

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GRABCUT ETKİLEŞİMLİ BÖLÜTLEME YÖNTEMİ ÜZERİNDE  
İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bilgisayar Müh. Saffet Murat AKTÜRK**

**HAZİRAN 2018**

**TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GRAB CUT ETKİLEŞİMLİ BÖLÜTLEME YÖNTEMİ ÜZERİNDE  
İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI**

**Saffet Murat AKTÜRK**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**  
**"BİLGİSAYAR YÜKSEK MÜHENDİSİ"**  
**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 / 05 / 2018**

**Tezin Savunma Tarihi : 19 / 06 / 2018**

**Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Murat AYKUT**

**Trabzon 2018**

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında  
Saffet Murat AKTÜRK Tarafından Hazırlanan

GRABCUT ETKİLEŞİMLİ BÖLÜTLEME YÖNTEMİ ÜZERİNDE İYİLEŞTİRME  
ÇALIŞMALARI

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 22 / 05 / 2018 gün ve 1754 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

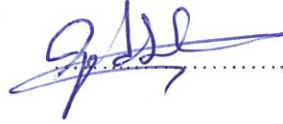
Başkan : Doç. Dr. Selim AKSOY



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Murat AYKUT



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Eyüp GEDİKLİ



Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

## ÖNSÖZ

Günümüzde gerçekleştirilen birçok görüntü işleme uygulamanın ilk adımı olarak bölütleme yöntemleri kullanılmaktadır. Görüntünün elde edilme ortamı, kullanım amacı ve benzeri birçok etkenden dolayı bir bölütleme yöntemi her zaman başarılı olamamaktadır. Bundan dolayı birçok farklı yaklaşım ve algoritmaya dayanan bölütleme yöntemleri önerilmektedir. Bunlardan birisi de renkli görüntüde kullanıcı etkileşimi ve graf bilgisinden faydalanarak geliştirilen GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemidir. Bu çalışmada günümüzde kullanılmakta ve geliştirilmekte olan GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi incelenmektedir. Bu konu çerçevesinde GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin eksik ve zayıf yönleri tespit edilmekte ve bunların giderilmesi için farklı yöntem ve konulardan faydalanılmaktadır.

Bu tezin hazırlanması için yapılan çalışmalar boyunca gerek fikir gerekse bilgi bakımından her türlü yardımda bulunan çok değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Murat AYKUT'a teşekkürü bir borç bilir ve şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca sevgi ve destekleriyle daima yanımda olan aileme teşekkür eder ve saygılarımı sunarım.

Saffet Murat AKTÜRK  
Trabzon 2018

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “GrabCut Etkileşimli Bölütleme Yöntemi Üzerinde İyileştirme Çalışmaları” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Murat AYKUT'un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

19/06/2018

Saffet Murat AKTÜRK

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ .....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ .....	IV
İÇİNDEKİLER .....	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ .....	XI
KISALTMALAR VE SEMBOLLER DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Etkileşimli Bölütleme Yöntemleri.....	3
1.3. Görüntü Bölütlemede Graf Yapısının Kullanımı ve Anlamı.....	5
1.3.1. Graph Cut Bölütleme Yöntemi.....	5
1.3.2. Gauss Karışım Modeli .....	10
1.3.3. Beklenti Büyütme .....	11
1.3.4. GrabCut Etkileşimli Bölütleme Yönteminin Çalışma Mantığı .....	12
1.4. Literatür Taraması .....	17
2. YAPILAN ÇALIŞMA, BULGULAR, İRDELEME.....	25
2.1. Giriş .....	25
2.2. Çalışmada Faydalanılan Yaklaşımlar .....	25
2.2.1. Renk ve Renk Uzayları.....	25
2.2.1.1. RGB Renk Uzayı .....	29
2.2.1.2. HSV Renk Uzayı ve HSV Renk Uzayının Konik Formu.....	30
2.2.1.3. YCbCr Renk Uzayı.....	32
2.2.1.4. CIE.....	33
2.2.1.5. CIE XYZ Renk Koordinat Sistemi.....	33
2.2.1.6. CIELAB Renk Uzayı.....	35
2.2.1.7. CIECAM02 Renk Uzayı ve Türevleri.....	36

2.2.1.8.	CIECAM16 Renk Uzayı ve Türevleri.....	44
2.2.1.9.	Jzazbz Renk Uzayı.....	46
2.2.2.	Kontrast İyileştirme ve Kontrast İyileştirme Yöntemleri.....	48
2.2.2.1.	Histogram Eşitleme .....	50
2.2.2.2.	Uyarlamalı Histogram Eşitlemesi.....	52
2.2.2.3.	Kontrast Sınırlı Uyarlamalı Histogram Eşitleme.....	53
2.2.2.4.	Görüntülerin Kontrastının Algısal Tabanlı İyileştirilmesi .....	55
2.2.3.	Gürültü ve Gürültünün Etkisi .....	58
2.2.3.1.	Gürültü Modelleri .....	60
2.2.3.1.1.	Tuz Biber Gürültüsü .....	60
2.2.3.1.2.	Gauss Gürültüsü .....	61
2.2.3.1.3.	Çarpımsal Gürültü .....	62
2.2.3.2.	Gürültü Kaldırma Yöntemleri .....	63
2.2.3.2.1.	Perona Malik Gürültü Kaldırma Yöntemi .....	63
2.3.	Çalışmada Kullanılan Veri Kümeleri .....	65
2.4.	Çalışmada Kullanılan Ölçütler .....	65
2.5.	Sayısal ve Görsel Sonuçlar .....	67
2.5.1.	GrabCut Yöntemine Giriş Renk Uzaylarının Etkisinin İncelenmesi .....	67
2.5.2.	GrabCut Yöntemine Algısal Kontrast İyileştirmenin Etkisinin İncelenmesi .....	80
2.5.3.	Gürültünün GrabCut Yöntemi Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi .....	85
2.5.3.1.	Tuz Biber Gürültüsünün GrabCut Yöntemi Üzerindeki Etkisi .....	86
2.5.3.2.	Gauss Gürültüsünün GrabCut Yöntemi Üzerindeki Etkisi.....	89
2.5.3.3.	Çarpımsal Gürültünün GrabCut Yöntemi Üzerindeki Etkisi .....	93
2.5.4.	GrabCut Yönteminde Kullanılan Parametrelerin incelenmesi .....	96
2.5.5.	GrabCut Yönteminde Kullanıcının Çizdiği Dikdörtgenin Etkisi .....	98
3.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	101
4.	ÖNERİLER .....	102
5.	KAYNAKLAR.....	104
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

GRABCUT ETKİLEŞİMLİ BÖLÜTLEME YÖNTEMİ ÜZERİNDE  
İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI

Saffet Murat AKTÜRK

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Murat AYKUT  
2018, 111 Sayfa

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte birçok ortamda sayısal görüntüler kullanılmaktadır. Buna bağlı olarak bu sayısal görüntülerin işlenmesi ve çeşitli amaçlarla kullanılması için çok sayıda yöntem geliştirilmiştir. Görüntü işlemede uygulanan ilk ve en önemli adımlardan birisi bölütlemedir. Bölütleme sayesinde görüntü işlemenin ileri adımları için anlamsal veriler elde edilmektedir. Ancak kullanılan veri türü, uygulamanın amacı ve benzeri birçok nedenden dolayı tek bir bölütleme yöntemi her zaman istenen başarıyı verememektedir. Bu amaçla farklı problemler için çeşitli bölütleme yaklaşımları geliştirilmiştir. Bunlar arasında en çok dikkat çekenlerden biri de kullanıcı etkileşimli yöntemlerden graf yapısından yararlanılarak geliştirilen GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemidir.

Bu çalışmada GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin eksik ve zayıf yönleri araştırılmış ve bu yöntem için literatürde yapılan yenilikler analiz edilmiştir. GrabCut yönteminin orjinal yapısını bozmayan etkili ön işleme yöntemleri denenmiş ve sonuçlar orijinal GrabCut yöntemi ile kıyaslanmıştır. Gerçekleştirilen deneyler sonunda, giriş renk uzayının CIE tabanlı renk uzaylarına dönüşümünün ve ön işlem olarak kontrast iyileştirme yöntemlerinin (CLAHE ve Görüntülerin Kontrastının Algısal Tabanlı Geliştirilmesi) kullanımının başarıya olumlu yönde katkı sağladığı görülmüştür. Gürültülü görüntülerde kullanılan gürültü azaltma yöntemlerinin kullanımında ise bir iyileşme sağlanamamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Bölütleme, GrabCut, Kullanıcı Etkileşimli Bölütleme, Graf Yapısı



Master Thesis

SUMMARY

IMPROVEMENT STUDIES ON GRABCUT INTERACTIVE  
SEGMENTATION METHOD

Saffet Murat AKTÜRK

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Computer Engineering Graduate Program  
Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Murat AYKUT  
2018, 111 Pages

Today, with the development of technology, digital images are used in many environments. Accordingly, many methods have been developed to process these digital images and to use them for various purposes. One of the first and the most important steps in image processing is segmentation. Through segmentation, semantic data is obtained for the next steps of the image processing. However, due to the type of data used, the intent of the application, and many others, a segmentation method does not always give desired success. For these reasons, various segmentation methods are proposed for different problems. One of the most remarkable among the interactive segmentation methods is the GrabCut interactive segmentation method which is developed by utilizing graph structure.

In this thesis, the shortcomings and weaknesses of GrabCut interactive segmentation method were studied and novelties in the literature for this method were analyzed. Efficient pre-processing methods that do not modify the original structure of the GrabCut method have been tested and the results were compared with the original GrabCut method. As a result of the experiments, it was seen that, the conversion of the input color space to the CIE-based color spaces and the use of contrast enhancement methods (CLAHE and Perception-Based Contrast Enhancement of Images) as a pre-process contributed positively to the success. There is no improvement in the use of noise reduction methods on the noisy images.

**Key Words:** Segmentation, GrabCut, User Interactive Segmentation, Graph Structure

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Bölütleme yöntemleri için örnek bir sınıflandırma .....	2
Şekil 1.2. Etkileşimli bölütleme yöntemlerinde ön/arka planın sunulmuş biçimlerine örnekler : (a) çizgi ile, (b) dörtgen ile.....	3
Şekil 1.3. Graf tabanlı bölütleme yöntemlerinin sınıflandırılması .....	4
Şekil 1.4. Görüntünün graf olarak temsil edilmesi örneği .....	5
Şekil 1.5. Bir graf yapısında kaynak ve hedef düğümlerinin gösterilmesi .....	6
Şekil 1.6. Graf kesme işlemlerinin görselleştirilmesi; (a) başlangıç düğüm-kenar bağıntıları, (b) iterasyonlarla kenarlarda meydana gelen değişimler, (c) nihai iki parçaya ayrılmış graf yapısı .....	7
Şekil 1.7. GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin özet akış şeması .....	13
Şekil 1.8. GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminde iyileştirme amaçlı kullanıcı etkileşiminin özet akış şeması .....	13
Şekil 1.9. GrabCut yönteminde otomatik bölütleme ve kullanıcı etkileşiminin örnek bir görüntü üzerinde gösterimi .....	14
Şekil 2.1. Renk uzayları ve renk uzayları arasındaki ilişki .....	28
Şekil 2.2. Renk uzaylarının sınıflandırılması .....	29
Şekil 2.3. RGB renk uzayının gösterimi .....	30
Şekil 2.4. HSV renk uzayının gösterimi .....	31
Şekil 2.5. CIELAB renk uzayının gösterimleri .....	35
Şekil 2.6. CIECAM02 renk uzayıyla ilgili terimlerin görseli .....	37
Şekil 2.7. Standart bir renk uzayında oluşan çevre etkisi (a), CIECAM02 renk uzayının çevre etkisi karşısındaki tepkisi (b) .....	39
Şekil 2.8. Histogram eşitlemenin özet akış şeması .....	51
Şekil 2.9. Örnek bir görüntü histogramı (a) ve bu histogramın kesilmesi (b) .....	53
Şekil 2.10. CLAHE yönteminin özet akış şeması .....	54
Şekil 2.11. Farklı seviyelerde eklenen Gauss gürültülü görüntüler ve bunların GrabCut bölütleme yöntemi sonuçları .....	59
Şekil 2.12. Gürültüsüz (a) ve tuz biber gürültüsü eklenmiş (b) görüntü .....	61
Şekil 2.13. Gürültüsüz (a) ve Gauss gürültüsü eklenmiş (b) görüntü .....	62
Şekil 2.14. Gürültüsüz (a) ve Çarpımsal gürültü eklenmiş (b) görüntü .....	62

Şekil 2.15. Giriş renk uzaylarının GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerindeki etkisinin doğruluk ölçütüne göre incelenmesi .....	68
Şekil 2.16. Giriş renk uzaylarının GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerindeki etkisinin duyarlılık ölçütüne göre incelenmesi .....	69
Şekil 2.17. Giriş renk uzaylarının GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerindeki etkisinin özgüllük ölçütüne göre incelenmesi .....	70
Şekil 2.18. Giriş renk uzaylarının GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerindeki etkisinin hassasiyet ölçütüne göre incelenmesi .....	71
Şekil 2.19. Örnek görüntüler (a) üzerinde RGB renk uzayında uygulanan GrabCut yöntemi (b) ile YCbCr renk uzayında uygulanan GrabCut yönteminin (c) görsel karşılaştırılması .....	73
Şekil 2.20. Örnek görüntüler (a) üzerinde RGB renk uzayında uygulanan GrabCut yöntemi (b) ile JzAzBz renk uzayında uygulanan GrabCut yönteminin (c) görsel karşılaştırılması .....	74
Şekil 2.21. Örnek görüntüler (a) üzerinde RGB renk uzayında uygulanan GrabCut yöntemi (b) ile HSV konik form renk uzayında uygulanan GrabCut yönteminin (c) görsel karşılaştırılması .....	75
Şekil 2.22. Örnek görüntüler (a) üzerinde RGB renk uzayında uygulanan GrabCut yöntemi (b) ile CIELAB (D65-1931) renk uzayında uygulanan GrabCut yönteminin (c) görsel karşılaştırılması .....	76
Şekil 2.23. Örnek görüntüler (a) üzerinde RGB renk uzayında uygulanan GrabCut yöntemi (b) ile CIECAM16-SCD renk uzayında uygulanan GrabCut yönteminin (c) görsel karşılaştırılması .....	77
Şekil 2.24. Örnek görüntüler (a) üzerinde RGB renk uzayında uygulanan GrabCut yöntemi (b) ile CIECAM02-SCD renk uzayında uygulanan GrabCut yönteminin (c) görsel karşılaştırılması .....	78
Şekil 2.25. Farklı giriş renk uzaylarının kullanımının GrabCut bölütleme sonuçlarına etkisi. a) Orijinal görüntü (başlangıç dörtgeni ile), b) RGB c) YCbCr, d) HSV-konik form ve e) CIECAM16-SCD renk uzaylarından elde edilen sonuçlar .....	79
Şekil 2.26. GrabCut yöntemine kontrastın etkisi; (a) asıl görüntü, (b) kontrastsız görüntüde GrabCut sonucu, (c) [83]'teki yöntemle kontrastı geliştirilmiş görüntüde GrabCut sonucu .....	82
Şekil 2.27. GrabCut yöntemine kontrastın etkisi; (a) asıl görüntü, (b) kontrastsız görüntüde GrabCut sonucu, (c) CLAHE yöntemiyle kontrastı geliştirilmiş görüntüde GrabCut sonucu .....	84
Şekil 2.28. Gürültü kaldırma işlemlerinin GrabCut yöntemine etkisi .....	86
Şekil 2.29. Görüntü üzerinde tuz biber gürültüsünün ve Perona Malik yönteminin GrabCut yöntemine etkisi .....	88
Şekil 2.30. Görüntü üzerinde Gauss gürültüsünün ve Perona Malik yönteminin GrabCut yöntemine etkisi .....	92

- Şekil 2.31. Çarpımsal gürültü ve Perona Malik yönteminin etkisi; (a) çarpımsal gürültülü görüntü, (b) çarpımsal gürültülü görüntüde GrabCut sonucu, (c) çarpımsal gürültülü görüntüde Perona Malik sonucu, (d) çarpımsal gürültüye uygulanmış Perona Malik sonuçlu görüntüde GrabCut sonucu ..... 95
- Şekil 2.32. Farklı boyutta çizilen dikdörtgenin GrabCut yöntemine etkisi; (a) asıl görüntü, (b) siyah beyaz maskesi ..... 100



## TABLolar DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 2.1. Giriş renk uzaylarının GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerindeki etkisinin Dice, Jaccard, doğruluk, duyarlılık, özgüllük ve hassasiyet ölçütlerine göre sonuçları .....	72
Tablo 2.2. Çalışmada kullanılan kontrast iyileştirme yöntemlerinin GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerindeki etkisinin incelenmesi .....	80
Tablo 2.3. CLAHE yöntemi kullanılarak kontrast iyileştirmenin GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerindeki etkisinin incelenmesi .....	83
Tablo 2.4. Tuz biber gürültüsünün GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerindeki etkisinin Dice, Jaccard, doğruluk, duyarlılık, özgüllük ve hassasiyet ölçütlerine göre sonuçları .....	87
Tablo 2.5. Farklı seviyelerdeki Gauss gürültüsünün GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerindeki etkisinin Dice, Jaccard, doğruluk, duyarlılık, özgüllük ve hassasiyet ölçütlerine göre sonuçları .....	90
Tablo 2.6. Çarpımsal gürültünün GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerindeki etkisinin Dice, Jaccard, doğruluk, duyarlılık, özgüllük ve hassasiyet ölçütlerine göre (%) sonuçları .....	94
Tablo 2.7. Farklı uzaylardaki farklı $\gamma$ değerinin GrabCut yöntemine etkisi .....	97

## KISALTMALAR VE SEMBOLLER DİZİNİ

AHE	Uyarlamalı Histogram Eşitleme (Adaptive Histogram Equalization)
CAM	Renk Görünüşü Modeli (Color Appearance Model)
CAT	Renklerle ilgili Adaptasyon Dönüşümleri (Chromatic Adaptation Transforms)
CIE	Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (Commission International'de L'Eclairage)
CLAHE	Kontrast sınırlı uyarlamalı histogram eşitleme (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization)
EM	Beklenti Büyütme (Expectation-Maximization)
GMM	Gauss Karışım Modeli (Gaussian Mixture Model)
HE	Histogram Eşitleme (Histogram Equalization)
HSV	Renk Tonu, Doygunluk, Yoğunluk (Hue, Saturation, Value)
RGB	Kırmızı, Yeşil, Mavi (Red, Green, Blue)
$\pi(.)$	Ağırlıklandırma katsayısını
$\nabla$	Gradyen operatörü
div	İraksay operatörünü
$\Sigma$	Kovaryans matrisi
$\Delta$	Laplace operatörü
$\mu$	Ortalama vektörü

# 1. GENEL BİLGİLER

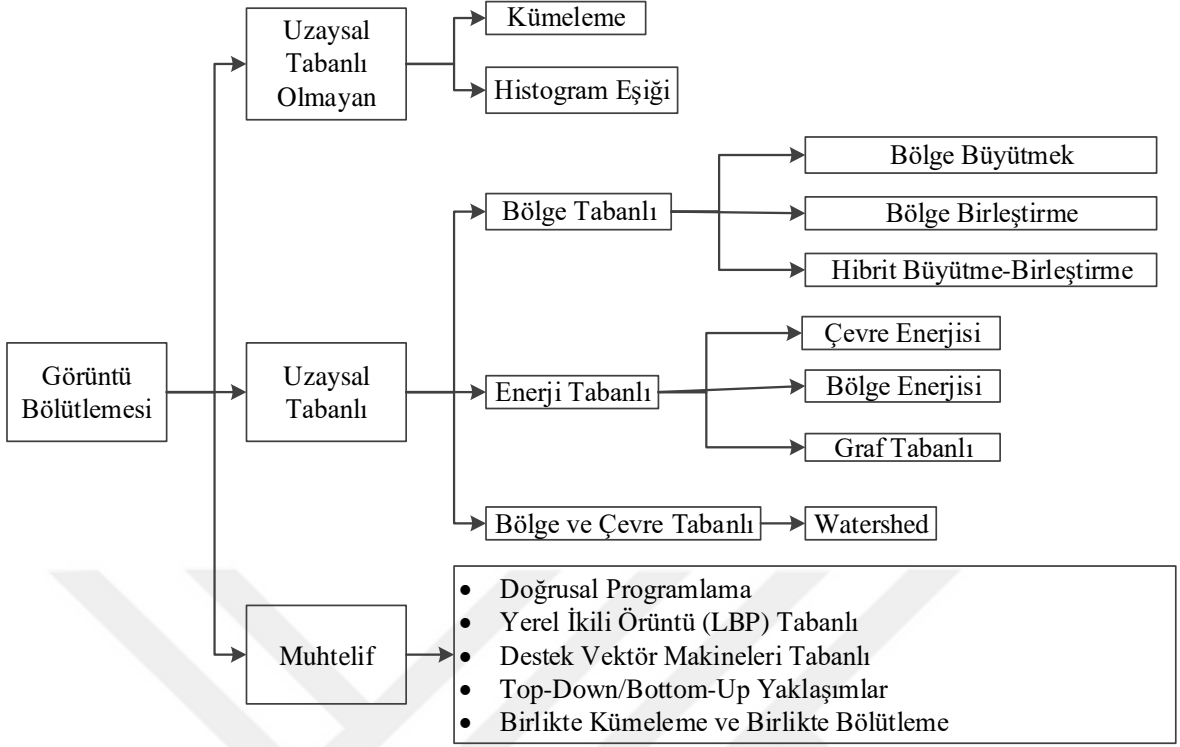
## 1.1. Giriş

Günümüzde sayısal ortamlarda alınan görüntülerin sayısı giderek artmaktadır. Buna paralel olarak bu görüntüler üzerinde farklı amaçlara sahip çeşitli görüntü işleme yazılımları geliştirilmektedir. Çoğunlukla tıbbi görüntü işleme, uydu görüntü işleme, nesne tanıma, nesne çıkarma, görüntü onarma, radar izleme, mühendislik, iletişim, televizyon, astronomi, arkeoloji, coğrafya, biyoloji, savunma sanayisi gibi çeşitli teknik ve bilgi sistemlerinde görüntü işleme uygulanmaktadır [1, 2]. Görüntü işleme konusu altında gerçekleştirilen uygulamalarda ilk adımlardan birisi bölütleme işlemi olmaktadır.

Bölütleme, elimizdeki görüntüyü çeşitli parçalara ayırmayı yani görüntüdeki pikselleri belirli birkaç grup altında toplamayı hedefler. Bunu yaparken pikseller arasındaki ilişkiyi dikkate alır. Bu ilişki pikseller arasındaki farklılığı veya benzerliği ifade edebilir. Bölütleme işlemi sonucunda elimizde algısal olarak anlam ifade edecek piksel grupları olur. Bu gruplar bir nesneye veya nesnenin bir parçasına ait olabilir. Böylece bölütleme sayesinde uygulamanın ileriki aşamaları için algısal olarak anlamlı, değerlendirilmesi kolay veriler elde edilmektedir.

Uygulamada kullanılacak verilerin türlerine, verilerin elde edildiği ortama ve uygulamadaki kullanım amacına bağlı olarak bir bölütleme yöntemi her zaman doğru sonuç verememektedir. Bundan dolayı literatürde çeşitli yöntemler önerilmektedir. Bunlardan bazıları kullanıcı etkileşimli bölütleme yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Bu yaklaşımda algısal olarak anlamlı veriler elde etmek için kullanıcı, görüntüde giriş bilgisi olarak ön veya arka planı belirleyebilmekte ve bu bilgiye bağlı olarak yöntemin başarısı artmaktadır. Bu kapsamda en yaygın kullanılanlar graf yapılarından yararlanılarak geliştirilen graf tabanlı bölütleme yöntemleridir.

Bu çalışmada literatürde kullanıcı etkileşimli ve graf tabanlı bölütleme yöntemi olarak tanıtılan GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi incelenmiştir. Bu çerçevede yöntemin zayıf yönleri belirlenmiştir. Ayrıca literatürde bu yöntemin başarısını artırmak için yapılan gelişmeler incelenmiştir. GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemini geliştirmek için basit ve etkin yaklaşımlar araştırılmıştır. Etkileşimli Bölütleme Yöntemleri

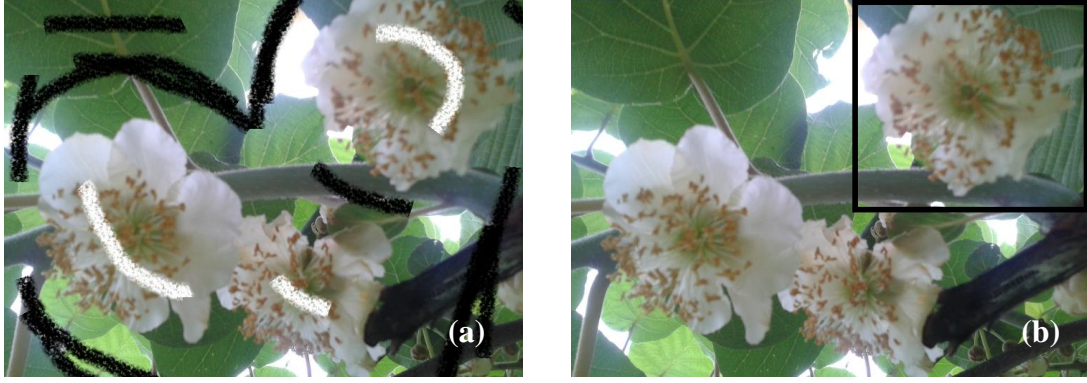


Şekil 1.1. Bölütleme yöntemleri için örnek bir sınıflandırma [3]

Literatürde çeşitli bölütleme yöntemleri bulunmaktadır. Bunlar için yapılmış bir örnek sınıflandırması Şekil 1.1’de bulunmaktadır.

Kullanılan yönteme bağlı olarak bölütlemelerde algısal olarak anlamlı veriler elde etmek için kullanıcı, görüntüde giriş bilgisi olarak ön veya arka plan bilgisini yönteme verebilmektedir. Ayrıca bölütlemenin istenen başarıyı gösteremediği durumda kullanıcı yöntemin başarısını artırmak için ön veya arka plan ile ilgili ek bilgileri yönteme vererek yeni iterasyonlar gerçekleştirilebilir. Böylece kullanıcı etkileşimiyle yöntemin başarılı sonuçlar üretmesi sağlanır. Bu tarz yöntemler etkileşimli bölütleme yöntemi olarak ifade edilmektedir. Şekil 1.2’de etkileşimli bölütleme yöntemlerinde ön/arka plan bilgilerinin sunulmuş biçimlerine örnekler verilmektedir. Şekil 1.2 (a)’da ön ve arka planlar çizgilerle, Şekil 1.2 (b)’de ise sadece ön plan dörtgen içine alınarak belirtilmektedir. Bu verilen giriş bilgisine göre yöntem ön ve arka planı bulabilmektedir. Giriş bilgisine bağlı olarak yöntemin başarısı değişebilmektedir.



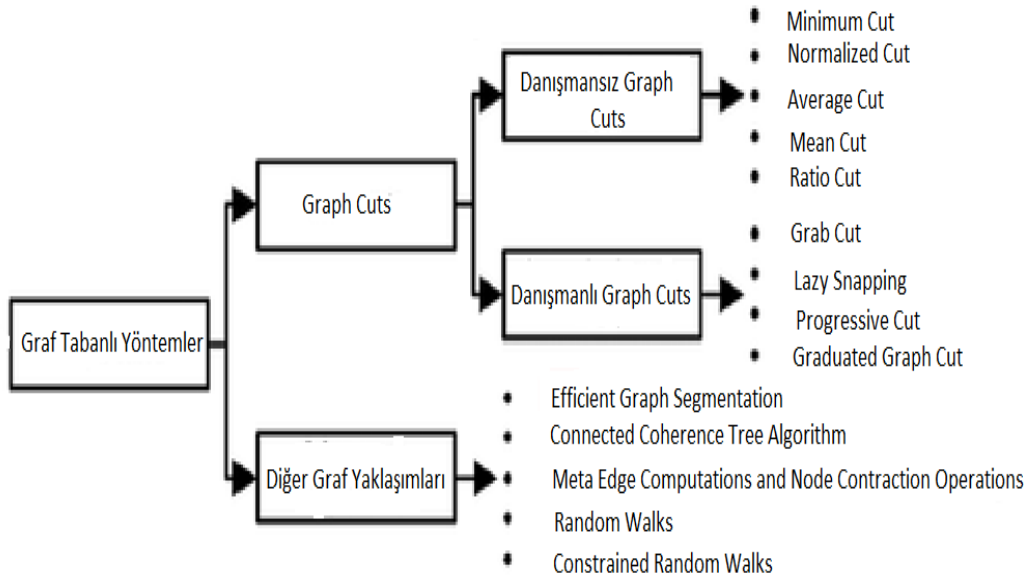


Şekil 1.2. Etkileşimli bölütleme yöntemlerinde ön/arka planın sunuluş biçimlerine örnekler : (a) çizgi ile, (b) dörtgen ile.

Etkileşimli bölütleme yöntemlerinin çoğunluğu graf yapısı üzerinde geliştirilen Graph cut yöntemine dayandırılarak geliştirilen yöntemlerdir. Boykov ve Jolly [4]'nün öncülük yaptığı Graph cut çalışması graf tabanlı bölütleme yöntemlerinin temelini oluşturmaktadır.

## 1.2. Görüntü Bölütlemeye Graf Yapısının Kullanımı ve Anlamı

Bölütleme yöntemi görüntü işlemenin en temel adımlarından biri olduğundan, görüntü işlemenin uygulandığı hemen hemen her alanda kullanılmaktadır. Ancak bölütleme yönteminin kullandığı veri türü, işlemin gerçekleştiği uzay, uygulamanın amacı ve benzeri birçok nedenden dolayı tek bir bölütleme yöntemi her zaman en başarılı sonucu üretmez. Bundan dolayı çeşitli bölütleme yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlardan biri de graf tabanlı bölütleme yöntemleridir. Graf tabanlı bölütleme yöntemleri çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Örnek bir sınıflandırma Şekil 1.3'te gösterilmektedir.

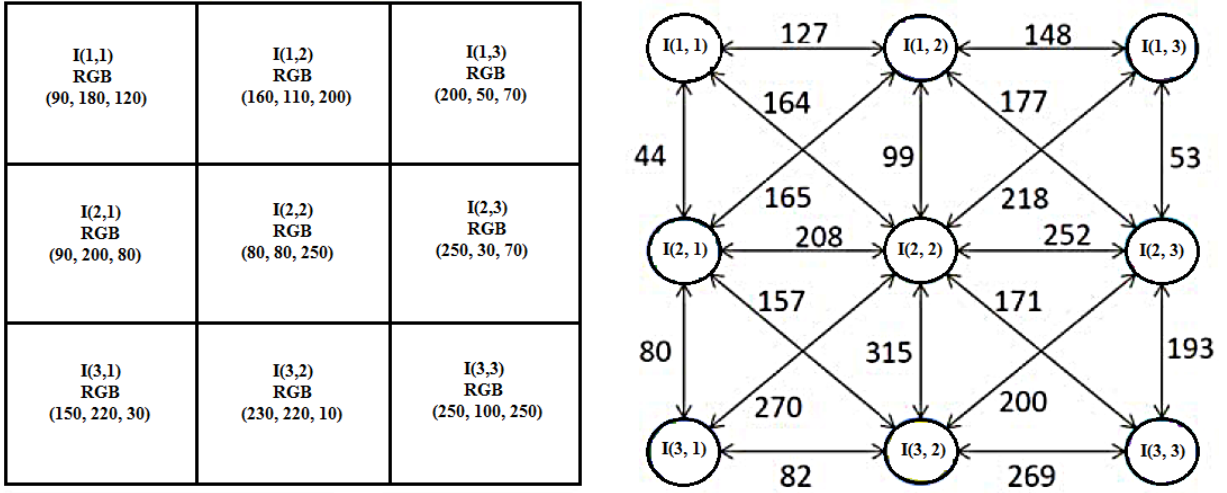


Şekil 1.3. Graf tabanlı bölütleme yöntemlerinin sınıflandırılması [3]

Şekil 1.3'te gösterilen yöntemler dışında da son yıllarda önerilen graf tabanlı yöntemler bulunmaktadır [5, 6].

Graf yapısı, köşe veya düğüm kümeleri ve bu düğümler arasındaki ilişkileri ifade eden kenarlar kümesinden oluşan bir veri yapısıdır. Genellikle  $G = (V, E)$  şeklinde gösterilmektedir. Burada  $G$  grafi,  $V$  grafta bulunan düğüm veya köşeler kümesini,  $E$  ise graftaki kenarlar kümesini ifade etmektedir. Grafta kenarın görevi iki düğüm arasındaki ilişkiyi ifade etmektir.

Görüntüdeki pikseller grafin düğümleri veya köşeleri, pikseller arasındaki ilişkiler de grafin kenarları olarak kabul edilebilir. Kullanılan yöntemlerde genellikle oluşturulan graf yönsüz graf olmaktadır. Pikseller arasındaki ilişkileri yani pikseller arasındaki benzerlik veya farklılıkları ifade eden sayısal değerler kenarın ağırlığını oluşturmakta olup farklı kurallara göre belirlenmektedir. Örnek olarak Şekil 1.4'te 9 piksellik bir görüntünün graf olarak nasıl ifade edilebileceği görselleştirilmiştir. Burada her piksel bir düğüm olarak ifade edilmiştir. Ve düğümler arasındaki kenar ağırlıklarının belirlenmesi için iki piksel arasındaki Öklit mesafesi kullanılmıştır.



Şekil 1.4. Görüntünün graf olarak temsil edilmesi örneği [7]

Bölütleme yönteminin kalitesini belirleyen ana faktörlerden birisi, kenarların ağırlıklarını yani pikseller arasındaki ilişkileri belirlemek için kullanılan ölçütler kurallardır. Basit bir ölçütün kullanımı hızlı bir şekilde sonuca ulaştırır. Ancak çoğunlukla iyi sonuçlar üretmez. Buna neden olarak basit ölçütlerin piksellerdeki yerel özellikleri dikkate aldığı söylenebilir.

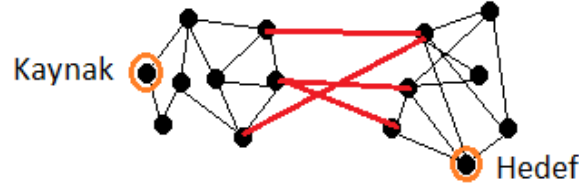
Görüntünün graf olarak ifade edilmesinden sonra graf yapısı üzerinde graf teorisindeki matematiksel işlemler, topolojiler veya algoritmalarından faydalanarak bölütleme işlemi yapılır. Bölütleme işleminde graf alt graflara ayrılabilir veya alt graflar birleştirilebilir [8].

### 1.3. GrabCut Etkileşimli Bölütleme Yöntemi

GrabCut yöntemi, graf kesme yöntemine dayanan yinelemeli bir etkileşimli bölütleme yöntemidir. Bu yöntem, graf kesme yöntemi ve Gauss karışım modelinin birleşiminden oluşmaktadır.

#### 1.3.1. Graph Cut Bölütleme Yöntemi

Graf kesme, düğümler arasındaki kenarların kesilmesiyle grafın iki ayrı alt kümeye ayrılmasıdır. Grafı kesmek için bir tane kaynak ve bir tane hedef düğüm olmalıdır. Şekil 1.5'te kaynak ve hedef düğümler içeren bir graf yapısına örnek gösterilmektedir.

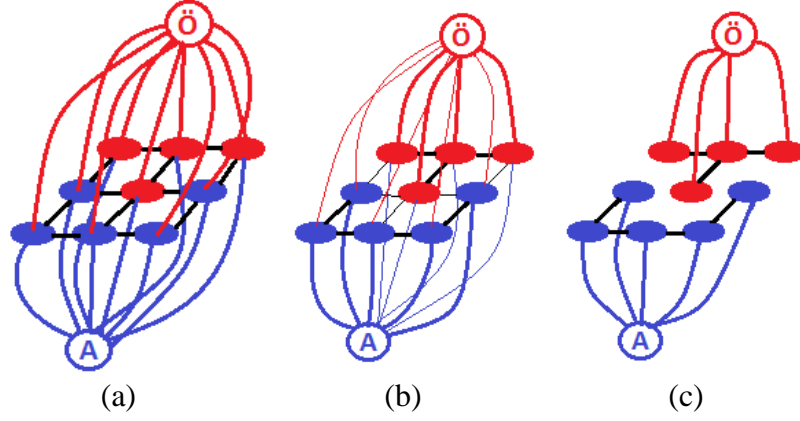


Şekil 1.5. Bir graf yapısında kaynak ve hedef düğümlerinin gösterilmesi

Şekil 1.5'te kesilecek kenarlar kırmızı ile gösterilmektedir. Bunların kesilmesi ile bölümler arasındaki bağlar kaldırılmış olur. Kesme işlemi sonucunda graftaki düğümlerin bir kısmı kaynak düğümün olduğu tarafta diğer kısmı hedef düğümün olduğu tarafta kalacak şekilde gruplanır. Kesme yapılırken her kenarın ağırlığı tanımlanır. Ve düşük maliyet getirecek kenar silinir. İşlem sonucunda aynı bölge içinde benzer özelliklere sahip pikseller, farklı bölgelerde ise farklı özelliklere sahip pikseller olur.

Graf kesme (Graph Cut) yöntemi uygulanmadan önce kullanıcı Şekil 1.2 (a)'daki gibi bir giriş bilgisini sisteme vermektedir. Bu giriş bilgisi sayesinde belirli pikseller ön veya arka plana aittir diye etiketlenecektir. Ardından görüntüden graf yapısı oluşturulur. Bunun için öncelikle görüntünün piksellerinin tamamını içeren düğümler kümesi üretilir. Bunun yanı sıra Ö ön plan, A arka planı temsil etmek üzere iki özel terminal düğüm eklenir. Bu terminal düğümlerden birisi yukarıda bahsedilen kaynak diğeri de hedef düğüm olarak kabul edilir. Bu durum, Şekil 1.6'da temsili olarak gösterilmektedir.

Çoğunlukla bir pikselin yani bir düğümün 4 komşuluğuna bakılarak kenarlar oluşturulur. Başlangıçta her bir düğümün ön ve arka planı temsil eden Ö ve A terminal düğümleri ile bağlantısı vardır. Şekil 1.6'da görüntüdeki pikselleri temsil eden her bir düğümün birbirleriyle ve terminal düğümler ile olan bağlantısı gösterilmektedir. Bu şekilde kullanıcının program başlamadan önce herhangi bir ön giriş bilgisi vermediği varsayılmaktadır. Bundan dolayı kenarların kalınlıkları (değerleri) aynıdır. Kullanıcıdan giriş bilgisi alınırsa başlangıçta bazı piksellerin Ö ve A adlı terminallerle olan bağlantıları kenar ağırlığının fazla olduğunu ifade etmek için daha kalın kenarlarla ifade edilebilir.



Şekil 1.6. Graf kesme işlemlerinin görselleştirilmesi; (a) başlangıç düğüm-kenar bağıntıları, (b) iterasyonlarla kenarlarda meydana gelen değişimler, (c) nihai iki parçaya ayrılmış graf yapısı

İşlemler ilerledikçe ön plana ait olmayan arka plan düğümleri ile ön planı temsil eden terminal düğüm arasındaki ve arka plana ait olmayan ön plan düğümleri ile arka planı temsil eden terminal düğüm arasındaki kenar bağlantısı zayıflamaktadır. Ayrıca kenar bağlantısının zayıflama durumu ön plana ait düğümler ile arka plana ait düğümler arasındaki kenar bağıntıları için de geçerlidir. Şekil 1.6 (b)'de bu durum ifade edilmektedir.

Nihayetinde ön plana ait pikseller ile ön planı temsil eden terminal ve bu terminalle bağlantısı olan düğümlerin birbirleriyle olan kenar bağlantısı kalır. Aynı durum arka plan için de geçerli olacaktır. Böylece Ö terminal düğümünden A terminal düğümüne giden herhangi bir yol kalmamış olur ve graf ön ve arka planı temsil edecek iki parçaya ayrılmış olur. Bu durum Şekil 1.6 (c)'de gösterilmektedir.

Görüntüden grafın düğümleri ve kenarları oluşturulduktan sonra işlemlere başlanmadan önce kenarların ağırlıkları belirlenir. Kenar ağırlıkları negatif olarak belirlenmez. Kenar ağırlığının büyük olması kenarın birbirine bağladığı düğümlerin birbirlerine daha çok benzediğini göstermektedir. Kullanıcı ön ve arka plana ait belirli pikselleri işaretler. Etiketlenmiş yani kullanıcı tarafından işaretlenmiş bir piksel ön plan olarak işaretlenmişse o pikselin Ö terminal düğümüyle olan kenar ağırlığı sonsuza veya çok büyük bir sayıya, A terminal düğümüyle olan kenar ağırlığı sıfıra eşitlenir. Çünkü o pikseli ön plana getirmek için minimum kesim zorlanır. Amaç kesme yapılacak olan kenarın ağırlığını az tutarak kesme maliyetini azaltmaktır. Yani ön plana ait olan düğüm ile

Ö terminali arasındaki kenarın ağırlığını artırmak o kenarın kesilmesini engeller. Aynı durum etiketlenen arka plan pikseli içinde geçerli olmaktadır.

Olasılık yoğunluk fonksiyonlarından yararlanılarak düğümlerin terminallerle ve diğer düğümlerle olan ilişkileri belirlenir. Eşitlik (1) ve (2) sırasıyla ön ve arka plan terminalleri ile düğümler arasındaki kenar ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan formülleri vermektedir [9].

$$w_{i,\bar{O}} = -\lambda(\log f_A(I_i)) \quad (1)$$

$$w_{i,A} = -\lambda(\log f_{\bar{O}}(I_i)) \quad (2)$$

Eşitlik (1) ve (2)'deki  $f_A$  görüntünün arka planının olasılık yoğunluk fonksiyonu,  $f_{\bar{O}}$  görüntünün ön planının olasılık yoğunluk fonksiyonunu,  $I_i$  i. pikselin renk değerlerini,  $\lambda$  ise i. pikselin terminal düğümler ile olan ağırlığının önemini ifade etmektedir.

Eşitlik (3), düğümlerin terminal düğümler dışındaki düğümler ile oluşturdukları kenarların ağırlıklarını bulurken kullanılan formüldür [9]. Burada  $\sigma$  sabit bir değer veya yerel varyanstır.  $\sigma$  parametresinin bir görüntünün yerel kontrastına dayanarak nasıl tahmin edileceği ile ilgili Blake tarafından yapılan bir çalışma [10] bulunmaktadır. Eşitlik (3)'teki  $uzak(i,j)$  ifadesi i. piksel ile j. piksel arasındaki uzaklığı ifade eder ve çoğu çalışmada 1 sabit değeri olarak alınır.

$$w_{ij} = \frac{1}{uzak(i,j)} \exp\left(-\frac{\|I_i - I_j\|^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3)$$

Kenar ağırlıkların güncellenmesi: Kenar ağırlıkları belirlendikten sonra hedeflenen, bir düğümün Ö veya A terminal düğümünden sadece biri ile ilişkilendirilmesidir. Ö ile ilişkili tüm düğümler ön planı, A ile ilişkili tüm düğümler arka planı oluşturmaktadır. Burada amaç, kaldırılacak kenarları belirlerken maliyeti en aza indirmek yani minimum kesmeyi bulmaktır. Eşitlik (4) kesme işleminin maliyetini vermektedir [9].

$$|C| = \sum_{(i,j) \in C} w_{ij} \quad (4)$$

Eşitlik (4)'ten de anlaşılacağı gibi kesmenin maliyeti C bileşendeki kenarların ağırlıkları toplamıdır. C bileşeni grafın bir parçasıdır.

$\alpha$  arka plan için 0, ön plan için 1 olmak üzere belirlendiğinde minimum kesmenin bulunması aslında aşağıdaki Eşitlik (5) formundaki Gibbs enerji teriminin (E) minimize edilmesi ile aynıdır.

$$E(\alpha) = \sum_{i \in N} D(\alpha_i) + \sum_{(i,j) \in \varepsilon} V(\alpha_i, \alpha_j) \quad (5)$$

Burada  $\varepsilon$  düğümler arasındaki (4 komşuluğa dayalı) kenarlar kümesini,  $N$  görüntüdeki tüm piksellerin (düğümlerin) kümesini ifade etmektedir. Ön plan / arka plan terminalleri ve pikseller arasındaki kenar ağırlıkları, D veri enerji terimini oluşturur. Ara düğüm ağırlıkları V yumuşatma enerjisini oluşturur. D ve V'nin hangi durumda hangi değerleri alacağı aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

$$\begin{cases} D(\alpha_i = 0) = 0 \\ D(\alpha_i = 1) = \infty & \text{Eğer } i \text{ pikseli gerçekte arka plana aitse} \\ \\ D(\alpha_i = 0) = \infty \\ D(\alpha_i = 1) = 0 & \text{Eğer } i \text{ pikseli gerçekte ön plana aitse} \\ \\ D(\alpha_i = 0) = -\lambda(\log f_A(I_i)) \\ D(\alpha_i = 1) = -\lambda(\log f_{\bar{0}}(I_i)) & \text{Diğer durumlar için} \end{cases} \quad (6)$$

$$V(\alpha_i, \alpha_j) = |\alpha_i - \alpha_j| \frac{1}{uzak(i,j)} \exp\left(-\frac{\|I_i - I_j\|^2}{2\sigma^2}\right) \quad (7)$$

Yapılan işlemler sonucunda yanlış bir ayırım yapılmışsa kullanıcı Şekil 1.2'deki gibi ön veya arka planla ilgili bilgi vererek grafın doğru bir şekilde ayrılması için gerekli güncellemeleri sağlayabilir.

Yukarıda da bahsedildiği gibi grafı iki parçaya ayırmak için kesilen kenarların ağırlıklarının toplamının en az olması istenir. Böylece maliyet en az olur. Bunun için Boykov ve Jolly tarafından önerilen minimum kesme/maksimum akış yönteminden [4] faydalanılır. Aslında minimum kesme ve maksimum akış aynı şeyi ifade etmektedir. Akışın maksimum olduğu yer, kenar ağırlıklarının toplamının en fazla olduğu yere karşılık

gelmektedir. Bu da kenar ağırlıkları toplamı en az (minimum) olan kenarların kesildiği anlamına gelir. Burada minimum kesme/maksimum akış çalışıkça Şekil 1.6 (a)'daki gibi başlangıç durumuna sahip olan bir graf zamanla Şekil 1.6 (b)'deki gibi olur. Ve en son aşamada da Şekil 1.6 (c)'deki gibi bir durum oluşur.

Yukarıda anlatılanlar doğrultusunda graf kesme (graph cut) aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1. Kullanıcı Şekil 1.2'deki gibi görüntüyü çizerek gerekli ön ve arka plan bilgisini programa verir.
2. Görüntüden bir graf oluşturulur.
3. Oluşturulan grafın kenar ağırlıkları, ön ve arka planla ilgili verilen bilgiler de dikkate alınır.
4. Kenar ağırlıkları belirlendikten sonra Gibbs enerji fonksiyonu ile minimum kesme yönteminden faydalanılarak graf parçalanır.

### 1.3.2. Gauss Karışım Modeli

Gauss karışım modelinin kullanılmasının amacı, ön ve arka planın renk uzayındaki dağılımlarının tahminini yapmaktır. Böylece GrabCut yöntemi, Gauss karışım modelinden faydalanarak ön ve arka planı (Eşitlik (1) ve (2)'deki f fonksiyonunu) tanımlayabilir ve gerekli güncellemeleri sağlayabilir.

Genellikle d boyutlu bir rastgele değişken vektörünün çok değişkenli Gauss dağılımı için aşağıdaki formülden faydalanırız [11].

$$N(I|\mu, \Sigma) = \frac{1}{(2*\pi)^{\frac{d}{2}}\sqrt{|\Sigma|}} \exp\left(-\frac{1}{2} * (I - \mu)^T * \Sigma^{-1} * (I - \mu)\right) \quad (8)$$

Bu formülde  $I = (I_1, I_2, \dots, I_{d-1}, I_d)^T$  olan bir giriş verisini,  $\mu$  Gauss bileşeninin ortalamasını ve  $\Sigma$  Gauss bileşeninin kovaryans matrisini ifade etmektedir. Burada bir tane Gauss dağılımı kullanılmaktadır. Ancak gerçek hayatta elimizdeki veri bir tane değil, birden çok Gauss dağılımıyla ifade edilebilmektedir. Bu nedenle geliştirilen Gauss karışım modelinde veri dağılımını birden fazla Gauss dağılımının birleşimiyle ifade ederiz. Bunun için aşağıdaki olasılık formülünden faydalanırız [11].



$$p(I) = \sum_{j=1}^K w_j * N(I|\mu_j, \Sigma_j) \quad (9)$$

Burada K ifadesi Gauss bileşeni sayısını ifade ederken  $w_j$ , j'inci Gauss bileşeninin öncelikli olasılığını (prior probability) yani ağırlığını ifade etmektedir. Ayrıca tüm  $w_j$ 'lerin toplamı 1'e eşit olup herhangi bir  $w_j$  0 ile 1 arasındadır (0 ve 1 dâhil).

Elimizde bir dizi verimiz olsun. Bu veri dizisi için Gauss karışım modeli oluşturulmak istendiğinde Gauss karışım modeli için bazı parametrelerin tahmin edilmesi gereklidir. Bunun için çoğunlukla beklenti büyütme (Expectation-Maximization) adlı EM algoritması kullanılır.

### 1.3.3. Beklenti Büyütme

Beklenti büyütme algoritması iki adımdan oluşmaktadır. İlk adım E veya beklenti adımı, ikinci adım M veya maksimizasyon adımı olarak adlandırılır. İlk adımda (E adımı) her bir örnek için Eşitlik (10)'de parametrelerin o anki değerleri ile Gauss dağılımına sahip verilerin Bayes koşullu sonsal olasılık değerleri hesaplanır. Her bir örnek için her Gauss bileşeninin oluşturduğu olasılık tahmin edilir.  $C_j$  ifadeleri kümeleri/sınıfları  $p(C_j)$  önsel olasılığı,  $p(I_i|C_j)$ ' de ortalama ve kovaryans parametrelerine sahip Gauss olabirlik fonksiyonunu ifade etmektedir [13].

$$p(C_j|I_i) = p(I_i|C_j) * p(C_j) / \sum_j p(I_i|C_j) * p(C_j) \quad (10)$$

İkinci adımda (M adımı) verilerin ortak dağılımı en üst düzeye çıkarılmaya çalışılır. Ve bu adımda parametreler güncellenir. Bunun için gerekli işlemler aşağıda gösterilmektedir.

$$\mu_j = \sum_j p(C_j | I_i) * I_i / \sum_j p(C_j | I_i) \quad (11)$$

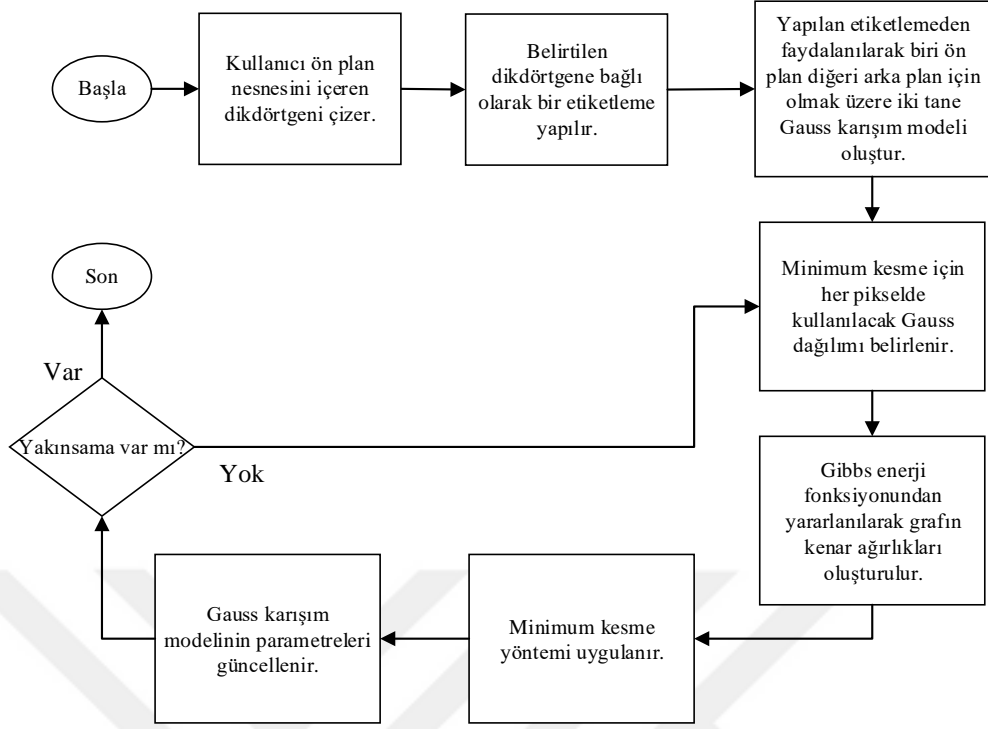
$$\sum_j = \sum_i p(C_j | I_i) * (I_i - \mu_j) * (I_i - \mu_j)^T / \sum_i p(C_j | I_i) \quad (12)$$

$$p(C_j) = \sum_i p(C_j | x_i) / N \quad (13)$$

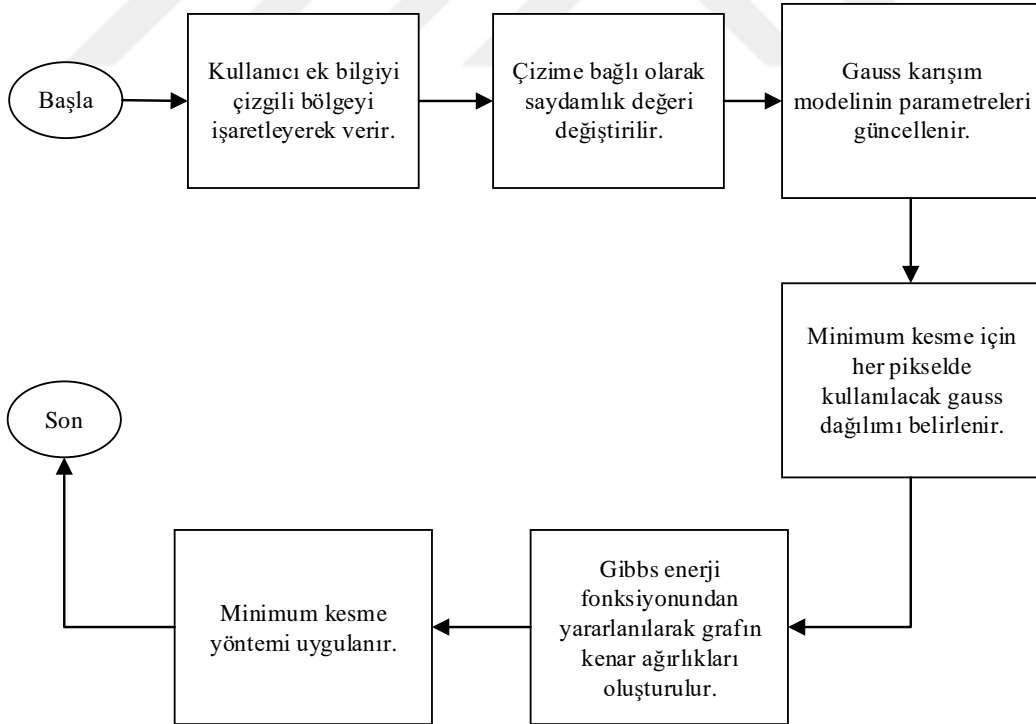
Bu işlemler parametre değerleri yakınsayana kadar devam eder [12]. Böylece birden fazla Gauss bileşeninin birleştiği bir yapıda Gauss karışım modelinin çalışması için gerekli parametrelerin tahmin edilmesi sağlanır.

#### 1.3.4. GrabCut Etkileşimli Bölütleme Yönteminin Çalışma Mantığı

GrabCut yöntemi, graf kesme yönteminden farklı olarak Şekil 1.2 (a)'daki gibi değil Şekil 1.2 (b)'deki gibi bir giriş bilgisi oluşturarak algoritmaya ön ve arka planla ilgili bir giriş bilgisi verir. Böylece kullanıcı hedeflediği nesnenin yerini kolayca yönetime gösterebilmektedir. Ayrıca GrabCut yönteminde, enerji fonksiyonu tekrarlı olarak minimize edilmektedir. Ve üçlü karar haritası önerilmektedir [14]. Böylece GrabCut yöntemi graf kesme yöntemine göre optimizasyonu daha güçlü, tekrarlı bir yapısı ve kullanıcı etkileşimini basit bir dikdörtgen seçimine indiren bir yapıya sahip olmuştur [14]. Ayrıca işlemler yapıldıktan sonra kullanıcının istediği sonuç bulunamamış ise kullanıcının vereceği bilgileri (çizimler) ile yöntem sonucu güncellenebilmektedir. Bu aşamada kullanıcının yaptığı çizimler ile yanlış olarak ayrılmış pikseller düzeltilir. Kullanıcı pikseli arka plan fırçasıyla çizmişse saydamlığı ifade eden  $\alpha$ 'nın değeri sıfıra, ön plan fırçasıyla çizilmişse  $\alpha$ 'nın değeri birine eşitlenir ve algoritma çalışarak gerekli güncellemeyi ve sonucu üretir. Yöntemin genel akış şeması Şekil 1.7'de gösterilmektedir.

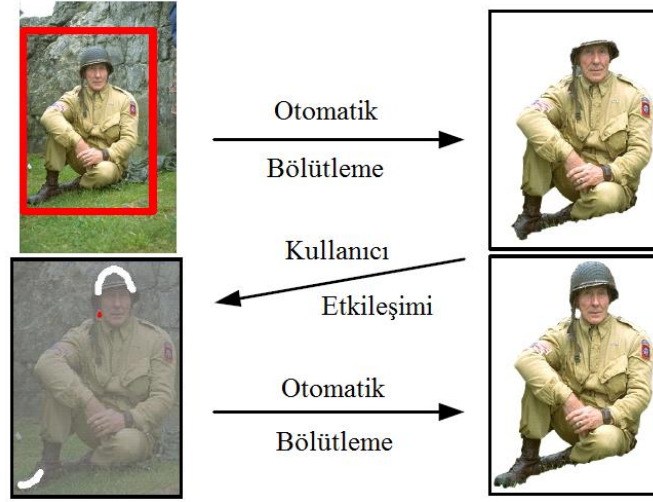


Şekil 1.7. GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin özet akış şeması



Şekil 1.8. GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminde iyileştirme amaçlı kullanıcı etkileşiminin özet akış şeması

Şekil 1.8’de yapılan açıklamanın akış şeması Şekil 1.9’da gösterilmektedir.



Şekil 1.9. GrabCut yönteminde otomatik bölütleme ve kullanıcı etkileşiminin örnek bir görüntü üzerinde gösterimi [14].

Kullanıcı Şekil 1.9’da görüldüğü gibi bir dikdörtgen ile hedef nesnenin olduğu yeri belirler. Yani ön planın bulunduğu yer belirlenmiş olunur. Başlangıçta iki bölge vardır. İlk bölge çizilen dikdörtgenin dışıdır. Bu kısım kesin olarak arka plan kabul edilir. İkinci bölge çizilen dikdörtgenin iç kısmıdır. Bu kısım bilinmeyen kısım olarak nitelendirilebilir. Yani arka plan mı ön plan mı karar verilemeyen kısım. Yöntem ilk olarak dikdörtgenin dış kısmını arka plan kabul eder. Dikdörtgenin iç kısmını da başlangıçta bilinmeyen kısım olarak varsayar. Tekrarlı bir şekilde işlemler yapıldıkça bu dikdörtgenin iç kısmı ön ve arka plan bölgelerine ayrılarak ön plana ait yerler bulunur.

Başlangıçta kullanıcının çizdiği dikdörtgenin dış kısmı olan kesin arka planı ifade edecek bölgeyi  $T_A$  ve dikdörtgenin içi olan bilinmeyen bölgeyi  $T_B$  ile gösterelim. Ön plan olan bölgeyi ifade edecek olan ise  $T_0$  olsun. Başlangıçta  $T_0$  boştur. Kullanıcı uygun bir şekilde dikdörtgen çizip yöntemden sonra bir başlangıç bölütlemesi işlemi yapılır. Başlangıç bölütlemesinde görüntüdeki her piksele bir etiket verilir. Her piksel sırasıyla çizilen dikdörtgenin dışında mı diye bakılır. Dışındaysa arka plan anlamına gelecek olan 0 etiketi o piksele verilir. Dikdörtgenin içindeyse o zaman bilinmeyen kısım anlamına gelecek olan 1 etiketi o piksele verilir. Bu anlatılanlar  $\alpha = (a_1, \dots, a_i, \dots, a_N)$  saydamlığı ifade etmek üzere aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$i \in T_A \text{ ise } a_i = 0 \text{ veya } i \in T_B \text{ ise } a_i = 1 \quad (14)$$

Bu aşamadan sonra GrabCut yöntemi için Gauss karışım modeli oluşturulur. Uygun kümeleme algoritması kullanılarak Gauss karışım modeli için gerekli parametreler tahmin edilir. Ayrıca başlangıç bölütlemesinden elde edilen etiketli pikseller yardımıyla Gauss karışım modeli oluşturulur. Burada iki tane her bir Gauss karışım modelini temsil eden K bileşenli çok değişkenli Gauss karışım modeli oluşturulur. Bunlardan biri ön plan, diğeri de arka plan için kullanılır. Burada K değeri genelde 5 olarak tercih edilir [14]. Toplamda  $2 \cdot K$  tane bileşen bulunmaktadır.

Oluşturulan Gauss karışım modellerinden faydalanılarak  $T_B$  bölgesindeki her bir pikselin ön ve arka plan dağılımlarından elde edilen en minimum  $D_i$  (Gibbs enerji fonksiyonunun veri terimini ifade etmek üzere) değerini üreten Gauss bileşeni bulunur. Çünkü minimum D değerinin olduğu Gauss dağılımı ayrışmayı daha iyi yapmaktadır. Böylece minimum D değeri ve minimum D değerine sahip Gauss bileşeni (k) bulunur. Bunun için aşağıdaki ifadeden faydalanılır.

$$\arg \min_{k_i} D_i(a_i, k_i, \theta, z_i) \quad (15)$$

Burada  $k_i \in \{1, \dots, K\}$  olmak üzere her bir pikselin her Gauss Karışım Modelindeki hangi Gauss dağılımının kullanılacağını belirlemek için kullanılan ek bir parametredir.

GrabCut yöntemi Gibbs enerji fonksiyonundan faydalanır. Amacı yinelemeli bir şekilde çalışarak Gibbs enerji fonksiyonunu minimize etmektir. Bu enerji fonksiyonu iki terimden oluşmaktadır. Bunlardan biri veri terimi diğeri de yumuşatma terimidir. Temelde veri ve yumuşatma terimleri oluşturulan graf yapısını kesmek için kullanılacak minimum kesme yöntemi için grafın kenar ağırlıklarını oluşturacaktır. Ancak bu aşamada kullanılan veri terimi formülü minimum  $D_i$  değerini üreten Gauss bileşenini bulmak için kullanılmaktadır. Yukarıda Eşitlik (15)'de bahsedilen  $D_i$  ifadesi Gibbs enerji fonksiyonunun veri terimini ifade etmektedir. Gibbs enerji fonksiyonunun veri teriminin açılımı Eşitlik (16)'da gösterilmektedir.

$$D(a_i, k_i, \theta, I_i) = -\log \pi(a_i, k_i) + 0.5 \log \det \Sigma(a_i, k_i) + 0.5 [I_i - \mu(a_i, k_i)]^T \Sigma(a_i, k_i)^{-1} [I_i - \mu(a_i, k_i)] \quad (16)$$

Burada  $\pi(\cdot)$  ağırlıklandırma katsayısını (pikselin bulunduğu ön/arka plandaki bulunduğu Gauss bileşenindeki piksel sayısının o plandaki toplam piksel sayısına bölümüdür) ifade eder.  $\mu$  ortalamayı (pikselin bulunduğu ön/arka plandaki bulunduğu Gauss bileşenindeki piksellerin değerlerinin toplamının pikselin bulunduğu ön/arka plandaki bulunduğu gauss bileşenindeki piksel sayısına bölümüdür),  $\Sigma$  kovaryans matrisini ifade eder. Bunların her biri her renk kanalı için ayrı ayrı hesaplanır.  $I_i$  pikselin renk değerlerini ifade etmektedir. Burada  $\theta$ , 1'den K değerine kadar her  $a$  için kullanılacak  $\pi$ ,  $\mu$  ve  $\Sigma$  değerlerini ifade etmektedir. Bu eşitlikle incelenen pikselin ön plana mı arka plana mı ait olduğu belirlenir. Arka plana aitse o pikselin saydamlığını ifade eden  $a$  değeri,  $a_i = 0$ ; ön plana aitse o pikselin  $a$  değeri,  $a_i = 1$  değerini alır.

Yapılan bu işlemlerden ve kümelendirmelerden faydalanılarak Gauss karışım modelinin ortalama, ağırlık, kovaryans gibi parametreleri güncellenir. Bunun için aşağıdaki ifadeden faydalanılır.

$$\arg \min_{\theta} \sum_i [D(a_i, k_i, \theta, I_i)] \quad (17)$$

Gauss karışım modeli güncellendikten sonra piksellerin yeniden kümelendirilmesi için minimum kesme algoritmasından faydalanılır [4]. Bu aşamada öncelikle her piksel için Gibbs enerji fonksiyonunun terimlerinden faydalanılarak piksellerin temsil edileceği graftaki kenarların ağırlıkları bulunur. Veri terimi piksel yani grafta düğüm ile ön veya arka planı ifade eden terminal düğümler arasındaki kenarın ağırlığını, yumuşatma terimi ise düğümler arasındaki kenarın ağırlığını oluşturmaktadır. Ayrıca algoritma boyunca düğümler arasındaki kenarların ağırlıkları değişmeyecektir. Bu yüzden düğümler arasındaki kenarları ifade eden graf bir kereliğine kurulmaktadır. Gibbs enerji fonksiyonun yumuşatma terimi aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$V(a, z) = \gamma \sum_{(m,n) \in C} [a_n \neq a_m] \exp(-\beta |I_m - I_n|^2) \quad (18)$$

Burada  $\gamma$  sabit değeri genellikle 50 olarak kabul edilmektedir [14]. C ifadesi oluşturulan grafi ve m ve n ifadeleri o graftaki düğümleri ifade etmektedir. Yukarıdaki

ifade renk uzayındaki Öklit mesafesi olarak yorumlanabilir [14].  $\beta$  ifadesinin değeri de Eşitlik (19) ile ifade edilebilir [4].

$$\beta = (2 * (I_m - I_n)^2)^{-1} \quad (19)$$

Ardından oluşturulan graf yapısı için minimum kesme yöntemi kullanılır [4]. Bu aşamaya gelindiğinde minimum kesme yönteminin kullanacağı grafın düğümleri arasındaki ve düğüm terminaller arasındaki kenar ağırlıkları bulunmuş olunur. Minimum kesme yöntemi sonucu iki graf elde edilir. Elde edilen iki graftan biri ön planı diğeri arka planı temsil etmektedir ve buna göre  $a$  değerleri güncellenir. Elde edilen sonuçlar eğer bir yakınsama yoksa bir sonraki yinelemenin giriş verisi olarak kullanılmaktadır. Eğer elde edilen sonuçlar, enerji fonksiyonunun önceden belirlenmiş bir değere yakınsamasını gerçekleştiriyorsa yakınsama gerçekleşene kadar Eşitlik (15), (16), (17), (18) ve (19) ve bunların kullanılma adımları sürekli tekrarlanır. Gibbs enerji fonksiyonunun yinelemeyle birlikte minimizasyonunun olduğu ve zamanla yakınsamanın gerçekleşerek otomatik olarak yinelemeyi durduracağı saptanmıştır [14].

GrabCut yöntemi Gauss karışım modeli sayesinde piksellerin renk uzayındaki olasılık dağılımını dikkate alarak işlemlerine devam etmektedir. Şayet ön ve arka plandaki renkler birbirlerine yakın bir dağılıma sahipse başarılı sonuç üretmez. Ön plandan arka plana geçiş sırasında kontrastı düşük bölgelerin olması, kullanıcının belirlediği dikdörtgen içinde arka plan bölgesinin dikdörtgenin dışında kalan arka plan bölgesiyle fazla bir benzerlik göstermediği zamanlarda GrabCut yöntemi başarılı sonuçlar üretmekte zorlanmaktadır [14].

#### 1.4. Literatür Taraması

Bu kısımda son yıllarda literatürde yapılan çalışmaların inceleme sonuçları özet olarak sunulmaktadır. Öncelikle GrabCut yönteminin kullanıldığı alanlar hakkında bilgi verilmektedir. Sonra GrabCut yönteminin hangi yöntemlerle kullanıldığı belirtilmekte ve GrabCut yöntemini geliştirmek için ne tür işlemler yapıldığı hakkında bilgi verilmektedir.

GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda tıbbi görüntüler üzerinde yapılan çalışmalarda bölütleme yöntemi olarak tercih edilmektedir. Tıbbi görüntülerde [15]'te son yıllarda kullanılan dinamik

kontrastlı Manyetik Rezonans Görüntüleme (DCE-MRI) tekniklerinden karın bölgesindeki böbrek dokusunu bulmak için, [16]'daki çalışmada protez görüntülerde görüntü işleme yöntemlerinden faydalanılmakta ve bölütleme yöntemi olarak, [17]'deki yayında MRI görüntülerindeki beyin yapısı için yapılan bölütlemede, [18]'deki çalışmada B modu ultrason tomografi görüntülerinde göğüs bölgesinin bölütlemesi amacıyla, [19]'daki çalışmada kalp kriziyle ilgili bilgiler elde etmek amacıyla fare kalp fotoğraflarında yapılan çalışmanın bölütleme adımı, [20]'deki tam otomatik bir bilgisayarlı tomografi görüntü bölütleme yöntemi için yapılan çalışmada GrabCut yönteminden faydalanılmaktadır. GrabCut yöntemi, [21]'de akciğer gibi organda dinamik olarak meydana gelen değişikliklerin endoskopideki zorluklarını aşmak için yapılan çalışmada bölütlemede aşamasında tam otomatik çalışacak şekilde geliştirilerek kullanılmaktadır. [22]'de beyaz kan hücrelerinin bulunması için yapılanlardan bölütleme aşamasında, [23]'te endoskopik görüntülerde akciğer ile ilgili çalışmada bölütleme işleminde, [24]'teki yayında göz retinasının yapısının incelenerek diyabet hastalığı hakkında bilgi edinilmek için yapılan adımlarda bölütleme yöntemi olarak, [25]'teki çalışmada tıbbi görüntüler (MRI gibi) üzerinde bölütleme aşamasında GrabCut yönteminden yararlanılmaktadır.

Tıbbi görüntü ile ilgili yapılan çalışmaların dışında da GrabCut yönteminin kullanıldığı alanlar bulunmaktadır. [26]'daki çalışmada mikroskobik görüntülerde kırmızı yosunların otomatik olarak hücrelerinin belirlenmesi için yapılan işlemlerde; [27]'deki yayında pirinç, buğday ve arpa gibi bitkiler için tek bir RGB görüntüsüne dayanan bir otomatik yaprak tanımlaması için önerilen yöntemde bölütleme aşamasında; [28]'deki tütün bitkisindeki hastalıkların belirlenmesi geliştirilen yöntemde bölütleme adımı, GrabCut yönteminden faydalanılmaktadır. Bunlar biyoloji alanındaki çalışmalara örnek verilebilir.

[29]'daki yayında uzay istasyonları, denizaltı tespitleri ve diğer uzaktan kumanda cihazlarda yaygın olarak kullanılan özel bir robot türü olan telerobotların geliştirilmesi için yapılan çalışmada kullanılan bölütleme yöntemi olarak; [30]'daki çalışmada afet bölgelerinde kurtarma veya izleme amacıyla kullanılmakta olan mikro hava aracından elde edilen görüntüler için yeni nesne çıkarma yöntemini geliştirilirken uygulanan adımlardan birinde; [31]'deki yayında uzay robotu yörüngedeyken hesaplama ve benzeri problemleri aşmak için önerilen yöntemin adımlarından birinde GrabCut yönteminden faydalanılmaktadır. Bu çalışmalar GrabCut yönteminin robotik alanındaki kullanımına örnek verilebilir.



[32]'deki yayında kişilerin büyütüldükleri ortam, psikolojik durumları ve benzerlerine dayanarak kıyafet seçmekte oldukları belirtilip insanların giyimleri incelenerek kişilik türleri hakkında bir bilgi edinmeyle ilgili çalışmada giysi özelliklerinin görüntüden ayrılması için; [33]'teki yayında ise online giyim satış sistemlerindeki giyim görüntülerindeki insanların giydiği kıyafetlerin bölütlemesi için GrabCut algoritmasından faydalanılmaktadır. GrabCut yöntemi insan kıyafeti bölütlemesinde de kullanılmaktadır.

Ayrıca [34]'te artırılmış gerçekçilik (augmented reality) konusu üzerinde yapılan bir çalışmada, [35]'teki çalışmada deniz kuşlarının, [36]'daki insan yüzlerinin, [37]'deki pasaportta kullanılan görüntülerin bölütlemesinin ve [38]'deki yayında metin bölütlemesinin, [39]' dakinde etkileşimli görüntü bölütlemesi ve ilgili geri bildirim dayalı etkileşimli bir görüntü geri alma yönteminde bölütlemenin yapılması için GrabCut yönteminden yararlanılmaktadır.

GrabCut yöntemi çoğunlukla görüntüler üzerinde kullanılmasına rağmen [6, 21, 23, 40]'deki çalışmalarda videolar üzerinde kullanılmak üzere de ayarlanmıştır.

Yukarıdaki kısımlarda son yıllarda GrabCut yönteminin tercih edildiği çalışma alanlarından bahsedilmektedir.

GrabCut yönteminin başarısını artırmak için ya GrabCut yönteminde değişiklikler yapılmış ya da GrabCut yönteminin giriş verisi üzerinde değişiklikler yapılmıştır. Bazı çalışmalarda da GrabCut yöntemine herhangi bir değişiklik yapılmaya ihtiyaç duyulmamıştır. Aşağıda, yöntem üzerinde yapılan değişikliklerle ilgili çalışmalar hakkında bilgi verilmektedir.

[41] incelendiğinde başarının artırılması için saliency map, süper pikseller ve DBSCAN kümeleme yöntemi kullanılmaktadır. Saliency map, süper piksel ve DBSCAN ile yapılan işlemler sonucunda elde edilen veriye GrabCut uygulanır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde bir başarı yakalandığı söylenmektedir.

[29]'daki çalışmada süper piksellerden yararlanılarak GrabCut yönteminin başarısı artırılır.

[31]'de amaçlanana göre GrabCut yöntemi ile Gauss filtreleme, kenar algılama, morfolojik işleme ve diğer yöntemler birleştirilir. Bu yayında GrabCut yönteminin başarısının artırmak için öncelikle seçilen dikdörtgen içinde Gauss filtresi uygulanır. Ardından Canny algortiması ile kenar algılama yapılır ve sonra da kenar özellikleri morfolojik işlemler kullanılarak artırılmaya çalışılır. Bu işlemler yapıldıktan sonra GrabCut yöntemi kullanılarak hedef nesne bulunmaya çalışılır. Grabcut algoritmasının

hesaplama hızı açıkça geliştirilmiş ve yakınsama hızı arttırılmış ve yineleme sayısı azaltılmıştır [31].

[20]'deki çalışmada ise ilk adım olarak eşik bir değerden ve morfolojik işlemlerden yararlanılarak görüntünün ikili bir maskesi elde edilir. İkinci adım olarak ilgili alan, zincir kodları ve bitişik konturların toplamıyla ilgili bir yöntemden faydalanılarak tanımlanır. Ardından bir entropi algoritması kullanılarak arka plan olan yerler yani ilgi alanı olmayan yerler tanımlanmaya çalışılır. Elde edilen sonuçlara GrabCut yöntemi uygulanır.

[42]'deki çalışmada derin öğrenme yöntemlerinden olan CRF-RNN (Conditional Random Fields as Recurrent Neural Networks- Tekrarlayan Sinir Ağları Olarak Koşullu Rasgele Alanlar ) ile GrabCut yöntemi birleştirilerek arka planı beyaz olan fotoğraflar için bir bölütleme yöntemi önerilmektedir. Tek başına derin öğrenme uygulandığında nesnenin sınırlarında gürültüler olduğu, tek başına GrabCut uygulandığında ise ilgili nesneyle birlikte arka plan da bulunabilmektedir. Bu yayında CRF-RNN yöntemi için görüntü hazırlandıktan sonra CRF-RNN yöntemiyle bir bölütleme elde edilmektedir. Bunun sonucu GrabCut yöntemine maske olarak verilir. GrabCut yönteminin sonucunda elde edilen görüntünün hem gürültüye dayanıklı olduğu hem de tek başına uygulanan GrabCut yönteminin sonucuna göre büyük oranda iyileşme elde ettiği görülmektedir.

[22]'de beyaz kan hücrelerini bulmak için elle bir dikdörtgen seçmek yerine görüntü alt parçalara bölünerek konum bilgisinden yararlanılıp GrabCut yöntemi başlatılmaya çalışılmıştır.

[25]'teki çalışmada ön işlem olarak GrabCut yönteminin giriş görüntüsüne morfolojik işlemler uygulanarak bir siyah beyaz maske elde edilir. Bu maske ile asıl görüntü kullanılarak GrabCut yönteminin girişi için gerekli dikdörtgensel alan belirlenmeden işlemler yaptırılmaktadır. Böylece hem gürültü varsa onun etkisi azaltılır hem de kullanıcıdan dikdörtgen ile giriş bilgisi alınmasına gerek kalmamaktadır. Ayrıca [25]'teki çalışmada, işlemlerin doğruluğunu ve zaman performansını artırmak için süper piksel kullanılabilceğinden bahsedilmektedir.

[26]'daki çalışmada hücre bölgelerini bulmak için süper piksellerin sınır korelasyonuna dayalı çok parçalı belirgin bir bölge tespit sistemi oluşturulur. Ardından saliency map kullanılır. Bunun sonucunda elde edilen veriye morfolojik işlemler uygulanarak bir maske elde edilir. GrabCut yöntemi kullanılırken bu maskeden faydalanılmaktadır. Maske görüntüsü, GrabCut yöntemini yürütürken bölütlemeyi sınırlamak için kullanılır [26].

[27]'deki çalışmada ise GrabCut yönteminin kullandığı kullanıcı etkileşiminde bazı değişiklikler yapılmıştır. GrabCut yönteminde işlemlerin başında bilinmeyen bir bölge var kabul edilir. Bu çalışmada yöntemin başından itibaren sadece ön ve arka plan var kabul edilmiştir ve her bir döngüde tüm pikseller işleme dâhil edilmiştir. Başlangıçta ön ve arka plan etiketleri Laplace filtresi kullanılarak belirlenir.

[33]'teki yayında yüz algılama algoritması ve yüz özelliklerinden faydalanılarak görüntülerde insan yüzünün olup olmadığı, varsa görüntüdeki yüzün konumu bulunur. Bulunan bu koordinatlara göre GrabCut yönteminin başlangıç koşulu için istediği dikdörtgenel bölge otomatik olarak belirlenmektedir.

[32]'deki yayında basit doğrusal yinelemeli kümeleme (Simple Linear Iterative Clustering-SLIC) ve Bayes sınıflandırmasından yararlanılarak renkli görüntülerde GrabCut algoritmasının başarısı artırılmaktadır. Bu çalışma ile süper piksel sayısı düşük olduğunda oluşan bölütlemedeki bozulma olayı çözülebilmektedir. SLIC ve Bayes sınıflandırma uygulandıktan sonra GrabCut yöntemi uygulanmaktadır.

[43]'te yapılan çalışmada süper piksel GrabCut ve image matting dayanan bir yöntem önerilmektedir. Verilen görüntülerden öncelikle süper pikseller bulunuyor. Bu kısımda tek pikseller yerine süper pikseller işleme girer. Bu işlemler ile süper piksel görüntü maskesi üretilmektedir. Sonra maskeyi daha iyi yapabilmek için fast adaptive trimap (FAT) yöntemi uygulanmaktadır. Ardından GrabCut yöntemi uygulanmaktadır. Böylece asıl GrabCut yönteminin ihtiyaç duyacağı hesaplama maliyeti azaltılmaktadır.

[21]'deki çalışmada bir video üzerinde işlem yapılmaktadır. Kullanıcı etkileşimli olduğu için GrabCut yöntemi her görüntü karesi için bir dikdörtgen çizimi istemektedir. [21]'de akciğer ile ilgili endoskopiden gelen video görüntüsünden bahsedilmektedir. Ameliyatlarda akciğerlerden gelen ilk görüntüde bu tarz bir işaretleme yapmak sıkıntı oluşturmaz. Ancak devamında gelen görüntü kareleri için sürekli bir çizim yapmak zordur. Bunun üstesinden gelmek için bazı değişiklikler yapılmıştır. Yapılan değişiklik ile GrabCut yöntemine sadece videodan gelen ilk görüntü (frame) için dikdörtgen gerektirmektedir. Devamında gelen görüntüler için bir öncekinin sınırları gerekli işlemler ile düzeltilerek kullanılır. Bunların gerçekleştirilebilmesi için optik akıştan faydalanılmakta ve GrabCut yöntemi optik akış ile birleştirilmektedir.

[23]'te [21]'e benzer olarak GrabCut ve optik akıştan faydalanılmaktadır. Bu yapının sayesinde renk, kenar, sınır ve hareket bilgilerinden faydalanılabilmektedir. Ayrıca bir sınır iyileştirme yöntemiyle kullanıcı etkileşimi için gerekli süre azaltılmaya çalışılır.

[40]'daki çalışmada videolardaki yayaların algılanması için geliştirilmiş bir GrabCut yöntemi tanımlanmaktadır. Bu amaçla sinir ağlarının kullanımı önerilmektedir. Videonun her bir karesindeki yayaların kaba tahmininin elde edilmesi için Zivkovic [44]'ün önerdiği yaklaşım kullanılmıştır. Ardından morfolojik işlemler uygulanmaktadır. Bu işlem yapıldıktan sonra daha düzgün ve net sonuçlar elde etmek için GrabCut yöntemi uygulanmaktadır. GrabCut yönteminin başarısını artırmak için veri ve yumuşatma terimleri asıl GrabCut yönteminde bulunan problemleri çözmek için özel olarak tasarlanmıştır [40]. Burada sadece veri ve yumuşatma teriminin tanımı değiştirilmiştir. Ancak enerji fonksiyonunda oldukları gibi bir toplam olarak tanımlanıp enerjiyi en aza indirmeye yaklaşımında bir değişiklik yapılmamıştır. Ayrıca Gauss karışım modelinde de bazı değişiklikler yapılmıştır.

[6]'daki çalışmada yeni bir bölütleme yöntemi önerilmektedir. Bu çalışmada video bölütlemesinin zaman, ölçeklenebilirlik gibi bazı problemleri içerdiği vurgulanmaktadır. Bu çerçevede kaliteye ve zaman verimliliğine odaklanarak GrabCut yöntemine dayanan E-GrabCut adlı bir bölütleme yöntemi önerilmektedir. Bunun için ağırlıklandırma merkezi, E-GrabCut yönteminde bölünecek her nesne için tanımlanır. Her iki görüntü karesi arasındaki konum değişimi az olacağından bir görüntü karesinde hesaplanan ağırlıklandırma merkezi bir sonraki görüntü karesi için merkez olarak kullanılır [6]. Bunun için “the Center of Gravity Location (CGL)” yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem sayesinde nesnenin yeri belirlenmiş olur. Ayrıca GrabCut yönteminin kullandığı Gauss Karışım Modelinin kullanımı üzerinde bazı değişiklikler yapılır. İlk görüntü karesi için Gauss Karışım Modeli oluşturulur. Ardından graf kesme yöntemi gerçekleştirilir. Elde edilen sonuçlara göre Gauss Karışım Modeli güncellenir. Bir sonraki görüntü karesine geçildiğinde bir önceki Gauss Karışım Modeli kullanılır. Ve işlemler bu şekilde tekrarlanır.

[17]'deki çalışmada ise GrabCut yönteminin başarısını artırmak için yöntemin kullandığı Gauss Karışım Modeli üzerinde durulur. Ön ve arka planın başlangıç GMM'leri, algoritmanın yakınsama oranını artıracak eğitim setleri ile elde edilir [17]. Eğitim sonrasında elde edilen GMM için parametre değerleri test kümesinde GMM'nin başlangıç parametresi olarak kullanılır.

[18]'deki çalışmada GrabCut yöntemi, üç boyutlu GrabCut (GC3D) yöntemi olarak düzenlenir. Bu yöntem tamamıyla otomatikleşme özelliğine de sahiptir. İlk olarak 6 bağlantılı komşu vokseller (bir pikselin 3 boyutlu karşılığı), ikinci olarak 26 bağlantılı vokseller için ön ve arka plan modellenmesi yapılır [18].

[36]'daki çalışmada görüntülerde bulunan insan yüzlerinin bölütlemesi için GrabCut yöntemi kullanılmıştır. Bu çerçevede GrabCut yönteminin enerji fonksiyonunda değişiklikler yapılmıştır. GrabCut yönteminin kullandığı enerji fonksiyonunun yeni veri terimi, görüntüdeki her piksele hem renk hem de mesafe dağılımlarına dayalı olarak ön plana veya arka plana ait olma ihtimalini hesaplayacak şekilde belirlenmiştir. Burada renk terimine konum terimi de eklenmiştir.

[45]'teki çalışmada ise graf kesme algoritmasında bir değişiklik yapılır. Paralel dinamik bir graf kesme algoritması önerilmektedir. Graf kesme yönteminde hesaplamaların verimliliği artırmak için maksimum akış algoritmaları paralel hale getirilmektedir.

[46]'daki çalışmada derinlik bilgisinden faydalanılarak GrabCut yöntemi geliştirilmeye çalışılmaktadır. İlk önce giriş renk görüntüsüyle eşleştirilen Kinect sensöründen elde edilen derinlik bilgisiyle ilgili görüntüye GrabCut uygulanır. Ardından aşındırma ve genişleme morfolojik işlemleri uygulanır. Bu işlemler sonucu elde ettiğimiz görüntüyü maske olarak kabul ederiz. Maskenin içi ön plan dışı arka plan olarak kabul edilir. Ardından RGB renk değerleri ve derinlik bilgisini işleyecek dört kanallı Gauss Karışım Modeli kullanılarak GrabCut yöntemi uygulanır.

[47]'deki çalışmada GrabCut yönteminin ön ve arka planı bulabilmek için kullandığı Gauss Karışım Modellerinde sabit olarak kullanılan değerlerin görüntüden görüntüye değişmesi için bir düzenleme yapılmıştır. Böylece Gauss Karışımlarının Modeli için (K sabiti için) en uygun değer belirlenir.

[48]'de yapılan çalışmada renk bilgisi ile doku bilgisi birleştirilerek GrabCut yönteminin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bunu yapabilmek için yapı tensörü kullanılmış ve enerji fonksiyonunda gerekli düzenlemeler yapılmıştır.

[49]'daki çalışmada basit görüntülerin bölütlemesi için GrabCut tekniğinin tam otomatik bir çeşidi önerilmiştir. GrabCut yönteminde active contourlardan faydalanılarak bir düzenleme yapılmıştır. Bu kapsamda yeni bir durdurma kriteri geliştirilmiş ve otomatik bir başlatma sağlanmıştır.

[50]'deki çalışmada saliency map konusundan faydalanılarak GrabCut yönteminde düzenlemeler yapılmıştır. Yapılan geliştirmeler ile kullanıcıdan doğan hataların azaltılması sağlanmıştır.

[51]'deki çalışmada GrabCut yönteminin iki etiketli ve kullanıcı etkileşimli olduğu vurgulanmaktadır. Bu konu çerçevesinde GrabCut yönteminin kullanıcı etkileşimini ortadan kaldırmaya ve görüntüden birden fazla parça elde edilmeye çalışılmaktadır. Bunun

için kullanıcıdan küme sayısı ile ilgili bilgiyi alıp Orchard ve Bouman kümeleme tekniği ile görüntü tanımlanan küme sayısı kadar parçalanarak işlemleri geliştirmişlerdir.

[52]'de gerçekleştirilen çalışmada GrabCut yönteminin geliştirilmesi için renk bilgisinin yanına derinlik bilgisi de eklenmiştir.

[53]'te GrabCut yönteminde başlatma aşaması için denetlenmemiş Orchard ve Bouman kümeleme tekniği önerilmiştir. Buradaki amaç GrabCut yönteminin otomatik başlatılmasını sağlamaktır. Ayrıca yaptıkları geliştirmeyi farklı uzaylarda deneyerek başarılarını ölçmüşlerdir.

[54]'te yapılan çalışmada görüntüde gürültü var kabul edilerek önce medyan filtre ile filtreleme yapılmıştır. Ardından K-means algoritmasından faydalanarak GrabCut yöntemi geliştirilmiştir.

[19]'daki yayında GrabCut yönteminin içeriğinde veya giriş verisinde değişiklik yapılmamıştır. GrabCut yöntemiyle kalp arka plandan ayrılır. Ardından bulanık kümeleme yöntemi kullanılarak kalbin zarar gören kısmının belirlenmesine çalışılır.

[55]'deki çalışmada bireylerin ihtiyaçlarına en uygun olan uyku sistemini yatağı, yastığı ile önerebilen bir bilgisayar modelinin tasarımı önerilmektedir. İnsan vücudunun bölümlerini elde etmek için algılanan görüntüde GrabCut yönteminden faydalanılarak bölütleme işlemi yapılmaktadır. Başarıyı artırmak için RGB, derinlik ve basınç bilgisi kullanılmaktadır.

[56]'da Kinect v1 adlı RGB-D sensöründen derinlik ve silüet bilgileri alınarak bir hacme sahip şeffaf nesnelerin yüzeyleri bulunmaya çalışılmaktadır. Burada iki kısım bulunmaktadır. İlk kısımda derinlik bilgisi elde edilmektedir. İkinci kısımda ise GrabCut yöntemi kullanılarak renkli görüntüden silüet bilgisi elde edilmektedir. Yapılanlar ile taranan nesnenin 3 boyutlu modelleri belirlenmiştir.

[16, 20, 22, 33, 49]'deki yayınlarda kullanıcı etkileşimli olan GrabCut yöntemi otomatik bir şekilde dönüştürülmektedir.

Bu anlatılanlardan yola çıkılarak GrabCut yönteminin kullanıcı etkileşiminin azaltıldığı; renk, konum, doku, mesafe, derinlik, sınır ve benzeri bilgilerin kullanılmasıyla geliştirildiği, yapısında bulunan Gauss Karışım Modelinde, enerji fonksiyonunda düzenlemeler yapıldığı, giriş görüntüsünde morfolojik işlemler, süper piksel, saliency map ve benzerlerinin kullanıldığı söylenebilir.

## **2. YAPILAN ÇALIŞMA, BULGULAR, İRDELEME**

### **2.1. Giriş**

Bu kısımda GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin başarısını artırmak için faydalanılan konular hakkında bilgi verilmektedir.

Bölüm 2.2’de GrabCut yönteminin başarısını artırmak için kullandığımız yaklaşımlar anlatılmaktadır. Bölüm 2.3’te kullanılan veri tabanı tanıtılmaktadır. Bölüm 2.4’te işlemlerin başarısını ölçmek için kullanılan ölçütler hakkında bilgi verilmektedir. Bölüm 2.5’te yapılan değişikliklerden elde edilen sayısal ve görsel sonuçlar verilmektedir. Bunlara bağlı olarak orijinal GrabCut etkileşimli bölütleme sonucu ile kıyaslama yapılmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre hangi konuda hangi yöntemin nasıl bir etki yaptığı görülmektedir.

### **2.2. Çalışmada Faydalanılan Yaklaşımlar**

GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin başarısını artırmak için renk uzayları, gürültü kaldırma ve kontrast iyileştirme alanlarından faydalanılmıştır. Yapılan çalışmalarda başarının genel olarak arttığı görülmektedir. Bu çerçevede bu kısımda renk uzayları, gürültü kaldırma ve kontrast iyileştirme için çalışmamızda kullandığımız yaklaşımlar hakkında bilgiler verilmektedir.

#### **2.2.1. Renk ve Renk Uzayları**

Bölütleme yönteminin temel aldığı görsel özelliklere göre, pikseller gruplandırılarak bölütleme sonucu elde edilen parçalar oluşturulur. Bu görsel özelliklerden birisi de renktir. Renk, bölütleme yöntemlerinde nesnenin belirlenmesi ve tanımlanması için kullanılan önemli özelliklerden birisidir [57]. Ayrıca renk bilgisi sadece görüntü işleme konusunda değil multimedya (çoklu ortam), grafik, bilgisayar görmesi gibi konularda gerekli bilgilerin sağlanmasında yardımcı olmaktadır [58].

Renk konusu çerçevesinde karşılaşılabilecek bazı kavramlar vardır [59]. Bunlar;

1. Renk: Işığın bir nesneden yansyarak veya direkt bireyin gözünün retinasına gelmesiyle ışığın bireyde oluşturduğu algılama renk olarak tanımlanmaktadır [60].
2. Parlaklık: Belirlenen bir ışık kaynağından gelen ışığın göz veya benzeri bir alıcı üzerinde oluşturduğu izlenim olarak ifade edilebilir.
3. Renk tonu (Hue): Algılanan renklerin göz gibi bir alıcıda kırmızı, sarı, yeşil ve maviye oranla benzerlik ve farklılık derecesidir [59, 61].
4. Renklilik, canlılık (Colourfulness): İnsan algısına göre bakılan alanın renk tonunun az ya da çok olduğunu belirtir [59].
5. Açıklık (Lightness): Bir alandaki parlaklığının sahnedeki bir referans beyaza göre hissedilmesidir [59].
6. Renk doygunluğu (Chroma): Referans beyazın parlaklığına göre alanın renkliliğidir [59].
7. Doyma, canlılık (Saturation): Bir alanın parlaklığı ile orantılı olarak değerlendirilen renkliliktir [62].

Renk bilgisi birçok farklı konuda, ortamda ve amaçla kullanıldığından rengin farklı özelliklerini ortaya koyan farklı sistemler ve modeller geliştirilmiştir. Böylece amaçlanana göre rengin hangi özelliği önemliyse o özelliği ön planda tutan renk modelleri ve sistemleri kullanılmış, bunun sonucunda da işlemlerin başarısı arttırılmıştır [58]. Oluşturulan bu renk modelleri ve sistemleri; renkleri tanımlamak, renklerin farklılık ve benzerliklerini belirlemek, rengi oluşturan bileşenleri belirleyip bu bileşenlerin önemini ortaya çıkarmak, renklerin belirlenen özelliklere göre sınıflandırılmasını sağlamak gibi birçok konuda faydalı bilgilerin elde edilmesini sağlamaktadır [58]. Ayrıca ışığın gözün retinasına gelmesiyle bireyde oluşturduğu algılama olan renk, bireyden bireye farklılıklar oluşturabilmektedir. Bu sınıflandırma ile bu farklılıklar da önlenmiş olunur [60].

Renk modelleri ve sistemlerinin belirlenmesi ve birbirleriyle olan ilişkilerin açıklanması için yapılan çalışmalar renkmetri (colorimetry) bilimini yani renk bilimini oluşturur [63, 64]. Oluşturulan bu bilim sayesinde renkleri tanımlamak için oluşturulan matematiksel modeller ve formüller ile renk uzayları/modelleri tanımlanır [60]. Günümüzde renkmetri, başta bilgisayar grafikleri ve video sinyal iletim standartları [65] olmak üzere son derece geniş uygulama alanlarını kapsayan bir alan olması nedeniyle çok sayıda renk modeli barındırmaktadır. Bu renk modellerinin çoğu ya donanıma (renkli monitörler ve yazıcılar için) ya da renk yönlendirmesinin bir amaç olduğu uygulamalara



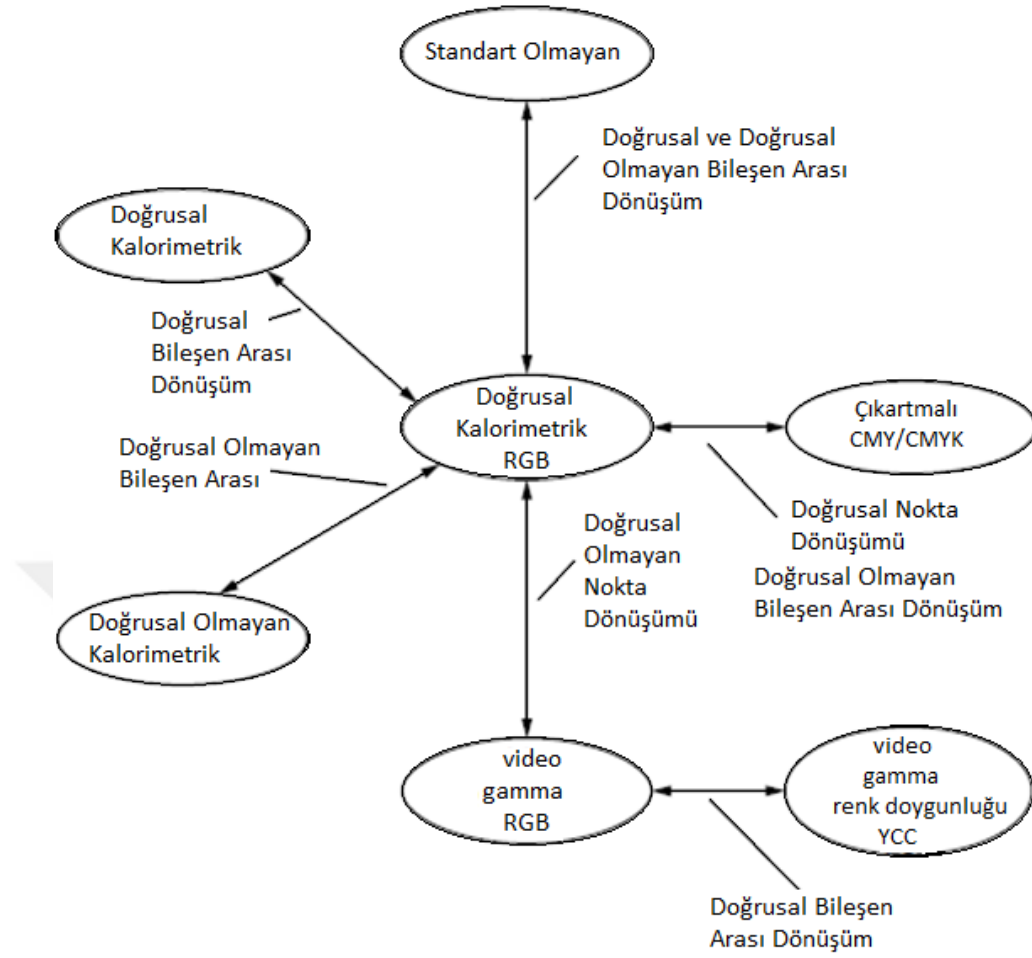
(örneğin, animasyon için renkli grafikler oluşturulurken) yöneliktir. Sayısal görüntü işleme açısından uygulamada en sık kullanılan donanım yönelimli modeller, renkli monitörler ve geniş bir renkli video kamera sınıfı için RGB modelidir [64].

Temelde bir renk modeli, her bir rengi tek bir nokta ile ifade edebilecekleri bir koordinat sistemi ve onun alt uzaylarından oluşan bir sistemdir [64]. Genellikle kullanılan koordinat sistemleri 3 boyutlu olmaktadır. Bu yüzden bir renk, üç koordinat veya parametre ile belirlenmektedir. Ayrıca renkmetri biliminin temelini oluşturan Grassmann'ın birinci kanunu bir rengi temsil edebilmek için birbirinden bağımsız üç parametrenin kullanılacağını belirtir [60]. Bu koordinatlar veya parametreler rengin renk uzayını ifade eden koordinat sistemindeki konumunu göstermektedir. Bu konumun rengi ifade edebilmesi için kullanılan renk uzayının bilinmesi gerekir [59].

Bir renk, üç bileşen ile değişik şekillerde ifade edilebilmektedir. İlkinde C rengi,  $T_1(C)$ ,  $T_2(C)$ ,  $T_3(C)$  renk bileşenlerinin birleşimi şeklinde ifade edilir [63]. Örneğin RGB uzayında, bir renk kırmızı, yeşil ve mavi renk bileşenlerinin birleşimi şeklinde ifade edilir. İkincisinde C rengi,  $t_1(C)$ ,  $t_2(C)$  renk bileşenleri ve  $Y(C)$  parlaklık bileşeni ile ifade edilir [63]. Örneğin YCbCr renk uzayında, bir renk Y parlaklık, Cb ve Cr renk bilgisinin birleşimi ile ifade edilir.

Bir renk değeri, doğrusal ve doğrusal olmayan tersine çevrilebilir bir fonksiyon ile bir renk modelinden başka bir renk modeline aktarılabilir [63].

Renkli görüntüler için geliştirilmiş birçok renk uzayları vardır. Bunlar değişik şekillerde sınıflandırılmıştır. Yapılan sınıflandırmalardan bir tanesinin şeması Şekil 2.1' de başka bir sınıflandırma Şekil 2.2'de verilmiştir. Şekil 2.1 ve Şekil 2.2 'de kullanılan sınıflar ve bu sınıflar için verilen örnek renk uzaylarının ismi vardır.

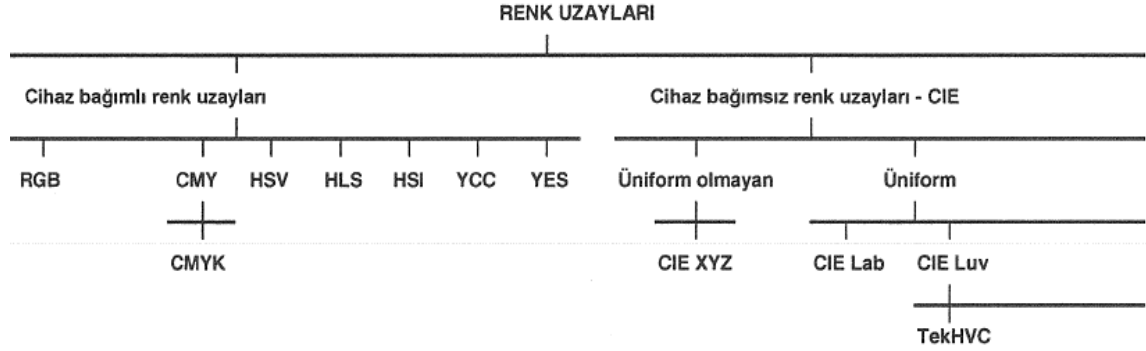


Şekil 2.1. Renk uzayları ve renk uzayları arasındaki ilişki [63].

Şekil 2.1 incelendiğinde renk uzaylarının merkezinde doğrusal RGB bulunmaktadır. Bunun sebebi bilgisayarda üretilen görüntüler dışında renkli tarayıcıdan veya renkli bir video kamerasından oluşturulan renklerdir. Çünkü bu cihazlar; ışığın kırmızı, yeşil ve mavi kısımlarına duyarlı sensörler içermektedir. Ve her sensör kırmızı, yeşil ve mavi ışık miktarlarıyla doğru orantılı olarak kırmızı, yeşil ve mavi renk sinyalleri üretir. Ve bu sinyaller birleştirilip her pikselde olması gereken asıl renk elde edilir [63]. Bu durumda, bazı renk uzaylarının algısal olarak doğrusal olduğu söylenebilir. Yani uyarıcıda meydana gelen değişiklik miktarı kadar algıda da aynı miktarda değişiklik meydana gelmektedir. Ancak birçok renk uzayı doğrusal değildir [59].

Şekil 2.2’de de görüldüğü gibi bazı renk uzayları cihaz bağımlıdır. Bu tür renk uzayları renk sinyallerinin alınması işlenmesi veya gönderilmesi için kullanılan donanım araçlarına bağlı olarak renk tanımlanmaktadır [1]. Yani burada aynı koşullar altında farklı cihazlardan üretilen bir renk birbirleriyle eşleşmemektedir [60]. Cihazdan bağımsız renk

uzaylarında üretilen renk, cihazın özelliklerinden bağımsızdır. Bu renk uzayları, farklı donanımları birbirlerine gönderdikleri görsel bilgilerdeki renk bilgisinin karşılaştırılması ve kullanılması gibi durumlarda fayda sağlamaktadır [1].



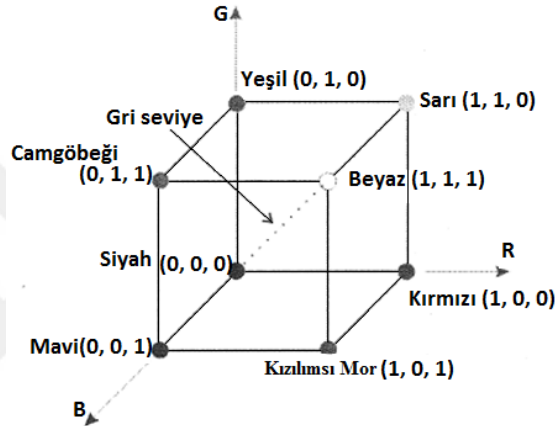
Şekil 2.2. Renk uzaylarının sınıflandırılması [60]

### 2.2.1.1. RGB Renk Uzayı

RGB renk uzayında her renk; kırmızı, yeşil ve mavi renklerin bileşenleri olarak ifade edilir. Kırmızı, yeşil ve mavi renklerin farklı miktarlarda kullanılmasıyla bir renk elde edilir. Bu model, 3 boyutlu kartezyen koordinat sisteminde kullanılmaktadır. RGB renk uzayı çoğunlukla Şekil 2.3'te gösterildiği gibi normalize edilip birim küp olacak şekilde ifade edilir. Yani tüm değerler 0 ile 1 arasındadır. Şekil 2.3. incelenirse küpün; (0, 1, 1) koordinatının camgöbeği (cyan), (1, 0, 1) koordinatının kıvılcımsı mor (magenta), (1, 1, 0) koordinatının sarı renklerini ifade ettiği görülmektedir. (0, 0, 0) koordinatında yani merkezde siyah rengin, (1, 1, 1) koordinatında beyaz rengin olduğu ve bu iki noktayı birleştiren çizginin gri rengi oluşturduğu anlaşılmaktadır. Diğer renkler küpün içi ve yüzeyinde bulunan noktalardır. Her nokta, orijinden kendisine uzanan bir vektör ile tanımlanır. Şekil 2.3'ten anlaşıldığı gibi bu uzaydaki her bir renk R, G ve B olmak üzere 3 tane bileşenden oluşmaktadır [64].

Renkli görüntüde her piksel için bir renk bilgisi bulunmaktadır [2]. RGB renk uzayındaki her pikseli temsil etmek için kullanılan bit sayısına piksel derinliği denir. Bir RGB görüntüsü kırmızı (R) için 8 bit, yeşil (G) için 8 bit, mavi (B) için 8 bit olmak üzere toplamda 24 bit derinliğine sahiptir. Bu durumda 24 bit RGB görüntüsünde toplam renk sayısı  $(2^8)^3 = 16.777.216$  olur [64].

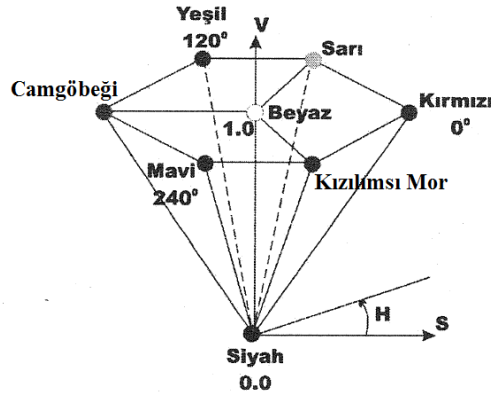
RGB renk uzayı bilgisayar sistemlerinde standart olarak dijital görüntü verilerinin işlenmesinde, depolanmasında [65] kullanılmasına rağmen tüm uygulamalar için uygun değildir. Çünkü kırmızı, yeşil ve mavi renk bileşenleri birbirleriyle yüksek bir ilişkiye sahiptir [1]. Ayrıca RGB renk uzayında renklilik ve parlaklık bilgisi kolayca karıştırılabilmektedir [65]. Buna ilaveten cihaz bağımlı bir renk olması da olumsuz bir taraftır. Bu da görüntü işlemeyle ilgili renk temelli algoritmaların bazılarında işlemleri zorlaştırmaktadır [1, 65].



Şekil 2.3. RGB renk uzayının gösterimi [60].

### 2.2.1.2. HSV Renk Uzayı ve HSV Renk Uzayının Konik Formu

HSV renk uzayında, uzayın daha sezgisel ve algısal açıdan incelenmesi için 3 boyutlu kartezyen koordinat sisteminde küp gösterimi yerine Şekil 2.4'teki gibi bir gösterim tercih edilir [1]. RGB renk uzayında ihtiyaç duyulan renk tonu, doygunluk ve açıklık bilgisini RGB renk uzayından elde etmek çok yoğun matematiksel işlemleri gerektirmektedir. Bunun önüne geçebilmek için HSV renk uzayı önerilmektedir [60]. HSV renk uzayında renkler, renk konusunda belirtilen üç özellik olan renk tonu H bileşeni, doygunluk S bileşeni ve yoğunluk değeri V bileşeni ile belirtilir [66]. HSV renk uzayı da RGB renk uzayı gibi cihaz bağımlı bir renk uzayıdır. Yani rengi üreten cihazın etkisi altındadır [60]. HSV ve RGB renk uzayları arasındaki dönüşüm doğrusal değildir [66].



Şekil 2.4. HSV renk uzayının gösterimi [60].

RGB renk uzayından HSV renk uzayına dönüşüm için aşağıdaki adımlar uygulanır.

1. İşleme giren bir pikselin kırmızı (R), yeşil (G) ve mavi (B) değerleri [0-1] arasına normalize edilir.

$$\begin{bmatrix} R_N \\ G_N \\ B_N \end{bmatrix} = \frac{1}{255} * \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (20)$$

2. Normalize edilmiş kırmızı, yeşil ve mavi değerlerden maksimum ve minimum olanı bulunur.

$$M = \max(R_N, G_N, B_N) \quad (21)$$

$$N = \min(R_N, G_N, B_N) \quad (22)$$

3. HSV renk uzayındaki V bileşen normalize edilmiş kırmızı, yeşil ve mavi değerlerden maksimum olanına eşit olur.

4. HSV renk uzayındaki S bileşen için iki durum vardır. Normalize edilmiş kırmızı, yeşil ve mavi değerlerden maksimum olan 0'a eşitse işlemleri yapabilmek için  $S = 0$  kabul edilir. Normalize edilmiş kırmızı, yeşil ve mavi değerlerden maksimum olan 0'dan farklıysa normalize edilmiş kırmızı, yeşil ve mavi değerlerden minimum olan normalize edilmiş kırmızı, yeşil ve mavi değerlerden maksimum olana bölünür ve 1'den çıkarılır.

$$S = \begin{cases} 1 - (N/M), & M \neq 0 \text{ ise} \\ 0, & M = 0 \text{ ise} \end{cases} \quad (23)$$

5. HSV renk uzayındaki H bileşenin bulunması için birden fazla durum incelenir. Aşağıdaki denklem ile bu birden fazla durum ve bu durumların sonuçları ifade edilmektedir.

$$H = \begin{cases} 0, & \text{Eğer } M = N \\ ((G_N - B_N)/(6 * (M - N))) * 360, & \text{Eğer } M == R_N \text{ ve } B_N \leq G_N \\ ((G_N - B_N)/(6 * (M - N)) + 1) * 360, & \text{Eğer } M == R_N \text{ ve } B_N > G_N \\ ((B_N - R_N)/(6 * (M - N)) + \frac{1}{3}) * 360, & \text{Eğer } M == G_N \\ ((R_N - G_N)/(6 * (M - N)) + \frac{2}{3}) * 360, & \text{Eğer } M == B_N \end{cases} \quad (24)$$

Bu hali ile elde edilen HSV renk uzayındaki değerler bazı durumlarda başarı sağlayamamaktadır. Bu yüzden renkler arası fark hesabının daha başarılı bir şekilde sonuçlar üretebilmesini sağlayabilecek şekilde formülde bazı düzeltmeler yapılarak kullanılabilir – HSV konik form (Jiang vd., 2000). RGB renk uzayından HSV renk uzayına dönüşüm yapıldıktan sonra yeni H değeri (H') Eşitlik (25), S değeri (S') Eşitlik (26) ve V değeri (V') Eşitlik (27) ile bulunur.

$$H' = V \quad (25)$$

$$S' = V * S * \sin(H) \quad (26)$$

$$V' = V * S * \cos(H) \quad (27)$$

### 2.2.1.3. YCbCr Renk Uzayı

YCbCr renk uzayı, dijital videolar ve benzerlerinde kullanılmak için geliştirilmiş standart bir renk uzayıdır. YCbCr renk uzayı RGB renk uzayındaki değerleri parlaklık ve renk bilgisi olarak ifade etmektedir. Y bileşeni parlaklığı ifade ederken Cb ve Cr renk bilgisini ifade etmektedir. Burada Cb mavi ve parlaklık bileşenleri arasındaki farkı, Cr ise kırmızı ve parlaklık bileşenleri arasındaki farkı temsil etmektedir. YCbCr uzayı da cihaz

bağımlı bir renk uzayıdır [60]. YCbCr ve RGB renk uzayları arasındaki dönüşüm doğrusaldır [66].

RGB renk uzayından YCbCr renk uzayına dönüşüm için aşağıdaki matris çarpımı uygulanır. Burada işleme giren bir pikselin kırmızı (R), yeşil (G) ve mavi (B) bileşenlerinin oluşturduğu matrisin Eşitlik (28) ile YCbCr renk bileşenlerine dönüşümü gösterilmektedir.

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.257 & 0.504 & 0.098 \\ -0.148 & -0.291 & 0.439 \\ 0.439 & -0.368 & -0.071 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (28)$$

#### 2.2.1.4. CIE

Işık ve aydınlatma bilimini geliştirmek ve belirli standartlar oluşturmak amacıyla Türkçesi Uluslararası Aydınlatma Komisyonu olan Commission International'de L'Eclairage' (CIE) adlı bir komisyon kurulmuştur. Bu kuruluş insan görsel sistemini dikkate alarak renkler için renk uzayları geliştirmekte ve sınıflandırma yapmaktadır. Yaptıkları bu çalışma sayesinde tanımladıkları bir renk uzayındaki bir renk aynı sınıflandırmadaki başka bir renk uzayındaki bir renkle kesinlikle eşleşmektedir [59]. Bu yüzden cihaz bağımsız renk uzayları CIE tarafından geliştirilen renk uzaylarını tanımlamaktadır.

#### 2.2.1.5. CIE XYZ Renk Koordinat Sistemi

CIE XYZ, 1931 yılında geliştirilen tüm renk ölçümünün kökeni kabul edilen bir koordinat sistemidir. İnsan göz yapısı gereği üç ana renk olarak belirlenen kırmızı, yeşil ve mavi renkleri kolayca algılayabilmektedir. X, Y ve Z değerleri gözün beyne yolladığı bu üç renk sinyalinin uyarılarının miktarlarını belirler. Bu uyarma miktarları arasındaki oran toplam uyarmanın renksel niteliğini belirler. Bu, rengi belirleyen X, Y ve Z arasındaki oran olduğu anlaşılmaktadır. Beyindeki ilgili merkez, bileşenlerin oranına bağlı olarak rengin algılanmasında değerlendirilir. Bu yüzden CIE XYZ renk uzayında standart bir aydınlatıcı ve gözlemci belirlenmiştir. CIE; X, Y ve Z arasındaki oranlar, bir alıcının duyulanmasının üç alıcının toplam duyulanmasına oranı olarak belirlemektedir [68].

Burada CIE XYZ renk koordinat sistemindeki X, Y ve Z kanalları olmak üzere yukarıdaki açıklamaya göre kırmızının algılanma oranı (x), yeşilin algılanma oranı (y) ve mavinin algılanma oranı (z) aşağıdaki matrisel ifade ile elde edilir.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \frac{1}{(X+Y+Z)} * \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (29)$$

$x = y = z = (1/3)$  noktası teorik olarak beyazdır. Bu noktadan uzaklaştıkça renklerin doymuşluğu artar [60].

CIE tarafından 1931 ve 1964 yıllarında standart aydınlatıcı (A, B, C, D50, D65, E, F) ve standart gözlemci ( $2^\circ$ ,  $10^\circ$ ) tanımları üzerine kurulan CIE XYZ renk uzayının iki boyutlu gösterimi bu esasa dayanır [60].  $2^\circ$ , CIE 1931 ve  $10^\circ$ , CIE 1964 olarak da bazı kaynaklarda adlandırılır.

[69]'daki kaynak incelendiğinde XYZ renk uzayının kullandığı standart aydınlatıcılar ve gözlemcilerden bazılarının referans değerleri görülmektedir.

RGB renk uzayından CIE XYZ renk uzayına dönüşüm için aşağıdaki adımlar uygulanır.

1. İşleme giren bir pikselin kırmızı (R), yeşil (G) ve mavi (B) değerleri Eşitlik (20)'de gösterildiği gibi normalize edilir.

2. Ardından elde edilen  $R_N$ ,  $G_N$  ve  $B_N$  bileşenlerinin 0.04045 değerinden büyük küçük olmasına göre  $R_N$ ,  $G_N$  ve  $B_N$  bileşenleri düzenlenir. Bu durum Eşitlik (30)'de gösterilmektedir.

$$A^* = \begin{cases} 100 * (((A + 0.055) / 1.055)^{2.4}), & A > 0.04045 \\ 100 * (A/12.92), & \text{diğer durumda} \end{cases}, A \in \{R_N, G_N, B_N\} \quad (30)$$

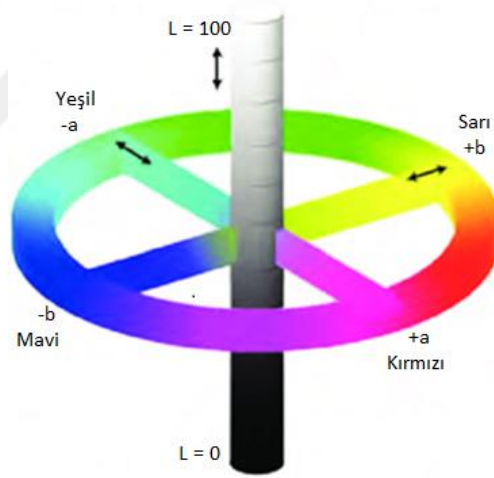
3. En son olarak aşağıdaki matrisel çarpım yapılarak CIE XYZ uzayındaki X, Y ve Z bileşenleri elde edilir.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4124564 & 0.3577610 & 0.1804375 \\ 0.2126729 & 0.7151522 & 0.0721750 \\ 0.0193339 & 0.1191920 & 0.9503041 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} R_N^* \\ G_N^* \\ B_N^* \end{bmatrix} \quad (31)$$



### 2.2.1.6. CIELAB Renk Uzayı

CIE XYZ renk uzayına dayanan bir renk modelidir [59]. Bu uzayı elde etmek için öncelikle CIE XYZ renk uzayını bulmak gerekir. Çünkü CIE XYZ renk uzayından CIELAB uzayına dönüşüm sağlanmaktadır [60]. CIELAB renk modelinde; L bileşeni insanın açıklık algısını yani parlaklığı, a kırmızılık-yeşillik (hue) ve b sarılık-mavilik (chroma) bileşenleri ile mevcut rengi ifade eder [57, 63]. L bileşeninde, 0 siyahı, 100 beyazı temsil ederek aradaki değerler beyazlığın derecesini ifade etmektedir. CIELAB renk uzayında aydınlatıcı ve gözlemci modelleri kullanılmaktadır. [69]'da kullanılabilecek çeşitli aydınlatıcı ve gözlemci modelleri olduğu görülmektedir. Kullanılan aydınlatıcı ve gözlemciye göre CIELAB renk uzayında farklı sonuçlar üretilebilmektedir. Cihazdan bağımsız bir renk uzayıdır [60]. Şekil 1.5' te CIELAB renk uzayının genel gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.5. CIELAB renk uzayının gösterimi [72].

RGB renk uzayından CIELAB renk uzayına dönüşüm için aşağıdaki adımlar uygulanır.

1. İşleme giren bir pikselin kırmızı (R), yeşil (G) ve mavi (B) renk bileşenleri öncelikle (20), (30) ve (31)' de gösterilen formüllerle CIE XYZ renk uzayındaki X, Y ve Z bileşenlerine döndürülür. Ardından CIE XYZ renk uzayından CIELAB renk uzayına dönüşüm yapılır.

2. [69]'da gösterilen aydınlatıcı-gözlemci değerlerinden biri seçilir. Ardından elde edilen X, Y ve Z değerleri [69]'dan seçilen değere bölünür.

3. Bölme sonucu elde edilen X, Y ve Z bileşenlerinin 0.008856 değerinden büyük veya küçük olmasına göre X, Y ve Z bileşenlerinin değerleri düzenlenir. Bu durum Eşitlik (32)'de gösterilmektedir.

$$A^* = \begin{cases} A^{(1.0/3.0)}, & A > 0.04045 \\ (7.787 * A) + (16/116), & \text{diğer durumda} \end{cases}, A \in \{X, Y, Z\} \quad (32)$$

4. Son adım olarak da aşağıdaki denklemler gerçekleştirilmektedir.

$$L = (116 * Y^*) - 16 \quad (33)$$

$$A = 500 * (X^* - Y^*) \quad (34)$$

$$B = 200 * (Y^* - Z^*) \quad (35)$$

### 2.2.1.7. CIECAM02 Renk Uzayı ve Türevleri

Algısal tekdüzelik, renk uzayındaki renkler arasındaki Öklit mesafesinin, insan renk algısı mesafesi kararlarıyla eşleşmesi gerektiği düşüncesidir ve görselleştirme için önemlidir [73]. Yapılan çalışmalarda RGB, CYM gibi renk uzaylarının algısal olarak homojen olmadıkları ortaya çıkmıştır [73]. Bunların yerine CIELAB renk uzayı önerilmektedir. Ancak son zamanlarda CIELAB renk modelinden daha iyi algısal olarak homojen olan CIECAM02 ve CIECAM02-UCS renk uzayları önerilmektedir.

CIE tarafından renk yönetimi uygulamaları için CIECAM97 renk modelinin temel yapısına dayanmakla birlikte CIECAM97 renk modelinde bazı düzeltmeler yapılarak CIECAM02 renk modeli önerilmiştir. CIECAM02 renk modeli, CIE XYZ değerlerini belirli görüntüleme koşullarına göre algısal özneliğe dönüştürmek için denklemler sağlar. Bu renk modeli, algısal bir bütünlüğe ve daha iyi bir renk tonu sabitliğine sahiptir [74]. Modelin amacı farklı koşullar altında renk görünümünü tahmin edebilmektir. Ayrıca CIECAM02 renk uzayı algısal olarak tekdüze bir renk uzayı olması amacıyla tasarlanmıştır.

CIECAM02 renk uzayına dönüşüm için bazı parametreler kullanılmaktadır. Bu parametrelerden bahsetmeden önce birkaç terimin açıklanması gerekmektedir. Bunlar sırasıyla aşağıda verilmektedir.

1. Uyarılama Alanı (Adapting Field): Uyarılama alanı, yakınsal alan, arka plan ve çevre (surround) dahil olmak üzere, düşünülen renk unsurunun toplam çevresidir ve her yönde görüş sınırına kadar uzanır [75].

2. Yakınsal Alan (Proximal Field): Dikkate alınan renk unsurunun hemen çevresidir CIECAM02 renk modelinde kullanılmamaktadır [75].

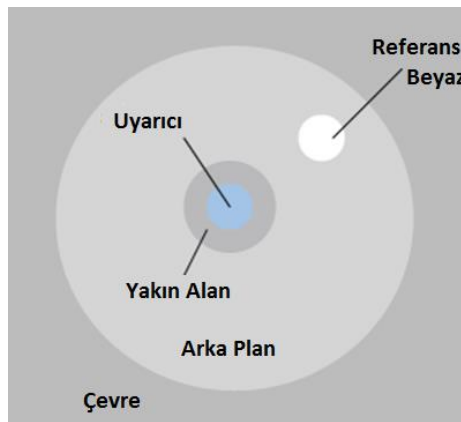
3. Uyarıcı (Stimulus): Uyarıcı renk görünümü ölçüsü gerektiren bir renk elemanı olarak tanımlanmaktadır. X, Y, Z değerleri ile tanımlanıp referans beyaz ile normalize edilmektedir [75].

4. Referans Beyaz (Reference White): Referans beyaz bir uyarıcının açıklığını ölçeklemek için kullanılır [75].

5. Arka plan (Background): Dikkate alınan renk unsurunun çevresi olarak tanımlanır ve genellikle yakınsal alanın kenarından belirli bir miktar boyunca her yere uzanan kısımdır [75].

6. Çevre (Surround) : Arka plan dışındaki alan demektir [75]. CIECAM02 renk modelinde average, dim, dark adları ile adlandırılmak üzere üç çeşit çevre tanımlanıp kullanılmakta ve bunların çevre parametreleri [75]'te verilmektedir.

[75]'teki F eksik adaptasyon faktörünü, c çevrenin etkisi ve  $N_c$  kromatik induksiyon faktörüdür. Bu bahsedilenler aşağıdaki Şekil 2.6. ile görselleştirilmektedir.



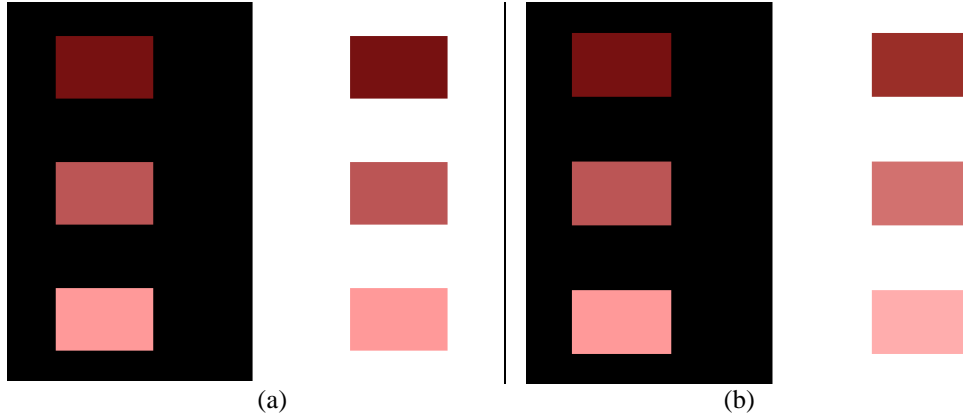
Şekil 2.6. CIECAM02 renk uzayıyla ilgili terimlerin görseli [75].

CIECAM02 renk uzayına dönüşüm için öncelikle RGB renk uzayından CIE XYZ renk uzayına dönüşüm yapılmalıdır. Ardından CIECAM02 renk uzayına dönüşüm için bazı parametreler gereklidir. Bunlar;  $L_A$  uyarlama alanının parlaklığını belirtir,  $Y_B$  arka planın parlaklık faktörünü tanımlar,  $X_w, Y_w, Z_w$ , test ışıklandırıcısı altındaki referans beyazın X, Y, Z değerleri ve seçilen çevre koşulu ve parametresidir [75]. Bu giriş parametreleri verildikten sonra CIECAM02 renk uzayı için yapılan işlemler sonucunda dokuz tane özellik değeri elde edilir. Bunlar aşağıda kullanıldıkları sembollerle birlikte maddeler halinde verilmektedir [75].

1. Parlaklık (Brightness) – (Q)
2. Açıklık (Lightness) – (J)
3. Renklilik, Canlılık (Colourfulness) – (M)
4. Renk Doygunluğu (Chroma) – (C)
5. Doyma, Canlılık (Saturation) – (S)
6. Renk Tonu Bileşimi (Hue Composition) – (H)
7. Renk Tonu Açısı (Hue Angle) – (h)
8. Kırmızılık-yeşillik (Redness-greenness) – (a)
9. Sarılık-mavilik (Yellowness-blueness) – (b)

CIECAM02 renk uzayının kullanım amacına göre bu dokuz özellikten istenenler (genelde üç tanesi) seçilir. Üç özellik açıklık veya parlaklıktan biri, renk doygunluğu, renklilik veya doymadan biri ve renk tonu açısı veya renk tonu bileşiminden biri olabilir [76].

Bir görüntünün çevresinin yoğunluğu o görüntünün görünüşünü büyük ölçüde etkileyebilir. Bu durum da renklerin doğru algılanmasına engel olmakta ve bunun neticesinde algısal olarak renk uzaylarının gelişmesine neden olmaktadır. Şekil 2.7 (a) incelendiğinde aynı renk değerlerine sahip bölgelerin açık renkli bölgelerde koyu renkli bölgelere göre daha koyu görüldüğü anlaşılmaktadır [77].



Şekil 2.7. Standart bir renk uzayında oluşan çevre etkisi (a), CIECAM02 renk uzayının çevre etkisi karşısındaki tepkisi (b) [77].

Şekil 2.7 (a)'daki gibi renklerin algısal olarak yanlış fark edilmesini önleyebilmek için geliştirilen renk uzaylarından birisi de CIECAM02 renk modelidir. Şekil 2.7 (a)'daki yapı CIECAM02 renk modelinde gözükseydi bu bölgelerdeki renk değerleri aynı değil farklı olacaktır. Şekil 2.7 (a)'da arka planı açık olan bölgelerin arka planı koyu olan bölgelere göre daha koyu gözükteği ifade edilmektedir. Şekil 2.7 (b)'de ise arka plan yani çevre farklı olmasına rağmen CIECAM02 renk uzayının algısal olarak bölgelerdeki renkleri aynı gösterecek şekilde renkleri ayarladığı ifade edilmektedir.

CIECAM02 renk modeli karmaşık bir yapıya sahip olmasına rağmen belirli bir görüntüleme koşulu altında bir insan gözlemcisine öznel olarak nasıl bir renk geleceğini ifade etmede çok yararlıdır [76]. Ayrıca algısal olarak da bir başarı sağlamaktadır. CIECAM02 renk modeli birçok açıdan diğer renk uzaylarına karşı üstünlük sağlasa da bazı problemlere sahiptir. Bunlara örnek olarak bazı renkler için matematiksel hataların, parlaklık fonksiyonunda problemlerin olması verilebilmektedir [75]. Çeşitli çalışmalar ile bu problemlerin üstesinden gelinmeye çalışılmıştır. En son olarak bu hataların üstesinden gelebilmek için CIECAM02 yerine CIECAM16 ve CIECAM02-UCS yerine CIECAM16-UCS renk uzayları geliştirmiştir.

[78]'deki çalışmada CIECAM02 renk uzayı üzerinden büyük renk farklılıklarında başarılı olan CIECAM02-LCD, küçük renk farklılıklarında başarılı olan CIECAM02-SCD ve büyük-küçük renk farklılıklarının birleşiminde başarılı olabilen CIECAM02-UCS renk modelleri önerilmektedir. Bunlar algısal olarak tekdüze renk uzayları olarak düzenlenmişlerdir. [75]'te CIECAM02 renk uzayından CIECAM02-LCD, CIECAM02-

SCD ve CIECAM02-UCS renk uzaylarına dönüşüm için gerekli değişkenlerin değerleri verilmektedir.

RGB renk uzayından CIECAM02 renk uzayına dönüşüm için aşağıdaki adımlar uygulanır [75].

1. İlk olarak CIECAM02 renk uzayına dönüşüm için gerekli olan giriş parametreleri hesaplanır. Bu parametreler hesaplandıktan sonra bu parametreler her bir pikselin CIECAM02 renk uzayına dönüşümü için kullanılır. Bunların sadece bir defa hesaplanması dönüşüm için yeterlidir.

a. İlk olarak referans beyaz değeri  $M_{CAT02}$  matrisi ile çarpılır. (36)'daki formül bunu göstermektedir [75].

$$\begin{bmatrix} R_w \\ G_w \\ B_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.73280 & 0.4296 & -0.1624 \\ -0.7036 & 1.6975 & 0.00610 \\ 0.0030 & 0.0136 & 0.98340 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} \quad (36)$$

b. Ardından [75]'ten seçilen çevre koşulunun F parametresine göre aşağıdaki formül kullanılır.

$$D = F * [1 - (1/36) * e^{(-L_A - 42)/92}] \quad (37)$$

c. Elde edilen D değeri birden çok büyükse 1'e sıfırdan çok küçükse 0'a eşitlenir. Ardından  $D_R$ ,  $D_G$  ve  $D_B$  adlı değişkenler aşağıdaki formül ile hesaplanır [75].

$$\{ D_R \ D_G \ D_B \} = D * ( Y_w / \{ R_w \ G_w \ B_w \} ) + 1 - D \quad (38)$$

d. Bunlar hesaplandıktan sonra k adlı bir parametre,  $F_L$  adlı bir parametre ve diğer işlemler hesaplanır [75]. Bunun için  $L_A$  değeri 4,0749 ve  $Y_b$  değeri 20.0 olarak alınır.

$$k = 1/(5 * L_A + 1) \quad (39)$$

$$F_L = 0.2 * k^4 * 5 * L_A + 0.1 * (1 - k^4)^2 * (5 * L_A)^{1/3} \quad (40)$$

$$n = \frac{Y_b}{Y_w} \quad (41)$$

$$z = 1.48 + \sqrt{n} \quad (42)$$

$$N_{bb} = 0.725 * (1/n)^{0.2} \quad (43)$$

$$N_{cb} = N_{bb} \quad (44)$$

f. Ardından aşağıdaki matrissel çarpımlar yapılır. 33'teki formülde çarpımda kullanılan ilk matris [75]'te belirtilen  $M_{CAT02}$  matrisinin tersi ile  $M_{HPE}$  matrisinin çarpımıdır [75].

$$\begin{bmatrix} R_{wc} \\ G_{wc} \\ B_{wc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_R * R_w \\ D_G * G_w \\ D_B * B_w \end{bmatrix} \quad (45)$$

$$\begin{bmatrix} R'_w \\ G'_w \\ B'_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.7409792 & 0.2180250 & 0.0410058 \\ 0.2853532 & 0.6242014 & 0.0904454 \\ -0.009628 & -0.005698 & 1.0153260 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} R_{wc} \\ G_{wc} \\ B_{wc} \end{bmatrix} \quad (46)$$

g. Son olarak da aşağıdaki formüller kullanılarak giriş için gerekli parametreler elde edilmiş olacaktır [75].

$$\{ R'_{aw} \ G'_{aw} \ B'_{aw} \} = 400 * \frac{\left( \frac{F_L * \{ R'_w \ G'_w \ B'_w \}}{100} \right)^{0.42}}{\left( \frac{F_L * \{ R'_w \ G'_w \ B'_w \}}{100} \right)^{0.42} + 27.13} + 0.1 \quad (47)$$

$$A_w = [ 2 * R'_{aw} + G'_{aw} + (B'_{aw}/20) - 0.305 ] * N_{bb} \quad (48)$$

2. İşleme giren bir pikselin kırmızı (R), yeşil (G) ve mavi (B) değerleri öncelikle (20), (30) ve (31)' de gösterilen formüllerle CIE XYZ renk uzayındaki X, Y ve Z bileşenlerin değerlerine döndürülür. Ardından her bir pikselin değeri CIE XYZ renk uzayından CIECAM02 renk uzayına dönüştürülür. İlk olarak X, Y ve Z bileşenleri  $M_{CAT02}$  matrisi ile çarpılır. Ve sonuçlarda R, G ve B adlı değişkenlere aktarılır [75].

3. Bulunan R, G ve B ifadeleri yukarıda bulunan  $D_R$ ,  $D_G$  ve  $D_B$  değerleri ile çarpılarak  $R_c$ ,  $G_c$  ve  $B_c$  değişkenlerinin değerleri elde edilir [75].

4. Ardından  $R_c$ ,  $G_c$  ve  $B_c$  değişkenlerinin değerleri [75]' te belirtilen  $M_{CAT02}$  matrisinin tersi ile  $M_{HPE}$  matrisinin çarpımıyla çarpılarak  $R'$ ,  $G'$  ve  $B'$  değişkenlerinin değeri bulunur [75].

5. Adaptasyon sonrası tepkiyi hesaplayabilmek için aşağıdaki formüller kullanılır.  $R'$ ,  $G'$  ve  $B'$  değişkenlerinin negatif olma durumuna göre formüllerde düzeltmeler yapılmaktadır [75].

$$T'_a = \begin{cases} 400 * \left( \left( \frac{F_L * T'}{100} \right)^{0.42} / \left( \left( \frac{F_L * T'}{100} \right)^{0.42} + 27.13 \right) \right) + 0.1, & \text{Eğer } T' > 0 \\ -400 * \left( \left( \frac{-F_L * T'}{100} \right)^{0.42} / \left( \left( \frac{-F_L * T'}{100} \right)^{0.42} + 27.13 \right) \right) + 0.1, & \text{Eğer } T' < 0 \end{cases} \quad T \in \{R, G, B\} \quad (49)$$

6. Aşağıdaki formüller ile renk tonu açısı, kırmızılık-yeşillik ve sarılık-mavilik değerleri bulunur. Burada  $h$  değerinin 0 ile 360 derece arasında olmasına dikkat edilir [75].

$$a = R'_a - (12 * G'_a / 11) + B'_a / 11 \quad (50)$$

$$b = (R'_a + G'_a - 2 * B'_a) / 9 \quad (51)$$

$$h = \tan^{-1}(b/a) \quad (52)$$

7. Renk tonu bileşimi için de aşağıdaki yapılar kullanılır. Ancak bazı değerlerin kullanılması için [75]'teki benzersiz renk tonu verilerinden faydalanmak gerekmektedir. Aşağıdaki yapılar kullanılmadan önce [75]'teki benzersiz renk tonu verilerinden faydalanarak  $h$  değerinin  $h_1$ 'den büyük olup olmadığına bakılır. Eğer  $h < h_1$  ise  $h' = h + 360$  değilse  $h' = h$  olarak belirlenir. Ve (54)'teki formülde  $h_i \leq h' < h_{i+1}$  ifadesine göre uygun  $i$  değeri belirlenir ve ona göre (54)'teki formülde [75]'teki benzersiz renk tonu verilerinden uygun değerler seçilir [75].

$$e_t = [\cos((h' * \pi / 180) + 2) + 3.8] * (1/4) \quad (53)$$

$$H = H_i + \frac{100 \cdot \frac{h' - h_i}{e_i}}{\frac{h' - h_i}{e_i} + \frac{h_{i+1} - h'}{e_{i+1}}} \quad (54)$$

8. Akromatik yanıt hesabı aşağıdaki formülle hesaplanır [75].

$$A = [2 * R'_a + G'_a + (B'_a / 20) - 0.305] * N_{bb} \quad (55)$$



9. Açıklığın hesabı için aşağıdaki formül kullanılır [75].

$$J = 100 * (A/A_w)^{c-z} \quad (56)$$

10. Parlaklığın hesabı için aşağıdaki yapıdan faydalanılır [75].

$$Q = \left(\frac{4}{c}\right) * \left(\frac{J}{100}\right)^{0.5} (A_w + 4) * F_L^{0.25} \quad (57)$$

11. Renklilik, renk doygunluğu ve doyma için aşağıdaki formüllerden faydalanılır.

$$t = \frac{(N_c * N_{cb} * \frac{50000}{13}) * e_t * (a * a + b * b)^{\frac{1}{2}}}{R'_a + G'_a + B'_a * \left(\frac{21}{20}\right)} \quad (58)$$

$$C = t^{0.9} * \left(\frac{J}{100}\right)^{0.5} * (1.64 - 0.29^n)^{0.73} \quad (59)$$

$$M = C * F_L^{0.25} \quad (60)$$

$$S = 100 * \left(\frac{M}{Q}\right)^{0.5} \quad (61)$$

Bu kısma kadar gösterilen adımlar ile CIECAM02 renk uzayına dönüşüm sağlanmaktadır. CIECAM02 renk uzayından CIECAM02-LCD, CIECAM02-SCD ve CIECAM02-UCS renk uzaylarına dönüşüm için aşağıdaki adımlar yapılır. Hangi renk uzayına dönüşüm yapılacaksa  $c_1$  ve  $c_2$ 'nin değerleri [75]'te kullanılan katsayılardan seçilir [75].

1. İlk olarak aşağıdaki formül kullanılır [75].

$$J' = \frac{(1+100*c_1)*J}{1+c_1*J} \quad (62)$$

$$M' = \left(\frac{1}{c_2}\right) * \ln(1 + c_2 * M) \quad (63)$$

2. Son olarak aşağıdaki formüller kullanılır [75].

$$a'_M = M' * \cos(h) \quad (64)$$

$$b'_M = M' * \sin(h) \quad (65)$$

Elde edilen  $J'$ ,  $a'_M$  ve  $b'_M$  değerleri ile CIECAM02-LCD, CIECAM02-SCD ve CIECAM02-UCS renk uzayları oluşturulmaktadır.

### 2.2.1.8. CIECAM16 Renk Uzayı ve Türevleri

CIECAM02 renk modeli önerildiğinden beri birçok çalışmada kullanılmakta ve başarılı sonuçlar vermektedir. Ancak bazı durumlarda hesaplamalarda problemler çıkmaktadır. Örneğin, çapraz medya renk yeniden yapma uygulamaları (cross-media color reproduction applications), farklı ortamlarda farklı teknolojilerle görüntülerin tutarlı bir şekilde yeniden üretilmesi demektir ve bu uygulamaların yapıldığı sırada uygulanan görüntü işleme sırasında problemler oluştuğu ortaya çıkmıştır. CIECAM02 renk modelinde çıkan bu problemleri ortadan kaldırmak için birçok düzenlemeler yapılmıştır. Yapılan düzenlemelerin çoğunda CIECAM02 renk modelinin temel yapısı aynı kalmıştır. Ancak sorunların çözümüne karşılık doğruluk miktarı azalmıştır. Temel olarak kullanılan formüller ve işlem adımları bakımından CIECAM02 renk uzayına benzer olmakla birlikte bazı farklılıklar ile CIECAM02 renk uzayından daha iyi bir renk uzayı olan CIECAM16 renk uzayı geliştirilmiştir. Geliştirilen CIECAM16 renk modeli algısal olarak tekdüze olduğu gibi bu sıkıntıların üstesinden gelmiş ve hatta CIECAM02 renk modelinden daha fazla başarılı sonuçlar üretmiştir. CAT (Chromatic Adaptation Transforms-Renklerle ilgili Adaptasyon Dönüşümleri) farklı aydınlatıcılar altında birbirine benzeyen renk çiftleri olarak tanımlanan renkleri tahmin etmeye yarar [75]. CIECAM16 renk modelinin yaptığı değişikliklerden birisi de CIECAM02 renk modelinin kullandığı CAT dönüşümünü değiştirerek kullanmaktır. Ayrıca CIECAM16 renk modeli CIECAM02 renk modeline göre daha basit bir yapıya sahip olacak şekilde düzenlenmiştir. CIECAM16 renk modeline dayandırılarak CIECAM16-UCS renk modeli geliştirildi ve CIECAM02-UCS renk modelinin yerini alması için önerildi [79]. CIECAM16 renk uzayından CIECAM16-UCS renk uzayına dönüşüm için gerekli değişkenler ve onların değerleri [75]'teki katsayılarla aynıdır.

RGB renk uzayından CIECAM16 renk uzayında dönüşümde CIECAM02 renk uzayında dönüşümdeki denklemlerden bazıları kullanılmaktadır. RGB renk uzayından CIECAM16 renk uzayına dönüşüm için aşağıdaki adımlar uygulanır [79].

Öncelikle CIECAM16 renk uzayına dönüşüm için gerekli olan giriş parametreleri hesaplanır. Bu parametreler hesaplandıktan sonra her bir pikselin CIECAM16 renk uzayındaki dönüşümü için kullanılır. Bunun için referans beyaz değeri  $M_{CAT16}$  matrisi ile çarpılır. Eşitlik (66)'daki formül bunu göstermektedir [79].

$$\begin{bmatrix} R_w \\ G_w \\ B_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4012880 & 0.650173 & -0.051461 \\ -0.250268 & 1.204414 & 0.045854 \\ -0.002079 & 0.048952 & 0.953127 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} \quad (66)$$

Bu hesaplamaadan sonra [75]'ten faydalanarak Eşitlik (37) kullanılır.  $D_R$ ,  $D_G$  ve  $D_B$  adlı değişkenler Eşitlik (38) kullanılarak elde edilir. Bu hesaplamalardan sonra Eşitlik (39) ile  $k$  parametresinin, Eşitlik (40) ile  $F_L$  parametresinin değeri bulunur. Ardından bazı atamalar ve hesaplamalar için Eşitlik (41), (42), (43), (44) ve (45) kullanılır [79].

Son olarak da aşağıdaki formüller kullanılarak giriş için gerekli parametreler elde edilmiş olacaktır [79].

$$\{ R_{aw}, G_{aw}, B_{aw} \} = 400 * \left( \frac{\left( \frac{F_L * \{ R_w, G_w, B_w \}}{100} \right)^{0.42}}{\left( \frac{F_L * \{ R_w, G_w, B_w \}}{100} \right)^{0.42} + 27.13} \right) + 0.1 \quad (67)$$

$$A_w = [ 2 * R_{aw} + G_{aw} + (B_{aw}/20) - 0.305 ] * N_{bb} \quad (68)$$

İşleme giren her bir pikselin kırmızı (R), yeşil (G) ve mavi (B) değerlerinin CIE XYZ renk uzayındaki X, Y ve Z değerleri bulunur. Bunun için (20), (30) ve (31)'de gösterilen formüller kullanılır. Ardından her bir pikselin değeri CIE XYZ renk uzayından CIECAM16 renk uzayına dönüştürülür. İlk olarak X, Y ve Z bileşenleri  $M_{CAT16}$  matrisi ile çarpılır. Ve sonuçlarda R, G ve B adlı değişkenlere aktarılır [79].

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4012880 & 0.650173 & -0.051461 \\ -0.250268 & 1.204414 & 0.045854 \\ -0.002079 & 0.048952 & 0.953127 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (69)$$

Eşitlik (69)'teki R, G ve B ifadeleri yukarıda bulunan  $D_R$ ,  $D_G$  ve  $D_B$  değerleri ile çarpılır.

Adaptasyon sonrası tepkiyi hesaplayabilmek için aşağıdaki formüller kullanılır.  $R_c$ ,  $G_c$  ve  $B_c$  değişkenlerinin negatif olma durumuna göre formüllerde düzeltmeler yapılmaktadır [79].

$$T_a = \begin{cases} 400 * \frac{(F_L * T_c / 100)^{0.42}}{(F_L * T_c / 100)^{0.42} + 27.13} + 0.1, & \text{Eğer } T_c > 0, \\ -400 * \frac{(-F_L * T_c / 100)^{0.42}}{(-F_L * T_c / 100)^{0.42} + 27.13} + 0.1, & \text{Eğer } T_c < 0, \end{cases} \quad T \in \{R, G, B\} \quad (70)$$

(50), (51) ve (52) nolu formüllerde  $R'_a$  yerine  $R_a$ ,  $G'_a$  yerine  $G_a$ ,  $B'_a$  yerine  $B_a$  olarak renk tonu açısı (h), kırmızılık-yeşillik (a) ve sarılık-mavilik (b) değerleri bulunur. Burada h değerinin 0 ile 360 derece arasında olmasına dikkat edilir [79].

Renk tonu bileşimi için de Eşitlik (53) ve (54)'ten ve [75]'teki benzersiz renk tonu verilerinden faydalanılır [79]. CIECAM16 renk uzayında akromatik yanıt hesabı da Eşitlik (55)'te  $R'_a$  yerine  $R_a$ ,  $G'_a$  yerine  $G_a$ ,  $B'_a$  yerine  $B_a$  alınarak hesaplanır [79].

CIECAM16 renk uzayında açıklığın hesabı için Eşitlik (56) ve parlaklığın hesabı için Eşitlik (57)'den kullanılır [79].

CIECAM16 renk uzayında renklilik, renk doygunluğu ve doyma için Eşitlik (58), (59), (60) ve (61)'de  $R'_a$  yerine  $R_a$ ,  $G'_a$  yerine  $G_a$ ,  $B'_a$  yerine  $B_a$  alınarak hesaplanır [79]

Bu kısma kadar gösterilen adımlar ile CIECAM16 renk uzayına dönüşüm sağlanmaktadır. CIECAM16 renk uzayından CIECAM16 renk uzaylarının türevlerine dönüşüm için Eşitlik (62), (63), (64) ve (65)'ten faydalanılır. CIECAM16 renk uzaylarının türevlerine dönüşüm için  $c_1$  ve  $c_1'$ 'nin değerleri [75]'teki katsayılarından seçilir [79].

### 2.2.1.9. $J_z a_z b_z$ Renk Uzayı

Algısal olarak tekdüze bir renk alanı, birçok çeşitli görüntüleme uygulamalarında kullanılmak istenmektedir. Çünkü bu tarz bir renk alanı bir pikselin kullanacağı rengin üç bağımsız ve benzersiz renk özelliği olan açıklık, renk doygunluğu ve renk tonu ile temsil edilebilmesini sağlamaktadır. Böylece yapılacak işlemler için en az hesaplama ve maliyet sağlanabilir. Mevcut olan renk uzayları bu istenenleri tam anlamıyla yapamamaktadır. Bu yüzden günümüzde tekdüze bir renk uzayının kullanım alanı gittikçe artmaktadır. Önceden önerilen CIELAB ve CIELUV adlı iki farklı tekdüze renk alanının algısal renk farklarını doğru bir şekilde tahmin edebilmelerine rağmen renk uzaylarının korelasyon arasındaki

Öklit uzaklıklarının algısal renk farklarında karşılık gelmediği anlaşılmıştır. Bu sebeplerden dolayı tekdüze renk uzaylarından biri olarak  $J_z a_z b_z$  tekdüze renk uzayı geliştirilmiştir. Bu renk uzayındaki bileşenlerin değerlerini elde etmek için RGB renk uzayından CIE XYZ renk uzayına dönüşüm yapılmalıdır. Ardından CIE XYZ renk uzayından  $J_z a_z b_z$  tekdüze renk uzayına dönüşüm yapılmaktadır.  $J_z a_z b_z$  tekdüze renk uzayındaki  $J_z$  bileşen açıklık,  $a_z$  bileşen kırmızılık-yeşillik ve  $b_z$  bileşen sarılık-mavilik durumunu bildirir. Ayrıca bu renk uzayında renk, renk açısı ve algısal renk farkını hesaplayan formüller de geliştirilmiştir.  $J_z a_z b_z$  renk uzayı ters çevrilebilir bir halde ayarlanmıştır. [80]'deki çalışmada değişik ölçütler kullanılarak  $J_z a_z b_z$  tekdüze renk uzayı diğer renk uzaylarıyla karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırmada birçok renk uzayından daha başarılı olduğu ifade edilmektedir. Ancak CIECAM16-UCS renk uzayı bazı ölçütlerde  $J_z a_z b_z$  tekdüze renk uzayını az bir farkla geçmeyi başarabilmiştir. Ancak  $J_z a_z b_z$  tekdüze renk uzayının hesaplama karmaşıklığı ve maliyeti CIECAM16-UCS'ye göre daha azdır. Zaten  $J_z a_z b_z$  tekdüze renk uzayının temel amaçlarından biri hesaplama maliyetini artırmadan algısal olarak tekdüzeliği artırmaktır [73]. Ayrıca bu renk uzayı geliştirilirken renk özelliklerinden olan açıklık, renk doygunluğu ve renk tonu arasındaki bağımlılık en aza indirgenecek şekilde optimize edilmiş ve mavi tondaki sapmanın uygun bir aralıkta kalması amaçlanmıştır [80].

RGB renk uzayından  $J_z a_z b_z$  renk uzayına dönüşüm için kullanılan formüllerde bazı sabit değerler vardır. Bu sabitlere  $b$ ,  $g$ ,  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ,  $p$ ,  $n$ ,  $d$  ve  $d_0$  adları verilmektedir [80]. [80]'deki kaynakta bu sabitlerin sahip olduğu değerler bulunmaktadır.

RGB renk uzayından  $J_z a_z b_z$  renk uzayına dönüşüm için aşağıdaki adımlar uygulanır [80].

1. Öncelikle RGB renk uzayındaki renk değerleri CIE XYZ renk uzayındaki X, Y ve Z bileşenlerin değerlerine döndürülür.

2. CIE XYZ renk uzayına dönüşüm sonrasında aşağıdaki matris işlemleri yapılır [80].

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b * X \\ g * Y \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} (b - 1) * Z \\ (g - 1) * X \end{bmatrix} \quad (71)$$

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.41478972 & 0.579999 & 0.0146480 \\ -0.2015100 & 1.120649 & 0.0531008 \\ -0.0166008 & 0.264800 & 0.6684799 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z \end{bmatrix} \quad (72)$$

3. Bu matris işlemlerinde sonra aşağıdaki formül kullanılır [80].

$$\{L'M'S'\} = \left( \frac{c_1 + c_2 * (\{LMS\}/10000)^n}{(1 + c_3 * (\{LMS\}/10000)^n)} \right)^p \quad (73)$$

4. Üçüncü adımdan sonra aşağıdaki matris işlemi yapılarak bu renk uzayındaki  $a_z$  ve  $b_z$  bileşenleri elde edilir.

$$\begin{bmatrix} I_z \\ a_z \\ b_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0.0 \\ 3.524000 & -4.066708 & 0.542708 \\ 0.199076 & 1.096799 & -1.295875 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} L' \\ M' \\ S' \end{bmatrix} \quad (74)$$

5. Bu aşamalardan sonra bu renk uzayındaki  $J_z$  bileşenini bulabilmek için aşağıdaki formül kullanılır [80].

$$J_z = \frac{(1+d)I_z}{1+dI_z} - d_0 \quad (75)$$

### 2.2.2. Kontrast İyileştirme ve Kontrast İyileştirme Yöntemleri

Görüntü iyileştirme, görüntü işleme konularının içinde en çok çalışılan ön işleme adımlarından biridir. Görüntü iyileştirme ile görüntünün kalitesinin iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Böylece görüntü işleme için yapılacak ileri adımlarda daha kaliteli bir veri girişi elde edilmiş olunur. Özellikle kalitesi kötü olan görüntülerin, görüntü iyileştirme ile kaliteli hale gelmesi bölütleme işleminin daha kolay yapılmasını sağlamaktadır. Ancak kullanılan alandaki görüntünün türüne bağlı olarak her görüntü iyileştirme yöntemi her alanda başarılı olamamaktadır [81]. Görüntü iyileştirme alanında görüntünün kontrastının, parlaklık özelliklerinin iyileştirilmesi, gürültünün azaltılması, kenarların belirginleştirilmesi gibi alt başlıklar bulunmaktadır [81]. Görüntünün fazla bulanık veya karanlık olması durumunda görüntüdeki bazı nesnelere bulunması ve tanınması zorlaşmaktadır [81]. Bu tarz durumlarda görüntü iyileştirme yapmak sonuçlarda başarıyı artırmaktadır. Görüntü iyileştirme konusu çerçevesinde yapılan çalışmaların çoğunda kontrastı iyileştirme/geliştirme için yapılan işlemler bulunmaktadır.

Görüntü işlemede histogram, gri seviyedeki bir görüntünün sahip olduğu renk aralığındaki değerlerin kaç tane pikselde kullanıldığını gösteren bir grafik olarak

tanımlanabilir. Örneğin RGB renk uzayındaki bir gri seviye görüntü yani kırmızı, yeşil ve mavi renk kanallarında aynı renk değeri olan bir görüntü olsun. RGB renk uzayındaki her bir kanalın değeri, en fazla 255 en az 0 değerini alır. Histogram, böyle bir görüntüde 0 ile 255 arasındaki renk değerlerinin her birinin kaç tane piksele sahip olduğunu gösteren bir grafikdir. Ayrıca RGB renk uzayında her bir renk kanalı için ayrı ayrı histogram oluşturulup incelenebilir.

Histogram sayesinde hangi renk değerlerinin görüntü üzerinde etkisi olduğunu hangisinin olmadığını veya hangisinin hiç kullanılmadığını öğrenebiliriz. Histogramı olabildiğince her renk değerinin dengeli olarak kullanıldığı bir şekilde düzenlersek görüntü kalitesini artırırız. Ancak histogramdan piksellerin konumları hakkında yorum yapabileceğimiz bir bilgi bulunmamaktadır.

Bir görüntünün kontrastı, görüntünün alabileceği en düşük ve en yüksek yoğunluk seviyesi arasındaki fark olarak ifade edilebilir [81]. Bu histogram sayesinde görüntünün kontrastı hakkında bilgi elde edilebilmektedir. Histogram dağılımı belli bir alana sıkışmışsa bu görüntünün kontrastı kötüdür anlamı çıkar. Kontrastı istenen seviyede olan bir görüntüde histogram dağılımı hemen hemen tüm renk değerlerinden aynı sayıda piksel olacak şekilde dağılım gösterir. Çünkü bu durumda görüntüdeki her ayrıntıyı ifade edebilen ara değerler de fark edilebilmektedir. Histogramın dağılımında pikseller renk değeri düşük olan kısımda yoğunlaşmışsa görüntü karanlık, renk değeri yüksek olan kısımda yoğunlaşmışsa görüntü parlak olmaktadır.

Kontrast iyileştirme, bir görüntüdeki karşıtlığı uygulamanın amacına göre iyileştirerek görüntünün net olarak algılanmasını sağlayıp görüntüdeki bazı özelliklerin daha kolay fark edilmesini sağlamaktadır [81]. Kontrast iyileştirme ile görüntüdeki ayrıntılar daha iyi fark edilebilmektedir. Bu durumda kontrastı iyileştirilmiş bir görüntü, düşük kontrastlı haline göre daha çok görsel bilgi içermektedir. Yani kontrast iyileştirme yapılarak görüntüde fark edilmeyen bölgelerin veya bilgilerin fark edilmesi sağlanmaktadır. Kontrast geliştirme ile yoğunluğun değeri yeniden dağıtılarak net bir görüntü elde edilmeye çalışılır.

Kontrast iyileştirme konusu çerçevesinde geliştirilen birçok kontrast iyileştirme yöntemi bulunmaktadır. Bunların arasında en sık kullanılan histogram eşitleme yöntemidir. Bu yöntemin dışında da [82, 83, 84]'teki gibi geliştirilmiş farklı yöntemler bulunmaktadır. Kontrast geliştirme algoritmaları konumsal alanda ve frekans alanında çalışan yöntemler olarak iki sınıfa ayrılabilirler [81]. Konumsal alandaki yöntemler, görüntüdeki

piksellerin değerlerini seğme, ekleme, çıkarma gibi yollarla bilgileri değiştirip kullanarak kontrast iyileştirme yapmaya çalışmaktadır. Frekans alanındaki yöntemler ise piksel değerlerini frekans uzayına taşır ve bundan sonra kontrast geliştirme için gerekli algoritmaları uygular. Yani kontrast iyileştirme için gerekli işlemleri frekans uzayında yapmaktadırlar [81, 85]. Başka bir sınıflandırma olarak da yöntemler global ve yerel olarak iki başlık altında toplanabilmektedir. Global yöntemler, tüm görüntünün histogramından faydalanarak görüntünün kontrastını geliştirmeye çalışırlar. Global yöntemlerde bazı problemler olabilmektedir. Örneğin önemli özellikler, arka plan veya gürültü gibi nemsizler tarafından bastırılabilir. Bu problemleri giderebilmek için yerel yöntemler geliştirilmiştir. Yerel yöntemler, görüntünün tamamının histogramını değil de görüntünün her bir alt parçasının histogramını dikkate alır [86].

Histogram eşitleme ve benzerlerinde gri seviyede olan bir görüntü için bir histogram bulunup ilgili kontrast iyileşme yöntemi uygulanmaktadır. Ancak renkli bir görüntüde her bir renk kanalı için ayrı ayrı histogram bulunup her bir histogram için ayrı ayrı kontrast iyileşme yöntemi uygulanmaktadır. [85, 87]'deki çalışmalarda bu tarz bir kontrast iyileştirme yapılmıştır.

### **2.2.2.1. Histogram Eşitleme**

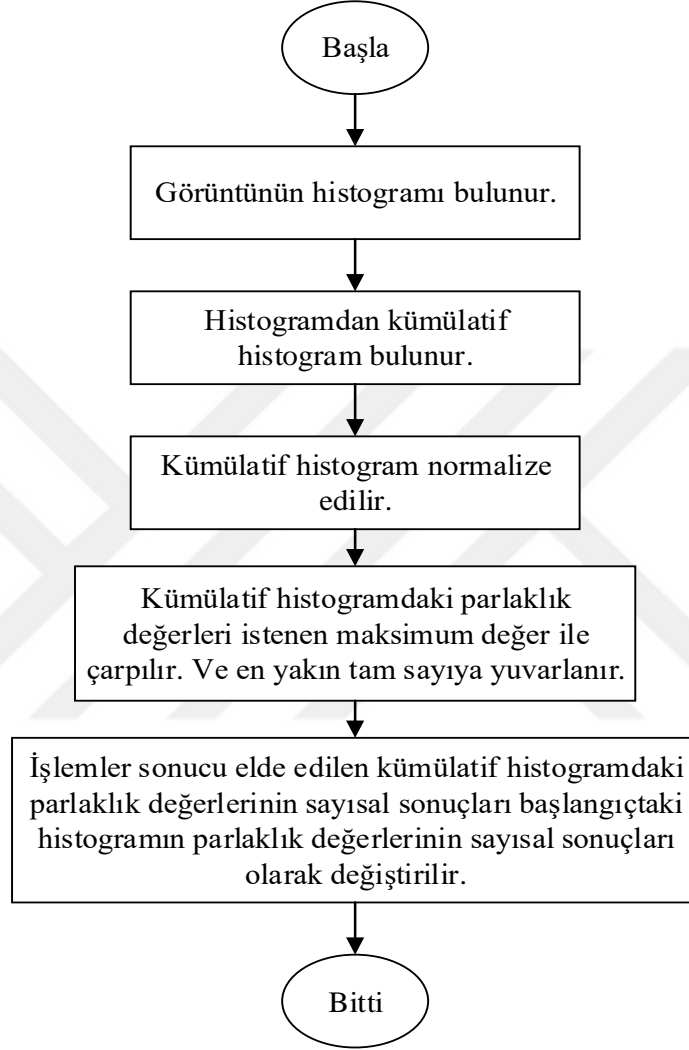
Dijital görüntülerde kontrastı iyileştirmek için çoğunlukla kullanılan yöntemlerden birisi histogram eşitleme (histogram equalization - HE) yöntemidir. Görüntünün global kontrastını iyileştirmeye çalışır. Yani görüntünün tamamını içeren histogram dağılımı üzerinde işlemlerini yapar. Histogram eşitleme, basit ve etkili bir yöntemdir [81]. Histogram dağılımı dengeli olmayan yani değerler bir alanda toplanmış olan bir görüntünün kontrastının düzeltilmesinde başarılı sonuçlar vermektedir. Bu yöntem ile görüntünün histogramı dengeli bir hale gelir. Bu da kontrastın iyileşmesini sağlar. Ancak arka plan ve gürültünün etkisini de ortaya çıkarabilir ve bir sonraki görüntü işleme adımlarında istenmeyen sonuçlara neden olabilir.

Histogram eşitleme yöntemi görüntünün bir alanda sıkışmış histogram dağılımını dağıtarak kontrastta bir iyileşme yapmaktadır. Ancak homojen bölgelerde gürültüyü de artırdığından istenmeyen sonuçlara neden olabilmektedir. Bunları önlemek için uyarlamalı histogram eşitleme yöntemi önerilmektedir. Ancak bazı durumlarda uyarlamalı histogram



eşitleme yöntemi de yetersiz olduğundan kontrast sınırlı uyarlamalı histogram eşitleme yöntemi geliştirilmiştir [87].

Histogram eşitlemenin genel akış şeması Şekil 2.8'deki gibidir.



Şekil 2.8. Histogram eşitlemenin özet akış şeması.

Histogram eşitlemenin yapılması için öncelikle görüntünün histogramı bulunur. Ardından histogramdan faydalanılarak kümülatif histogram bulunur. Kümülatif histogramda, her bir parlaklık değeri kendisinin ve kendisinden önceki parlaklık değerlerinin sahip olduğu piksellerin toplamı olan sayıyla ifade edilir. Ardından kümülatif histogramdaki her parlaklık değerinin sahip olduğu piksel sayısı görüntüdeki toplam piksel sayısına bölünerek normalize işlemi yapılmaktadır. Bunun sonucunda kontrastı düzenlenmiş olacak görüntüde istediğimiz maksimum parlaklık değeri, kümülatif histogramın normalize edilmiş halindeki her bir sayısal değer ile çarpılır. Ardından her

parlaklık değeri için elde edilen sonuçlar en yakın tam sayıya yuvarlanır ve başlangıçtaki parlaklık değerine göre bir look-up table oluşturularak bütün görüntü piksellerinde güncelleme yapılır [64].

Histogram eşitleme yöntemleri uyarlamalı (adaptive) ve uyarlanmayan (nonadaptive) olarak ikiye ayrılabilir [88]. Uyarlanmayan algoritmalarda görüntünün histogramının tamamı kullanılarak aynı hesaplamalarla her piksel değiştirilir. Yani global yöntemler olarak nitelendirilebilir. Çoğunlukla kaliteli görüntülere, uyarlanamayan bir histogram eşitleme yöntemi uygulandığında görüntülerde bozulmalar olabilmektedir [88]. Uyarlamalı algoritmalarda ise her piksel, kendisini çevreleyen bölgedeki piksellere göre düzenlenir. Yani yerel yöntemler olarak nitelendirilebilir. Uyarlamalı histogram eşitlemesinde hesaplamalar yoğun olmaktadır. Bu yüzden yöntemin hızını artırmak için birtakım yöntemler düzenlenmiştir [88, 89].

#### **2.2.2.2. Uyarlamalı Histogram Eşitlemesi**

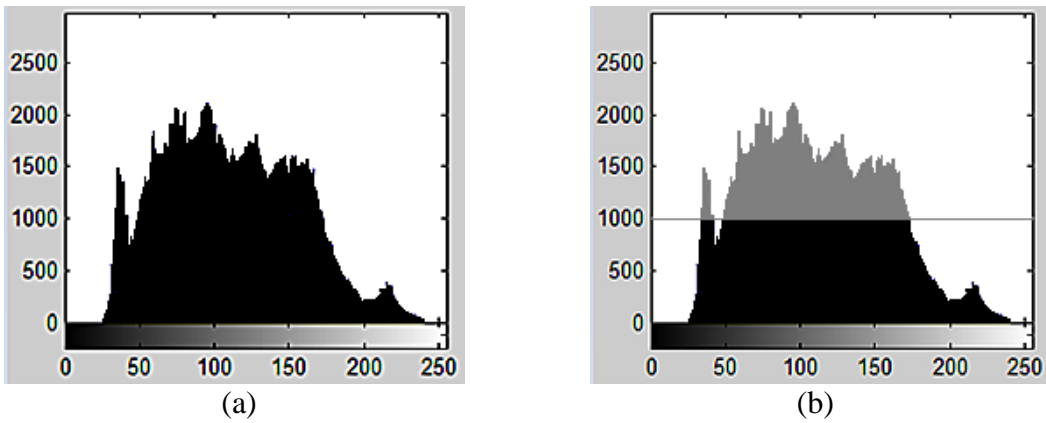
Histogram eşitleme yöntemi global olarak yani görüntünün histogramını bir bütün olarak ele aldığından bazı zayıflıklara sahiptir. Örneğin, ortalama yoğunluk orta seviyeye getirilmesinden dolayı solmuş bir etki oluşabilmektedir. Ayrıca dar bölgede yoğun bir yığılma olan görüntülerde ise yayılma sonucunda görüntüde birçok gürültü oluşabilmektedir. Bunları önlemek amacıyla uyarlamalı histogram eşitleme (adaptive histogram equalization - AHE) yöntemi ortaya atılmıştır [86, 90]. Bu yöntem yerel kontrastı iyileştirmek için histogram eşitleme yöntemine dayanan bir kontrast iyileştirme yöntemidir. Yani görüntüyü alt parçalara böler ve her parçada ayrı ayrı kontrast iyileştirme gerçekleştirir [87]. AHE yöntemi görüntüyü alt parçalara ayırırken birbirleriyle çakışmayacak şekilde alt parçalara ayırır. Parça sayısı ve her parçanın boyutu görüntüye ve uygulamanın amacına göre değişebilmektedir. Her bir parça için histogram eşitleme yöntemini uygular. Her bir alt bloktan histogram eşitleme sonucu elde edilen görüntüler birleştirilerek sonuç görüntü elde edilir. Her alt bloktan elde edilen sonucun birleştirilmesi için çift-doğrusal ara değerlendirme (bilinear interpolation) yöntemi kullanılır. Çünkü bu kullanılmadığında bölge sınırlarında bozulmalar görülür.

Yerel alanda çalışan yöntemler, görüntünün tamamının histogramını değil de görüntünün her bir alt parçasının histogramını dikkate aldığından alt blokların sınırında bloklama efekti adı verilen süreksizlik problemi ortaya çıkar. Bunu çözmek için alt bloklar

örtüşür ve böylece sınır pikselleri komşu bölgeye dahil edilebilir. Ayrıca AHE yöntemi, yerel bölgelerdeki gürültüyü ve özellikleri ayırt etmekte zorlanır. Bu yüzden homojen bölgelerdeki gürültüler büyüyebilir. Homojen bölgelerdeki bu problemin önüne geçmek için kontrast iyileştirmenin sınırlandırılması gerekir. Bu problemleri önlemek için CLAHE yöntemi geliştirilmiştir [86, 89].

### 2.2.2.3. Kontrast Sınırlı Uyarlamalı Histogram Eşitleme

Kontrast sınırlı uyarlamalı histogram eşitleme (contrast limited adaptive histogram equalization - CLAHE) yöntemi bir çeşit uyarlamalı kontrast geliştirme yöntemidir. Ancak arasında farklar bulunmaktadır. CLAHE yönteminde her görüntü parçalara ayrılır. Her bir parçanın histogramı bulunur. Ardından histogram kırpma limiti kullanılarak kırılır ve histogram buna göre düzenlenir. Her bir parçanın kontrastı geliştirilir. Bunun için histogram eşitleme yönteminden faydalanılır. Ardından bu parçalar birleştirilerek kontrastı iyileştirilmiş görüntü elde edilir. Komşu parçalar arasında oluşabilecek yapay sınırların ortadan kaldırılması için çiftdoğrusal ara değerlendirme kullanılır. Özellikle homojen alanlarda kontrast, görüntüde mevcut olabilecek gürültünün etkisinin artmasını önlemek için sınırlandırılabilir [81]. Bu yöntem gürültünün etkisini artırmadan görüntünün yerel kontrastını iyileştirmektedir [81].

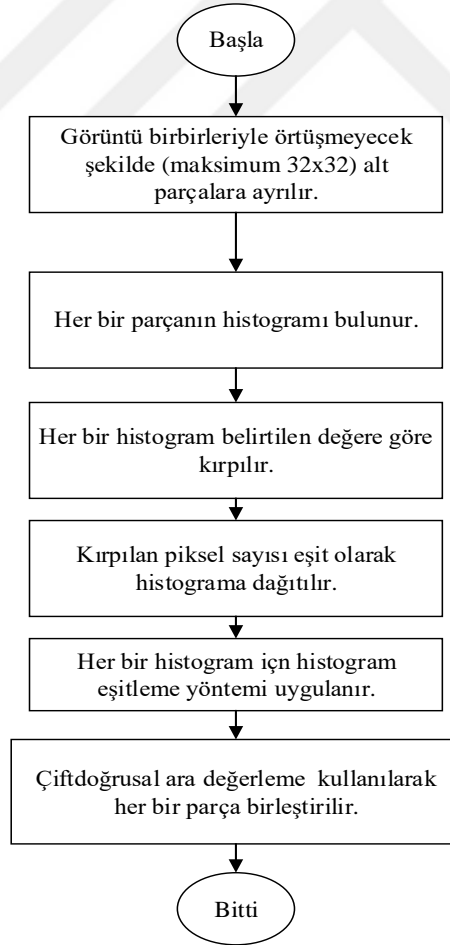


Şekil 2.9. Örnek bir görüntü histogramı (a) ve bu histogramın kesilmesi (b)

CLAHE yöntemi, kullanıcı tarafından tanımlanan kırpma limiti adlı bir değeri kullanarak histogramı belirtilen değerden keser. Şekil 2.9'da bu durum

görselleştirilmektedir. Şekil 2.9 (a) CLAHE yönteminin uygulanacağı bir histogramı göstermekte, Şekil 2.9 (b) ise kırpma limiti ile histogramın kırılmasını göstermektedir. Kırpma yatay bir çizgi ile gösterilmektedir. Çizginin üstü kırılan, altı kırılmayan kısmı göstermektedir. Böylece kontrast yükseltme işlemi sınırlanmış olur [87]. Bu yükseltme aslında kontrastın ne kadar artacağını yani düzeleceğini ifade eder. Bu yükseltmenin bir değerde kesilmesinin sebebi ise gürültünün etkisinin artmasını önlemektir. Seçilen kırpma limitinin değeri çok yüksek olursa kırpma sınırının etkisi azalır ve standart bir AHE yöntemine dönlür. Kırılan piksel sayısı histograma eşit bir şekilde dağıtılır. Böylece toplam piksel sayısı değişmemiş olur.

CLAHE yöntemi sayesinde tıbbi görüntülerde [16, 90, 91], sisli görüntülerde, sualtı görüntülerinde, uydu görüntülerinde, doğal görüntülerde gürültünün etkisini artırmadan kontrast iyileştirme yapabilmektedir [85, 87]. CLAHE yönteminin genel bir akış şeması aşağıda verilmektedir.



Şekil 2.10. CLAHE yönteminin özet akış şeması

#### 2.2.2.4. Görüntülerin Kontrastının Algısal Tabanlı İyileştirilmesi

Görüntülerin kontrastının algısal olarak geliştirilmesi [83]'te önerilen bir yöntemdir. Bu yöntemde insan gözünün kontrasta duyarlı olduğu söylenmekte ve buna dayalı bir yöntem oluşturulmaktadır. Bu duyarlılık Weber yasası ile uyumludur. Bu durumda kontrast, ortalama yerel aydınlatma artışıyla orantılı olarak artmaktadır. [83]'teki çalışmada bu bilgidan yararlanılarak yerel görüntü gradyanının tek bir parametre ile kontrol edildiği bir yöntem tasarlanmıştır.

İnsan gözünün mekânsal olarak değişen zıtlığa olan duyarlılığı literatürde iki seviyede çalışılmıştır: eşik ve eşik üstü (suprathreshold) [83]. Eşik kontrast duyarlılığı, bir modelin insan tarafından algılanması için ihtiyaç duyulan en az seviyedeki kontrast hakkında çalışır. Eşik üstü kontrast duyarlılığı, bir modelin insan tarafından algılanması için ihtiyaç duyulan en az seviyenin üzerinde algılanan kontrast hakkında çalışır [83]. Ayrıca yapılan çalışmalarda eşik üstü seviyelerdeki kontrast duyarlılığının Weber yasasına uyduğu ve tek bir parametreyle ölçülebildiği görülmektedir. Bu yüzden önerilen yöntemde eşik üstü kontrast hassasiyeti kullanılmaktadır.

Bu çerçevede önerilen kontrast iyileştirme/geliştirme, Weber yasasından geliştirilen bir algısal sınırlama ile sınırlandırılan görüntünün ortalama yerel kontrastını en üst düzeye çıkaran bir optimizasyon problemi olarak ele alınır [83]. Bu problemi çözmek için tek bir parametre ile kontrol edilen açgözlü sezgisel yinelemeli bir yöntem önerilir [83]. Kontrast algısı, görüntüdeki herhangi bir noktada yerel parlaklık gradyanı ile doğrudan ilişkilidir. [83]'teki çalışma bunlardan yola çıkarak Weber yasasına uyan eşik üstü insan kontrast duyarlılığından elde edilen tek bir parametre tarafından kontrol edilebilecek şekilde işleyerek gradyan geliştirmeye çalışır [83].

Daha yüksek parlaklık modelleri daha yüksek kontrast artışlarına ihtiyaç duyar. Görüntülerin kontrastının algısal tabanlı olarak geliştirilmesinin temelini bu oluşturmaktadır [83]. Buradan hareketle bir görüntünün yerel kontrastı, görüntünün yerel gradyanı ile orantılı olarak tanımlanır [83]. Weber yasasına göre gerilme, kontrast artışının ilk olan gradyanı ile orantılı olacak şekilde yapılmalıdır [83]. Buradan hareketle iyileştirilmiş kontrast  $C'$  olmak üzere aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$C' = \frac{\partial I'}{\partial x} \geq (1 + \lambda) \frac{\partial I}{\partial x} \quad (76)$$

Bu ifade de  $I'$  kontrastlı görüntüyü ifade eder. Bu ifade düzenlenerek tek parametrelili olacak şekilde aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir [83].

$$1 \leq \frac{\frac{\partial I'}{\partial x}}{\frac{\partial I}{\partial x}} \leq (1 + \tau) \quad (77)$$

Burada  $\tau \geq \lambda$  'dır. Alt sınır kontrastın oluşmamasını, üst sınır kontrast artışının sınırlı ve görünür olmasını sağlar [83]. Çalışmada  $(1 + \tau) \geq 2$  durumunda kontrast artışının fark edileceği belirtilir.

Yerel kontrast iyileştirme, bir optimizasyon problemi olarak tanımlanıp Eşitlik (77)'deki kısıtlamaya bağlı olarak en üst düzeye çıkarılır [83]. Bu optimizasyon problemi ilk olarak gri görüntüler için tanımlanır. Bu çerçevede optimizasyon problemi aşağıdaki gibi ortaya konulur. Eşitlik (79) en üst seviyeye çıkarılması önerilen amaç fonksiyonudur.

$$f(\Omega) = \frac{1}{4\Omega} \sum_{p \in \Omega} \sum_{q \in N_4(p)} \frac{I'(p) - I'(q)}{I(p) - I(q)} \quad (78)$$

Algısal bir kısıtlama için Eşitlik (78)'ten türetilen aşağıdaki denklem kullanılır [83].

$$1 \leq \frac{I'(p) - I'(q)}{I(p) - I(q)} \leq (1 + \tau) \quad (79)$$

Doygunluk kısıtlaması için  $I'(p)$  değeri alt ve üst eşik değeri (L ve U) arasına sınırlandırılır [83].

Burada  $I(p)$  giriş ve  $I'(p)$  çıkış görüntülerinin p. pikseldeki gri değerini,  $\Omega$  görüntüyü oluşturan piksellerin kümesini ifade eder.  $\Omega$ 'nin ana hatlarını  $|\Omega|$  ifade eder. p. pikselin dört komşusunu  $N_4(p)$  gösterir. L gri seviyede pikselin alabileceği en küçük değeri, U gri seviyede pikselin alabileceği en büyük değeri gösterir.  $\tau > 0$  olmak üzere iyileştirme miktarını kontrol eden tek parametre olarak karşımıza çıkar. Eşitlik (78) elde edilen iyileştirme miktarını ölçen bir ölçüt görevi görür [83]. Doygunluk sınırlaması gradyanın kontrolü için değil, bir pikselin sahip olmasına izin verildiği değer aralığı içindir. Bunun sayesinde renk değişimlerinin, çok karanlık veya çok aydınlık bölgelerdeki piksellerde daha da artması sağlanır.

Yukarıdaki belirtilen amaç fonksiyonunu belirtilen sınırlamalarla en üst düzeye çıkarmak için tekrarlı açgözlü bir yöntem önerilir [83]. Önerilen yöntem  $r \neq s$  olmak üzere  $r$  ve  $s$  olarak verilen gri değerli iki komşu pikselin temel gözlemine dayandırılır. Aşağıdaki şekilde ölçeklendirilir.

$$\frac{r'-s'}{r-s} = (1 + \tau) \quad (80)$$

Bu işlemler sonucunda problem oluşabilir [83]. Bunu önlemek için açgözlü tekrarlı bir yöntem tasarlandı. Bu çerçevede görüntü, XY düzleminde  $m \times n$ 'lik bir ızgaranın ızgara noktalarında örneklenen ve Z eksenini boyunca bir yükseklik alanına sahip olan bir görüntü olarak düşünülür [83]. Bu örnekler kümesini  $m \times n$  şeklindeki bir dikdörtgenel görüntü için  $\Omega$  tarafından temsil edilir.  $\Omega$  kümesinin içindeki her bir  $p$  pikseli ızgara noktası ve yükseklik  $L$  ve  $U$  arasındadır. Her bir iterasyonda  $L$  ve  $U$  arasında olmak üzere Z eksenine dik bir  $b$  düzlemi düşünülür ve yükseklik alanında tanımlanan basit bir eşik ile  $m \times n$  boyutlu bir  $R$  matrisi üretilir.

Bu işlemde sonra  $R$ 'deki dört bağlantılı ve sıfır olmayan bileşenler tanımlanır ve etiketlenir [83].  $h_i^b$  ile temsil edilen her bir bileşene hillock (tümsek) denir ve  $h_i^b$ 'deki  $i$  ifadesi bileşen numarasını,  $b$  tümseği tanımlamak için kullanılan düzlemi ifade eder [83]. Bu tümseklerin herhangi bir pikseli  $U$ 'nun ötesine geçene kadar veya onun etrafındaki gradyan önceden belirlenen  $(1 + \tau)$  'ya gelene kadar büyütülür. Ardından  $L \leq b_i \leq U$  arasındaki  $b_i$  eşik düzlemlerine ardı ardına bakar ve her bir taramada sınırlamalara dikkat ederek tümseklerin açgözlü bir şekilde ölçeklendirilmesi sağlanır. Düşük  $b$  değerleri için, tümseklerin boyutu büyüktür [83]. Bu nedenle, her bir tümseğin  $U$ 'ya yakın bir zirve şansının artmasından dolayı, tümseklerden elde edilen artış  $(1 + \tau)$  'a yakın olmayabilir.  $b$  arttıkça geniş bağlantılı bileşenler bölünür. Bu yüzden daha küçük tümsekler öncekinden daha fazla iyileşebilir.  $L$  ve  $U$  arasındaki düzlemler tarandıkça  $I$  görüntüsünün yerel tümsekleri bulunur ve bundan üretilen görüntü  $I_1$  olarak gösterilir. Ardından  $I_1$  tamamlayıcısı olarak  $U - I_1(p)$  ifadesiyle  $I_2$  elde edilir. Çıkış görüntüsü  $I' = U - I_2(p)$  ifadesinden elde edilir.

Yöntem özet olarak aşağıdaki adımlarla ifade edilebilir.

1.  $I$  görüntüsünü bir  $b$  ile eşleştirilir ve  $R$  adlı matris oluşturulur.
2.  $R$ 'de tümsek olarak adlandırılan dört bağa sahip sıfır olmayan bileşenler belirlenir.

3. Tümseklerin herhangi bir pikseli üst eşikğin ötesine itilene veya etrafındaki gradyan önceden belirlenen limite  $(1 + \tau)$  ulaşana kadar hillockları bir miktar kadar ölçeklendirin.
4.  $L \leq b_i \leq U$  arasındaki tüm  $b_i$  değerleri adım 3 ile tekrarlanarak taranır. (b arttıkça, tümsekler daha küçük bileşenlere bölünmüştür.)
5.  $I_1$  adı verilen görüntünün yerel tümsekleri oluşturmak için alt değerden üst eşik değerine süpürme yapılır.
6. Ardından  $I_1$  tamamlayıcısı olarak  $U - I_1(p)$  ifadesiyle  $I_2$  elde edilir.
7.  $I_2$  için adım 2'den adım 5'e aynı işlemler tekrarlanır.
8. Son olarak sonuç görüntüyü almak için  $I' = U - I_2(p)$  işlemi yapılır.

Bu yöntemin renkli görüntülerde uygulanması için parlaklık ile renk bilgisinin ayrılması gerekir. [83]'te önerilen yöntem ayırma yapıldıktan sonra parlaklık bilgisine uygulanır. Böylece yöntem herhangi bir bozulmaya neden olmadan sonuç üretebilir. Renk ve parlaklık bilgisini ayırabilmek için RGB renk uzayındaki değerler CIE XYZ renk uzayına dönüştürülür ve bu uzayda parlaklık Y ve renk bilgisi için xy elde edilir. Ardından da Y parlaklık kanalına [83]'te bahsedilen yöntem uygulanır. Elde edilen sonuç tekrardan RGB renk uzayına dönüştürülür.

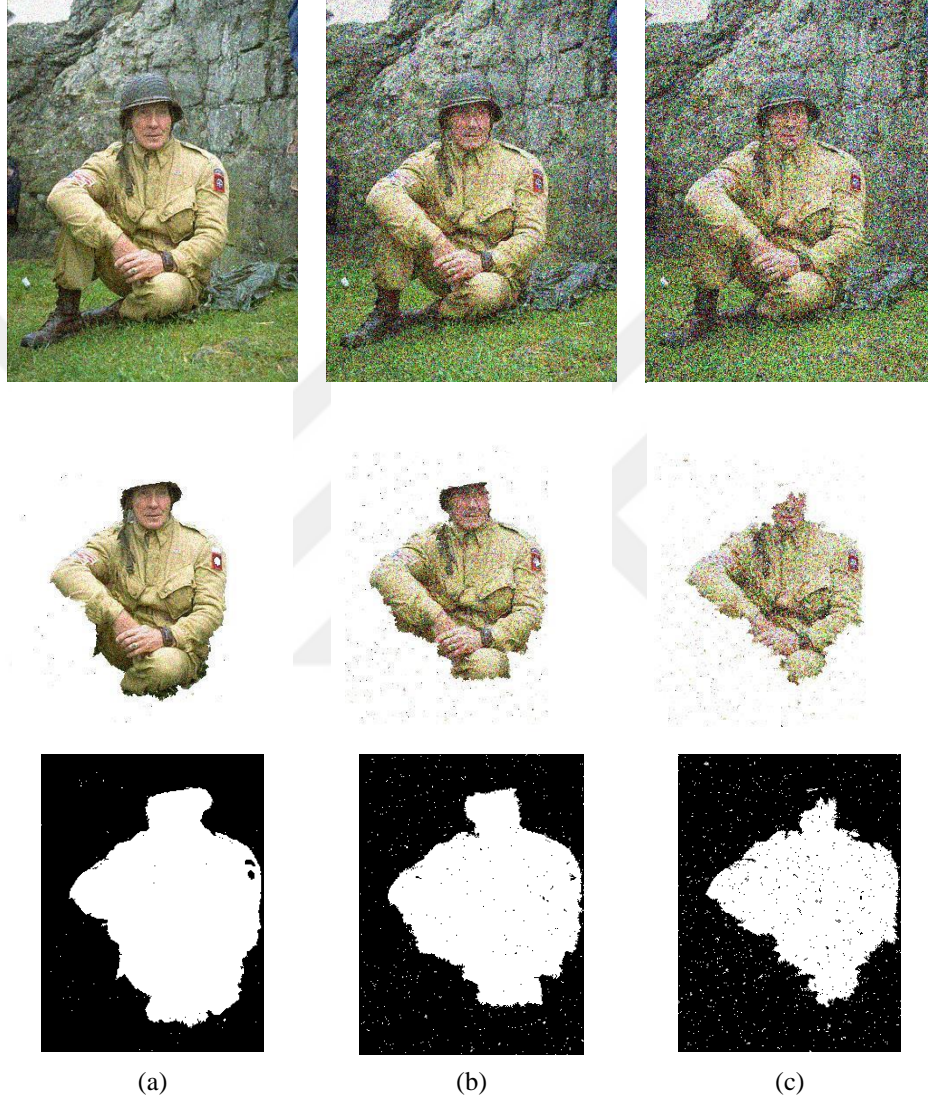
### 2.2.3. Gürültü ve Gürültünün Etkisi

Bir bölütleme yöntemi her zaman başarılı sonuçlar üretmediğinden dolayı hedeflenen uygulamaya bağlı olarak değişik özellikler ve yöntemler kullanan bölütleme yöntemleri geliştirilmiştir. Ancak tüm bu gelişmeler bölütlemenin başarısını etkileyen gürültü faktörünün üstesinden gelmekte zorlanmaktadır. Gürültü çoğunlukla görüntüde rastgele değişiklikler veya benekler oluşturmaktadır [92]. Bundan dolayı gürültünün, görüntünün kalitesini düşürdüğü söylenmektedir. Bu, piksellerin doğru değil hatalı değerler tutması demektir [93]. Bundan dolayı da bölütleme sonucunda asıl üretilmesi gerekenden farklı bir anlamsal bilgi üretilmiş olmaktadır.

Görüntüde bozulan piksel miktarı gürültünün etkisini göstermektedir. Bozulan piksel miktarı arttıkça gürültünün etkisi de artmakta bu da bölütlemenin sonucunu kötü bir şekilde etkilemektedir [92]. Şekil 2.11 ile bu durum basit bir şekilde gösterilmeye çalışılmıştır. Şekil 2.11'de 3 farklı seviyede Gauss gürültüsü görüntüye eklenmiştir. Şekil 2.11 (a)'dan (c)'ye doğru Gauss gürültüsünün etkisi arttırılmıştır. Gürültü arttırıldıkça



görüntülerdeki bozulan piksel miktarı da artmaktadır. Ayrıca Şekil 2.11'in ikinci ve üçüncü satırına bakıldığında GrabCut ile yapılan bölütleme sonucunda da (a) sütunundan (c) sütununa doğru bozulmanın arttığı görülmektedir. Yine buradan gürültünün artmasıyla bölütleme sonucunun kötü etkilendiği görülmektedir.



Şekil 2.11. Farklı seviyelerde eklenen Gauss gürültülü görüntüler ve bunların GrabCut bölütleme yöntemi sonuçları.

Gürültü, kısaca görüntüde istenmeyen bilgilerdir. Çünkü bu bilgiler, asıl görüntüdeki piksel değerlerini bozmaktadır. Bu görüntüdeki asıl bilginin kaybolması veya değişmesi demektir. Bundan dolayı çoğunlukla görüntü işleme konusunda bir uygulama yapılırken öncelikle gürültü kaldırma işlemi yapılmaktadır [93]. Gürültü kaldırma işleminde, görüntüdeki gürültü azaltılabilir veya kaldırılabilir [92]. Burada gürültünün türünün, asıl

görüntüye ne kadar etki ettiğinin bilinmesi gürültü kaldırmada kullanılan algoritmaların başarısını artırmaktadır [92, 94]. Çünkü her gürültü kendisini diğer gürültülerden ayıran özelliklere sahiptir. Çoğunlukla gürültü kaldırma algoritmaları gürültüyü kaldırırken görüntüdeki ince ayrıntıları belirsiz hale getirmektedir [92].

Gürültü, genellikle toplamsal ve çarpımsal olarak asıl görüntüye eklenmektedir. Gürültünün oluşmasına neden olan birçok faktör vardır. Bunlardan bazıları aşağıda maddeler halinde verilmiştir [64, 92-94].

1. Görüntüyü oluşturan sensör görüntüyü oluştururken o anki çevresel koşullardan etkilenebilir. Örneğin yetersiz ışıpta veya sensörü etkileyebilecek bir sıcaklıkta gürültü oluşabilir.
2. Tarayıcı ekranında bulunan toz parçacıkları, leke gibi faktörler görüntüde gürültü oluşmasına neden olabilmektedir.
3. Görüntü verisinin gönderimi veya alımı sırasında kullanılan iletim ortamı gürültü oluşmasına neden olabilmektedir. Örneğin, kablosuz ağ kullanılarak iletilen bir görüntü, yıldırım veya başka atmosferik bozuklukların bir sonucu olarak bozulabilir [64].
4. Kamera gibi görüntü oluşturan cihazlardaki mercekle ilgili ayarlanmaması gibi cihaz kaynaklı faktörler görüntüde gürültü oluşturmaktadır.
5. Görüntü verisinin tutulduğu ortamdaki bellekte oluşabilecek bir hata gürültüye sebep olabilmektedir.

### **2.2.3.1. Gürültü Modelleri**

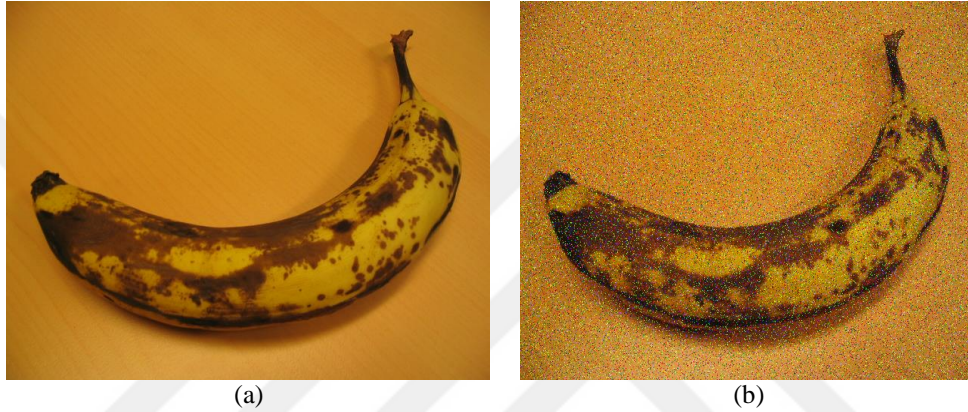
Literatürde birçok farklı özelliğe sahip gürültü türleri bulunmaktadır. Bunlar arasında en çok karşımıza çıkan gürültü türleri: tuz biber gürültüsü (salt pepper), Gauss gürültüsü (Gaussian noise) ve çarpımsal gürültü (multiplicative noise)'dür.

#### **2.2.3.1.1. Tuz Biber Gürültüsü**

Çoğunlukla veri iletimi sırasında olmak üzere kamera sensörlerindeki hatalardan, hatalı bellek alanlarından, analogdan dijital çevrim hatalarından dolayı meydana gelmektedir [93, 94]. Görüntüde keskin ve ani değişimlerin oluşmasına neden olur. Tuz

biber gürültüsü sonucu bozulan pikseller mevcut aralıkta alabilecekleri en büyük veya en küçük değerlerden birini alırlar. Örneğin RGB renk uzayında 8 bitlik bir görüntüde tuz biber gürültüsünün etkisiyle bozulmuş pikseller ya en küçük değer olan 0 ya da en büyük değer olan 255 değerini alır [93]. Bu da görüntüde siyah ve beyaz noktaların oluşması demektir [92].

Şekil 2.12 (a)'da gürültüsüz, Şekil 2.12 (b)' de tuz biber gürültüsü eklenmiş görüntü bulunmaktadır. Gürültünün görüntüde nasıl bir etki yaptığı görülmektedir.



Şekil 2.12. Gürültüsüz (a) ve tuz biber gürültüsü eklenmiş (b) örnek bir görüntü

### 2.2.3.1.2. Gauss Gürültüsü

Gauss gürültüsü genellikle zayıf aydınlatma, yüksek sıcaklık veya iletimden kaynaklanan sorunlardan dolayı oluşabilmektedir [93]. Toplamsal bir gürültü olarak ifade edilebilmektedir. Bu durumda gürültülü görüntünün piksel değeri, gürültüsüz görüntünün piksel değeri ile rastgele bir şekilde dağılmış Gauss gürültüsünün değerinin toplamı şeklinde ifade edilir [92]. Gauss gürültüsü görüntünün her yerine etki etmektedir.

Gauss gürültüsü genellikle dijital görüntülerin gri değerlerine etki etmektedir. Bu nedenle Gauss gürültüsünün olasılık yoğunluk fonksiyonu tasarlanırken gri değere göre tasarlanmıştır [94].

Aşağıda gürültüsüz bir görüntü ve o görüntünün Gauss gürültüsü eklenmiş hali verilmektedir. Şekil 2.13 (a)'da gürültüsüz, Şekil 2.13 (b)' de Gauss gürültüsü eklenmiş görüntü bulunmaktadır. Gauss gürültüsü parametreleri ortalama = 0, varyans = 0.05 olarak alınmıştır. Gürültünün görüntüde nasıl bir etki yaptığı görülmektedir.



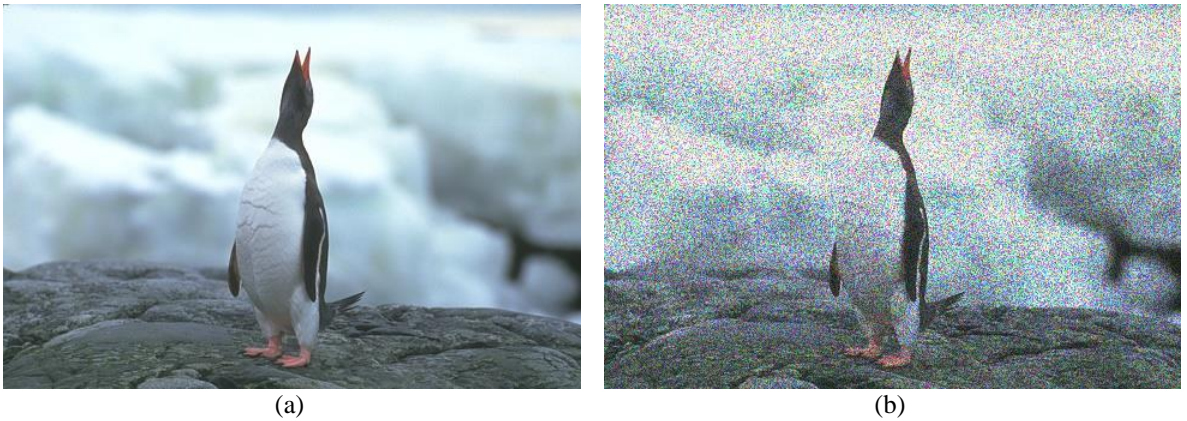


Şekil 2.13. Gürültüsüz (a) ve Gauss gürültüsü eklenmiş (b) örnek bir görüntü

### 2.2.3.1.3. Çarpımsal Gürültü

Bu başlık altında incelenecek olan benek gürültüsü (speckle noise), Gauss ve tuz biber gürültüsünden farklı olarak toplamsal değil çarpımsal bir gürültüdür [93]. Bu gürültü tipi daha çok lazer, radar gibi cihazlarda sinyaller birden fazla noktaya dağıtıldıktan sonra geri dönen sinyaller işlendiği sırada oluşur [92, 94].

Aşağıda gürültüsüz bir görüntü ve o görüntünün benek gürültüsü eklenmiş hali verilmektedir. Şekil 2.14 (a)'da gürültüsüz, Şekil 2.14 (b)' de benek gürültüsü eklenmiş görüntü bulunmaktadır.



Şekil 2.14. Gürültüsüz (a) ve Çarpımsal gürültü eklenmiş (b) örnek bir görüntü

### 2.2.3.2. Gürültü Kaldırma Yöntemleri

Görüntüden gürültünün kaldırılması için kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır. Bunlar arasında en bilindik olanları filtreleme teknikleridir. Bu tekniklerde bir maske oluşturulur ve maske görüntü üzerinde gezdirilerek işlem yapıp görüntü üzerinden gürültü kaldırılmaya çalışılır. Tuz biber gürültüsü için çoğunlukla ortanca (median) filtre, Gauss gürültüsü için ortalama (mean) filtresi tercih edilmektedir. Ancak görüntüye etki eden gürültü tipinin önceden bilinip ona göre maske uygulanması gerekir. Yani görüntüye etki eden gürültü tipi bilinmiyorsa uygulanacak filtrenin tercih edilmesi zorlaşır ve yanlış bir tercih başarısız bir sonuç ortaya çıkarır. Ayrıca bu yöntemler çoğunlukla keskin kenarları yumuşatmakta bu da görüntüde bulanıklığın oluşmasını ve detay bilgilerin kaybolmasına neden olmaktadır [92-94]. Bu yüzden literatürde çoğunlukla kullanılan temel filtrelerden ziyade kenar bilgisinin bozulmamasına biraz daha dikkat eden Perona Malik (anisotropic diffusion) gürültü kaldırma yöntemini kullanmayı tercih ettik. Bu çerçevede Perona Malik yöntemi açıklanmaktadır.

#### 2.2.3.2.1. Perona Malik Gürültü Kaldırma Yöntemi

Literatürde kullanılan filtreleme yöntemleri çoğunlukla gürültüyle birlikte görüntüdeki detay bilgilerinin kaybolmasına ve görüntüde bulanıklaşmaya yol açmaktadır. Perona Malik doğrusal olmayan yayılım (Perona Malik nonlinear diffusion) diğer adıyla yöne bağlı yayılım (anisotropic diffusion) yönteminde ise kenar bilgilerinin korunması sağlanmaya çalışılmaktadır. Perona Malik gürültü kaldırma yönteminde bölge sınırları yani kenarlar keskin kalmakta ve global bilgiyi başarıyla kullanabilen yüksek kalitede bir kenar algılayıcı elde edilmektedir [95]. Perona Malik yöntemi, yayılım işlemi kullanarak sonuç üretmeye çalışmaktadır.

Bu yaklaşımın temel fikri, Gauss süzgecini orijinal görüntü üzerinde konvolüsyon işlemiyle bir iterasyon çerçevesinde işleme sokarak türetilmiş görüntü elde etmektir.  $t$ . iterasyonda türetilmiş görüntü için  $I_t(x, y)$ ,  $t$ . iterasyondaki Gauss süzgeci için  $G_t(x, y)$ , orijinal görüntü için  $I_0(x, y)$ , katlama işlemi için  $*$  ifadeleri kullanılarak aşağıdaki şekildeki temel fikir ile ifade edilebilmektedir [95].

$$I_t(x, y) = I_0(x, y) * G_t(x, y) \quad (81)$$

Burada  $t$  iterasyon sayısı arttıkça görüntüde bulanıklaşmalar meydana gelmekte ve detay ve kenar bilgisi kaybolmaktadır.

Eşitlik (81)'deki türetilmiş görüntü ısı iletiminin (ısı yayılımının, ısı denkleminin) çözümüne eşit olduğu görülmektedir. Bu aşağıdaki gibi ifade edilebilir [95].

$$I_t = c\Delta I = c(I_{xx} + I_{yy}) \quad (82)$$

Burada  $c$  mekandan bağımsız olarak kabul edilir. Bu yüzden sabit bir değer olarak 1 değerini alır. Ancak bunun böyle kabul edilmesinin analizi kolaylaştırmak dışında temel hiçbir nedeni yoktur. Perona Malik yönteminde bu  $c$  ifadesi sabit bir değer yerine  $c_t(x, y)$  şeklinde kabul edilir. Bu çerçevede yöne bağlı yayılım denklemini aşağıdaki gibi oluşturmaktadır [95].

$$I_t = \text{div}(c_t(x, y)\nabla I) = c_t(x, y)\Delta I + \nabla c_t \cdot \nabla I \quad (83)$$

Burada  $\text{div}$  ıraksay operatörünü,  $\nabla$  gradyen operatörü,  $\Delta$  laplace operatörü,  $x$  ve  $y$  görüntüdeki mekânsal koordinatları ve  $t$  de iterasyonu ifade etmektedir.

Bu işlemlerle bulanıklaşmanın bölgeler arasında bir etkileşim olmaksızın her bölgede ayrı ayrı yani her bölgenin kendi içinde gerçekleşmesi hedeflenir. Bunun için  $c$  ifadesi kenarda yaklaşık olarak 0, homojen bölgelerde ise 1 kabul edilir. Böylece bölgeleri birbirlerinden keskin bir şekilde ayıran sınırlar oluşur. Ancak burada önceden kenar ve bölgelerin nerede olduğu bilinmemektedir. Bunun için  $c$  ifadesi uygun bir şekilde düzenlenmelidir [95]. Bu çerçevede yapılan çalışmada  $c$  ifadesi  $g(|\nabla I_t(x, y)|)$  olarak seçilir. Bu ifadenin geliştirilmesiyle aşağıdaki ifade elde edilebilir [95].

$$c_t(x, y) = g(|\nabla I_t(x, y)|) = e^{-(|\nabla I_t(x, y)|/K)^2} = 1/(1 + (|\nabla I_t(x, y)|/K)^2) \quad (84)$$

Burada  $K$  ifadesi homojen bölgeyle kenarı ayırmak için kullanılan eşik bir değerdir [95]. (84)'deki gibi  $c$  ifadesinin ayarlanması Perona Malik yönteminin temelini oluşturmaktadır. Ancak Perona Malik yönteminde  $c$  ifadesinin değeri negatif olduğu zaman yöntem gürültüyü azaltmaktan ziyade daha da belirginleştirmektedir.

### 2.3. Çalışmada Kullanılan Veri Kümeleri

GrabCut yönteminin farklı renk uzaylarındaki başarısı ve gürültünün GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerindeki etkisi 151 adet renkli görüntüden oluşan VGG (Visual Geometry Group) görüntü veri seti [96] üzerinde incelenmiştir. Bu veri kümesinin tercih edilmesinin sebebi, etkileşimli görüntü bölütlemesi testleri için oluşturulması ve uluslararası çalışmalarda sıklıkla kullanılıyor olmasıdır. Ayrıca 151 tane renkli görüntünün tamamının siyah beyaz kesin referans (ground truth) maskesinin veri setiyle beraber verilmesi sonuçların objektif olması ve değerlendirmenin daha güvenilir bir şekilde yapılmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte veri setindeki görüntü sayısının az olmaması sonuçların karşılaştırılması ve değerlendirilmesinde tutarlılık ve güvenilirlik açısından önemli olmaktadır. Literatürde bu konuda yapılan çalışmalarda kullanılan veri setlerindeki görüntü sayıları genellikle daha azdır. Örneğin, [37, 53, 97, 98, 99] çalışmalarında kullanılan görüntü sayısına bakılabilir. Genellikle görüntü sayısı 20-30'dan azdır.

Kontrastın GrabCut yöntemi üzerindeki etkisini inceleyebilmek için [96]'dakinden farklı bir veri kümesi kullanmak gerekmektedir. Çünkü [96]'daki veri kümesindeki görüntülerin kontrastında herhangi bir kayda değer bir zayıflık yoktur. Bu yüzden [99]'da bulunan veri setinden düşük kontrastlı olan görüntüler de seçilmiştir. Ayrıca seçilen görüntülerde; karmaşık şekillerin olmasına, [100]'de bulunan hemen hemen her kategoriden görüntü seçimine, görüntüdeki arka plan yapısının zor olmasına dikkat edilmiştir. CLAHE ve GrabCut yöntemiyle ilgili yapılan çalışmada 40 görüntü üzerinden değerlendirme yapılmaktadır. Sonra kullanılan diğer kontrast geliştirme yöntemi ve GrabCut yöntemiyle ilgili işlemler için bu görüntü sayısı 73'e çıkarılmıştır. Her iki durumda da literatürde yapılan çalışmaların kullandığı ortalama görüntü sayısının üzerinde bir görüntü sayısı ile incelemeler yapılır.

### 2.4. Çalışmada Kullanılan Ölçütler

Bölütleme yöntemlerinin sonuçların değerlendirilmesinde çoğunlukla sekiz tane ölçüt kullanılır. Bunlar; Dice, Jaccard rfp, rfn, doğruluk (accuracy), duyarlılık (sensitivity), özgüllük (specificity), hassasiyettir (precision).

rfp ölçütü bazı kaynaklarda fpr veya fallout adıyla kullanılabilir [101]. İngilizce açılımı the false positive rate olan rfp'yi Türkçe olarak yanlış pozitiflerin oranı olarak belirtebiliriz. Özgüllük değeri birden çıkarılarak rfp değeri bulunabilir [101].

rfn ölçütü bazı kaynaklarda fnr adıyla da kullanılmaktadır [101]. İngilizce açılımı the false negative rate olan rfn'yi Türkçe olarak yanlış negatiflerin oranı olarak belirtebiliriz. Duyarlılık değeri birden çıkarılarak rfn değeri bulunabilir [101].

Duyarlılık ölçütü bazı kaynaklarda recall veya tpr adıyla da kullanılmaktadır [101]. İngilizce açılımı the true positive rate olan tpr'ı Türkçe olarak doğru pozitiflerin oranı olarak belirtebiliriz.

Özgüllük ölçütü bazı kaynaklarda tnr adıyla da kullanılmaktadır [101]. İngilizce açılımı the true negative rate olan tnr'ı Türkçe olarak doğru pozitiflerin oranı olarak belirtebiliriz.

Bu ölçütlerin kullanılması için elimizde iki tane veri kümesi olmalıdır. İlk veri kümesi, görüntünün siyah beyaz kesin referans (ground truth) maskesidir. Bu veri kümesi, doğru bölütleme sonucunu tutan veri kümesidir. İkinci veri kümesi de bölütleme işlemi sonucu elde edilen bölütleme veri kümesidir. Bu iki veri kümesini yukarıda belirtilen sekiz ölçüt ile kullanarak, yaptığımız bölütleme işleminin ne kadar başarılı olduğuyla ilgili bilgi elde edebiliriz.

Hata Matrisi (Confusion Matrix) olarak adlandırılan doğru pozitif (true positives-TP), yanlış pozitif (false positives- FP), doğru negatif (true negatives-TN) ve yanlış negatif (false negatives-FN) adlı bileşenlerden oluşan bir matrisi kullanarak bu ölçütler formüle edilmektedir [101]. Bir bölütleme işlemi üzerinden bu dört bileşen açıklanabilir. Bölütleme işlemi sonucu elde edilen sonuç ile asıl olması gereken sonuç üst üste örtüştürülür. Her ikisinin ön plan olarak gösterdiği yer doğru pozitif (TP) bileşenini oluşturmaktadır. Her ikisinin arka plan olarak gösterdiği yer doğru negatif (TN) bileşeni oluşturmaktadır. Bölütleme sonucunun ön plan olarak gösterdiği yer aslında arka plan verisi ise bu yanlış pozitif (FP) bileşeni oluşturmaktadır. Bölütleme sonucunun arka plan olarak gösterdiği yer aslında ön plan verisi ise bu yanlış negatif (FN) bileşeni oluşturmaktadır.

Bu çerçevede bu ölçütler aşağıdaki gibi formüle edilmektedir [101].

$$Dice = \frac{2TP}{2TP+FP+FN} \quad (85)$$



$$Jaccard = \frac{TP}{TP+FP+FN} \quad (86)$$

$$rfp = \frac{FP}{FP+TN} \quad (87)$$

$$rfn = \frac{FN}{FP+TN} \quad (88)$$

$$Doğruluk = \frac{(TP+TN)}{TP+FP+FN+TN} \quad (89)$$

$$Duyarluluk = \frac{TP}{TP+FN} \quad (90)$$

$$Özgüllük = \frac{TN}{TN+FP} \quad (91)$$

$$Hassasiyet = \frac{TP}{TP+FP} \quad (92)$$

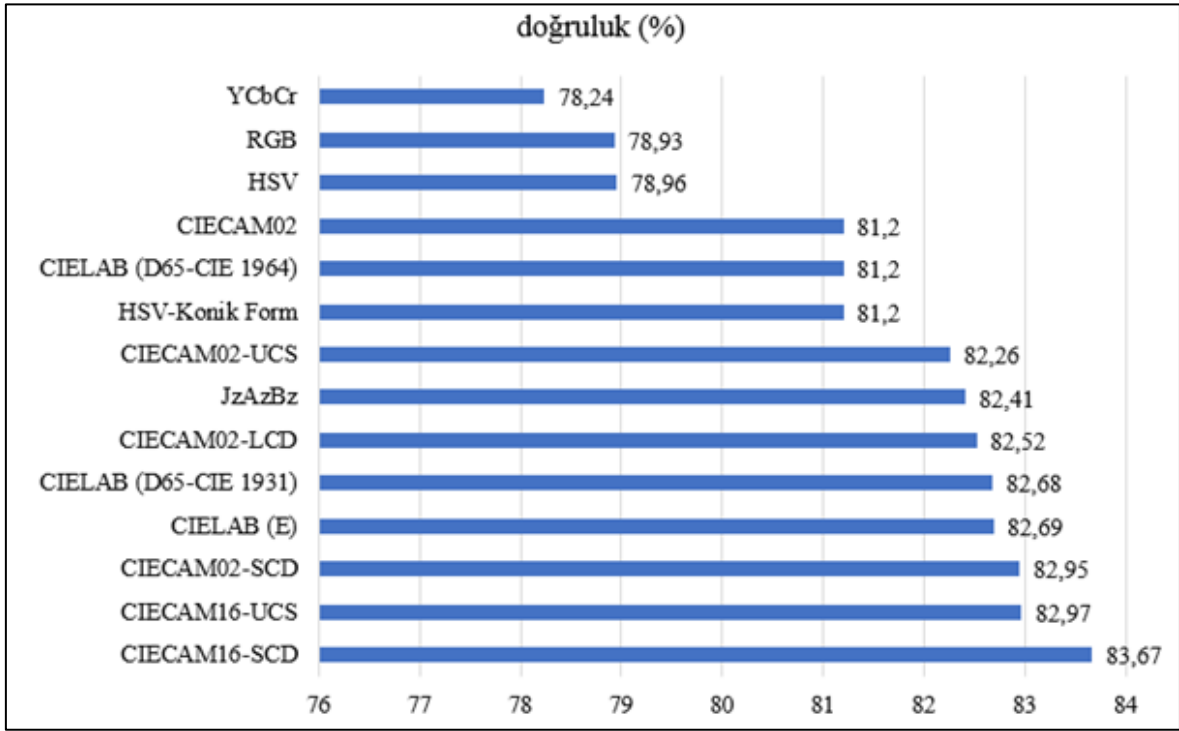
## 2.5. Sayısal ve Görsel Sonuçlar

Bu bölümde yapılan işlemlerin sayısal ve görsel sonuçları verilmektedir. Sonuçlara bağlı olarak yapılan değişikliklerin nasıl bir etki yaptığı görülmektedir. Çalışmamızda GrabCut yöntemi için [105]'da bulunan kodlardan yararlandık.

### 2.5.1. GrabCut Yöntemine Giriş Renk Uzaylarının Etkisinin İncelenmesi

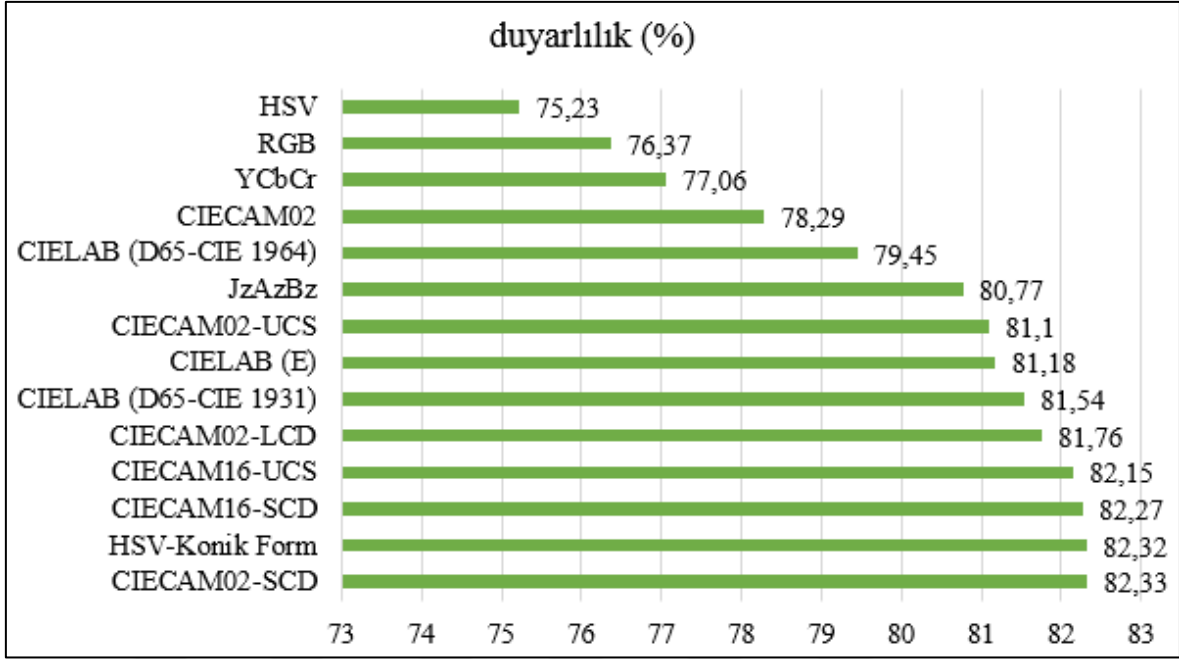
Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerinde yapılan iyileştirmeler içinde giriş renk uzayıyla ilgili bir iyileştirme yapılmadığı görülmektedir. Bu kısımda giriş renk uzaylarının GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Orijinal GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi RGB renk uzayı üzerinde işlemlerini yapmaktadır. Çalışmamızda, başta son yıllarda önerilen ve kullanılan renk uzaylarının yanında sıklıkla kullanılan renk uzayları giriş renk uzayı olarak seçilmiştir. Seçilen renk uzaylarının GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ve sonuç olarak özellikle son yıllarda önerilen renk uzaylarının RGB renk uzayına göre GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminde başarıyı daha da çok artırdığı hem görsel olarak hem de sayısal sonuçlarla görülmektedir. Toplamda 14 tane renk uzayı GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi için giriş renk uzayı olarak kullanılmıştır. Seçilen

veri kümesindeki toplam 151 tane görüntü üzerinde bu durum incelenmiştir. Sonuçlar aşağıdaki şekillerde grafikler ile gösterilmiş ve incelenmesi yapılmıştır. Yorumlamanın ve incelemenin rahat bir şekilde yapılması için şekillerdeki sayısal sonuçlar veri kümesindeki toplam 151 görüntü üzerindeki sayısal sonuçların ortalaması olarak belirlenmiştir.



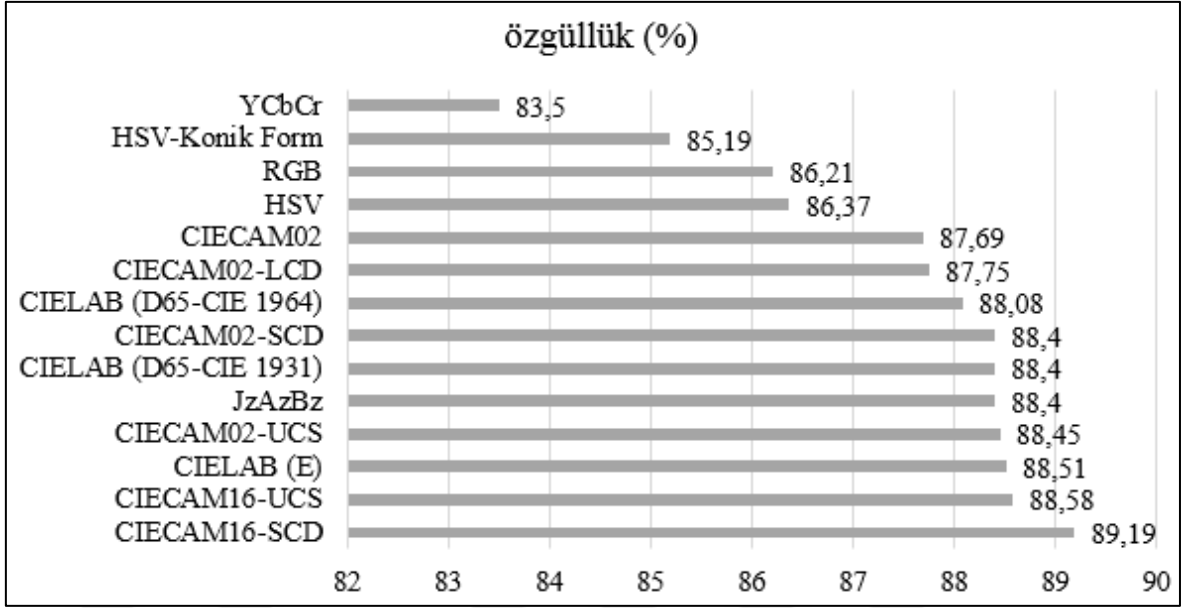
Şekil 2.15. Giriş renk uzaylarının GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerindeki etkisinin doğruluk ölçütüne göre incelenmesi

Şekil 2.17’de gösterilen doğruluk ölçütü dikkate alındığında, RGB renk uzayının YCbCr renk uzayı haricinde çalışmada kullanılan diğer renk uzaylarından daha kötü bir doğruluk ürettiği görülmektedir. Özellikle standart olarak birçok yerde karşımıza çıkan YCbCr ve HSV renk uzaylarının RGB renk uzayına yakın bir etki oluşturduğu görülmektedir. Ancak HSV renk uzayının HSV konik formu ve CIE tarafından önerilen renk uzaylarının GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerinde RGB renk uzayına göre doğruluk başarısını ortalama %3 civarında artırdığı görülmektedir. Özellikle CIECAM16-SCD renk uzayının RGB renk uzayına göre doğruluk kriterinde ortalama %4 civarında başarıyı artırdığı görülmektedir.



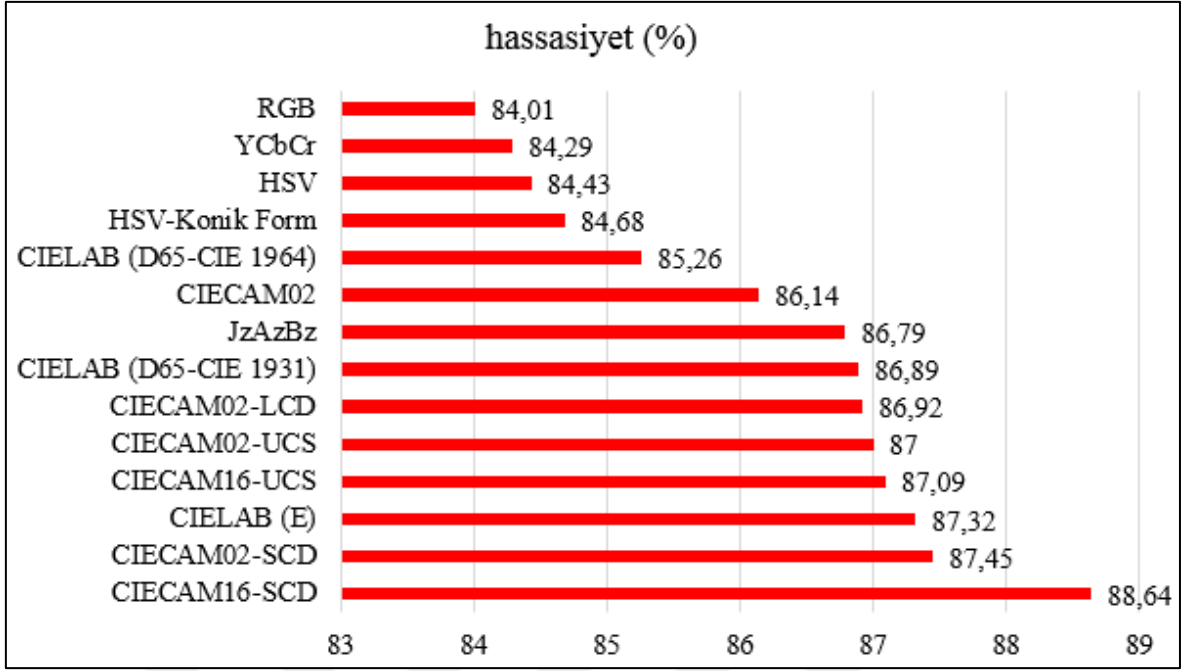
Şekil 2.16. Giriş renk uzaylarının GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerindeki etkisinin duyarlılık ölçütüne göre incelenmesi

Şekil 2.16’da gösterilen duyarlılık ölçütü, farklı renk uzaylarında GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin ürettiği doğru ön plan bilgisinin asıl ön plan bilgisine oranını vermektedir. Şekil 2.16 incelendiğinde CIECAM02-SCD renk uzayında bulunan ön plan bilgisinin doğru olma oranının daha fazla olduğu görülmektedir. Diğer ölçütlerde en iyi sonucu veren CIECAM16-SCD’de en iyiye benzer bir başarı yakalamıştır. RGB renk uzayındaki ön plan bilgisini bulmadaki başarının HSV renk uzayındakinden daha iyi YCbCr renk uzayındakinden daha kötü olduğu anlaşılmaktadır. Bu ölçütte HSV – konik formun başarısı da göze çarpmaktadır.



Şekil 2.17. Giriş renk uzaylarının GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerindeki etkisinin özgüllük ölçütüne göre incelenmesi

Şekil 2.17’de gösterilen özgüllük ölçütü, farklı renk uzaylarında GrabCut yönteminin ürettiği doğru arka plan bilgisinin asıl arka plan bilgisine oranını vermektedir. Şekil 2.17’de verilen oranlar incelendiğinde CIECAM16-SCD renk uzayının RGB renk uzayı dâhil diğer renk uzaylarından daha başarılı bir şekilde arka plan bilgisi ürettiği görülmektedir. CIECAM16-SCD renk uzayının RGB renk uzayına göre özgüllük ölçütüne göre sonucu ortalama %3 civarında artırdığı görülmektedir. Duyarlılık ölçütündeki HSV-konik form başarısının burada ters yönde zayıflık olarak karşımıza çıktığı görülmektedir. Bunun muhtemel nedeni HSV – konik formun orijinal nesne sınırlarından daha fazla bir alanda nesne belirlemesidir.



Şekil 2.18. Giriş renk uzaylarının GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerindeki etkisinin hassasiyet ölçütüne göre incelenmesi

Hassasiyet ölçütüyle ilgili sonuçları gösteren Şekil 2.18'dir. Bu ölçüt, GrabCut yönteminin doğru olarak belirlediği ön plan bilgisinin belirlediği bütün ön plan bilgisine oranını vermektedir. Şekil 2.18 incelendiğinde RGB renk uzayındaki sonuçların diğer uzaylarda bulunanlara göre kötü olduğu görülmektedir. Bu ölçütte de CIECAM16-SCD renk uzayında gerçekleşen GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin diğer renk uzaylarından daha başarılı sonuç ürettiği görülmektedir. Özellikle GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin kullandığı asıl renk uzayı olan RGB renk uzayına göre hassasiyet ölçütüne göre ortalama %4 daha başarılı olduğu görülmektedir.

Tablo 2.1. Giriş renk uzaylarının GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerindeki etkisinin Dice, Jaccard, doğruluk, duyarlılık, özgüllük ve hassasiyet ölçütlerine göre sonuçları

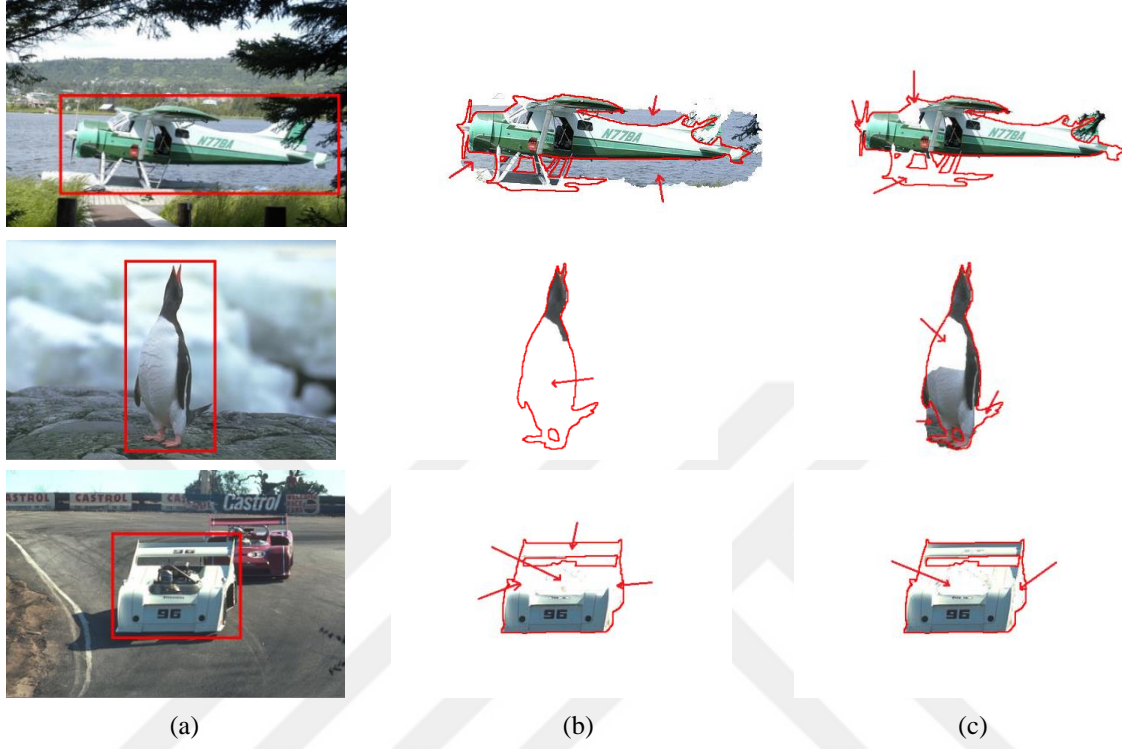
Giriş Renk Uzayları	Dice (%)	Jaccard (%)	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	Hassasiyet (%)
YCbCr	77,95	66,58	78,24	77,06	83,5	84,29
RGB	77,5	66,51	78,93	76,37	86,21	84,01
JzAzBz	82,54	72,05	82,41	80,77	88,4	86,79
HSV-Konik Form	82,17	71,1	81,2	82,32	85,19	84,68
HSV	77,69	66,01	78,96	75,23	86,37	84,43
CIELAB (E)	82,81	72,4	82,69	81,18	88,51	87,32
CIELAB (D65-CIE1964)	80,62	70,06	81,2	79,45	88,08	85,26
CIELAB (D65-CIE1931)	83,1	72,55	82,68	81,54	88,4	86,89
CIECAM16-UCS	83,54	73,17	82,97	82,15	88,58	87,09
CIECAM16-SCD	<b>84,09</b>	<b>73,94</b>	<b>83,67</b>	82,27	<b>89,19</b>	<b>88,64</b>
CIECAM02-UCS	82,51	72,12	82,26	81,1	88,45	87
CIECAM02-SCD	83,5	73,26	82,95	<b>82,33</b>	88,4	87,45
CIECAM02-LCD	82,8	72,52	82,52	81,76	87,75	86,91
CIECAM02	81,03	69,52	81,2	78,29	87,69	86,14

Tablo 2.1 incelendiğinde kullanılan tüm renk uzayları ve bu uzayların belirlenen ölçütlerdeki sayısal sonuçları gösterilmektedir. Tablo 2.1’de kalın olarak gösterilen sayısal sonuçlar o ölçütteki en büyük sayısal sonuçları göstermektedir.

Tablo 2.1’deki ölçütlerin çoğunluğu Şekil 2.15, 2.16, 2.17 ve 2.18’de teker teker incelenmektedir. Tablo 2.1’deki hepsi bir arada incelendiğinde CIE tabanlı renk uzaylarının RGB renk uzayına oranla GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemindeki başarıyı daha çok artırdığı görülmektedir. GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminde YCbCr ve HSV renk uzaylarının RGB renk uzayına yakın sonuçlar ürettirdiği görülmektedir. CIE tabanlı renk uzayları incelendiğinde CIECAM16 renk uzayının bir türevi olan CIECAM16-SCD renk uzayının GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminde başarıyı en çok artıran renk uzayı olduğu görülmektedir.

Burada orijinal GrabCut yöntemi RGB renk uzayını giriş renk uzayı olarak kabul eder. Bu yüzden görsel karşılaştırmalarda RGB renk uzayında çalışan GrabCut yöntemi kullanılmaktadır. Kırmızı oklar yöntemin yanlış bulduğu veya bulamadığı yerleri göstermektedir. Şekil 2.19’da YCbCr renk uzayını giriş kabul eden GrabCut yönteminin

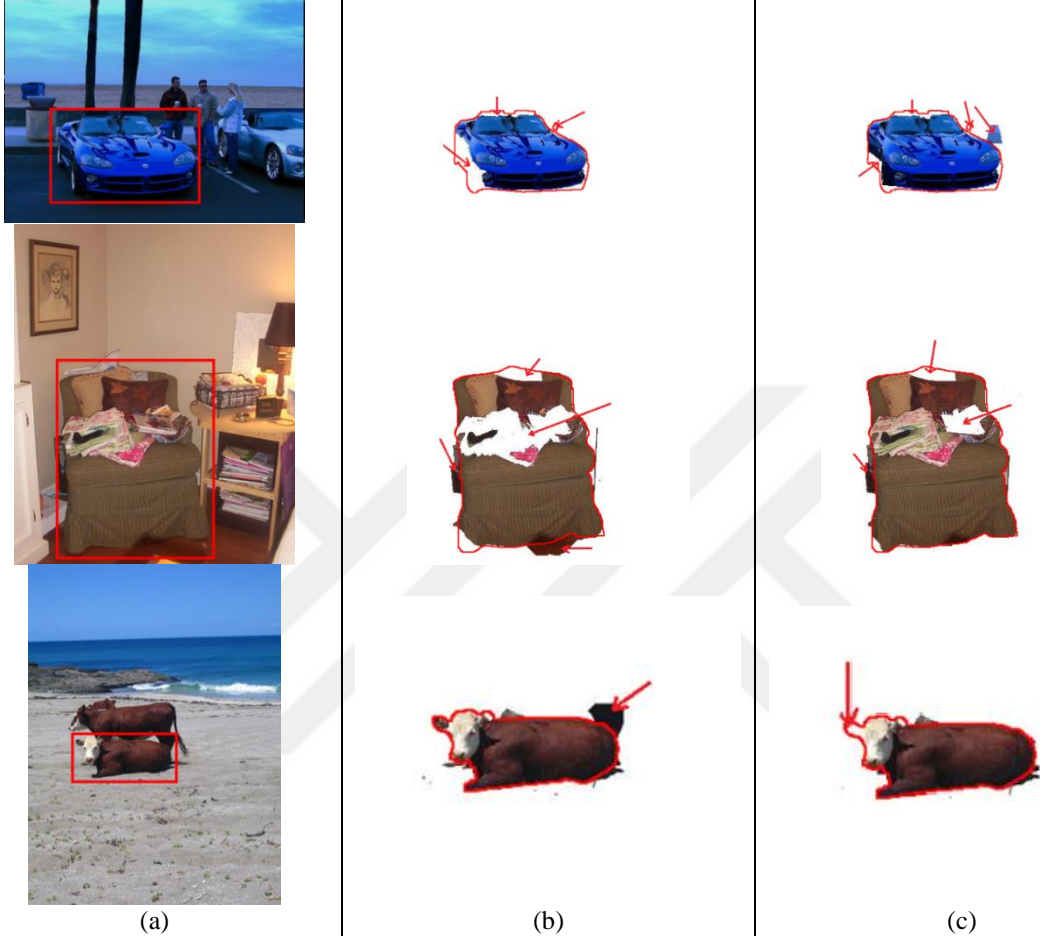
sonucuyla RGB renk uzayını giriş kabul eden GrabCut yönteminin sonucu görsel olarak görüntüler üzerinden karşılaştırılmaktadır.



Şekil 2.19. Örnek görüntüler (a) üzerinde RGB renk uzayında uygulanan GrabCut yöntemi (b) ile YCbCr renk uzayında uygulanan GrabCut yönteminin (c) görsel karşılaştırılması

Şekil 2.19 incelendiğinde renk uzayının değiştirilmesinin faydalı olduğu görülmektedir. Uçak görüntüsü incelendiğinde YCbCr renk uzayında GrabCut yönteminin RGB renk uzayındaki sonuca göre ön planı bulmada zorlandığı görülmektedir. Ancak arka planının doğru bulunma oranı RGB renk uzayındakine göre büyük miktarda artmıştır. Penguen görüntüsünde RGB renk uzayında yöntem arka planı doğru bulmaktadır. Ancak ön plana ait bilgilerin çoğunu bulamamaktadır. Aynı görüntünün YCbCr renk uzayındaki sonucuna bakıldığında, az miktarda yanlış arka plan bilgisinin bulunduğu görülmektedir. Ancak YCbCr renk uzayındaki sonuç, RGB renk uzayındakine göre ön plana ait daha çok doğru bilgi bulundurmaktadır. Araba görüntüsü incelendiğinde her iki uzayda da arka plana ait doğru bilgiler bulunmaktadır. Ancak YCbCr renk uzayındaki sonuç RGB renk uzayındakine göre daha çok doğru ön plan bilgisi içermektedir.

Şekil 2.20’de ise JzAzBz renk uzayındaki GrabCut sonuçları ile RGB renk uzayındaki GrabCut sonuçları görsel olarak verilmektedir.



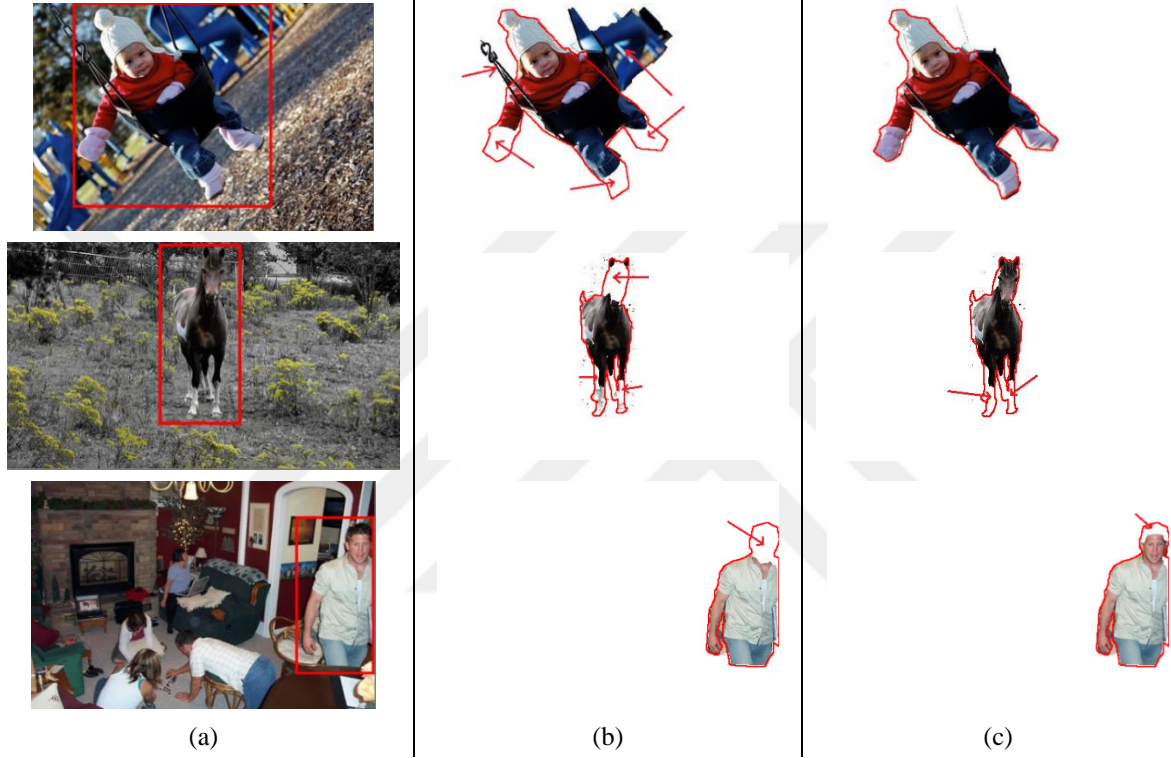
Şekil 2.20. Örnek görüntüler (a) üzerinde RGB renk uzayında uygulanan GrabCut yöntemi (b) ile JzAzBz renk uzayında uygulanan GrabCut yönteminin (c) görsel karşılaştırılması

Şekil 2.20’de RGB renk uzayındaki sonuçlar ile JzAzBz renk uzayındaki sonuçlar görsel olarak kıyaslanmaktadır. Araba görüntüsünde JzAzBz renk uzayı daha çok doğru ön plan bilgisini bulduğu görülmektedir. Ancak arka plan bilgisini RGB renk uzayındaki sonuca göre daha az doğru bulduğu anlaşılmaktadır. Ancak RGB renk uzayındakine göre bulduğu doğru bilgiler yanlış bilgiye göre daha çoktur. Koltuk görüntüsüne bakıldığında JzAzBz renk uzayındaki sonucun ön plan bilgisini daha çok doğru bulduğu görülmektedir. Ayrıca arka plan bilgisinin daha da çok doğru bulduğu görülmektedir. İnek görüntüsünde ise sonuçlar birbirine yakın gözükmektedir. RGB renk uzayında bulunan yanlış arka plan



bilgisi JzAzBz renk uzayındaki sonuçta doğru bulunduğu görülmektedir. Ancak RGB renk uzayındaki sonuçta inek görüntüsündeki ineğin kulak kısmını bulabilmesine rağmen JzAzBz renk uzayındaki sonuç bu kısmı bulamamıştır.

Şekil 2.21’de ise HSV konik form renk uzayındaki GrabCut sonuçları ile RGB renk uzayındaki GrabCut sonuçları görsel olarak verilmektedir.

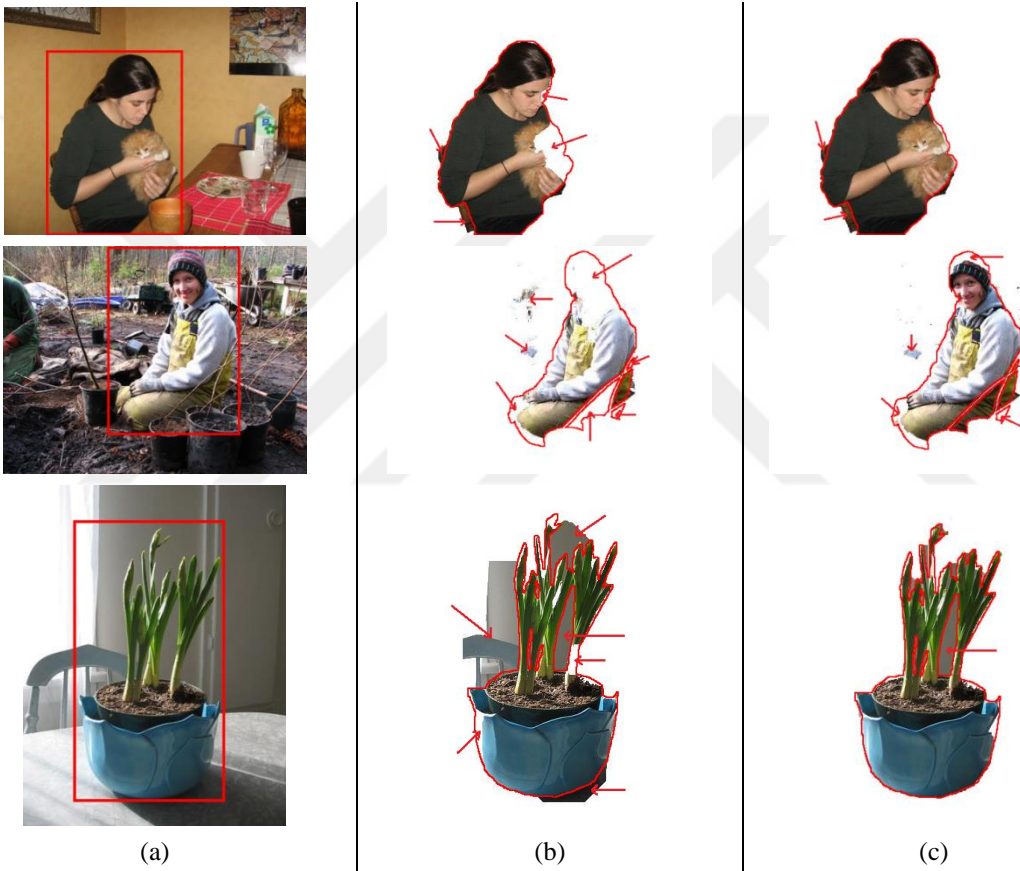


Şekil 2.21. Örnek görüntüler (a) üzerinde RGB renk uzayında uygulanan GrabCut yöntemi (b) ile HSV konik form renk uzayında uygulanan GrabCut yönteminin (c) görsel karşılaştırılması

Şekil 2.21’de HSV konik form renk uzayındaki görsel sonuç ile RGB renk uzayındaki görsel sonuç karşılaştırılmaktadır. Bebek görüntüsüne bakıldığında HSV konik form renk uzayının büyük bir oranda başarı sağladığı görülmektedir. Bebek görüntüsünde RGB renk uzayındaki sonucun bulamadığı el ve ayak kısımların diğerinde bulunduğu görülmektedir. Bebek görüntüsünde bulunan yanlış arka plan bölgesinin HSV konik formdaki sonuçta doğru bulunduğu göze çarpmaktadır. At görüntüsünde ise RGB renk uzayındaki sonuçta atın baş kısmı büyük oranda bulunamadığı ancak diğer görselde neredeyse tamamen bulunduğu görülmektedir. Ancak bacak kısımlarında HSV konik formdaki sonucun daha az başarılı olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra her iki uzayın arka planının büyük

kısmını doğru bulduğu söylenebilir. İnsan görüntüsünde ise her iki sonuç birbirine yakındır. Sadece baş bölgesinin büyük bir kısmını doğru bulabilen HSV konik formdaki sonuç olduğu söylenebilir.

Şekil 2.22’de ise CIELAB (D65-1931) renk uzayındaki GrabCut sonuçları ile RGB renk uzayındaki GrabCut sonuçları görsel olarak verilmektedir. Çalışmalarda CIELAB renk uzayında çoğunlukla D65-1931(2<sup>0</sup>) standartı kullanıldığından görsel olarak bu uzaydan elde edilen görüntü sonuçları kullanılmaktadır.

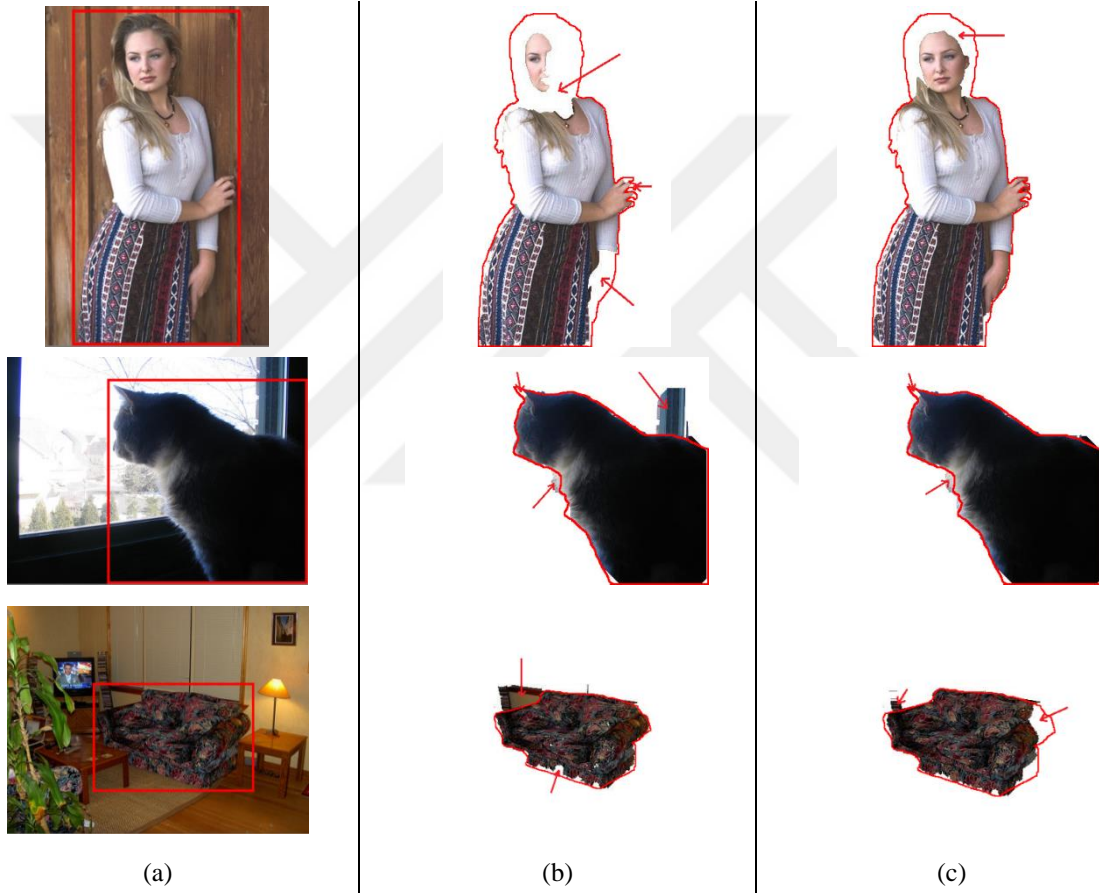


Şekil 2.22. Örnek görüntüler (a) üzerinde RGB renk uzayında uygulanan GrabCut yöntemi (b) ile CIELAB (D65-1931) renk uzayında uygulanan GrabCut yönteminin (c) görsel karşılaştırılması

Şekil 2.22 incelendiğinde CIELAB renk uzayındaki sonucun daha başarılı olduğu görülmektedir. İlk görüntüye bakıldığında her iki uzayda da ön ve arka planın çoğunun doğru bulunduğu görülmektedir. Ancak CIELAB renk uzayındaki sonucun kediye tamamen bulabilmesi bölütlemenin büyük oranda doğru yapıldığını gösterebilmektedir. İkinci görüntüde, RGB renk uzayındaki sonuçta insan yüzü bulunamamakla beraber arka

planda da yanlış bilgiler bulunmuştur. Ancak CIELAB renk uzayındaki sonuç hem insan yüzünün olduğu kısmı hemde arka planda RGB renk uzayının yanlış bulduğu bazı kısımları doğru bulmuştur. Üçüncü görüntü incelendiğinde arka plana ait yanlış bulunan yerlerin CIELAB renk uzayındaki sonuçta doğru bulduğu hatta RGB renk uzayında bulunamayan bazı ön plan bölgelerinin de doğru bulunduğu görülmektedir.

Şekil 2.23'te ise CIECAM16-SCD renk uzayındaki GrabCut sonuçları ile RGB renk uzayındaki GrabCut sonuçları görsel olarak verilmektedir.

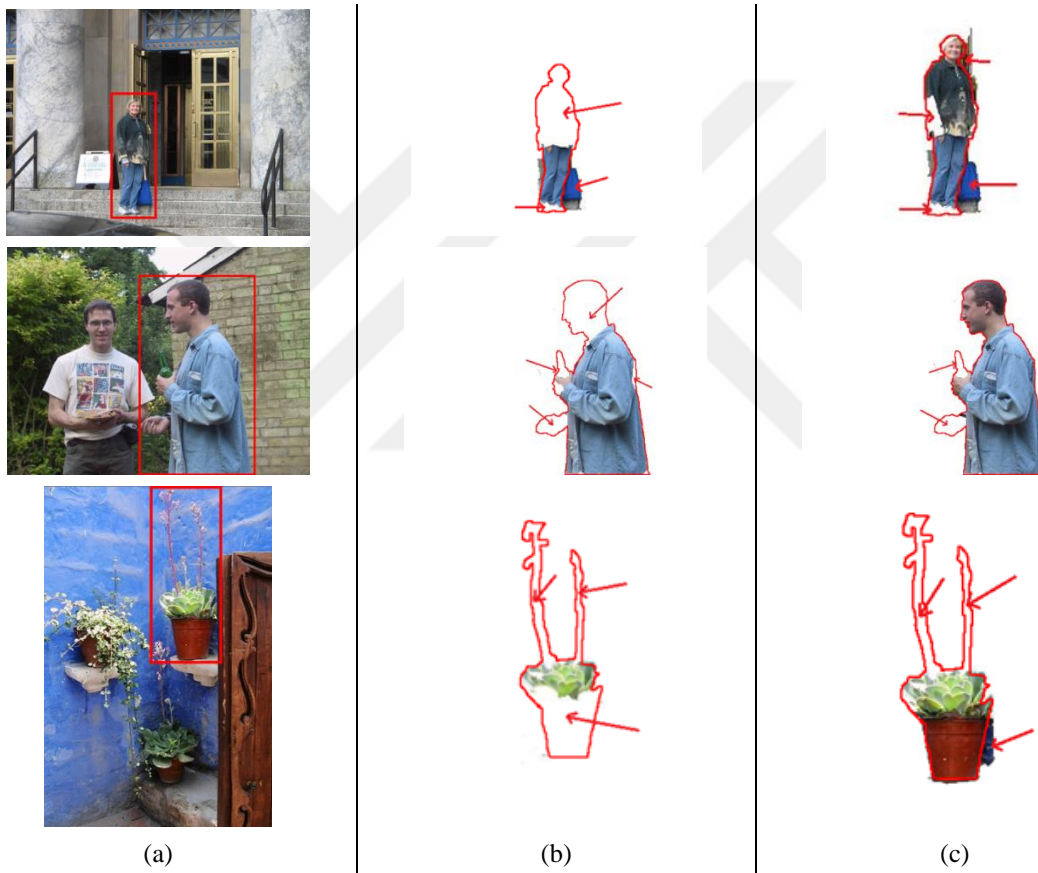


Şekil 2.23. Örnek görüntüler (a) üzerinde RGB renk uzayında uygulanan GrabCut yöntemi (b) ile CIECAM16-SCD renk uzayında uygulanan GrabCut yönteminin (c) görsel karşılaştırılması

Şekil 2.23'te CIECAM16-SCD renk uzayındaki sonucun RGB renk uzayındaki sonuçla görsel karşılaştırılması verilmektedir. Bu görseller incelendiğinde CIECAM16-SCD renk uzayındaki sonucun daha başarılı olduğu görülmektedir. İnsan görüntüsünde, CIECAM16-SCD renk uzayındaki sonuç RGB renk uzayında bulunamayan boyun, saç ve yüzün büyük bir kısmını ve el bölgesini bulabilmektedir. Her iki uzayda da arka planın

çoğu doğru bulunmaktadır. Kedi görüntüsünde ise her iki sonuç aynı şekilde ön planı bulabilmiştir. Ancak CIECAM16-SCD renk uzayındaki sonuç RGB renk uzayında yanlış bulunan arka plan bilgisini doğru bulmaktadır. Koltuk görüntüsünde ise RGB renk uzayında bulunan yanlış arka planın çoğunu ve bulunamayan ön plan bilgisini doğru bulabilmektedir. Ancak RGB renk uzayında bulunan ön plan bilgisinin bir kısmını bulamamaktadır.

Şekil 2.24'te ise CIECAM02-SCD renk uzayındaki GrabCut sonuçları ile RGB renk uzayındaki GrabCut sonuçları görsel olarak verilmektedir.



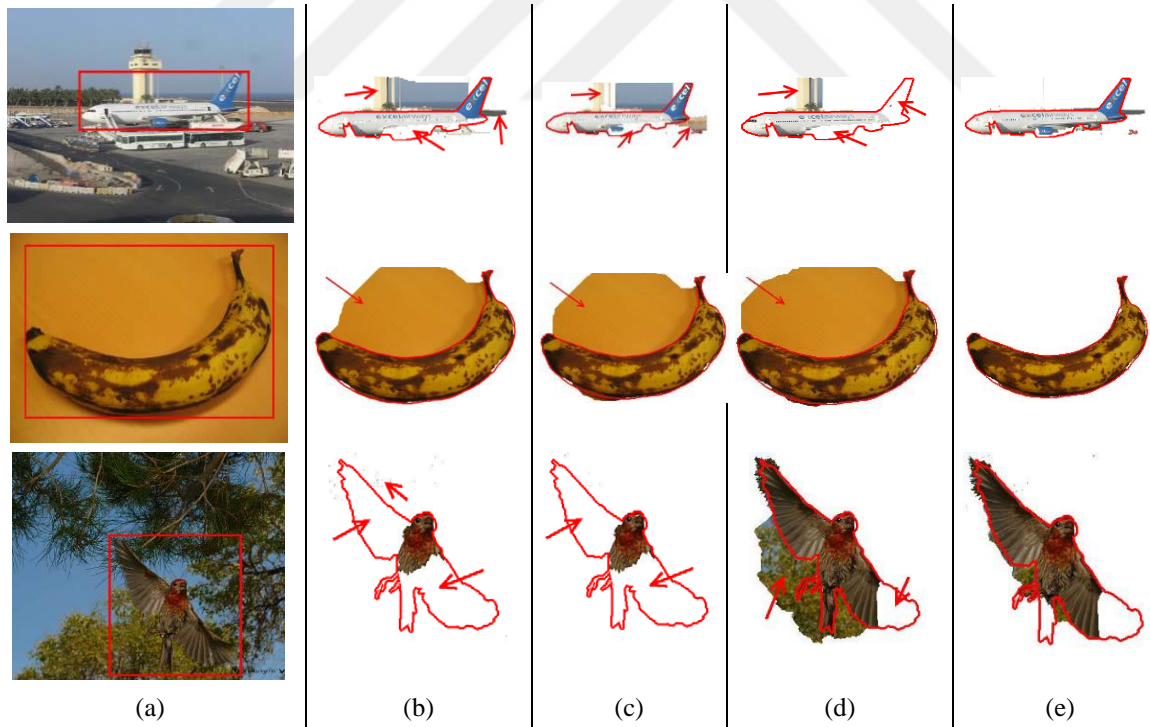
Şekil 2.24. Örnek görüntüler (a) üzerinde RGB renk uzayında uygulanan GrabCut yöntemi (b) ile CIECAM02-SCD renk uzayında uygulanan GrabCut yönteminin (c) görsel karşılaştırılması

Şekil 2.24'teki ilk görüntüye bakıldığında RGB renk uzayında bulunamayan ön planın çoğunun doğru bulunduğu görülmektedir. Arka planda bazı yerler yanlış bulunmaktadır. Ancak CIECAM02-SCD renk uzayındaki sonuç, RGB renk uzayındaki göre doğru bulunduğu kısımlar daha fazladır. İkinci görüntüde ise baş bölgesi dışında



CIECAM02-SCD renk uzayındaki sonuç hemen hemen RGB renk uzayındakiyle aynıdır. RGB renk uzayında bulunamayan baş kısmını CIECAM02-SCD renk uzayındaki sonuç bulabilmeyi sağlamıştır. Üçüncü görüntüde ise RGB renk uzayındaki sonuç hemen hemen çoğu kısmı bulamamıştır. Ancak CIECAM02-SCD renk uzayındaki sonuç ön plana ait olan çiçek görüntüsündeki saksının çoğu kısmını bulabilmektedir. Buna karşılık arka planın az bir kısmını yanlış bulabilmektedir.

Sayısal sonuçlar ile görsel sonuçlar incelendiğinde görüntülerin çoğunda RGB renk uzayı dışındaki uzaylarda GrabCut yönteminin başarısının arttığı görülmektedir. Bazı görüntülerde RGB renk uzayının ufak farklarla diğer uzaylardan daha iyi olduğu görülebilir. Ancak veri kümesindeki görüntülerin tamamı incelendiğinde sayısal ve görsel olarak RGB renk uzayı dışındaki uzayların başarı sağladığı görülmektedir. Bu uzaylar arasında CIE tabanlı renk uzaylarından CIECAM16-SCD renk uzayının diğerlerine göre veri kümesinin tamamı üzerinde daha başarılı olduğu görülmektedir. Şekil 2.25'te bazı renk uzaylarının görsel karşılaştırılması verilmektedir.



Şekil 2.25. Farklı giriş renk uzaylarının kullanımının GrabCut bölütleme sonuçlarına etkisi. a) Orijinal görüntü (başlangıç dörtgeni ile), b) RGB c) YCbCr, d) HSV-konik form ve e) CIECAM16-SCD renk uzaylarından elde edilen sonuçlar

Şekil 2.25'teki üç görüntü birlikte incelendiğinde RGB renk uzayı dışındaki renk uzaylarındaki sonuçların ya RGB renk uzayındaki sonuçlarla denk olduğu ya da RGB renk uzayındaki sonuçlardan daha başarılı sonuçlar ürettiği görülebilmektedir. Örneğin, muz görüntüsünde RGB renk uzayındaki sonuç ile ya denk şekilde sonucun üretildiği ya da CIECAM16-SCD renk uzayındaki olduğu gibi daha başarılı sonuç üretilebildiği görülmektedir.

### 2.5.2. GrabCut Yöntemine Algısal Kontrast İyileştirmenin Etkisinin İncelenmesi

Görüntü işleme konusu çerçevesinde yapılan birçok çalışmada kontrast iyileştirmenin etkisi incelenmiştir. Literatüre bakıldığında GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerinde görüntünün kontrastını iyileştirmenin nasıl bir etki yapacağı incelenmemiştir. Kontrast iyileştirme yapılarak görüntünün kontrastının iyileştirilmesiyle GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin başarısının nasıl etkileneceği incelenmektedir. Bu çerçevede kontrastı iyileştirmeyi iki farklı yöntem ile yaptık. İlk yöntemde CLAHE kullanarak 40 farklı görüntüde inceleme yapılmaktadır. Bu konuyla ilgili yaptığımız çalışma için görüntü sayısının daha fazla olması gerektiği ile ilgili bir eleştiri olmuştur. Bu çerçevede ikinci yöntemde, görüntülerin kontrastının algısal tabanlı olarak geliştirilmesi yöntemi [83] kullanılarak 73 farklı görüntüde kontrast iyileştirme yapılmıştır.

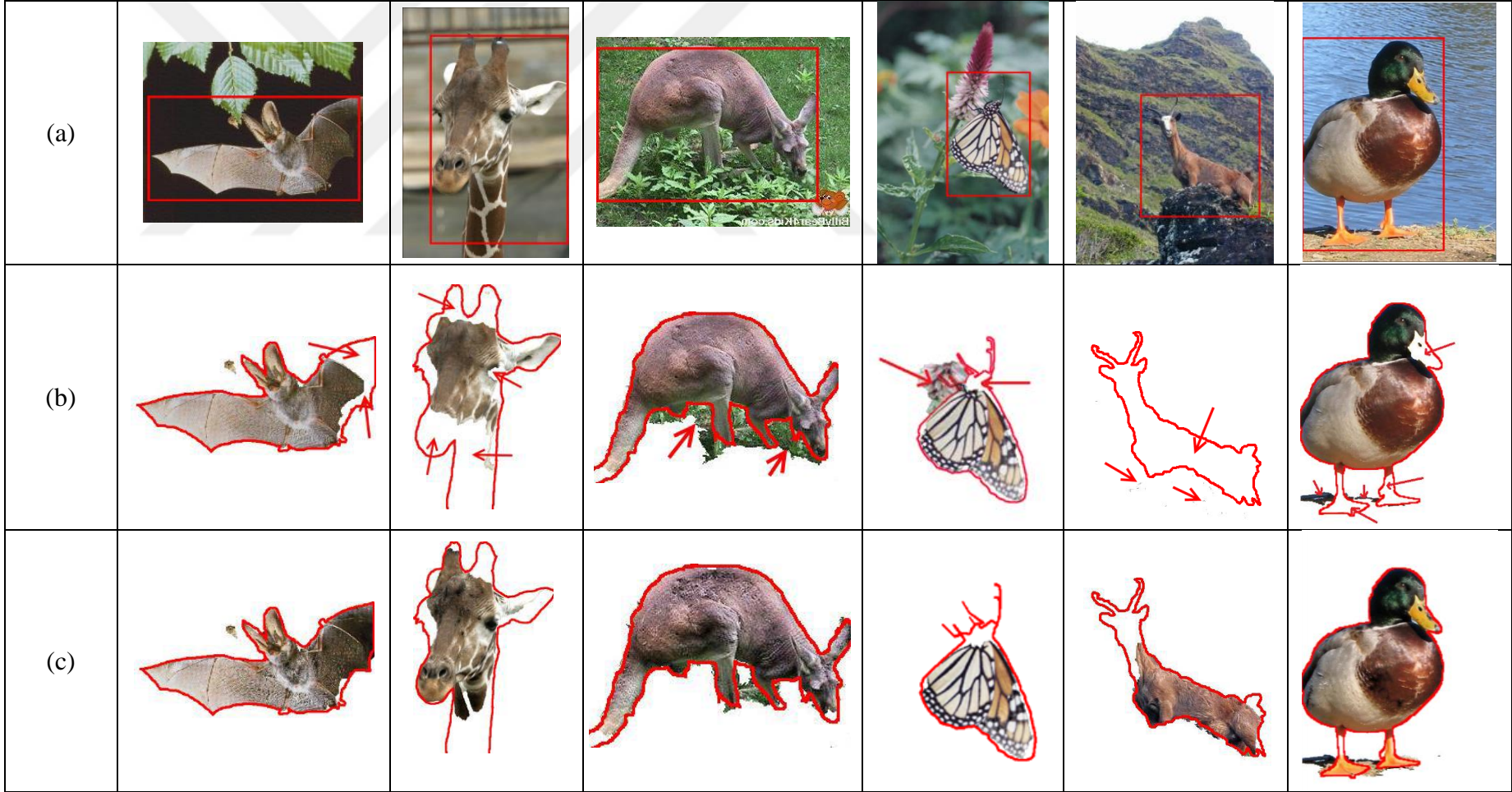
Tablo 2.2. Çalışmada kullanılan kontrast iyileştirme yöntemlerinin GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerindeki etkisinin incelenmesi

Yöntem adı \ Ölçüt adı	Dice (%)	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	Hassasiyet (%)
GrabCut	88,65	90,77	88,18	<b>93,38</b>	88,89
Görüntülerin Kontrastının Algısal Tabanlı İyileştirilmesi Yöntemi [83] - GrabCut	<b>91,12</b>	<b>91,29</b>	<b>90,44</b>	93,36	<b>91,49</b>

Tablo 2.2 incelendiğinde özgüllük harici tüm ölçütlerde başarının arttığı görülmektedir. Ortalama olarak her ölçütte %1.4 bir iyileşme sağlanmaktadır. Özgüllük ölçütünde ise %0.02 gibi çok küçük bir olumsuz etkinin olduğu görülmektedir. Böylece kontrast geliştirme ile GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin başarısı genel olarak artırılmaktadır.

Şekil 2.26 (a)'da yöntemlerin kıyaslanması için kullanılan görüntülere örnekler verilmektedir. Kırmızı dikdörtgen şekli görüntüde kullanıcının belirlediği alanı göstermektedir. Şekil 2.26 (c)'de [83]'e bahsedilen yöntem ile kontrast artırılmış görüntülerde GrabCut yönteminin sonucu ile Şekil 2.26 (b)'de kontrast iyileştirme yapılmamış görüntülerde GrabCut yönteminin sonuçları görsel olarak verilmektedir. Şekil 2.26 (b) ve (c)'de aranan nesne kırmızı ile gösterilmektedir. Şekil 2.26 (b)'de oklar ile gösterilen boş yer kontrast iyileştirme yapılmamış görüntüde GrabCut yönteminin bulamadığı yeri, oklar ile gösterilen dolu yer ise yanlış olarak bulduğu ön yeri göstermektedir.





Şekil 2.26. GrabCut yöntemine kontrastın etkisi; (a) asıl görüntü, (b) kontrastsız görüntüde GrabCut sonucu, (c) [83]'teki yöntemle kontrastı geliştirilmiş görüntüde GrabCut sonucu



Şekil 2.26 incelendiğinde kontrast geliştirmiş görüntüde GrabCut yönteminin sonucunda başarının arttığı görülmektedir. Kontrastlı görüntüde ön plana ait bilgilerin doğruluğu artmakta ve arka plana ait bulunduğu yanlış yerler azalmaktadır.

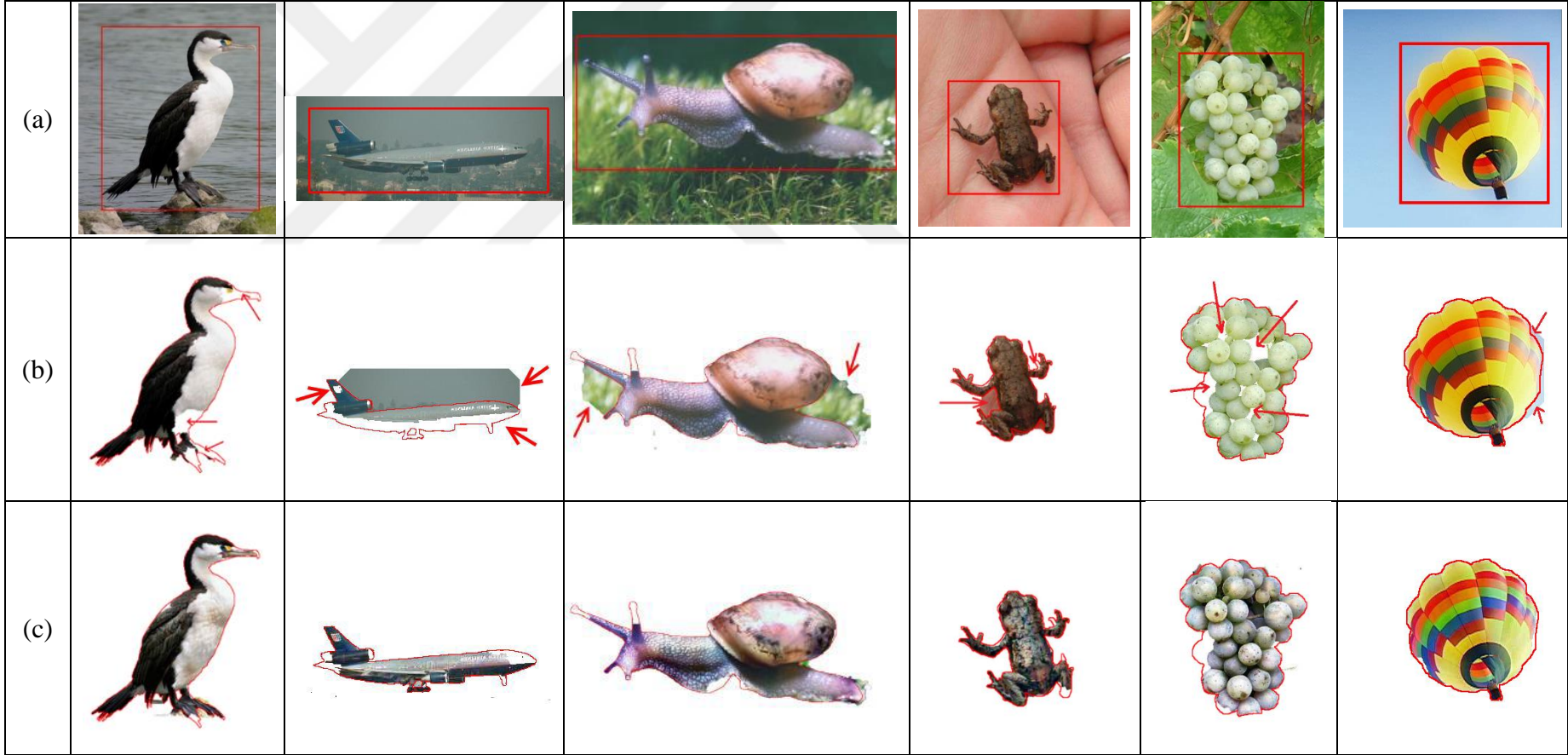
Tablo 2.3. CLAHE yöntemi kullanılarak kontrast iyileştirmenin GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerindeki etkisinin incelenmesi

Yöntem adı \ Ölçüt adı	Dice (%)	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	Hassasiyet (%)
GrabCut	90,12	92,08	91,49	92,92	88,49
CLAHE -GrabCut	<b>95,57</b>	<b>95,80</b>	<b>95,11</b>	<b>96,98</b>	<b>95,64</b>

Tablo 2.3 incelendiğinde tüm ölçütlerde CLAHE yönteminin uygulanmasının başarıyı arttığı görülmektedir. Ortalama olarak her ölçütte %4 oranında bir iyileşme sağlanmaktadır. Şekil 2.27’de orijinal görüntüde GrabCut yönteminin sonucu (b) satırında, CLAHE yöntemi ile kontrast iyileştirme yapılmış görüntüdeki GrabCut yönteminin sonucu (c) satırında gösterilmektedir. Şekil 2.27 (a)’da kırmızı dikdörtgen ile nesnenin seçildiği gösterilmektedir. Burada kırmızı oklar ile bulunamayan ve yanlış bulunan yerler gösterilmektedir.

Tablo 2.2 ve 2.8’deki sayısal sonuçlar ile yukarıda gösterilen 12 görüntü incelendiğinde kontrast iyileştirmenin kontrastı düşük ve düşük olmayan görüntülerden oluşan görüntü kümesinde GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin başarısını artırdığı görülmektedir. Diğer bir deyişle, kontrastı düşük olmayan görüntülerde genel olarak fazla bir değişim olmamakta, düşük olanlarda ise pozitif etkisi olmaktadır. Bu da kontrast iyileştirme adımının yöntemin ön aşaması olarak her zaman kullanımının yöntem başarısı üzerinde pozitif etki oluşturacağı anlamına gelmektedir.

Şekil 2.27 incelendiğinde ön planda eksik bulunan yerler, CLAHE ile kontrastı geliştirilmiş görüntüdeki sonuçta neredeyse tam bulunmaktadır. Ön planda büyük oranda iyileşme olmadığı zaman arka plana ait yerlerde doğru bulma miktarının arttığı görülmektedir.



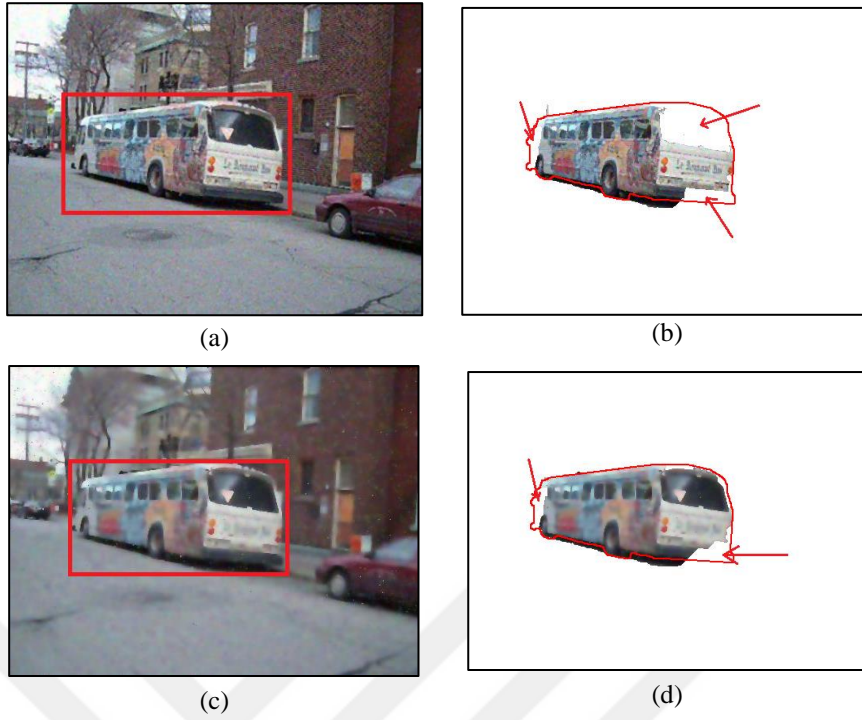
Şekil 2.27. GrabCut yöntemine kontrastın etkisi; (a) asıl görüntü, (b) kontrastsız görüntüde GrabCut sonucu, (c) CLAHE yöntemiyle kontrastı geliştirilmiş görüntüde GrabCut sonucu

### 2.5.3. Gürültünün GrabCut Yöntemi Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

Görüntü işleme uygulamalarında birçok faktörden dolayı uygulamanın değişik adımlarında gürültü oluşabilmektedir. Gürültü kısaca istenmeyen bilgi olduğundan uygulamalarda yanlış sonuçlara ve yorumlamalara neden olmaktadır. Bu çerçevede gürültünün incelenmesi ve kaldırılması konusunda literatürde yapılan birçok çalışma bulunmaktadır [64, 92, 93, 94]. Ancak literatürde çeşitli gürültü türlerinin GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerindeki etkisini belirten bir çalışma bulunmamaktadır.

Birçok gürültü çeşidi olmasına rağmen görüntü işleme konusu çerçevesinde karşımıza daha çok Gauss gürültüsü, tuz biber gürültüsü ve çarpımsal gürültü karşımıza çıkmaktadır. Bundan dolayı çalışmamızda bu üç gürültünün ve bu gürültülerin miktarının GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemine nasıl bir etki yaptığı incelenmiştir.

Görüntüden gürültünün kaldırılması için kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır. Bu çerçevede gerekli bilgiler 2.2.3.2. Gürültü Kaldırma Yöntemleri başlığında anlatılmaktadır. Literatürde sadece gürültü kaldırmakla GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin nasıl etkilendiği ile ilgili bir çalışma bulunmamaktadır. Ancak birçok çalışmada gerek GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemini geliştirirken gerekse de çeşitli alanlarda kullanırken hafif oranda var kabul edilen gürültüyü kaldırmak için çeşitli filtreler veya morfolojik işlemler yapılmaktadır. Ancak bunlarda gürültü miktarı az oranda kabul edilmekte veya gürültü türü bilinmemektedir. Örneğin tuz biber gürültüsü için ortanca filtrenin uygulanması tavsiye edilmektedir. Ancak biz çalışmamızda tuz biber eklenmiş görüntülerde ortanca filtre uyguladıktan sonra GrabCut yöntemini uyguladığımızda yeterli seviyede başarı sağlayamadık. Bu çerçevede gürültü kaldırma yöntemi olarak Perona Malik yöntemi seçilmiştir. Şekil 2.28'de tuz biber gürültü miktarı 0.05 olarak gürültü eklenmiş görüntüde ortanca filtre ve Perona Malik gürültü kaldırma yöntemi ile kaldırılan görüntülerde GrabCut sonucu gösterilmektedir. Şekilde dikdörtgen ile çizilmiş ortanca maske sonucu görüntü (a), ortanca maske sonucu görüntüsü üzerinde GrabCut yöntemi sonucu (b), dikdörtgen ile çizilmiş Perona Malik yöntemi sonucu görüntü (c), Perona Malik yöntemi uygulanmış görüntü üzerinde GrabCut yöntemi sonucu (d) bölümünde verilmektedir. Görselden gürültünün Perona Malik yöntemi ile kaldırılmasıyla elde edilen sonucun daha iyi olduğu anlaşılmaktadır. Bu çerçevede çalışmamızda gürültü kaldırma yöntemi olarak Perona Malik tercih edilmektedir.



Şekil 2.28. Gürültü kaldırma işlemlerinin GrabCut yöntemine etkisi

Biz bu çalışmamızda görüntülere eklediğimiz gürültü tiplerini bilmemize rağmen işleme giren görüntüdeki gürültü tipinin bilinmediği varsaydık. Ayrıca eklediğimiz gürültü miktarı da fazla olmaktadır. Bu durumda çoğunlukla her gürültü tipinde başarı sağlayabilecek olan bir bölütleme yöntemi olarak Perona Malik yöntemini tercih ettik. Bu çerçevede gürültüye sahip görüntülere Perona Malik yöntemi uygulayarak elde edilen sonuçlara GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi uyguladık.

### 2.5.3.1. Tuz Biber Gürültüsünün GrabCut Yöntemi Üzerindeki Etkisi

Bu kısımda kullanılan veri kümesine [96] tuz biber gürültüsü eklenmiştir. Ayrıca farklı miktarlarda tuz biber gürültüsü eklenerek tuz biber gürültüsü miktarının da GrabCut üzerinde nasıl bir etki yaptığı incelenmektedir. Bunun dışında Perona Malik gürültü kaldırma yöntemiyle kaldırılan görüntüdeki GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin başarısı da araştırılmıştır.

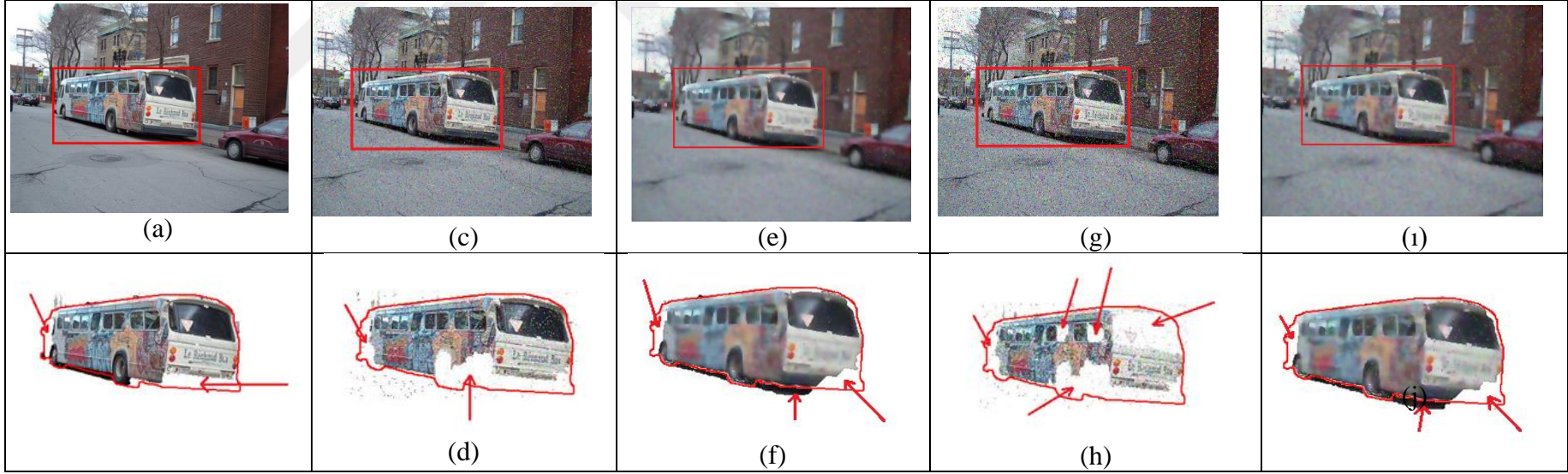
Aşağıdaki tablolarda veri kümesinin tamamı üzerinde benzerlik ölçütleriyle elde edilen sonuçlar gösterilmektedir. Ayrıca Tuz Biber Gürültüsü-1-GrabCut olarak adlandırılan işlemlerde tuz biber gürültü miktarı 0.05, Tuz Biber Gürültüsü-2-GrabCut

olarak adlandırılan işlemlerde tuz biber gürültü miktarı 0.1 olarak ayarlanmıştır. Yani Tuz Biber Gürültüsü-2-GrabCut'daki tuz biber gürültü miktarı ilkinde göre iki kat artırılarak etkisi incelenmiştir.

Tablo 2.4. Tuz biber gürültüsünün ve gürültü kaldırılmış görüntünün GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerindeki etkisinin Dice, Jaccard, doğruluk, duyarlılık, özgüllük ve hassasiyet ölçütlerine göre sonuçları

Gürültü Tipleri- GrabCut	Dice (%)	Jaccard (%)	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	Hassasiyet (%)
Tuz Biber Gürültüsü Yok	77,5	66,51	78,93	76,37	86,21	84,01
Tuz Biber Gürültüsü-1	67,91	56,98	74,4	63,7	90,74	82,55
Tuz Biber Gürültüsü-1- Perona Malik	61,01	49,94	68,36	61,69	79,73	77,53
Tuz Biber Gürültüsü-2-	63,64	52,01	71,37	58,41	89,16	79,71
Tuz Biber Gürültüsü-2- Perona Malik	57,19	47,6	69,43	56,36	84,06	76,2

Tablo 2.4. deki Dice, Jaccard, doğruluk, duyarlılık ve hassasiyet ölçütleri incelendiğinde tuz biber gürültüsünün GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerinde başarıyı düşürdüğü görülmektedir. Gürültü miktarının artmasıyla başarının düştüğü görülmektedir. Ancak sayısal sonuçlarda özgüllük ölçütüne dikkat edelim. Özgüllük ölçütü, doğru arka plan bilgisinin asıl arka plan bilgisine oranını vermektedir. Özgüllük ölçütüne bakıldığında tuz biber gürültüsü eklemenin GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin arka plana ait pikselleri bulmada olumsuz değil olumlu bir etki yarattığı görülmektedir. Ancak tuz biber gürültüsünün miktarının artmasıyla bu etkinin azaldığı görülmektedir. Duyarlılık ve özgüllük ölçütü bereaber incelendiğinde bölütleme işleminin tam yapılamadığı görülmektedir. Çünkü ne arka plana ait ne de ön plana ait yerler bulunabilmektedir. Arka plana ait yerlerde fazlalık bulamıyor. Ön plan bilgisini bulmadaki başarıyı veren duyarlılık ölçütünde, ön plana ait yerleri tam bulamadığı için bu sefer bu ölçüt değeri düşüyor. Bu iki ölçütteki değişim GrabCut yönteminin başarılı olamadığını göstermektedir. Bu altı ölçüt hep birlikte yorumlandığında tuz biber gürültüsünün kayda değer bir şekilde GrabCut yönteminin başarısını olumsuz etkilediği görülmektedir. Bu durum ve Perona Malik yönteminin etkisi Şekil 2.29'da ifade edilmektedir.



Şekil 2.29. Görüntü üzerinde tuz biber gürültüsünün ve Perona Malik yönteminin GrabCut yöntemine etkisi

Gürültünün artmasının GrabCut yöntemine etkisi ve Perona Malik yönteminin bu durumdaki davranışı Şekil 2.29'da tuz biber gürültüsü üzerinden gösterilmektedir. Şekil 2.29 (a) gürültüsüz, (c) Tuz Biber Gürültüsü-1, (e) Tuz Biber Gürültüsü-1'in Perona Malik sonucu, (g) Tuz Biber Gürültüsü-2 ve (i) Tuz Biber Gürültüsü-2'nin Perona Malik sonucu olan görüntüler kullanıcının çizdiği dikdörtgen ile göstermektedir. Şekil 2.29 (b), (d), (f), (h) ve (j) ise karşılarındaki görüntünün GrabCut sonucunu ifade etmektedir.

Şekil 2.29 incelendiğinde Perona Malik yönteminin görüntüde başarılı sonuç verdiğini yorumu yapılabilmeye rağmen Tablo 2.4 incelendiğinde Perona Malik gürültü kaldırma yönteminin GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi için olumsuz etki yaptığı görülmektedir. İki farklı gürültü miktarındaki Perona Malik yöntemi sonucundaki GrabCut sonucunu kıyaslayalım. Gürültü miktarının fazla olduğu görüntüde yapılan Perona Malik sonuçlu görüntüde GrabCut sonucunun doğruluk ve özgüllük ölçütlerinde az olana göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Bunun sebebi gürültü miktarının artmasıyla görüntüdeki bozulmanın artması ve Perona Malik yönteminin daha başarılı sonuç üreterek renk ve detay bilgisindeki bozulmanın daha az olması söylenebilir. Literatür incelendiğinde Perona Malik gürültü kaldırma yönteminin gürültü kaldırmada başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Ancak bu çalışmada GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemindeki başarıyı düşürmesinin sebebi gürültüyü kaldırmayıp artırması değildir. Perona Malik gürültü kaldırma yöntemi bir miktar da olsa gürültüyü kaldırabilmektedir. Ancak görüntüde gürültü kaldırılırken meydana gelen renkteki bozulmalar ve datay bilgisinin kaybolması GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin başarısını düşürmektedir.

### 2.5.3.2. Gauss Gürültüsünün GrabCut Yöntemi Üzerindeki Etkisi

Bu kısımda kullanılan veri kümesine [96] Gauss gürültüsü eklenmiştir. Ayrıca farklı miktarlarda Gauss gürültüsü eklenerek Gauss gürültüsü miktarının da GrabCut üzerinde nasıl bir etki yaptığı görülmektedir. Bunun dışında Perona Malik gürültü kaldırma yöntemiyle kaldırılan görüntüdeki GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin başarısı da araştırılmıştır.

Aşağıdaki tabloda benzerlik ölçütleri, veri kümesinin genel ortalaması üzerinden her bir yöntemde buldukları sonuçlar gösterilmiştir. Ayrıca Gauss gürültüsündeki ortalama ve varyans parametrelerindeki değişimin GrabCut yöntemi üzerinde nasıl bir etki oluşturduğu da incelenmiştir. Aşağıdaki tabloda görüntülere eklenen gürültünün hangi ortalama ve



varyans değeriyle eklendiği de verilmiştir. Ayrıca üç işlemde varyans sabit tutulmuş ortalama üzerinde değişiklik yapılmış ve başka bir üç işlemde ortalama sabit tutulmuş varyans üzerinde değişiklik yapılmıştır. Böylece Gauss gürültüsünün değişimine etki eden varyans ve ortalama parametrelerinden hangisinin nasıl bir etki oluşturduğu da görülebilmektedir. Bunun dışında her bir gürültüye uygulanmış Perona Malik gürültü kaldırma yönteminin GrabCut yöntemine etkisi incelenmiştir. Aşağıdaki Tablo 2.5'te ortalama  $m$ , varyans  $v$  sembolü ile gösterilmek üzere Gauss gürültüsü ve Perona Malik gürültü kaldırma yönteminin GrabCut yöntemi üzerindeki etkisi sayısal değerlerle % olarak ifade edilmektedir.

Tablo 2.5. Farklı seviyelerdeki Gauss gürültüsünün GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerindeki etkisinin Dice, Jaccard, doğruluk, duyarlılık, özgülük ve hassasiyet ölçütlerine göre sonuçları

Gauss Gürültüsü-GrabCut	Dice	Jaccard	Doğruluk	Duyarlılık	Özgülük	Hassasiyet
Gürültü Yok	77,5	66,51	78,93	76,37	86,21	84,01
Gürültü ( $m=0$ , $v=0.01$ )	72,96	61,9	77,06	69,21	89,42	86,1
Gürültü ( $m=0$ , $v=0.01$ ) -Perona Malik	71,42	58,58	71,02	75,06	70,03	79,33
Gürültü ( $m=0$ , $v=0.05$ )	66,6	54,16	72,56	60,83	88,41	81,55
Gürültü ( $m=0$ , $v=0.05$ ) -Perona Malik	70,51	57,15	69,51	75,19	65,4	77,36
Gürültü ( $m=0$ , $v=0.1$ )	60,86	48,77	69,19	55,41	87,28	77,22
Gürültü ( $m=0$ , $v=0.1$ ) -Perona Malik	67,65	54,84	69,18	71,72	65,66	77,48
Gürültü ( $m=0.01$ , $v=0.01$ )	72,1	60,99	76,32	68,7	89,19	84,27
Gürültü ( $m=0.01$ , $v=0.01$ ) -Perona Malik	71,69	58,89	71,33	74,99	70,28	80,15
Gürültü ( $m=0.05$ , $v=0.01$ )	74,13	62,53	77,06	70,69	87,76	85,27
Gürültü ( $m=0.05$ , $v=0.01$ ) -Perona Malik	72,52	59,57	71,22	76,52	69,05	78,2
Gürültü ( $m=0.1$ , $v=0.01$ )	72,79	61,64	77,01	68,71	89,56	85,67
Gürültü ( $m=0.1$ , $v=0.01$ ) - Perona Malik	69,92	56,84	69,03	74,14	68,52	76,35

Tablo 2.5'te gösterilen Dice, Jaccard, doğruluk ve duyarlılık ölçütü dikkate alındığında, Gauss gürültüsünün her miktarda eklenmesinin başarı oranını düşürdüğü



görülmektedir. Özellikle varyanstaki değişimin GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin başarılı sonuç üretmesinde büyük bir negatif etki yaptığı görülmektedir. Varyans arttıkça GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin hata oranının hızlı arttığı anlaşılmaktadır. Ancak özgüllük ölçütünde Gauss gürültüsünün eklenmesinin GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin bu ölçüt çerçevesinde başarısını artırdığı görülmektedir. Bunun muhtemel nedeni seçilen alanın daha küçük olmasıdır. Hassasiyet ölçütünde ise ortalama = 0 ve varyans= 0.01 olan bir Gauss gürültüsünün GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerinde hassasiyet ölçütü çerçevesinde küçük olumlu bir etki yaptığı görülmektedir. Yukarıdaki altı ölçüt teker teker incelendiğinde bazılarında gürültü eklemenin iyi sonuç verdiği görülmektedir. Ancak bu ölçütler hep birlikte incelendiğinde Gauss gürültüsünün GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin başarısını olumsuz bir şekilde etkilediği görülmektedir. Burada ortalamanın etkisinin değişken olduğu görülmektedir. Gürültünün varyansı arttıkça birçok ölçüt açısından Perona Malik yöntemi iyileşme sağlayabilmektedir. Örneğin; varyans 0,01 iken tek ölçütte, 0,05 iken 3 ölçütte ve 0,1 iken 5 ölçütte iyileşme sağlayabilmektedir.

Şekil 2.30'da Gauss gürültüsünün varyansındaki değişikliğin GrabCut gürültüsüne olan etkisi ifade edilmektedir. Şekil 2.30 (a) gürültüsüz, (c) ortalaması 0, varyansı 0.01 olan Gauss gürültülü, (e) ortalaması 0, varyansı 0.01 olan Gauss gürültülü görüntüde Perona Malik yöntemli olan, (g) ortalaması 0, varyansı 0.1 olan Gauss gürültülü, (i) ortalaması 0, varyansı 0.1 olan Gauss gürültülü görüntüde Perona Malik yöntemli olan görüntüyü kullanıcının çizdiği dikdörtgen ile göstermektedir. Şekil 2.30 (b), (d), (f), (h) ve (j) ise karşılarındaki görüntünün GrabCut sonucunu ifade etmektedir.



Şekil 2.30. Görüntü üzerinde Gauss gürültüsünün ve Perona Malik yönteminin GrabCut yöntemine etkisi

Şekil 2.30 incelendiğinde Perona Malik yönteminin gürültülü görüntülere göre daha başarılı olduğu söylenebilmesine rağmen Tablo 2.5 incelendiğinde Perona Malik gürültü kaldırma yöntemi sonucunda görüntüye uygulanana GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin etkisinin her zaman başaayı artırdığı söylenemez. Ölçütler teker teker incelendiğinde örneğin duyarlılık ölçütü gürültülü görüntüye göre bir gürültü kaldırma yönteminin GrabCut yöntemi için başarı sağladığı söylenebilir. Özgüllük ölçütü incelendiğinde her gürültü miktarında başarının büyük miktarda düştüğü görülmektedir. Ortalamanın 0 ve varyansın 0.05 olduğu gürültü miktarlı görüntüde ve bu gürültüye uygulanan Perona Malik sonuçlı görüntüde GrabCut sonucunu inceleyelim. 6 ölçütün üçünde başarının arttığı üçünde ise düştüğü görülmektedir. Yani GrabCut yöntemi için dengeli bir şekilde başarıyı artıramamaktadır. Ancak ölçütler hep birlikte incelendiğinde gürültülü görüntüdeki GrabCut yönteminin gürültü kaldırma sonucu elde edilen görüntüdeki GrabCut yönteminden daha başarılı olduğu görülmektedir. Diğer bir deyişle bu tür gürültülerde de gürültü kaldırma yöntemi varyansın arttığı durumlar haricinde pozitif bir etki oluşturmayıp başarı düşüşüne neden olmuştur.

### **2.5.3.3. Çarpımsal Gürültünün GrabCut Yöntemi Üzerindeki Etkisi**

Bu kısımda kullanılan veri kümesine [96] çarpımsal gürültü eklenmiştir. Gürültüsüz görüntülerdeki GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin sonucu ile çarpımsal gürültü eklenmiş görüntülerdeki GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin sonucu karşılaştırılmıştır.

Aşağıdaki Tablo 2.6'da benzerlik ölçütlerinin sonuçları (%) olarak sayısal değerler ile ifade edilmektedir. Ayrıca benzerlik ölçütleri, veri kümesinin genel ortalaması üzerinden her bir yöntemde buldukları sonuçlar ayrı ayrı gösterilmiştir. Bu çalışmada kullanılan çarpımsal gürültünün parametre değeri 0.1 olarak alınmıştır.

Tablo 2.6. Çarpımsal gürültünün GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerindeki etkisinin Dice, Jaccard, doğruluk, duyarlılık, özgüllük ve hassasiyet ölçütlerine göre (%) sonuçları

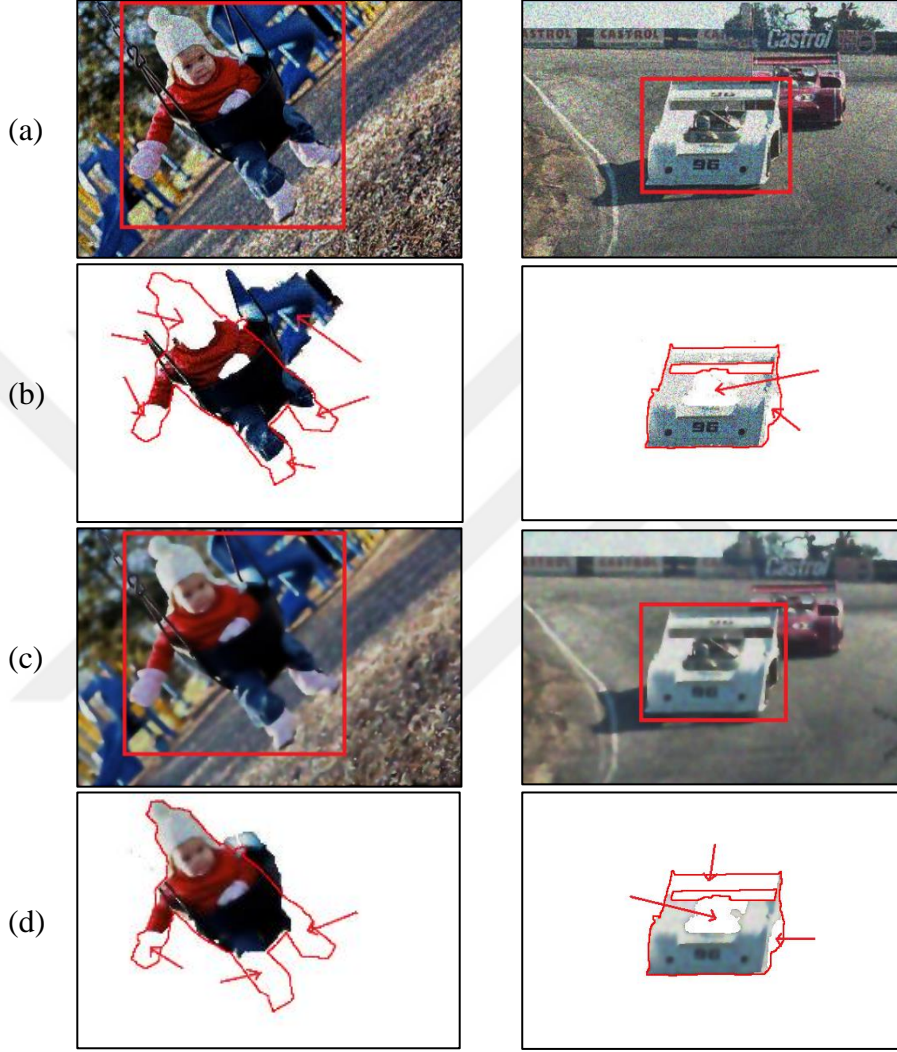
	Dice	Jaccard	doğruluk	duyarlılık	özgüllük	hassasiyet
GrabCut	77,50	66,51	78,93	76,37	86,21	84,01
Çarpımsal Gürültü-GrabCut	70,29	59	75,55	65,64	89,27	81,54
Çarpımsal Gürültü-Perona Malik-GrabCut	72,04	58,88	71,36	75,6	68,01	77,83

Tablo 2.6'daki ölçütler teker teker ele alındığında çarpımsal gürültünün sadece özgüllük ölçütünde GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerinde olumlu bir etki oluşturduğu, diğer ölçütlerde ise GrabCut yönteminin başarısını olumsuz etkilediği görülmektedir. Tüm ölçütler dikkate alındığında çarpımsal gürültünün GrabCut yöntemi üzerinde olumsuz etki yaptığı anlaşılabilmektedir. Aynı durum gürültü kaldırılmış görüntüde de geçerlidir. Ayrıca Perona Malik gürültü kaldırma sonucu elde edilen görüntüdeki GrabCut yönteminin başarısının gürültülü görüntüdeki GrabCut yöntemine göre daha az olduğu yorumu yapılabilir. Tablo 2.6'daki ölçütlere bakıldığında Perona Malik yönteminin sadece Dice ve duyarlılık ölçütlerinde gürültülü görüntüdeki sonuçlara göre bir iyileşme yaptığı görülmektedir.

Bu çalışmada bu kısım kadar incelenen tuz biber, Gauss ve çarpımsal gürültünün GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin sonucuna etki yaptığı görülmektedir. Bu gürültü türlerinin sonuçları her bir ölçütte ayrı ayrı incelendiğinde sadece özgüllük ölçütünde GrabCut üzerinde olumlu etki yaptığı görülmektedir. Ancak tüm ölçütler bir arada yorumlandığında her gürültü türünün GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin başarısını olumsuz yönde etkilediği görülmektedir. Literatürde yapılan birçok çalışmada gürültü olma olasılığı var kabul edilen durumlarda gürültü kaldırma işlemi yapılmaktadır. GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin gürültüden etkilenmemesi veya az etkilenmesi için yapılan çalışma da bulunmaktadır [54]. Bu çalışmada gürültüyü kaldırmak için ortanca filtre uygulanmakta ardından diğer adımlarla devam edilmektedir.

Sonuç olarak fazla miktarda eklenen gürültünün ve kullanılabilecek bir gürültü kaldırma yönteminin GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemine olumsuz bir etki yaptığı görülmektedir.

Aşağıdaki Şekil 2.31’de örnek görüntülerde üzerinde çarpımsal gürültü ve Perona Malik yöntemiyle kaldırılmış gürültüsüz görüntü üzerinde GrabCut yönteminin sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 2.31. Çarpımsal gürültü ve Perona Malik yönteminin etkisi; (a) çarpımsal gürültülü görüntü, (b) çarpımsal gürültülü görüntüde GrabCut sonucu, (c) çarpımsal gürültülü görüntüde Perona Malik sonucu, (d) çarpımsal gürültüye uygulanmış Perona Malik sonuçlu görüntüde GrabCut sonucu

Şekil 2.31 (a)’da çarpımsal gürültü eklenmiş görüntü, (b)’de bu görüntüye uygulanmış GrabCut yöntemi bulunmaktadır. Şekil 2.31 (c)’de (a)’daki görüntüye uygulanan Perona Malik yöntemi sonucu bulunan görüntü, (d)’ de (c)’deki görüntüye uygulanan GrabCut yönteminin sonucu bulunmaktadır. Gürültü kaldırmanın burada

başarıyı artırdığı görülmektedir. Görüntüler incelendiğinde çocuk görüntüsünde Perona Malik yöntemi uygulamanın başarıyı artırdığı görülmektedir. Ancak araba görüntüsü incelendiğinde gürültü kaldırmanın başarıyı azalttığı görülmektedir. Şekil 2.31 incelendiğinde gürültü kaldırma yönteminin bazı görüntülerde olumlu bazılarında olumsuz etki yaptığı görülmektedir. Ancak veri kümesinin tamamı incelendiğinde gürültü kaldırma yönteminin gürültüyü kaldırırken renk ve detay bilgilerini bozduğundan GrabCut yönteminin sonucuna olumlu etki yapmadığı görülmektedir. Şekil 2.31'dekine benzer sonuçlar tuz biber ve Gauss gürültüsü için yapılan işlemler sonucu için de benzer görseller oluşmaktadır.

#### **2.5.4. Grabcut Yönteminde Kullanılan Parametrelerin İncelenmesi**

GrabCut yöntemi kullanılırken formüllerdeki bazı değişkenlerin değeri sabit olarak kullanılmaktadır. GrabCut yöntemi, Gauss Karışım Modelini kullanırken bir tane Gauss Karışım Modelinde bulunacak Gauss dağılım (bileşen) sayısını belirten değer 5 olarak kullanılmaktadır. Ayrıca GrabCut yönteminin kullandığı Eşitlik (18)'de  $\gamma$ 'nin değeri 50 olarak kullanılmaktadır. Bu kısımda bu iki değişkenin değerleri değiştirilerek sonuca nasıl bir etki yaptığı 30 görüntü üzerinde incelenmektedir.

Tablo 2.7'de RGB, CIELAB ve CIECAM16-SCD renk uzaylarında  $\gamma$ 'nin değeri değiştirilerek GrabCut yönteminin başarısına  $\gamma$  değerinin nasıl bir etki yaptığı görülmektedir. Tablo 2.7'deki ölçütlerin sayısal sonuçları % olarak verilmektedir. RGB ve CIELAB renk uzaylarında çoğu ölçütte 25 değerinin daha başarılı sonuçlar ürettiği görülmektedir. Ancak özgülük ölçütünde 50 değeri daha başarılı sonuçlar üretmektedir.. CIECAM16-SCD renk uzayı için en iyi sonucun 50 değerinde ortaya çıktığı tablodaki sayısal değerlerden anlaşılmaktadır. Genel olarak sayısal değer 50'den uzaklaştıkça sonucu kötü bir etki yaptığı görülmektedir.

Tablo 2.7. Farklı uzaylardaki farklı  $\gamma$  değerinin GrabCut yöntemine etkisi

Renk uzayı	$\gamma$ değeri	Dice	Jaccard	Doğruluk	Duyarlılık	Özgüllük	Hassasiyet
RGB	100	63,31	53,12	74,6	65,22	86,1	75,14
	75	68,77	59,31	79,5	70,16	88,7	76,64
	50	74,52	63,07	78,16	77,95	83,41	74,62
	25	78,88	66,68	78,32	84,32	77,91	76,86
	10	76,94	63,88	75,95	82,21	74,68	72,53
CIELAB	100	72,01	61,62	79,06	74,18	85,1	74,87
	75	74,27	62,28	77,6	77,82	81,49	73,22
	50	80,08	68,41	81,8	82,96	84,96	80,96
	25	83,35	72,24	82,15	91,38	78,78	76,77
	10	81,47	69,64	79,35	89,65	75,47	75,22
CIECAM16-SCD	100	77,79	66,82	79,77	82,39	82,31	75,14
	75	84,13	73,36	83,68	87,66	84,01	82,58
	50	87,71	78,26	87,01	90,34	88,12	85,36
	25	84,23	73,02	83,21	91,26	80,74	78,61
	10	82,03	70,72	80,17	90,06	76,46	76

Tablo 2.8’de ise Gauss Karışım Modelinde kullanılan Gauss bileşen sayısını ifade eden K değerinin farklı uzaylardaki farklı değerlerdeki sayısal sonuçları incelenmiştir. Tablo 2.8’deki ölçütlerin sayısal sonuçları % olarak verilmektedir. Tablo 2.8 incelendiğinde CIELAB ve RGB renk uzaylarında ölçütlerin çoğu K’nin değeri 6 olduğunda iyi sonuç vermektedir. CIECAM16-SCD renk uzayında ise K’nin değeri 5 olduğunda daha başarılı sonuçların ortaya çıktığı görülmektedir. K değeri 5’ ten uzaklaştıkça ölçütlerdeki sayısal değerlerin kötüye doğru gittiği görülmektedir.

Tablo 2.8. Farklı uzaylardaki farklı K değerinin GrabCut yöntemine etkisi

Renk Uzayı	K değeri	Dice	Jaccard	Doğruluk	Duyarlılık	Özgüllük	Hassasiyet
RGB	6	76,54	65,97	80,57	80,15	84,89	78,28
	5	74,52	63,07	78,16	77,95	83,41	74,62
	4	71,88	60,45	77,74	72,95	85,31	78,73
	3	75,2	62,24	77,84	75,57	82,41	79,35
	2	70,78	56,97	78,14	67,38	88,03	81,6
CIELAB	6	82,46	72,44	83,56	86,37	85,86	79,03
	5	80,08	68,41	81,8	82,96	84,96	80,96
	4	76,83	66,18	81,08	79,8	85,4	77,99
	3	76,14	64,95	79,63	80,18	83,49	76,49
	2	72,73	62,22	80,67	70,42	89,62	82,59
CIECAM16-SCD	6	83,16	71,61	83,07	87,49	82,91	78,66
	5	87,71	78,26	87,01	90,34	88,12	85,36
	4	83,11	71,37	83,43	85,83	85,39	80,82
	3	79,79	68,53	81,12	83,78	83,9	77,75
	2	77,65	65,7	80,91	77,96	86,43	80,6

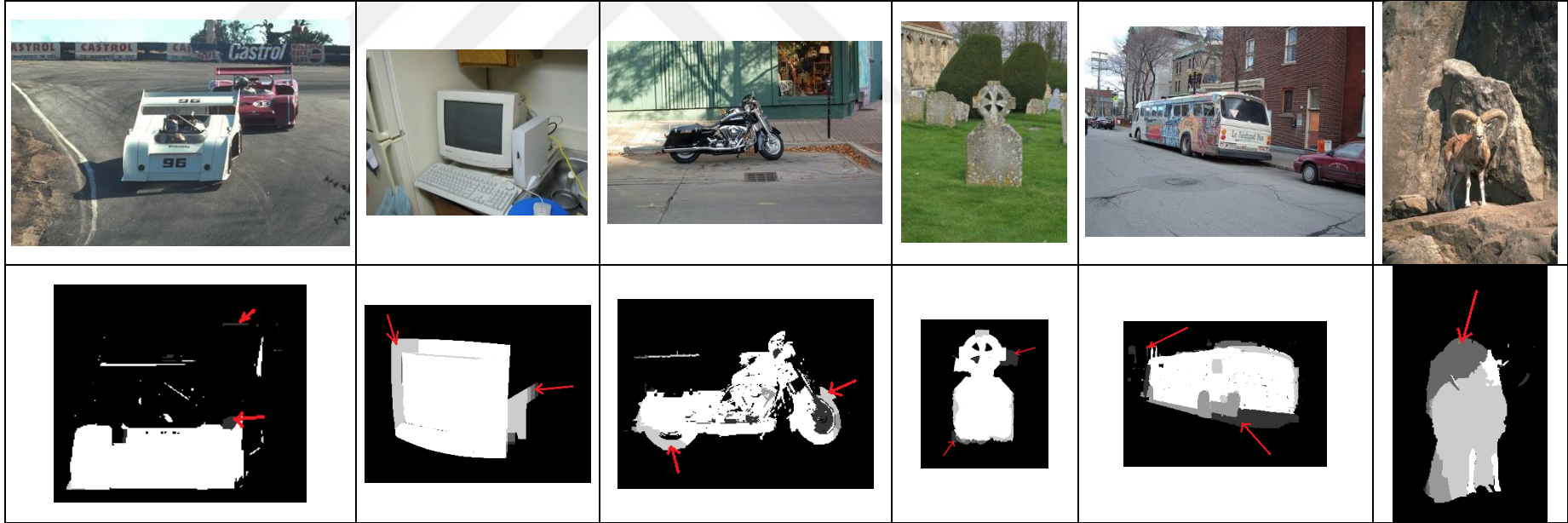
### 2.5.5. GrabCut Yönteminde Kullanıcının Çizdiği Dikdörtgenin Etkisi

GrabCut yöntemi çalışmasının başında kullanıcıdan ön veya arka plan ile ilgili bilgi almaktadır. Bu bilgi yönteme kullanıcının çizdiği bir dikdörtgen ile verilmektedir. Bu kısımda kullanıcının çizdiği dikdörtgenin boyutunun nasıl bir etki yapacağı incelenmektedir. Bunun için kullanıcının çizdiği dikdörtgenin boyutu %5 ve %10 büyütülerek GrabCut yönteminin ürettiği sonuç incelenmiştir. Ardından kullanıcının çizdiği dikdörtgenin boyutu %5 ve %10 küçültülerek GrabCut yönteminin başarısı incelenmiştir. Normal boyutta çizilen dikdörtgenin, boyutunda %5 ve % 10 artış olan dikdörtgenin ve en son olarak boyutunda %5 ve %10 küçülme olan dikdörtgenin görsel sonuçları bir bütün olarak incelenmektedir. Şekil 2.32’de bu durum ifade edilmektedir. Siyah olan kısımlar her durumda bulunan doğru arka plan bölgesini, beyaz olan kısımlar her durumda bulunan doğru ön plan bölgesini ifade etmektedir. Gri tonda olan kısımlar ise bu değişimler sonucunda her durumda farklı bulunan bölgeleri göstermektedir. Bu kısımların bazıları kırmızı oklarla gösterilmektedir. Böylece gri tona sahip bölge miktarına bakarak dikdörtgenin boyunun değişmesinin sonuca nasıl bir etki yaptığına dair bir yorum



yapılabilmektedir. Dörtgen alanın boyutunun bölütleme sonucuna kenar bölgelerinde bir miktar pozitif/negatif etki oluşturduğu görülmektedir. Şekil 2.32’de keçi görüntüsüne bakıldığında sonuçta büyük değişiklikler yaptığı, araba görüntüsüne baktığında ise dikkate değer bir değişiklik yapmadığı görülmektedir. Bu durumda dikdörtgen boyutunun az veya çok bir etki oluşturduğu söylenebilir.





Şekil 2.32. Farklı boyutta çizilen dikdörtgenin GrabCut yöntemine etkisi; (a) asıl görüntü, (b) siyah beyaz maskesi

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında önerildiği 2004 yılından beri kullanılmakta olan ve son yıllarda da popülerliğini kaybetmeyen GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerinde iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır. Literatür incelendiğinde bu yöntem için düşünülmemiş yaklaşımlar üzerinde bu tez çalışmasında durulmaktadır. Bunlardan birisi renk uzayının değiştirilmesidir. Özellikle renkli görüntülerde renk bilgisinden faydalanarak işlemlerini yaptığından giriş renk uzayının etkisinin incelenmesi önemlidir. GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi RGB renk uzayında çalışmaktadır. Bu tez çalışmasında RGB renk uzayının dışında günümüze yakın zamanda önerilen renk uzayları başta olmak üzere farklı renk uzayları giriş renk uzayı olarak kullanılmaktadır. Özellikle CIE tabanlı renk uzaylarının performans bakımından RGB renk uzayındaki sonuçlardan daha çok başarılı olduğu hem görsel hem de sayısal olarak gösterilmektedir.

Başka bir yaklaşım olarak kontrast iyileştirme yöntemlerinin özellikle kontrastı düşük görüntülerde GrabCut etkileşimli bölütleme yönteminin başarısını artırdığı görülmektedir. Kontrastı düşük olmayan görüntülerde ise bu tür yöntemlerin kullanılmasının sonuca negatif yansımadağı görülmüştür. Dolayısıyla bir kontrast iyileştirme yönteminin (çalışmamızda CLAHE ve algısal tabanlı iyileştirme yöntemleri denenmiştir) GrabCut bölütleme işleminin ön aşaması olarak kullanılması tavsiye edilmektedir.

Gürültünün GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerindeki etkisi incelenirken gürültü kaldırmanın yöntem üzerinde olumsuz bir etki oluşturduğu görülmektedir. Gürültü kaldırma yönteminin (Perona Malik) sonuca pozitif bir katkı sağlamayıp daha kötüleştirdiği görülmektedir. GrabCut yöntemi renkli görüntü üzerinde çalışmakta ve bu yüzden Perona Malik yöntemi ayrı ayrı renk kanallarına uygulanmaktadır. Bu da üç renk kanalının birleşimiyle oluşan ayrıntıları yok etmektedir. Yani sonuçlarının kötü çıkması işlemler sırasında detay bilgisinin zarar görmesindedir.

#### 4. ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında GrabCut yöntemi üzerinde yapılmış iyileştirmeler incelenmiş ve yöntem için kullanılacak farklı yaklaşımların bölütleme başarısı üzerindeki etkisinin nasıl olacağı gözlemlenmiştir. Literatürde standart olarak karşımıza çıkabilecek gürültü tiplerinin ve gürültü kaldırma yöntemlerinin görüntüde detay bilgisine zarar verdiğinden yöntemde olumsuz bir etki yaptığı görülmektedir. Bu çerçevede gürültünün etkisinin detay bilgisine zarar verilmeden kaldırılması için günümüzde üstün başarı veren yama (patch) ve öğrenmeye dayalı gürültü kaldırma yaklaşımlarının ön işleme adımı olarak kullanılması denenebilir.

Görüntüde ön plan ve arka plan bölgelerindeki benzer nesnelerin tespit edilmesi ve ön plana benzer alanların arka plan bölgesinden kaldırılmasının GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi üzerindeki etkisi incelenebilir. Çünkü bu nesnelere arka plan modelini ön plan modeliyle belirli oranlarda çakışmasına neden olmakta ve bu nedenle ayırt edebilirliği düşürmektedir.

Literatüre baktığımızda yöntemin kullandığı enerji fonksiyonu üzerinde yeterince durulmadığı görülmektedir. Bu konu üzerinde de farklı enerji fonksiyonlarının bölütlemeye etkisi incelenebilir. Ayrıca, literatürde veri olarak renk bilgisinin haricinde “çoklu çözünürlük doğrusal olmayan yapı tensörü” doku bilgisinin ve uzaklık bilgisinin kullanıldığı iki farklı çalışma mevcuttur. Fakat renk, doku ve uzaklık bilgilerinin üçünün bir arada kullanıldığı bir çalışma yapılmamıştır. Özellikle birçok görüntü tanıma çalışmasında başarılı sonuçlar veren Gabor dalgacıklarının doku bilgisi olarak superpiksellerle kullanımının önceki Bölütleme adımında elde edilen sınır bölgelerine olan uzaklık ile beraber kullanımının araştırılmasında fayda vardır.

Özellikle CIE tabanlı renk uzayları için literatürde Öklit uzaklığından farklı algısal benzerlik hesapları yapılmaktadır. Bu benzerlik formüllerinin yöntemde adapte edilmesinin sonuca nasıl bir katkı yapacağı araştırılabilir.

Algısal tabanlı kontrast iyileştirme yöntemi görüntünün orijinal renk bilgisini bozmamak adına sadece parlaklık değeri üzerinde iyileştirme sağlıyordu. Renk değerlerinin birbirlerinden uzaklaştırılmasının bölütleme üzerinde pozitif bir etki oluşturup oluşturmayacağı araştırılabilir.

Yöntem basitlik açısından ön plan bölgesinin başlangıç işaretlemesi için dörtgen seçimi yapılmasını önermektedir. Fakat, nesnenin kameraya göre eğik durması durumunda seçilen ön plan bölgesi çok miktarda arka plan pikseli içermiş olmaktadır. Bunu önlemek açısından bazı çalışmalar dörtgen seçimi yerine poligon seçmeyi önermişlerdir. Bu da başlatımlama işlemini zorlaştırmakta ve orijinal motivasyonun kaybolmasına neden olmaktadır. Bunun yerine basit bir dörtgen seçiminden sonra isteğe bağlı olarak dörtgenin iki boyutlu düzlemde döndürülmesi denenebilir.

Yöntem içinde kullanılan GMM modelindeki Gauss model sayısının otomatik belirlenmesi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bunun yerine kümelemede hiyerarşik kümeleme yöntemlerinin fine-grain'den coarse-grain'e seviye seviye kullanımı ile yöntemin parametre girişinden bağımsız hale gelmesinin bölütleme başarısı üzerindeki etkisi incelenebilir.

Literatür incelendiğinde GrabCut yönteminin popüler derin öğrenme yöntemleri ile beraber kullanıldığı tek bir çalışma olduğu görülmektedir. Bu çalışmada da GrabCut yönteminin teze konu olan işlem adımlarından ziyade border-matting (kenar düzenleme) aşamasından faydalandığı görülmüştür. Bunun yerine, derin öğrenmeye dayalı yöntemlerdeki son aşamadaki ayrıklaştırmadan önceki skor haritasının üzerine GrabCut yönteminin uygulanmasının nasıl bir bölütleme sonucu oluşturacağı araştırılabilir.

Görüntüde ortam ışığı nesnenin her bölgesine aynı ölçüde vurmazsa Bölütleme performansı büyük oranda düşebilir. Çünkü yöntem global özelliklere bakmaktadır. Eşikleme yöntemlerinde “adaptif eşikleme” ile sağlanan başarı iyileştirmesi, yöntemin yerel çevresindeki parlaklık değerlerine göre bir ağırlıklandırma yaparak sağlanabilir.

GrabCut etkileşimli bölütleme yöntemi literatürde videolar için uygulanmıştır. Ancak videolarda kolaylıkla ayırt edilebilen ve kaldırılabilen gölge ve örtme (occlusion) gibi problemlerin, bölütleme yönteminin başarısızlığı üzerindeki etkisi incelenebilir.

## 5. KAYNAKLAR

1. Kelda, K. H. ve Kaur, P., A Review: Color Models in Image Processing, International Journal of Computer Technology and Applications, 5,2 (2014) 319-322.
2. Kulkarni, A. A., Kurundkar. R. D., Khare, S. V., Savant, S. ve Chintal P., A Review on Color Image Processing, International Journal of Computer Science and Mobile Applications, 3, 11 (2015) 5-10.
3. Vantaram, S. R. ve Saber, E., Survey of contemporary trends in color image segmentation, Journal of Electronic Imaging, 21, 4 (2012) 1-28.
4. Boykov, Y. Y. ve Jolly, M. P., Interactive graph cuts for optimal boundary and region segmentation of objects in N-D images, International Conference on Computer Vision, July 2001, Vancouver, Canada, 105-112.
5. Wu S., Nakao, M. ve Matsuda, T., SuperCut: Superpixel Based Foreground Extraction With Loose Bounding Boxes in One Cutting, IEEE Signal Processing Letters, 24, 12 (2017) 1803-1807.
6. Dong L., Feng, N., Mao, M., He, L. ve Wang, J., E-GrabCut: an economic method of iterative video object extraction, Frontiers of Computer Science, 11, 4 (2017) 649-660.
7. Saglam, A., Baykan, N. A., An Efficient Object Extraction with Graph-Based Image Segmentation, International Conference on Advanced Computer Science Applications and Technologies, Aralık 2015, Kuala Lumpur, Malaysia, 86-91.
8. Falcao, A., Spina, T., Miranda, P. ve Cappabianco, F., Graph-Based Image Segmentation, 23rd Sibgrapi Conference on Graphics Patterns and Images, Tutorial 1, Aug - Sept 2010, Gramado, 1-7.
9. Radke, J. R., Computer Vision For Visual Effects, First Published, Cambridge University Press, 2013.
10. Blake, A, Rother, C., Brown, M., Perez, P. ve Torr, P., Interactive image segmentation using an adaptive GMMRF model, European Conference on Computer Vision, Mayıs 2004, Prague, Czech Republic, 428-441.
11. Allili, M. S., A short tutorial on Gaussian Mixture Models, [http://www.computerrobotvision.org/2010/tutorial\\_day/GMM\\_said\\_crv10\\_tutorial.pdf](http://www.computerrobotvision.org/2010/tutorial_day/GMM_said_crv10_tutorial.pdf), 10 Nisan 2018.
12. Farnoosh, R. ve Zarpak, B., Image Segmentation Using Gaussian Mixture Model, IUST International Journal of Engineering Science, 19, 1-2 (2008) 29-32.

13. Li, Y., EM Algorithm and its Applications, <https://courses.cs.washington.edu/courses/cse576/04sp/notes/EM.ppt>, 10 Nisan 2018.
14. Rother, C., Kolmogorov, V. ve Blake, A., “Grabcut”: Interactive Foreground Extraction Using Iterated Graph Cuts., ACM Transactions on Graphics, 23, 3 (2004) 309-314.
15. Yoruk, U., Hargreaves, B. A. ve Vasanaawala, S. S., Automatic Renal Segmentation for MR Urography Using 3D-GrabCut and Random Forests, Magnetic Resonance in Medicine, 79, 3 (2018) 1696-1707.
16. Li, H., Su, X., Wang, J., Kan, H., Han, T., Zeng, Y. ve Chai, X., Image processing strategies based on saliency segmentation for object recognition under simulated prosthetic vision, Artificial Intelligence in Medicine, 84 (2018) 64–78.
17. Lu, Y. W., Jiang, J. G., Qi, M. B., Zhan, S., ve Yang, J., Segmentation method for medical image based on improved GrabCut, International Journal of Imaging Systems and Technology, 27, 4 (2017) 383-390.
18. Yu, S., Wu, S., Zhuang, L., Wei, X., Sak, M., Neb, D., Hu, J. ve Xie, Y., Efficient Segmentation of a Breast in B-Mode Ultrasound Tomography Using Three-Dimensional GrabCut (GC3D), Sensors, 17, 8 (2017) 1-18.
19. Baracho, S. F., Pinheiro, D. J. L. L., Godoy, C. M. G. D. ve Coelho., R. C., A segmentation method for myocardial ischemia/infarction applicable in heart photos, Computers in Biology and Medicine, 87 (2017) 285-301.
20. Dorgham, O. M., Automatic Body Segmentation from Computed Tomography Image, International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing, Mayıs 2017, Fez, Morocco, 1-5.
21. Wu, S., Nakao, M. ve Matsuda, T., Automatic GrabCut based Lung Extraction from Endoscopic Images with an Initial Boundary, International Conference on Signal Processing, November 2016, Chengdu, China, 1374-1378.
22. Liu, Y., Cao, F., Zhao, J. ve Chu, J., Segmentation of White Blood Cells Image Using Adaptive Location and Iteration, IEEE Journal of Biomedical And Health Informatics, 21, 6 (2017) 1644-1655.
23. Wu, S., Nakao, M. ve Matsuda, T., Continuous lung region segmentation from endoscopic images for intra-operative navigation, Computers in Biology and Medicine, 87 (2017) 200-210.
24. Kusakunniran, W., Rattanachosin, W., Sutassananon, K. ve Anekkitphanich, P., Automatic Quality Assessment and Segmentation of Diabetic Retinopathy Images, IEEE Region 10 Conference (TENCON), November 2016, Singapore, Singapore, 997-1000.

25. Kalshettia, P., Bundelea, M., Rahangdalea, P., Jangraa, D., Chattopadhyaya, C., Harita, G. ve Elhenceb, A., An interactive medical image segmentation framework using iterative refinement, Computers in Biology and Medicine, 83 (2017) 22-23.
26. Kun, Y., Guangrong, J. ve Haiyong, Z., Automatic cell object extraction of red tide algae in microscopic images, Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 35, 2 (2017) 275-293.
27. Lee, S. W. ve Kim, J. S., Phytomorphological Graph Construction for Leaf Identification of a 2D Monocotyledon Image, International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, June - July 2017, Jeju, Korea, 931-934.
28. Shao, Y., Xuan, G., Zhu, Y., Zhang, Y., Peng, H., Liu, Z. ve Hou, J., Research on automatic identification system of tobacco diseases. The Imaging Science Journal, 65, 4 (2017) 252-259.
29. Zhang, H. ve Song, A., A map-based normalized cross correlation algorithm using dynamic template for vision-guided telerobot, Advances in Mechanical Engineering, 9,9 (2017) 1-12.
30. Kainuma, A., Madokoro, H., Sato, K. ve Shimoi, N., Occlusion-Robust Segmentation for Multiple Objects using a Micro Air Vehicle, International Conference on Control, Automation and Systems, October 2016, Gyeongju, Korea, 111-116.
31. Zeng, X. ve Sun, H., Interactive Image Recognition of Space Target Objects, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 272 (2017) 1-6.
32. Yan, Y., Wei, Z. ve Chen, C. W., Are You What You Look Like? Exploring Correlations in Personality Type and Their Wearing, Visual Communications and Image Processing, November 2016, Chengdu, China, 1-4.
33. Deng, L. L., Pre-detection Technology of Clothing Image Segmentation Based on GrabCut Algorithm, An International Journal Wireless Personal Communications, 97, 1 (2017) 1-12.
34. Khandelwal, P., Swarnalatha, Dr. P., Bisht, N. ve Prabu, Dr. S., Detection of Features to Track Objects and Segmentation using GrabCut for Application in Marker-less Augmented Reality, Procedia Computer Science, 58 (2015) 698-705.
35. Xu, S. ve Zhu, Q., Seabird image identification in natural scenes using Grabcut and combined features, Ecological Informatics, 33 (2016) 24-31.
36. Khattab, D., Theobalt, C., Hussein, A. S. ve Tolba M. F., Modified GrabCut for human face segmentation, Ain Shams Engineering Journal, 5 (2014) 1083-1091.
37. Sangüesa, A. A., Jørgensen, N. K., Larsen, C. A., Nasrollahi, K. ve Moeslund, T. B., Initiating GrabCut by Color Difference for Automatic Foreground Extraction of Passport Imagery, International Conference on Image Processing Theory Tools and Applications, December 2016, Oulu, Finland, 1-6.



38. Bosamiya, J. H., Agrawal, P., Roy, P. P. ve Balasubramanian, R., Script Independent Scene Text Segmentation using Fast StrokeWidth Transform and GrabCut, Asian Conference on Pattern Recognition, November 2015, Kuala Lumpur, Malaysia, 151-155.
39. Jiang, Y., Jiang, M., Luo, J., Gan, Z. ve Tang, J., An interactive Image retrieval method, IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, October 2016, Budapest, Hungary, 1-5.
40. Brkic, K., Sikiric, I., Hrkac, T. ve Kalafatic, Z., De-Identifying People in Videos using Neural Art, International Conference on Image Processing Theory Tools and Applications, December 2016, Oulu, Finland, 1-6.
41. Zhou, X., Wang, Y., Zhu, Q., Xiao, C. ve Lu, X., SSG: superpixel segmentation and GrabCut-based salient object Segmentation, The Visual Computer, 34,1 (2018) 1-14.
42. Ning, X., Zhu, W. ve Chen, S., Recognition, Object Detection and Segmentation of White Background Photos Based on Deep Learning, 32nd Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation, May 2017, Hefei, China, 182-187.
43. Li, X., Liu, K. ve Dong, Y., Superpixel-Based Foreground Extraction With Fast Adaptive Trimaps, IEEE Transactions On Cybernetics, (2017) 1-11.
44. Zivkovic, Z., Improved Adaptive Gaussian Mixture Model for Background Subtraction, International Conference on Pattern Recognition, August 2004, Cambridge, UK, 1-4.
45. Yu, M., Shen, S. ve Hu, Z., Dynamic Graph Cuts in Parallel, IEEE Transactions On Image Processing, 26, 8 (2017) 3775-3788.
46. Kim, G. ve Sim, J. Y., Depth Guided Selection of Adaptive Region of Interest for Grabcut-Based Image Segmentation, Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference, December 2016, Jeju, South Korea, 1-4.
47. Chen, D., Chen, B., Mamic, G., Fookes, C., Sridharan, S., Improved GrabCut Segmentation via GMM Optimisation, Digital Image Computing: Techniques and Applications, December 2008, Canberra, Australia, 39-45.
48. Han, S., Tao, W., Wang, D., Tai, X. C. ve Wu, X., Image Segmentation Based on GrabCut Framework Integrating Multiscale Nonlinear Structure Tensor, IEEE Transactions on Image Processing, 18, 10 (2009) 2289-2302.
49. Jahangiri, M. ve Heesch, D., Modified Grabcut For Unsupervised Object Segmentation, IEEE International Conference on Image Processing, November 2009, Cairo, Egypt, 2389-2392.

50. Kim, K. S., Yoon, Y. J., Kang, M. C., Sun, J. Y. ve Ko, S. J., An Improved GrabCut Using a Saliency Map, IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics, October 2014, Tokyo, Japan, 317-318.
51. Khattab, D., Ebied, H. M., Hussein, A. S. ve Tolba, M. F., Multi-label Automatic GrabCut for Image Segmentation, International Conference on Hybrid Intelligent Systems, December 2014, Kuwait, Kuwait, 152-157.
52. Vaiapury, K., Aksay, A. ve Izquierdo, A., GrabcutD: Improved Grabcut Using Depth Information, Surreal Media and Virtual Cloning, October 2010, Firenze, Italy, 57-62.
53. Khattab, D., Ebied, H. M., Hussein, A. S. ve Tolba, F., Color Image Segmentation Based on Different Color Space Models Using Automatic GrabCut, The Scientific World Journal, 2014 (2014) 1-10.
54. Lee, G. S., Lee, S. H., Kim, G. O., Park, J. H. ve Park, Y. S., A Modified GrabCut Using a Clustering Technique to Reduce Image Noise, Symmetry, 8, 7 (2016) 1-9.
55. Palmero, C., Esquirol, J., Bayo, V., Cos, M. Â., Ahmadmonfared, P., Salabert, J., Sánchez, D. ve Escalera, S., Automatic Sleep System Recommendation by Multi-modal RGB-Depth-Pressure Anthropometric Analysis, International Journal of Computer Vision, 122, 2 (2017) 212-227.
56. Ji, Y., Xia, Q. ve Zhang, Z., Fusing Depth and Silhouette for Scanning Transparent Object with RGB-D Sensor, International Journal of Optics, 2017 (2017) 1-11.
57. Bansal, S. ve Aggarwal, D., Color Image Segmentation using CIE Lab Color Space using Ant Colony Optimization, International Journal of Computer Applications, 29, 9 (2011) 28-34.
58. Nayyer, R. ve Sharma, B., Use and analysis of Color Models in Image Processing, International Journal of Advances in Scientific Research, 1,8 (2015) 329-330.
59. Ford, A. ve Roberts, A., Colour Space Conversions, <https://poynton.ca/PDFs/coloureq.pdf> 11 Nisan 2018.
60. Yılmaz, İ., Güllü, M., Baybura, T. ve Erdoğan, A. O., Renk Uzayları ve Renk Dönüşüm Programı (RDP), Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2,2 (2000) 19-35.
61. Fairchild, M. D., Color Appearance Models: CIECAM02 and Beyond, <http://rit-mcsl.org/fairchild/PDFs/AppearanceLec.pdf> 11 Nisan 2018.
62. <http://eilv.cie.co.at/term/1136> Commission International'de L'Eclairage. 11 Nisan 2018.
63. Pratt, W. K., Digital Image Processing: PIKS Inside, third edition, TBS, 2001.
64. Gonzalez, R. C. ve Woods, R. E., Digital Image Processing, 2nd edition, Addison-Wesley, 2002.

65. Vezhnevets, V., Sazonov, V. ve Andreeva, A., A Survey on Pixel-Based Skin Color Detection Techniques, GraphiCon, September 2003, Moscow, Russian Federation, 85-92.
66. Phung, S. L., Bouzerdoun, A. ve Chai, D., Skin segmentation using color pixel classification: analysis and comparison, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 27, 1 (2005) 148-154.
67. [http://tx.technion.ac.il/doc/intel/ipp/ipp\\_manual/IPPI/ippi\\_ch6/Images/ch6\\_color\\_models\\_7.jpg](http://tx.technion.ac.il/doc/intel/ipp/ipp_manual/IPPI/ippi_ch6/Images/ch6_color_models_7.jpg) ch6\_color\_models\_7.jpg. 11 Nisan 2018.
68. Sirel, İ. Ş, Kuramsal Renk Bilgisi, birinci baskı, 74 sayfa, İDMM Akademisi Yayınları, İstanbul, 1974.
69. <http://www.easyrgb.com/en/math.php> easyrgb.11 Nisan 2018.
70. <http://www.kansaialtan.com/terms/ara/CIE%20lab%20color%20system> kansaialtan. 11 Nisan 2018.
71. <http://www.coatsindustrial.com/tr/information-hub/apparel-expertise/colour-by-numbers> coatsindustrial. 11 Nisan 2018.
72. Jang, H., Shuli, X., Lee, M., So, H. ve So., S., Use of Artificial Neural Network for the Analysis of Color Expression of Granulated Blast Furnace Slag Mortar Using Carbon Amino Silica Black, Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 17 (2017) 1-6.
73. Gramazio, C., CIECAM02 Color <http://gramaz.io/d3-cam02/> 11 Nisan 2018.
74. Tastl, I., Bhachech, M., Moroney, N., Holm, J., ICC Color Management and CIECAM02, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.85.9552&rep=rep1&type=pdf> 11 Nisan 2018.
75. Luo, M., ve Li, C., Advanced Color Image Processing and Analysis, CIECAM02 and Its Recent Developments, 1.st Edition, Springer, New York, 2013.
76. Smith, N. J., colorspaceious. <http://colorspacious.readthedocs.io/en/latest/reference.html> 11 Nisan 2018.
77. Biggs, B., Notes on the CIECAM02 Colour Appearance Model. <http://scanline.ca/ciecam02/> 11 Nisan 2018.
78. Luo, M. R., Cui, G. ve Changjun, L., Uniform colour spaces based on CIECAM02 colour appearance model, Color Research & Application, 31, 4 (2006), 320-330.
79. Li, C., Li, Z., Wang, Z. ve Xu, Y., Comprehensive color solutions: CAM16, CAT16, and CAM16-UCS, Color Research & Application, 42, 6 (2017) 703-718.

80. Safdar, M., Cui, G., Kim, Y. J. ve Luo, M. R., Perceptually uniform color space for image signals including high dynamic range and wide gamut, Optics Express, 25, 13 (2017) 15131-15151.
81. Ritika ve Kaur, S., Contrast Enhancement Techniques for Images–A Visual Analysis, International Journal of Computer Applications, 64,17 (2013) 20-25.
82. Starck, J. L., Murtagh, F., Candès, E. J. ve Donoho, D. L., Gray and Color Image Contrast Enhancement by the Curvelet Transform, IEEE Transactions On Image Processing, 12, 6 (2003) 706-717.
83. Majumder, A. ve Irani, S., Perception-Based Contrast Enhancement of Images, Transactions on Applied Perception, 4, 3 (2007) 1-22.
84. Petro, A. B., Sbert, C. ve Morel, J. M., Multiscale Retinex, Image Processing On Line, 4, (2014) 71-88.
85. Kaur, K. ve Gupta, N., Performance Evaluation Of Dbla, Hsv-Clahe & Rgb-Clahe Based Image Enhancement, International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science, 3,4 (2014) 188-195.
86. Yoon, H., Han, Y. ve Hahn, H., Image Contrast Enhancement based Sub-histogram Equalization Technique without Over-equalization Noise, International Journal of Computer Science and Engineering, 3, 2 (2009) 189-195.
87. Yussof, W. N. J. H. W., Hitam, M. S., Awalludin, E. A. ve Bachok, Z., Performing Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization Technique on Combined Color Models for Underwater Image Enhancement, International Journal of Interactive Digital Media, 1, 1 (2013) 1-6.
88. Haller, E. A., Adaptive histogram equalization in GIS, Annals of the University of Craiova, Mathematics and Computer Science Series, 38,1 (2011) 100-104.
89. Pizer, S. M., Amburn, E. P., Austin, J. D., Cromartie, R., Geselowitz, A., Greer, T., Romeny, B. T. H. ve Zimmerman, K., Adaptive histogram equalization and its variations, Journal Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 39, 3 (1987) 355-368.
90. Kurt, B. ve Nabiyev, V. V., Dijital Mamografi Görüntülerinin Kontrast Sınırlı Adaptif Histogram Eşitleme ile İyileştirilmesi, VII. Ulusal Tıp Bilişimi Kongresi Bildirileri, Ekim 2010, Mağusa, KTTC, 67-78.
91. Pizer, S. M., Johnston, R. E., Yankaskas, B. C., Muller K. E. ve Ericksen, J. P., Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization: Speed and Effectiveness, Proceedings of the First Conference on Visualization in Biomedical Computing, May 1990, Atlanta, GA, USA, 337-345.

92. Verma, R. ve Ali, J., A Comparative Study of Various Types of Image Noise and Efficient Noise Removal Techniques, International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, 3,10 (2013) 617-622.
93. Kaur, S., Noise Types and Various Removal Techniques, International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering, 4, 2 (2015) 226-230.
94. Boyat, A. K. ve Joshi, K., A Review Paper: Noise Models In Digital Image Processing, Signal & Image Processing : An International Journal, 6,2 (2015) 63-75.
95. Perona, P. ve Malik, J., Scale-Space and Edge Detection Using Anisotropic Diffusion, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 12, 7 (1990) 629-639.
96. [url:www.robots.ox.ac.uk/~vgg/data/iseg/](http://www.robots.ox.ac.uk/~vgg/data/iseg/), Geodesic Star Convexity, 11 Nisan 2018.
97. Ren, D., Jia, Z., Yang, J. ve Kasabov, N. K., A Practical GrabCut Color Image Segmentation Based on Bayes Classification and Simple Linear Iterative Clustering, IEEE Access, 5 (2017) 18480-18487.
98. Alata, O. ve Quintard, L., Is there a best color space for color image characterization or representation based on Multivariate Gaussian Mixture Model?, Computer Vision and Image Understanding, 113 (2009) 867-877.
99. Khattab, D., Ebied, H. M., Hussein, A. S. ve Tolba, M. F., A Comparative Study of Different Color Space Models Using FCM-Based Automatic GrabCut for Image Segmentation, Computational Science and Its Applications, June 2015, Banff, AB, Canada, 489-501.
100. Griffin, G., Holub, A., Perona, P.: The Caltech-256 Object Category Dataset. Technical report, Caltech 11 Nisan 2018.
101. Taha, A. A. ve Hanbury, A., Metrics for evaluating 3D medical image segmentation: analysis, selection, and tool., BMC Medical Imaging, 15,29 (2015) 1-28.
102. Sasi, N. M. ve Jayasree, V. K., Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization for Qualitative Enhancement of Myocardial Perfusion Images, Engineering, 5 (2013) 326-331.
103. Wu, J. K., Kankanhalli, M. S., Lim, J. H. ve Hong, D., Perspectives on Content-Based Multimedia Systems, 1.st edition, 391, Springer, USA, 2000.
104. <http://www.cie.co.at> Commission International'de L'Eclairage. 11 Nisan 2018.
105. <http://en.pudn.com/Download/item/id/436522.html> Pund. 11 Nisan 2018.

## ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında Trabzon'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Fatih İlköğretim Okulu, lise öğrenimini Trabzon Lisesi'nde tamamladı. 2009 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde lisans programına başladı ve 2014 yılında bu bölümden mezun oldu. 2015 yılı itibari ile Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Yabancı dil olarak iyi seviyede İngilizce bilmektedir. Yüksek lisans dönemi boyunca yapılan yayınlar aşağıda verilmektedir.

1. Aykut, M. ve Aktürk, S. M., Perception Based Improved GrabCut for Image Segmentation, 7th International Conference on Advanced Technologies, 28 Apr-01 May 2018, Antalya, Türkiye, 1-4.
2. Aktürk, S. M. ve Aykut, M., GrabCut Etkileşimli Bölütleme Yöntemi Üzerinde Giriş Renk Uzaylarına Dayalı Bir İyileştirme, 26. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, 2-5 Mayıs 2018, Çeşme-İzmir, Türkiye, 1-4.
3. Aykut, M. ve Aktürk, S. M., An Improvement on GrabCut with CLAHE for the segmentation of the objects with ambiguous boundaries, 15. International Conference on Image Analysis and Recognition, 27-29 June 2018, Póvoa de Varzim, Portugal, 1-6.