



**T.C.**  
**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CAM ÜRETİM HATALARININ GÖRÜNTÜ**  
**İŞLEME TABANLI BULUNMASI**

**Şaban ÖZTÜRK**

**YÜKSEK LİSANS**

**Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Temmuz 2015**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Şaban ÖZTÜRK tarafından hazırlanan "CAM ÜRETİM HATALARININ GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI BULUNMASI" adlı tez çalışması 07/07/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

**Başkan**  
Prof. Dr. Salih GÜNEŞ

**Danışman**  
Yrd. Doç. Dr. Bayram AKDEMİR

**Üye**  
Yrd. Doç. Dr. Ali Osman ÖZKAN

### İmza

  
.....  
  
.....  
  
.....

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

  
Prof. Dr. Aşır Genç  
FBE Müdürü

Bu tez çalışması TUBİTAK tarafından 114E925 numaralı proje ile desteklenmiştir.

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Şaban ÖZTÜRK

Tarih:

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS

## CAM ÜRETİM HATALARININ GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI BULUNMASI

**Şaban ÖZTÜRK**

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Bayram AKDEMİR**

**2015, 107 Sayfa**

**Jüri**

**Yrd. Doç. Dr. Bayram AKDEMİR**

**Prof. Dr. Salih GÜNEŞ**

**Yrd. Doç. Dr. Ali Osman ÖZKAN**

Günümüzde artan dünya nüfusu ile birlikte tüketim ihtiyacı da oldukça fazlalaşmıştır. Oluşan bu yoğun ürün taleplerini karşılamak için üreticiler hızlı ve etkin bir şekilde kaliteyi düşürmeden ürün sayısını artırmanın yollarını aramaya başlamışlardır. Bu arayış hemen hemen tüm üretim sistemlerinde makineleşme ile sonlanmış ve sistemler otonom halde tasarlanmaya başlanmıştır. Çalışmanın temel amacı renksiz halde olan düz ve buzlu camların hatalarının tespit edilerek ürün güvenilirliğini artırmaktır.

Cam hayatımızın pek çok safhasında kullandığımız aynadan cam sektörüne, şişeden kozmetik sektörüne kadar yaygın bir tüketim malzemesidir. Aynı zamanda sağlıklı bir saklama aracı olarak kabul edilen camın günümüzde yoğun bir tüketim talebi mevcuttur. Bu çalışmada düz camların ve buzlu camların üretim sırasında içlerinde oluşan hava kabarcıklarının ve üzerlerinde oluşan çizik ve çatlak gibi hasarlarının tespit edilerek oluşabilecek olumsuzlukların önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Çalışmanın temel hedeflerinden bir tanesi de tozdan ve kirden bağımsız bir hata arama modelinin oluşturulmasıdır. Cam saydamlık ve yansıtma gibi özelliklere sahip olduğundan dolayı yüzeyinin incelenmesi oldukça zor bir malzemedir. Bu işlem insan gözü tarafından yapıldığında oldukça zorlayıcı olmaktadır. Zamanla yorulan ve bazı hataları fark edemeyen insan gözü bu işlem için yetersiz kalmaktadır. Özellikle hız arttığında insan gözü ile yapılan kontrollerde hata oranı da artmaktadır. Bunun için cam gibi analizi zor yüzeylerde makine görme sistemleri hem daha hızlı hem de daha doğru sonuçlar elde edebilmektedir. Maalesef ki; cam yüzey analizi için makine görmesi ile yapılmasının da zorlayıcı tarafları olduğu açıktır. Özellikle camın renksiz oluşu ve karşıdan bakan makine gözü için ayna gibi davranması en büyük handikaplardandır. Çalışmada önerilen sistem, beklentilerle çok pahalı sistemler arasında optimum bir çözüm önerisi sunmaktadır. Geliştirilen sistem iki temel kısımdan oluşmaktadır. Bunlardan ilki ışıklandırma sistemidir. Bu kısım dış ortamdan yalıtılmış ve belirli açılara ve lümen değerlerine sahip LED'ler ile oluşturulmuştur. Cam bu bölüme geldiğinde kenar bölgelere yerleştirilmiş sistem sayesinde ışık ışınları camın içerisine enjekte olmaktadır. Snell kırılma yasaları dikkate alındığında bu ışık ışınları sayesinde ölçüm tozdan ve kirden bağımsız hale gelmektedir. Çalışmanın ikinci kısmı ise görüntünün uygun biçimde alınarak işlenmesidir. Bu kısımda alınan görüntülerin yüzey özellikleri incelenmektedir. İncelenen görüntülerde hataların olduğu kısımlarda sert geçişler olmaktadır. Bu sebepten dolayı birden fazla algoritma denenmiş ve bu çalışma için en başarılı olan algoritma belirlenmiştir. Denenen algoritmalar Gabor Filtresi, Dalgacık Dönüşümü, kenar belirleme algoritmaları ve hücrel sinir ağlarıdır. Görüntü özellikleri çıkarma işleminden önce ise görüntünün uygunlaştırılması için görüntüde

iyileştirmeler yapılmıştır. Bunlar cam üzerindeki ortam yansımalarının görüntüden çıkarılması, arka plan görüntülerinin çıkarılması ve kamera yansımasının görüntüden çıkarılması gibi işlemlerdir.

Bu çalışmada yüzeylerinde farklı problemler bulunan 11 adet cam ile denemeler yapılmıştır. 2 adet hasarsız sağlam cam ve üzerinde üretim sırasında oluşmuş çizikler, üretim sırasında oluşmuş cam içi baloncuklar, sonradan oluşturulan çizikler, çatlaklar, kırıklar bulunan 9 adet hasarlı cam incelenmiştir. Değerlendirme sonuçlarının kullanıcıya aktarılabilmesi için ayrıca bir bilgisayar ara yüzü tasarlanmıştır. Tasarlanan ara yüz ile kullanıcıya cam yüzeyi ile ilgili bilgiler, cam yüzeyinde bulunan hataların sayısı, bulunan hataların boyutları ile ilgili bilgiler sunulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** cam hatası tespiti, cam yüzey analizi, dalgacık dönüşümü, doku analizi, gabor filtresi, görüntü işleme, yüzey hata belirleme

## **ABSTRACT**

## **MS THESIS**

## **GLASS DEFECT DETECTION WITH IMAGE PROCESSING**

**Şaban ÖZTÜRK**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
SELÇUK UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN ELECTRICAL AND  
ELECTRONICS ENGINEERING**

**Advisor: Yrd. Doç. Dr. Bayram AKDEMİR**

**2015, 107 Pages**

**Jury**

**Yrd. Doç. Dr. Bayram AKDEMİR**

**Prof. Dr. Salih GÜNEŞ**

**Yrd. Doç. Dr. Ali Osman ÖZKAN**

Nowadays, the need of consumption has greatly increased with the growing world population. To meet the demands of this intensive product demand, manufacturers have begun to seek ways of enhance the number of products without reducing quality. Therefore, the mechanization has occurred almost all production systems. The main objective of this study is to determine defects of float glass and frosted glass and improve product reliability.

Many phases of our lives we use in glass such as mirror sector, cosmetic industry etc. Also, glass is known as a healthy storage case and it has an intense consumption demand. In this study; air bubbles, scratches and cracks that formed during the production of flat glass and frosted glass are aimed to determine and prevent the problems that may occur. One of the main objectives of this study to create defect search model independent from dust and dirt. Inspection of the glass surface is very difficult process because it has a compelling features such as transparency and reflection. Unfortunately, it is difficult to make glass surface analysis using machine vision systems. The biggest handicap is that glass is colorless and act as a mirror. The system that proposed in this study is an appropriate solution between expectations and expensive systems. This operation is very difficult for the human eye. The human eye which can't notice some errors and tired by the time is insufficient for this operation. Especially when the speed increased, the error rate of the quality-control that is performed human eye increase. Therefore, when analyzing the hard surface, machine vision systems is able to achieve both faster and more accurate results. The developed system consists of two basic parts. The first of these is lighting system. This section was created by LEDs that are isolated from external environment and have specific angles and lumen values. When the glass come this section, light beams is injected into the glass thanks to the special system embedded in the edge region. The glass surface analysis becomes independent from dust and dirt by the agency of light beams according to the Snell refraction law. The second part of this study is image processing. In this section, the surface properties of taken images are examined. The area of defect in the examined images exhibit very big density differences. So, many texture analysis algorithms and similar algorithms were tested and the most successful algorithm for this study is determined. Tested algorithms are; gabor filter, wavelet transform, popular edge detection algorithms, cellular neural networks etc. Before the extraction image properties, image improvements have been made to improve desired characteristics of the image. These image improvements; removing the environment reflections from the image, removing the background noise and removing the camera reflection from the image.

In this study, 11 glass which have different production defects on surface was investigated. The defects in these glasses are as follows; scratches formed during production, scratches formed after production, cracks and bubbles. Also 2 glass that have not any defects was investigated. A prototype of this system has been developed to carry out process. A computer interface is designed to transfer evaluation results for a user. Designed interface provide information about glass surface. These information are; the number of defects on the glass surface, size of defects on the glass surface etc.

**Keywords:** gabor filter, glass defect detection, glass surface analysis, image processing, surface defect detection, texture analysis, wavelet transform

## ÖNSÖZ

Hazırladığım bu tez çalışmasında, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Bayram AKDEMİR'e, öğrenim hayatım boyunca emeği geçen tüm hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan, beni her konuda daima destekleyen aileme de teşekkür ederim.

Şaban ÖZTÜRK  
KONYA-2015



# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>vi</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>viii</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>ix</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Problemin Tanımı.....	2
1.2. Yapılan Çalışmanın Önemi ve Amacı.....	2
1.3. Literatür Araştırması .....	5
1.4. Kurulan Sisteme Genel Bakış .....	9
<b>2. IŞIKLANDIRMA VE KAMERA SİSTEMİ .....</b>	<b>11</b>
2.1. Işıklendirme Sisteminin Önemi .....	11
2.1.1. Literatürde Kullanılan Işıklendirme Sistemleri .....	12
2.1.2. Tez Çalışmasında Önerilen Işıklendirme Sistemi.....	16
2.2. Kamera Seçimi ve Önemi .....	20
2.2.1. CCD Görüntü Sensörleri.....	22
2.2.2. CMOS Görüntü Sensörleri.....	22
2.2.3. Kamera Konumunun Belirlenmesi .....	23
<b>3. GÖRÜNTÜ İŞLEME VE DOKU ANALİZİ ALGORİTMALARI .....</b>	<b>27</b>
3.1. Cam Hata Analizi İçin Kullanılabilecek Yöntemler .....	30
3.1.1. Kenar Belirleme Algoritmalarının Yüzey Analizinde Kullanılması .....	30
3.1.1.1. Gradient Tabanlı Kenar Belirleme Algoritmaları .....	32
3.1.1.2. Laplacian Tabanlı Kenar Belirleme Algoritmaları .....	33
3.1.1.3. Canny Kenar Belirleme Algoritması .....	34
3.1.2. Dalgacık Dönüşümü ile Yüzey Analizi .....	35
3.1.2.1. Fourier Dönüşümü .....	35
3.1.2.2. Dalgacık Dönüşümü .....	37
3.1.2.2.1. Sürekli Dalgacık Dönüşümü .....	38
3.1.2.2.2. Ayrık Dalgacık Dönüşümü .....	39
3.1.2.2.3. İki Boyutlu Dalgacık Dönüşümü .....	41
3.1.2.3. Dalgacık Ailesi .....	42
3.1.3. Gabor Bankası ile Yüzey Analizi .....	45
3.1.4. Hücrel Sinir Ağları ile Yüzey Analizi .....	49
<b>4. DENEYİN UYGULANMASI VE DENEYSEL BULGULAR.....</b>	<b>54</b>
<b>5. KULLANICI ARAYÜZÜNÜN TASARLANMASI .....</b>	<b>84</b>

<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>90</b>
6.1 Sonuçlar .....	90
6.2 Öneriler .....	91
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>92</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>96</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$\Omega$	: Uzamsal Aç
$\lambda$	: Standart Işık Yoğunluğu
$I(\phi)$	: Aydınlık Miktarı
$E_{Hor}$	: Yatay Aydınlanma
$L(x,y)$	: Laplacian Piksel Yoğunluk Değeri
$F(w)$	: Fourier Dönüşümü
$\Psi(t)$	: Ana Dalgacık
$\Phi(x,y)$	: Ölçekleme Dalgacığı Fonksiyonu
$\Psi^H$	: Yatay Dalgacık
$\Psi^V$	: Dikey Dalgacık
$\Psi^D$	: Köşegensel Dalgacık
$G(x)$	: Gabor Filtresi
$N_r(i,j)$	: Komşuluk İlişkisi
$Y(i,j)$	: Çıkış Fonksiyonu

### Kısaltmalar

LED	: Light Emitted Diode
SMD	: Surface Mount Device
CCD	: Charge Coupled Device
CMOS	: Complementary Metal-Oxide Device
RGB	: Red-Green-Blue
CMYG	: Cyan-Magenta-Yellow-Green
ADC	: Analog-Digital Converter
CRT	: Cathode Ray Tube
USB	: Universal Serial Bus
KZFD	: Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü
SDD	: Sürekli Zamanlı Dalgacık Dönüşümü
HSA	: Hücresel Sinir Ağları
FPS	: Frame Per Second

## 1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte neredeyse her alanda yenilikler yaşanmıştır. Bu alanlar arasında en önemli gelişme sanayi (üretim) sektöründe olmuştur. Geçmişte insan gücüne dayanan üretim sistemleri günümüzde hızla gelişen teknoloji sayesinde otomasyon sistemleri ile desteklenmiş ve üretim kapasiteleri ileriki yılları da öngörerek arttırılmıştır. Makineleşme ile üretim metodu ve maliyeti dramatik bir biçimde değişmiş ve artan tüketim ihtiyaçları bu şekilde karşılanabilir hale gelmiştir. Fakat artan üretim kapasitesi ve hız beraberinde kalite kontrol problemlerini de getirmiş, üretim ile kalitenin uyumsuzluğu maliyetlerin artmasına sebep olmuştur. Diğer bir temel sorun ise insan gözüyle yapılan kalite kontrol işleminde başarı oranının insan faktörüne bağlı olarak değişmesidir. İnsan faktörü ile ilişkili olarak; duylarda yorgunluk, stres, göz problemleri veya yorum farkı gibi bir veya birden fazla olası neden, kalite kontrol işlemini yavaşlatabilir veya zayıflatabilir. Ek olarak gelişen hayat standartları ile kalite beklentisi de artmaktadır. Böylece kalite kontrol sistemlerinin de makineler ile yapılması sayesinde daha yüksek ölçme ve değerlendirme başarısının önü açılacaktır. Makineleşmiş kontrol sistemleri özellikle çalışılması zor ve tehlikeli alanlarda uzun süre ara vermeden yapılacak ölçümlerde, hata toleransının çok düşük olması gereken alanlarda, insan duyusu için aldatıcı veya tehlikeli olduğu alanlarda kullanılmakta ve tercih edilmektedir. Camın renksiz ve ışık açısına göre ayna gibi davranması, kontrolünün insan tarafından yapılmasını zorlaştırmaktadır.

Cam içeriği silisyum olan ve üretildiğinde rengi olmayan saydam kırılgen ve sağlık yönünden önemli bir malzemedir. Ülkemizde de cam ve cam ürünleri gerek keyfi gerekse zorunlu ihtiyaca bağlı olarak sağlık sektöründen güzellik sektörüne, inşaat sektöründen dekorasyon sektörüne kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle inşaat sektöründe hızlı büyüme pencere camları olarak kullanılan düz camlara olan talebi oldukça artırmıştır. Çalışmamıza konu cam modeli düz, renksiz pencere modeli camlar ve buzlu pencere modeli camlardır. Kullanımı oldukça yaygın olan camda üretim sırasında oluşabilecek hatalar genel olarak 3 farklı sınıfta açıklanabilir. Bunlar cam yüzeyinde oluşmuş olan çizikler, cam yüzeyinde veya cam içinde oluşmuş olan baloncuklar, cam çatlakları ve cam kırıklarıdır. Bu hatalar basit olarak giderilemezler. Giderilebilmeleri için özel işlemlerden geçmeleri gerekmektedir veya geri dönüşüme kazandırılıp eritilerek tekrar üretilmeleri gerekmektedir. Eğer son ürün kullanıcıya

ulaştıktan sonra hatalı olduğu fark edilirse hem üreticinin itibarı zedelenecek ve ürettiği malların satımı düşecek hem de gönderilen ürünü geri alıp yenisini göndermek durumunda kalacaktır. Bu tür problemler üreticiye ek maliyet getirerek diğer üreticilerle rekabet etmesini zorlaştıracak ve üretici hem maddi hem de marka değeri olarak zarar görecektir. Hatalı üretim tüketiciye ulaşmadan etkin olarak fark edilebilmesi ile ürün geri dönüşüme kazandırılarak üreticinin zararının azaltılması ve marka değerinin korunması sağlanabilir. Kalite kontrol sistemleri etkin bir biçimde oluşturulduğunda daha hızlı üretim ve minimum hata oranı hedeflenebilir.

Kameralar yaygın şekilde ürün kalite kontrolünde özellikle yüzey analizi işlemlerinde kullanılmaktadır (Adamo ve ark., 2010). Uygun ortamlarda doğru kameraların seçilmesiyle boyutlandırma, ölçüm, hata arama gibi birçok yorucu ve yıpratıcı işlem oldukça basit şekilde halledilebilir. Kameraların makinelere eklenmesi ve makine işlevinin kameraya dayandırılmasına makine görmesi denir. Konuya ilişkin görme bir insan gözü gibi çok fazla özellikten ziyade sadece amaca uygun optimum çözümü içerir. Bu çözüm; hız, görüntünün renk temsili, parametrelerin değerlendirilmesi ile ulaşılan bir seçimdir. Makine görme sistemlerinin kullanılmasıyla;

- Zaman tasarrufu
- Yapılan işleme anında müdahale yeteneği
- Üretim ve kontrol analizlerinin daha kolay yapılabilmesi
- Hata toleranslarının belirlenen oranlar içinde kalması
- Sistem akışının bilgisayar ekranından rahatça takip edilebilmesi

gibi faydalar sağlanabilmektedir (Newman ve Jain, 1993). Bu çalışmada cam yüzeyinin bir kamera yardımıyla incelenebileceği ve cama ait üretim hatalarının tozdan ve kirden bağımsız tespit edilebileceği bir sistem geliştirilmesi hedeflenmiş ve gerçekleştirilmiştir.

### **1.1. Problemin Tanımı**

Ülkemizde özellikle inşaat sektörünün hızlı büyümesi ile birlikte sektörün ihtiyaçlarını karşılanması gereksinimi ve diğer birçok alanda kullanılmak üzere cam üretimi hızlı bir şekilde artmaktadır. Sahip olduğumuz yeraltı ve yerüstü kaynaklar neticesinde ülkemiz cam üretiminde ön sıralarda yer almaktadır. Önemli olan sadece

fazla miktarda cam üretmek değil, aynı zamanda üretilen camları hatasız üretilerek kaynakları verimli kullanmaktır. Yine de üretim sırasında birtakım aksaklıklar dolayısıyla üretilen camların bazılarında hatalar oluşabilir. Bu hatalar cam yüzeyinde basitçe giderilemeyen hasarlar bırakırlar. Hasarlı camların ise kullanıcıya gitmeden önce fark edilip geri dönüşüme kazandırılması önemlidir.

Kullanılan kalite-kontrol yöntemleri üretim teknolojilerinin gerisinde kalmamalıdır aksi halde ürün kalitesinde ve rekabette zayıflamalar meydana gelir. Bu sebeple cam kalite kontrolü için etkin ve teknolojik yeniliklerle desteklenen bir otomasyon sistemi kurulmalıdır. Geliştirilen çoğu sistemde cam hataları bulma işleminin hata toleransı beklenenden daha büyük olmaktadır. Bunun sebebi camın sahip olduğu zorlayıcı özellikleridir. Teknolojik yeniliklerin kullanılması ve bilimsel algoritmaların geliştirilip kullanılmasıyla etkin bir cam kalite-kontrol sistemi gerçekleştirilebilir. Ayrıca kontrol sırasında en sık karşılaşılan sorunlardan biriside cam üzerinde bulunan kir ve toz benzeri katı kalıntılardır. Bu kalıntılar eğer kontrol işlemi öncesinde temizlenmezse günümüzde kullanılan birçok sistem tarafından cam hatası olarak algılanabilmektedir. Gerçek hata olmayan bu kalıntıların cam yüzeyinden temizlenmesi işlemi üretim hızını yavaşlatan bir etkidir. Ayrıca temizleme işlemi için sistem veya personeller gerekmekte ve ek maliyet oluşmaktadır. Bütün bu sorunlara genel olarak bakıldığında yapılması gereken sistem; tozdan ve kirden bağımsız, üretimi aksatmayacak hızda ve ürünün özelliklerine uygun şekilde tasarlanmalı ve bir cam kontrol düzeneğinin üretim bandı sonuna eklenmesidir.

## **1.2. Yapılan Çalışmanın Önemi ve Amacı**

Neredeyse her alanda karşımıza çıkan cam, yüzey kalitesi ve pürüzsüzlüğü bakımından büyük önem taşımaktadır. Eski zamanlardan beri kullanılan cam inorganik katı bir malzemedir. Cam ana maddesi silisli kumdur. Cam yapımı sırasında hızlı katılaştığı için amorf yapısını koruyarak saydamlık özelliğini kazanır. Yapılan çalışmanın temel amacı camın üretimden sonra kalite kontrolünün etkinliğini artırarak hatalı ürünlerin kullanıcıya ulaşmadan geri dönüşüme kazandırılmasını sağlamaktır. Bu sayede hammadde israfı önlenmiş olacak hem de üretim maliyeti azalmış olacaktır. Aynı zamanda üretici de kalite standartlarını yükseltmiş olacaktır. Bu durum ülke ekonomisine büyük katkılar sağlayacak ve uluslararası alanda sanayimizin rekabet

gücünü artıracaktır. Cam üretimi yapan çoğu fabrikada cam kalite kontrol işlemi insan gözü tarafından yapılmaya devam etmektedir. Şekil 1.1.'de geleneksel yöntemlerle yapılan bir kalite kontrol işlemi görülmektedir. İnsan gözü tarafından yapılan işlem kısaca şu şekildedir; kontrol işlemi için bir çalışan yetiştirilerek bu işte uzmanlaşması sağlanmaktadır. Yetiştirilen uzman geniş alanlı cam katmanlarına bakarak camdaki hataları belirlemeye çalışır. Bu sırada genellikle flüoresan lambalar yardımıyla cam kütlesi arkadan aydınlatılmaktadır. Uzman bir süre cam yüzeyini inceleyerek hatalı alanları ışık saçılmasından faydalanarak kalem ile işaretler. Fakat bu işlemdeki en temel sorun insan gözünün bu kadar geniş bir alanda ve nispeten kısıtlı bir sürede tüm hataları tespit edemeyeceğidir. Ayrıca bu işlem saatlerce yeni cam plakaları üzerinde de devam edeceğinden kontrol eden kişide yorulmalar başlayacak ve yorulunca birçok hata gözden kaçabilecektir. Geleneksel kontrol yöntemi hem fabrikanın üretim hızını düşürmekte hem de istenen hata toleransı içinde kalınmasını zorlaştırmaktadır. Bu tez çalışmasında önerilen sistemde ise Snell kırılma yasaları dikkate alınarak bir aydınlatma sistemi geliştirilmiş ve cam yüzeyinin tamamı bir kamera ile görüntülenmiştir. Kamera tarafından yakalanan görüntüler bilimsel doku analizi algoritmaları ile değerlendirilerek tozdan ve kirden bağımsız cam üzerindeki çizik, çatlak ve içerisindeki olası hava kabarcıklarını tespit eden bir sistem tasarlanmıştır.



Şekil 1.1. Geleneksel cam kontrol işlemi

### 1.3. Literatür Araştırması

Yapılan literatür taramasında cam kontrolü ile ilgili uluslararası birtakım çalışmaların yapıldığı görülmüştür. Fakat yapılan bu çalışmalarda, çalışmamızda önerilen bir sistemin benzerine rastlanmamıştır. Çalışmamızda önerilen yöntemde ışık ışınları cam içerisine enjekte edilmekte ve Snell yasalarından yararlanılarak kırık ve çizik analizi yapılmaktadır. Gözlemci kamera ile ışık düzleminin birbirlerine dik olmasından dolayı toz, kir gibi cam yüzeyine teğet olan hatalardan bağımsız bir gözlem mümkündür. Bu sayede tozdan ve kirden bağımsız olarak bir analiz hedeflenmektedir. Hata analizi işleminin kirden tozdan bağımsız yapılabilmesi üretim hızı ve kalitesi için çok önemlidir. Tozlar ve kirler sistem tarafından hata olarak algılanırsa hatasız olan cam tekrar eritilerek üretime sokulacaktır bu durum maddi kayıplara yol açabilmektedir. İncelenen literatür çalışmalarında görüldüğü kadarıyla cam üzerindeki kir ve tozlar analizi etkilemekte ve sanki üretim hatasıymış gibi algılanabilmektedir ve ayrıca bir çok çalışmada bu durum önemsizmiş gibi hiç bahsedilmemiştir. Önerilen çalışmada bu eksikliklerin doldurulması hedeflenmektedir. Ayrıca incelenen makalelerde stereo görüntü alma teknikleri ile analiz yapılırken önerilen yöntemde tek kamerayla görüntü alma yapılacaktır. Tek kamerayla tepeden aldığımız görüntünün analizinde çizik boyutlarıyla ilgili daha net bilgiler elde edilmektedir ve diğer çalışmalara nazaran gerçek değerlere daha yakın değerler elde edilmektedir. Bu projede temel olarak cam yüzeyinde kırık, çatlak, çizik, baloncuk gibi istenmeyen hataların toz ve kir gibi giderilebilir kalıntılardan bağımsız olarak bulunması amaçlanmaktadır. Bu sayede milli bir cam kontrol sistemi geliştirilerek ülke sanayisini ve ekonomisini kalkındırmak hedeflenmektedir.

Literatürde konu ile ilgili yapılan çalışmalarda;

Cam yüzeyini kamera ile kontrol etme yöntemlerinin temeli makine görmesi (Machine Vision) ve onunda temeli görüntü işleme yöntemlerine dayanmaktadır. Bu sebepten dolayı makine görmesi ile yüzey analizi yöntemlerinden önce görüntü işleminin nasıl geliştiğinden bahsetmek gerekmektedir.

1970'lerin başında bilgisayar, bilgisayar donanımları ve kameralar çok pahalı olduğundan dolayı bilgisayarlı görme uygulamaları sadece belirli laboratuvarlarda yapılmaktaydı (Szeliski, 2010).



1970'lerin ortalarına doğru bahsedilen cihazların fiyatlarının düşmesiyle görüntü işleme ve bilgisayarlı görme uygulamaları yaygınlaşmaya başlamıştır. O yıllarda yapılmaya başlanan çalışmalar içinde bu alana en önemli katkılar, Huffman (1971), Clowes (1971) ve Waltz (1975) tarafından yapılan düz hatları belirleme ve kenar bulma çalışmalarıdır. Yine bu dönemlerde üç boyutlu görüntüleme ile ilgili çalışmalar Baker (1977) tarafından başlatılmıştır.

1980'lere gelindiğinde ise artık görüntü ve sahneler üzerinde daha fazla matematiksel ve istatistiksel işlemlere dayalı geliştirilen algoritmalarla işlemler yapılmaya başlanmıştır. Bu on yılda dalgacık dönüşümü yönteminin kullanılmasının popülerliği ile birlikte yüzeylerde inceleme yapılması ve şekil analizi yapılması ile ilgili yayınlar çoğalmaya başlamıştır (Pentland, 1984).

1986 yılında Canny tarafından daha iyi bir kenar bulma algoritması geliştirilerek robotik görme uygulamalarının gelişiminin ilerlemesinde büyük bir adım atılmış oldu.

1990'lara gelindiğinde hareketli nesnelerin kameralar tarafından algılanarak işlenmesi üzerine çalışmalar popülerleşti. Görüntülerde bulunan renklerin yoğunluk derecelerinin farkıyla ilgili çalışmalar yapıldı (Healey ve Shafer, 1992). Böylece üç boyutlu olarak yüzey analizi yapabilen sistemler üzerine çalışmalar 1990'larda artış göstermeye başladı.

1991 yılında Turk ve Pentland tarafından yüz tanıma algoritması bulunan bir makale yayınlanarak görüntü işleme ile farklı denemelerin olabileceğini göstermiştir.

2000'li yıllara gelindiğinde hala çekilen görüntülerin insan gözünün değerlendirebildiği gibi değerlendirmesi için çalışmalar devam etmiştir. Genel olarak yapılan çalışmalar 3D üzerine yoğunlaşmaya başlamıştır (Kutulakos ve Seitz, 2000). Bu on yılda yüzey analizi, ürün kontrolü gibi üretim odaklı görüntü işleme yöntemleri üzerinde durulmuştur. Ayrıca diğer bir eğilim ise görüntü işleme tekniklerinin tıbbi alanlarda kullanımının yaygınlaşması olmuştur.

Literatürde yapılmış olan cam hata analizi çalışmalarına değinecek olursak; ilk olarak Imbert (1989) cam yüzeyinde hata bulmayı denemiştir ve çalışmasında lazer ışıklandırma kullanarak kendi döneminin yüzey araştırma algoritmalarıyla hata bulmaya çalışmıştır. Hata aramada nelerin önemli olduğu ve ışıklandırma sisteminin önemine değinerek kendinden sonraki çalışmalar için bir kaynak olmuştur.

Savolainen ve ark. (1995) tarafından yapılan çalışmada ise mikro lensler kullanılarak iki boyutlu ışık oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu sistem genel yapısı itibari ile seri üretim sistemleri için yavaş kalmaktadır.

Chung ve Kim (1998) tarafından önerilen sistemde ise yine birden fazla kamerayla bir araba üretim firmasının kullanabileceği bir sistem önerilmiştir fakat bu sistemde araba camlarına yapıştırılan markaların ölçümü yapılacağından bir referans resim ile karşılaştırılma yapılmıştır. Cam üretiminde her camın kendine has üretim karakteristiği olabileceğinden böyle bir karşılaştırma yapmak kısıtlı başarılı olmuştur.

Ai ve Zhu (2002) tarafından yapılan çalışmada Markow Random Modeli ile cam üzerinde hata analizi ilk olarak denenmiştir ve nispeten başarılı sonuçlar alınmıştır. Fakat bu çalışmada sadece üç cam üzerinde analiz sonuçları verildiğinden sistem başarısı üzerine tam bir çıkarım yapılamamaktadır.

Düz camların wavelet kullanılarak yüzey analizini ise Fezani ve Rahmani (2006) wavelet dalgalarının enerji dönüşümlerinin kullanarak yapmışlardır. Wavelet dönüşümünün özellikleri kullanılarak arka plan gürültülerinin etkili bir şekilde bastırılabilceğini göstermişlerdir.

Perng ve ark. (2007) CRT panellerinde hata analizi yapmışlardır ve çalışmalarında farklı açılara yerleştirilmiş birden fazla ışıklandırma kaynağı kullanarak problemi algılamışlardır.

Rıza ve Anton (2007) tarafından sunulan çalışmada ise şişeler incelenmiş ve %95 gibi başarılı bir sonuç elde edilmiştir.

Chao ve Tsai (2008) düşük kontrastlı ortamlarda cam üzerindeki hataları bulma çalışması yapmışlardır. P-M difüzyon yöntemi kullanarak camda farklı yoğunluk derecesine sahip bölgeleri tespit etmişlerdir.

Peng ve ark. (2008) tarafından önerilen cam üzerinde hata arama sisteminde ise tek kamera kullanılmış olsa da camın altından kamera merceğine doğru kırmızı ışık gönderilmiştir ve bu durumda tüm cam için kırmızı ışık gönderilmesi esasında çizik ve hataların tam boyutu ve şekilleri anlaşılamamaktadır.

Birden fazla kamera kullanılan Adamo ve ark. (2008) tarafından önerilen sistemde cam lazerler ile taranmakta ve çiziklerin içi algoritmalarla doldurulduğu için

normalde daha kalın olarak görülmektedir. Sınırları ile birlikte alanı verildiğinden, görüldüğünden daha fazla bir kusur alanı algılanmaktadır.

Adamo ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmada Canny kenar bulma algoritması kullanılarak hata bulma analizi iki adet kamera kullanılarak yapılmış ve bu kameralar ile hata arama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Adamo ve ark. (2010) akan bir konveyör sisteminde saten camlar için yüzey araştırma sistemi geliştirmişlerdir. Çalışmalarında konveyör belirli hız sınırları içinde hareket ettiği müddetçe yüksek doğrulukla yüzey analizi işlemi elde ettiklerini söylemişlerdir.

Jin ve ark. (2011) flüoresan lambalar kullanarak bir aydınlatma sistemi oluşturarak cam hatalarını bulmak istemişlerdir. Flüoresan lambalar camın arkasına konularak kamera ile tam karşıdan görüntü alınmaktadır.

Golkar ve ark. (2012) seramik yüzeyler üzerinde çalışmalar yapmışlar ve yüzeye belirli lümen değerleriyle ışıklandırma yapıp yüzey hatalarını bulmayı denemişlerdir. Seramik geçirgen bir yüzey olmadığından hata bulma işlemi nispeten kolaylaşmıştır.

George ve ark. (2013) tarafından önerilen çalışmada hataların bulunması için Fuzzy C Means Clustering adlı kümeleme algoritması kullanılmıştır.

Rüfenacht ve ark. (2013) tarafından önerilen çalışmada arka plan görüntülerinden etkilenme olmadan hasarların bulunması sağlanmıştır.

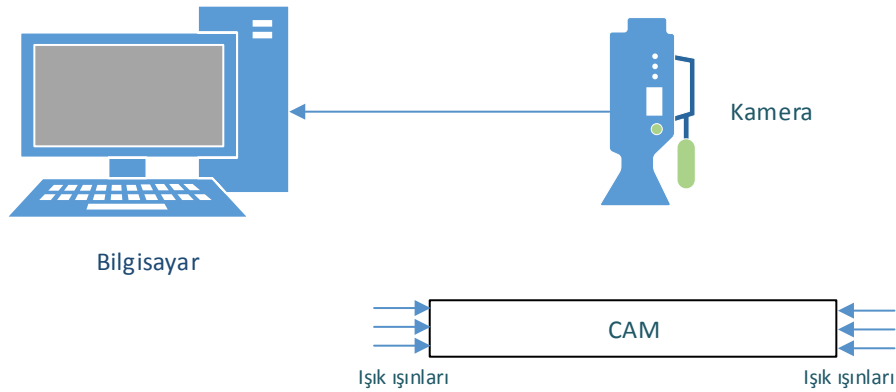
Jin ve ark.(2014) yaptıkları sistemlerde iki cam arasında fark incelenerek hata bulma analizi yapmışlardır.

Yapılan literatür çalışmalarından görüldüğü üzere yapılan sistemler genel olarak tozdan ve kirden etkilenmektedir. Diğer çalışmalarda ise bu durumdan bahsedilmediğinden etkilenip etkilenmeme durumu bilinmemektedir. Ayrıca çoğu sistemde birden fazla kamera kullanılarak görüntü alınmaktadır. Buna rağmen tespit edilen hataların şekillerinin tam olarak belirlenemediği ve bu sebeple ebat bilgilerinin tam olarak hesaplanamadığı görülmektedir. Diğer bir problem ise ışıklandırma sistemidir. Literatürde kullanılan aydınlatma sistemlerinde genellikle arkadan aydınlatma yapılmıştır. Bu durumda cam boyutu büyüdükçe aydınlatma sisteminin de büyütülmesi gerekecektir. Bu durum kontrol sisteminin farklı cam boyutları için kullanılmasını zorlaştırmaktadır. Bu tez çalışmasında yapılan sistemde ise öncelikle

görüntü almak için tek kamera kullanılmış ve yüzeye dik olarak tüm yüzey görüntülenmiştir. Böylece oluşmuş hatalar tam olarak boyutlandırılabilir. Camın içine enjekte edilen ışık ışınları cam boyutundan bağımsız olarak camın içini aydınlatmaktadır. Ek olarak cam boyutları büyüdükçe kaynağın enerjisini artırmak yeterlidir. Aydınlatma modeli ve sistemin tozdan ve kirden bağımsız olarak ölçüm yapabilme kabiliyeti sistemin özgünlüğüdür.

#### 1.4. Kurulan Sisteme Genel Bakış

Sistemin çalışması temel olarak 5 adımda açıklanabilir. İlk adım aydınlatma sisteminin oluşturulmasıdır. Aydınlatma sistemi camı kenar bölgelerinden tam olarak kavrayabilecek bir malzeme ve LED'lerden oluşmaktadır. Cam bu bölgeye geldiğinde iki tarafını da kavrayan malzemenin içinden gönderilen ışınlar kavranılan cam kenarına  $90^\circ$  açıyla gelirler ve cam içerisine enjekte olurlar. Cam içerisine enjekte olan ışık cam yüzeyine paralel olarak soğuruluncaya kadar her yöne yayılır. Işık ışınları cam yoğunluğu içerisinde hapis kalırlar ve dışarı çıkamazlar. Yüzeyden bakan bir göz ile ışık ışınları birbirlerine dik olduğundan, bakan göz camı karanlık olarak görecektir. Cam yüzeyinde kir, toz olsa bile bu tür ajanlar ışık ışınlarını kesmediğinden ölçmeyi etkilememektedir. Sistemin genel yapısı Şekil 1.2 'de gösterilmektedir.



Şekil 1.2. Sistemin genel şeması

İkinci adımda kameranın yerleştirileceği konum belirlenmektedir. Bu konum belirlenirken kameranın hiçbir ayrıntıyı kaçırmaması ve yakalanan kusurların şekil ve ebatlarının tam olarak elde edilebileceği bir konum seçilmiştir. Kamera cam yüzeyine  $90^\circ$  dik ve tüm yüzeyi görecektir şekilde odaklanmıştır. Bu bakış açısının zayıf ve güçlü yönleri daha sonraki bölümlerde ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

Üçüncü adımda alınan görüntüler doku analizinden önce görüntü işleme algoritmalarıyla istenen düzeye getirilmektedir. Bunun için görüntü iyileştirilmeleri yapılmakta, arkaplan nesnelere görüntüden çıkarılmakta, kamera ve ön ortam yansımaları görüntüden çıkarılmaktadır.

Dördüncü adımda görüntüdeki hataların bulunması işlemi yapılmaktadır. Bu aşamada literatürde bulunan birden fazla doku analizi ve kenar bulma yöntemleri gibi yöntemler denenmiştir. Denemeler sonunda Gabor Filtresinin ve hücreli sinir ağı modeli doku analizinde daha yüksek performans verdiği görülmüştür.

Beşinci adımda; görüntüye eşikleme işlemleri uygulanarak kullanıcıya ilişkin görsel çıktılar oluşturulmuştur. Kullanıcıya ilişkin oluşturulan görsel arayüzde cam yüzeyindeki kusurların açıklamaları eklenmiştir. Çizginin şekli, boyutu ve kapladığı alan ile ilgili bilgiler kullanıcıya görsel sonuç olarak aktarılmakta ve istenirse çıktısı alınabilmektedir.

Tez çalışmasının düzeni şu şekildedir;

Bölüm 2' de ışıklandırma ve kamera sisteminin tasarlanması, ışıklandırma sisteminin sahip olduğu özellikler ve ışığın davranışı, kameranın konumu ve seçimi, görüntüyü uygun biçimde almanın gerekliliği anlatılmaktadır. Bölüm 3' te görüntü işleme yöntemleri, görüntünün ön işlemlerden geçirilmesi, gürültülerin giderilmesi anlatılmaktadır. Ayrıca yüzeyin incelenmesi için kullanılacak algoritmalar bahsedilmiştir. Bölüm 4' te bahsedilen algoritmalar deneylerle karşılaştırılmış ve bu çalışma için en uygun algoritma belirlenmiştir. Bölüm 5'te kullanıcı için basit ve kullanışlı bir arayüz tasarlanmıştır. Bölüm 6'de sonuçlardan bahsedilmiş ve değerlendirmeler yapılmıştır.

## 2. IŞIKLANDIRMA VE KAMERA SİSTEMİ

### 2.1. Işıklandırma Sisteminin Önemi

Otomatik olarak yapılan hata analizinde kameralar tarafından alınan yüzey görüntülerinin kalitesi oldukça önemlidir. Bunun sebebi, görüntü işleme programının bu görüntüler üzerinden işlem yapması ve ürünün hatalı olup olmadığına karar vermesidir. Eğer alınan görüntü eksik bilgiler içeriyorsa bu durum ürün hakkında hatalı değerlendirme yapılmasına neden olabilmektedir. Dış ortamdaki görüntünün alınması makine görme sistemlerinin ilk ve en önemli adımlarından bir tanesidir. Bu önemin sebebi; dış ortamdaki alınan görüntünün uygunluğu ile görüntü işlemenin başarısı birbirlerini orantılı olarak etkilemektedir. Alınan görüntünün bulanık, karanlık gibi negatif etkiler içermesi analiz sonuçlarını kayda değer şekilde kötüleştirir. Peki, görüntü dış ortamdaki nasıl doğru bir şekilde alınır? Bu sorunun cevabı, işlem sırasında kullanılacak özelliklerin ön plana çıkarılması ve bunun tersi bir yaklaşım olarak ta kullanılmasına gerek olmayan özelliklerin ise olabildiğince bastırılması ile verilebilir. Bahsedilen durumun sağlanabilmesi için daha sistem kurulmadan bir planlama yapılmalıdır. İki temel aşama ölçüm sırasında iyi planlamanın anahtarıdır; ilki aydınlatma sistemi, diğeri ise kamera konumunun belirlenmesidir. Konum belirleme işleminde birçok değişken konuma etki edebilir. Bu değişkenlerden bazıları ölçülecek malzemenin yapısı, ortamın durumu, ışıklandırmanın geliş açısı olarak sayılabilir. Cam yüzeyi incelenirken çalışmamızda kamera yüzeye 90° ve tüm cam alanını görecektir odak uzaklığına yerleştirilmiştir. Bu durum avantajlarının yanında kameranın cam yüzeyinde kendi yansımalarını görmesi gibi bazı dezavantajları da beraberinde getirmektedir. Bunların çözümü için kamera konumunu veya kamera sayısını değiştirmek bir çözüm olabilir fakat bu gibi çözümlerde hataların boyutlarında hesaplama zorlukları ve ölçüm hataları yaşanabilmektedir. Bunun için ölçüm sırasında malzemeye kuşbakışı olarak tam karşıdan görmek kamera için en uygun konum olduğu kanısına varılmıştır ve yansıma gibi negatif problemler görüntü işleme algoritmaları ile giderilmiştir.

Görüntünün doğru alınabilmesi için en önemli nokta ise incelenen malzemenin yeterli düzeyde ve uygun şekilde aydınlatılmış olmasıdır. Bu durumun sağlanabilmesi için etkin şekilde tasarlanmış bir aydınlatma sistemine ihtiyaç vardır. Aydınlatma sisteminin etkin biçimde tasarlanması demek malzemenin özellikleri, ortamın durumu,

görüntü alma cihazının özellikleri gibi etmenlerin dikkate alınarak tasarlanması demektir. Aydınlatma sistemi aşırı olduğunda görüntüde istenmeyen parıldamalar, az olduğunda ise karanlık bölgelere yol açacağından aydınlatma yoğunluğu ortamın gözlenmesine uygun olmalıdır. Bu tez çalışmasında tasarlanan aydınlatma sisteminin kullanım amacı cam yüzey özelliklerinin incelenmesidir. Sistemin cam hata analizinde temel görevi inceleme yapılan alanda daha uygun görüş şartları sağlayarak alınan görüntü kalitesinin artmasına yardımcı olmaktır. Aydınlatma sisteminin şekli, tasarımı, yüzeye geliş açıları gibi önemli parametreleri incelenen malzemenin niteliklerine göre değişmektedir. Her malzemenin kendine has özellikleri olduğundan dolayı bu sistemlerin tasarlanması sırasında bu özellikler göz önünde bulundurulmalıdır. Cam aydınlatmasında 4 temel handikap vardır. Bunlar;

- Camın şeffaf bir malzeme oluşu,
- Camın ışık yönüne bağlı olarak ayna gibi davranması,
- Kameranın aynı zamanda camda kendisini görmesi,
- Aydınlatma yönüne bağlı olarak camda parlamalar olduğundan boş beyaz alanlar yakalayabilir.

Literatürde cam hata analizinde kullanılan farklı türde cam yüzey aydınlatma tipleri olmasına rağmen çoğu durumda bu sistemler cam yüzey analizinde yeterli başarıyı sağlayamamaktadır. Camın sahip olduğu özellikleri önemsemeyen yapılan aydınlatma sistemleri cam yüzeyinde bulunan kir, toz gibi kolayca giderilebilir kalıntıları da sanki çizik, kırık, baloncuk, çatlak gibi önemli kusurlar olarak algılayabilmektedir. Bu çalışmada önceden bahsedilen aydınlatma handikaplarının bir engel oluşturmayacağı ve ilave olarak tozdan ve kirden etkilenmeyen bir aydınlatma sistemi önerilmiştir.

### **2.1.1. Literatürde Kullanılan Işıklandırma Sistemleri**

Yüzey hatalarının incelenmesinde aydınlatma büyük öneme sahiptir. Bunun sebebi doğru biçimde aydınlatılan yüzeyde oluşan gölgelerin yüzey detayları hakkında önemli bilgiler verebilmesidir. İncelenen yüzeylerin sahip olduğu özellikler ışıklandırma sürecinde dikkate alınmalıdır. Her malzeme yüzeyine çarpan ışınlar aynı şekilde tepki vermez ve istenilen gölge oluşumlarına rastlanmaz. Bu tez çalışmasında incelenen malzeme cam olduğundan cam yüzeyi ile ilgili ışıklandırma sistemleri

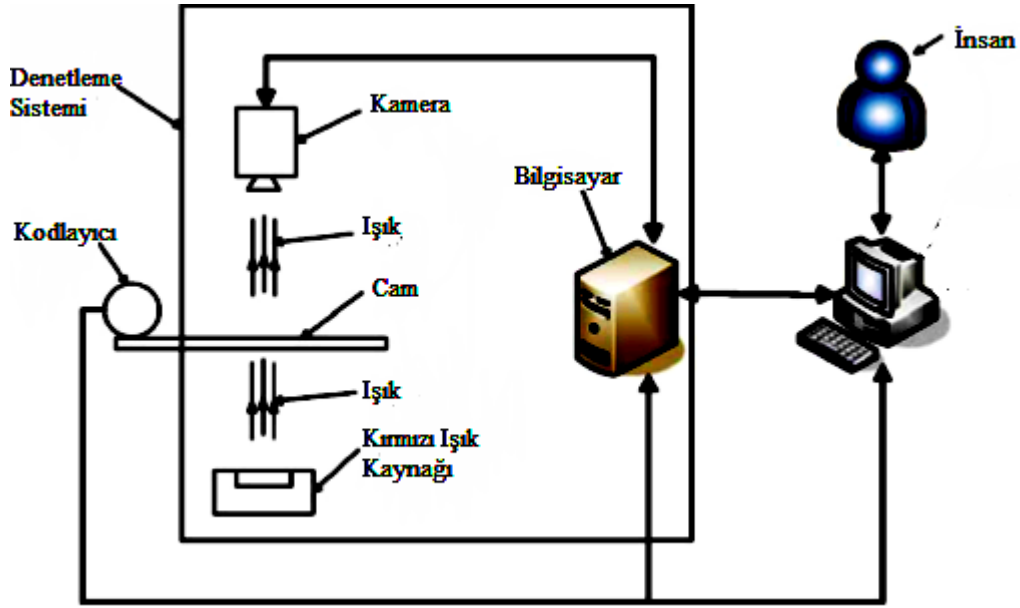
üzerinde durulmuştur. Camın sahip olduğu özellikler yüzeyinden görüntü alma işlemini oldukça zorlaştırmaktadır. Özellikle kontrolsüz aydınlatılmış ışıklandırma sistemine sahip olan bir ölçüm ortamında alınmış görüntüleri yorumlamak zordur. Cam yüzeyinde hata analizi çalışmaları çok eskiye dayanmamaktadır. Üretim sisteminde makinelerin yaygınlaşması ile birçok alanda kalite kontrolü içinde bilgisayarlı görme sistemleri geliştirme çalışmaları yapılmıştır fakat camlar ile ilgili çalışmalar son yıllarda yapılmaya başlanmıştır. Literatürde incelenen çalışmalarda birkaç tip farklı cam aydınlatma sistemi vardır. Bu aydınlatma sistemlerine farklı görüntü işleme algoritmaları uygulanmakta ve sonuçlar denenmektedir. Işıklandırma sistemlerinin cam yüzeyine oldukça etki ettiği bilinmekte ve alınan görüntüleri direkt etkilediği bilinmektedir. Bu yüzden en az görüntü işleme algoritmalarına verilen değer kadar değer verilmelidir. Rastlanan bu temel birkaç aydınlatma sisteminin anlatıldığı bazı çalışmaları inceleyerek bu ışıklandırma sistemlerinin yapılarını inceleyelim.

Adamo ve ark. tarafından 2008 yılında yapılan çalışmada kullanılan aydınlatma sistemi cam yüzeyine teğet geçen ışıklardan oluşmaktadır (Adamo ve ark., 2008). Camın yan kısımlarına konulan flüoresan lambalar cam seviyesinden biraz daha yukarıdadır. Bu sistemde çizik olan bölgeler diğer alanlara göre daha parlak görünmektedir ve küçük nokta ya da baloncuk gibi olan hatalar ise daha mat görünmektedir. Sistemin çalışma mantığına bakıldığında temiz ve kir bulunmayan cam yüzeyinden kamera tarafından alınan görüntülerin incelendiği anlaşılmaktadır. Bu durumda çalışmanın tozdan ve kirden bağımsız olarak çalışmadığı sonucuna varılmaktadır. Bu ışıklandırma sistemi genel olarak diğer sistemlere göre daha ucuzdur.

Peng ve ark. tarafından yine 2008 yılında yapılan bir cam yüzey analizi çalışmasında arkadan aydınlatma ile analiz yöntemi sunulmaktadır (Peng ve ark., 2008). Çalışmada aydınlatma için beyaz ışık yerine kırmızı ışık seçilmiştir. Bunun sebebi kırmızı ışıkta alınan görüntülerde hataların gölgelerinin incelenmesi işleminin daha kolay olacağıdır. İncelenen sistemde birden fazla kamera ve kameraların bağlı bulunduğu bilgisayarlar vardır. Bu bilgisayarlar kameraların aldığı görüntüleri eşzamanlı olarak inceleyerek ana bilgisayara gönderilip burada değerlendirilirler. Sistemin yapısı, kullanılan malzemelerin fazlalığı maliyeti oldukça artırmaktadır. Literatürde rastlanan çalışmaların çoğunda arkadan aydınlatma kullanılmaktadır. Farklı görüntü işleme yöntemleri kullanılarak maliyetin azaltılabildiği görülmektedir. Fakat arkadan aydınlatma sisteminin sahip olduğu dezavantaj tozlu cam yüzeyinde ölçüm



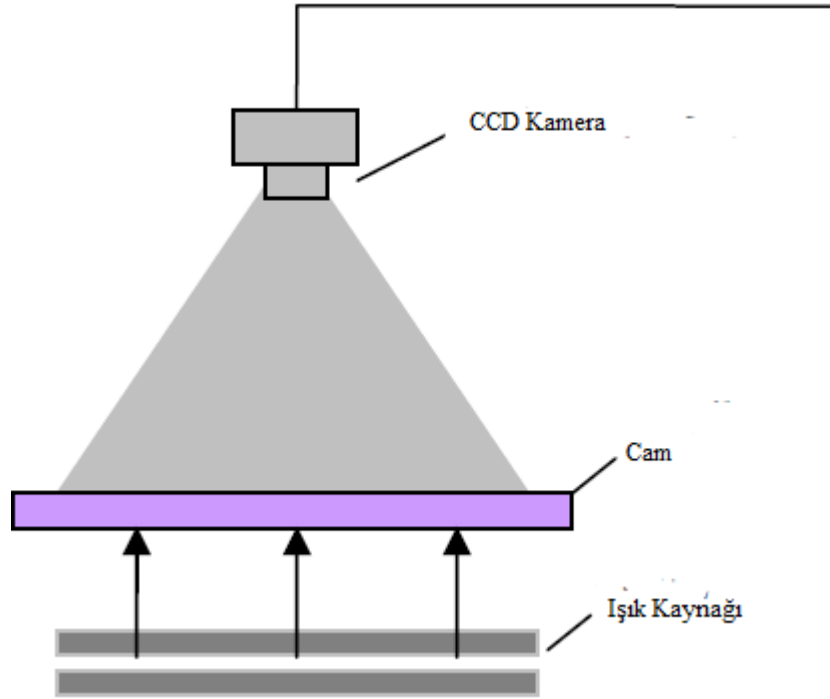
doğruluğunun azalmasıdır. Şekil 2.1.'de bahsedilen çalışmada yapılan arkadan aydınlatmanın blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 2.1. Peng ve ark. tarafından arkadan aydınlatma sistemi ile yapılan bir çalışma(Peng ve ark, 2008)

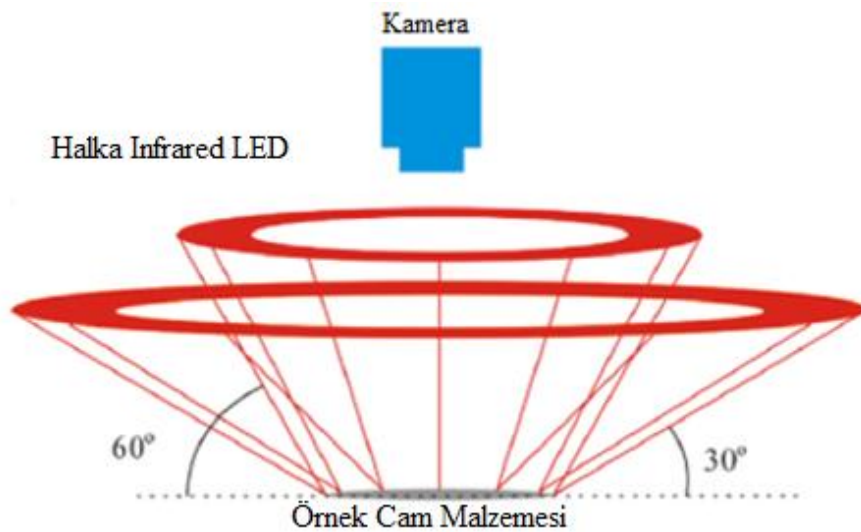
Bazı ticari firmalar tarafından yapılan cam yüzey analizi çalışmalarında ise lazer ışınları kullanılarak cam aydınlatılmaktadır. Bu çalışmalarda görüldüğü kadarıyla lazer ile aydınlatmanın bazı önemli dezavantajları vardır. Bunlar lazer ışığının cam yüzeyine çarptığı alana çok dar bir yol izlemesi ve inceleme işleminin çok yavaş olmasıdır. Lazer ile yapılan aydınlatma sistemlerinden alanın yeterli düzeyde aydınlatılması için daha fazla sayıda lazer kullanılmalıdır ve sistem hızının artırılması gerekmektedir. Bu durumda sistem maliyeti artmaktadır. Diğer aydınlatma sistemlerine göre oldukça pahalı bir sistemdir.

Jin ve ark. tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada yine arkadan aydınlatma sistemi kullanılmıştır fakat bu sistemin farkı kullanılan aydınlatma elemanlarıdır (Jin ve ark., 2011). Aydınlatma elemanı olarak soğuk katodlu flüoresan lamba kullanılmıştır. Bu aydınlatma elemanından iki adet kullanılarak yeterli düzeyde bir aydınlık oranı yakalanmıştır. Bu sistemin diğer sistemlerden farkı ve püf noktası flüoresan lambalar ile camın arasındaki mesafenin uygun olarak ayarlanmasıdır. Yine arkadan aydınlatma sisteminin temel problemi olan toz ve kirlerin başarı oranını düşürmesi bu sistemde de mevcuttur. Şekil 2.2'de bahsedilen çalışmada kullanılan sistemin blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 2.2. Arkadan aydınlatma ile yapılan çalışma örneği(Jin ve ark., 2011)

Liu ve Yu tarafından 2014 yılında infrared LED'ler kullanılarak cam yüzeyi aydınlatma sistemi ile cam hata analizi sistemi yapılmıştır (Liu ve Yu, 2014). Yapılan bu aydınlatma sisteminde karşıdan gönderilen kızılötesi ışık ışınları ile cam yüzeyinin aydınlatılması sağlanmış ve yine aynı yerden kamera tarafından görüntüler alınmıştır. Bahsedilen karşıdan aydınlatma sisteminde başarı oranı oldukça yüksektir fakat sistemin tozdan etkilenip etkilenmediği konusunda herhangi bir bilgi bulunmamaktadır. Şekil 2.3.'te bahsedilen sistemin blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 2.3. Karşıdan aydınlatma sistemine bir örnek (Liu ve Yu, 2014)

### 2.1.2. Tez Çalışmasında Önerilen Işıklandırma Sistemi

Önerilen ışıklandırma sisteminin temel çalışma prensibi, ışık ışınlarının camın içerisine enjekte edilmesi ve bu ışınların davranışına göre tozdan ve kirden bağımsız olarak hata analizi yapılmasına dayanmaktadır. İlk olarak ölçülecek cam kalınlığı göz önünde bulundurularak ışığı sızdırmayacak ve camı boşluk kalmayacak şekilde arasına alabilecek Şekil 2.4'teki gibi saçtan bir malzeme üretilmiştir.



Şekil 2.4. Cam ışıklandırma sistemi

Üretilen malzemenin cam ile direk temasta olacak dip kısmına ışık kaynağı olarak boyutlarından ve enerji kullanımındaki avantajlarından dolayı SMD LED'ler yerleştirilmiştir. Cam, tasarlanan taşıyıcının içine girerek yuvasına oturduğunda SMD LED'lerden yayılan ışık ışınları  $90^\circ$  açıyla dik olarak cam içerisine enjekte olurlar. Işık kaynağından çıkan ışınlar Snell ışık kırılma yasalarına göre (Wolf ve Krotzsch, 1995) ortamlar arasındaki yoğunluk farkına bakmaksızın kırılmadan cam içerisine girerler. Işığın cam içerisindeki yolculuğu yüzeye paralel olup soğuruluncaya kadardır.

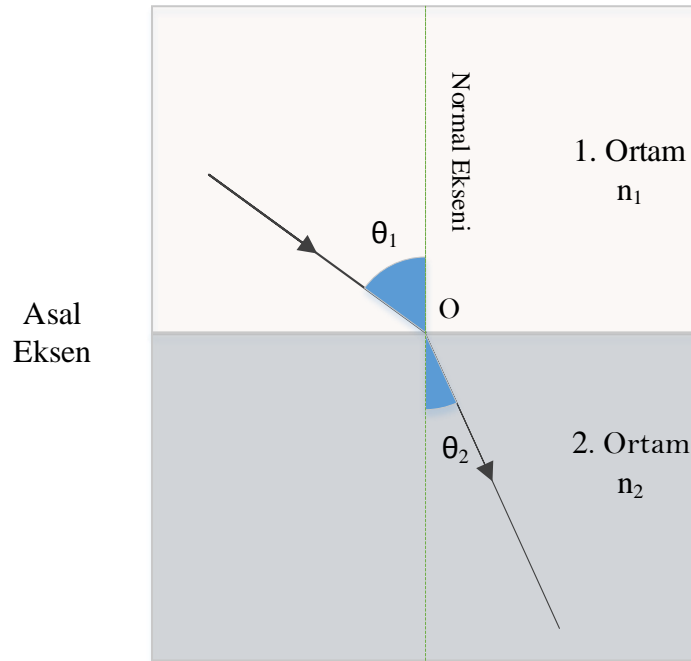
Işığın kırılmasından ve Snell kırılma yasalarından daha ayrıntılı bahsetmek gerekirse, bir saydam ortamda ilerleyen bir ışın, farklı bir saydam ortamla karşılaşıncı ikinci ortamda doğrultusu değişmiş olarak ilerler. Bu doğrultu değişme işleminde ışık ışınlarının ilk ortamdaki açılarıyla son ortamdaki açıları farklı olduğundan buna ışığın kırılması denir veya ışın diğer ortama hiç geçemez, bu duruma da ışığın yansımaları denir. Her ortamın kırılma indisi farklı olduğundan ışık farklı saydam ortamlardan geçerken farklı açılar ile kırılmaya uğrar. Saydam ortamların kırıcılık indislerini de

mutlak kırıcılık indisi ve bağıl kırıcılık indisi olmak üzere iki şekilde inceleyebiliriz. Kırılma kuralları şu şekildedir;

- Işık ışınları az yoğun ortamdan çok yoğun ortama geçerken normale yaklaşarak kırılır.
- Işık ışınları çok yoğun ortamdan az yoğun ortama geçerken normalden uzaklaşarak kırılır.

Snell yasası yoğunlukları farklı olan iki ortam arasında geçiş yapmakta olan bir ışığı inceler. Işık bir ortamdan diğerine geçerken doğrultusu bir değişime uğrayacaktır. Şekil 2.5'te bu durum görülmektedir. Eşitlik 2.1' de Snell yasasının basit denklemi görülmektedir;

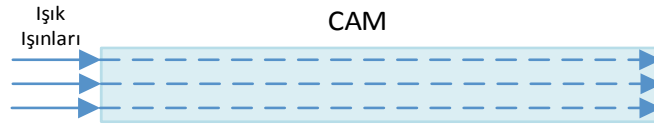
$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2.1)$$



Şekil 2.5. Snell yasası

Bu ışınlar cam içerisinde çizik, çatlak, baloncuk bir ortam yoğunluğu farklılığı ile karşılaşmadıkça aynı düzlemde ve açıda yollarını izlemeye devam ederler. Bahsedilen homojen ve düzenli ilerleyiş Şekil 2.6' da görülmektedir. Düzlem değiştirmeyen ışınlar cam boyunca herhangi bir saçılmaya uğramadan camda homojen aydınlık oluştururlar. Kamera tarafından alınan cam görüntüleri görüntü işleme algoritmalarına aktarılır ve incelenen görüntülerde yoğunluk veya ışımaya düzensizliğine

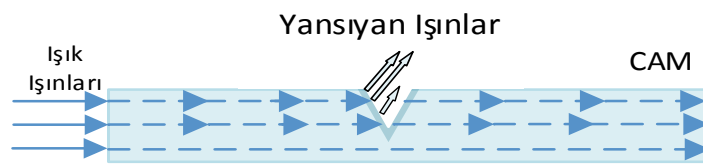
rastlanmayacağından cam yüzeyi siyah olarak tanımlanır ve bu sağlıklı bir camın çıktısını oluşturur.



Şekil 2.6. Hatasız cam üzerinde düzgün ilerleyen ışınlar

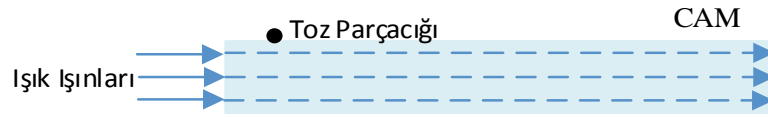
Işık ışınları cam içerisinde ilerlerken oluşabilecek diğer durum ise çizik, çatlak, baloncuk, kırık gibi cam yüzey durumunu ve iç yoğunluğu değiştirmiş bir hataya rastlanmasıdır. Böyle bir durumda ışınların izledikleri yol ve homojenlik durumu değişmektedir. Bunun sebebi ışınların farklı yoğunluktaki ortamlar arasında geçiş yaparken ortamların kırıcılık indislerine bağlı olarak yön değiştirmesidir. Camın kırıcılık indisi üretilme aşamasına göre değişiklik göstermektedir. Denemelerde kullanılan cam kırıcılık indisleri yaklaşık olarak 1,52 olarak alınmıştır. Işınların izleyeceği yol üzerindeki diğer madde ise havadır ve havanın kırıcılık indisi 1 olarak kabul edilir. Kırılma kanunlarına göre (Liu ve ark., 1985) ışınlar çok kırıcı ortamdaki az kırıcı ortama geçerken yüzey normalinden uzaklaşacak şekilde kırılmaktadır.

İncelenen sistemde cam kırıcılık indisi havanın kırıcılık indisinden büyük olduğu için ışınlar normalden uzaklaşarak kırılırlar. Kırılan ışınların hangi yöne ve hangi doğrultuyla gidecekleri ancak gelen ışın ile cam hasarının arasındaki açının bilinmesiyle belirlenebilmektedir. Ancak yaklaşık olarak nasıl hareket edebilecekleri bu spesifik bilgilere gerek kalmadan tahmin edilebilir. Önerilen sistemde hataların tespit edilmesi hususundaki dayanak noktası ise doğrultu değiştiren ışınların cam içerisinden çıkmadan önce hatanın olduğu alandaki homojen ışın dağılımını bozması ve bu hatalı yüzeyden dışarı doğru saçılırken kamera tarafından algılanmasıdır. Kamera tarafından algılanan bu görüntüler görüntü işleme programı yardımıyla değerlendirilerek ışınların arttığı ve homojenliği bozulduğu kısımlar hatalı olarak değerlendirilir. Bu işlem Şekil 2.7’de görülmektedir.



Şekil 2.7. Işınların camdaki hasardan saçılması

Böyle bir aydınlatmanın pozitif tarafı ışınların cam içerisinde her yöne dağıldığından yaklaşık aynı homojenlikte bir ışık dağılımı oluşturulduğundan ve cam yüzeyindeki hiçbir fiziki hatayı gizlemezler. Aynı zamanda cam içerisinde yüzeye paralel hareket etmelerinin diğer avantajı da yüzeyde bulunan kir ve toz gibi giderilebilir kalıntıların hata olarak algılanmasının önüne geçilmesini sağlar. Şekil 2.8’de üzerinde toz olan bir camın içerisinde ışınların geçişi görülmektedir. Böyle bir durumda cam içerisinde geçen ışınların doğrultusunda herhangi bir değişim olmayacaktır. Çünkü bu cisim camın içerisinde olmadığından dolayı ışınların hareketinde bir değişime sebep olamaz. Böyle bir durumda kamera tarafından alınan görüntüler program tarafından değerlendirildiğinde camın hatasız olduğuna karar verilir.



Şekil 2.8. Üzerinde toz olan cam içinde ilerleyen ışınlar

Bu tez çalışmasında aydınlatma kaynağı olarak beyaz LED seçilmiştir ve bunun birçok sebepleri vardır. Öncelikle, artan küresel ısınma ve karbon emisyonunun düşürülememesi gibi çevresel sorunlardan dolayı enerjinin daha verimli kullanılması arayışları başlamıştır. Bunun için daha verimli ışıklandırma kaynaklarına gerek vardır. Geleneksel aydınlatma yöntemlerine göre LED ile yapılan aydınlatma sistemleri %80’e varan enerji tasarrufu sağlar. Ayrıca LED’lerin uzun ömürlü olması da hammadde atıklarını önlemektedir. Floresan lambalarda bulunan toksik maddeler LED içinde bulunmadığından çevreyle dost bir aydınlatma elemanıdır. Kullanım sırasında kullanıcı için oldukça güvenlidir. Bunun nedeni LED’lerin düşük gerilim ile çalışması ve az ısı üretmesidir. LED’ler katı ve rijit bir yapıya sahiptir. LED’ler diğer lambalar gibi kırılğan bir yapıya sahip değildirler. Kolayca kırılmamaları ve küçük yapıları sayesinde kullanışlıdır. Dışarıdan gelen yağmur, toz, titreşimler gibi bozucu etkilerden kolayca etkilenmezler. Pek çok çevresel şartlarda rahatlıkla çalışabilirler. İlk açılma anında floresan ve akkor lambalarda olduğu gibi uzun bir bekleme süresi veya kalkınma akımı yoktur. Açılma ile hemen ışığa başlamış olur.

LED teknolojisinin yıllar içinde gelişmesiyle farklı dalga boylarına ve farklı renklere sahip LED’ler üretilmiştir. Bu çalışmada beyaz renkli LED kullanılmıştır. Kullanılan LED’lerin parlaklığı her bir açıya yaydığı enerji olarak tanımlanabilir. Yani bir yüzeyi aydınlatması ile ilişkilidir. Parlaklık yoğunluğu Eşitlik 2.2 ile ifade edilebilir.

$$I = \frac{d\phi}{d\Omega} \quad (2.2)$$

Formülde  $\Omega$  uzamsal açıyı vermektedir,  $\phi$  ise ışığın akısını vermektedir. Işığın akısını Eşitlik 2.3' teki gibi hesaplayabiliriz.

$$\Phi = K_m \int_{380}^{780} V(\lambda) \phi_e(\lambda) d\lambda \quad (2.3)$$

$\Phi_e$  enerji dalgalanmasını,  $\lambda$  standart ışık yoğunluğu eğrisini,  $K_m$  maksimum görünürlüğü ifade eder. 380 ve 780 sınırları ile görünür ışık bölgesini ifade etmektedir. Genellikle maksimum görünürlük 683 lm/w ve  $\lambda=555\text{nm}$  alınmaktadır. Düz bir zemin üstündeki aydınlık Eşitlik 2.4' teki gibi hesaplanabilir.

$$I(\phi) = I(0) \cos^m(\phi) \quad (2.4)$$

ve  $x, y$  noktasında yatay aydınlanmayı Eşitlik 2.5' teki formül ile bulabiliriz.

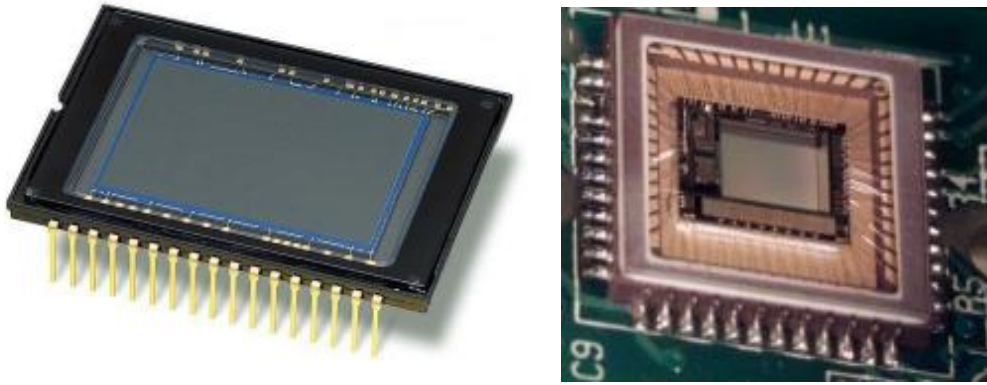
$$E_{hor} = I(0) \cos^m(\phi) / D^2 \cos(\psi) \quad (2.5)$$

Formülde  $I(0)$  merkez noktanın aydınlık miktarını,  $\phi$  parlama açısını,  $\psi$  çarpma açısını,  $D$  ise LED ile yüzey arasındaki mesafeyi belirtir.

## 2.2. Kamera Seçimi ve Önemi

Görüntülerin alınması aşaması önceki bölümde de bahsedildiği gibi ortamın uygunlaştırılması ile başlamaktadır. Ortam şartlarının uygunlaştırılması görüntünün en az kayıpla alınabilmesini sağlayacak ortam durumunun oluşturulmasıdır. Bunun için ortamın aydınlık seviyesi, ışıklandırmanın homojenliğinin sağlanması, arka plan karmaşıklığının önlenmesi, uygun açıyla ve uygun kamerayla görüntü almak gibi şartlar sağlanmalıdır. Uygun ortam sağlandığında kamera tarafından alınan görüntüler işlenmek ve özellik çıkarmak için uygun hale gelir. Buradan da anlaşıldığı gibi görüntülerin kamera tarafından alınması başarı oranını direkt olarak etkilemektedir. Bu yüzden kullanılan kameranın yapılan işe uygun olması ve kamera için uygun yerin belirlenmesi gereklidir. Kameraların görevi bir görüntüyü veya sahneyi işleyerek

elektriksel sinyallere dönüştürmektir. Bu işlem yapılırken temel prensip cisimden yansıyan ışık ışınlarının kameranın lensine düşmesine dayanır. Kamera lensine gelen ışınlar görüntü sensörüne düşürülerek burada işlenir ve elektriksel sinyallere dönüştürülür. Görüntü sensörleri piksel adı verilen görüntü elemanlarından oluşur. Piksel bir görüntüdeki en küçük birimdir. Görüntüden gelen ışınlar sensör üzerine aktarılınca buradaki her piksel değeri bir ışık yoğunluk değerini yakalar. Her pikseldeki yoğunluk değeri o pikselde bir süreliğine depolanır. Bu işlem sırasında ışık yoğunluğu ne kadar fazlaysa sensörde üretilen elektron miktarı da o kadar fazla olur. Üretilen elektronlar bir dönüştürücü yardımıyla sayısal sinyallere dönüştürülür. Günümüzde iki adet görüntü sensörü teknolojisi yaygındır. Bunlar CCD (Charge Coupled Device) ve CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor)'tur. Bu iki görüntü sensörü yapı ve dizayn bakımından birbirlerinden farklılıklar gösterebilir de yaptıkları iş aynıdır. Şekil 2.9' da bu iki sensörün görüntüleri görülmektedir.



Şekil 2.9. CCD (solda) ve CMOS (sağda) sensör

Cisimden gelen ışınlar görüntü sensörüne düştüğünde sadece aydınlık ve karanlık olarak algılanabilmektedir. Herhangi bir renk bilgisi algılanamaz. Görüntü sensörleri renk bilgisini algılayamadığından dolayı önlerine bir filtre konularak her pikselin renk bilgisini algılaması sağlanır. Bu işlem için kullanılan iki yaygın yöntem vardır. Bunlar RGB (Red, Green, Blue) ve CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Green) renk uzaylarıdır. Bu iki renk uzayı içinde temel mantık renk uzayında bulunan renklerden diğer tüm renklerin elde edilebilmesidir. Yani RGB için kırmızı, yeşil ve mavi renklerin belirli oranlarda karıştırılmasıyla diğer tüm renklerin elde edilebilmesidir.



### 2.2.1. CCD Görüntü Sensörleri

CCD (Charge-Coupled Device) sensörler piksel adı verilen ve silisyum içeren küçük noktacıklardan oluşmaktadır. Her piksel üzerine düşen aydınlık yoğunluğuna göre bir elektriksel sinyal üretir. Üretilen bu elektriksel sinyal ADC (Analog-Digital Converter) ile sayısal sinyallere dönüştürülmektedir. CCD görüntü sensörleri bahsedildiği gibi görüntüyü renkli olarak alamaz sadece ışığın yoğunluk değerini fark edebilir. Renklendirme işlemi için görüntü sensörünün önüne bir filtre eklenmelidir.

CCD teknolojisinde her hücre şarj edilmekte ve ana yonga üzerindendeşarj olmaktadır. Bu durumda arka plan gürültüleri azalmakta ve görüntü kalitesi artmaktadır fakat her hücre için yapılan şarj vedeşarj olayının dezavantajı enerji tüketiminin fazla olmasıdır. Genellikle her piksele ait olan akım değerleri bir veya birkaç çıkış noktası kullanılarak elde edilir ve voltaj değerlerine dönüştürülür. Bu durumda pikseller ışığı yakalamak için daha çok kullanıldığından görüntü tektipliği artar ve görüntü kalitesi arttırılmış olur. Mimarisinden dolayı piksellerin ışığı yakalamak için daha fazla zaman harcamalarının bir diğer avantajı da daha iyi bir ışık hassasiyetine sahip olmaları ve loş ortamlarda yüksek kaliteli görüntü alabilmeleridir. Dezavantajı ise ekrana güneş veya lamba ışığı gibi direkt olarak bir ışık kaynağı geldiğinde ekranda parlama ve çizikler oluşarak görüntü kalitesi düşmüş olur. Genel olarak CMOS sensörlere göre daha net ve daha parlak görüntüler elde ederler. Fakat üretim aşamasında oluşan standart dışılık ve yarı iletken teknolojisi ile bütünleşmenin tam olarak sağlanamamasından dolayı boyutları biraz büyüktür ve nispeten pahalıdır.

### 2.2.2. CMOS Görüntü Sensörleri

CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) çipler ilk çıktıkları zamanlarda ışık zaaflarından dolayı zayıf görüntü kalitesi ile çalışmaktaydı. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte CMOS sensörlerin düşük ışıkta çekim yapabilme kalitesi artmış ve kullanılma oranları yükselmiştir. Çipin içinde bütünleşik olarak yükselteç, A/D çevirici bulunmaktadır. Bu bileşenlerin çipin kendi içinde olması sayesinde üretim maliyetleri düşüktür. Her pikselin elektronik olarak birbiri ile iletişim halinde olması yonganın daha fonksiyonel olmasını sağlamıştır. Fakat bu durum gürültü oranının daha yüksek olmasına neden olabilmektedir. Bu gürültüler görüntüde küçük

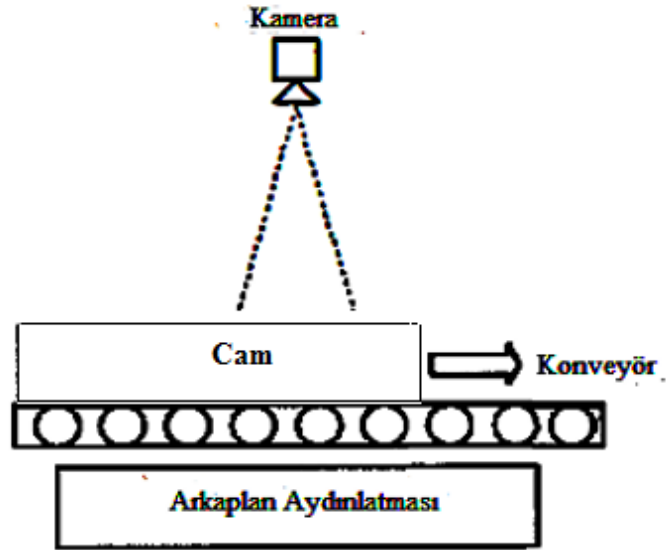
noktalar şeklinde veya çizgiler şeklinde olabilmektedir. Çipin üretim boyutlarının küçük olması sayesinde küçük sistemlere monte edilmesi kolaydır ve CMOS sensörler kullanılarak çok küçük sistemler yapılabilir. CMOS sensörlerde her pikselin değerini ayrı ayrı okumak mümkündür. Çünkü CCD sensörlerde olduğu gibi piksellerin değeri bir ya da birkaç hattan alınmaz. Her piksel için ayrı bir çıkış bulunmaktadır. İyapılarında kullanılan mimari ve yarıiletkenler sayesinde çok düşük gerilimlerde çalışabilirler ve enerji tüketimleri azdır. Fakat kullandıkları ortamda yeterli aydınlatma olmazsa düzgün çalışamazlar ve CCD algılayıcılardan daha yüksek gürültü oranlarına sahiptirler.

### **2.2.3. Kamera Konumunun Belirlenmesi**

Yüzeylerin kalite-kontrolü işleminde alınan görüntüler bilgisayar tarafından işlenmektedir. Yazılan görüntü işleme programı ne kadar gelişmiş olursa olsun işlenen görüntünün niteliği sonuçları büyük ölçüde etkiler. Bunun için programda işlenecek olan görüntüler uygun biçimde alınmalıdır. Bu işlem için öncelikle doğru bir kamera seçilmelidir ve bu seçim işlemi bir önceki bölümde anlatılmıştı. Kamera için diğer önemli husus görüntü alınacak yerin belirlenmesidir. Kameranın konumu görüntüsü alınacak malzemenin yüzey özelliklerini en iyi biçimde belirleyebilecek bir yer olarak seçilmelidir. Bu tez çalışmasında incelenen malzeme cam olduğundan kamera konumu belirlenirken en önemli hususlar camın özellikleri ve aydınlatma sisteminin oluşturduğu durumlardır. Literatürde cam yüzeyi inceleme çalışmaları incelenmiş ve kameranın birkaç farklı şekilde konumlandırıldığı görülmüştür. Fakat görünür ışıkla yapılan aydınlatma tekniklerinde genellikle kamera cam tabakasını tam karşıdan veya yukarıda bir alandan görmektedir. Literatürde görünür ışıkla yapılan bazı çalışmalardan örnekler şu şekildedir;

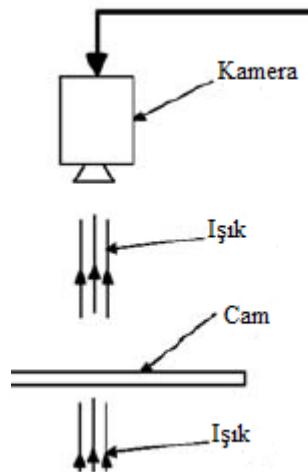
Perng ve ark. tarafından 2007 yılında yapılan çalışmada CCD kamera kullanılarak konveyör izlenmektedir. CRT (Cathode Ray Tube) panelleri konveyörden belirli bir hızla geçmektedir. Kamera konumu tüm CRT panelini ön yüzeyden görecektir şekilde ayarlanmıştır. Kontrolü yapılacak olan panellerin büyüklüğüne göre bu çalışmada kullanılacak kamera sayısı belirlenmektedir. Kameralar CRT panellerinin karşısına konulduğunda ön yüzeyde bulunan hataları algılamakta daha başarılı

olmaktadır. Şekil 2.10' da bahsedilen çalışmada kullanılmış olan kamera ve aydınlatmanın konumu görülmektedir (Peng ve ark., 2007).



Şekil 2.10. Kamera konumu örneği (Peng ve ark., 2007)

Peng ve ark. tarafından 2008 yılında yapılan çalışmada cam yüzeyindeki optik homojenlik, kırılma açısı ve ışığın izlediği yol incelenerek analiz yapılmaktadır. Cam yüzeyinde bir hata algılanması, cam yüzeyinin sabit optik yapısının bozulması anlamına gelmektedir. Tüm bu değişiklikler gri seviye görüntüler üzerinde yorumlanmaktadır. Bunun için kamera cam parçasının tam karşısına ve orta noktasına yerleştirilmiştir. Bu sayede görüntüler istenen açılarda ve en az kayıpla yakalanabilmektedir. Şekil 2.11' de bahsedilen çalışmanın kamera konumları görülmektedir (Peng ve ark., 2008).



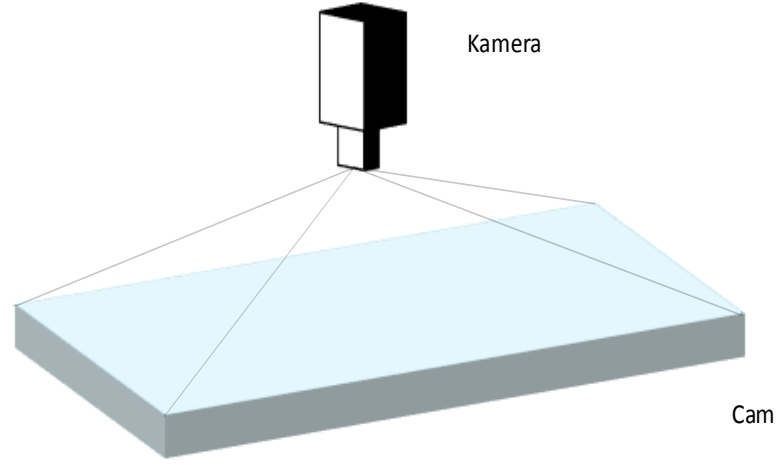
Şekil 2.11. Karşıdan görüntü alma (Peng ve ark., 2008)

Adamo ve ark. 2010 yılında yaptıkları cam yüzeyinde kusur analizi çalışmasında cam tabakasını üstten gören iki adet kamera kullanılmıştır. Kullanılan kameralar USB (Universal Serial Bus) CMOS kameralardır. Konveyör akarken cam tabakası kameraların altına doğru hareket eder. Tam görüş alanına girdiğinde ise kameralar tarafından görüntü alınır. Bu durum belirli zaman aralıklarında otomatik olarak yapılmaktadır yani zamana bağlı bir işlemdir. Bu yüzden görüntü alma işlemi boyunca konveyör hızı değişmemelidir. Şekil 2.12' de bahsedilen çalışmada kullanılan kamera konumu görülmektedir.



Şekil 2.12. Kamera ile üstten görüntü alma (Adamo ve ark., 2010)

Bu tez çalışmasında CMOS kamera tercih edilmiştir. Kullanılan kamera USB yardımıyla bilgisayara bağlanmıştır. Kamera cam yüzeyini ortalayacak şekilde dik olarak tam cam bloğunun karşısına yerleştirilmektedir. Kameranın bu şekilde konumlandırılmasının bazı avantajları vardır. Bunlardan bir tanesi cam yüzeyindeki her alanı tam karşıdan görerek yansımalarından etkilenmeden ölçüm yapılabilmesi içindir. Diğer bir neden ise algılanan hataların boyutlandırılması sırasında en az hatayla boyutlandırma yapılmasının istenmesidir. Boyutlandırma işlemine kamera ile hatalı bölge arasındaki açı  $90^\circ$  'den ne kadar uzaklaşırsa gerçek boyutu belirlemek o kadar karmaşıklaşır. Şekil 2.13' te kameranın prototipe yerleştirilmesi görülmektedir.



Şekil 2.13. Kameranın prototipe uygulanması

Kamera tüm cam bloğunu cam karşıdan görebilecek şekilde ve dik olarak cam bloğunun tam karşısına konumlandırılmıştır.

### 3. GÖRÜNTÜ İŞLEME VE DOKU ANALİZİ ALGORİTMALARI

Görüntü işleme ile ilgili literatürde oldukça fazla çalışma bulunmakta ve hala devam etmektedir. Görüntü işleme kavramının birçok tanımı bulunmaktadır ve bu tanımlar birbirine benzemektedir. Bu tanımlardan bir tanesi şöyledir; görüntü işleme, verilerin yakalanıp ölçme ve değerlendirme işlemine tabi tutulması ve sonra başka bir aygıtta kullanılabilir biçime dönüştürülmesi ya da bir elektronik ortamdan başka bir elektronik ortama aktarılmasına yönelik bir çalışmadır (Gonzalez ve Woods, 2005). Tanımlar incelenip değerlendirildiğinde çoğu tanımda benzer noktalara farklı biçimlerde değinildiği görülmektedir. Anlaşıldığı kadarıyla görüntü işleme genel olarak bir görüntünün alınarak istenilen kriterler neticesinde değerlendirilmesi, değiştirilmesi, düzenlenmesi aşamasıdır. Görüntü kullanılmak istenen duruma göre daha uygun hale getirilmek için değiştirilmektedir. Bu işlemler için görüntünün nelerden oluştuğunu bilmemiz gerekmektedir. Bir resim veya görüntü piksel adını verdiğimiz parçalardan oluşmaktadır. Piksel görüntünün en küçük yapı birimidir. Resmin çözünürlüğüne bağlı olarak resmi oluşturan piksellerin sayısı değişmektedir. Örneğin 16x16 olan bir görüntüde 256 piksel bulunmaktadır. Görüntü işlemede piksellerin büyük önemi bulunmaktadır. Görüntü işlenirken, matrisler haline getirilerek işlemler yapılmaktadır. Her piksel matrisin bir değerini ifade eder. Şekil 3.1’ de basit olarak bu durum görülmektedir. Şekilde 6x6 olan 36 pikselden oluşan bir görüntünün temsili hali görülmektedir. Burada herhangi bir noktayı merkez piksel aldığımızda etrafındaki piksel komşuluklarının konumları gösterilmektedir.

$I_{(x-2,y-2)}$	$I_{(x-1,y-2)}$	$I_{(x,y-2)}$	$I_{(x+1,y-2)}$	$I_{(x+2,y-2)}$	$I_{(x+3,y-2)}$
$I_{(x-2,y-1)}$	$I_{(x-1,y-1)}$	$I_{(x,y-1)}$	$I_{(x+1,y-1)}$	$I_{(x+2,y-1)}$	$I_{(x+3,y-1)}$
$I_{(x-2,y)}$	$I_{(x-1,y)}$	$I_{(x,y)}$	$I_{(x+1,y)}$	$I_{(x+2,y)}$	$I_{(x+3,y)}$
$I_{(x-2,y+1)}$	$I_{(x-1,y+1)}$	$I_{(x,y+1)}$	$I_{(x+1,y+1)}$	$I_{(x+2,y+1)}$	$I_{(x+3,y+1)}$
$I_{(x-2,y+2)}$	$I_{(x-1,y+2)}$	$I_{(x,y+2)}$	$I_{(x+1,y+2)}$	$I_{(x+2,y+2)}$	$I_{(x+3,y+2)}$
$I_{(x-2,y+3)}$	$I_{(x-1,y+3)}$	$I_{(x,y+3)}$	$I_{(x+1,y+3)}$	$I_{(x+2,y+3)}$	$I_{(x+3,y+3)}$

Şekil 3.1. Bir görüntüdeki piksellerin temsili

Görüntüler belirli hedeflere yönelik olarak ultrason, elektron mikroskobu, bilgisayar içerikli görüntüler gibi farklı kaynaklardan alınabilirler. Fakat bu piksel altyapısı aynı kalmaktadır. Yani görüntü hangi kaynaktan alınırsa alınsın piksellerden meydana gelmektedir. Görüntüler için özellik çıkarma, analiz yapma gibi temel işlemlerden önce biraz uygunlaştırma gerekmektedir. Bunun sebebi yapılan bu temel işlemlerin çok hassas olmaları ve bu yüzden ufak gürültülerin sonuca büyük etki etmesidir. Aynı zamanda ana işlemlerin hızlılığı içinde görüntü iyileştirmeleri yapılmaktadır. Tüm bu bahsedilen ana işlemde önceki işlemlere görüntü ön işleme denilmektedir. Görüntü ön işleme uygulamalarında genel amaçlar bulanıklığı azaltmak, gürültüyü azaltmak veya gidermek, parlaklığı uygunlaştırmak, histogramı uygunlaştırmak, netliği artırmak vb. olarak sıralanabilmektedir. Görüntü işleme için genelde düşük, orta ve yüksek seviye içeren işlemler alınan görüntüye uygulanmaktadır. Düşük seviye işlemlerde giriş ve çıkış görüntülerinin alınması ve işlem uygulanması filtreleme ile sağlanmaktadır. Orta düzey işlemlerde görüntüdeki nesnelere tanımlanması, öz niteliklerinin incelenmesini içeren işlemlerdir. Yüksek seviye işlemler ise görüntülerdeki nesnelere tanınmasında, öz niteliklerinin incelenmesinde ve analiz edilmesinde kullanılan ileri seviye işlemlerdir. Görüntülerin bilgisayar ortamında analiz edilmesiyle bu işlemler yapılabilmektedir. Bahsedilen bu düşük, orta ve yüksek seviye işlemlerin bilgisayar ortamında detaylandırılmasıyla görüntü işleme gerçekleşmiş olur (Jahne, 2005).

Görüntü işleme uygulamaları bilgisayar ve bilgisayar gereçlerinin fiyatlarının düşmesiyle oldukça yaygınlaşmıştır. Özellikle son yıllarda oldukça popüler hale gelen görüntü işleme uygulamaları birçok alanda kullanılmaktadır. Bu alanlardan bazıları şunlardır; tıp ve biyoloji alanında, biyomedikal görüntülerin incelenmesi ve işlenmesi, coğrafi bilimlerde haritaların incelenmesi, ormanların izlenmesi, sel ve yangın kontrolünün yapılması, uzay bilimlerinde radar ve uydu görüntülerinin incelenmesi, savunma sanayisinde gece görüş sistemleri ve uzaktan algılama sistemleri, akıllı robotlar ve bunlar gibi pek çok uygulama sayılabilir.

Doku analizi görüntü işleme uygulamalarında büyük öneme sahiptir. Doku sınıflama, hata belirleme, yüzeylerin analizi, nesne tanıma ve bölütleme gibi birçok araştırma konusunda temel bir bölümü oluşturmaktadır. Bu kadar fazla işlemde uygun yeteneklere sahip olması sayesinde uydu görüntülerinden mikroskobik görüntülere kadar neredeyse her alanda kullanılabilir. Çok fazla alanda kullanılabilmesine ve

büyük önem arz etmesine rağmen tam veya kesin bir tanımı bulunmamaktadır (Haralick, 1979). Bazı araştırmacılar dokuyu tanımlamaya çalışmışlardır. Dokunun tekrarlayan bir yapısı olabileceğinden, tekrarlayan yapısı olmayan rastgele dokularında olabileceğinden, görüntüdeki piksellerin birbiri ile olan benzerliğinden ve bölgelerin yoğunluk değişiminden yararlanarak dokunun tanımını yapmaya çalışmışlardır. Fakat her çalışmada farklı malzemeler üzerinde incelemeler yapıldığından doku tanımları o malzeme temel alınarak yapılmıştır. Livens vd. tarafından yapılan tanımlamada; yüzey, görüntünün genelinde veya belirli bölgelerinde bulunan gri seviye piksellerin birbirleriyle yerel komşuluklarına bakılarak bulunabileceğini savunmuşlardır (Livens ve ark., 1997). Bazı araştırmacılar ise dokuyu insan görme sistemine benzeterak tanımlamışlardır. Dokunun benzer bir yapıya sahip olmadığını ama insan gözü tarafından homojen olarak algılandığını ileri sürmüşlerdir. Doku analizi yapılırken temel çıkış noktası, dokunun bir nesnenin veya nesne yüzeyinde bulunan belirli bir bölgenin özelliklerinin araştırılmasıdır. Örnek olarak bir kumaş yüzeyindeki hatalar, dikiş hataları dokuyu bozacağından doku analizi bu kusurları tespit edebilir. Algılanan doku özelliklerini tanımlamak ve yüzeye ait matematiksel modelleri oluşturmak doku analizi için önemli adımlardan biridir. Dokunun ayırt edici özelliği görüntüde bulunan bölgesel farklardır. Yani piksel gruplarının birbirleri ile arasındaki yoğunluk farklılıklarıdır denilebilir. Bu farklılıkları insanın gördüğü biçimde benzetim yaparak modellemek oldukça zordur. Bu yüzden genellikle görüntüden elde edilen özellikler iki boyutlu olarak incelenmektedir.

Dokular genel olarak sınıflandırıldığında en temelde iki grup halinde düşünülebilir. Bunlar tekrarlı olan dokular ve rastgele olan dokulardır. Tekrarlı olan dokular genellikle belirli bir örneği aynen devam ettiren dokulardır. Örnek olarak bir desenin sürekli olarak kendini tekrarlayarak devam ettiği yüzeyler tekrarlı olarak değerlendirilir. Tekrarlı dokular üzerinde işlem yapmak nispeten daha kolaydır. Rastgele olan dokularda belirli bir yüzey deseni veya olması beklenen bir desen öngörüsü yoktur. Bu tür dokular gerçek hayatta daha fazla karşımıza çıkmaktadır. Örneğin cam yüzeyinde hata arama işleminde beklenen bir desen yoktur ve hataların nerede ve nasıl olacağı önceden bilinemez. Bu durumda cam üzerinde hata analizi yapılırken rastgele doku analizi anlayışına göre bir algoritma geliştirilmelidir. Fakat cam yüzey analizinde işlemleri kolaylaştırmak için pürüzsüzlüğü bir desen olarak kabul edip, pürüzsüzlüğün bozulduğu bölgeleri hatalı olarak değerlendirebiliriz.



### 3.1. Cam Hata Analizi İçin Kullanılabilecek Yöntemler

Bu tez çalışmasında cam yüzeyinde hata analizi yapılması işleminde belirli algoritmalarından yararlanılmıştır. Bu algoritmaların seçilmesinin ve sonuçların karşılaştırılmasının sebebi cam üzerindeki çiziklerin ve kusurların bulunması işleminde iyi sonuçlar vermeleridir. Algoritmaların kullandığı yöntemler ve görüntüyü analiz etme biçimleri farklılıklar gösterse de aynı problem üzerinde birkaç değişiklik ile kullanılabilirler. Örneğin kenar belirleme algoritmaları kullanılarak resimde pikseller arasındaki değişimlerden faydalanarak kenarlar belirlenir. Cam üzerinde kusurlu bölgeler ile normal bölgeler arasında da böyle bir yoğunluk geçişi bulunmaktadır. Bahsedilen özellikler kullanılarak yapılan analiz ile kenar belirleme algoritmaları kullanıldıktan sonra hata analizi yapılabilir. Fakat diğer algoritmalar kadar başarılı olup olamayacağı uygulamaya göre değişmektedir veya Gabor filtresi ile analiz yapılırken her yönelim açısı için yüzey incelenir ve inceleme açısının yönelimine göre görüntünün yüzey özellikleri çıkarılır. Sonuç olarak her yönelim açısının sonucunda elde edilen özellikler toplanarak resim yoğunluk farkları ile hatalar belirlenir. Cam yüzeyinin yapısı ve oluşabilecek hatalarda yüzeyin nasıl değişebileceğini bilirsek farklı yöntemler ile analizler yapmak mümkün olmaktadır. Bu tez çalışmasında da farklı yöntemler uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

#### 3.1.1. Kenar Belirleme Algoritmalarının Yüzey Analizinde Kullanılması

Kenar belirleme algoritmalarının çalışma prensibinin anlaşılabilmesi için öncelikle kenar nedir onun incelenmesi gerekmektedir. Kenar görüntüde bulunan nesnenin sınırlarının ve lokasyonunun bilgilerini verebilen, görüntü işleme uygulamaları için oldukça önemli olan bir özelliktir. Görüntü içerisinde bir nesne kendi homojen yoğunluğuna sahiptir. Bu yoğunluğun değiştiği noktalar nesnenin kenarları olarak adlandırılabilir. Bahsedilen kenar tanımından yola çıkılarak kenar belirleme algoritmalarının görüntü içindeki yoğunluk farkına göre çalıştığı sonucuna varılabilir. Günümüzde birçok farklı kenar belirleme algoritması olmasına ve bu algoritmaların daha iyi sonuç alabilmek için farklı şekillerde çalışmasına rağmen yaptıkları temel işlev birbirlerine komşu olan piksellerin yoğunluk değerlerini hesaplamak ve dikkate değer bir yoğunluk geçişi olup olmadığına bakmaktır. Kenar belirleme algoritmaları birçok uygulamaya temel teşkil eden nesne tanıma, hedef izleme, bölütleme gibi uygulamaların

ilk aşamalarından biri olduğundan görüntü işlemede çok önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada kenar belirleme algoritmaları ile cam yüzeyindeki hataların belirlenmesi denenmiştir. Bahsedilen işlem sırasında kenar bulma algoritmalarının bazı özellikleriyle cam yüzey hatalarının özelliklerinin benzerliğinden yararlanılmıştır. Örneğin kenar bir görüntüde bulunan herhangi bir bölgenin veya tüm görüntüde aydınlatma veya yüzey yansımaları gibi fiziksel bir farklılık sonucu oluşan önemli bir değişimdir. Aynı şekilde cam yüzeyinde hata analizi yapılırken de cam yüzeyinde oluşan hatalar tüm yüzeye göre bir fiziksel farklılık oluşturur. Bu fiziksel farklılık kamera tarafından yoğunluk değişimi olarak algılanacağından kenar bulma algoritmaları ile yakalanabilir. Bu işlemin daha kolay yapılabilmesi için görüntüler genellikle gri seviyeye dönüştürülmektedir. Gri seviye görüntülerde her piksel yoğunluk durumuna göre 0-255 arasında bir değer almaktadır.

Bir görüntüdeki fiziksel değişimin önemi ve bu değişimler ile kenarların belirlenmesi uygulamaya bağlıdır. Bazı uygulamalarda kenar olarak adlandırılan parlaklık değişimi diğer uygulamalarda kenar olarak incelenmeyebilir. Bir nesne tanıma sisteminde nesnenin sınırları kenarlar ile belirlenebilmektedir. Bir yoğunluk değişimini kesin olarak kenar diye tanımlamak doğru olmaz. Kenarlar uygulamanın çeşidine ve kriterlerine göre değişiklik gösterebilir.

Kenar belirleme işleminde görüntüdeki gürültülerin ve görüntü özelliklerinin sonuçlar üzerinde önemli etkileri vardır. Bu etkileri azaltmak için çeşitli kenar bulma algoritmaları geliştirilmiştir. Gradient tabanlı kenar bulma operatörlerinde görüntünün birinci türevi alınarak maksimum ve minimum noktaları aranmaktadır. Gradient değeri yüksek olan noktalar kenar bölgeler olarak değerlendirilmektedir. Laplacian tabanlı kenar belirleme operatörlerinde ise görüntünün ikinci türevi alınarak sıfır geçiş noktalarına bakılmaktadır. Keskin olan noktaları belirlemek için bir yöntemdir fakat gürültülerden oldukça etkilenmektedir. Bunun için kenar bulma işleminde görüntü yumuşatılmaktadır.

Başlıca kenar bulma algoritmaları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

#### 1) Gradyent Kenar Bulma Algoritması

- a) Robert Metodu
- b) Sobel Metodu
- c) Prewitt Metodu

- 2) LoG (Laplacian of Gradient) Kenar Bulma Algoritması
- 3) Canny Kenar Bulma Algoritması

### 3.1.1.1. Gradient Tabanlı Kenar Belirleme Algoritmaları

Gradient tabanlı kenar belirlemede görüntünün ilk türevinin minimum ve maksimum olduğu noktalar belirlenir. Bu noktalara bakılarak kenar olabilecek pikseller bulunur. Kenarlar belirlenirken yüksek gradient değerine sahip olan pikseller kenar pikselleri oluşturmaktadır. Parlaklık oranındaki değişimler görüntüdeki minimum ve maksimum değerleri etkileyeceğinden parlaklık kenar belirleme uygulamaları için önem arz etmektedir.

$$\nabla I(x, y) = \frac{\partial I(x, y)}{\partial x} \cos\theta + \frac{\partial I(x, y)}{\partial y} \sin\theta \quad (3.1)$$

Kenar şiddeti gradient değerinin büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Eşitlik 3.1' de  $I(x, y)$  görüntü fonksiyonunu,  $\nabla I(x, y)$  ise  $(x, y)$  koordinatlarındaki gradient değerini temsil etmektedir.

**Roberts Kenar Belirleme Algoritması:** Roberts kenar bulma operatörü (Roberts, 1963) basit bir yapıya sahiptir ve hızlı biçimde işlem yapmaktadır. Şekil 3.2' de görüldüğü gibi 2x2'lik konvolüsyon kernellerine sahiptir. Bu iki kernelde birbirinin 90° döndürülmüş halidir.

1	0
0	-1

0	1
-1	0

Şekil 3.2. Robert kernelleri

Şekil 3.2' de görülen kerneller görüntü üzerine sırası ile uygulanır ve daha sonra toplanarak kenar görüntüleri elde edilmektedir.

**Sobel Kenar Belirleme Algoritması:** Sobel filtresi (Sobel, 1970) iki boyutlu görüntüler üzerine uygulanabilir. İki boyutlu görüntüler üzerinde, görüntünün uzamsal

granyanlarını belirler ve böylece ölçtüğü bu uzamsal eğimin yüksek olduğu pikselleri saptayabilir. Sobel kenar bulma metodunda Şekil 3.3' te görüldüğü gibi 3x3 lük bir çift konvolüsyon maskesi kullanılır. Kullanılan konvolüsyon maskeleri aşağıda gösterilmektedir. İki konvolüsyon maskesini de incelersek görürüz ki bir maske sadece diğer maskenin 90° döndürülmüş halidir. Temel mantık olarak incelendiğinde Robert maskesine çok benzerdir.

1	2	1	-1	0	1
0	0	0	-2	0	2
-1	-2	-1	-1	0	1

Şekil 3.3. Sobel kernelleri

**Prewitt Kenar Belirleme Algoritması:** Prewitt operatörü (Prewitt, 1970) birçok özellik bakımından sobel operatörü ile benzerlik göstermektedir. Şekil 3.4' te görüldüğü gibi 3x3 boyutlarında 2 adet kernel haritasına sahiptir. Gradient tabanlı bir kenar belirleme operatörüdür ve bu özellikleri taşımaktadır. Roberts operatörü ile karşılaştırıldığında daha karmaşık resimlerde başarısı daha fazladır.

-1	0	1	-1	-1	-1
-1	0	1	0	0	0
-1	0	1	1	1	1

Şekil 3.4. Prewitt operatörü

### 3.1.1.2 Laplacian Tabanlı Kenar Belirleme Algoritması

Bir görüntünün laplacianı görüntüdeki hızlı değişen yoğunluk bölgelerini ortaya çıkarmaktadır. Bu özelliğinden dolayı kenar bulma için kullanılabilir. LoG filtresi (Maini ve Aggarval, 2009) görüntünün ikinci türevini alarak sıfır geçiş noktalarına bakmaktadır. Görüntünün ikinci türevi alındığından dolayı gürültülere karşı oldukça hassastır. Bunun için görüntüye önce Gaussian smooth filtresi uygulanarak

gürültüler azaltılmakta ve daha sonra laplacian uygulanmaktadır. Laplacian piksel yoğunluk değeri Eşitlik 3.2' deki gibi hesaplanmaktadır.

$$L(x, y) = \frac{\partial^2 I}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I}{\partial y^2} \quad (3.2)$$

Gürültü seviyesinin az olduğu uygulamalarda oldukça başarılı sonuçlar veren LoG filtresi için sık kullanılan 3x3'lük kernel haritaları Şekil 3.5' te görülmektedir.

1	1	1	-1	2	-1
1	-8	1	2	-4	2
1	1	1	-1	2	-1

Şekil 3.5. LoG kernel kalıpları

### 3.1.1.3 Canny Kenar Belirleme Algoritması

Canny kenar belirleme algoritması (Canny, 1986) en uygun kenar belirleme algoritması olarak bilinen ve uygulamalarda en sık kullanılan kenar belirleme algoritmasıdır. Algoritmayı bulan kişi olan Canny yaptığı çalışmalarda o güne kadar olan kenar belirleme algoritmalarını bir takım kriterler belirleyerek iyileştirme yoluna gitmiştir. Belirlediği listede en önemli bölüm algılamada düşük hata oranının yakalanmasıdır. Diğer bir kriter ise belirlenen kenarların lokasyonunun doğru olmasıdır.

Canny kenar belirleme algoritmasının temel çalışma mantığında ilk yapılan adım görüntüdeki gürültülerin temizlenmesidir. Çünkü gürültüler görüntüde bulunan nesnelerin sınırlarının belirlenmesinde hatalara yol açabilmektedirler. Daha sonraki adımda ise sobel, prewitt gibi bir operatör kullanılarak görüntünün iki boyutlu olarak  $(G_x, G_y)$  yoğunluğunun türevi alınarak gradient değerleri bulunmaktadır. Şekil 3.6' da bunun için kullanılacak 3x3'lük kernel haritası çifti görülmektedir.

-1	0	1	1	2	1
-2	0	2	0	0	0
-1	0	1	-1	-2	-1
G <sub>x</sub>			G <sub>y</sub>		

Şekil 3.6. Canny gradient değerleri için kerneller

Eşitlik 3.3' te gradient yoğunluğunu hesaplamak için kullanılan formül verilmiştir.

$$|G| = \sqrt{|G_x|^2 + |G_y|^2} \quad (3.3)$$

Bir sonraki adımda kenar bölgelerin doğrultuları, hesaplanan gradientin  $x$  ve  $y$  yönlerine bakılarak bulunmaktadır. Daha sonra belirli açılarda (sıklıkla  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ) pikseller taranarak gradientlerin yönü belirlenmektedir. Kenar yönleri belirleme işlemi bittikten sonra maksimum olmayan noktalar bastırılarak kenar olmayan noktalar 0 seviyesine düşürülmektedir. Canny kenar belirleme algoritmasının son aşaması olarak ise resme eşikleme işlemi uygulanmaktadır. Eşikleme işleminde belirli bir  $T$  değeri sınır olarak seçilmekte ve altta kalan pikseller ve üstte kalan pikseller gruplanarak resim siyah-beyaz hale dönüştürülmektedir.

### 3.1.2 Dalgacık Dönüşümü ile Yüzey Analizi

Cam yüzeyi hatalarının incelenmesi işleminde denenen yöntemlerden bir tanesi de dalgacık dönüşümüdür. Dalgacık dönüşümü anlatılmadan önce daha iyi anlaşılabilmesi için bu bölümde öncelikle Fourier Dönüşümü anlatılacaktır. Temel kavramın ve yöntemlerin nasıl geliştiğinin bilinmesiyle dalgacık dönüşümü daha iyi anlaşılacaktır.

#### 3.1.2.1 Fourier Dönüşümü

İşaretlerin analizinde kullanılan Fourier dönüşümü günümüze kadar gelmiş en bilinen ve en sık kullanılan yöntemlerden birisidir. Fransız matematikçi Joseph Fourier

(1770-1830) tarafından periyodik işaretlerin incelenmesi için bulunmuştur. Daha sonraki zamanlarda geliştirilerek periyodik olmayan işaretlerin incelenmesinde de kullanılmıştır. Fourier dönüşümüne göre bütün periyodik fonksiyonlar, katsayıları ve frekansları incelenen sinyalin özelliklerine göre seçilmiş birçok sinüs veya kosinüs dalgalarından oluşmaktadır. Fourier dönüşümü yapılarak bir sinyal matematiksel olarak ifade edilip zaman domeninden frekans domenine aktarılır. Bunun sebebi, birçok sinyalin en önemli ve araştırılmaya değer frekans domeninde incelenebilmesidir. Bu yüzden zaman domeninde kaydedilmiş sinyallerin frekans domenine geçirilmesi gerekmektedir. Bu işlem Fourier dönüşümü kullanılarak yapıldığı zaman çok ciddi bir sorunla karşılaşmaktadır. Frekans domenine geçildiğinde zamanla ilgili bilgiler kaybolmaktadır. Yani sinyalin neresinde olduğumuz veya incelediğimiz kısmın hangi zaman dilimine karşılık geldiğini bilemeyiz. Eğer incelenen sinyal düz bir sinyalse veya belirli bir deseni takip ediyorsa bu sorun olmaz. Çünkü sinyalin davranışı zaman ilişkisinde sıra dışı bir şey olmayacağını biliriz. Ama pratikte birçok işaret böyle değildir. Pratikte karşılaştığımız sinyaller ya sürekli olarak değişmekte yada zamanın bir anında aniden değişmektedir. Bu durum yakalanamazsa büyük problemlere yol açabilir. Genel Fourier dönüşümü Eşitlik 3.4' te görüldüğü gibi ifade edilmektedir.

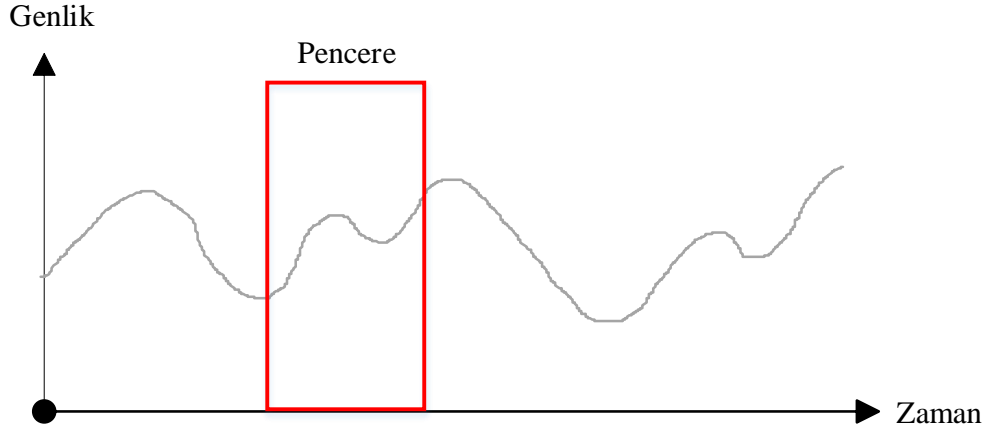
$$F(w) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (3.4)$$

Eşitlik 3.4' te  $t$  zamanı,  $j$  sanal kısmı,  $w$  ise frekans bilgilerini içermektedir. Fourier dönüşümü kullanılarak sinyal analizi yapıldıktan sonra yine zaman domenine geçmek için Ters Fourier Dönüşümü kullanılmaktadır. Bu yöntemin en önemli avantajı hiçbir bilgi kaybı olmadan tersinebilir olmasıdır. Eşitlik 3.5' te ters fourier dönüşümü formülü verilmiştir.

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(w)e^{j\omega t} dt \quad (3.5)$$

Fourier dönüşümünün sahip olduğu bazı dezavantajlardan dolayı kısa süreli fourier dönüşümünün ortaya çıktığını söylemiştik. Kısa süreli fourier dönüşümünde işaret belirli parçalara bölünmekte ve her parçaya fourier dönüşümü uygulanmaktadır. Fourier analizi yapılırken işaretleri iki biçimde ayırabiliriz. Bunlar frekansı zamana göre değişmeyen yani durağan sayılan işaretler ve frekans bileşenleri zamanla değişen yani durağanlığı olmayan işaretlerdir. Bahsedildiği gibi klasik fourier dönüşümü durağanlığı

olmayan işaretler için uygun değildir. Bunun sebebi işarettaki frekans bileşenlerini gösterirken bu bileşenlerin zamanın neresinde olduğu hakkında bilgi vermemesidir. Bu önemli eksikliği gidermek için kısa süreli fourier dönüşümü (KSFD) geliştirilmiştir. Bu yöntemde temel mantık durağan olmayan bir işaretin parçalara bölünmesi ve bu parçaların durağan kabul edilmesidir. Böylece Şekil 3.7’ de görüldüğü gibi bu parçalara pencereleme yapılarak zaman bilgisine de ulaşılabilmektedir.



Şekil 3.7. Kısa süreli fourier dönüşümünde pencereleme

Kısa süreli fourier dönüşümünü etkileyen en önemli faktör pencerelerin seçilmesidir. Pencerenin sonsuz uzunlukta seçilmesi mükemmel frekans çözünürlüğü sağlar. Fakat yine zaman bileşeni hakkında bilgi elde edilemez ve bu durumda klasik fourier dönüşümü yapılmış olur. Pencere seçiminde prensip şöyledir;

- Dar pencereler kullanılırsa daha iyi zaman çözünürlüğü elde edilir.
- Geniş pencereler kullanılırsa daha iyi frekans çözünürlüğü elde edilir.

### 3.1.2.2 Dalgacık Dönüşümü

Dalgacık dönüşümü, farklı frekansa sahip olan işaretleri farklı çözünürlüklerde analiz eden bir sinyal işleme yöntemidir. Bu yöntemde bazı kaynaklarda çoklu çözünürlük analizi de denmektedir. Dalgacık dönüşümü, “dalgacık” adı verilen ve işaretlere uygulanması sırasında frekansı veya zaman çözünürlüğü değiştirilebilen küçük sinyallerin kullanılması ile gerçekleştirilmektedir. Dalgacıkların ortalamaları genellikle sıfırdır ve sonlu enerjiye sahip fonksiyonlardır.



Sinyallerin çoğu zamana bağlı olarak kaydedilmekte ve zaman düzleminde çizdirilmektedir. Fakat sinyaller ile ilgili önemli bilgiler frekans domeninde bulunur. Bunun için işareti işlerken zaman domeninden frekans domenine geçiş yaparız. Frekans domenine geçtiğimizde fourier dönüşümünün zaman bilgilerini vermediğinden bahsetmiştik. Dalgacık dönüşümünde ise, dalgacığın bileşenlerinin işaretin lokal bölge özelliklerine göre değiştirilerek uygulanması sayesinde hem frekans hem de zaman bileşeni hakkında bilgi elde edilir. Dalgacık dönüşümü yüksek frekanslarda iyi zaman çözünürlüğü ve kötü frekans çözünürlüğü, düşük frekanslarda ise iyi frekans çözünürlüğü ve kötü zaman çözünürlüğü elde edecek şekilde tasarlanır. Yani pencere genişliğine bakarsak; yüksek frekanslarda dar pencereler, düşük frekanslarda geniş pencereler kullanılır.

### 3.1.2.2.1 Sürekli Dalgacık Dönüşümü

Sürekli dalgacık dönüşümü, bir ana dalgacık fonksiyonunun ötelenerek ve ölçek değerinin de değiştirilmesiyle ana dalgacık fonksiyonuna uygulanmasıyla oluşmaktadır. Sürekli dalgacık dönüşümü sinyale uygulandığında ve tüm katsayı değerleri için işlem tamamlandığında birçok dalgacık katsayısı elde edilir. Eşitlik 3.6' da kullanılan genel formül verilmiştir.

$$SDD_{\Psi}x(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)\Psi_{a,b}^* d(t) \quad (3.6)$$

Eşitlik 3.6'da  $x(t)$  orijinal işaret,  $\Psi(t)^*$  ana dalgacık fonksiyonunun kompleks eşleniği, ve  $a, b$  parametreleri sırasıyla ölçekleme ve kaydırma parametrelerini göstermektedir. Bir dalgacığın ölçeklenmesi basitçe şu şekilde anlatılabilir; dalgacığın sıkıştırılması ya da genişletilmesidir. Yani bundan sonra ölçekleme değerinden bahsedildiğinde dalgacığın ne kadar sıkıştırıldığından veya ne kadar genişletildiğinden bahsedilmiş demektir. Kaydırma ise, dalgacığı geciktirme veya hızlandırma gibi düşünülebilir. Yani dalgacık normalde olması gereken yerden ya daha ileri alınır ya da daha geri çekilmektedir. Dalgacıklar, ana dalgaya bu kaydırma veya ölçekleme işlemlerinin uygulanmasıyla elde edilmektedir. Sürekli dalgacık dönüşümü kullanılırken ilk olarak bir dalgacık seçilir ve işarete uygulanır. Dalgacık ile işaretin uygulandığı kısmın ne kadar benzediğine ilişkin bir katsayı hesaplanır. Katsayı değeri ne kadar yüksek çıkarsa bu durum benzerliğin o oranda yüksek olduğunu gösterir. Daha sonra

dalgacık sağa doğru kaydırılarak bahsedilen işlemler tekrar yapılarak bu kısım içinde bir benzerlik katsayısı daha hesaplanır. Tüm işaret taranana kadar bu işlem gerçekleştirilir. Daha sonra dalgacık yeniden ölçeklenerek adım adım tüm işarete uygulanır. Bu işlem tüm ölçek değerleri için yapılmaktadır ve oldukça zaman alıcıdır. İşlem tamamlandığında işaretin tüm bölümleri için farklı ölçeklerde belirlenmiş sürekli dalgacık dönüşümü katsayıları elde edilir. Ölçek değerleri şu şekilde yorumlanabilir; yüksek ölçek daha fazla uzatılmış dalgacık, düşük ölçek daha kısa dalgacık anlamına gelmektedir. Eğer yüksek ölçeklerde dalgacıklar kullanacaksak daha kaba analiz sonuçları elde ederiz. Düşük ölçek özellikleri; daha sıkıştırılmış bir dalgacık vardır, hızlı değişen sinyallerdeki detayları elde etmek için yararlıdır. Yüksek ölçek özellikleri; daha büyük, geniş bir dalgacık vardır, yavaş ve ani olmayan değişimlerin incelenmesinde kullanılabilir, düşük frekans bileşenleri için uygundur.

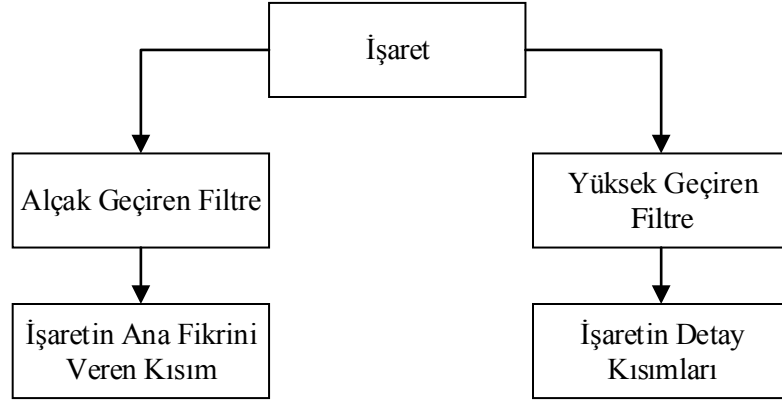
### 3.1.2.2.2 Ayrık Dalgacık Dönüşümü

Bir önceki bölümde bahsedilen sürekli dalgacık dönüşümünde tüm sinyal her ölçek için incelenmekte ve bütün dalgacık katsayıları belirlenmektedir. Yapılan bu analiz hem fazla iş yüküne hem de gereksiz fazla veriye sebep olmaktadır. Bunun önüne geçilebilmesi için sinyale sürekli olarak değil, belirli bölümlere ayırarak dalgacık dönüşümü uygulanmıştır. Bu işlem ayrık dalgacık dönüşümü uygulanmasıyla yapılmaktadır. Ayrık dalgacık dönüşümünde ölçek ve konum değerleri iki ve ikinin katları seçilirse sonuçlar sürekli dalgacık dönüşümünde olduğu kadar hatasız olmaktadır. Bu yöntem kullanılarak gereksiz bilgi fazlalığından ve fazla işlem yapılarak harcanan zaman kaybından tasarruf edilmektedir. 1988 yılında Mallat tarafından tasarlanan bu algoritma iki kanal yan bant kodlayıcı olarak da adlandırılmaktadır. Ayrık dalgacık dönüşümünün hızı sürekli dalgacık dönüşümüne göre oldukça hızlıdır.

Ayrık dalgacık dönüşümü uygulaması temel noktalardan bakıldığında aslında sürekli dalgacık dönüşümünden çokta farklı değildir. Ayrık dalgacık dönüşümünde ölçekleme ve kaydırma parametreleri olan  $a$  ve  $b$  yerine  $a=a_0^m$ ,  $b=n.b_0$ .  $a_0^m$  parametreleri yazılabilir. Tanımlanan  $a_0$  ve  $b_0$  sabit sayılar olup  $a_0 > 1$  ve  $b_0 > 0$  koşulları sağlanmalıdır. Bu durumda ayrık dalgacık dönüşümü Eşitlik 3.7' deki gibi olur.

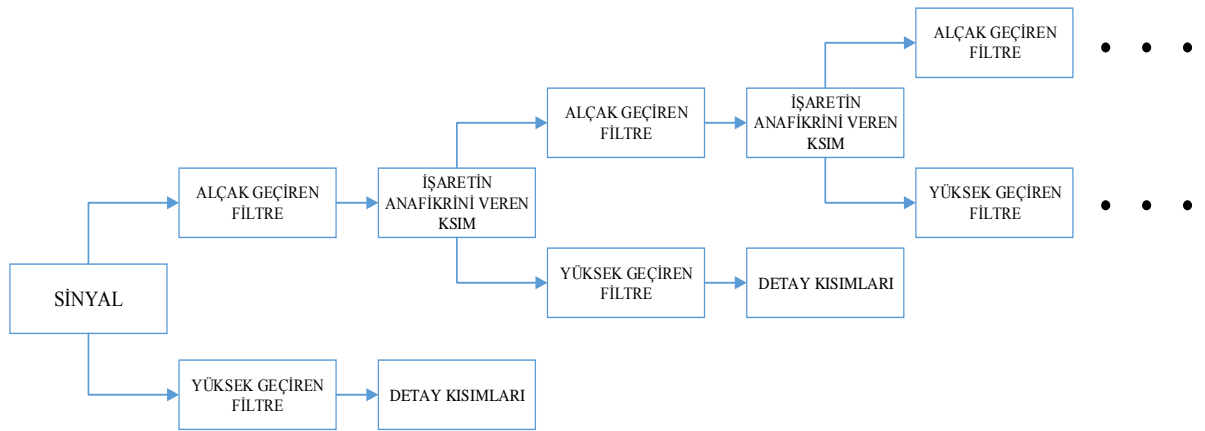
$$ADD_{\Psi}x(m, n) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)\Psi_{m,n}^* d(t) \quad (3.7)$$

**Tek Seviyeli Filtreleme:** İşaretlerde düşük frekans bileşenleri ve yüksek frekans bileşenleri bulunmaktadır. Düşük frekans bileşenleri işaretin genel davranışını verir. Yani işarettaki gürültülerin azaltılmış haliyle işaretin nasıl görüneceği hakkında fikir verir. Yüksek frekans bileşenleri ise işaretle ilgili olan detay bilgileri vermektedir. Bazı durumlarda yüksek frekans bilgileri gürültülerden oluşmaktadır. Tek seviyeli filtrelemede Şekil 3.8’ de görüldüğü gibi sinyal iki adet filtreden geçirilerek bileşenlerine ayrılmaktadır.



Şekil 3.8. Tek seviyeli filtreleme

**Çok Seviyeli Filtreleme:** Tek seviyeli filtreleme işlemlerinde uygulanan adımlar tekrarlanarak sürdürülebilir. Bu işlem işaret en basit haline gelene kadar devam ettirilir. Teoride bu tekrarlama işlemi sonsuza kadar sürdürülebilir fakat uygulamalarda sinyalle ilgili istenen özellikler elde edildiğinde işlem durdurulur. Tekrar filtreleme uygulanırken yeni işlem her zaman işaretin ana fikrinin bulunduğu kısma uygulanmaktadır. Şekil 3.9’ da çok seviyeli filtreleme işlemi gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Çok seviyeli filtreleme

### 3.1.2.2.3 İki Boyutlu Dalgacık Dönüşümü

İki boyutlu dalgacık dönüşümünde en basit yaklaşım bir boyutlu dalgacığın tensör çarpımıyla çarpılarak 2 boyutlu dalgacık haline getirilmesidir (Mallat, 1989). Yapılan bu işlem sonucunda 4 adet farklı dalgacık fonksiyonu elde edilir. Bunlar; bir adet ölçekleme fonksiyonu  $\Phi$ , yatay dalgacık  $\Psi^H$ , dikey dalgacık  $\Psi^V$ , köşegen değerleri için diagonal dalgacık  $\Psi^D$  olarak adlandırılır. Bu dalgacıkların oluşumu  $\Phi$  dalgacığıyla ona karşılık gelen  $\Psi$  dalgacık fonksiyonlarının çarpımlarıyla gerçekleşmektedir. Dalgacıkların elde edilişi Eşitlik 3.8 - Eşitlik 3.11' de gösterilmektedir.

$$\Phi(x, y) = \Phi(x) \cdot \Phi(y) \quad (3.8)$$

$$\Psi^H(x, y) = \Psi(x) \cdot \Phi(y) \quad (3.9)$$

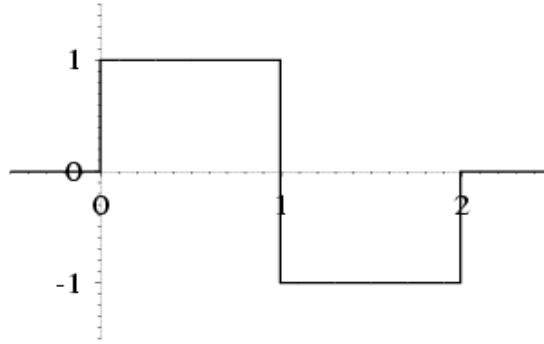
$$\Psi^V(x, y) = \Phi(x) \cdot \Psi(y) \quad (3.10)$$

$$\Psi^D(x, y) = \Psi(x) \cdot \Psi(y) \quad (3.11)$$

Bu dalgacık fonksiyonları kullanılarak iki boyutlu görüntülerde yoğunluk seviyesi değişimleri, farklı yönelimlerdeki gri seviye değişimlerini ölçebiliriz. Yönelim değişimleri ölçülürken  $\Psi^H$  sütunlardaki değişimleri yani yataydaki değişimleri,  $\Psi^V$  satırlardaki değişimleri yani dikeydeki değişimleri,  $\Psi^D$  ise köşegenler ile ilgili olan değişimleri ölçer. İki boyutlu dalgacık dönüşümünde incelenen işaret yada görüntü bileşenleri her ayrıştırmada 4 alt banda ayrışır. Bu bantlar işaretin yaklaşıklık bilgisini ve 3 adet detay bilgisini içerirler. Elde edilen alt bantlara kısaca *LL*, *LH*, *HL*, *HH* adı verilmektedir. *LL* yaklaşıklık ile ilgili katsayıları, *LH* yataydaki katsayıları, *HL* dikeydeki katsayıları, *HH* diagonal katsayıları ile ilgili olan verileri içermektedir. Eğer ayrıştırma işlemi seviyesi arttırılmak isteniyorsa yine *LL*'ye daha fazla dalgacık dönüşümü uygulanır.

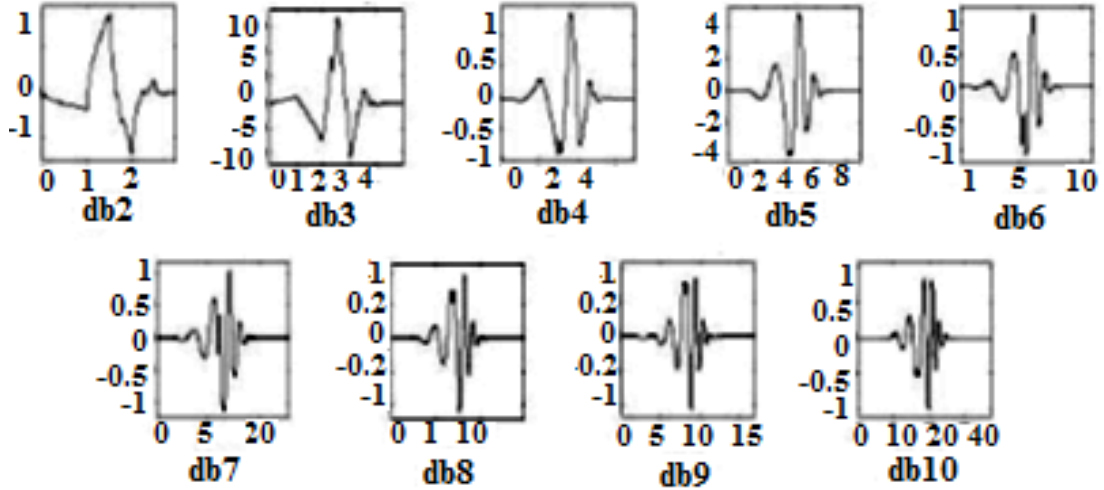
### 3.1.2.3 Dalgacık Ailesi

Dalgacık ailesinin ilk ve en basit üyesi Haar dalgacık fonksiyonudur. Birim basamak fonksiyonuna benzer bir şekle sahiptir ve bu dalgacık Şekil 3.10' da görülmektedir.



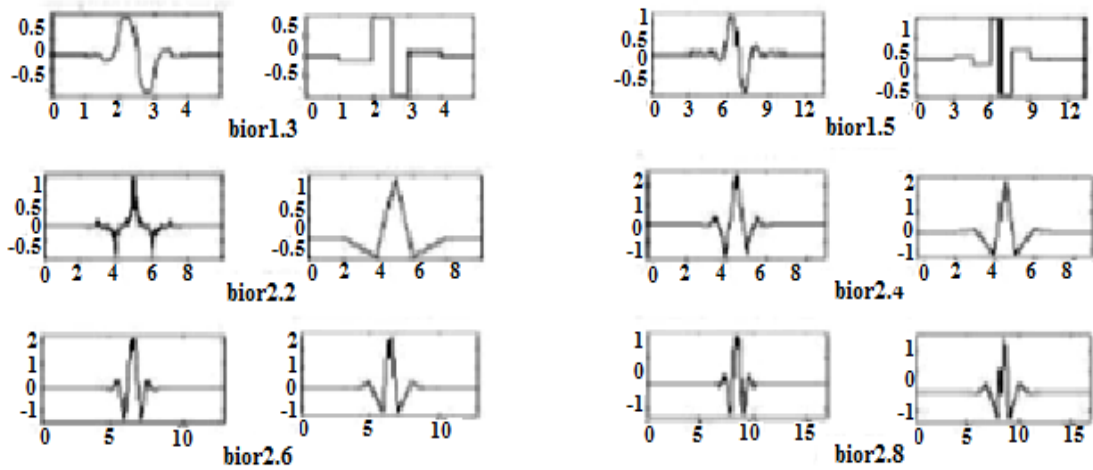
Şekil 3.10. Haar dalgacığı (Misiti, 1996)

Diğer bir dalgacık olan Daubechies dalgacığı, Ingrid Daubechies tarafından bulunmuştur ve ayrık dalgacık dönüşümünü oldukça kolay hale getirmiştir. İlk dalgacık Haar dalgacığı ile aynıdır. Bu dalgacık çeşitleri dbN olarak adlandırılır. Şekil 3.11' de bu dalgacık türleri görülmektedir.



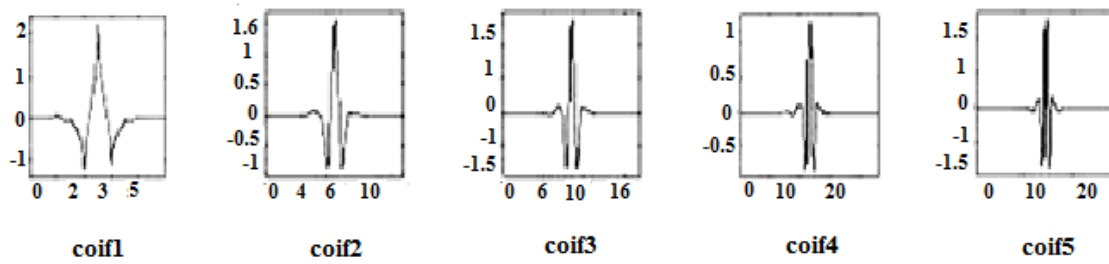
Şekil 3.11. Deubechies dalgacıları (Misiti, 1996)

Diğer dalgacık türü biorthogonal dalgacıdır. İşaret ve görüntülerin yeniden yapılandırılmasında sıklıkla kullanılır. Şekil 3.12' de biorthogonal dalgacık çiftleri gösterilmektedir.



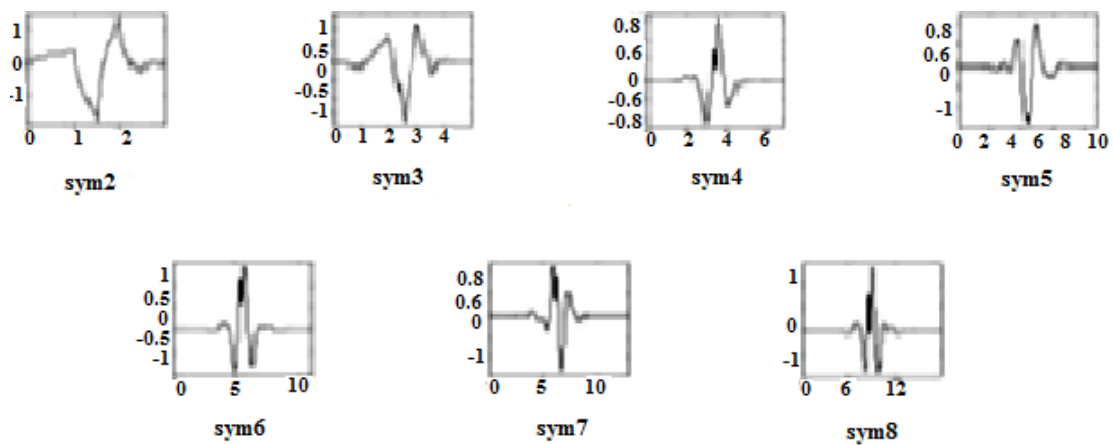
Şekil 3.12. Biorthogonal dalgacık çiftleri (Misiti, 1996)

Dalgacık ailesinin bir üyesi de Coiflets dalgacıklarıdır. Şekil 3.13’ de Coiflets dalgacıkları görülmektedir.



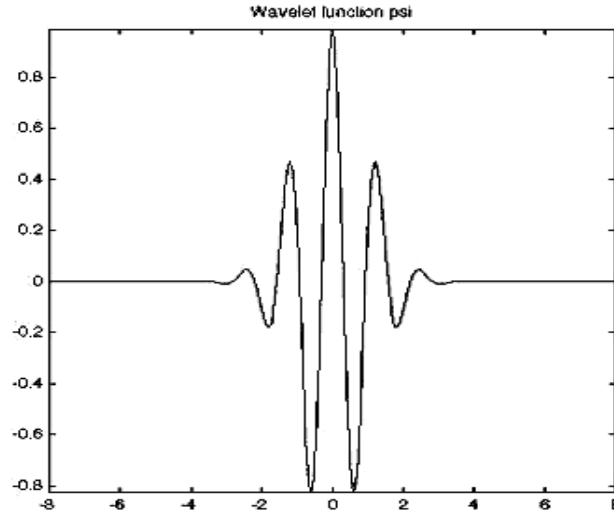
Şekil 3.13. Coiflets dalgacıkları (Misiti, 1996)

Symlets dalgacıkları dbN dalgacık ailesinin iyileştirilmesiyle oluşturulmuştur. Bu iki dalgacık ailesi benzer özelliklere sahiptir. Şekil 3.14’ te Symlets dalgacık ailesi görülmektedir.



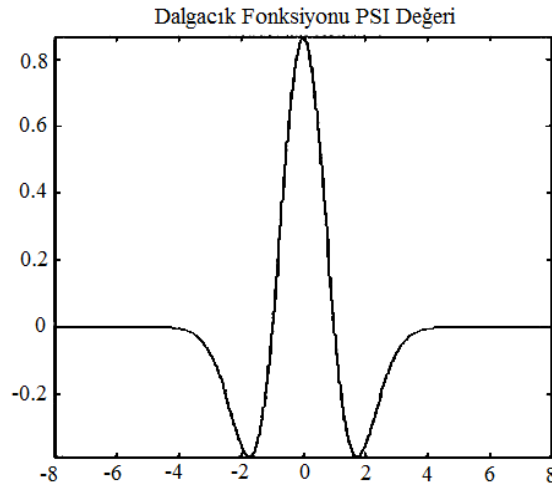
Şekil 3.14. Symlets dalgacık ailesi (Misiti, 1996)

Morlet dalgacığı ölçekleme fonksiyonuna sahip olmayan basit bir dalgacığtır. Şekil 3.15' te bu dalgacığ görölmektedir.



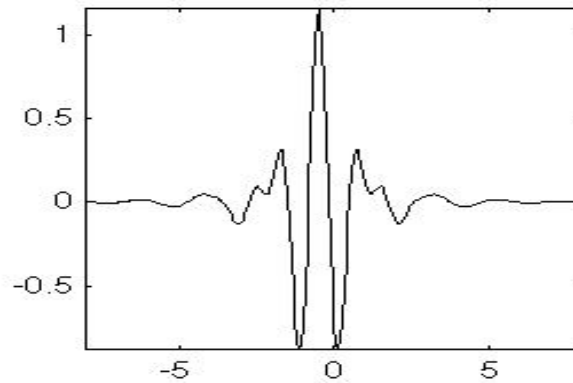
Şekil 3.15. Morlet dalgacığı (Misiti, 1996)

Meksika Şapkası adı verilen dalgacığta ölçekleme fonksiyonuna sahip değildir. Gaussian olasılık yoğunluk fonksiyonunun ikinci türeviyle orantılı bir fonksiyondan türetilmiştir. Şekil 3.16' da bu dalgacığ gösterilmektedir.



Şekil 3.16. Meksika şapkası dalgacığı (Misiti, 1996)

Meyer dalgacığı frekans domeninde tanımlanmış bir dalgacığtır. Meyer dalgacığı Şekil 3.17' de görölmektedir (Misiti, 1996).



Şekil 3.17. Meyer dalgacı (Misiti, 1996)

### 3.1.3 Gabor Bankası ile Yüzey Analizi

Gabor filtresi doku analizi işlemlerinde kullanılan en popüler yöntemlerden birisidir. Bu filtrenin uygulama alanlarının geniş olması ve başarılı sonuçlar vermesi onun popüler olmasını sağlamıştır. Gabor filtresi, sahip olduğu hem frekans hem de uzaysal boyutta sinyal işleme özelliği sayesinde memelilerin görme korteksine en çok benzeyen doku analizi filtresidir. Bu sebeple Gabor filtresi; doku bölütleme, bilgisayarlı görme uygulamaları, hedef belirleme, yüz tanıma, avuç içi tanıma, güvenlik sistemleri gibi birçok işlemde kullanılmaktadır.

Gabor filtresi 1946 yılında Dennis Gabor tarafından geliştirilmiştir (Gabor, 1946). İlk haliyle tek boyutlu olan sinyalleri en az belirsizlik ile hem frekans hem de zaman domeninde belirlemek için kullanılmaktaydı. Dennis Gabor, Fourier analizinde rastladığı eksiklikler dolayısıyla bu filtreyi ortaya atmıştır. Bu eksikliklerden biri önceki kısımlarda bahsedildiği gibi fourier analizinde zaman domeninde işlem yapılırken frekans bilgisinin elde edilememesidir. Ayrıca sürekli zamanlı fourier dönüşümünde sonsuz sayıda sinüs ve kosinüs dalgasına ihtiyaç duyulduğundan bu sistemin bilgisayar ortamında gerçekleşmesi zordur. Ayırık zamanlı fourier dönüşümünde ise her yönelim açısının yakalanması ve sadece istenilen yönelimlerin elde edilmesi işlemi pek olanaklı olmamaktadır. Bir boyutlu gabor filtresinden sonra iki boyutlu inceleme işlemi için Daugman (Daugman, 1985) tarafından iki boyutlu gabor filtresi ortaya atılmıştır.



İlk olarak tek boyutlu olarak geliştirilen gabor filtresi bir gauss fonksiyonu ile tek boyutlu bir dalga fonksiyonunun çarpılması ile elde edilmektedir. Eşitlik 3.12' de tek boyutlu gabor fonksiyonu görülmektedir.

$$G_{\sigma,w}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} e^{-j\omega x} \quad (3.12)$$

Eşitlik 3.12'de  $\sigma$  gauss fonksiyonu değerlendirme ölçütü,  $w$  dalganın uzaysal frekansını belirtmektedir. Görüntü işleme ve iki boyutlu işlemlerde kullanılmak üzere geliştirilen iki boyutlu gabor filtresinde ise iki boyutlu bir gauss fonksiyonu ile karmaşık bir sinüs dalgası çarpılmaktadır. Gauss fonksiyonu ile çarpılan bu karmaşık üstel fonksiyonun basit hali Eşitlik 3.13' te görülmektedir.

$$Gabor_{2B}(x,y) = Gauss_{2B}(x,y) \cdot K(x,y) \quad (3.13)$$

Eşitlik 3.13'te  $Gauss_{2B}$  iki boyutlu gauss fonksiyonunu ve  $K$  ise karmaşık sinyali veya sinüsoidal sinyali ifade etmektedir. Basit olarak verilen bu formül Eşitlik 3.14' teki gibi açılabilir.

$$G_{\sigma,w}(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)} e^{-j\omega(ux+vy)} \quad (3.14)$$

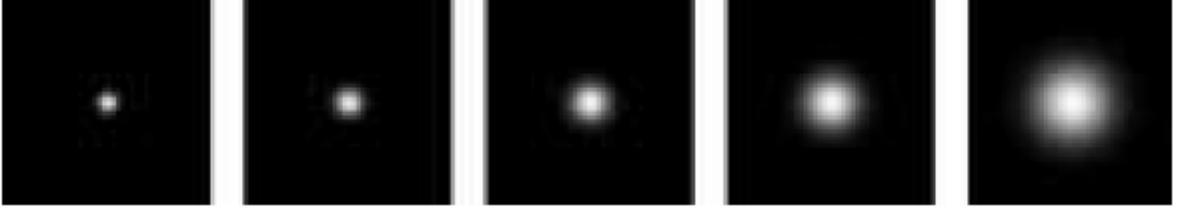
Eşitlik 3.14'te  $u$  ve  $v$  değerleri gabor fonksiyonunda merkez frekansı temsil etmektedir. Modüle edilen sinyalde karmaşık fonksiyonun kosinüs veya sinüs olması filtrenin çift veya tek olmasına etki etmektedir. Filtrenin çift olması gerçek süzgeç olduğunu, tek olması da sanal süzgeç olduğunu belirtmektedir. Eşitlik 3.15' te gerçek süzgeç ve Eşitlik 3.16' da sanal süzgeç formülleri gösterilmektedir.

$$G_{\sigma,w}(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)} \cos[\omega + (x + y)] \quad (3.15)$$

$$G_{\sigma,w}(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right)} \sin[\omega + (x + y)] \quad (3.16)$$

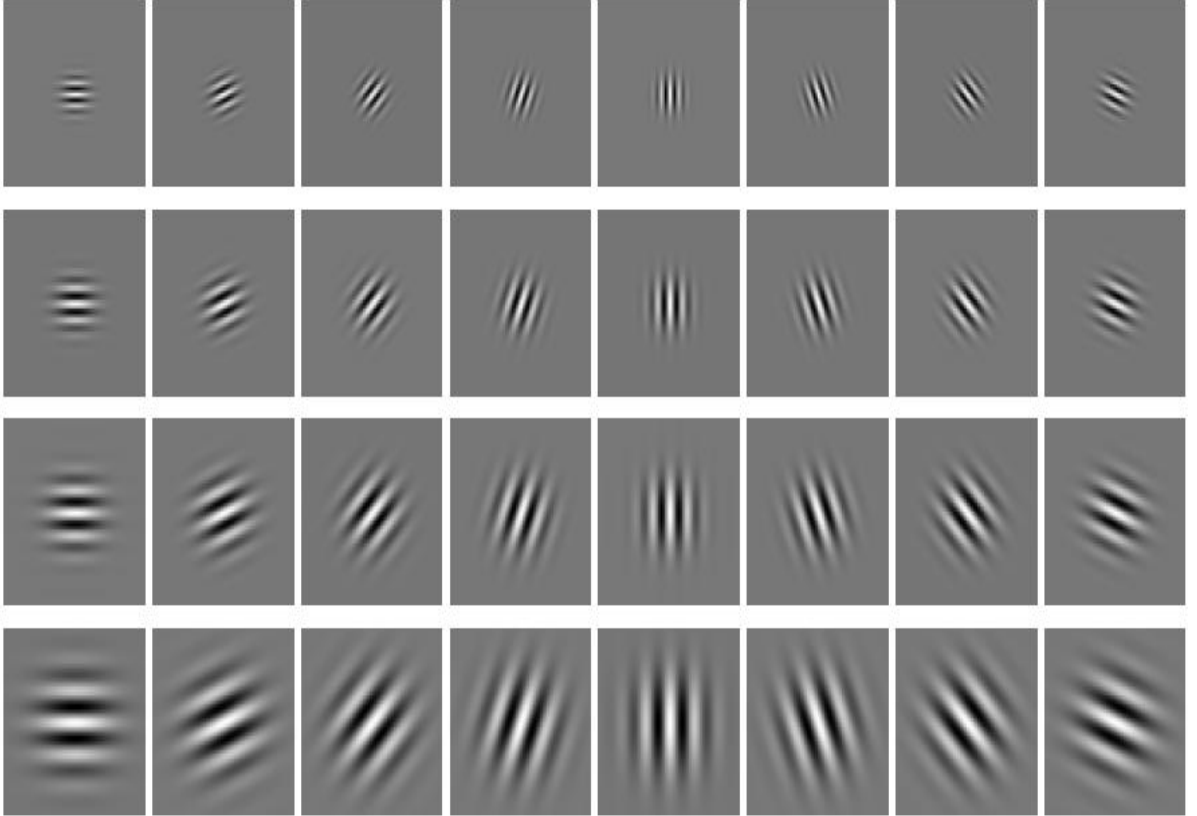
Gabor filtresi belirli ölçek ve yön değerlerine sahiptir. Tasarım sırasında bu ölçek ve yön parametreleri hesaplanarak sinyale uygulanmaktadır. İncelenen sinyal veya görüntünün durumuna göre çok fazla ölçek değerine ve yönelim açısına ihtiyaç duyulabilmektedir. Bunun için ihtiyaç duyulan özelliklere sahip gabor filtreleri tek tek hesaplanarak bir gabor bankası oluşturulur. Gabor bankası içinde farklı yönelimlere ve farklı ölçeklere sahip birçok gabor filtresi bulunmaktadır. Gabor filtresi uygulanırken temel mantık filtrede bulunan yönelim açısına ve ölçek büyüklüğüne göre benzer çizgilerin belirlenmesi ve diğer çizgilerin yok edilmesidir. Yani gabor filtresinin yönelim açısı hangi yönde ise ve ölçek değerine göre o yönde ve ölçeğe yan çizgiler görüntüde daha baskın hale gelirken diğer görüntü bileşenleri daha silik hale gelmektedir. Uygulama sırasında aranan özelliklerin çıkarılabilmesi için gabor filtrelerinin tek tek hesaplanarak uygulanması bir hayli işlem yükü ve zaman kaybı oluşturmaktadır. Bu yüzden hesaplamalar incelenecek sistemin durumuna göre önceden yapılmaktadır ve gerekli tüm değerlerin olduğu filtreler oluşturulur. Oluşturulan bu filtreler bir paket halinde toplanarak bir gabor bankası oluşturulur. Elde edilen bu gabor bankası görüntüye uygulanarak doku ile ilgili istenilen öznitelikler elde edilir. Bankada bulunan filtre sayısı ne kadar fazla olursa işlem yükü o kadar artar ve dolayısıyla işlem süresi o kadar uzar. Bu yüzden banka içerisinde bulunan filtre sayısı mümkün olduğu kadar az tutulmalıdır. Bu işlem için öncelikle incelenecek olan görüntü ve görüntüden çıkarılmak istenen öznitelikler iyi bilinmelidir. Örneğin sadece dikey olan çizgilerin verebileceği bilgileri arıyorsak tasarladığımız gabor filtresine göre  $90^\circ$  ve yakınlarındaki açılar kullanılmalıdır. Bunun için  $70^\circ$ ,  $80^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $100^\circ$  ve  $110^\circ$  açılarını kullanmak yeterli olabilmektedir. Fakat daha ayrıntılı analizlerde veya geniş yüzeylerde hata arama işlemlerinde hatanın şeklinin bilinmemesi ve boyutlarından dolayı tüm yönelimlerin aranması gerekmektedir. Bu durum  $0^\circ$ - $360^\circ$  arasındaki her açıyı aramamız gerektiği anlamına gelmektedir fakat bu durumda işlem yükü oldukça artacaktır. Burada işlem yükünü azaltmak adına  $180^\circ$ 'den sonra dalgaların aynılaşacağı bilinmekte ve yönelim açıları artırılmaya devam etmemektedir. Bu yaklaşım sayesinde işlem yükü yarıya düşürülür. Daha sonra her  $1^\circ$  fark için tekrar filtre tasarlamak gerekecektir ama bu durumda da çoğu filtre çıkışında aynı pikseller öznitelik vektörüne aktarılacağından gereksiz bir iş yükü oluşur. Bu sebeple tasarlanacak sistemin durumuna bakmak esastır fakat çoğu durumlarda genelde yapılan çalışmalarda  $20^\circ$  veya  $22,5^\circ$  farklarla yönelim seçildiği görülmüştür. Gabor bankasının işlem yükünü azaltacak diğer parametre ise ölçektir. Ölçek değerleri incelenen çizgilere göre belirli aralıklarda seçilmelidir.

Gereksiz büyük ve gereksiz küçük seçilen ölçek değerleri sadece işlem yükünü artırılmaktadır. Şekil 3.18’ de Gabor bankasında bulunan ölçek değerlerinin yoğunluk değerleri görülmektedir.



Şekil 3.18. Gabor filtresi yoğunluk değerleri (Kırtaç, 2008)

Şekil 3.19’ da örnek bir gabor bankası görülmektedir. Bu bankada 4 adet farklı ölçek değeri ve 8 adet farklı yönelim açısı bulunmaktadır. Toplamda 32 adet gabor filtresi kullanılarak bu banka oluşturulmuştur.



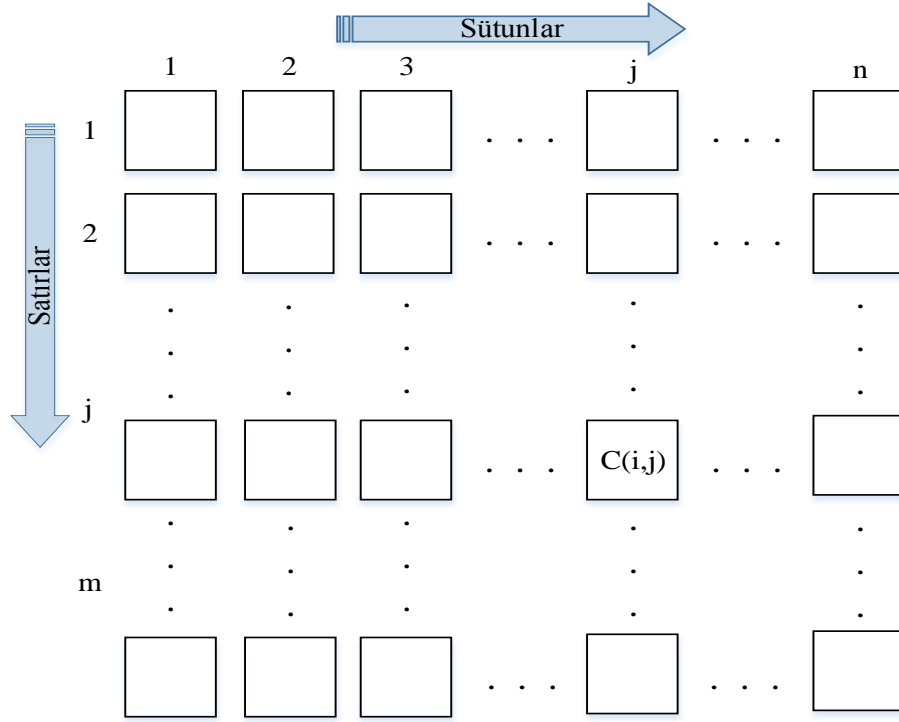
Şekil 3.19. Gabor bankası (Kırtaç, 2008)

### 3.1.4 Hücresel Sinir Ağları ile Yüzey Analizi

Hopfield sinir ağlarının özel bir türü olan hücresel sinir ağları (HSA) Leon O. Chua ve Lin Yang tarafından 1988 yılında ortaya atılmıştır. Memelilerin sinir sistemlerindeki nöronlar üzerinde çalışan iki bilim adamı bu yapıya çok benzer olan HSA'yı yayınladıkları makale ile duyurmuşlardır. Hücresel sinir ağları yapısının dayandığı en önemli özellikte bu sinir sistemimizde bulunan nöron yapısıdır. Sinir sistemimizde bulunan her bir nöronun yaklaşık olarak 1000 komşuluğu olsa da HSA'da bu kadar fazla komşuluk yapılmamıştır. HSA'da her bir hücre en yakın komşuluğundaki hücreler ile doğrudan, diğer hücrelerle ise dolaylı olarak bağlantılıdır. Hopfield sinir ağlarında ise tüm hücreler birbirleri ile doğrudan bağlıdır. HSA bu yapısı sayesinde tümleşik devre teknolojisine daha uygundur (Chua ve Yang, 1988). Aynı zamanda hücresel sinir ağlarının en önemli özelliklerinden bir diğeri hücrelerin bileşenleri arasındaki bağlantı ağırlıkları değişmemektedir (Ceylan, 2009).

Hücresel sinir ağlarının tümleşik devre teknolojisi için uygun olması ve güç tasarrufu sağlaması onun birçok alanda kullanılmasını sağlamıştır. Genelde kullanım alanları olarak; görüntü ön işleme, görüntü bölütleme, görüntü iyileştirme, örüntü tanıma, doku analizi, bilgisayarlı görü uygulamaları, el yazısı tanıma gibi alanlar sayılabilmektedir.

HSA genel yapısına bakıldığında temelinde hücreler arasındaki komşuluk ilişkisi vardır. Hücresel sinir ağlarının en küçük yapı birimine hücre adı verilmektedir.  $M \times N$  boyutlu olan bir yapıda her bir hücre bir piksele karşılık gelir. Bu yapıda  $i$ . satır ve  $j$ . sütundaki hücreye  $(i, j)$  hücresi denir ve  $C(i, j)$  olarak ifade edilir. Şekil 3.20' de bu yapı görülmektedir.

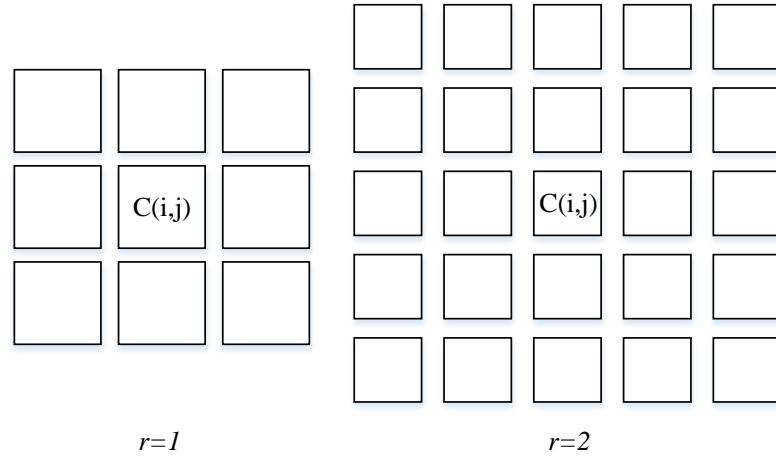


Şekil 3.20. Hücresel sinir ağı mimarisi

HSA içerisindeki hücreler arasındaki etkileşim komşuluk kavramıyla belirlenmektedir. Bir hücrenin komşuluk ilişkileri  $r$  ile gösterilmektedir.  $r$ ,  $C(i,j)$  hücrenin komşuluk yarıçapını vermektedir. Eşitlik 3.17’ de komşuluk denklemini gösterilmektedir.

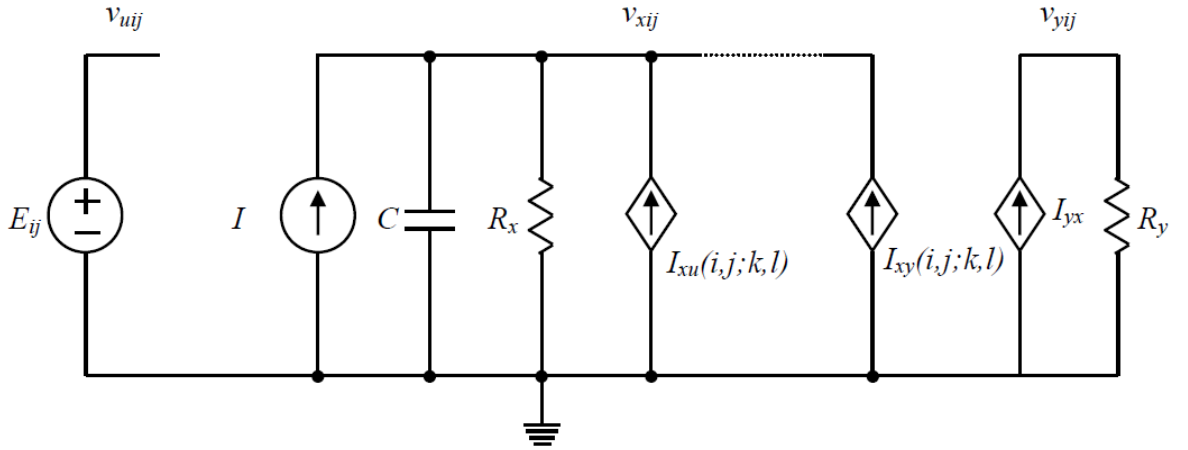
$$N_r(i, j) = \{C(k, l) \mid \max(|i - k|, |j - l|) \leq r, 1 \leq k \leq M; 1 \leq l \leq N\} \quad (3.17)$$

Komşuluk yarıçapını resmin piksel sayısına göre artırmak mümkündür.  $r$ 'ye göre belirlenen komşuluklarla oluşturulan yapılarda  $(2r+1)(2r+1)$  komşuluğu meydana gelmektedir. Etki kümesi içinde kalan toplam hücre sayısı ise  $(2r+1)^2$  ile hesaplanabilmektedir. Örneğin  $r=1$  seçilirse komşuluk  $3 \times 3$  olur ve etki kümesi içinde kalan 9 piksel olur,  $r=2$  seçilirse komşuluk  $5 \times 5$  ve etki kümesi içinde kalan piksel sayısı 25 olur. Şekil 3.21’ de bahsedilen komşuluk ilişkileri görülmektedir.



Şekil 3.21. Farklı r değerleri için komşuluklar

Hücrel sinir ağlarında bulunan her hücre doğrusal ve doğrusal olmayan devre elemanlarından oluşmuştur. Bu elemanlar; doğrusal kapasitörler, doğrusal dirençler, doğrusal veya doğrusal olmayan kontrollü kaynaklar ve bağımsız kaynaklar olabilir. Bir hücrel sinir ağı hücresine ait devre Şekil 3.22’ de görülmektedir. Bu devrede  $u$  giriş işaretini,  $x$  durumu ve  $y$  çıkış işaretini temsil etmektedir.



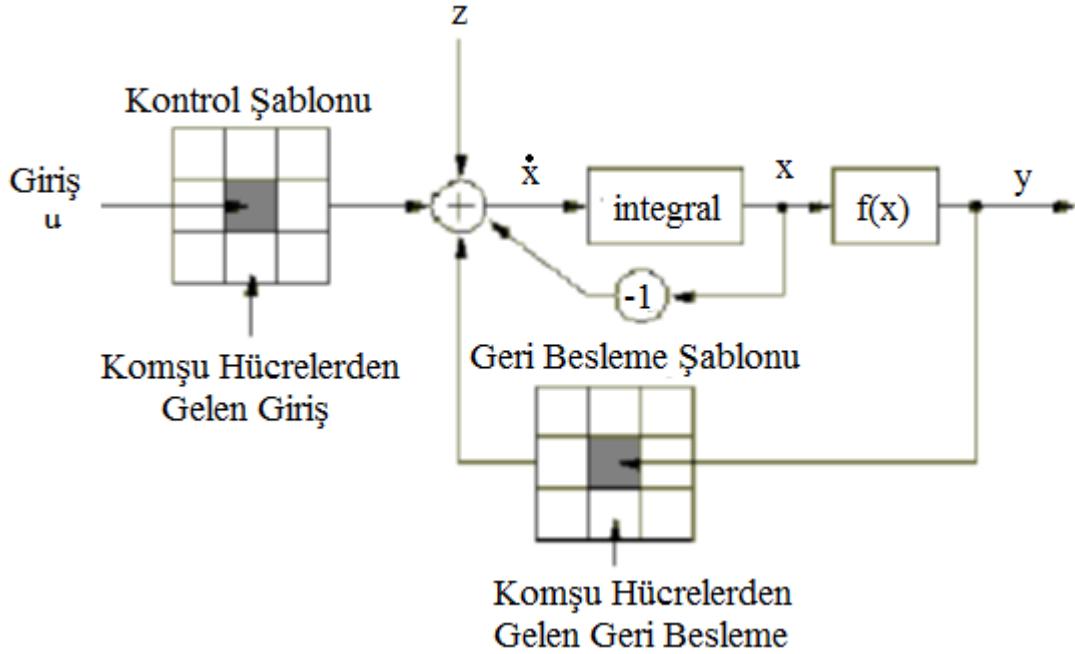
Şekil 3.22. Bir hücrenin devre elemanları ile gösterimi (Tükel, 2009)

Giriş değeri bir görüntü olarak seçildiğinde  $M \times N$  boyutlarında gri seviye ölçeklenmiş bir görüntünün piksel yoğunluk değerleri seçilmiş olacaktır. Normalize edilmiş görüntünün piksel değerleri -1 ve +1 aralığında değişmektedir. Bu değerlerden -1 beyaz rengi ve +1 siyah rengi temsil etmektedir.

HSA’da durum denklemi Eşitlik 3.18’ de verilmektedir.

$$\frac{dx_{ij}}{dt} = -x_{ij} + \sum_{C(k,l) \in S_r(i,j)} A(i,j;k,l) y_{kl} + \sum_{C(k,l) \in S_r(i,j)} B(i,j;k,l) u_{kl} + Z_{ij} \quad (3.18)$$

Eşitlik 3.18’de  $x_{ij}$  işlem yapılan  $C(i,j)$  hücresinin durum değişkenini,  $y_{kl}$  etki alanı içinde kalan hücrelerin çıkışlarını,  $u_{kl}$  etki alanı içinde kalan hücrelerin girişlerini,  $z_{ij}$  eşik değerini ifade etmektedir.  $A(i,j;k,l)$  geri besleme operatörünü,  $B(i,j;k,l)$  kontrol operatörünü temsil etmektedir.

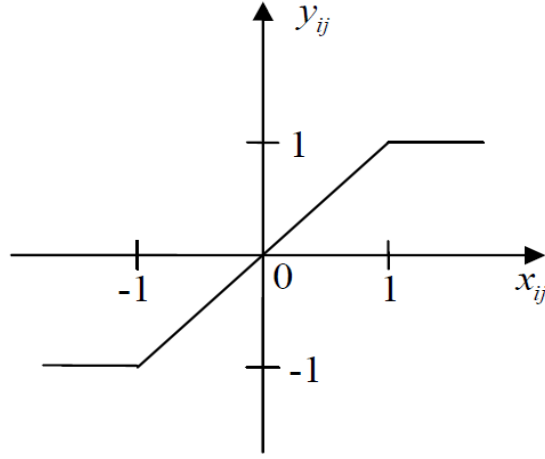


Şekil 3.23. HSA blok diyagram gösterimi (Tükel, 2009)

Şekil 3.23’ te hücreyel sinir ağlarının uygulanmasına ilişkin figür görülmektedir. HSA’nın temel işleyişinde, girişten gelen bilgi kontrol şablonu ile konvolüsyon işlemine girerek toplama birimine iletilir ve ilk durumda geri besleme şablonundan bir veri gelmeyeceği için sadece eşik değeri ile toplanır. Daha sonra farksal durum ve integral işlemlerinden geçirilir ve durum aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek sonuç elde edilir. Eğer sonuçta istenen özellikleri ön plana çıkarılmış bir veri seti elde edemediysek ikinci döngüye başlanır. İkinci ve daha sonraki döngülerde eşik değerine ek olarak geri besleme operatöründen gelen bilgide toplama işlemine dâhil olur. Bu işleme çıkışta istenen değer elde edilinceye kadar devam edilir.

Hücreyel sinir ağları çıkışına bakıldığında lineer olmayan özelliğe sahip olan bir fonksiyondur. Eşitlik 3.19’ da HSA çıkış denklemi görülmektedir. Şekil 3.24’ te ise lineer olmayan çıkış fonksiyonu verilmiştir.

$$y_{ij} = \frac{1}{2} |x_{ij} + 1| - \frac{1}{2} |x_{ij} - 1| \quad (3.19)$$



Şekil 3.24. Hücresel sinir ağı çıkışı

HSA tasarlanırken genelde bir eşik değeri ( $z$ ), 9 adet geri besleme şablonu katsayısı, 9 adet ileri besleme şablonu katsayısı seçilir. Yapılan çalışmalarda belirtildiği üzere şablon katsayılarının simetrik seçilmesi kararlılığı artırmaktadır (Chua ve Yang, 1988; Dogaru, 2003). Bu sayede HSA şablonlarının güncellenmesi daha hızlı olabilecektir.



#### 4. DENEYİN UYGULANMASI VE DENEYSSEL BULGULAR

Yapılan çalışmada, ölçümün gerçekleştirileceği bölümün dış ortamdan yalıtılmış ve kontrollü biçimde aydınlatılmış olması büyük önem arz etmektedir. Bunun için bahsedilen özelliklere sahip bir prototip tasarlanmıştır. Tezde anlatılan yöntemler ile boyutlarına bakılmadan her camın ölçümü yapılabilmektedir. Fakat geliştirilen prototip belirli ebatlara sahiptir. Bu sebeple ölçülecek olan cam boyutu sınırlandırılmıştır. Fakat daha büyük bir sistem tasarlanarak ölçülecek cam boyutları çok yüksek ebatlara çıkarılabilir. Tasarlanan prototip 40x25x20 cm dış ölçülerine sahiptir. Kutunun iç yüzeyi olası ışık yansımalarından etkilenmemesi için mat siyah renkte kaplanmıştır. Kutu zemininin ortasında CMOS kamera monte edilmiş ve kameraya ait tüm aydınlatmalar kapatılmıştır. Şekil 4.1’ de kutu ve kutu içerisindeki kameranın durumu görülmektedir.



Şekil 4.1. Prototipin oluşturulması

Kamera yerleşimi hata arama sistemleri için çok önemlidir ve bu konuda detay Bölüm 2’ de verilmiştir. Sistemimizde kullanılan USB kamera olup görüntü sensör tipi CMOS tabanlıdır. Görüntü çözünürlüğü olarak 800x600 pikseldir. Saniyede görüntü yakalama adedi maksimum 30 fps ve 24 bitliktir. 1.3 MP çözünürlüğe sahiptir. Kamera özellikleri bilimsel çalışmalarda kullanılan kamera özelliklerine göre bir hayli düşüktür fakat bu sayede kullanılan doku analizi yöntemlerinin başarı karşılaştırılması daha iyi

yapılabilmektedir. Çünkü kamera özellikleri ile değil görüntü işleme kısmı ile çalışılarak başarı artırılmaya çalışılmıştır. Kamera alınmak istenen görüntüye yaklaştıkça alacağı görüntünün boyutu küçülmektedir. Bunun için ölçüm yapılacak olan alanı derin tutmak daha büyük camların analizi için gereklidir. Çalışmamızda tasarlanan prototipte kameranın görebildiği alan 10x8 cm boyutlarındadır. Kameranın uzaklık durumunu değiştirerek bu ebatlar artırılıp azaltılabilir.

Işınların cam içerisine enjekte edilmesi geliş açısının cam kenar bölgesine  $90^\circ$  olması ile gerçekleşmektedir. Bu aşamada gerçekleşecek olan kaybı engellemek için cam kenar bölgesi ile ışın kaynağı arasındaki mesafe kısa tutulmuştur. Sistemde kullanılan ışıklandırma kaynağı SMD LED' ler ile gerçekleştirilmiştir. SMD LED küçük boyutları, yaydığı ışın miktarı ve enerji tasarrufu sağlaması bakımından oldukça avantajlıdır. 40 adet SMD LED cama kenarlarından ışığı homojen biçimde enjekte etmek için kullanılmıştır. SMD LED' ler beyaz renktedirler. Şekil 4.2' de SMD LED' lerin yerleşimi görülmektedir.



Şekil 4.2. Aydınlatma Sistemi

Sistemde kullanılan LED'lerin lümen değerleri içlerinden geçen akım miktarına göre 11-12 lümen aralığında değişim göstermektedir. Camın özelliklerine göre soğurma katsayısı yükseldikçe sistemde kullanılan aydınlatma sisteminin yaydığı ışın miktarı ve kuvveti arttırılmalıdır. Beer-Lambert yasasına göre ışığın soğurulması, ışığın içinden geçtiği maddenin özelliklerine bağlıdır (Mehta, 2012). Bu durumda kullanılan camın soğurma katsayılarına göre ışıklandırma sisteminin lümen değerleri hesaplanmalıdır.

Çalışmamızda bahsedildiği üzere yüzey analizi için geliştirilen prototipte bir dış kutu, bir kamera bölümü, bir ışıklandırma bölümü ve ölçümün yapıldığı bölüm bulunmaktadır. Bahsedilen bu kısımlar sistemin donanım bölümünü oluşturmaktadır. Diğer bölüm ise yazılım kısmıdır. Yazılım kısmı alınan bilgilerin bilgisayar tarafından yorumlanmasını içermektedir. Bunun için bazı yöntemler seçilmiş ve bu yöntemlerin sonuçları karşılaştırılarak bu sistem için en uygun algoritma aranmıştır. Algoritmalar denenirken cam üzerinde çiziklerin yanında birçok yansımalar, tozlar, parmak izleri gibi gerçek kusur olmayan yanıltıcıların bulunduğu gözlenmiştir. Bunların önemli kısmı ışıklandırma sisteminin sağladığı avantajlar sayesinde aşılmıştır fakat bazıları görüntüye dâhil olmayı başarır. Bunlar için görüntüde bulunan hasarlı bölge bilgilerine müdahale etmeden gürültü temizleme işlemi yapılmalıdır. Görüntüye uygulanan ön işleme algoritmaları kullanılarak bu gürültüler filtrelenmiştir. Çalışmada kullanılan kenar bulma algoritmaları, dalgacık dönüşümü, gabor bankası, hücresel sinir ağlarıdır. Bu algoritmaların sonuçları ile referans görüntüler karşılaştırılarak başarı oranları ölçülmüştür.

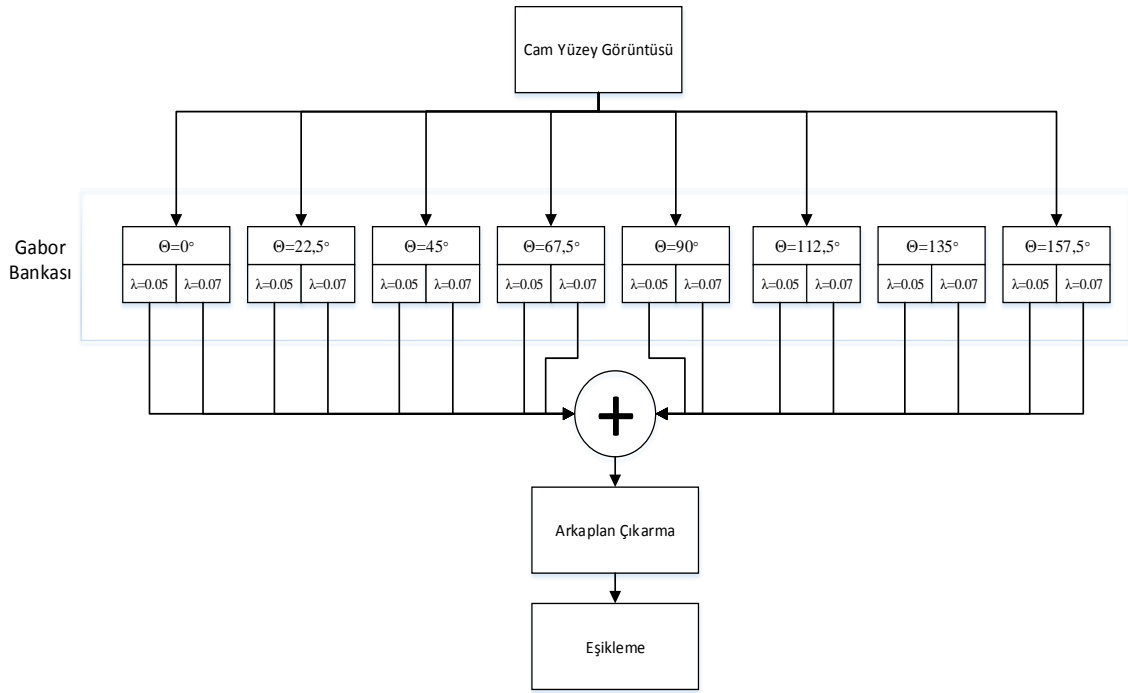
Toplamda 11 adet cam üzerinde inceleme işlemi yapılmıştır. Bu camlardan bir tanesinde herhangi bir hasar bulunmamaktadır. 7 adet camda ise çeşitli çizik, kırık, baloncuk gibi üretim hataları bulunmaktadır. 3 adet cam ise buzlu camdır ve bu camların üzerinde desenler vardır. Bu camlar üzerinde de inceleme yapılmış ve başarılı şekilde hatalar belirlenmiştir. Buzlu camlardan bir tanesi hasarsız, 2 tanesi ise çiziktir. Deneylerde kullanılan algoritmaların belirlenmiş olan rakamsal değerleri şöyledir;

*Kenar Belirleme Algoritmalarının Uygulanması:* Kenar bulma algoritmaları içinde en başarılı olanlar ve en çok kullanılanlarından olan Canny ve LoG kenar belirleme algoritmaları kullanılmıştır. Bu sebeple diğer kenar bulma algoritmaları denenmemiştir. Bu iki kenar belirleme metodu MATLAB kütüphanesinde olan şekliyle kullanılmıştır. Kıyaslamaların ve değerlendirmelerin gerçekçi olabilmesi için doğal yazılımları ile kullanılmışlardır.

*Dalgacık Dönüşümünün Uygulanması:* Dalgacık dönüşümü sahip olduğu özelliklerden dolayı görüntü analizinde çok sık kullanılan bir yöntemdir. Dalgacık dönüşümü için MATLAB programında wavemenu toolboxtan faydalanılmıştır. Fakat bu toolbox kullanılarak her detay görüntünün öznetelik vektörlerinin elde edilip birleştirilmesi gerekliliği vardır. Bu gereklilik için 2 boyutlu ayrık dalgacık dönüşümü tarafımızdan

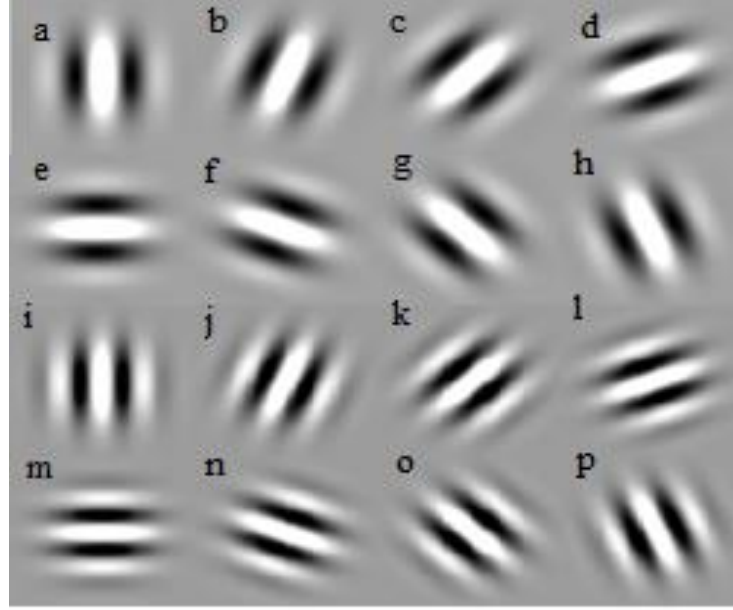
yazılarak kişisel bir kütüphane oluşturulmuştur (Akdemir ve Öztürk, 2015). Bunun için renkli görüntüde bulunan her renk bileşeni için ayrı dalgacıklar oluşturularak uygulanır. Basit ve hızlı olması için birinci derece ve Haar dalgacıkları kullanılmıştır.

*Gabor Bankası Oluşumu ve Uygulanması:* Gabor filtresi insan görme sistemine en yakın davranışa sahip olan filtre olduğundan doku analizi için kullanılan en popüler filtredir. Gabor bankası uygulanırken en önemli parametreler yönelim açısı değeri ve ölçek değeridir. Bu değerlerin öneminden ve işlevlerinden Bölüm 3.1.3'te bahsedilmiştir. Gabor filtresi uygulanırken gabor bankası oluşturulması gerekmektedir. Tez çalışması için oluşturulan gabor bankası değerleri ise şöyledir; yönelim açısı değerleri:  $0^\circ$ ,  $22.5^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $67.5^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $112.5^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $157.5^\circ$  değerleridir, ölçek parametreleri ise 0.05 ve 0.07 olarak seçilmiştir. Yazılan program algoritması Şekil 4.3' teki gibidir.



Şekil 4.3. Gabor bankası blok diyagramı

Elde edilen gabor bankası ise Şekil 4.4' te görüldüğü gibidir. Görüldüğü gibi elde edilen gabor bankasında iki adet ölçek değeri bulunmaktadır. Ayrıca 8 adet yönelim açısı ile banka oluşturulmuştur.



Şekil 4.4. Kullanılan gabor bankası

*Hücresel Sinir Ağlarının Uygulanması:* Hücresel sinir ağları çok hızlı işlem yapabilme yeteneği ve uygulanabilirliğinin yüksek olması sayesinde popüler şekilde görüntü işleme uygulamalarında kullanılmaktadır. HSA uygulamaları ile ilgili yapılan çalışmalarda, farklı amaçlarda kullanılmak üzere birçok kernel değerleri ortaya atılmıştır. Kenar ve çizgi yönelimlerinin bulunması için genel olarak kullanılan kerneller Şekil 4.5' teki gibidir.

0	0	0	-1	-1	-1	z=-1
0	1.5	0	-1	8	-1	
0	0	0	-1	-1	-1	

Şekil 4.5. Kenar ve yönelim belirleme kernelleri

Denenen optimizasyon algoritmaları sonucunda bizim için en uygun değerler Şekil 4.6' da ki gibi bulunmuştur.

0	0	0	-1.08	-1.08	-1.08	z=-0.3
0	2.13	0	-1.08	8.64	-1.08	
0	0	0	-1.08	-1.08	-1.08	

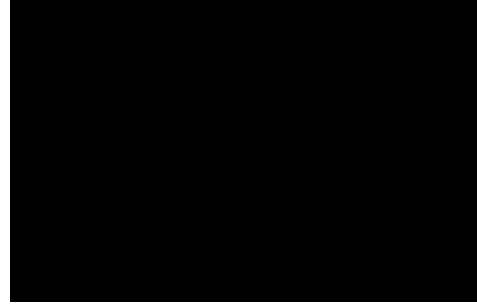
Şekil 4.6. Uygulanan kenar ve yönelim belirleme kernelleri

**Deney 1: Sağlam Cam Yüzey Analizi:**

Üzerinde herhangi bir hasar bulunmayan bir cam yüzeyinde bahsedilen algoritmalar kullanılarak yapılan deney sonuçları Şekil 4.7’ de ki gibidir. Görüldüğü üzere hiçbir hasar bulunmayan camlar üzerinde yapılan incelemede kullanılan bütün algoritmaların %100 doğrulukla çalışmışlardır. Bunun sebebi ışıklandırma sisteminin sağladığı avantajlardır.



Cam Görüntüsü



Referans Görüntü



Canny Uygulanması



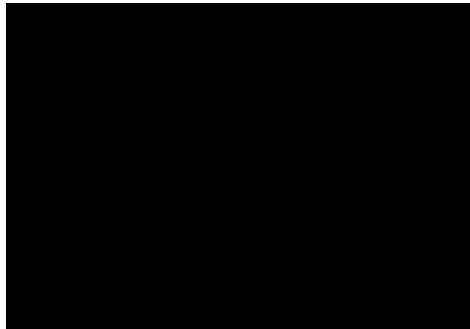
LoG Uygulanması



Dalgacık Dönüşümü Uygulanması



Gabor Bankası Uygulanması



HSA Uygulanması

Şekil 4.7. Hasarsız cam deneyi

Aynı zamanda temel alınan yüzey analizi yönteminde bir referans cam ile karşılaştırıp farkların hata olarak alınması yöntemi kullanılmamış bunun yerine her camın durumu dinamik olarak incelenerek hatalı olup olmamasına öyle karar verilmiştir. Çizelge 4.1' de elde edilen sonuçlar ve benzerlik oranı verilmiştir.

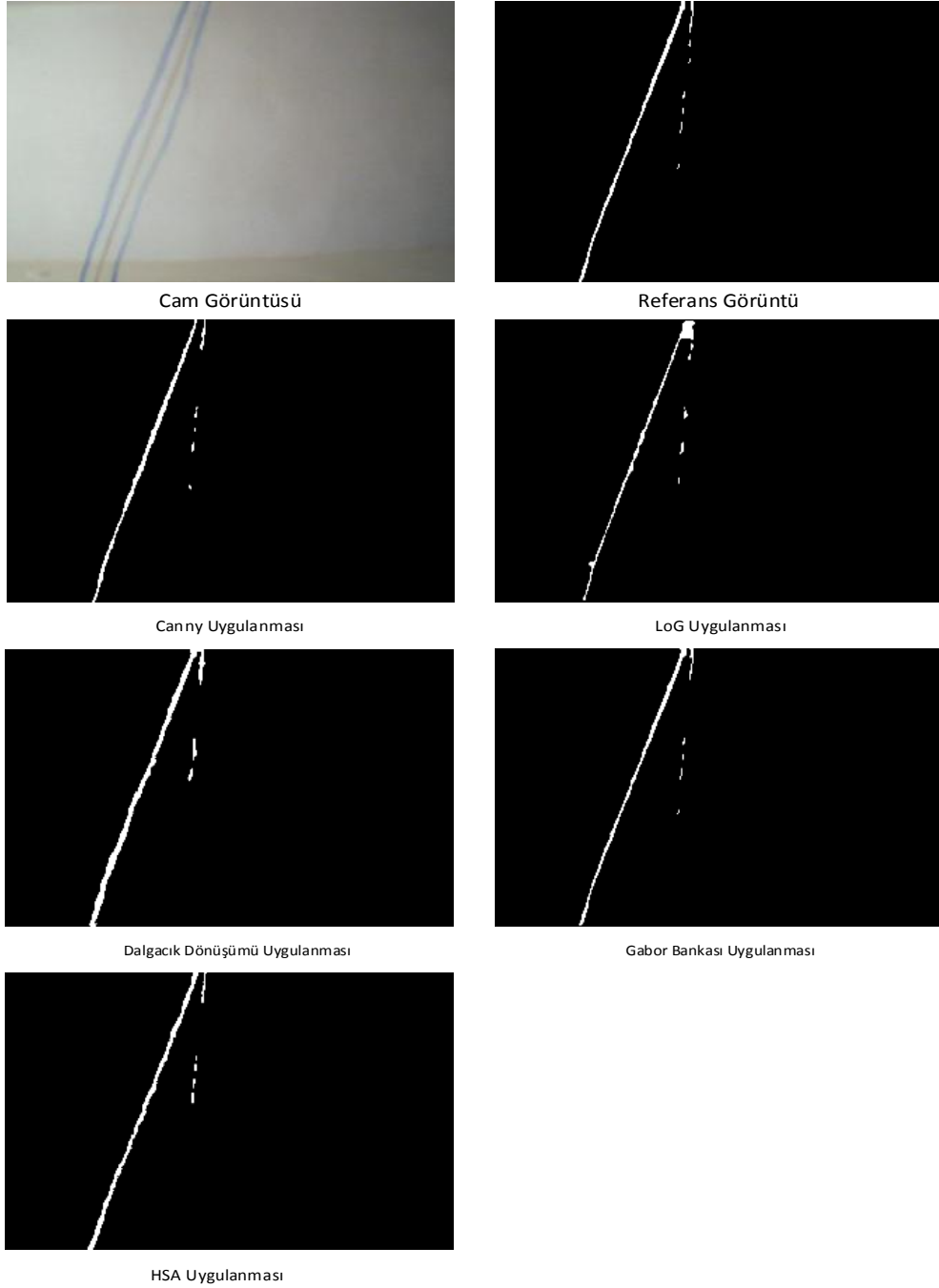
Çizelge 4.1. Deney 1 sonuçları

	Canny	LoG	Dalgacık D.	Gabor B.	HSA
Benzerlik(%)	100	100	100	100	100

Hatasız camlar üzerinde başarı oranı tüm yöntemler için %100 çıkmıştır.

## Deney 2: Çatlak Cam Yüzey Analizi:

Yüzey analizi yapılan cam şekilde görüldüğü çatlamaştır ve çatlamanın oluştuğu sırada tam yan tarafında ufak bir çizik oluşmuştur. Bu cam sisteme verilip bahsedilen algoritmalar ile analizi yapıldığında Şekil 4.8’ de görülen sonuçlar elde edilmektedir. Bu sonuçlara bakıldığında aslında tüm algoritmalar başarılı sonuçlar vermişler ve çatlağı bulmuşlardır.



Şekil 4.8. Çatlak cam deneyi



Aynı şekilde yan tarafında bulunan çizgi de yakalayabilmişlerdir. Ama burada incelenmek istenen diğer durum bu hataları ne kadar doğru bulmalarınıdır. Yani hasarın tam boyutları ile ilgili bilgiyi, tam bulunduğu yer ile ilgili bilgiyi ve şekli ile ilgili bilgiyi ne kadar doğru verebildiği de araştırılmalıdır. Çizelge 4.2’ de bu kısımda araştırılmaktadır. Görüntülere baktığımızda hemen hemen hepsinin benzer şekilde çizgi bulduğu görülmektedir. Ama referans görüntü ile karşılaştırıldığında ortaya benzerlik oranı çıkmaktadır.

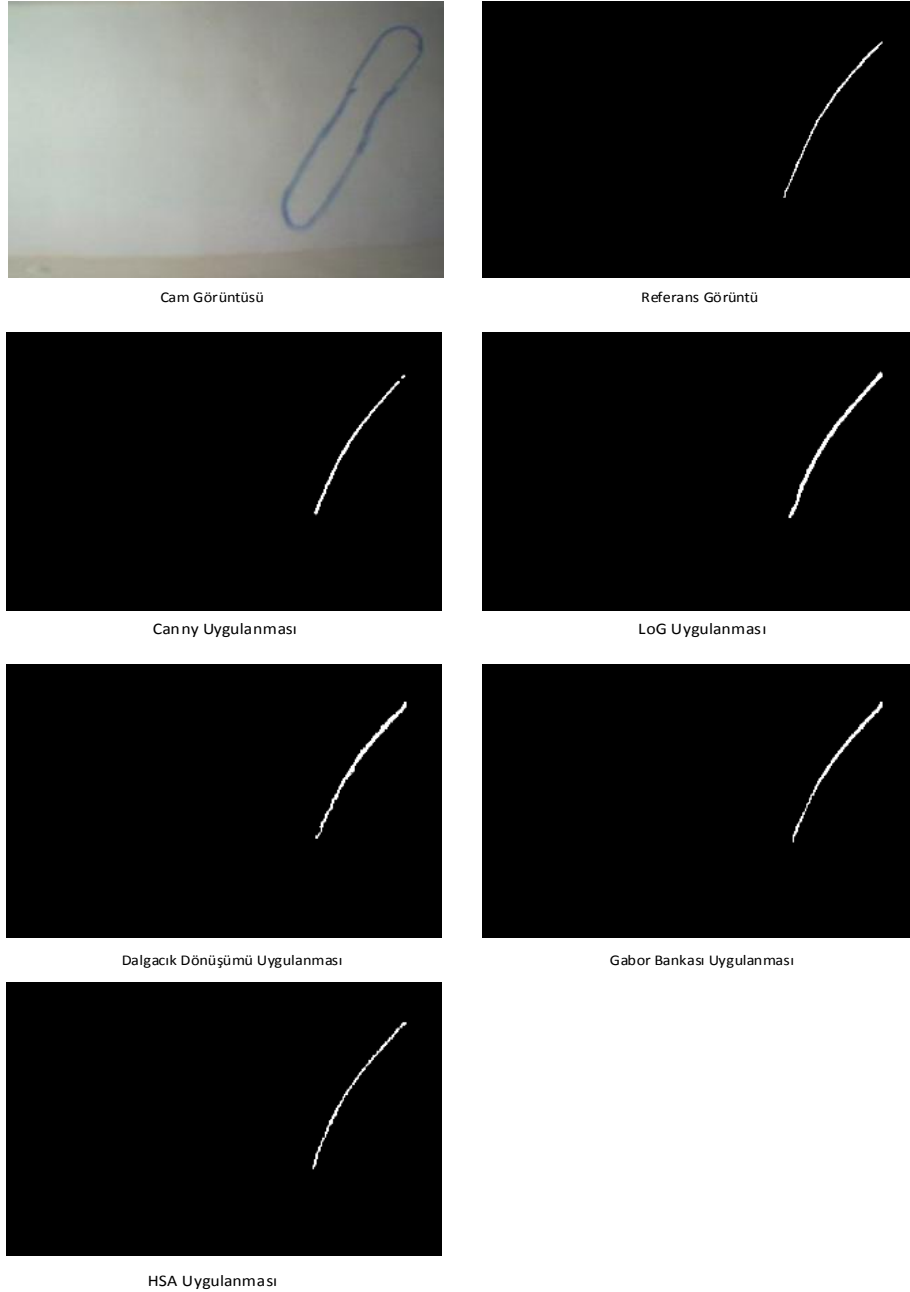
Çizelge 4.2. Deney 2 sonuçları

	Canny	LoG	Dalgacık D.	Gabor B.	HSA
Benzerlik(%)	70,56	52,19	75,20	<b>92,73</b>	89,74

Görüldüğü üzere benzerlik oranı en yüksek olan Gabor bankası ve HSA uygulamasıdır. Fakat diğer algoritmalarda tek başlarına kullanılsalardı yine hatanın olup olmadığı şekliyle ilgili bilgiyi rahatça elde edebilirdik.

### Deney 3: Çizik Cam Yüzey Analizi:

Şekil 4.9' da görüldüğü gibi çizik olan bir camın yüzey analizi yapılmaktadır. Deney 3'te incelenen çizik cam derinliği yer yer değişen bir çiziktir. Bu derinlik son kısımlara doğru oldukça azalmaktadır ve son kısımlara doğru algoritmaların duyarlılık oranı fazla olanları bu kısımları yakalamakta ve bu sayede daha başarılı olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 4.9. Çizik cam deneyi

Denenen bütün algoritmalar çizimin olduğunu ve çizimin yerini tespit etmeyi başarmışlardır. Fakat bundan biraz daha ileriye giderek şekil ve hassaslıkta incelendiğinde öne çıkan algoritmalar yine HSA ve Gabor bankası olduğu Çizelge 4.3’te görülmektedir.

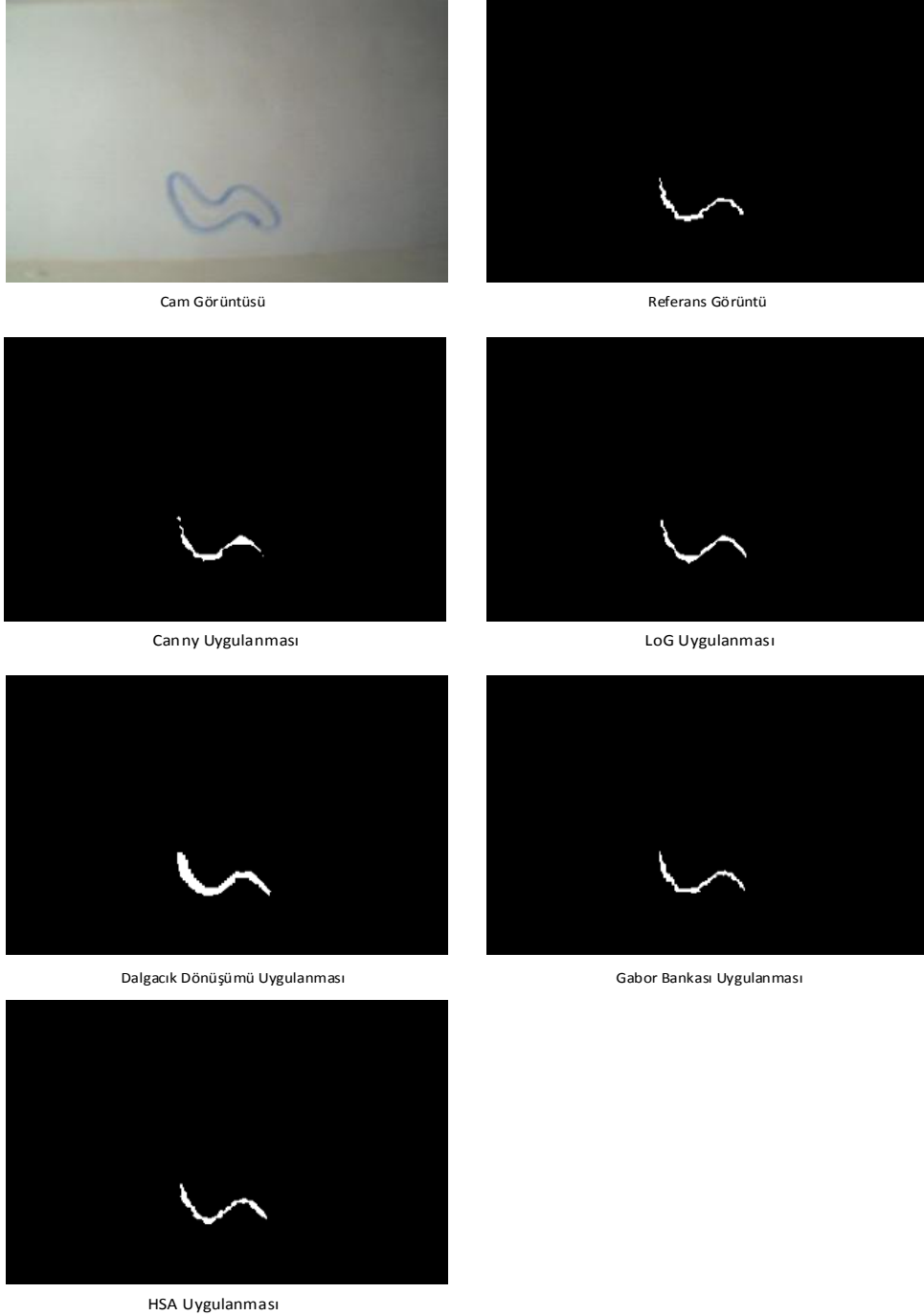
Çizelge 4.3. Deney 3 sonuçları

	Canny	LoG	Dalgacık D.	Gabor B.	HSA
Benzerlik(%)	73,38	77,25	76,89	82,84	<b>90,61</b>

HSA algoritmasının bu deneyde daha başarılı bir sonuç elde ettiği görülmektedir.

#### Deney 4: Elle Çizilen Camda Yüzey Analizi:

Şekil 4.10' da el ile istenerek bizim tarafımızdan çizilmiş bir cam görüntüsü ve analizi görülmektedir. Bizim tarafımızdan derin şekilde çizilen bu camda oluşan çizik programımız tarafından rahatça yakalanmıştır. Daha sonra algoritmalar sıra ile uygulanarak başarımları gözlenmiştir.



Şekil 4.10. Elle çizilmiş cam deneyi

Çizelge 4.4' te deneyler sonucu elde edilen referansa benzerlik oranları görülmektedir. Bu çizelgede dikkat çeken özellik dalgacık dönüşümü benzerlik oranının düşük olmasıdır. Bunun sebebi dalgacık dönüşümü çıkışında herhangi bir filtre olmamasıdır ve uygulanan filtrenin basit bir Haar dalgacığı olmasıdır.

Çizelge 4.4. Deney 4 sonuçları

	Canny	LoG	Dalgacık D.	Gabor B.	HSA
Benzerlik(%)	72,27	72,34	71,94	<b>93,91</b>	82,19

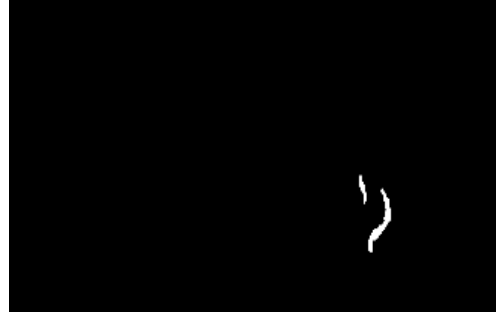
Uygulanan dalgacıklar ilk seviyede bırakıldığı için daha sert geçişler elde edilememiştir. Bu yüzden kalın ve kaba hatları ile çizik görülmektedir. Dolayısıyla başarımlar düşük olarak çıkmıştır ama dalgacık değiştirilirse veya seviye yükseltirilirse başarımlar yükselecektir.

### Deney 5: Ayrı İki Çizik Bulunan Camda Yüzey Analizi:

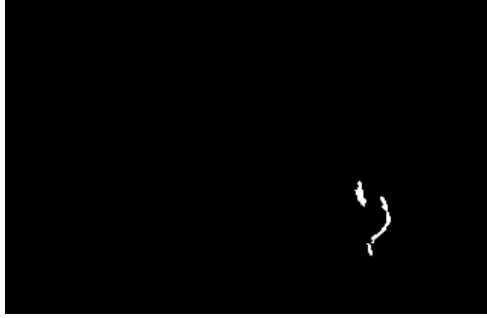
Şekil 4.11’ de iki adet birbirinden bağımsız olarak çizik bulunan bir cam incelenmektedir. İnceleme işleminde yine aynı algoritmalar sıra ile denenerek şekildeki çıkışlar elde edilmiştir.



Cam Görüntüsü



Referans Görüntü



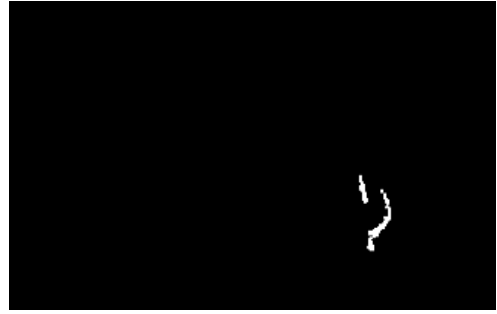
Canny Uygulanması



LoG Uygulanması



Dalgacık Dönüşümü Uygulanması



Gabor Bankası Uygulanması



HSA Uygulanması

Şekil 4.11. İki çizikli cam deneyi

Karşılaştırma işleminin sonuçları ise Çizelge 4.5' te görülmektedir. Dalgacık dönüşümü algoritması ile bulunan şekil çok benzemesine rağmen karşılaştırma işleminde kalınlığından dolayı düşük puan almıştır.

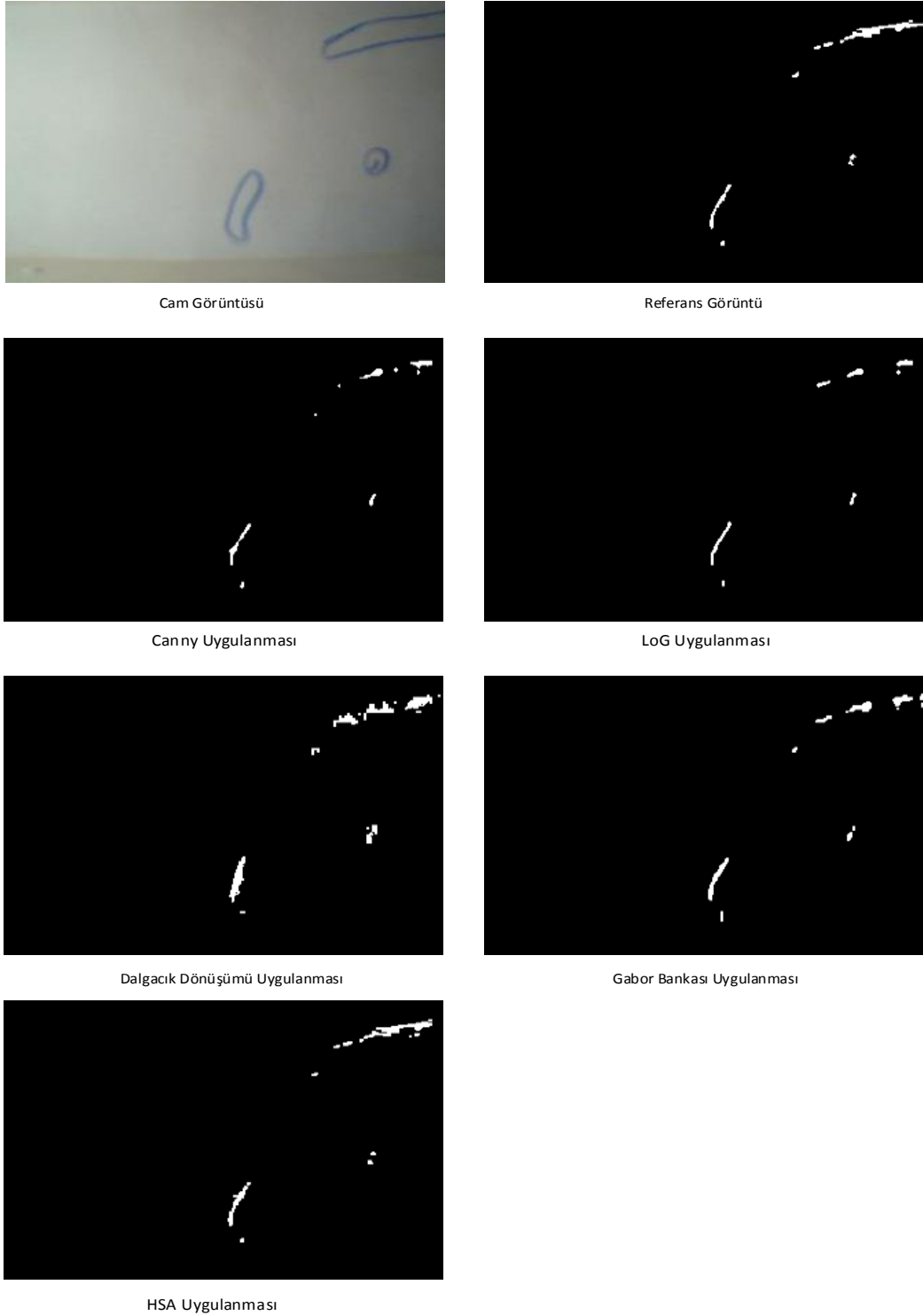
Çizelge 4.5. Deney 5 sonuçları

	Canny	LoG	Dalgacık D.	Gabor B.	HSA
Benzerlik(%)	78,12	76,51	69,85	<b>91,70</b>	90,89

Bu deneyin en başarılı algoritması olarak Gabor bankası görülmektedir. Gabor bankası sahip olduğu farklı yönelimler sayesinde analizde başarılı olmuştur.

### Deney 6: Deforme Olmuş Camda Yüzey Analizi:

Şekil 4.12' de üzerinde birçok çizik ve hasar bulunan iyice deforme olmuş bir cam bulunmaktadır. Bu cam üzerinde birçok küçük çizik ve büyük çizikler bulunmaktadır.



Şekil 4.12. Deforme olmuş cam deneyi



Camın üst kısmı sert sürtünme sonucu çizik benzeri deforme olmuştur. Bu kısmın algılanması ve değerlendirilmesi algoritmalar tarafından zor olmuştur. Fakat tüm algoritmalar tarafından büyük bölümü veya bir kısmı algılanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6' da görülmektedir.

Çizelge 4.6. Deney 6 sonuçları

	Canny	LoG	Dalgacık D.	Gabor B.	HSA
Benzerlik(%)	61,55	78,72	57,97	78,06	<b>94,30</b>

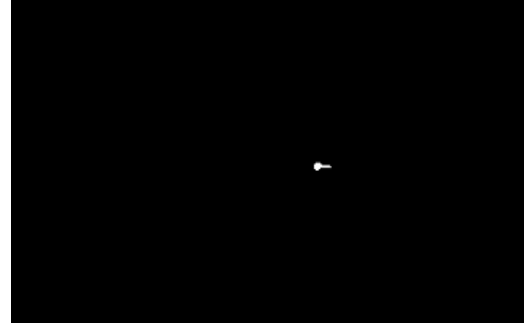
Bu bölgedeki algılama ve yorumlama sorunları yüzünden başarımları oranları düşük olmuştur.

### Deney 7: Baloncuk Hatası Bulunan Camda Yüzey Analizi:

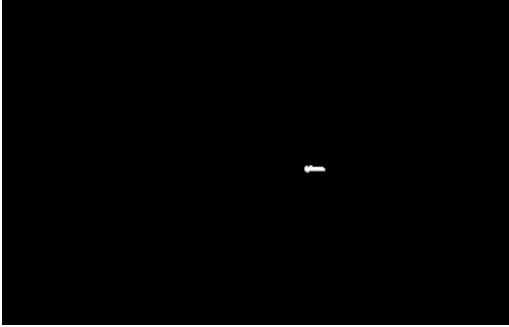
Şekil 4.13' te iç kısmında bir baloncuk bulunan ve baloncuktaki havanın sağ tarafa kayarak oluşturduğu bir hata şekli görülmektedir. Baloncuk hatası oldukça küçük olduğundan ve camın orta kısımlarında olduğundan zorlayıcı bir hasar türüdür.



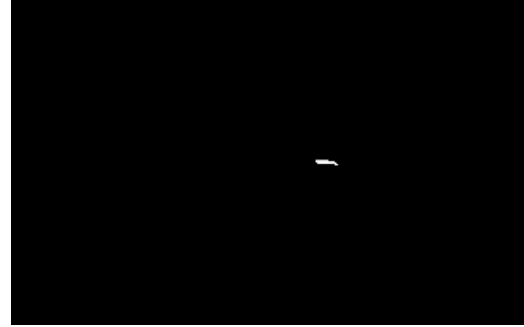
Cam Görüntüsü



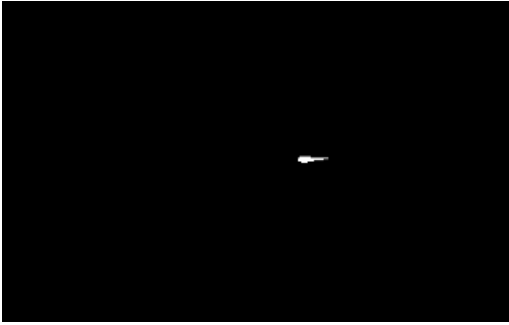
Referans Görüntü



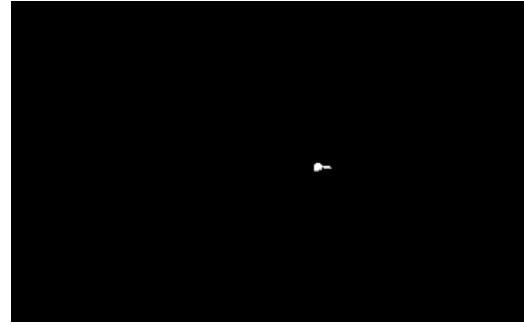
Canny Uygulanması



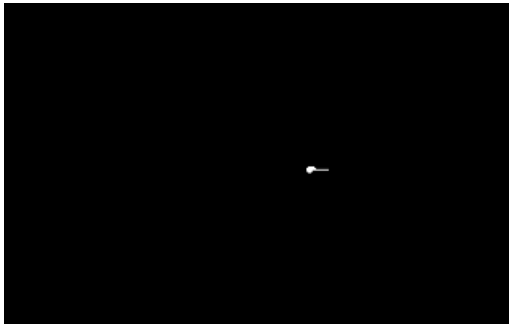
LoG Uygulanması



Dalgacık Dönüşümü Uygulanması



Gabor Bankası Uygulanması



HSA Uygulanması

Şekil 4.13. Baloncuklu cam deneyi

Kurulan sistemin avantajları ve yöntemlerin etkin kullanılmasıyla bu zorlayıcı durumda başarı seviyesi oldukça yüksektir. Çizelge 4.7' de deney sonuçları görülmektedir. Gabor bankası diğer yöntemlere göre daha başarılı sonuç vermiştir ve bankanın üye sayısını çoğaltırsak işlem süresi uzar ama başarı oranı daha yukarı çıkacaktır.

Çizelge 4.7. Deney 7 sonuçları

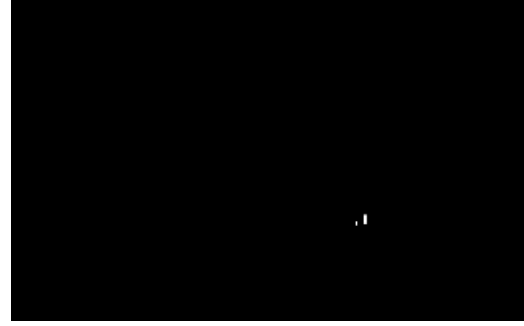
	Canny	LoG	Dalgacık D.	Gabor B.	HSA
Benzerlik(%)	72,11	82,91	70,26	<b>92,34</b>	89,97

### Deney 8: Çok Küçük Çizik Bulunan Camda Yüzey Analizi:

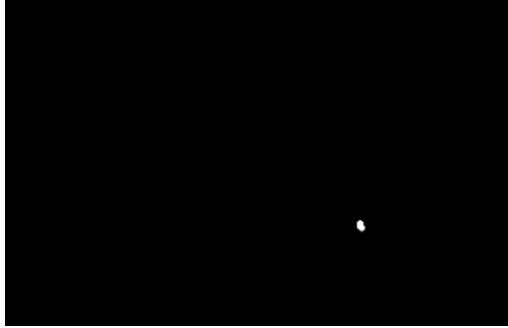
Şekil 4.14' te üzerinde çok küçük çizik olan bir cam bulunmaktadır. Bu cam üzerinde bulunan çizğin çıplak gözle görülmesi oldukça zordur.



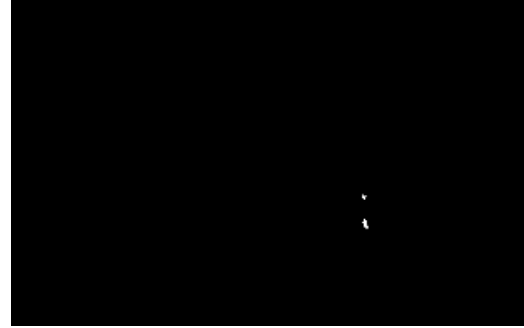
Cam Görüntüsü



Referans Görüntü



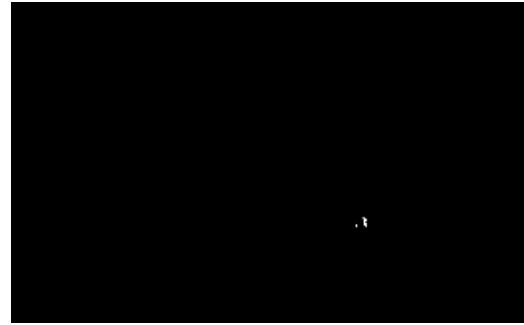
Canny Uygulanması



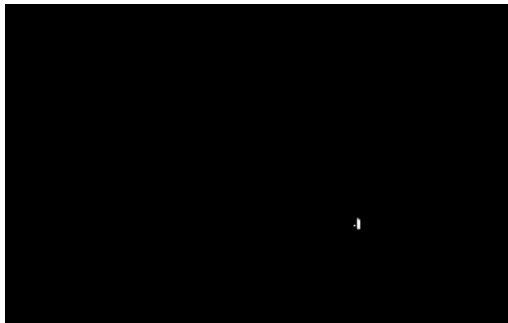
LoG Uygulanması



Dalgacık Dönüşümü Uygulanması



Gabor Bankası Uygulanması



HSA Uygulanması

Şekil 4.14. Çok küçük hasara sahip cam deneyi

Üzerinde işaretleme yapmadan cam üzerinde bir çizik olduğunu bulmak dakikalar sürmekte ve bazı kişiler tarafından fark edilememektedir. Böyle zorlayıcı bir hasar analizinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.8’ de verilmektedir.

Çizelge 4.8. Deney 8 sonuçları

	Canny	LoG	Dalgacık D.	Gabor B.	HSA
Benzerlik(%)	64,69	72,04	61,37	90,26	<b>90,88</b>

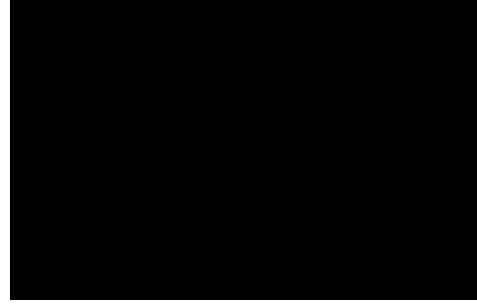
HSA ve Gabor bankası bu deneyde en başarılı sonuçları vermiştir. İki algoritmanında birbirlerine yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.

### Deney 9: Hasarsız Buzlu Camda Yüzey Analizi:

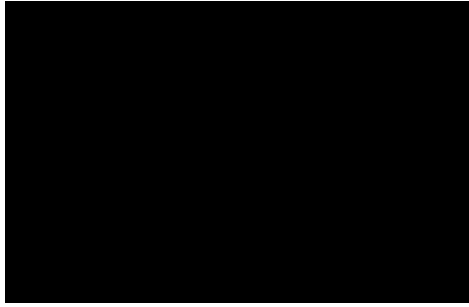
Şekil 4.15' te buzlu cam üzerinde yapılan analizler görülmektedir. Buzlu cam üzerinde belirli desenler ve bolca pürüzlü alan bulunmaktadır. Bahsedilen bu alanların normal cam üzerinde yapılan analizlerde hata olarak algılanmasını sağlamıştık. Fakat şimdi bu doku desenlerini takip ederek sürekliliğin bozulduğu bölgeleri hata olarak belirtmek gerekmektedir.



Cam Görüntüsü



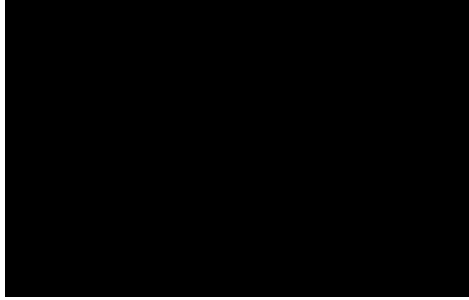
Referans Görüntü



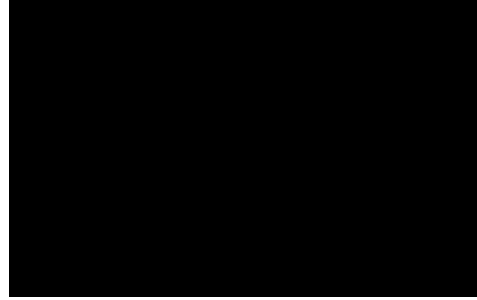
Canny Uygulanması



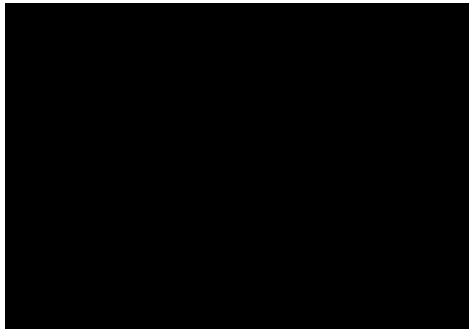
LoG Uygulanması



Dalgacık Dönüşümü Uygulanması



Gabor Bankası Uygulanması



HSA Uygulanması

Şekil 4.15. Hasarsız buzlu cam deneyi

Hataların aranması işleminde en başından beri takip edilen işlem bir referans ile karşılaştırmak değil anlık hataların ışınları kamera ekranına yansıtması prensibine göre belirlemiştik. İlk olarak üzerinde hata bulunmayan bir buzlu cam incelenmiştir. Bu buzlu cam üzerinde herhangi bir çizik bulunmamıştır ve tüm inceleme algoritmaları %100 başarı ile sonuç vermiştir. Bu durum Çizelge 4.9' da görülmektedir.

Çizelge 4.9. Deney 9 sonuçları

	Canny	LoG	Dalgacık D.	Gabor B.	HSA
Benzerlik(%)	100	100	100	100	100

**Deney 10: Çizik Buzlu Camda Yüzey Analizi:**

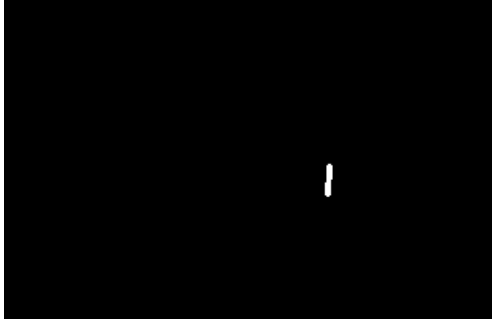
Şekil 4.16' da buzlu ve üzerinde çizik bulunan bir cam yüzeyinde inceleme yapılmıştır. Bu cam üzerinde inceleme işlemi hem insan gözü için hem de sistemimiz için oldukça zorlayıcı olmuştur.



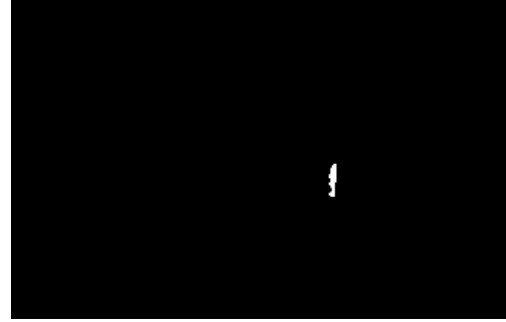
Cam Görüntüsü



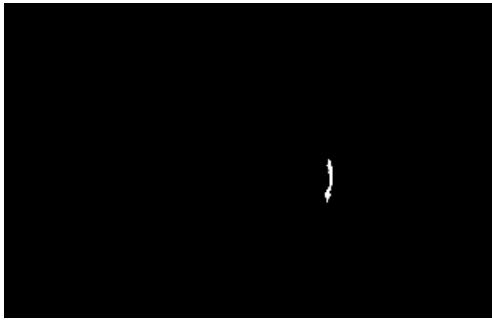
Referans Görüntü



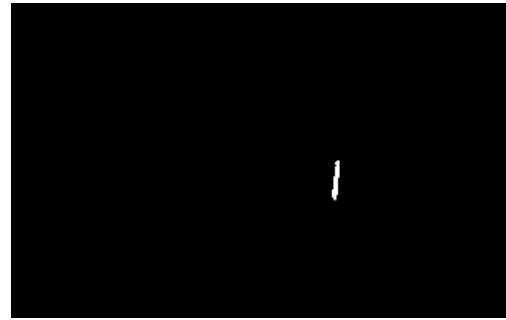
Canny Uygulanması



LoG Uygulanması



Dalgacık Dönüşümü Uygulanması



Gabor Bankası Uygulanması



HSA Uygulanması

Şekil 4.16. Çizik buzlu cam deneyi



Bütün algoritmalar başarı ile hatayı bulma işlemini gerçekleştirmiştir. Ama hatanın tam boyutu ve şekliyle ilgili başarı oranları çok yüksek çıkmamıştır. Bunun sebebi buzlu camda bulunan desenler ile çiziklerin bazı yerlerde birleşmesinden kaynaklanmaktadır. Çizelge 4.10' da elde edilen benzerlik sonuçları verilmektedir.

Çizelge 4.10. Deney 10 sonuçları

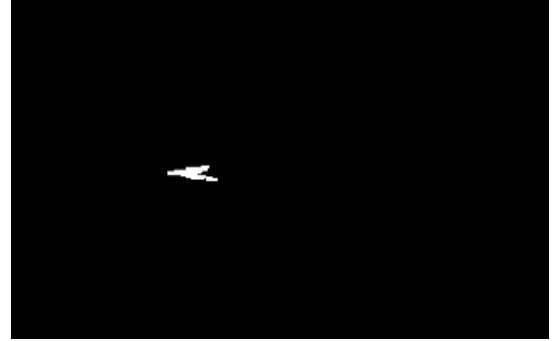
	Canny	LoG	Dalgacık D.	Gabor B.	HSA
Benzerlik(%)	74,23	63,83	58,27	80,12	<b>87,52</b>

**Deney 11: Buzlu Yüzeyi Çizik Camda Yüzey Analizi:**

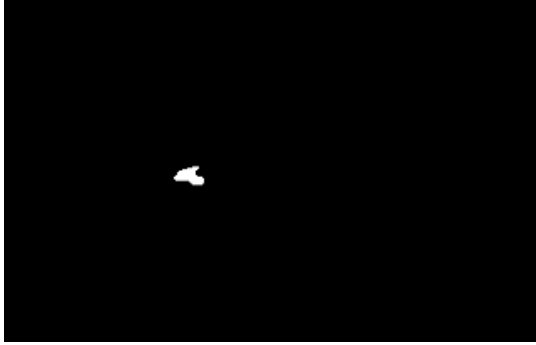
Şekil 4.17' de buzlu tarafı çizik olan bir cam yüzeyinde yapılan analiz şekilleri görülmektedir.



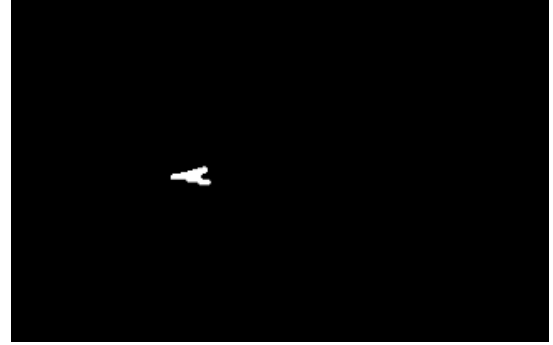
Cam Görüntüsü



Referans Görüntü



Canny Uygulanması



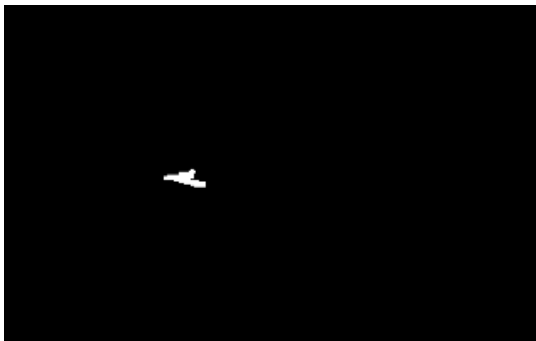
LoG Uygulanması



Dalgacık Dönüşümü Uygulanması



Gabor Bankası Uygulanması



HSA Uygulanması

Şekil 4.17. Buzlu yüzeyi çizik cam deneyi

Yapılan analizlerde elde edilen şekiller birbirlerine çok benzerdir ve boyutları biraz farklılıklar göstermektedir. Bunun sebebi çizik buzlu tarafta olduğu için çizigin nerede başlayıp nerede bittiğinin belirlenebilmesi zorluğudur. Sonuçlar Çizelge 4.11' de görülmektedir.

Çizelge 4.11. Deney 11 sonuçları

	Canny	LoG	Dalgacık D.	Gabor B.	HSA
Benzerlik(%)	78,90	84,31	77,78	80,70	<b>90,19</b>

HSA algoritması diğer algoritmalarla karşılaştırıldığında

Yapılan çalışmada birbiri ile farklı olan 11 cam numunesi incelenmiştir ve sonuçları paylaşılmıştır. İncelenen cam modelleri neredeyse her alanda karşımıza çıkan ve oldukça sık kullanılan düz camlar ve buzlu camlardır. Bu camların pürüzsüz olması üzerinde herhangi bir hata bulunmaması büyük önem taşımaktadır. Camların pencerelerden çay bardaklarına, fırınlardan gözlük sektörüne kadar pek çok yerde kullanılıyor olması sektördeki önemini artırmaktadır. Bu sebeple bu camların kusurlarının en az seviyede olması hem ekonomik açıdan hem de hammaddelerin israf edilmemesi bakımından önemlidir. Buzlu camlar ise daha çok iç mekânın rahat görülmesini engelleyecek kısımlarda kullanılmaktadır. Fakat yine bu camlarında yüzeylerinde hasar olması estetik duruşu bozacağından hasarlı olarak üretilmemesi veya geri dönüşüme kazandırılması gerekmektedir.

Çalışmamızda cam yüzeyi ve içindeki fiziksel kusurlar farklı görüntü işleme algoritmaları ile değerlendirilerek, tasarlanmış aydınlatma sistemimize en uygun model çıkarılmıştır. Algoritma performanslarının kıyaslanması için aynı görüntüler kullanılmıştır. Bir model ile diğer bir modele uygulanan görüntüde farklı işlemler uygulanmamıştır. Böylece modellerin doğal başarıları kıyaslanmıştır. Çizelge 4.12' de bütün deneylerin sonuçları görülmektedir. Kıyaslanan modeller piksellerin komşuluk ilkesine göre, görüntüdeki çizgilerin yönelimine göre ve kenar belirleme esaslı çalışırlar. Bu farklılıklar farklı yüzeylerde elde edilen çiziklerin yorumlanmasını etkilemektedir. Bunun sonucu olarak bazı çiziklerde oldukça başarılı sonuçlar veren algoritmalar bazı çiziklerde ise düşük başarılar verebilmektedir. Çizelge 4.12' den en başarılı model HSA modeli olarak elde edilmiştir. Algoritmalar sonucunda elde edilen şekiller genel olarak ince şekilde çizilmiş bir referans görüntü üzerinde test edilmektedir. Bu çizilmiş referans görüntüye göre başarı oranları ölçülmüştür ve çalışmamızda elde ettiğimiz kusurlu bölge sınır çizgilerinin de dâhil olmasıyla orijinal kusurdan sınır piksel kalınlığı kadar büyük görünmektedir. Bunun sebebi olarak kullanılan kameranın çözünürlüğünün düşük olması gösterilebilir. Kameradan elde ettiğimiz görüntülerde pikseller tam olarak keskin bir kenar geçişi sağlayamadığından azalan piksel değerleri de algoritmalar tarafından hasarlı bölge olarak algılanabilmektedir. Bunun önlenmesi için daha kaliteli kameralar kullanılabilir. Genel olarak Çizelge 4.13' e bakıldığında en başarılı algoritmalar olarak HSA ve Gabor bankası görülmektedir.

Çizelge 4.12. Tüm deney sonuçlarının birleştirilmesi

<i>Benzerlik Oranı(%)</i>	<i>Canny</i>	<i>LoG</i>	<i>Dalgacık D.</i>	<i>Gabor B.</i>	<i>HSA</i>
<i>Deney 1</i>	100	100	100	100	100
<i>Deney 2</i>	70,56	52,19	75,20	92,73	89,74
<i>Deney 3</i>	73,38	77,25	76,89	82,84	90,61
<i>Deney 4</i>	72,27	72,34	71,94	93,91	82,19
<i>Deney 5</i>	78,12	76,51	69,85	91,70	90,89
<i>Deney 6</i>	61,55	78,72	57,97	78,06	94,02
<i>Deney 7</i>	72,11	82,91	70,26	92,34	89,97
<i>Deney 8</i>	64,69	72,04	61,37	90,26	90,88
<i>Deney 9</i>	100	100	100	100	100
<i>Deney 10</i>	74,23	68,83	58,27	82,12	87,52
<i>Deney 11</i>	78,90	84,31	77,78	80,70	90,19

Çizelge 4.12' de görüldüğü üzere bazı algoritmaların başarılarının düştüğü ve yükseldiği durumlara rastlanmaktadır. Bunlar ortam şartlarının algoritma içyapısının oluşturduğu durumlardan kaynaklanmaktadır. Camlar üzerinde inceleme yapılarak hataların araştırılmasında kullanılmak üzere bu tez çalışmasında geliştirilen prototip şartlarında en uygun olan iki algoritmayı belirlemek için her algoritmanın sonuçlarının ortalamasını alarak genel sonuçları bulabiliriz. Bu sayede elde edilen bu ortalamalara bakarak hangi algoritmanın kullanılmasının daha uygun olabileceği ile ilgili bir çıkarımda bulunabiliriz.

Çizelge 4.13. Tüm deneylerin ortalamaları

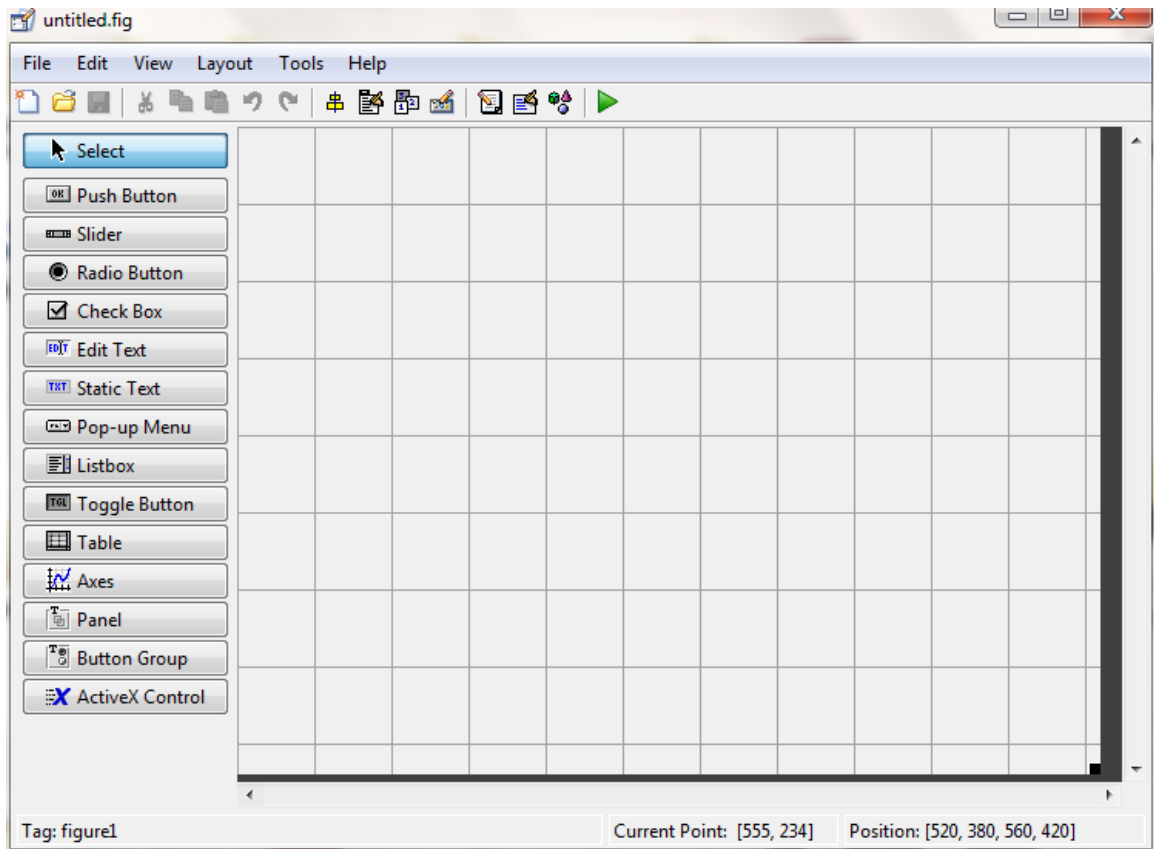
	<i>Canny</i>	<i>LoG</i>	<i>Dalgacık D.</i>	<i>Gabor B.</i>	<i>HSA</i>
<i>Benzerlik(%)</i>	76,91	78,65	74,54	89,55	<b>91,46</b>

Ortalama değerlerden görüldüğü Çizelge 4.13' e bakıldığında bu deney düzeneğinde ve bu şartlar altında en başarılı algoritma HSA algoritmasıdır. Daha sonra ise ona çok yakın olan Gabor bankası algoritması gelmektedir. Gabor bankası üye

sayısını artırarak ve yönelim değeri çeşitliliğini artırarak bu başarıyı 5-6 puan yukarıya çıkarmak mümkün olabilir.

## 5. KULLANICI ARAYÜZÜNÜN TASARLANMASI

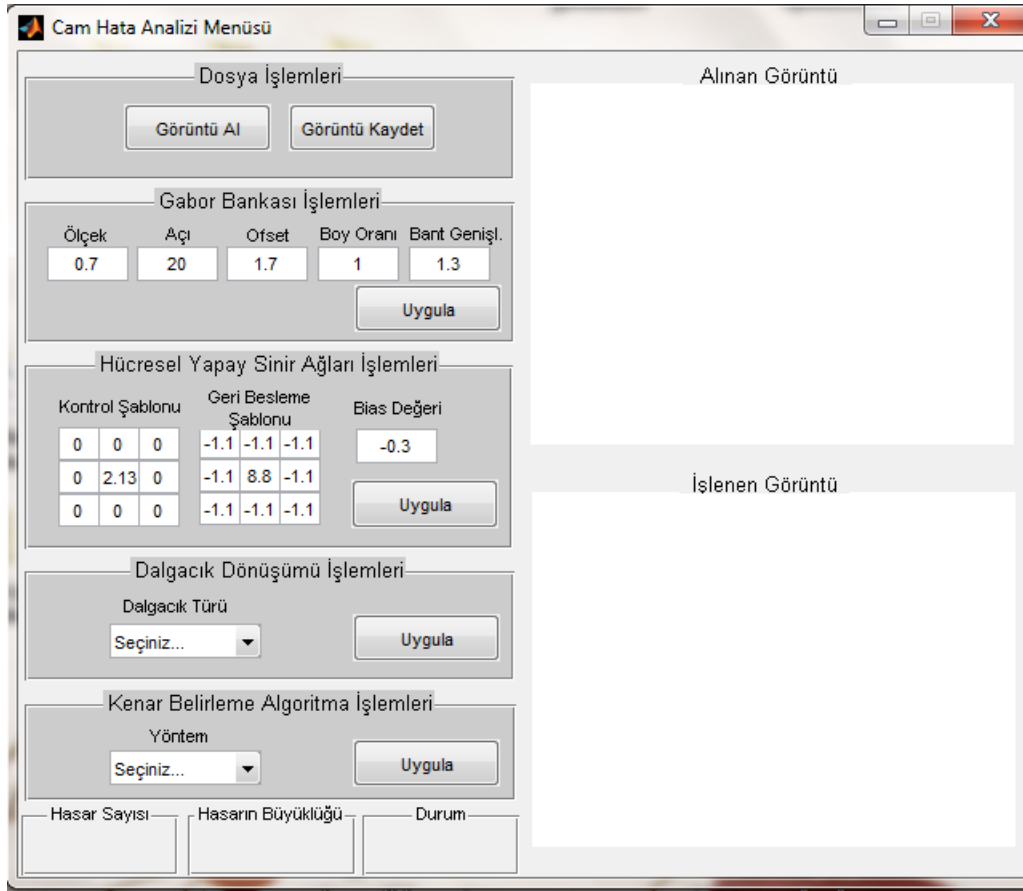
Camda hata aramak üzere bir prototip geliştirilmiş ve sonra en uygun algoritmayı belirleme çalışmaları yapılmıştır. Bu bilgileri bilgisayarın dünyasından kullanıcıya aktarmak için bir arayüz gerçekleştirilmiştir. Bunun için MATLAB GUIDE kullanılmıştır. GUIDE (Graphical User Interface DEsign) görsel tasarım yapılabilmesine imkân sağlayan bir MATLAB bölümüdür. Bu kısım içinde düğmeler, metin kutuları, görüntü kutuları, kaydırma çubukları gibi birçok görsel tasarım öğesi bulunmaktadır. Şekil 5.1’ de guide ara yüzü basit şekilde görülmektedir.



Şekil 5.1. Guide arayüzü

Tasarlanan arayüzde temel amaç bilgisayar tarafından alınarak yorumlanan bilgilerin kullanıcı için anlamlı halde sunulmasıdır. Bunun için tez çalışmasında oldukça basit fakat kullanışlı bir arayüz tasarlanmıştır. Tasarlanan arayüz de, beş adet alan bulunmaktadır. Bunlar görüntünün alınmasına ve kaydedilmesine olanak sağlayan dosya işlemleri menüsü, gabor bankası ile işlem yapılabilmesine olanak sağlayan gabor bankası menüsü, hüresel sinir ağları menüsü, dalgaık dönüşümü menüsü ve kenar bulma algoritmaları ile ilgili menüdür. Gabor menüsü kullanımında istenilen gabor

değerleri girilerek gabor bankası oluşturulur ve görüntüye uygulanır. İlk anda verilen değerler bizim tarafımızdan seçilen genel değerlerdir fakat istenilen uygulamaya göre bu değerler değiştirilebilir. HSA menüsünde ise bir kontrol şablonu, bir geri besleme şablonu ve bias değeri bulunmaktadır. Buradaki değerler bizim tarafımızdan bu uygulama için seçilmiş en uygun değerlerdir. Fakat arayüz üzerinden bu değerler değiştirilerek işlem yapılabilir. Dalgacık dönüşümü menüsünde ise seçiniz kısmına basarak aşağı doğru açılan seçeneklerden bir dalgacık türü seçilmektedir. Seçilen dalgacık türü ile işlem yapılır. Kenar belirleme menüsünde yine seçiniz yazan metne basarak Log veya Canny algoritması seçilebilmektedir. Her menüde bulunan uygula butonları ise seçilen değerlerin görüntüye uygulanmasına ve uygulama sonucuna elde edilen görüntünün kaydedilmesine olanak sağlamaktadır. Arayüzün sağ tarafında ise üst kısımda alınan görüntü ve alt kısımda işlem yapılan görüntü kısmı bulunmaktadır. Ayrıca menülerin bulunduğu kısmın altında camda bulunan hataların piksel olarak boyutu, birbirinden bağımsız olarak belirlenen hasar sayısı ve camın çiziklik durumu belirtilmektedir. Şekil 5.2’ de tasarlanan arayüz görülmektedir.

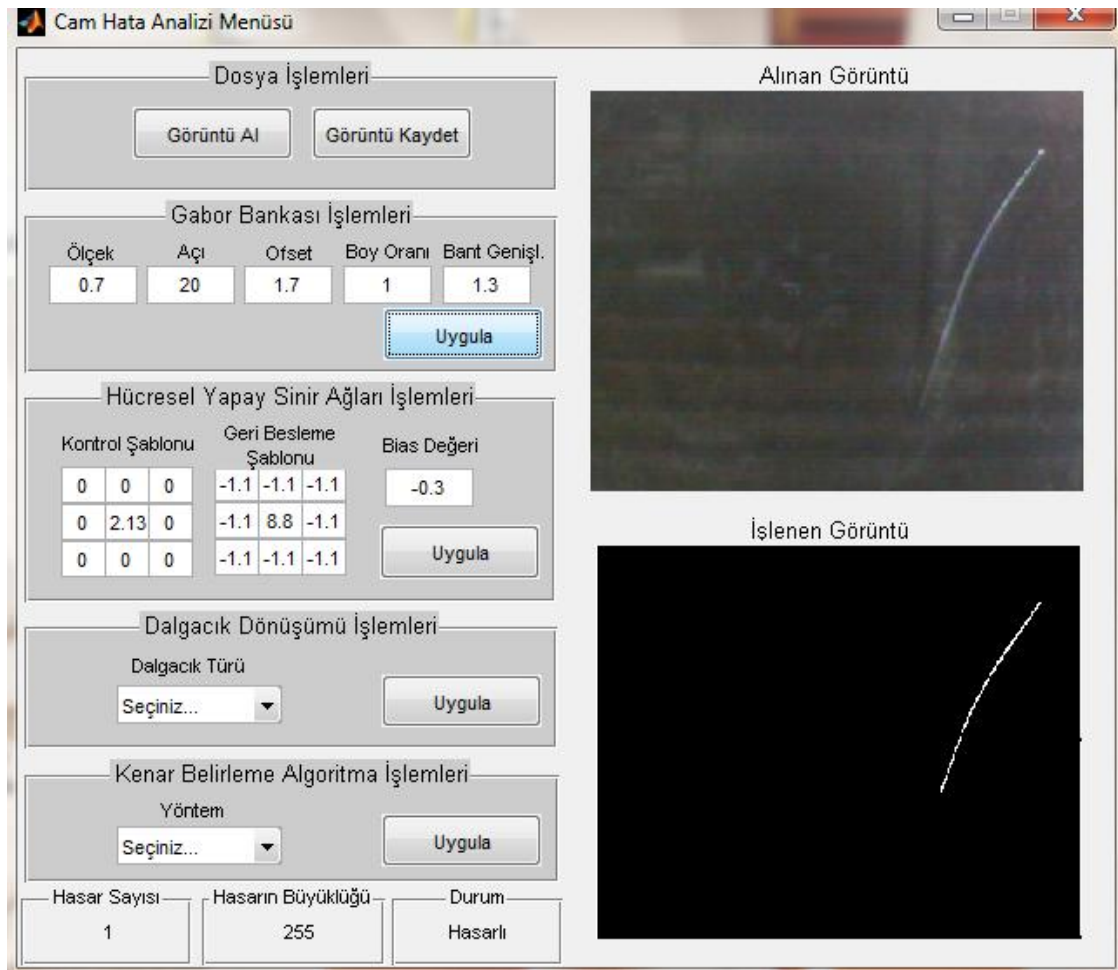


Şekil 5.2. Tasarlanan arayüz



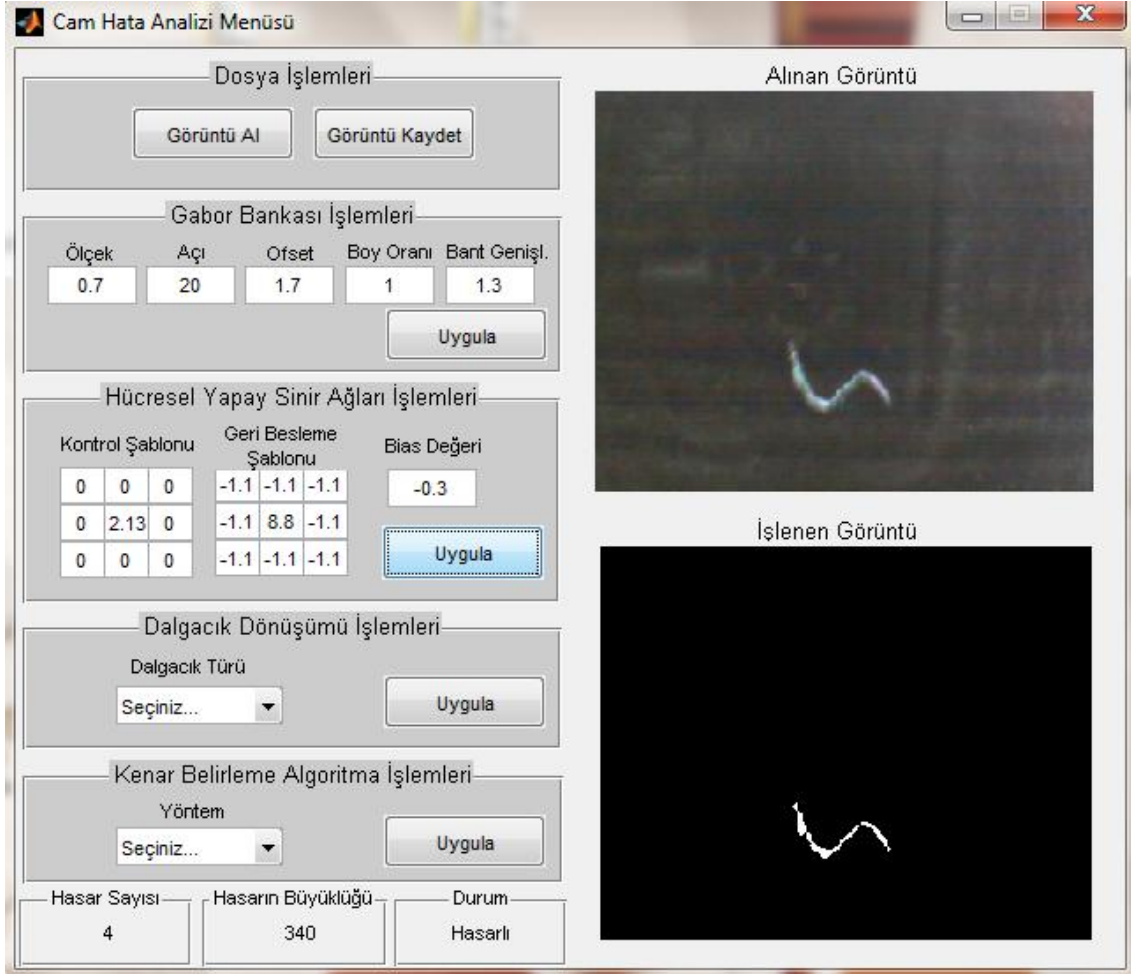
Arayüzün ‘Durum’ kısmında hasarlı veya hasarsız cam olmak üzere iki adet uyarı bulunmaktadır. Bir camın hatalı olarak değerlendirilebilmesi için üzerinde üretici firmanın belirlediği en fazla hasarlı alandan daha fazla hasarlı alan olmalıdır. Bu sebepten dolayı aynı cam yüksek kalitede üretim yapan bir firma tarafından hasarlı ürün olarak değerlendirilirken düşük kalitede üretim yapan bir firma tarafından kusursuz olarak değerlendirilebilir. Programdaki ‘Durum’ kısmındaki değerlendirmede bu ölçütlerden biri baz alınarak program iç kısmında belirtilmiş ve öyle değerlendirme yapılmıştır.

Şekil 5.3’ te geliştirilen arayüz ile yapılmış bir deney ve deneyin kullanıcı için gerekli olan bilgileri görülmektedir. Yapılan deneyde, alınan görüntüde tek bir sürekli çizik vardır. Gabor bankası işlemler menüsündeki uygula butonuna basılmış ve gabor filtresi uygulanmıştır. Uygulama sonucunda elde edilen görüntü işlenen görüntü kısmında görülmektedir ve en alt kısımda ise cam ile ilgili çiziklik durumu görülmektedir.



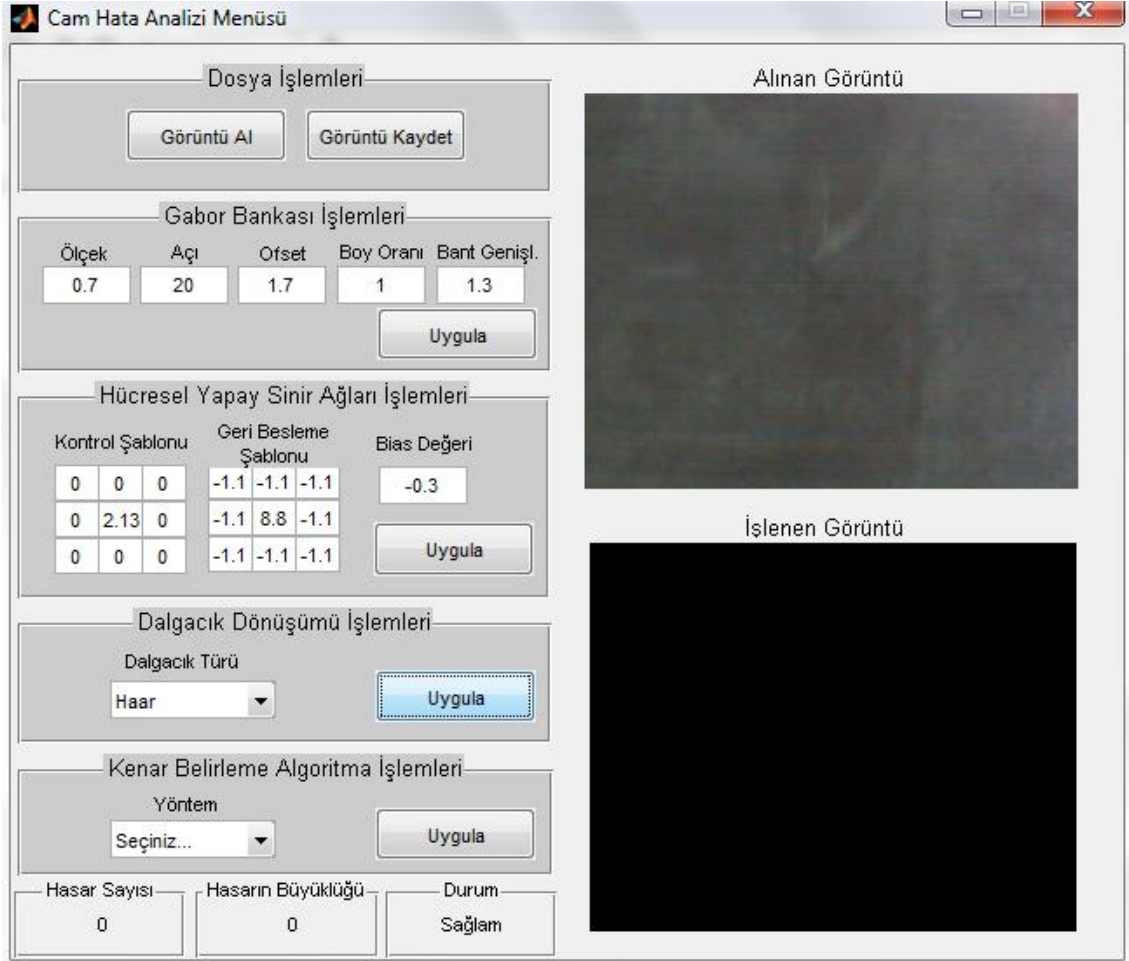
Şekil 5.3. Arayüz uygulaması

Şekil 5.4' te kavisli çizige sahip bir cam üzerinde analiz işlemi yapılmış ve sonuçları arayüz kullanılarak yansıtılmıştır. Bu işlemde HSA menüsü kullanılmıştır. Camın durumuna bakıldığından 4 ayrı çizigin bulunduğu belirtilmiştir. Camın durumu yakından incelendiğinde kavisli bölgenin ara ara bölündüğü görülmüştür ve bu 4 ayrı çizik belirlenmesi doğrudur. İstenirse katsayılar değiştirilerek işlemlerde yapılabilmektedir.



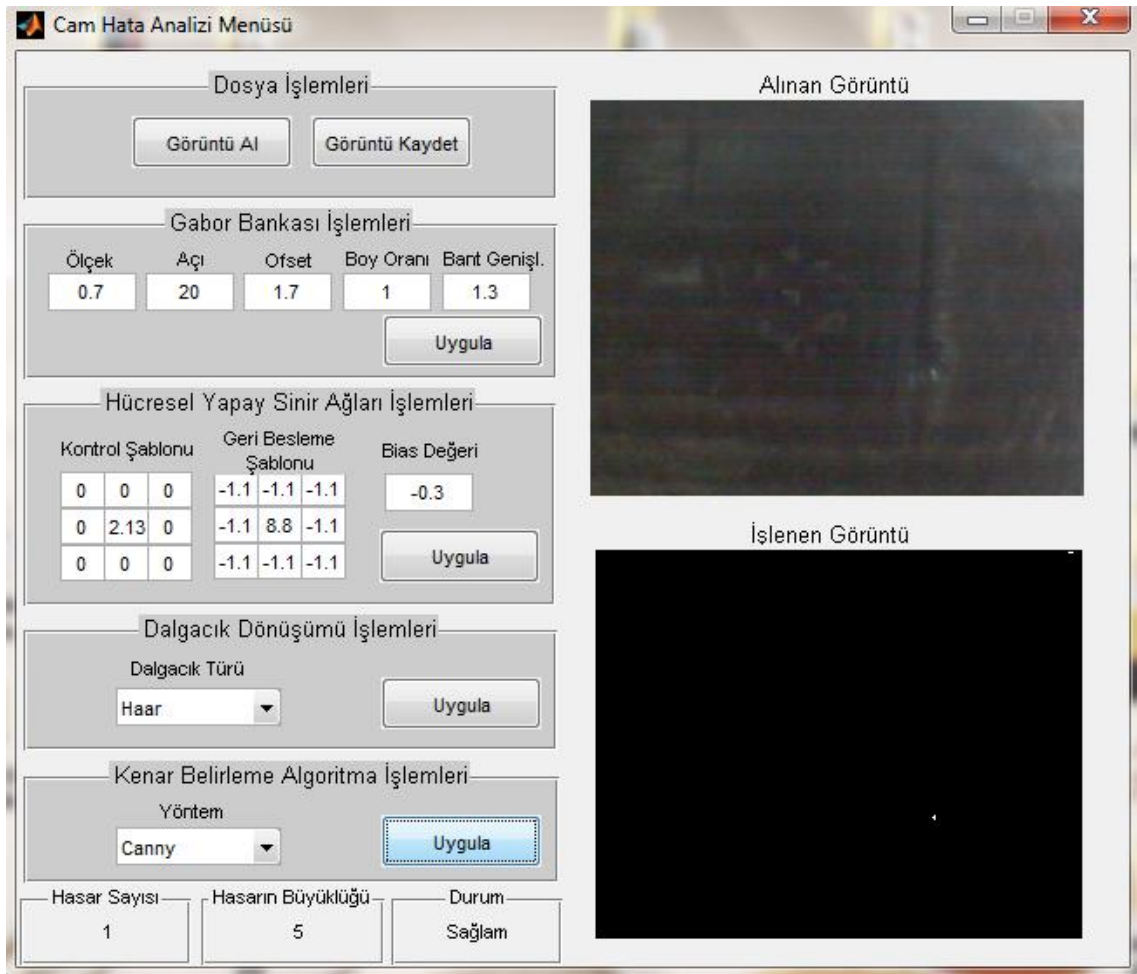
Şekil 5.4. Arayüz uygulaması 2

Şekil 5.5' te üzerinde hasar olmayan bir cam incelenerek arayüz yardımıyla kullanıcıya sunulmuştur. Bu cam üzerinde Dalgacık menüsü kullanılarak işlem yapılmıştır ve dalgacık türü olarak açılan kısımdan ise Haar dalgacık türü seçilmiştir.



Şekil 5.5. Arayüz uygulaması 3

Son olarak Şekil 5.6' da üzerinde çok az hasar bulunan bir cam görülmektedir ve hasarsız olarak değerlendirilmiştir. Bunun sebebi belirlenen hata toleransı değerlerinin altında bir hasara sahip olmasıdır. Bu cam kenar belirleme menüsü kullanılarak ve Canny kenar belirleme algoritması seçilerek analizi edilmiştir. Cam hasar durumuna bakıldığında camın hasarsız olduğu belirtilmiştir fakat cam içerisinde çok küçük bir baloncuk bulunmaktadır. Baloncukun boyutu çok küçük olduğundan hata olarak değerlendirilmemektedir. Fakat yüksek kalitede üretim yapılırsa bu kadar küçük hasarlarında hatalı cam olarak değerlendirilir.



Şekil 5.6. Arayüz uygulaması 4

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 6.1 Sonuçlar

Bu çalışmada kullanımı oldukça yaygın olan ve ekonomik olarak önemli bir malzeme olan cam yüzeyi incelenmiştir. Cam yapı bakımından silisyum içerikli saydam, geri dönüşümü mümkün bir malzemedir. Ayrıca renksiz, kokusuz, ısıl genleşme katsayısı düşük bir malzemedir. Bu sebeplerden dolayı basit sensörler kullanılarak cam yüzeyinin incelenmesi mümkün değildir. Teknolojinin ilerlemesi, görüntü işleme tekniklerinin artması ve erişilebilirliğinin kolaylaşması ile cam yüzeyinin kameralar yardımı ile incelenmesine ilişkin yeni çalışmalar literatürde yer bulmuştur. Bu çalışmada yüzey görüntüsünün kamera ile alınması ve yeni bir aydınlatma tekniği ile cam yüzey hasarlarının bulunması için bir yöntem kurgulanmıştır. İnceleme işlemi için öncelikle camın sahip olduğu karakteristik özellikler göz önünde bulundurularak bir prototip ölçüm ortamı tasarlanmıştır. Tasarlanan prototip ile 10x8 cm ölçülerinde numune cam yüzeyleri incelenmektedir. Donanım kısmında oldukça önemli olan kontrollü aydınlatma ve cam içine ışınların enjekte edilebileceği bir tasarım oluşturulmuştur. Burada oluşturulan sisteme dışarıdan ışık girmesi önlenmiştir. Bu sayede içeride cam içine göndereceğimiz ışık miktarı bizim tarafımızdan kontrol edilebilir olmaktadır. Sistemde ışık kaynağı olarak LED kullanılarak hem kontrolünün kolaylığı hemde başarı seviyesinin artması hedeflenmiştir. Denenen algoritmalar Canny ve LoG kenar belirleme algoritması, dalgacık dönüşümü, Gabor bankası ve hücresel sinir ağı modelleridir. Bunları başarımları bir referans görüntü kullanılarak karşılaştırılmış ve karşılaştırma esnasında elde edilen sonuç görüntüleri üzerinde iyileştirmeler yapılmamıştır. Elde edilen sonuçların başarı oranları yalın başarı oranları modellerin birbiri arasındaki aynı görüntüye karşı elde ettikleri başarı değerleridir.

Yaptığımız çalışmalarda kurgulanan sistem ile en başarılı model olarak %91,46 ile HSA ve %89,55 ile Gabor bankası olmuştur. Değerlendirilen numune cam modelleri 11 adettir. Bu numuneler 8 adet düz camdan ve 3 adet buzlu camdan oluşmaktadır. Düz camlar arasında bir adet hasarsız cam, bir adet içerisinde baloncuk bulunan, bir adet çok küçük bir çizige sahip, bir adet kırık cama ve 4 adet üzerinde çeşitli yerlerde hasarlar bulunan cam vardır. Buzlu camlarda ise bir adet hasarsız ve iki adet hasarlı cam bulunmaktadır.

Bu çalışmanın ana katkılarını şu şekilde sıralayabiliriz;

Çalışmada yapılan aydınlatma sistemi cam içinin aydınlatılması temeline dayanmaktadır. Bu yüzden içten yapılan aydınlatma ile cam yüzeyindeki kir, toz gibi cama ait olmayan ajanlardan bağımsız bir algılama mümkün olmuş ve başarı seviyemiz değişmemiştir..

Doku analizi için Gabor Bankası yöntemi başarılı bulunmuş ve çalışmamıza özel bir Gabor Bankası oluşturulmuştur. Böylece sistem ileriki çalışmalarımızda daha hızlı ve etkin sonuçların elde edileceği bir kütüphane haline dönüştürülmüştür.

Kameranın yüzeye dik oluşundan dolayı stereo bir görüntüye ihtiyaç duyulmaması ve boyutlandırma her noktaya dik bakıldığı düşüncesinden yola çıkılarak hesaplanmıştır.

Yaptığımız tasarım cam yüzeyi analizlerinde kullanılan diğer yöntemlerle kıyaslandığında daha optimum ve ekonomik bir çözüm önerisi getirmektedir.

Sonuç olarak geliştirilen bu sistem ile hammaddeler hatalı olarak kullanıcıya gitmeden geri dönüşüme kazandırılmış olacak ve hammadde israfı önlenmiş olacaktır. Ayrıca kalite kontrolde geliştirilen bu sistem ile sanayinin üretim kalitesi ve üretim hızı artacaktır. Bu durumda rekabet gücü artmış olacaktır.

Gelecek çalışmalarda insan gözü ve diğer sistemler için algılanması zor olan yüzey ve dokular (parlayan, yansıyan, desenli, doğal pürüzlü) incelenecektir. Özellikle başarı oranlarının artırılması için hibrit algoritmalar üzerinde çalışılacaktır.

## 6.2 Öneriler

Prototip boyutları büyütülerek ve ışıklandırma kaynağı daha etkin kontrol edilerek daha büyük camlar üzerinde daha başarılı analizler yapılabilir. Kullanılan kamera görüntü sensörü değiştirilerek farklı çözünürlükte başarı oranları incelenerek sistemin başarı oranı artırılabilir. Farklı dalga boylarında ışın kaynakları kullanılarak cam içindeki yoğunluk farkları ve böylece dış ortamda da başarılı analizler yapılabilir. Böylece mercek, otomobil camı gibi daha spesifik camlarda incelenebilir.

## KAYNAKLAR

- Adamo, F., Attivissimo, F., Di Nisio, A., and Savino, M., 2008, An Automated visual inspection system for the glass industry, In Proc. of 16th IMEKO TC4 Symposium, Florence, Italy, Vol. 9, 22-24.
- Adamo, F., Attivissimo, F., Di Nisio, A., and Savino, M., 2009, An online defects inspection system for satin glass based on machine vision, In Instrumentation and Measurement Technology Conference, I2MTC'09 IEEE, 288-293.
- Ai, J., and Zhu, X., 2002, Analysis and detection of ceramic-glass surface defects based on computer vision, In Intelligent Control and Automation, Proceedings of the 4th World Congress on, Vol. 4, 3014-3018.
- Akdemir B. and Öztürk Ş., 2015, Glass Surface Defects Detection with Wavelet Transforms, International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing vol. 3, no. 3, 170-173. (In press.)
- Baker, H., 1977, Three-dimensional modelling, In Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence, Vol. 2, 649-655.
- Canny, J., 1986, A Computational Approach to Edge detection, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 679-700.
- Ceylan, M., 2009, Bilgisayar Tomografili Akciğer Görüntülerinin Değerlendirilmesinde Kompleks Değerli Yeni Bir Akıllı Sistem Tasarımı, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Chao, S. M., and Tsai, D. M., 2008, An anisotropic diffusion-based defect detection for low-contrast glass substrates, Image and Vision Computing, 26(2), 187-200.
- Chua, L. O., and Yang, L., 1988, Cellular neural networks: Applications, Circuits and Systems, IEEE Transactions on, 35(10), 1273-1290.
- Chua, L. O., and Yang, L., 1988, Cellular neural networks: theory, IEEE Trans Circuits System, 35(1), 257.
- Chung, Y. K., and Kim, K. H., 1998, Automated visual inspection system of automobile doors and windows using the adaptive feature extraction, In Knowledge-Based Intelligent Electronic Systems, Proceedings KES'98, 1998 Second International Conference on, Vol. 3, 286-293.
- Clowes, M. B., 1971, On seeing things, Artificial intelligence, 2(1), 79-116.
- Daugman, J. G., 1985, Uncertainty relation for resolution in space, spatial frequency, and orientation optimized by two-dimensional visual cortical filters. JOSA A, 2(7), 1160-1169.
- Dogaru, R., 2003, Universality and emergent computation in cellular neural networks, River Edge, NJ: World Scientific.

- Fezani, F., and Rahmani, A., 2006, Wavelets analysis for defects detection in flat glass, In *Computational Engineering in Systems Applications, IMACS Multiconference on*, Vol. 1, 132-139.
- Gabor, D., 1946, Theory of communication. Part 1: The analysis of information. *Journal of the Institution of Electrical Engineers-Part III, Radio and Communication Engineering*, 93(26), 429-441.
- George, J., Janardhana, S., Jaya, J., and Sabareesan, K. J., 2013, Automatic defect detection inspectacles and glass bottles based on Fuzzy C Means Clustering, In *Current Trends in Engineering and Technology (ICCTET), 2013 International Conference on*, 8-12.
- Golkar, E., Prabuwono, A. S., and Patel, A., 2012, Real-Time Curvature Defect Detection on Outer Surfaces Using Best-Fit Polynomial Interpolation, *Sensors*,12(11), 14774-14791.
- Gonzalez, R. C., Woods, R. E., and Eddins, S. L., 2004, *Digital image processing using MATLAB*, Pearson Education India.
- Haralick, R. M., 1979, Statistical and structural approaches to texture, *Proceedings of the IEEE*, 67(5), 786-804.
- Healey, G. E. and Shafer, S. A., 1992, *Color. Physics-Based Vision: Principles and Practice*, Jones & Bartlett, Cambridge, MA.
- Huffman, D. A., 1971, Impossible objects as nonsense sentences, *Machine intelligence*, 6(1), 295-323.
- Imbert, G., 1989, Automatic inspection systems for the flat glass industry, In *Industry Applications Society Annual Meeting, Conference Record of the 1989 IEEE*, 1370-1374.
- Jahne B., 2005, *Digital Image Processing*, sixth edition, Springer, Heidelberg.
- Jin, Y., Wang, Z., Chen, Y., Kong, X., Wang, L., and Qiao, W., 2014, Study on inspection method of glass defect based on phase image processing, *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*.
- Jin, Y., Wang, Z., Zhu, L., and Yang, J., 2011, Research on in-line glass defect inspection technology based on Dual CCFL, *Procedia Engineering*, 15, 1797-1801.
- Kırtaç, K., 2008, Gabor feature based face recognition using nearest neighbor discriminant analysis, M. Sc. Thesis, İstanbul Technical University Institute of Science and Technology, İstanbul.
- Kutulakos, K. N., and Seitz, S. M., 2000, A theory of shape by space carving, *International Journal of Computer Vision*, 38(3), 199-218.



- Liu, Y., and Yu, F., 2014, Automatic inspection system of surface defects on optical IR-CUT filter based on machine vision, *Optics and Lasers in Engineering*, 55, 243-257.
- Liu, P. L. F., Yoon, S. B., and Kirby, J. T., 1985, Nonlinear refraction–diffraction of waves in shallow water, *Journal of Fluid Mechanics*, 153, 185-201.
- Livens, S., Scheunders, P., Van de Wouwer, G., and Van Dyck, D., 1997, Wavelets for texture analysis, an overview. In *Image Processing and Its Applications, Sixth International Conference on*, Vol. 2, 581-585.
- Mallat, S. G., 1989, A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation, *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 11(7), 674-693.
- Maini, R. and Aggarwal, H., 2009, Study and comparison of various image edge detection techniques, *International Journal of Image Processing (IJIP)*.
- Mehta, A., 2012, Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Spectroscopy–Limitations and Deviations of Beer-Lambert Law, *Pharma X Change*.
- Misiti M., Misiti Y., Oppenheim G., and Poggi J. M., 1996, *Wavelet Toolbox for Use with MATLAB, The MathWorks*.
- Newman, T. S., and Jain, A. K., 1995, A survey of automated visual inspection, *Computer vision and image understanding*, 61(2), 231-262.
- Peng, X., Chen, Y., Yu, W., Zhou, Z., and Sun, G., 2008, An online defects inspection method for float glass fabrication based on machine vision, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39(11-12), 1180-1189.
- Perng, D. B., Chou, C. C., and Chen, W. Y., 2007, A novel vision system for CRT panel auto-inspection, *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 24(5), 341-350.
- Prewitt, J., 1970, *Object Enhancement and Extraction, Picture Processing and Psychopictorics*, NY, Academic Pres.
- Riza, S., and Anton, S. P., 2007, Intelligent visual inspection of bottling production line through Neural Network.
- Roberts, L.G., 1963, *Machine Perception of Three-Dimensional*, Diss. Massachusetts Institute of Technology.
- Rüfenacht, D., Trumphy, G., Gschwind, R., and Süssstrunk, S., 2013, Automatic Detection of Dust and Scratches in Silver Halide Film using Polarized Dark-Field Illumination, In *Proc. IEEE 20th International Conference on Image Processing (ICIP)*, No. EPFL-CONF-188640, 2096-2100.

- Savolainen, M., Peiponen, K. E., Savander, P., Silvennoinen, R., and Vehvilainen, H., 1995, Novel optical techniques for window glass inspection, *Measurement Science and Technology*, 6(7), 1016.
- Sobel, I., 1970, *Camera Models and Perception*, Ph.D. thesis, Stanford University, CA.
- Szeliski, R., 2010, *Computer vision: algorithms and applications*, Springer.
- Turk, M. A., and Pentland, A. P., 1991, Face recognition using eigenfaces, In *Computer Vision and Pattern Recognition, Proceedings CVPR'91, IEEE Computer Society Conference on*, 586-591.
- Tükel, M., 2009, *VHDL ile Hücresel Yapay Sinir Ağı Gerçeklenmesi, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Waltz, D. L., 1971, *Understanding scenes with shadows*.
- Wolf, K. B., and Krotzsch, G., 1995, Geometry and dynamics in refracting systems, *European Journal of Physics*, 16(1), 14.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Şaban ÖZTÜRK  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Konak / 1989  
**Telefon** : 506 570 2451  
**Faks** :  
**e-mail** : sabanozturk@selcuk.edu.tr

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Çınarlı E.M.L. ve A.T.L. ve T.L., Konak, İZMİR	2007
Üniversite	: Pamukkale Üniversitesi, Kınıklı, DENİZLİ	2011
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, KONYA	2015
Doktora	:	

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
-	-	-

### UZMANLIK ALANI

**YABANCI DİLLER**  
 İngilizce (YDS 2014 - 75)

### YAYINLAR

- Akdemir B. and Öztürk Ş., 2015, Glass Surface Defects Detection with Wavelet Transforms, International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing vol. 3, no. 3, 170-173. (In press.)
- Öztürk Ş. And Akdemir B., 2015, Comparison of Edge Detection Algorithms for Texture Analysis on Glass Production, World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship, Istanbul, Turkey, May 28-30 2015.