha az olduğu görülmüştür. Alt kalınlık için standart ölçü değeri ise 2.50 mm'dir. Geliştirilen sistemle 2.52-2.86 mm, dijital kumpasla 2.48-2.94 mm aralığında ölçülmüştür.



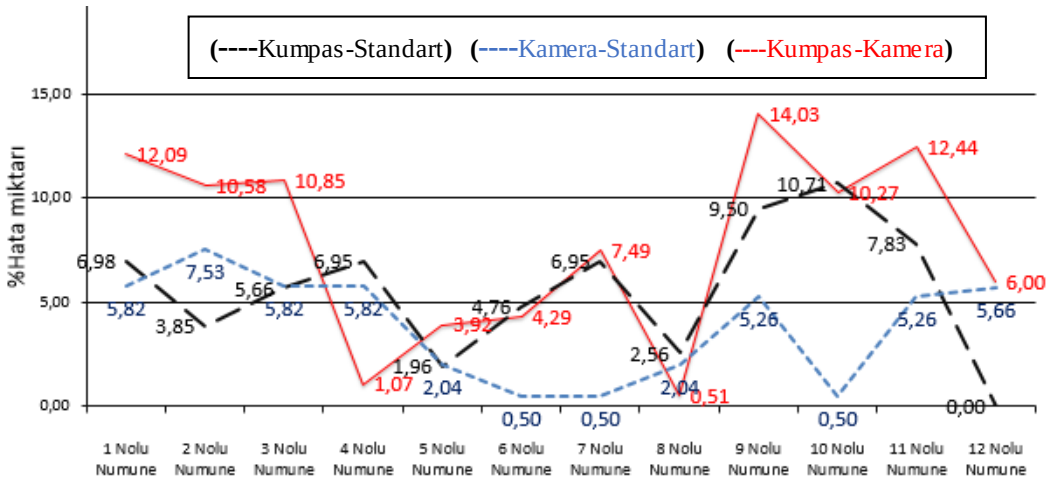
Şekil 7.13. Deney numuneleri "alt kalınlık" değerleri için hata oranları

Şekil 7.14'te sağ kalınlık için verilen grafikte dijital kumpas ölçümlerinde üretim hata yüzdesinin maksimum **%7.83**, minimum ise **%0.00** olduğu, görüntü işleme tabanlı olarak sistemin ürettiği ölçümlerde hata yüzdesinin maksimum **%12.59**, minimum ise **%0.50** olduğu, dijital kumpas ölçümleri ile geliştirilen sistemin ürettiği ölçümler arasındaki hata yüzdesinin ise maksimum **%17.13**, minimum ise **%2.90** olduğu görülmüştür. Görüntü işleme dayalı ölçümlerdeki hata oranları 1 ve 4 numaralı numuneler haricinde, dijital kumpas ile yapılan hata oranlarından daha az olduğu görülmüştür. Sağ kalınlık için standart ölçü değeri ise 2.00 mm'dir. Geliştirilen sistemle 1.79-2.06 mm, dijital kumpasla 1.90-2.17 mm aralığında ölçülmüştür.



Şekil 7.14. Deney numuneleri "sağ kalınlık" değerleri için hata oranları

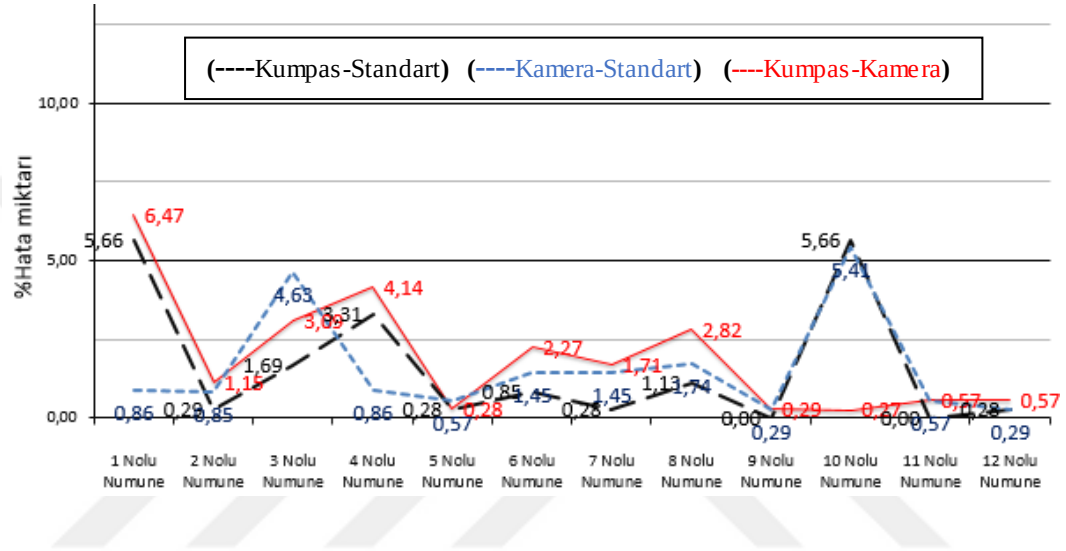
Şekil 7.15'te sol kalınlık için verilen grafikte dijital kumpas ölçümlerinde üretim hata yüzdesinin maksimum **%10.71**, minimum ise **%0.00** olduğu, görüntü işleme tabanlı olarak sistemin ürettiği ölçümlerde hata yüzdesinin maksimum **%7.53**, minimum ise **%0.50** olduğu, dijital kumpas ölçümleri ile geliştirilen sistemin ürettiği ölçümler arasındaki hata yüzdesinin ise maksimum **%14.03**, minimum ise **%0.51** olduğu görülmüştür. Görüntü işleme dayalı ölçümlerdeki hata oranları 2, 3 ve 12 numaralı numuneler haricinde, dijital kumpas ile yapılan hata oranlarından daha az olduğu görülmüştür. Sol kalınlık için standart ölçü değeri ise 2.00 mm'dir. Geliştirilen sistemle 1.86-2.12 mm, dijital kumpasla 1.87-2.24 mm aralığında ölçülmüştür.



Şekil 7.15. Deney numuneleri "sol kalınlık" değerleri için hata oranları

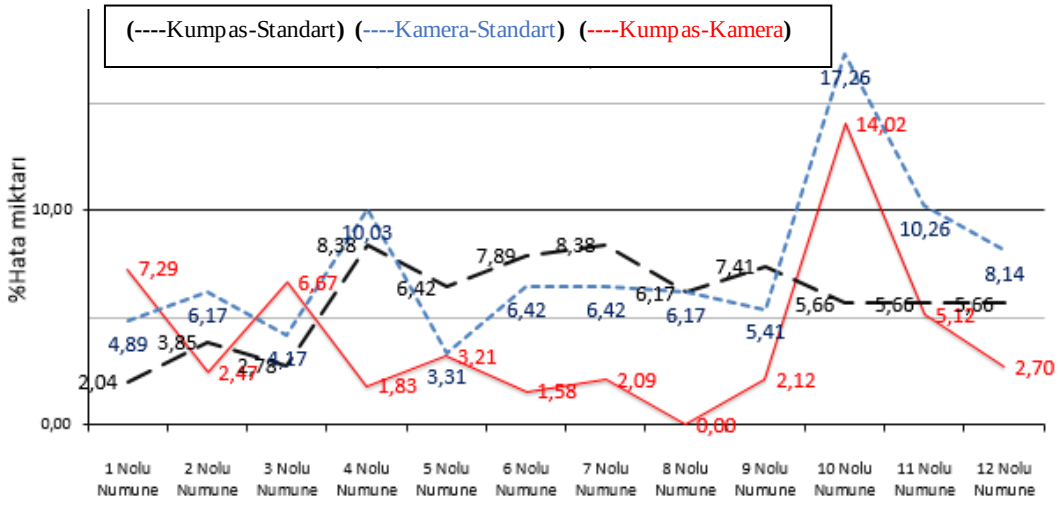
Şekil 7.16'da sağ yan conta kanal genişliği için verilen grafikte dijital kumpas ölçümlerinde üretim hata yüzdesinin maksimum **%5.66**, minimum ise **%0.00** olduğu,

görüntü işleme tabanlı olarak sistemin ürettiği ölçümlerde hata yüzdesinin maksimum **%5.41**, minimum ise **%0.29** olduğu, dijital kumpas ölçümleri ile geliştirilen sistemin ürettiği ölçümler arasındaki hata yüzdesinin ise maksimum **%6.47**, minimum ise **%0.27** olduğu görülmüştür. Görüntü işleme dayalı ölçümlerdeki hata oranları 3 ve 10 numaralı numuneler haricinde %1'in altında olduğu görülmüştür. Sağ yan conta kanal genişliği için standart ölçü değeri ise 3.50 mm'dir. Geliştirilen sistemle 3.70-3.44 mm, dijital kumpasla 3.49-3.71 mm aralığında ölçülmüştür.



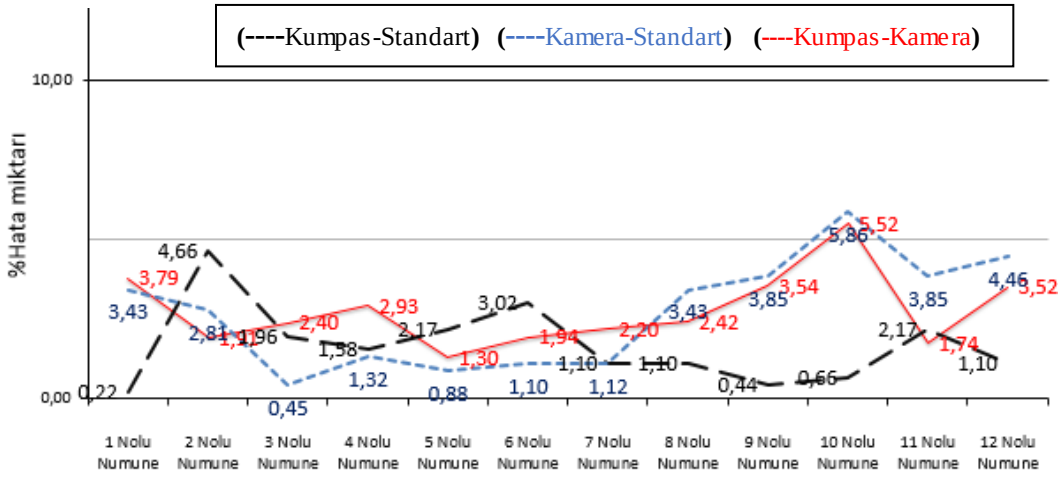
Şekil 7.16. Deney numuneleri "sağ yan conta kanal genişliği" değerleri için hata oranları

Şekil 7.17'de sol yan conta kanal genişliği için verilen grafikte dijital kumpas ölçümlerinde üretim hata yüzdesinin maksimum **%8.38**, minimum ise **%2.04** olduğu, görüntü işleme tabanlı olarak sistemin ürettiği ölçümlerde hata yüzdesinin maksimum **%17.26**, minimum ise **%3.31** olduğu, dijital kumpas ölçümleri ile geliştirilen sistemin ürettiği ölçümler arasındaki hata yüzdesinin ise maksimum **%14.02**, minimum ise **%0.00** olduğu görülmüştür. Görüntü işleme dayalı ölçümlerdeki hata oranları 4, 10, 11 ve 12 numaralı numuneler haricinde %6'nın altında olduğu görülmüştür. Sol yan conta kanal genişliği için standart ölçü değeri ise 3.50 mm'dir. Geliştirilen sistemle 3.36-4.23 mm, dijital kumpasla 3.43-3.82 mm aralığında ölçülmüştür.



Şekil 7.17. Deney numuneleri "sol yan conta kanal genişliği" değerleri için hata oranları

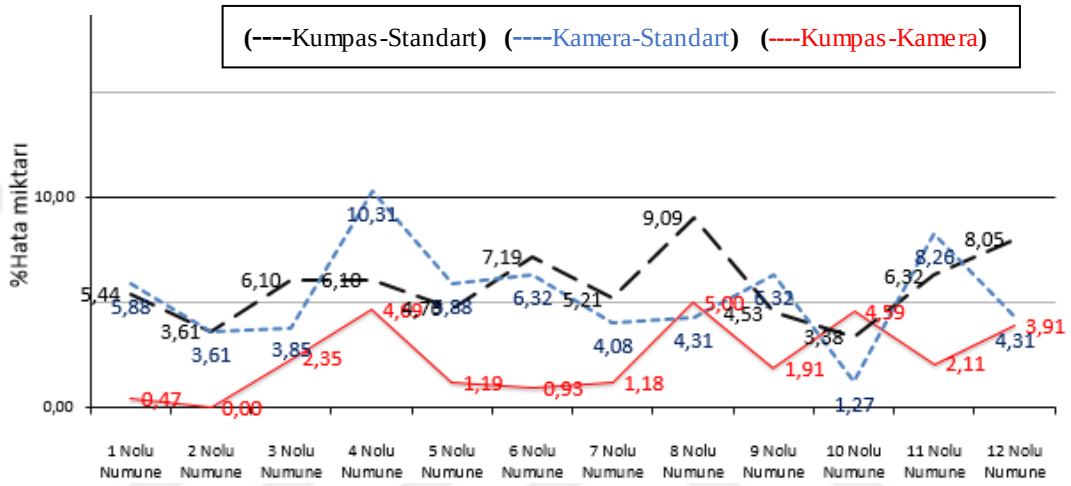
Şekil 7.18'de çıta kanalı alt kenar genişliği için verilen grafikte dijital kumpas ölçümlerinde üretim hata yüzdesinin maksimum **%4.66**, minimum ise **%0.22** olduğu, görüntü işleme tabanlı olarak sistemin ürettiği ölçümlerde hata yüzdesinin maksimum **%5.86**, minimum ise **%0.45** olduğu, dijital kumpas ölçümleri ile geliştirilen sistemin ürettiği ölçümler arasındaki hata yüzdesinin ise maksimum **%5.52**, minimum ise **%1.30** olduğu görülmüştür. Görüntü işleme dayalı ölçümlerdeki hata oranları 8-12 numaralı numuneler haricinde %3'ün altında olduğu görülmüştür. Çıta kanalı alt kenar genişliği için standart ölçü değeri ise 4.50 mm'dir. Geliştirilen sistemle 4.45-4.78 mm, dijital kumpasla 4.72-4.43 mm aralığında ölçülmüştür.



Şekil 7.18. Deney numuneleri "çıta kanalı alt kenar genişliği" değerleri için hata oranları

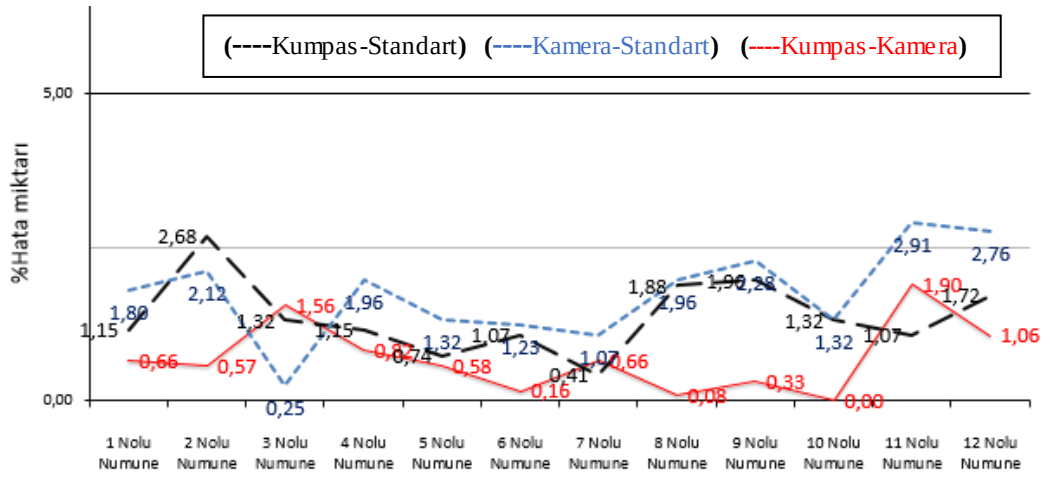
Şekil 7.19'da çıta kanalı genişliği için verilen grafikte dijital kumpas ölçümlerinde üretim hata yüzdesinin maksimum **%9.09**, minimum ise **%3.38** olduğu,

görüntü işleme tabanlı olarak sistemin ürettiği ölçümlerde hata yüzdesinin maksimum **%10.31**, minimum ise **%1.27** olduğu, dijital kumpas ölçümleri ile geliştirilen sistemin ürettiği ölçümler arasındaki hata yüzdesinin ise maksimum **%5.00**, minimum ise **%0.00** olduğu görülmüştür. Görüntü işleme dayalı ölçümlerdeki hata oranları ile dijital kumpasla yapılan ölçümlerdeki hata oranları yakın değerlerde görülmüştür. Çıta kanalı genişliği için standart ölçü değeri ise 4.00 mm'dir. Geliştirilen sistemle 3.95-4.46 mm, dijital kumpasla 4.15-4.40 mm aralığında ölçülmüştür.



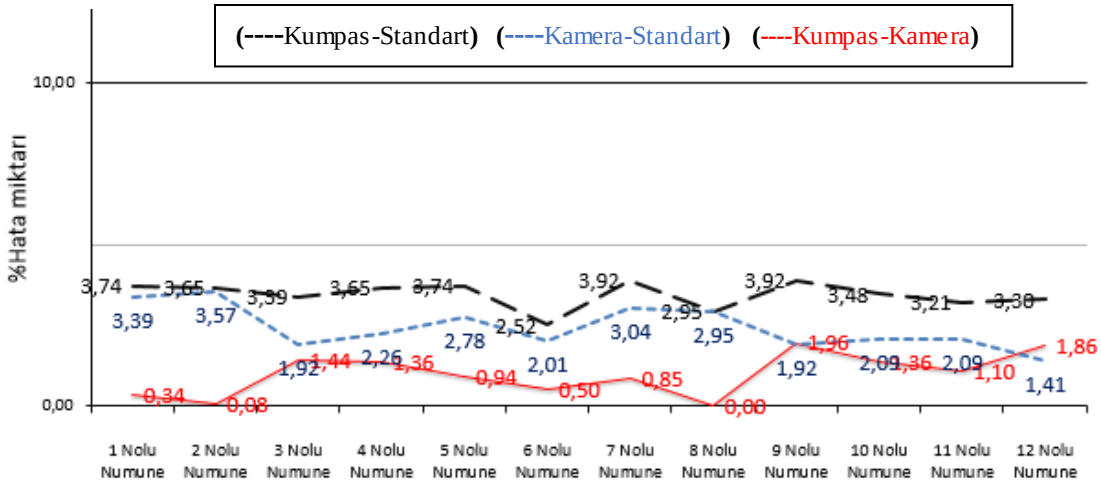
Şekil 7.19. Deney numuneleri "çıta kanalı genişliği" değerleri için hata oranları

Şekil 7.20'de çıta kanalı toplam genişliği için verilen grafikte dijital kumpas ölçümlerinde üretim hata yüzdesinin maksimum **%2.68**, minimum ise **%0.41** olduğu, görüntü işleme tabanlı olarak sistemin ürettiği ölçümlerde hata yüzdesinin maksimum **%2.91**, minimum ise **%0.25** olduğu, dijital kumpas ölçümleri ile geliştirilen sistemin ürettiği ölçümler arasındaki hata yüzdesinin ise maksimum **%1.90**, minimum ise **%0.00** olduğu görülmüştür. Görüntü işleme dayalı ölçümlerdeki hata oranları ile dijital kumpasla yapılan ölçümlerdeki hata oranları yakın değerlerde görülmüştür. Çıta kanalı toplam genişliği için standart ölçü değeri ise 12.00 mm'dir. Geliştirilen sistemle 11.97-12.36 mm, dijital kumpasla 12.05-12.33 mm aralığında ölçülmüştür.



Şekil 7.20. Deney numuneleri "çıta kanalı toplam genişliği" değerleri için hata oranları

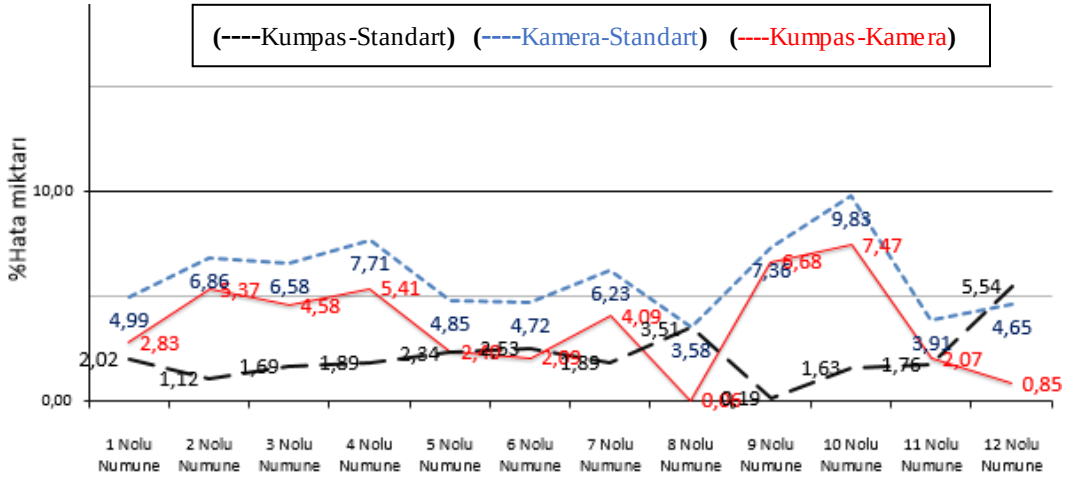
Şekil 7.21'de ispanyolet yatağı altı için verilen grafikte dijital kumpas ölçümlerinde üretim hata yüzdesinin maksimum **%3.92**, minimum ise **%2.52** olduğu, görüntü işleme tabanlı olarak sistemin ürettiği ölçümlerde hata yüzdesinin maksimum **%3.57**, minimum ise **%1.41** olduğu, dijital kumpas ölçümleri ile geliştirilen sistemin ürettiği ölçümler arasındaki hata yüzdesinin ise maksimum **%1.96**, minimum ise **%0.00** olduğu görülmüştür. Görüntü işleme dayalı ölçümlerdeki hata oranları ile dijital kumpasla yapılan ölçümlerdeki hata oranları yakın değerlerde görülmüştür. İspanyolet yatağı altı için standart ölçü değeri ise 12.20 mm'dir. Geliştirilen sistemle 11.78-12.03 mm, dijital kumpasla 11.74-11.90 mm aralığında ölçülmüştür.



Şekil 7.21. Deney numuneleri "ispanyolet yatağı altı" değerleri için hata oranları

Şekil 7.22'de ispanyolet yatağı yüksekliği için verilen grafikte dijital kumpas ölçümlerinde üretim hata yüzdesinin maksimum **%3.51**, minimum ise **%0.19** olduğu,

görüntü işleme tabanlı olarak sistemin ürettiği ölçümlerde hata yüzdesinin maksimum **%9.83**, minimum ise **%3.58** olduğu, dijital kumpas ölçümleri ile geliştirilen sistemin ürettiği ölçümler arasındaki hata yüzdesinin ise maksimum **%7.47**, minimum ise **%0.06** olduğu görülmüştür. Görüntü işleme dayalı ölçümlerdeki hata oranları ile dijital kumpasla yapılan ölçümlerdeki hata oranları yakın değerlerde görülmüştür. İspanyolet yatağı yüksekliği için standart ölçü değeri ise 16.20 mm'dir. Geliştirilen sistemle 11.78-12.03 mm, dijital kumpasla 11.74-11.90 mm aralığında ölçülmüştür.



Şekil 7.22. Deney numuneleri "ispanyolet yatağı yüksekliği" değerleri için hata oranları

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Üretimde otomasyon sistemleri son yıllarda birçok sanayi üretim aşamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Kullanıcı etkileşimli bilgisayarlı kalite kontrol sistemleri endüstriyel üretimde son dönemde kullanım alanı bulan uygulamalardır. Çalışmada ele alınan deney numunelerinin kesitlerindeki üretim açısından kritik olan boyutları 0.01 hassasiyetindeki dijital kumpas ile tek tek ölçülerek kaydedilmiştir. Aynı boyutlar on-line olarak elektriksel yük bağlamalı (CCD) kameradan elde edilen görüntülerden, geliştirilen görüntü işleme tabanlı yazılımla da otomatik olarak ölçülmüştür. Bu çalışmada Python ortamında yazılmış olan program, bilgisayar ortamında herhangi bir komut yazımına ya da sistemin çalışması hakkında detaylı bilgi edinmeye gerek kalmadan, boyut analizi yapmaya imkân vermektedir. Tüm bu ölçümler bu çalışmada tasarlanan sistemle yapıldığında 1-3 saniyede tamamlanmakta olup, sistemin oldukça hızlı sonuç ürettiği görülmektedir.

Çalışma, bir bant düzeneğinde, üretimin sonlandığı ve kesimin sağlandığı pozisyona CCD kamera yerleştirilerek profil görüntüleri elde etme yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Görüntüler ilk olarak filtrelenmiş ve gürültüler ortadan kaldırılmıştır. Ardından gri skalasına dönüştürülmüş, daha sonra görüntülere eşik değer belirleme ve kenar belirleme algoritmaları uygulanmıştır. Konturlar OpenCV kütüphanesi içerisinde yer alan "findContours" fonksiyonu (Suzuki algoritması) ile tespit edilmiş ve adlandırılmıştır. İlgilenilen konturların maksimum ve minimum noktaları, yazılımı sağlanan "noktalalama" fonksiyonu ile tespit edilmiştir. Konturlar tekrar imaj içerisine çizdirilerek ölçüm sonuçlarının net görüntülenmesi sağlanmıştır. Kalibrasyon için profilin dış boyutları esas alınmış, diğer ölçümler dış boyutlara göre orantılı olarak hesaplattırılmıştır. Profilin genişlik/yükseklik oranı ve odacık sayısı profili tanımada referans olarak kabul edilmiştir.

Kamera ölçümleri ile Standart ölçü değerleri arasında maksimum %17.26, Kumpas ölçümleri ile Standart ölçü değerleri arasında maksimum %14.97, Kumpas ile Kamera ölçüm değerleri arasında maksimum %17.13 hata oranları bulunmuştur.

Sonuç olarak; geliştirilen yöntem sayesinde profilde ölçümleri sağlanan tüm parametreler dikkate alındığında, dijital kumpasla gerçekleştirilen üretim hata oranlarının, çalışmada sağlanan görüntü tabanlı ölçümlerdeki hata oranlarına yakın değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla geliştirilen sistemin üretim hattında kullanılması, ürün kontrol zamanını azaltması yanında işçilik maliyetlerini de düşürecek

ve aynı zamanda problemlerin önceden tespit edilmesi sayesinde kalitesinin artmasına vesile olacaktır. Sistemin, üretim alanında faaliyet gösteren işletmelerde kullanılmasının ülke sanayisine geniş katkılar sunacağı aşikârdır.

Sonraki araştırma çalışmaları için öneri olarak daha yüksek çözünürlüğe sahip CCD kamera ile hassasiyet artışı sağlanması mümkündür. Aydınlatma unsurunun sabit olması için sistemin kapalı bir ortam içerisinde tutulması ve ışık şiddetinin kontrol altına alınması da sistemin verimliliğini artıracaktır. Geliştirilen yöntemin, üretim hattında etkin kullanılabilir olması için gerekli ön şartların başında profilde kesim esnasında oluşan çapakların giderilmesine yönelik temizleme aparatı kullanılması ihtiyacıdır ki doğru sonuçlar üretebilme gereksinimlerindendir.

KAYNAKLAR

Acharya, T., Ray, A., 2005, Principles and applications, John Wiley and Sons, New Jersey, *Image Processing*.

Akbar, H., Prabuwono, A.S., 2008, Webcam based system for press part industrial inspection, *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, Vol. 8, No. 10.

Altuntaş, C., Çorumluoğlu, Ö., 2002, Filtreleme yöntemi ile digital görüntü zenginlestirme ve Örnek bir yazılım. *Teknik-Online Dergi*, 10, 99-106.

Angrisani, L., Daponte, P., Pietrosanto, A., Liguori, C., 1998, An image-based measurement system for the characterisation of automotive gaskets, *Measurement*, 25, 169-181.

Bauser, M., Sauer G., ve Siegert K., 2006, *Extrusion*.

Buluswar S.D., Draper B.A., 1998, Color recognition in outdoor images, *Proceedings of Sixth International Conference on Computer Vision*, 171-177.

Boykov, Y., Jolly, M., 2001, Interactive graph cuts for optimal boundary and region segmentation of objects in n-d images, *Proceedings of Sixth International Conference on Computer Vision (ICCV), CVGIP*, Num. 1, 105–112.

Bradski, G., Kaehler, A., 2008, Learning opencv, o'reilly media inc., USA.

Canny, J., 1986, A computational approach to edge detection. In *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 8, 679–698.

Chai, D., Bouzerdoum, A., 2000, A Bayesian approach to skin color classification using YCbCr color space, *TENCON 2000*, Vol. 2, 421-423.

Chaudhuri, S., Mukherjee, A., Dutta, P.K., Patra, A., 2003, A distortion corrected single camera-based weight estimation technique for industrial object, *ISA Transactions* 42, 353-360.

Chen, F.L., Su, C.T., 1996, Vision-based Automated Inspection System in Computer Integrated Manufacturing, *Advanced Manufacturing Technology*, 206-213.

Cömert, O., Hekim, M., Adem, K., 2017, Weight and diameter estimation using image processing and machine learning techniques on apple images, *International Journal of Engineering Research and Development*, Vol. 9, 3.

Crane, R., 1997, Classical and modern techniques in c, Prentice Hall, New Jersey, *A Simplified Approach To Image Processing*.

Dai, Yiquan., Zhu, Kunpeng., 2018, A machine vision system for micro-milling tool condition monitoring, *Precision Engineering*, 52, 183–191.

Demigny, D., 2012, On optimal linear filtering for edge detection, *IEEE Transactions On Image Processing*, Vol. 11, 728–737.

Derganc, J., Likar, B., Pernus, F., 2002, A machine vision system for measuring the eccentricity of bearings, *Computers in Industry*, Vol. 50, 103-111.

Glasbey, C.A., Horgan, G., 1994, Filters, *Image Analysis for The Biological Sciences*.

Gonzalez, R., Woods, R., 2002, Digital image processing, 3rd edition, Prentice Hall.

Haberaecker, W., 1991, Grundlagen und anwendungen, hanser, *Digitale Bilverarbeitung*.

He, Q., Zhang, Z., 2007, A new edge detection algorithm for image corrupted by white-gaussian noise, *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, Vol. 61, 546–550.

Huang, M.C., Tai, C.C., 2001, The effective factors in the warpage problem of an injection-molded part with a thin shell feature, *Journal of Material Processing Technology*, Cilt 110, No 1, 1-9.

Jaehne, B., 1997, Practical handbook on image processing for scientific applications, In *USA :CRC Press*.

Jahne, B., 2002, Digital image processing, Springer, Heidelberg.

Kim, T.H., Cho, T.H., Moon, Y.S., Park, S.H., 1999, Visual inspection system for the classification of solder joints, *Pattern Recognition* 32, 565-575.

Kudale, G. A., Pawar, M.D., 2010, Study and analysis of various edge detection methods for x-ray images, *International Journal of Computer Science and Application*.

Leo, G.D., Liguori, C., Pietrosanto, A., Sommella, P., 2017, A vision system for the online quality monitoring of industrial manufacturing, *Optics and Lasers in Engineering*, 89, 162–168.

Liguori, C., Paolillo, A., Pietrosanto, A., 2004, An on-line stereo-vision system for dimensional measurements of rubber extrusions, *Measurement* 35, 221-231.

Luhman, T., Robson, S., Kyle, S., 2011, Close range photogrametry principles.

Mordvintsev, A., Abid, K., 2014, Opencv-python tutorials documentation, *https://media.readthedocs.org/pdf/opencv-python-tutroals/latest/opencvpython-tutroals*, Vol. 25.

Rangayyan, R., 2005, Biomedical Image Analysis, CRC Press, Florida.

Peng, G., Zhang, Z., Li, W., 2016, Computer vision algorithm for measurement and inspection of O-rings, *Measurement* 94, 828–836.

Prewitt, J., 1979, Object enhancement and extraction, *Picture Processing and Psychopictorics*, Academic Press, 75–149.

Roberts, L., 1963, Machine perception of three-dimensional solids, *Phd. Thesis. Massachusetts Institute of Technology*.

Rosas, R., Luca, A., Santillan, F., 2005, Simd architecture for image segmentation using sobel operators implemented in fpga technology, *Electrical and Electronics Engineering*, 2nd International Conference, 11.

Schellerer, K.M., Kufner T., Mieden O., Vogel E., 2016, Plastics World Market, Polyvinyl Chloride (PVC), Sayı:10.

Shapiro, L.G., Stockman, G.C., 2002, Computer Vision, Prentice Hall. ISBN 0-13-030796-3.

Shen, H., Li, S., Gu, D., Chang, H., 2012, Bearing defect inspection based on machine vision, *Measurement* 45, 719-733

Shrivakshan, G.T., Chandrasekar, C., 2012, A Comparison of various edge detection techniques used in image processing, *International Journal of Computer Science Issues*, Vol. 9, Issue 5, No 1.

Shuxia, G., Jiancheng, Z., Xiaofeng, J., Yin, P., Lei, W., 2011, Mini milling cutter measurement based on machine vision, *Procedia Engineering* 15, 1807-1811.

Smil, V., 2014, Making the modern World, Materials and dematerialization.

Smith T.G., Marks W.B., Lange G.D., Sheriff W.H., Neale, E.A., 1988, Edge detection in images using Marr-Hildreth filtering techniques, *Journal of Neuroscience Methods*, Vol. 26, Issue 1, 75–81.

Sonka, M., Hlavac, V., Boyle, R., 2014, Image processing, analysis, and machine vision, *Cengage Learning*.

Sun, Q., Hou, Y., Tan Q., Li, C., 2014, Shaft diameter measurement using a digital image, *Optics and Lasers in Engineering* 55, 183–188.

Sun, T.H., Tseng, M.C., Chen, M.S., 2010, Electric contacts inspection using machine vision, *Image and Vision Computing* 28, 890–901.

Suzuki, S., Abe, K., 1985, Topological structural analysis of digitized binary images by border following, *CVGIP*, Vol. 30, 32–46.

Turaçlı, H., 1999, Ekstrüzyon teknolojisine giriş.

Young, I., Gerbrands, J., Viliet, L., 2007, Fundamentals of image processing, Delft University of Technology.

Yuval, F. (1996). Fractal image compression (theory and application), *Institute for non-linear Science,* University of California, San Diego, USA.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Murat AKDOĞAN
Uyruğu	**:**	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Boğazlıyan / 1975
Telefon	**:**	505 310 91 30
Faks	**:**	---
e-mail	**:**	akdoganmurat@hotmail.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Meram Endüstri Meslek Lisesi	1993
Üniversite	:	Dumlupınar Üniversitesi	1997
Yüksek Lisans	:	Selçuk Üniversitesi	2002
Doktora	:	Selçuk Üniversitesi	2018

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
1997	Konaltaş A.Ş.	Vardiya Amiri
1998	Konya Selçuklu Mesleki ve Teknik A.L.	Teknik Öğretmen
2003	Konya Selçuklu Adil Karaağaç M.T.A.L.	Teknik Öğretmen

UZMANLIK ALANI

Talaşlı üretim, Cnc programlama, CAD-CAM, Görüntü işleme teknolojileri, Otomasyon teknolojileri.

YABANCI DİLLER

İngilizce ÜDS, 69

YAYINLAR

1. **Murat Akdoğan**, Süleyman Yaldız, Dönel Parçaların İşlenmesi İçin Sd Kodları Üretimine Esas Olan Parça Geometrisinin Bilgisayar Ortamında Oluşturulması, Politeknik Dergisi, Cilt 6, Sayı 2, s. 483-489, 2003.
2. Süleyman Yaldız, Hacı Sağlam, **Murat Akdoğan**, Dönel Parçalar İçin Cam Paketi Geliştirme, Makine Tasarım Teorisi ve Modern İmalat Yöntemleri Konferansı, E/01, 279, 39-51, 2001.
3. Süleyman Yaldız, **Murat Akdoğan**, Tornalama Parçaları İçin Bir Bilgisayar Destekli Tasarım Ve Üretim Paketi Geliştirme, Makine Tasarım Teorisi ve Modern İmalat Yöntemleri Kongresi,, s.379-390,2003
4. **Murat Akdoğan**, Süleyman Yaldız, ONLINE 2 DIMENSIONAL MEASURE- ˇ MENT SYSTEM FOR COMPLICATED GEOMETRIC SHAPES USING IMAGE PROCESSING METHOD, ISIDE 2017
5. **Murat Akdoğan**, Süleyman Yaldız, ONLINE IMAGE BASED MEASURE- ˇ MENT SYSTEM FOR COMPLEX SHAPED EXTRUSION PROFILES, IATS 2017

6. **Murat Akdoğan**, Süleyman Yaldız, THE DESIGNING OF MACHINE VI- ˇ SION SYSTEM BASED ON IMAGE PROCESSING WHICH IS FOR GEOMETRIC SHAPED EXTRUSION PROFILES INCLUDING DIFFERENT INNER CELLS, ICENTE 2017