

KONTRAST VE PARLAKLIK AYARLI GÖLGE MODELİ İLE GÖLGELERİN KALDIRILMASI

SHADOW REMOVAL USING CONTRAST AND ILLUMINATION ADJUSTED SHADOW MODEL

GÖKHAN TAŞKIN

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

ELEKTRİK ve ELEKTRONİK Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2011

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından **ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA-BİLİM DALI 'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan :
Doç. Dr. Ali Ziya ALKAR

Üye :
Doç. Dr. Atila YILMAZ

Üye :
Doç. Dr. Cenk TOKER

Üye :
Yrd. Doç. Dr. Harun ARTUNER

Üye (Danışman) :
Yrd. Doç. Dr. Umut SEZEN

ONAY

Bu tez/...../..... tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

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

Prof. Dr. Adil DENİZLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

KONTRAST VE PARLAKLIK AYARLI GÖLGE MODELİ İLE GÖLGELERİN KALDIRILMASI

Gökhan TAŞKIN

ÖZ

Gölgeler, hedef takip ve imge bölütleme gibi bazı görüntü uygulamalarında problemlere sebep olabilirler. Örneğin hedef takip uygulamalarında hedeflerin gölgeli alana girdikten sonra takip edilemediği gözlenmiştir. Bu gibi sorunları gidermek amacıyla, görüntüler üzerindeki gölgelerin bulunmasını ve kaldırılmasını sağlayan çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu tezde, gölgenin yapısı ve gölge kaldırma yöntemleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Gölge bulma yöntemlerine değinilmiştir. Açık havada oluşan gölgeler için yarı ve tam gölge modelleri oluşturulmuştur. Bu kapsamda açık havada bilinen yüzeylerde düşürülen gölgeler oluşturulmuştur ve gölge analizleri yapılmıştır. Analizlerde renkli görüntüler kullanılmıştır. Analizler sonucunda tam gölgenin her durumda sabit dağılmadığı gözlenmiştir ve bu durumu düzeltmek için gölge içinde kontrast ve parlaklık ayarı sağlayan farklı bir model geliştirilmiştir. Bu model, Kontrast Düzeltmeli Gauss Dağılımlı Gölge Kaldırma (KGGK) olarak isimlendirilmiştir. Bu model gölgeli görüntülere uygulanarak gölgesi kaldırılmış görüntüler elde edilmiş ve sunulmuştur. Algoritmalar MATLAB ortamında hazırlanmıştır ve algoritmaların başarımları aynı ortamda incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Açık Hava Görüntülerinde Gölgenin Kaldırılması, Kontrast ve Parlaklık Ayarlı Gölge Modeli, Tam Gölgenin ve Yarı Gölgenin Modellenmesi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Umut SEZEN, Hacettepe Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü.

SHADOW REMOVAL USING CONTRAST AND ILLUMINATION ADJUSTED SHADOW MODEL

Gökhan TAŞKIN

ABSTRACT

Shadows can cause problems for image processing algorithms like object tracking and image segmentation. It is observed that, whenever a target enters a shadowed area, object tracking algorithms fail. To overcome that kind of problems, various methods are produced to find and remove shadows on images. In this thesis, studies for shadow structure and shadow removal methods were made. Shadow identification methods are discussed. Umbra and penumbra models are generated for outdoor shadows. Cast shadowed areas are created over known surfaces in the open air, and shadow analyses are performed. Color images are used in these analyses. The results of these analyses show that, umbra is not distributed constantly in all cases. To nullify this effect a different model, which compensate both contrast and illumination for shadows, is developed. This model is named as Contrast Compensated Gaussian Distributed Shadow Removal (CGSR). By applying this model on images containing shadows, corresponding shadow-free images are obtained and presented. The algorithms are created on MATLAB environment, and the success of them are observed on the same environment.

Keywords: Shadow Removal on Outdoor Images, Contrast and Illumination Adjustable Shadow Model, Penumbra and Umbra Modelling

Advisor: Asst. Prof. Dr. Umut SEZEN, Hacettepe University, Department of Electrical and Electronics Engineering.

TEŞEKKÜR

Bu tezin oluşmasında değerli fikir ve yardımları ile büyük katkıları olan danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Umut SEZEN'e,
Yüksek lisans çalışmalarına sağladığı olanaklar ile destek olan ASELSAN A.Ş.'ye,
Tüm öğrenim hayatım boyunca maddi manevi desteğini esirgemeyen aileme
ve
Çalışmalarım süresince gösterdiği anlayış, sabır ve sevgiyle yanımda olan Lale DEMİREL'e

Teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
KISALTMALAR DİZİNİ	x
SÖZLÜKÇE	xi
1 GİRİŞ	1
2 GÖLGE	8
2.1 Gölgenin yapısı	8
2.2 Görüntünün ayrıştırılması	9
3 GÖLGELERİN BULUNMASI	12
3.1 Gölge bulma yöntemleri	12
3.2 Yüzey bilgisi ile gölgelerin bulunması	12
3.3 Değişimsiz görüntü ile gölgelerin bulunması	15
3.4 Flaşlı ve flaşsız aydınlatma	17
4 GÖLGELERİN KALDIRILMASI	18
4.1 RETINEX teorisi	18
4.2 Gölge kaldırma yöntemleri	19
4.3 Tam gölge kaldırma yöntemleri	22
4.3.1 Birden fazla yol yardımıyla gölge kaldırma	22
4.3.2 Tek yol yardımıyla gölge kaldırma	25
4.3.3 Basit gölge kaldırma	26
4.3.4 İki boyutta tümlev alarak gölge kaldırma	28

4.4	Yarı gölge kaldırma yöntemi	31
5	TAM GÖLGE MODELİ GELİŞTİRİLMESİ	35
5.1	Model analizleri	41
5.1.1	Senaryo 1'in sonuçları	43
5.1.2	Senaryo 2'nin sonuçları	46
5.1.3	Senaryo 3'ün sonuçları	48
5.1.4	Senaryo 4'ün sonuçları	51
5.1.5	Senaryo 5'in sonuçları	54
5.1.6	Senaryo 6'nın sonuçları	57
5.1.7	Senaryo 7'nin sonuçları	59
6	KONTRAST DÜZELTMELİ GAUSS DAĞILIMLI GÖLGE KALDIRMA	62
6.1	Yarı gölgelerin kaldırılması	63
6.2	Tam gölge modeli için verilerin oluşturulması	68
6.3	Tam gölge modeli için oluşturulan verilerin incelenmesi	69
6.4	Tam gölgelerin kaldırılması	73
6.5	KGGK yöntemi sonuçları	75
6.6	KGGK yönteminin farklı renk düzlemlerinde uygulanması	80
7	SONUÇLAR VE YORUMLAR	84
	KAYNAKLAR	88
A	RGB ve YCbCr DÜZLEMLERİ ARASINDAKİ GEÇİŞ FORMÜLLERİ	92
B	RGB ve HSV DÜZLEMLERİ ARASINDAKİ GEÇİŞ KODLARI	93
	ÖZGEÇMİŞ	95

ÇİZELGELER DİZİNİ

5.1	Senaryo 1'in OKH değerleri	44
5.2	Senaryo 2'nin OKH değerleri	47
5.3	Senaryo 3'ün OKH değerleri	49
5.4	Senaryo 4'ün OKH değerleri	52
5.5	Senaryo 5'in OKH değerleri	55
5.6	Senaryo 6'nın OKH değerleri	57
5.7	Senaryo 7'nin OKH değerleri	60

ŞEKİLLER DİZİNİ

1.1	Işıklandırma ve yansıma	2
2.1	Kartalın gölgesi	8
2.2	Düşürülen gölge ve kendini gölgeleme	9
2.3	Tam gölge ve yarı gölge	9
2.4	Işının yansıması	10
2.5	Gölge yoğunluğu	11
3.1	Gölgeli görüntü ve gölgesiz yüzey görüntüsü	13
3.2	Gölgeli görüntünün HSV kanalları	14
3.3	Yüzey görüntüsünün HSV kanalları	14
3.4	Gölge haritası	14
3.5	Orijinal görüntü, 2D renklilik görüntüleri ve değişimsiz görüntü	16
3.6	Gölge sınırları	16
3.7	Flaşlı ve flaşsız görüntüyle gölge sınırlarının oluşturulması	17
4.1	İki boyuttan tek boyuta geçiş	20
4.2	Orijinal görüntü ve gölge sınırları	22
4.3	Birden fazla yol yardımıyla gölge kaldırma	23
4.4	Birden fazla yol yardımıyla gölge kaldırma çıktısı	24
4.5	Birden fazla yol yardımıyla gölge kaldırma bildirisinin çıktısı	24
4.6	Tek yol yardımıyla gölge kaldırma	26
4.7	Tek yol yardımıyla gölge kaldırma bildirisinin çıktısı	26
4.8	Gölge sınırları üstünde yapılan incelemeler	27
4.9	Basit gölge kaldırma çıktıları	28
4.10	İki boyutta tümlev alarak gölge kaldırma yönteminin çıktısı	30
4.11	Yarı gölge modeli	32

4.12 Yarı gölge modeliyle gölge kaldırma yönteminin çıktısı	33
5.1 Gri tonlu görüntü ve dağılımı	35
5.2 Farklı renk kanallarında gölgesiz ve gölgeli görüntünün farkları	38
5.3 Senaryolar	42
5.4 Senaryo 1'in çıktıları	44
5.5 Senaryo 1'in histogramları	45
5.6 Senaryo 2'nin çıktıları	46
5.7 Senaryo 2'nin histogramları	47
5.8 Senaryo 3 ve 4'te kullanılan görüntüler	48
5.9 Senaryo 3'ün çıktıları	49
5.10 Senaryo 3'ün histogramları	50
5.11 Senaryo 3'te cisimlerin oluşturduğu gölgeler	51
5.12 Senaryo 4'ün çıktıları	52
5.13 Senaryo 4'ün histogramları	53
5.14 Senaryo 4'ün gölgeli ve gölgesiz görüntülerinin histogramları	54
5.15 Senaryo 5'in çıktıları	55
5.16 Senaryo 5'in histogramları	56
5.17 Senaryo 6'nın çıktıları	57
5.18 Senaryo 6'nın histogramları	58
5.19 Senaryo 7'nin çıktıları	59
5.20 Senaryo 7'nin histogramları	60
5.21 Parlamalar ve kararmalar	61
6.1 Yarı gölgelerin kaldırılması	65
6.2 Tam gölge modeli için verilerin oluşturulması	69
6.3 Gölge sınırı ve alanı	70
6.4 Elde edilen veriler	70
6.5 Çekirdeklerin seçimi	71

6.6 Benzeşim çekirdekleri	73
6.7 KGGK yöntemi çıktısı	74
6.8 Yöntemlerin çıktılarının kıyaslanması	76
6.9 KGGK yöntemiyle yeşil ağırlıklı yüzeyde gölge kaldırma	77
6.10 KGGK yöntemiyle yeşil ağırlıklı yüzeyde gölge kaldırma	77
6.11 KGGK yöntemiyle düşürülen gölgenin kaldırılması	78
6.12 KGGK yöntemiyle yazılı bir metinde gölge kaldırma	78
6.13 KGGK yöntemiyle geniş alanda oluşmuş gölgenin kaldırılması	79
6.14 KGGK yöntemiyle kartalın gölgesinin kaldırılması	79
6.15 Farklı renk düzlemlerinde gölge	80
6.16 YCbCr düzleminde RGB düzlemine geçiş	81
6.17 KGGK yönteminin farklı renk düzlemlerinde elde edilen sonuçları	82

KISALTMALAR DİZİNİ

2D	: İki boyutlu
BGK	: Basit Gölge Kaldırma
ÇEGK	: Sabit Çarpanlı Sabit Eklemeli Gölge Kaldırma
FPGA	: Alanda programlanabilir kapı dizileri
GEGK	: Gauss Dağılımı Eklemeli Gölge Kaldırma
HSV	: Renk tonu, doygunluk, değer (Hue, saturation, value)
KGK	: Kontrast Düzeltmeli Gauss Dağılımlı Gölge Kaldırma
OKH	: Ortalama karesel hata
RETINEX	: Retina ve korteks (Retina and cortex)
RGB	: Kırmızı, yeşil, mavi (Red, green, blue)
YCbCr	: Parlaklık, mavi renk bilgisi, kırmızı renk bilgisi (Luminance, chroma blue, chroma red)

SÖZLÜKÇE

Açık hava	: Outdoor
Açıklık	: Lightness
Alanda programlanabilir kapı dizileri	: Field programmable gate arrays
Algı	: Perception
Bina tanıma	: Building recognition
Değişimsiz görüntü	: Invariant image
Düşürülen gölge	: Cast shadow
Eğri uydurumu	: Curve fitting
Eniyileme	: Optimization
Eşikleme	: Thresholding
Frame	: Çerçeve
Gauss dağılımı	: Gaussian distribution
Gauss karaltısı	: Gaussian blur
Gerçek zamanlı	: Real time
Hedef takip	: Object tracking
Işıklandırma	: Illumination
İç mekan	: Indoor
İmge bölütleme	: Image segmentation
İnsan tanıma	: Human recognition
Kendini gölgeleme	: Self shadow
Kontrast	: Contrast
Kontrast artırma	: Contrast stretching
Maliyet fonksiyonu	: Cost function
Nesne tanıma	: Object recognition
Nicemleme	: Quantization
Ortalama karesel hata	: Root mean square error

Ortanca süzgeci	: Median filter
Ölü piksel	: Dead pixel
Parlaklık	: Intensity
Renklilik	: Chromaticity
Resim tamiri	: Image inpainting
Seyyar satıcı problemi	: Traveling salesman problem
Sözde kod	: Pseudo code
Tam gölge	: Umbra
Yansıma	: Reflection
Yarı gölge	: Penumbra
Yol	: Path

1 GİRİŞ

Gölge, görüntü işleme algoritmalarında performans düşüşüne veya hatalı sonuçların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Gölge, yüzeyi kararttığı için yüzeyin algılanmasını zorlaştırmaktadır. Bazı görüntü işleme uygulamalarında gölgenin etkisinden kurtulmak için gölge kaldırma algoritmaları uygulanmaktadır. Bazı durumlarda da gölge sayesinde gölgesi düşürülen cisim tanımlanmaktadır [1], [2].

Aşağıda gölge kaldırma algoritmalarının kullanıldığı bazı görüntü işleme uygulamaları gösterilmiştir:

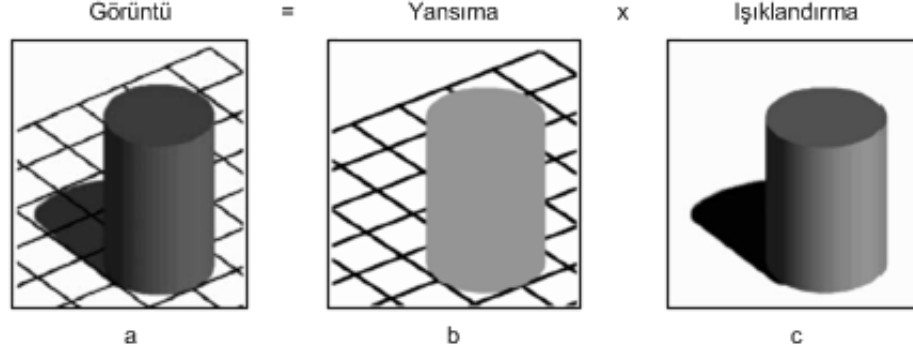
- Hedef takip algoritmaları [3], [4]
- İmge bölütleme algoritmaları [5]
- Nesne tanıma algoritmaları [6], [7]

Hedef takip uygulamalarında hedef, gölgesiz alandan gölgeli alana girdiğinde, hedefin takip edilemediği gözlenmiştir. İmge bölütleme uygulamalarında gölge istenmeyen bölümlerin oluşmasına sebep olabilmektedir. Nesne tanıma uygulamalarında gölge altında kalan cisimlerin tanımlanma başarıları düşmektedir [7].

Tenenbaum ve Barrow, görüntüyü iki kısma ayıracak bir fikir ortaya koymuşlardır. Birinci kısım görüntü üzerindeki ışıklandırma değişimlerini takip ederken ikinci kısım yansıma değişikliklerini takip etmektedir [8].

Uzun bir süre ışıklandırma ve yansıma arasındaki bağlantı tanımlanamamıştır. Daha sonra Weiss geliştirdiği yöntemle bir yüzeyin farklı ışıklandırma koşullarıyla elde edilmiş görüntülerini kullanarak yansıma bilgisini elde etmeyi başarmıştır [9]. Yansıma görüntüsünde gölge bulunmamaktadır. Şekil 1.1'de [9] ışıklandırma ve yansıma

ayırışması gösterilmiştir.



Şekil 1.1: Işıklandırma ve yansımada

Gölge bulma işlemleri üç farklı durum için gözlenmiştir. Bu durumlar aşağıda sıralanmıştır.

- Yüzey bilgisinin kullanıldığı uygulamalar [10]
- Yüzey bilgisinin kullanılmadığı dış mekan uygulamaları [11], [12]
- Yüzey bilgisinin kullanılmadığı iç mekan uygulamaları [13]

Yüzey bilgisi ile gölge özelliklerinin beraber kullanılması sayesinde görüntülerde ve videolarda gölgeler bulunmaktadır. Bu yöntemlerde yüzey bilgisi görüntüsü ile anlık elde edilen görüntünün kıyaslanması sonucunda gölge alanları bulunmaktadır. Trafikte araçları tanımak için [14] veya uydu görüntülerinde binaları bulmak için bu yöntem tercih edilmektedir [15]. Yüzey bilgisi sayesinde renksiz görüntülerde de gölgeler bulunmaktadır. Yüzey bilgisiyle gölge bulma, alanda programlanabilir kapı dizileriyle (FPGA) gerçek zamanlı uygulanmaktadır [16].

Yüzey bilgisinin kullanılmadığı dış mekan uygulamalarında farklı ışıklandırma koşulları ile elde edilmiş görüntüler analiz edilerek değişimsiz görüntü oluşturulur. Değişimsiz

görüntüde gölge bilgisi bulunmamaktadır. Değişimsiz görüntüyle gölgeli görüntünün kıyaslanması sonucunda gölge sınırları elde edilmektedir.

Yüzey bilgisinin kullanılmadığı iç mekan uygulamalarında gölge kaldırma işlemleri flaş yardımıyla yapılmaktadır. İç mekanda elde edilen gölgeli görüntü, flaş yardımıyla elde edilen gölgesiz görüntüyle kıyaslanarak gölge sınırları elde edilmektedir [13].

Gölge kaldırma işlemleri, gölge sınırları etrafında [11], [17], [18] veya gölge alanında yapılmaktadır [19]. Gölge sınırları veya alanları gölge bulma işlemleriyle elde edilebilir veya kullanıcı gölge sınırlarını, görüntü üstünde basit bir şekilde çizebilir. Gölge kaldırma yöntemleri elde edilen gölge sınırlarının doğruluğuna göre başarılı olmaktadır. Gölge sınırlarının hatalı verilmesi durumunda gölge kaldırma işlemi yapılmaması gereken bölümlerde gölge kaldırma işlemi yapılabilir ve bu durumda görüntü üstünde bozulmalar oluşabilir. Bazı yöntemler gölge sınırlarında işlem yapmamaktadır. Bu durumda gölge sınırları etrafında yarı gölgeler aranmaktadır ve yarı gölge alanlarında gölge kaldırma işlemi yapılmaktadır [20]. Bu şekilde gölge kaldırma işlemlerinde hata yapma oranı azalmaktadır.

Gölge kaldırma işlemlerinde amaç, gölgesiz alanla gölgeli alan arasındaki parlaklık ve kontrast farklarını azaltmaktır. Land, gölge kaldırma problemi için ilk yöntem geliştiren kişilerdendir [21], [22]. Land, gölge sınırlarında yapılan işlemlerle gölgeleri kaldırmayı denemiştir. Görüntü sınırlarında renk kanallarında görüntünün gradyanını sıfıra eşitleyerek gölgeli alanın parlaklık seviyesini gölgesiz alanın parlaklık seviyesine eşitlemeye çalışmıştır.

Farklı durumlar için farklı gölge kaldırma işlemleri yapılmaktadır. Bina tanıma uygulamalarında binanın geometrisi ve güneş ışınlarının yönü kullanılarak gölge kaldırma işlemleri yapılmaktadır [23].

Sadece insan gölgelerine yönelik gölge kaldırma işlemleri de bulunmaktadır. Bu yöntemler sayesinde insanları takip etmek için kullanılan algoritmalar daha etkili çalışmaktadır [4]. Benzer çalışmalar insan tanıma algoritmalarında da kullanılmaktadır [24].

Işık kaynağının yönü her gölge kaldırma işleminde kullanılmaz. Işık kaynağının yönü bilinmeden de gölgeler kaldırılmaktadır [25].

Gölge kaldırma işlemleri, iç ve dış mekanlarda [26] farklı şekillerde uygulanmaktadır. Dış mekan uygulamalarında güneş ışığı daha etkiliyken, iç mekan uygulamalarında güneş ışığından çok ortamın ışık şiddeti etkindir. İç mekan uygulamalarında birden fazla ışık kaynağı olabilmekte ve bu durumda bir cismin birden fazla gölgesi oluşabilmektedir.

Bu tez çalışmasında dış mekan uygulamalarında yüzey bilgisinin kullanılmadığı beş farklı yöntem incelenmiş ve MATLAB ortamında uygulanmıştır.

Bu yöntemler aşağıda ifade edilmiştir:

- Tam gölge kaldırma yöntemleri
 - Birden fazla yol yardımıyla gölge kaldırma [17]
 - Tek yol yardımıyla gölge kaldırma [18]
 - Basit gölge kaldırma [19]
 - İki boyutta tümlev alarak gölge kaldırma [11]
- Yarı gölge kaldırma yöntemi [20]

Tam gölge kaldırma yöntemleri, yarı gölgeden bağımsız olarak işlem yapmaktadırlar. Gölge sınırlarını yarı gölgeyi kapsayacak şekilde genişletmekteler ve bu sayede tam

gölge ile gölgesiz arasında bağlantı kurmaktadırlar, parlaklık farkını kaldırmaktadırlar. Gölge sınırlarında resim tamir yöntemlerini uygulamaktadırlar [27]. Birden fazla yol yardımıyla gölge kaldırma ve tek yol yardımıyla gölge kaldırma yöntemleri görüntüyü iki boyuttan bir boyuta indirdikten sonra gölge sınırlarında parlaklık değerlerinin gradyanının sıfıra eşitlemektedirler. Basit gölge kaldırma yöntemi gölge sınırının etrafında gölgeli ve gölgesiz piksel değerlerini örneklemekte ve eniyileme işlemleri yardımıyla gölgeyi kaldırmaktadır. İki boyutta tümlev alarak gölge kaldırma yöntemi gölge kaldırma işlemini x ve y boyutunda yapmaktadır. Gölge sınırlarında parlaklığın gradyanını sıfıra eşitlemektedir.

Yarı gölge modeliyle gölge kaldırma yöntemi, iki boyutta tümlev alarak gölge kaldırma yönteminden farklı olarak gölge sınırlarında gradyanları sıfıra eşitlememekte, bunun yerine gölge sınırları etrafında yarı gölgeleri aramaktadır. Gölge kaldırma işlemi, gölge sınırları yerine yarı gölgelerde yapılmaktadır. Yarı gölgeler, gölgesiz alanla gölgeli alan arasındaki tampon bölgedir. Yarı gölge modelinin görüntü üstünde geri uygulanmasıyla gölge kaldırılmaktadır [20]. Bu yöntemde kullanılan yarı gölge modeli bu tez kapsamında geliştirilen Kontrast Düzeltmeli Gauss Dağılımlı Gölge Kaldırma (KGGK) yönteminde de kullanılmıştır [28]. Bu yarı gölge modeli açık hava uygulamalarında kullanılmaktadır, çünkü yarı gölgenin gölgeli ve gölgesiz alandaki kapladığı alan eşit olarak kabul edilmiştir.

Bu tez çalışmasında dış mekanlarda oluşan gölgelerin tam gölge kısımları incelenmiştir ve bu bilgiyle tam gölge modeli oluşturulmaya çalışılmıştır. Oluşturulan modelde gölge kaldırma işlemlerinde kullanılmıştır. Modelin farklı senaryolara uyumlu olması sağlanmıştır.

Model ve gölge kaldırma işlemi için bazı kısıtlamalar oluşturulmuştur.

Aşağıda bu kısıtlamalar ifade edilmiştir:

- Görüntüler açık alanda çekilmelidir.
- Yüzeye bağımlı işlem yapılmamalıdır.
- Gölgenin geometrisi kullanılmamalıdır.

Bu tez çalışmasında bütün algoritmalar MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir. Her denemede tek bir gölge üstünde çalışılmıştır. Gölgeyi oluşturan cisimlerin geometrik bilgileri kullanılmamıştır. Her deneme bu tez kapsamında oluşturulan veya oluşturulmuş tam gölge modelleriyle test edilmiştir. Gölge modellerinin oluşturulması için bilinen yüzeylere gölge düşürülmüştür ve elde edilen görüntü aynı yüzeyin gölgesiz durumu ile kıyaslanmıştır. Gölge sınırları eksik verilmemiştir. Tam gölgenin kaldırılması için farklı yöntemler kullanılmıştır. Her yöntem farklı tam gölge modelleri içermektedir.

Aşağıda bu yöntemler verilmiştir:

- Gauss Dağılımı Eklemeli Gölge Kaldırma (GEGK)
- Sabit Çarpanlı Sabit Eklemeli Gölge Kaldırma (ÇEGK)
- Kontrast Düzeltmeli Gauss Dağılımlı Gölge Kaldırma (KGGK)

GEGK yöntemi, tam gölgeyi sadece parlaklıkla ifade etmeye çalışmıştır. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda tam gölgenin sabit parlaklıkla dağılmadığı gözlenmiştir. Tam gölgenin bir bölüm etrafında şiddetlendiği ve bu bölüm etrafından gölge sınırlarına doğru azalarak dağıldığı gözlenmiştir. Bu sebeple GEGK yönteminde Gauss dağılımı kullanılmıştır. Tam gölge Gauss dağılımıyla ifade edilmiştir.

ÇEGK yönteminde kontrast artırma işlemi yapılmıştır. Kontrast artırma işlemi, gölgeli alanla gölgesiz alan arasındaki parlaklık farkı etrafında yapılmıştır.

KGGK yönteminde, ÇEGK yönteminden farklı olarak kontrast artırma işlemi Gauss parlaklık dağılımı etrafında yapılmıştır.

Bölüm 2’de gölgenin yapısı incelenmiştir. Tam gölgenin ve yarı gölgenin tanımları yapılmıştır. Bu incelemeler sonucunda tam gölgenin ve yarı gölgenin dağılımları daha iyi anlaşılmıştır.

Bölüm 3’te gölge bulma yöntemlerine değinilmiştir. Gölge bulma algoritmalarının nasıl ve hangi senaryolarda kullanıldığı matematiksel altyapılarıyla beraber anlatılmıştır.

Bölüm 4’te gölge kaldırma algoritmaları incelenmiştir. Algoritmaların işleyişleri ve kullandıkları alt fonksiyonlar anlatılmıştır. Gölge sınırlarında uygulanan resim tamir yöntemlerine değinilmiştir.

Bölüm 5’te tam gölge modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerin kullanıldığı yöntemlerin işleyişi ve yöntemlerde kullanılan verilerin elde edilişi gösterilmiştir. Bu yöntemle elde edilen gölgesiz görüntüler sunulmuştur. Yöntemler arasında kıyaslamalar yapılmıştır.

Bölüm 6’da KGGK yönteminin sadece gölgeli görüntünün kullanıldığı durumlarda uygulanışı anlatılmıştır. Uygulamanın adımları ve işleyişi ifade edilmiştir. Yöntemin sonuçları gösterilmiştir. Yöntemin farklı renk sistemlerindeki çıktıları sunulmuştur.

Bölüm 7’de bu tez kapsamında elde edilen sonuçlar sunulmuş ve yorumlar yapılmıştır.

2 GÖLGE

Bu bölümde gölgenin yapısı anlatılmıştır. Yarı ve tam gölgeye ait detaylı bilgiler verilmiştir ve matematiksel açıklamaları yapılmıştır.

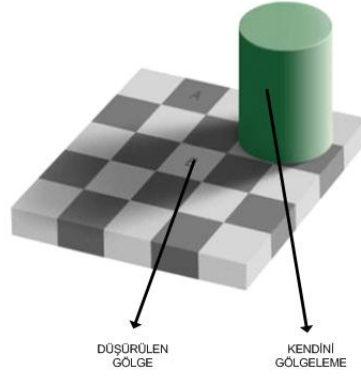
2.1 Gölgenin yapısı

Gölgenin şekli, gölgenin oluşmasına neden olan cismin şekline bağlıdır. Şekil 2.1’de [29] bir kartalın gölgesi gösterilmektedir. Gölge, güneş ışınlarının gelme açısına ve kartalın şekline bağlı olarak oluşmuştur.



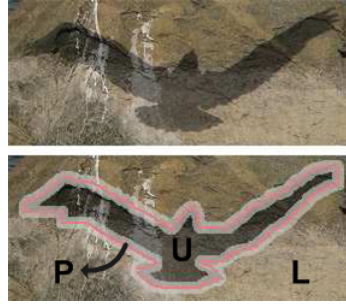
Şekil 2.1: Kartalın gölgesi

Yapısal olarak gölge, düşürülen gölge ve kendini gölgeleme şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Düşürülen gölge saydam olmayan cisim tarafından ışığın engellenmesiyle oluşmaktadır. Kendini gölgeleme ise cismin ışık almayan bölgesinde oluşmaktadır. Şekil 2.2’de kendini gölgeleme ve düşürülen gölge sunulmuştur.



Şekil 2.2: Düşürülen gölge ve kendini gölgeleme

Düşürülen gölgeyi iki kısma ayırmak mümkündür. Gölgenin hiç bir şekilde ışık ile temas etmeyen bölümüne tam gölge, geri kalan kısmına ise yarı gölge denmektedir. Şekil 2.3'te [29] L ile gölgesiz alan; P ile yarı gölge; U ile tam gölge gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Tam gölge ve yarı gölge

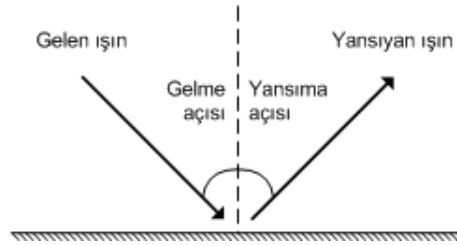
2.2 Görüntünün ayrıştırılması

Bir görüntünün herhangi bir kanalını, iki boyutlu bir fonksiyon olan $S(y, x)$ şeklinde ifade edebiliriz.

Işığın oluşması için enerji harcanmaktadır. Harcanan enerji sıfırdan büyük ve sonsuzdan küçük olduğu için $S(y, x)$ aşağıda gösterildiği gibi ifade edilmektedir.

$$0 < S(y, x) < \infty \quad (2.1)$$

Işın, ışık enerjisinin yayılma doğrultusunu gösteren çizgidir. Işın, bir yüzeye çarptıktan sonra yansımaktadır. Yansıma açısı, yüzey şekline bağlı olarak değişmektedir. Şekil 2.4'te ışının yansıması gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Işının yansıması

İlk kez Tenenbaum ve Barrow görüntünün ayrıştırılması fikrini ortaya koymuşlardır. Görüntünün iki parçadan oluştuğunu düşünmüşlerdir. Bu parçalar yansıma $R(y, x)$ ve ışıklandırma $L(y, x)$ olarak adlandırılmıştır. Aşağıda gösterildiği gibi yansımanın ve ışıklandırmanın çarpılması ile görüntü oluşmaktadır.

$$S(y, x) = R(y, x)L(y, x) \quad (2.2)$$

Aşağıda gölge $G(y, x)$, kullanılarak tanımlanmıştır. Gölgenin etkisi $C(y, x)$ fonksiyonu ile ifade edilmiştir [29].

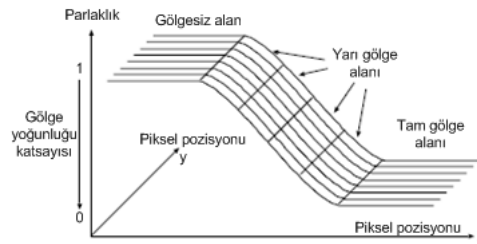
$$G(y, x) = S(y, x)C(y, x) \quad (2.3)$$

İşlem kolaylığı açısından $C(y, x)$ değeri tam gölgede sabit c değerini; gölgesiz alanda 1 değerini ve yarı gölge alanında 1 ile c arasındaki değerleri almaktadır.

Benzer bir model de Baba ve Asada tarafından tasarlanmıştır [30]. Gölge yoğunluğu katsayısı k ile yüzeye ait açık alan parlaklık değeri E ile ifade edilmiştir. Gölge yoğunluğu katsayısı yüzeyin gölge türünü belirler. Gölge yoğunluğu katsayısı 0 değeriyle tam gölge; 0 ile 1 arasındaki değerlerle yarı gölge; ve 1 değeriyle gölgesiz alanı belirtir. Aşağıda doğrudan gelen ışığın parlaklığı I_d ; ortam ışığının parlaklığı I_e ; gelen ışık doğrultusu ile yüzey arasındaki açı θ ; yansıma oranı R_d ile ifade edilmiştir.

$$E = (kI_d \cos \theta + I_e)R_d \quad (2.4)$$

Şekil 2.5'te [30] gölge yoğunluğu ile gölge arasındaki bağlantı gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Gölge yoğunluğu

Yarı gölgenin yapısı ile tam gölgenin yapısı birbirinden farklıdır. Bu yüzden gölge kaldırma işlemlerinde yarı gölge ve tam gölge üzerinde farklı işlemler uygulanmaktadır.

3 GÖLGELERİN BULUNMASI

Bu bölümde gölge bulma yöntemleri anlatılmıştır. Yöntemlerin kullanıldığı uygulamalardan bahsedilmiştir.

3.1 Gölge bulma yöntemleri

Gölge bulma yöntemlerinin en basiti arkaplan görüntüsünü kullanmaktır [10]. Arkaplan görüntüsü yüzey hakkında bilgi vermektedir. Gölgeye duyarlı renk tonu, doygunluk, değer (HSV) gibi renk düzlemleri bulunmaktadır. Gölgesiz görüntünün veya yüzey bilgisinin gölgeli görüntü ile kıyaslanmasından sonra gölge alanı bulunmaktadır. Yüzeyin bilinmediği senaryolarda, değişimsiz görüntü veya başka bir deyişle ışığı yansıtmayan görüntü aranmaktadır [11], [12]. Değişimsiz görüntünün bulunması için görüntünün açık havada elde edilmesi gerekmektedir. Açık havada baskın bir ışık kaynağı olduğu için değişimsiz görüntü elde edilmektedir, fakat iç mekan uygulamalarında aynı yöntem uygulanamaz. Bu durumda kamera flaşları gibi baskın bir ışık kaynağı kullanılarak, yüzey bilgisi oluşturulur [13]. Elde edilen bilgi ile gölgeli görüntü kıyaslanır ve gölge elde edilir.

3.2 Yüzey bilgisi ile gölgelerin bulunması

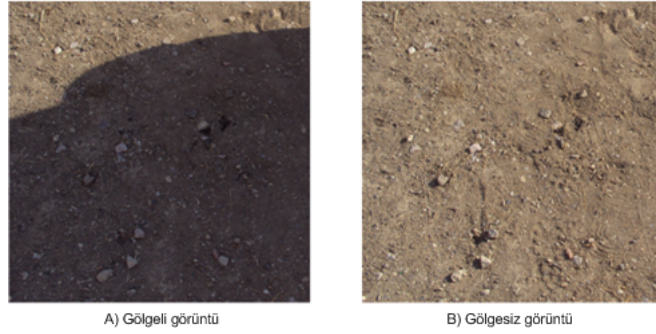
Güvenlik kamerası uygulamalarında yüzey bilgisi kullanılarak gölge kaldırma işlemi uygulanmaktadır. Anlık görüntünün daha önce kaydedilmiş, hafızada tutulan, gölgesiz yüzey bilgisiyle kıyaslanması sonucu gölge alanı bulunur.

HSV düzleminde yüzey ile gölgeli görüntünün değer (V) piksellerinin oranıyla, renk tonu (H) ve doygunluk (S) kanallarının farkları kullanılarak gölge haritası elde edilir. Aşağıda yüzey bilgisini kullanan gölge bulma algoritmalarından biri görülmektedir.

Aşağıda I gölgeli görüntüyü; B gölgesiz yüzey görüntüsünü; α , β , τ_S ve τ_H sabitleri göstermektedir.¹

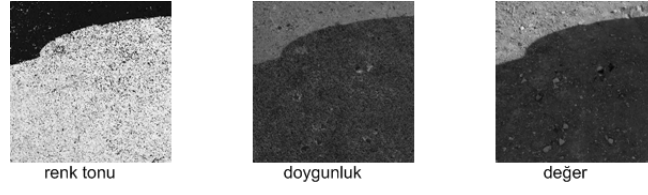
$$E(x) = \begin{cases} 1 & \alpha \leq \frac{I_V(x,y)}{B_V(x,y)} \leq \beta \\ & \text{ve } I_S(x,y) - B_S(x,y) \leq \tau_S \\ & \text{ve } |I_H(x,y) - B_H(x,y)| \leq \tau_H \\ 0 & \text{gerisi} \end{cases} \quad (3.1)$$

Şekil 3.1(a)'da gölgeli görüntü ve Şekil 3.1(b)'de gölgesiz yüzey görüntüsü görülmektedir. Şekil 3.2'de HSV kanallarının her birinde gölgeli görüntü sunulmuştur. Her kanalda gölge etkisini göstermektedir. Şekil 3.3'te gölgesiz görüntünün HSV kanallarının görüntüsü, sunulmuştur.

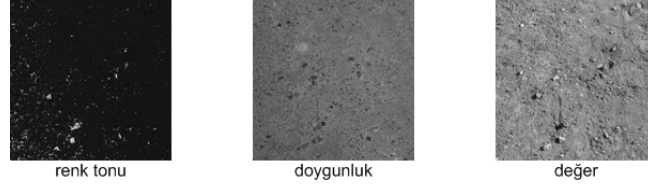


Şekil 3.1: Gölge görüntü ve gölgesiz yüzey görüntüsü

¹Bu algoritma <http://robvis.mty.itesm.mx/autonomos/Navdyn/node11.html> sitesinden alınmıştır.

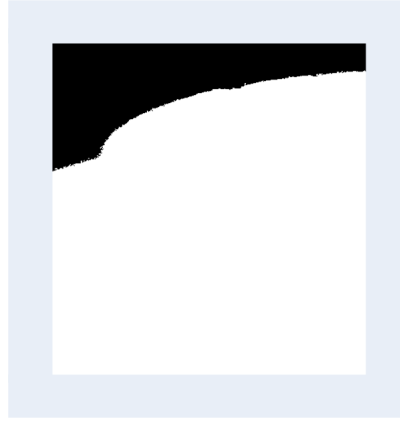


Şekil 3.2: Gölge görüntünün HSV kanalları



Şekil 3.3: Yüzey görüntüsünün HSV kanalları

Şekil 3.4'te Eş. (3.1) kullanılarak elde edilmiş gölge haritası çerçeve içinde görülmektedir.



Şekil 3.4: Gölge haritası

Yüzey bilgisini kullanarak gölge kaldırma, günümüz uygulamalarında oldukça tercih edilen bir yöntemdir. Bir durum için seçilen sabit eşikleme değerlerinin, farklı durumlarda kullanılması mümkün olmayabilir. Gölgenin şiddeti ve dağılımı, ışık kaynağının

şiddetine ve konumuna bağlıdır. Açık alan uygulamalarında gölgenin en önemli kaynağı güneştir. Güneş ışınlarının şiddeti ve gelme açısı gün içinde değişmektedir. Bu yüzden katsayılar, farklı durumlar için ayarlanmalıdır.

3.3 Değişimsiz görüntü ile gölgelerin bulunması

Graham D. Finlayson tarafından geliştirilen yöntem ile iki boyutlu renklilik düzleminde özel bir yön bulunmuştur. Bu yön bilgisini kullanarak yüzey renginden ve parlaklığından bağımsız gri tonlu değişimsiz görüntü elde edilmektedir [12].

Değişimsiz görüntü ile orijinal görüntü kıyaslanarak gölge sınırları elde edilmektedir.

Aşağıda gölge sınırlarını elde etmek için kullanılan sözde kod gösterilmiştir [12], [31].

(a) İki boyutlu (2D) renklilik görüntülerinin oluşturulması

(b) **for** $\theta = 1..180$ (Entropi analizi)

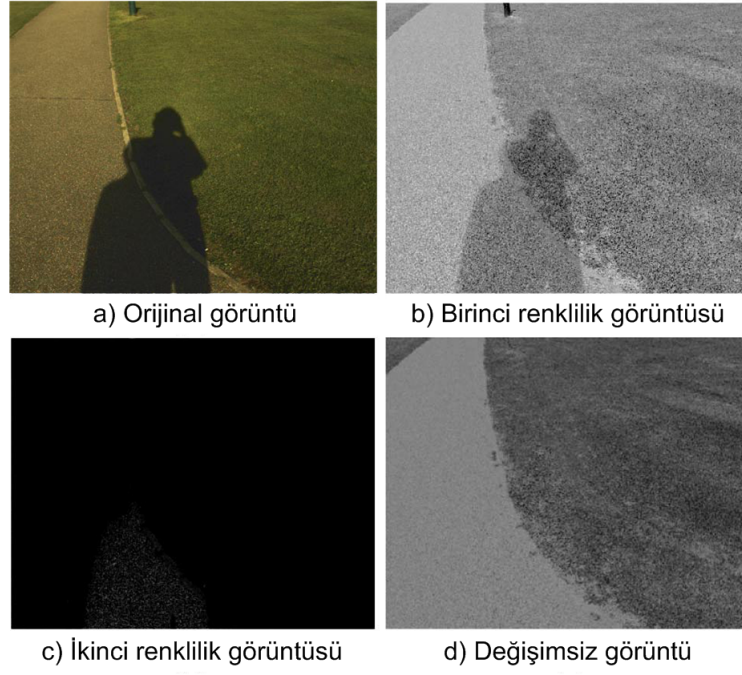
(i) Değişimsiz görüntünün oluşturulması

(ii) Değişimsiz görüntünün entropi değerinin bulunması

(c) Gölgenin bulunması

Şekil 3.5'te [32] sırasıyla orijinal görüntü, birinci renklilik görüntüsü, ikinci renklilik görüntüsü ve değişimsiz görüntü gösterilmiştir.

Şekiller 3.5(b) ve 3.5(c) üstünde görülen renklilik görüntülerinin belirli oranlarda birleştirilmesiyle değişimsiz görüntü elde edilmekte ve bu işleme entropi analizi denmektedir. Bu analizde birleştirme oranlarını θ açısı belirlemektedir. Bu açı, 1 ile 180 arasında değerler almaktadır ve her birleştirme işleminin sonunda değişimsiz görüntü oluşmaktadır. Bu şekilde elde edilen 180 adet değişimsiz görüntüden sadece bir adedi Şekil 3.5(d)'de gösterilen değişimsiz görüntüdür. Elde edilen görüntülerden değişimsiz görüntüyü bulmak için entropi analizi yapılmaktadır [12].



Şekil 3.5: Orijinal görüntü, 2D renklilik görüntüleri ve değişimsiz görüntü

Şekil 3.5(a)'da görülen görüntü ile Şekil 3.5(d)'de gösterilen görüntü kıyaslandığında Şekil 3.6'da [11] görülen gölge sınırları elde edilmektedir.

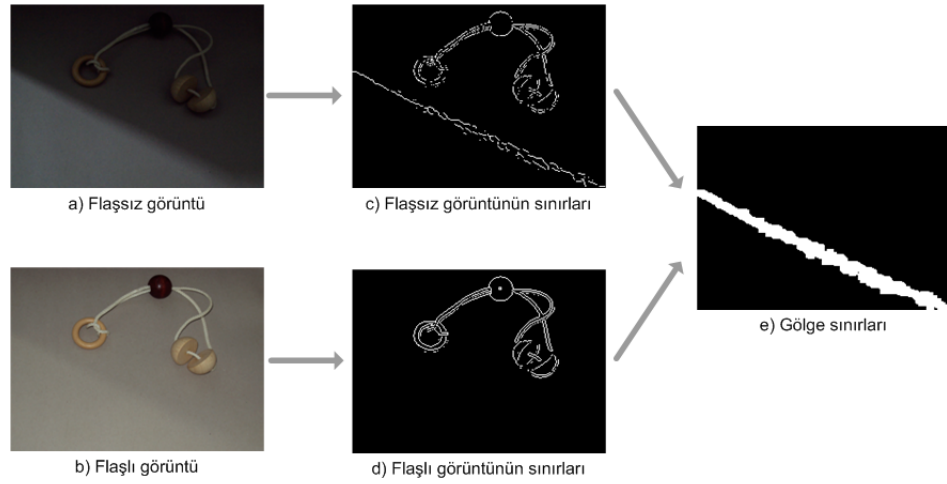


Şekil 3.6: Gölge sınırları

3.4 Flaşlı ve flaşsız aydınlatma

Yüzey bilgisine sahip olmadığımız kapalı mekanlarda gölgeyi bulmak için kameranın flaşı kullanılmaktadır. Flaş sayesinde yüzey, baskın bir ışık kaynağı ile aydınlatılmaktadır. Flaşın aydınlatması ile gölge kaybolmaktadır [13].

Şekil 3.7(a)'da kapalı alanda çekilmiş bir görüntü gösterilmektedir. Şekil 3.7(b)'de ise yüzeyin aydınlatılması ile oluşturulmuş flaşlı görüntü gösterilmektedir. İki görüntü arasında parlaklık dışındaki en büyük fark, flaşlı görüntüde gölge olmamasıdır.



Şekil 3.7: Flaşlı ve flaşsız görüntüyle gölge sınırlarının oluşturulması

Şekil 3.7(c)'de gösterilen flaşsız görüntünün sınırları ile Şekil 3.7(d)'de gösterilen flaşlı görüntünün sınırları kıyaslandığında gölge sınırları elde edilmektedir. Elde edilen gölge sınırları Şekil 3.7(e)'de görülmektedir.

Bu uygulamalarda profesyonel kamera kullanılmalıdır. Bunun sebebi düşük teknoloji kameralarla yapılan iç mekan çekimlerinde görüntü üzerinde gürültü oluşmasıdır. Bu durumda gölgenin bulunması zorlaşmaktadır.

4 GÖLGELERİN KALDIRILMASI

Bu bölümde gölge kaldırma yöntemleri anlatılmış ve gölge kaldırma yöntemleri ile elde edilen görüntüler gösterilmiştir.

Gölge kaldırma yöntemlerinde yüzey bilgisi veya gölge sınırları kullanılmaktadır. Gölge sınırlarını kullanan yöntemler gölge sınırlarında görüntünün renk kanallarındaki parlaklıklarının türevini sıfır değerine eşitlemektedirler veya gölge sınırlarındaki parlaklık geçişlerini yarı gölge modelleri yardımıyla kaldırmaktadırlar.

Bazı yöntemler yarı gölge ve gölge geçişlerinde yapılan işlemler sonunda görüntüyü tek boyutta veya iki boyutta tümlev olarak oluşturmuşlardır.

Yüzey bilgisi ile gölge kaldırmak bu tezin amaçları doğrultusunda olan bir yöntem değildir, çünkü yüzey bilgisi kullanıcıyı kısıtlamaktadır. Yüzey bilgisiyle sadece bilinen yüzeylerde gölge kaldırmak mümkün olmaktadır.

4.1 RETINEX teorisi

Renk değişmezliği ile ilgili en önemli teorilerinden biri Land tarafından geliştirilmiş RETINEX teorisidir. RETINEX terimi, retina (RETINA) ve korteks (CORTEX) kelimelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Teorinin amacı insan görme sistemini modellemektir.

Land'in teorisinde her renk kanalı (kırmızı, yeşil, mavi) için açıklık değeri hesaplanmaktadır. Bir pikselin parlaklık değerinin etrafındaki piksellerin parlaklık değerleriyle oranlanması sonucu açıklık değeri elde edilmektedir. Benzer yüzeyler arasında ölçülen açıklık değerleri düşük, farklı yüzeyler arasında ölçülen açıklık değerleri yüksek çıkmaktadır. Land, açıklık değerlerini hesaplayabilmek için görüntüde her pikseli

dolaşan bir yol kullanmıştır [21], [22].

Land, parlaklığın yüzey yansımasına göre daha yavaş değiştiğini öne sürmüştür. Önerisinde, uygulanacak bir eşikleme algoritması ile görüntüler üzerindeki bozulmaları yüzey bilgisinden bağımsız olarak kaldırmayı denemiştir. Gölge sınırlarında açıklık değerlerini sıfıra eşitleyerek gölge kaldırma işlemini gerçekleştirmiştir [31].

4.2 Gölge kaldırma yöntemleri

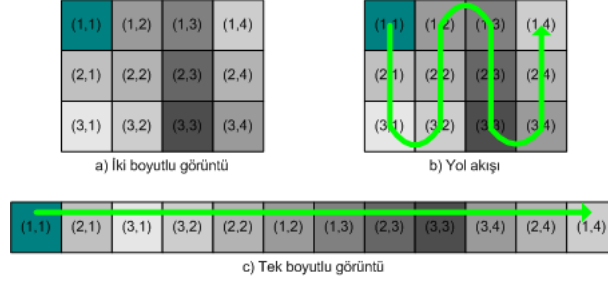
Bu tezde, yüzey bilgisi ve geometrisinden bağımsız gölge kaldırma işlemini yapan beş yöntem incelenmiştir. Bu yöntemlerden dördü tam gölgeye yoğunlaşmakta ve geriye kalan yöntem yarı gölge üstünde çalışmaktadır. Bütün yöntemler dış mekan görüntülerinde uygulanmaktadır. Gölge kaldırma uygulamaları sadece tam gölge veya sadece yarı gölge üstünde çalışabildikleri gibi tam ve yarı gölge üstünde çalışmaları da mümkündür.

Bu yöntemler aşağıda verilmiştir:

- Tam gölge kaldırma yöntemleri
 - Birden fazla yol yardımıyla gölge kaldırma [17]
 - Tek yol yardımıyla gölge kaldırma [18]
 - Basit gölge kaldırma [19]
 - İki boyutta tümlev alarak gölge kaldırma [11]
- Yarı gölge kaldırma yöntemi [20]

Yol yardımcı gölge kaldırma yöntemleri işlemlerini tek boyutta yapmaktadırlar. Görüntüyü bir boyuta indirmek için yollar kullanılmaktadır. Bu yollar, görüntüdeki her pikseli belirli bir sırayla dolanmaktadırlar. Şekiller 4.1(a), 4.1(b) ve 4.1(c)'de sırasıyla iki

boyutlu örnek görüntü; görüntünün üstündeki yol akışı; ve tek boyutlu görüntü gösterilmiştir [17], [18].



Şekil 4.1: İki boyuttan tek boyuta geçiş

Gölge sınırlarında tek boyutlu görüntünün gradyanı sıfıra eşitlenirse gölge kaldırılmış olacaktır. Aşağıda p düzleminde ilerleyen tek boyutlu görüntü üstünde yapılan gölge kaldırma işlemi gösterilmiştir. Gölge görüntü $z(p)$ ile ifade edilmiştir. $\nabla_p z(p)$ gölgeli görüntünün; $\nabla_p z'(p)$ gölgesi kaldırılmış görüntünün p ekseninde türevidir.

$$\nabla_p z'(p) = \begin{cases} 0 & \text{gölge sınırlarında} \\ \nabla_p z(p) & \text{gerisi} \end{cases} \quad (4.1)$$

Aşağıda gösterilen tümlev alma işlemi ile gölgesi kaldırılmış görüntü $z'(p)$ oluşturulmaktadır. Y , seçilen yolu ve c , başlangıç pikselinin parlaklık değerini ifade etmektedir.

$$z'(p) = c + \int_Y \nabla_p z'(p) dp \quad (4.2)$$

Tek yol ile gölge kaldırma işleminin sonucu bazı durumlarda beklenen çıktıyı üretmemektedir. Bu yüzden birden fazla yol ile gölge kaldırma işlemi yapmak

gerekmektedir [17].

Gölgesi kaldırılmış N farklı görüntü tekrar iki boyuta çevirilir ve ortalaması alınır. Aşağıda birden fazla yol kullanılarak gölgesi kaldırılmış görüntünün oluşturulması gösterilmiştir. $F(y, x)$, birden fazla yol ile oluşturulmuş gölgesi kaldırılmış görüntüdür.

$$F(y, x) = \frac{1}{N} \sum_i z'_i(y, x) \quad (4.3)$$

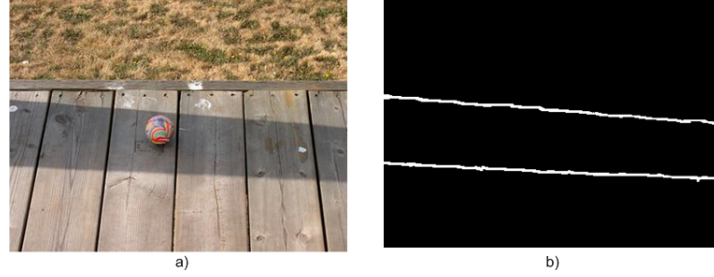
Birden fazla yol yardımıyla elde edilen gölgesi kaldırılmış görüntü, Eş. (4.3)'te görülen işlem sonucunda oluşmaktadır. Tek yol yardımıyla gölge kaldırma yöntemi, farklı olarak bütün gölge sınırlarında Eş. (4.1)'de gösterilen eşikleme uygulanmamakta, sadece bir gölge sınırında bu işlem uygulanmaktadır. Daha sonra gölge sınırlarında resim tamir yöntemlerini uygulanmaktadır [18].

Basit gölge kaldırma yöntemi, gölge sınırlarından gölgeli alanı elde ettikten sonra, gölgeli alan ile gölgesiz alan arasındaki kontrast farkını kaldırmaya çalışmaktadır ve bu sayede gölgeyi kaldırmaktadır. Bu yöntem de gölge sınırları için resim tamir yöntemlerini kullanmaktadır [19].

İki boyutta tümlev alarak gölge kaldırma yöntemi ve yarı gölge kaldırma yöntemi, gölge kaldırma işlemini iki boyutta yapmaya çalışmaktadırlar. Gölge sınırlarında yapılan eşikleme işlemi x ve y boyutlarında beraber yapılmaktadır [11], [20].

Daha sonra yapılan tümlev işlemleri ile gölgesi kaldırılmış görüntü elde edilmektedir. İki boyutta tümlev alarak gölge kaldırma yönteminde de gölge sınırlarında resim tamir yöntemi kullanılmaktadır. Yarı gölge yöntemindeyse yarı gölge modeli uygulamaktadır ve bu sayede yarı gölgedeki veriler kurtarılmaktadır.

İncelenen gölge kaldırma yöntemleri Şekil 4.2(a)'da görülen görüntü üstünde uygulanmıştır. Bütün yöntemlerde Şekil 4.2(b)'de görülen gölge sınırları kullanılmıştır.¹



Şekil 4.2: Orijinal görüntü ve gölge sınırları

4.3 Tam gölge kaldırma yöntemleri

Bu bölümde tam gölge kaldırma yöntemleri anlatılmıştır. Bu yöntemler gölge sınırlarında çalışmaktadır.

4.3.1 Birden fazla yol yardımıyla gölge kaldırma

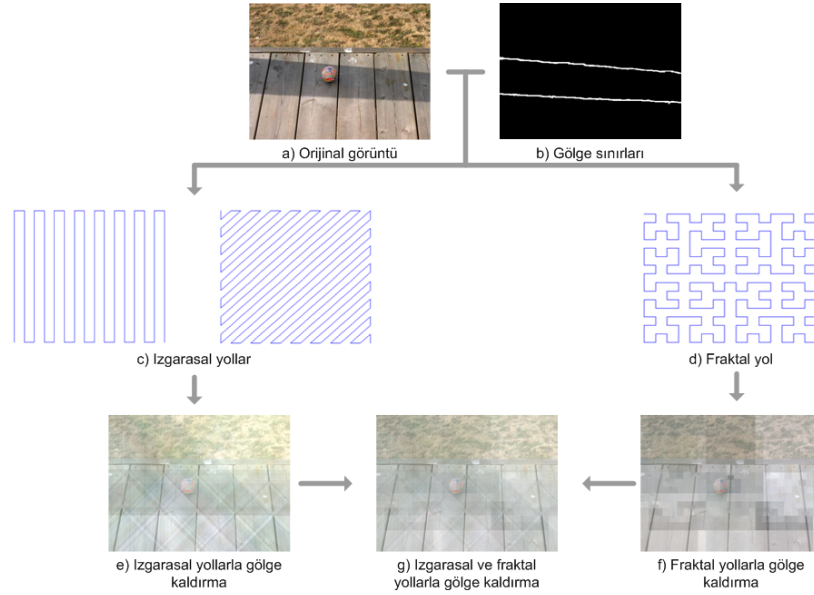
Bu yöntem, Şekil 4.1'de gösterildiği gibi iki boyutlu görüntüyü tek boyuta indirdikten sonra Eş. (4.1)'de gösterilen eşikleme fonksiyonunu kullanmaktadır. Daha sonra Eş. (4.2)'de gösterilen işlemle bir yol için tek boyutlu gölgesi kaldırılmış görüntü elde edilmektedir. Herbir yolla elde edilen görüntülerin ortalamaları alınarak birden fazla yol yardımıyla elde edilmiş gölgesi kaldırılmış görüntü oluşturulmaktadır [17].

Bu yöntemi doğru uygulayabilmek için başlangıç pikselinin gölge dışında olması

¹Şekil 4.2(a)'da görülen görüntü <http://www.cs.sfu.ca/mark/ftp/Eccv04/extrimages.pdf> adresindeki dosyasından alınmıştır. Şekil 4.2(b)'de görülen sınırlar resim düzenleme programları kullanılarak çizilmiştir.

gerekmektedir, ayrıca seçilen yolun bütün piksellere sadece bir defa uğraması sağlanmalıdır [17].

Şekiller 4.3(a), 4.3(b), 4.3(c), 4.3(d), 4.3(e), 4.3(f) ve 4.3(g)'de sırasıyla orijinal görüntü; gölgeli görüntü; ızgarasal yollar; fraktal yol; ızgarasal yollarla gölge kaldırma sonucu; fraktal yollarla gölge kaldırma sonucu ve ızgarasal ve fraktal yollarla gölge kaldırma sonucu gösterilmiştir. Şekil 4.3(a)'da görülen görüntüye Şekil 4.3(c)'de görülen yollar ve benzer yollar yardımıyla gölge kaldırma işlemi uygulandığında Şekil 4.3(e)'de görülen görüntü ve Şekil 4.3(d)'de görülen yol ve benzer yollar yardımıyla gölge kaldırma işlemi uygulandığında Şekil 4.3(f)'de görülen görüntü elde edilmektedir. Gölge kaldırma işlemi, yollar yardımıyla tek boyuta indirilen görüntüye Eş. (4.1)'in uygulanmasıyla yapılmaktadır. Başarıyı artırmak için birden fazla ızgarasal ve fraktal yollar kullanılmaktadır. Şekil 4.3(g)'de görülen görüntü için dört adet ızgarasal ve dört adet fraktal yol kullanılmıştır.



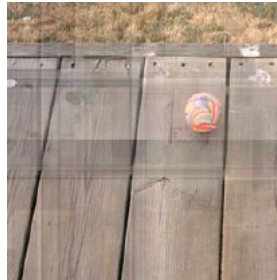
Şekil 4.3: Birden fazla yol yardımıyla gölge kaldırma

Şekil 4.3(g)'de gösterilen görüntüde renk ayarlama fonksiyonları kullanılması sonucunda Şekil 4.4'te görülen görüntü elde edilmiştir.



Şekil 4.4: Birden fazla yol yardımıyla gölge kaldırma çıktısı

Şekil 4.5'te [17] makalede gösterilen gölgesi kaldırılmış görüntü gösterilmektedir .



Şekil 4.5: Birden fazla yol yardımıyla gölge kaldırma bildirisinin çıktısı

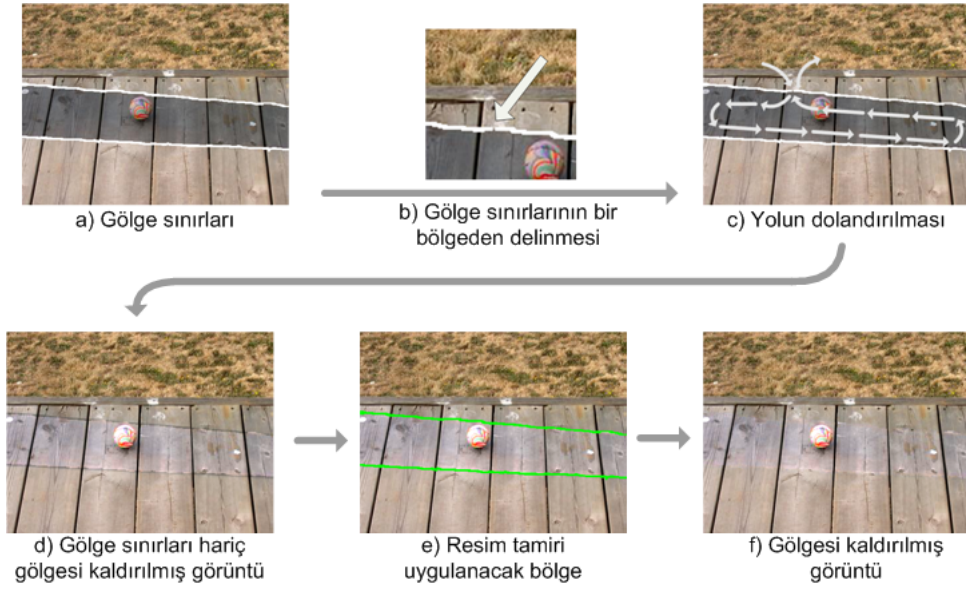
Bu uygulamanın başarısız olmasının en büyük nedeni seçilen yolun gölge sınırları üzerinden çok fazla geçmesidir. Her geçiş sonunda belli bir miktar hata payı oluşmaktadır ve hata değeri artmaktadır. Şekil 4.4 ile Şekil 4.5 arasında fark olmasının nedeni renk ayarlama fonksiyonlarının kullanımıdır. Bu tez kapsamında MATLAB yazılımının renk ayarlama fonksiyonları varsayılan ayarlarla kullanılmıştır.

4.3.2 Tek yol yardımıyla gölge kaldırma

Birden fazla yol yardımıyla gölge kaldırma yönteminde, gölge sınırları üzerinden birden fazla geçilmesinden dolayı görüntü bozulmaktadır. Bunun yerine gölge alanı belirlenip, gölgenin üstünden sadece bir yerden geçilmesiyle, daha az hata elde edilmektedir [18].

Bu algoritmanın amacı tek bir yol ile çözümü bulmaktır. Seçilen yol gölge sınırlarında sadece bir bölgeyi ziyaret etmelidir. Daha fazla gölge sınırlarında algoritmanın çalışması görüntü üzerinde gürültüye ve bozulmaya sebep olacaktır. Bütün işlemler her kanal için logaritmik düzlemde yapılmaktadır.

Gölge bulma uygulamalarında her durumda gölge sınırlarının tamamı bulunamaz ve bu durumlarda gölge sınırları, görüntü sınırları kullanılarak tamamlanır [18]. Şekil 4.6(a)'da gölge sınırları beyaz renkle gösterilmiştir. Şekil 4.6(b)'de gölge sınırlarının bir bölgeden delinmesi gösterilmiştir. Delme işleminden sonra görüntüyü dolaşan yol oluşturulmuştur. Şekil 4.6(c)'de bu yol gösterilmiştir. Bu yol bu tez kapsamında oluşturulmuştur. Farklı yollarda kullanılmaktadır [18]. Yol yardımıyla gölge kaldırma işlemi sonunda görüntü üstünde gölge sınırları hariç diğer bölümlerin gölgesi kalkmaktadır. Şekil 4.6(d)'de gölge sınırları hariç gölgesi kaldırılmış görüntü görülmektedir. Geri kalan bölüme resim tamir yöntemleri uygulanmaktadır [27], [33]. Resim tamiri uygulanacak kısım yeşil renkle Şekil 4.6(e)'de görülmektedir. Resim tamir işlemi uygulandığında Şekil 4.6(f)'de görülen görüntü oluşmaktadır. Bu görüntü bu tez kapsamında oluşturulmuştur. Şekil 4.7'de [18] bildiride gösterilen gölgesi kaldırılmış görüntü gösterilmektedir.



Şekil 4.6: Tek yol yardımıyla gölge kaldırma



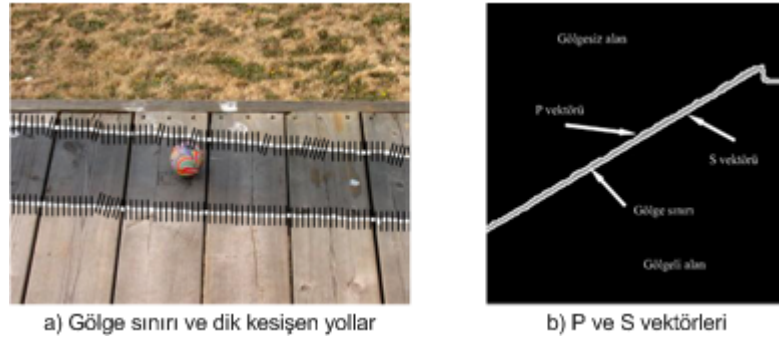
Şekil 4.7: Tek yol yardımıyla gölge kaldırma bildirisinin çıktısı

Bu yöntemde gölge sınırının nereden delindiği, yöntemin performansını belirlemektedir. Hatalı bir bölgenin seçilmesi, gölgeli alan ile gölgesiz alan arasında parlaklık farkı oluşmasına sebep olacaktır.

4.3.3 Basit gölge kaldırma

Bu yöntemin amacı bütün gölge sınırlarında gölgeli ve gölgesiz bölgeleri incelemektir. Bu yöntem gölgeli ve gölgesiz bölge arasındaki kontrastı azaltmaya çalışmaktadır [19].

Bu işlemi yapabilmek için bütün sınır boyunca sınıra dik olacak şekilde yollar oluşturulmaktadır. Şekil 4.8(a)'da oluşturulan yollar gösterilmektedir. Şekil 4.8(a)'da gösterilen beyaz çizgiler gölge sınırlarını, siyah çizgilerse gölge sınırlarını dik kesen yeni yolları göstermektedir. Yeni yolların bir uçları gölgeli alanda diğer uçları ise gölgesiz alanda bulunmaktadır. Oluşturulan yeni yollar ile gölgeli alanda bulunan verileri kapsayan vektör, S vektörüdür. Gölgesiz alandaki verileri kapsayan vektör de P vektörüdür. Şekil 4.8(b)'de [19] vektörler gösterilmektedir.



Şekil 4.8: Gölge sınırları üstünde yapılan incelemeler

P ve S vektörlerinin boyları eşittir ve elemanları gölgeli görüntüden elde edilen piksel değerlerinin logaritmasıdır. İki vektör arasındaki değer farkını tanımlayacak sabitse, c ile gösterilmektedir.

$$c = \min_a \|P - S + a\|^2 \quad (4.4)$$

Eş (4.4)'te P ve S vektörü arasındaki bağlantı gösterilmiştir. Problem, en küçük kareler problemine çevrilerek a değeri küçültülmeye çalışılmıştır. Bu işlem üç kanal için de uygulanmaktadır.

Gölge sınırları, resim tamir yöntemleriyle düzeltilir. Şekil 4.9(a)'da bu tez kapsamında bütün gölge sınırlarındaki veriler kullanılarak oluşturulan görüntü ve Şekil 4.9(b)'de gölge sınırlarında sadece görüntünün değişmeyen yüzeylerinden elde edilen veriler kullanılarak oluşturulan görüntü görülmektedir.



Şekil 4.9: Basit gölge kaldırma çıktıları

Şekil 4.9(a) ve Şekil 4.9(b) arasında farklılıklar bulunmaktadır, çünkü Şekil 4.9(a)'yı oluşturmak için bütün gölge sınırlarındaki piksel değerleri incelenmiştir, fakat Şekil 4.9(b)'yi oluşturmak için sadece gölge sınırlarının bir bölümündeki parlaklık değerleri incelenmiştir. Gölge sınırlarında bütün verilerin kullanılması gölgenin başarısız kaldırılmasına sebep olmaktadır. Bu durumu düzeltmek için görüntüde en az değişimin olduğu yerler incelenmelidir, fakat gölge etrafında pürüzsüz bölgelerin bulunması yarı gölgenin yapısından dolayı kolay olmayacaktır. Yarı gölgede parlaklık değerleri sabit dağılmamaktadır.

4.3.4 İki boyutta tümlev alarak gölge kaldırma

Gölge kaldırma algoritmaları, tek boyutta çalışabildikleri gibi iki boyutta da çalışabilirler [11]. Eş. (4.1)'de gösterilen işlem bu yöntemde yol ekseninde yapılmamaktadır. Bunun yerine x ve y ekseninde yapılmaktadır. Aşağıda görüntünün x ve y eksenlerinde

gradyanlarının oluşturulması görülmektedir. Aşağıda görülen $p'_k(x, y)$ görüntünün kırmızı, yeşil ve mavi (RGB) kanallarından biridir.

$$\nabla_x p'_k(x, y) = \frac{dp'_k(x, y)}{dx} \quad \nabla_y p'_k(x, y) = \frac{dp'_k(x, y)}{dy} \quad k \in \{R, G, B\} \quad (4.5)$$

Gölge sınırlarında gradyan değerlerinin sıfırlanması sonucunda gölge kaldırma işlemine başlanmaktadır. Aşağıda gölge kaldırma işlemi için uygulanan eşikleme fonksiyonu gösterilmiştir. Fonksiyon T_s ile simgelenmiştir. Aşağıdaki işlem x ve y ekselerindeki gradyanlara uygulanmaktadır.

$$T_s(\nabla_i p'_k(x, y)) = \begin{cases} 0 & \text{gölge sınırlarında} \\ \nabla_i p'_k(x, y) & \text{gerisi} \end{cases} \quad i \in \{x, y\} \quad (4.6)$$

Eşikleme algoritması ile gradyan vektörlerinden gölge kaldırılmaktadır. Bu gradyanlardan gölgesi kaldırılmış görüntü elde edilir. Bunun için değiştirilmiş Laplace değeri $\nabla_{T_s}^2 p'_k(x, y)$ gerekmektedir. Aşağıda bu değer elde edilişi gösterilmiştir.

$$\nabla_{T_s}^2 p'_k(x, y) = \nabla_x T_s(\nabla_x p'_k(x, y)) + \nabla_y T_s(\nabla_y p'_k(x, y)) \quad (4.7)$$

Oluşturulan gölgesi kaldırılmış görüntüye $r'(x, y)$ denmektedir ve bu görüntü eşikleme algoritmasından geçirilmiş gradyanlar ile bulunmaktadır. Aşağıda gölgesi kaldırılmış görüntünün oluşturulması gösterilmiştir.

$$\nabla^2 r'(x, y) = \nabla_{T_s}^2 p'_k(x, y) \quad r'(x, y) = (\nabla^2)^{-1} \nabla_{T_s}^2 p'_k(x, y) \quad (4.8)$$

Şekil 4.10(a)'da bu tez kapsamında bu yöntem kullanılarak oluşturulmuş görüntü gösterilmiştir. Şekil 4.10(b)'de görülen görüntü bu yöntemin kullanıldığı bir makaleden alınmıştır [34].



Şekil 4.10: İki boyutta tümlev alarak gölge kaldırma yönteminin çıktısı

İki görüntü arasında fark olmasının nedeni, bu tez kapsamında 4.2(b)'de görülen gölge sınırları kullanılmıştır. Makalede 4.2(b)'de görülen gölge sınırlarından daha kalın gölge sınırları kullanılmıştır.

Laplace değeri sınır koşulları olmadan sınırlarda tanımlanamaz. Bu sorunu aşabilmek için Neumann sınır koşulları kullanılmaktadır. Bu koşullar, görüntünün sınırlardaki türev değerlerini sıfıra eşitlemektedir [35].

Gölge sınırlarını oluştururken hatalı sınırlar ortaya çıkabilmektedir. Sınırlar gerektiğinden daha ince olabilmektedir. Bu yüzden sınırları genişletmek gerekmektedir. Bu işlem, gölgenin kaldırılma oranını yükseltirken görüntünün yumuşamasına sebep olmaktadır. Daha sonra sınırlar, resim tamir yöntemleriyle doldurulur.

İki boyutta tümlev alınması sonucunda başlangıç koşulları kaybedilmektedir ve bu yüzden giriş görüntüsü ile çıkış görüntüsü arasında parlaklık farklılıkları oluşmaktadır. Ayrıca işlem başarısını artırmak için gölge sınırlarını genişletmek gerekmektedir ve bu durumda resim tamir işleminin performansı düşmektedir.

4.4 Yarı gölge kaldırma yöntemi

Şu ana kadar gösterilen gölge kaldırma yöntemlerinde gölge sınırları hep resim tamir yöntemleriyle düzeltildi. Gölge kenarlarındaki gradyan değerlerinin sıfırlanması ile gölgeler kaldırıldı. Çoğu zaman gölge sınırları olması gerekenden daha geniş gösterildi.

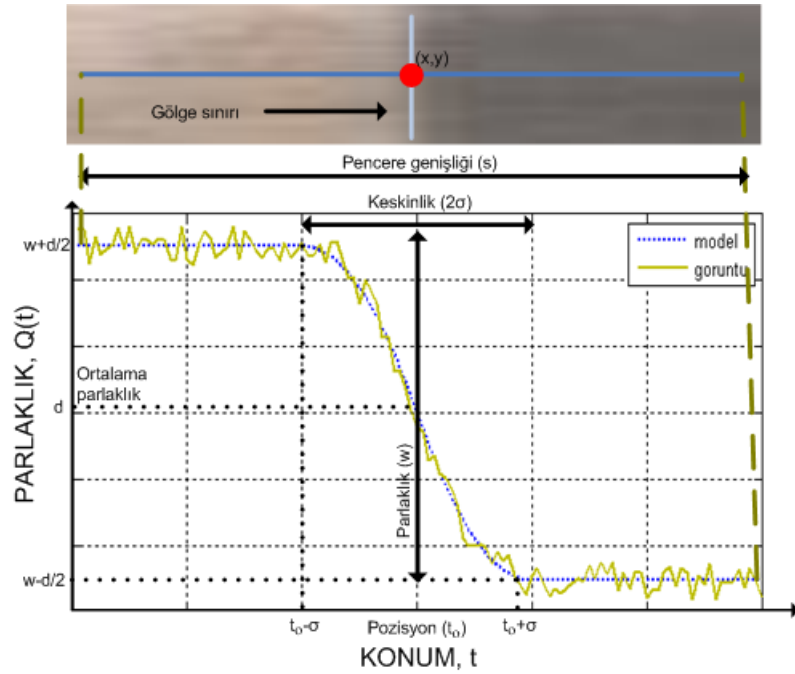
Gölge sınırlarına yapılan işlemlerin başarısı, gölge kaldırılma işleminin performansının en büyük belirleyicisidir. Bu yüzden gölge sınırlarını modelleyerek gölge kaldırma algoritmasının performansını yükseltmek mümkündür [20].

Bu algoritmanın amacı gölge sınırlarında gölge kaldırma işlemi yapmak değildir. Bu algorithmada amaç, gölge kaldırma işlemini yarı gölge üstünde yapmaktır. Gölge sınırları her zaman yarı gölgeyi göstermez. Diğer yöntemler yarı gölge ile uğraşmamak için gölge sınırlarını genişletirler ve resim tamir yöntemleri ile gölge sınırlarını doldururlar. Bu durum yarı gölge alanı çok geniş olan görüntülerde sorun çıkartmaktadır.

Yarı gölgeyi kaldırabilmek için yarı gölge modeli gerekmektedir. Aşağıda yarı gölge modeli $Q(t)$ görülmektedir [20]. Bu model, gölgesiz alandaki yarı gölge alanıyla gölgeli alandaki yarı gölge alanının eşit genişlikte olmasına dayanmaktadır. Bu durum keskinlik parametresi ile ifade edilmiştir. Bu yüzden bu model sadece açık hava görüntülerinde yarı gölgeleri modellemek için kullanılmıştır.

$$Q(t) = d + \begin{cases} \frac{w}{2} & t - t_0 \leq -\sigma \\ \frac{-w(t_0-t)^2}{2\sigma^2} + \frac{w(t_0-t)}{\sigma} & -\sigma < t - t_0 \leq 0 \\ \frac{w(t_0-t)^2}{2\sigma^2} + \frac{w(t_0-t)}{\sigma} & 0 < t - t_0 \leq \sigma \\ -\frac{w}{2} & t - t_0 > \sigma \end{cases} \quad (4.9)$$

Eş. (4.9)'da görülen σ parametresi, gölge keskinliğini belirler. En uygun gölge pozisyonu t_0 ile gösterilmiştir. Ortalama parlaklık d ile, gölge derinliği w ile gösterilmiştir. Şekil 4.11'de katsayılar yarı gölge görüntüsü üstünde görülmektedir.



Şekil 4.11: Yarı gölge modeli

Yarı gölge modeli, dar ve geniş yarı gölgeleri modelleyebilir. Basit gölge kaldırma yöntemindeki gibi gölge sınırlarında yollar belirlenir. Şekil 4.8(a)'da gösterildiği gibi yollar oluşturulmaktadır.

Katsayılar, doğrusal olmayan en küçük kareler problemi ile çözülmüştür. Tek etapta çözüme ulaşmak performans düşüşüne sebep olmaktadır. Bu yüzden üç etapta çözülür ve her etapta pencere genişliği keskinlik değeriyle tekrar hesaplanır. Aşağıda pencere genişliği için kullanılan eşitlik görülmektedir. Pencere genişliği s ile ifade edilmektedir.

$$s = 1.5 \sigma \quad (4.10)$$

Gölge sınırları, yarı gölge modeli yardımıyla iyileştirilir. Elde edilen yarı gölge modelleri pencere içindeki görüntüye geri uygulanarak pencere içindeki gölgeler kaldırılmaktadır ve bu işlem sonunda x , y düzlemlerinde gradyanlar oluşturulmuştur. Daha sonra Eş. (4.7)'de görülen Laplace değeri hesaplanmaktadır. Bu değer ve Eş. (4.8)'de görülen denklem yardımıyla gölgesi kaldırılmış görüntü elde edilmiştir [20]. Şekil 4.12(a)'da bu tez kapsamında bu yöntem kullanılarak oluşturulan görüntü görülmektedir. Şekil 4.12(b)'de iki boyutta tümlev alarak gölge kaldırma yöntemiyle elde edilmiş görüntü görülmektedir [34]. Bu yöntem sayesinde gölge sınırlarında gölge kaldırma işlemi daha başarılı yapılmaktadır.



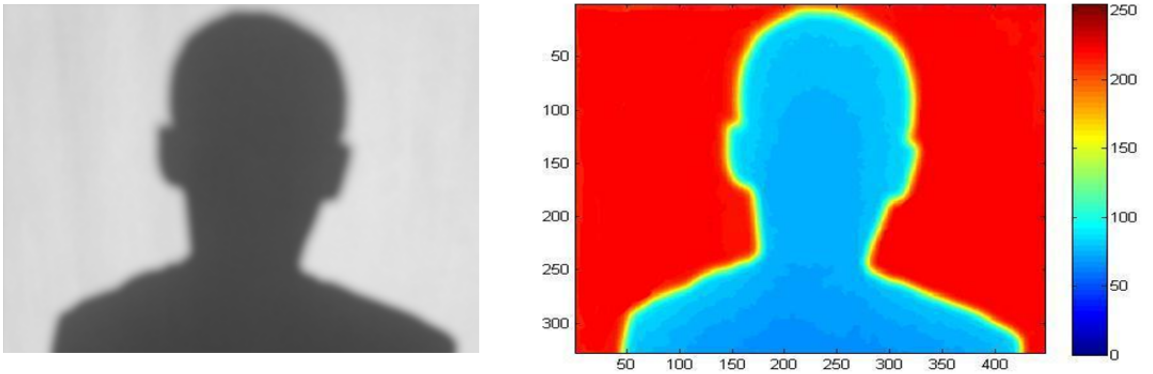
Şekil 4.12: Yarı gölge modeliyle gölge kaldırma yönteminin çıktısı

Bu yöntemde de iki boyutta tümlev alınması sonucunda başlangıç koşulları kaybedilmektedir ve bu yüzden giriş görüntüsü ile çıkış görüntüsü arasında parlaklık farklılıkları oluşmaktadır.

5 TAM GÖLGE MODELİ GELİŞTİRİLMESİ

Sabit renkli yüzeylerle yaptığımız çalışmalarda gölgenin sabit dağılmadığı görülmüştür. Bu tez kapsamında gölge dağılımları modellenmeye çalışılmıştır. Yarı gölge için daha önce tanımlanmış yarı gölge modelleri bulunmaktadır. Benzer bir şekilde tam gölge için de modeller oluşturmak mümkündür. Oluşturulacak modeller yardımıyla gölge kaldırma işlemi yapılması mümkündür.

Kontrast Düzeltmeli Gauss Dağılımlı Gölge Kaldırma (KGGK) yöntemi, gölge şiddetinin gölge alanında eşit dağılmamasına dayanmaktadır. Sabit renkli bir yüzeye düşürülen gölgenin parlaklık dağılımı Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi gölge şiddeti, gölge sınırından başlayarak tam gölgenin içine doğru artmaktadır.



Şekil 5.1: Gri tonlu görüntü ve dağılımı

Daha önceki yöntemlerden, yarı gölge ve tam gölge için farklı uygulamalar yapılması gerektiği anlaşılmıştır. İlk etapta tam gölgeye yoğunlaşıldı ve tam gölge için model arandı.

Parlaklık, bir nesnenin verdiği ışığın göz gibi bir alıcıya yaptığı etkidir. Gölge alan ile gölgesiz alan arasında parlaklık farkı olduğu bilinmektedir. Sabit yüzeylere düşürülen gölgelerin, yüzeyden bağımsız olarak karartma yaptığı gözlenmiştir. Bu gölgelerin yüzeye eklenecek tam gölge modelleriyle kaldırılabilirdiği görülmüştür. İşlemler için bilinen bir yüzeye gölgeler düşürülerek analizler yapılmıştır.

Sabit sayılar gölgeyi kaldırmak için yeterli değildir, çünkü gölge sabit parlaklıkla dağılmamaktadır. Gölgenin oluşmasına sebep olan cisimden dolayı gölge bir bölgede yoğunlaşmaktadır. Yoğunlaşmayı engellemek için model Gauss dağılımı ile ifade edilmiştir. Aşağıda gölge modeli gösterilmiştir. A değeri gölge şiddetini; m_x ve m_y değerleri gölgenin merkez konumunu; σ_x ve σ_y gölge dağılım katsayılarını simgelemektedir.

$$G_a(y, x) = A_a \exp \left(-\left(\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{(y-m_y)^2}{2\sigma_y^2} \right) \right) \quad a \in \{R, G, B\} \quad (5.1)$$

Yapılan denemelerde gölgenin dağılımının kırmızı, yeşil ve mavi renk kanallarında benzer olduğu görülmüştür. Bu durumu sağlamak her renk kanalının gölge merkez konumun değerleri ve gölge dağılım katsayıları aynı olacak şekilde hesaplanmaktadır. Gölge şiddetiye her renk kanalı için ayrı hesaplanmaktadır.

Aşağıda Gauss gölge modelinin katsayılarının bulunması için yapılan eniyileme işlemi görülmektedir.

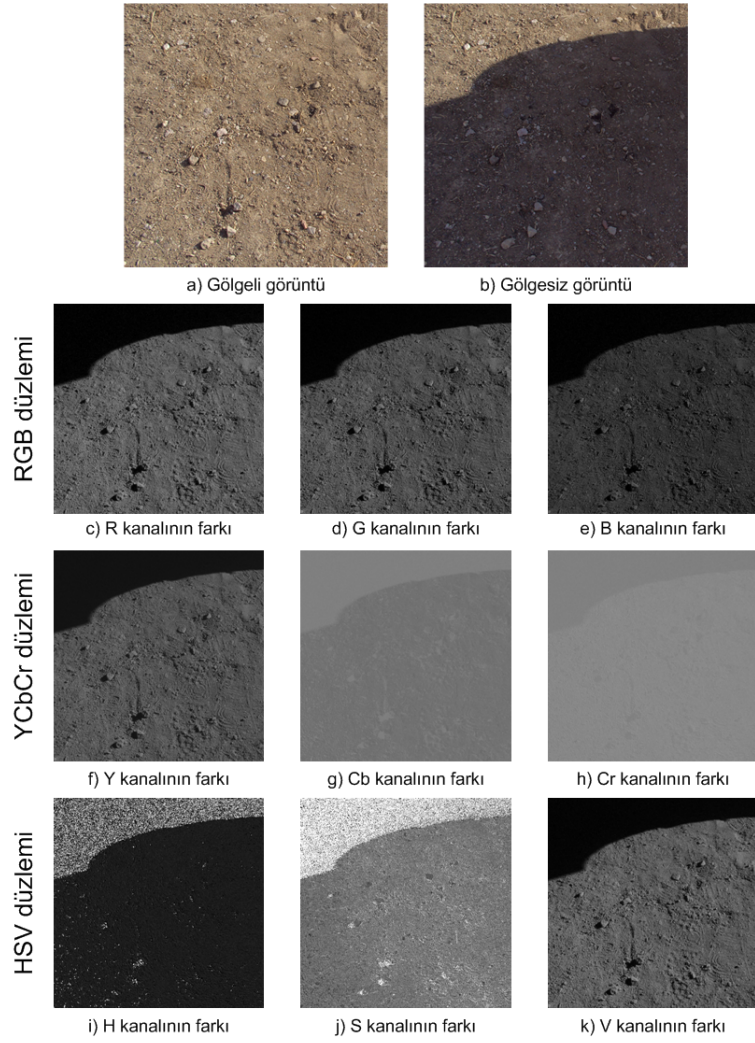
$$\min_{G_a(y,x)} \|I_a(y, x) + G_a(y, x) - I'_a(y, x)\|_2^2 \quad a \in \{R, G, B\} \quad (5.2)$$

Gauss modelinin katsayıları bulunduktan sonra elde edilen model gölgeli görüntüye

eklenmektedir. Aşağıda bu işlem görülmektedir.

$$O_a(y, x) = I_a(y, x) + G_a(y, x) \quad a \in \{R, G, B\} \quad (5.3)$$

Gauss modelinin eklenmesiyle sabit renkli yüzeylerde başarı sağlanmıştır, fakat değişken yüzeylerde aynı başarı elde edilememiştir. Gölge, kendi içinde düştüğü yüzeyin bilgisini saklamaktadır. Yüzey bilgisi, Parlaklık, mavi renk bilgisi, kırmızı renk bilgisi (YCbCr), HSV ve RGB düzlemindeki gölgeler içinde de görülmektedir. Şekiller 5.2(a), 5.2(b), 5.2(c), 5.2(d), 5.2(e), 5.2(f), 5.2(g), 5.2(h), 5.2(i), 5.2(j) ve 5.2(k)'da sırasıyla kırmızı kanal mutlak farkı $| I_R(y, x) - I'_R(y, x) |$; yeşil kanal mutlak farkı $| I_G(y, x) - I'_G(y, x) |$; mavi kanal mutlak farkı $| I_B(y, x) - I'_B(y, x) |$; parlaklık kanalı mutlak farkı $| I_Y(y, x) - I'_Y(y, x) |$; Cb kanalı mutlak farkı $| I_{Cb}(y, x) - I'_{Cb}(y, x) |$; Cr kanalı mutlak farkı $| I_{Cr}(y, x) - I'_{Cr}(y, x) |$; renk tonu kanalı mutlak farkı $| I_H(y, x) - I'_H(y, x) |$; doygunluk kanalı mutlak farkı $| I_S(y, x) - I'_S(y, x) |$ ve değer kanalı mutlak farkı $| I_V(y, x) - I'_V(y, x) |$ görülmektedir.



Şekil 5.2: Farklı renk kanallarında gölgesiz ve gölgeli görüntünün farkları

Değişken yüzeylere uygulanan bir model Basit Gölge Kaldırma bölümünde incelenmiştir [19]. Aşağıda bu yöntemin uygulaması görülmektedir.

$$O_a(y, x) = C_a I_a(y, x) \quad a \in \{R, G, B\} \quad (5.4)$$

Eş. (5.4)'te gösterilen C_a katsayısının bulunması için aşağıda gösterilen eniyileme

işlemi uygulanmıştır.

$$\min_{C_a} \|C_a I_a(y, x) - I'_a(y, x)\|_2^2 \quad a \in \{R, G, B\} \quad (5.5)$$

C_a , sabit bir çarpandır. Bu şekilde kontrast farkı kapatılmaya çalışılmıştır, fakat gölge kaldırma işlemi bu şekilde yapılırken gölge içindeki gürültüler, gölgesi kaldırılmış görüntüye yansımaktadır.

Gölgeyi kaldırma işlemi kontrast artırma problemine dönüştürülmüştür. Kontrast artırma işlemi belirli bir değer etrafında yapılmaktadır. Bu tez kapsamında geliştirilen kontrast artırmalı gölge kaldırma yöntemleri parlaklık değeri etrafında kontrastı artırmaktadırlar. Bu sayede kontrast ile parlaklığın beraber olduğu modeller oluşturulmuştur. Parlaklığın gölge boyunca sabit olmadığı durumlar görülmüştür, fakat işlem kolaylığı açısından kontrast ve parlaklığın sabit olduğu bir model oluşturulmuştur. Aşağıda kontrast ve parlaklığın sabit sayılarla ifade edildiği model görülmektedir.

$$O_a(y, x) = S_a I_a(y, x) + c_a \quad a \in \{R, G, B\} \quad (5.6)$$

Eş. (5.6)'da parlaklık ve kontrast katsayıları sırasıyla c_a ve S_a ile ifade edilmiştir. Aşağıda katsayıların bulunması için kullanılan eniyileme işlemi görülmektedir.

$$\min_{C_a, c_a} \|S_a I_a(y, x) + c_a - I'_a(y, x)\|_2^2 \quad a \in \{R, G, B\} \quad (5.7)$$

Bu modelde parlaklığın, tam gölge boyunca sabit alındığı için sonuç görüntülerinin tam gölgelerinde farklı parlaklık seviyeleri oluşmuştur.

Elde edilen veriler sayesinde gölge içinde parlaklığın sabit dağılmadığı ve değişken yüzeylerde parlaklık etrafında kontrast artırma işlemi yapılması gerektiği görülmüştür. Kontrast düzeltilmesini sağlayan kontrast artırma işlemi, belirli bir piksel değeri veya görüntünün ortalaması etrafında yapılmalıdır. Gölge kaldırma uygulamasında bu piksel değeri, aynı zamanda gölgeli alan ile gölgesiz alan arasındaki parlaklık farkını gösteren, $G_a(y, x)$ seçilmiştir ve bu değer etrafında kontrast artırma işlemi K_a kontrast düzeltme katsayısıyla yapılmıştır. Bu iki yöntemin beraber çalıştırılması ile hem kontrastın düzenlendiği, hem sabit dağılmayan gölgenin daha etkili kaldırıldığı hem de gölge içindeki gürültülerin sonuç görüntüsünde oluşmadığı gözlenmiştir. Aşağıda kullanılan denklem görülmektedir.

$$O_a(y, x) = K_a I_a(y, x) + G_a(y, x) \quad a \in \{R, G, B\} \quad (5.8)$$

Aşağıda Eş. (5.8)'de görülen kontrast katsayılarını ve Gauss model katsayılarını bulmak için yapılan eniyileme işlemi görülmektedir.

$$\min_{K_a, G_a(y, x)} \|K_a I_a(y, x) + G_a(y, x) - I'_a(y, x)\|_2^2 \quad a \in \{R, G, B\} \quad (5.9)$$

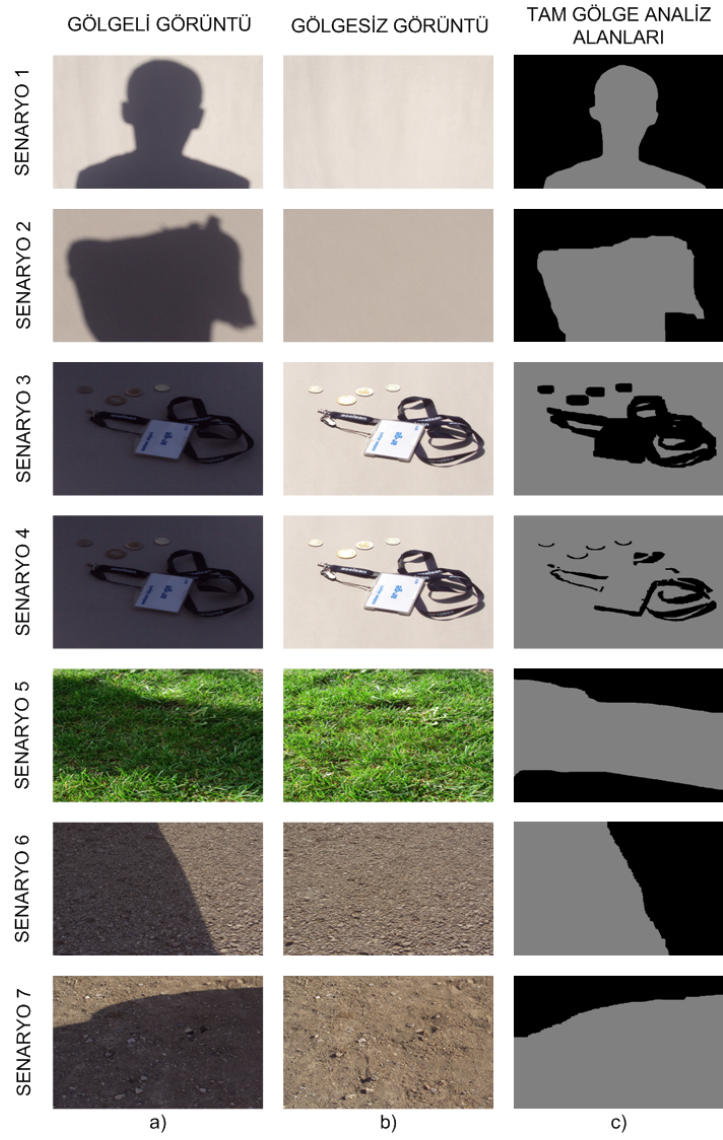
Eş. (5.9)'da gösterilen K_a kontrast düzeltme katsayısıdır ve $G_a(y, x)$ Eş. (5.1)'de gösterilen Gauss dağılımıdır. Bu uygulama KGGK yönteminin temelidir.

5.1 Model analizleri

Tam gölge modellerinin analizlerini yapabilmek için bilinen bir yüzeye gölge düşürülmektedir ve elde edilen gölgeli görüntü ile yüzey görüntüsü kıyaslanmaktadır. Şekil 5.3'te görülen yedi farklı senaryo için tam gölge analizi yapılmıştır. Her senaryoda bir yüzeyin gölgeli görüntüsü, aynı yüzeyin gölgesiz görüntüsü ve tam gölge alanının bilgisi bulunmaktadır. Görüntüler kullanılarak tam gölge modelleri oluşturulmuştur ve denenmiştir. Tam gölge alanında görülen görüntülerde gri ile görülmekte olan kısımlarında tam gölgeler aranmıştır.

Senaryo 1'de ve Senaryo 2'de sabit bir yüzeyde gölge oluşturulmuştur ve bu gölgenin etkisi araştırılmıştır. Senaryo 3'te sabit yüzeye cisimler bırakılmıştır ve cisimlerden bağımsız olarak gölge modeli bulunmaya çalışılmıştır. Gölge modelini bulmak için yapılan eniyileme işlemlerinde cisimlerin bulunduğu piksellerin renk değerleri kullanılmamıştır. Senaryo 4'te ise cisimlerin bulunduğu piksellerin renk değerleri kullanılmıştır. Sadece cisimlerin oluşturduğu gölgeler modeli bozmaması amacıyla kullanılmamıştır. Senaryo 5'te yeşilin baskın olduğu bir durumda gölge modeli araştırılmıştır. Senaryo 6'da çok değişken bir yüzeyde gölge modelinin etkisi incelenmiştir. Senaryo 7'de az değişken bir yüzeyde gölge modelinin etkisi incelenmiştir.

Şekiller 5.3(a), 5.3(b) ve 5.3(c)'de sırasıyla bilinen yüzeylerin gölgeli görüntüleri, bilinen yüzeylerin gölgesiz görüntüleri ve tam gölge analizi yapılan bölgeler görülmektedir. Şekil 5.3(c)'de tam gölge analizi yapılan bölgeler gri renkle görülmektedir. Senaryo 1, 2, 5, 6 ve 7'de gri renkle tam gölge alanları görülmektedir. Senaryo 3 ve 4 tamamen tam gölgeyle kaplıdır.



Şekil 5.3: Senaryolar

Oluşturulan gölge alanlarında dört farklı yöntem denenmiştir. Aşağıda tam gölge analizleri için kullanılan dört yöntem tanıtılmıştır.

- Gauss Dağılımı Eklemeli Gölge Kaldırma (GEGK) yönteminde gölge, Gauss dağılımı ile ifade edilmeye çalışılmıştır. Gauss dağılım katsayıları Eş. (5.2) ile bulunmuştur. Uygulaması Eş. (5.3)'te yapılmıştır.

- Basit Gölge Kaldırma (BGK) yönteminde gölge ile gölgesiz alan arasında sabit değerlerle kontrast ayarlanmaya çalışılmıştır. Sabit değerler Eş. (5.5) ile bulunmuştur. Uygulaması Eş. (5.4)'te yapılmıştır [19].
- Sabit Çarpanlı Sabit Eklemeli Gölge Kaldırma (ÇEGK) yönteminde gölge, kontrast ve parlaklık çarpanları ile ifade edilmeye çalışılmıştır. Sabit değerler Eş. (5.7) ile bulunmuştur. Uygulaması Eş. (5.6)'da yapılmıştır.
- Son olarak KGGK yöntemi kullanılmıştır. Gauss dağılım katsayıları ve kontrast düzenleme katsayısı Eş. (5.9) ile bulunmuştur. Uygulaması Eş. (5.8)'de yapılmıştır.

5.1.1 Senaryo 1'in sonuçları

Şekil 5.4'te Senaryo 1'deki görüntüler ve GEGK, BGK, ÇEGK ve KGGK yöntemleri kullanılarak elde edilen görüntüler görülmektedir.

Sabit yüzeyde yapılan denemelerde gölgenin dağılımı ve parlaklığı incelenmiştir. Gölge parlaklığı, GEGK ve KGGK yöntemleri Gauss dağılımıyla; ÇEGK yöntemi sabit parlaklık katsayısıyla modellenmişlerdir. BGK yönteminin parlaklık üstünde bir etkisi yoktur. Bu senaryoda tam gölge sabit dağılmamakta ve bu durum Şekil 5.1 ile desteklenmiştir. İşlemler sonunda GEGK ve KGGK yöntemleriyle gölge başarılı bir şekilde modellenmiş ve gölge kaldırma işlemleri yapılmıştır.

Aşağıda Senaryo 1'deki gölgesiz görüntü ile sonuçların kıyaslanması ardından elde edilen ortalama karesel hata (OKH) değerleri gösterilmiştir. İşlemler sonunda KGGK ve GEGK yöntemleriyle yapılan gölge kaldırma işlemlerinde elde edilen görüntülerin gölgesiz görüntüye yaklaştığı görülmektedir. OKH değerleri gölgesiz görüntü ve gölgesi kaldırılmış görüntü kullanılarak oluşturulmuştur. Bu işlem RGB düzlemindeki her renk kanalı için tam gölge alanlarında yapılmıştır.



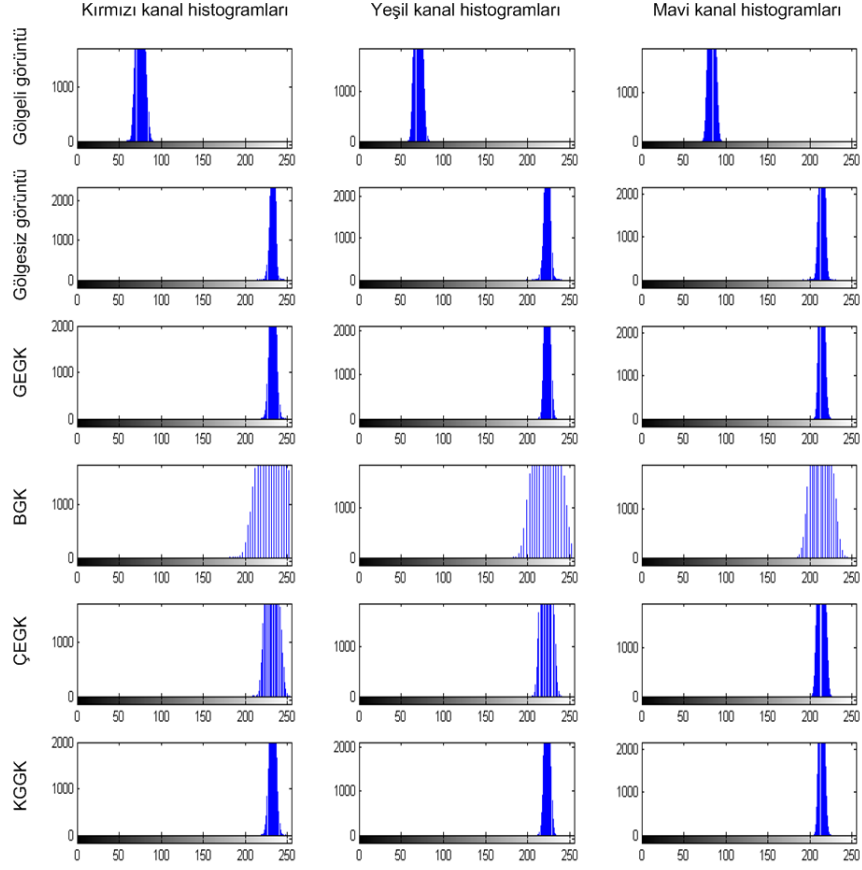
Şekil 5.4: Senaryo 1'in çıktıları

Çizelge 5.1: Senaryo 1'in OKH değerleri

	$OKH_{KIRMIZI}$	OKH_{YESIL}	OKH_{MAVI}
GEGK	3.5068	3.2272	3.3406
BGK	14.8914	13.7558	10.8089
ÇEGK	7.489	6.8559	5.6012
KGGK	3.9155	3.6694	3.4532

Şekil 5.5'te Senaryo 1'deki görüntülerin histogramları görülmektedir. Histogramları oluşturmak için sadece tam gölge alanında kalan pikseller kullanılmıştır. Histogram sonuçlarında KGGK ve GEGK yöntemleriyle elde edilen görüntülerin histogramları

gölgesiz görüntünün histogramlarına daha çok benzediği görülmektedir.

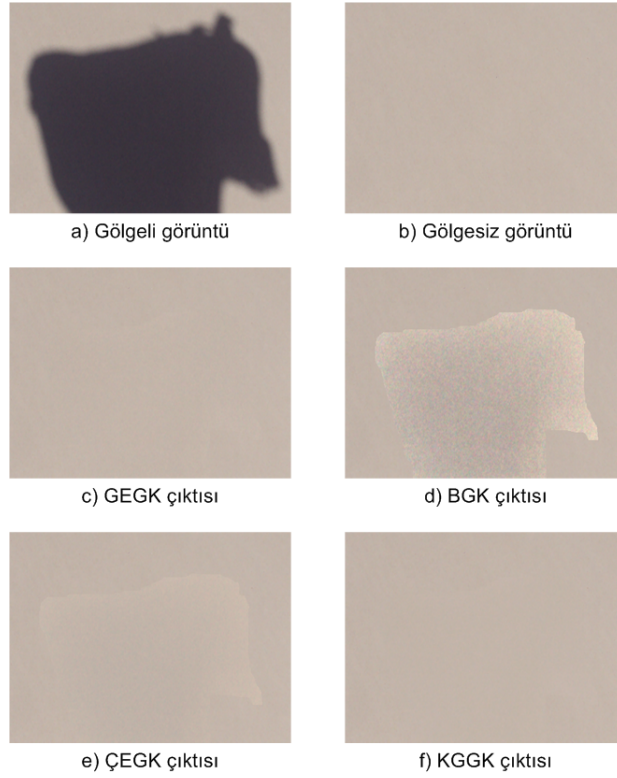


Şekil 5.5: Senaryo 1'in histogramları

Görüntülere Fourier dönüşümü uygulandığında elde edilen açılı bilgilerin gölgeye veya gölge kaldırma işleminin başarısına ait bir bilgi elde edilememiştir. Büyüklük bilgisinden sadece görüntü üstündeki gölge şiddeti öğrenilmiştir, fakat benzer bilgiyi OKH sonuçları da vermektedir.

5.1.2 Senaryo 2'nin sonuçları

Şekil 5.6'da Senaryo 2'deki görüntüler ve GEGK, BGK, ÇEGK ve KGGK yöntemleri kullanılarak elde edilen görüntüler gösterilmektedir. Bu senaryoda elde edilen sonuçlar, Senaryo 1'de elde edilen sonuçlara benzerdir. KGGK ve GEGK yöntemleri Gauss dağılımları sayesinde gölgeyi daha etkin kaldırmaktadırlar.



Şekil 5.6: Senaryo 2'nin çıktıları

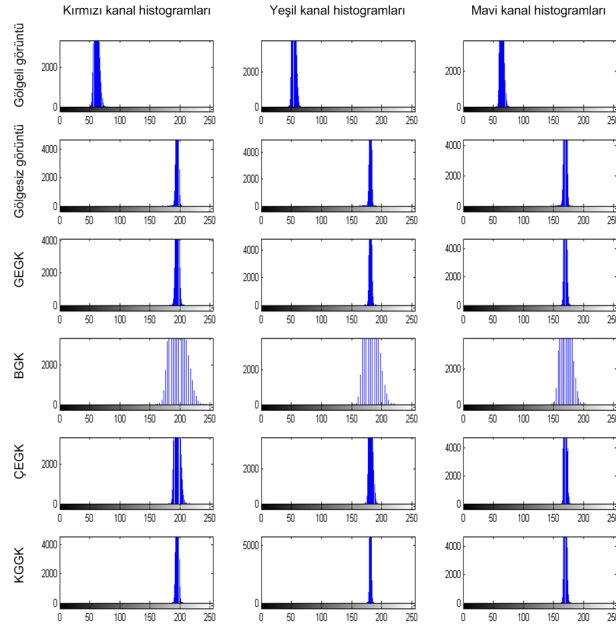
Aşağıda Senaryo 2'deki gölgesiz görüntü ile sonuçların kıyaslanması ardından elde edilen OKH değerleri gösterilmiştir. KGGK ve GEGK yöntemleriyle elde edilen görüntülerin en düşük OKH değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 5.7'de Senaryo 2'deki görüntüler ve gölge kaldırma yöntemleri kullanılarak

Çizelge 5.2: Senaryo 2'nin OKH değerleri

	$OKH_{KIRMIZI}$	OKH_{YESIL}	OKH_{MAVI}
GEGK	2.7815	2.0986	2.3848
BGK	11.6049	9.817	7.7155
ÇEGK	4.4181	3.2975	2.6724
KGGK	2.4213	1.7358	2.601

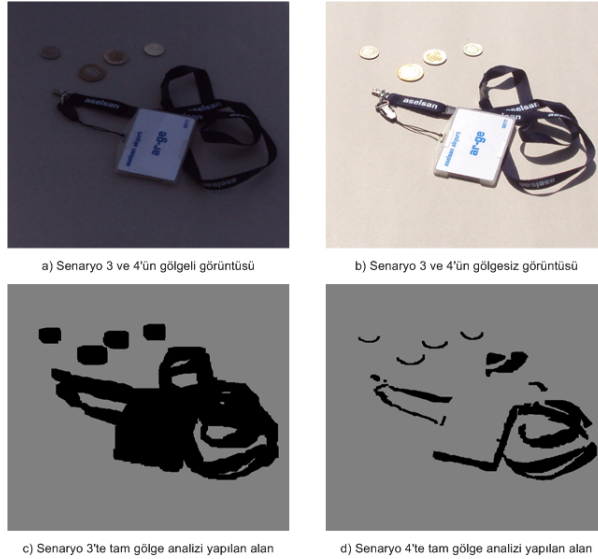
elde edilen görüntülerin histogramları gösterilmektedir. Histogramın oluşturulması için sadece tam gölgedeki pikseller kullanılmıştır. Histogram sonuçlarında KGGK ve GEGK modelleriyle elde edilen görüntülerin histogramları gölgesiz görüntünün histogramlarına daha çok benzediği görülmektedir.



Şekil 5.7: Senaryo 2'nin histogramları

5.1.3 Senaryo 3'ün sonuçları

Senaryo 3 ve 4'te aynı gölgesiz görüntü ve gölgeli görüntü kullanılmıştır. Senaryo 3'te sadece değişimsiz yüzeydeki pikseller, Senaryo 4'te cisimlerin gölgeleri hariç bütün pikseller eniyileme işleminde kullanılmıştır. Senaryo 3'te sadece değişimsiz yüzeylerdeki pikseller kullanarak oluşturulan modellerin cisimler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Şekiller 5.8(a), 5.8(b), 5.8(c) ve 5.8(d)'de sırasıyla Senaryo 3 ve 4'te kullanılan gölgeli ve gölgesiz görüntü, Senaryo 3'ün tam gölge analiz alanı ve Senaryo 4'ün tam gölge analiz alanı görülmektedir. Tam gölge analiz alanları görüntülerde gri renkle gösterilmektedir.



Şekil 5.8: Senaryo 3 ve 4'te kullanılan görüntüler

Şekil 5.9'da Senaryo 3'teki görüntüler ve GEGK, BGK, ÇEGK ve KGGK yöntemleri kullanılarak elde edilen görüntüler görülmektedir. Gölge modellerinin katsayıları, sadece sabit renkli yüzeylerde elde edilen değerler kullanılarak bulunmuştur.



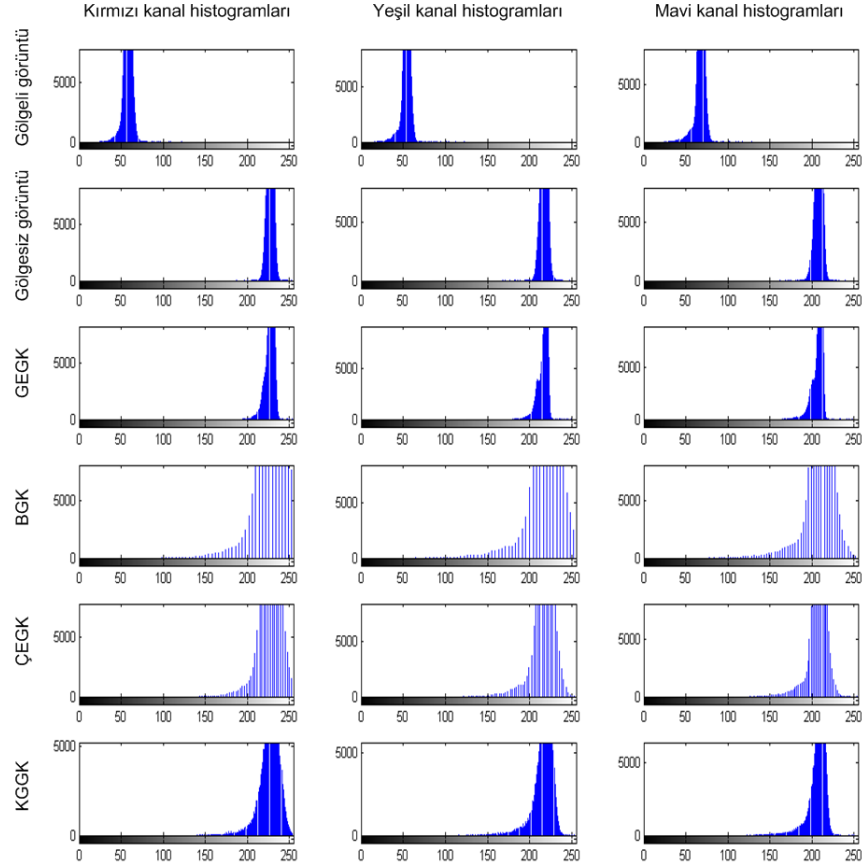
Şekil 5.9: Senaryo 3'ün çıktıları

Aşağıda Senaryo 3'teki gölgesiz görüntü ile sonuçların kıyaslanması ardından elde edilen OKH değerleri gösterilmiştir. Sadece cisimsiz olan kısımlarda hata değerleri hesaplandığı için GEGK yöntemi ÇEGK ve KGGK yöntemleriyle benzer sonuçları çıkarmıştır. Bunun nedeni OKH hesaplarına cisimlerin bulunduğu piksel değerleri katılmamıştır.

Çizelge 5.3: Senaryo 3'ün OKH değerleri

	$OKH_{KIRMIZI}$	OKH_{YESIL}	OKH_{MAVI}
GEGK	10.5225	10.325	10.668
BGK	19.8492	19.3303	16.6175
ÇEGK	12.9006	12.2662	10.4165
KGGK	11.3225	10.7229	8.8964

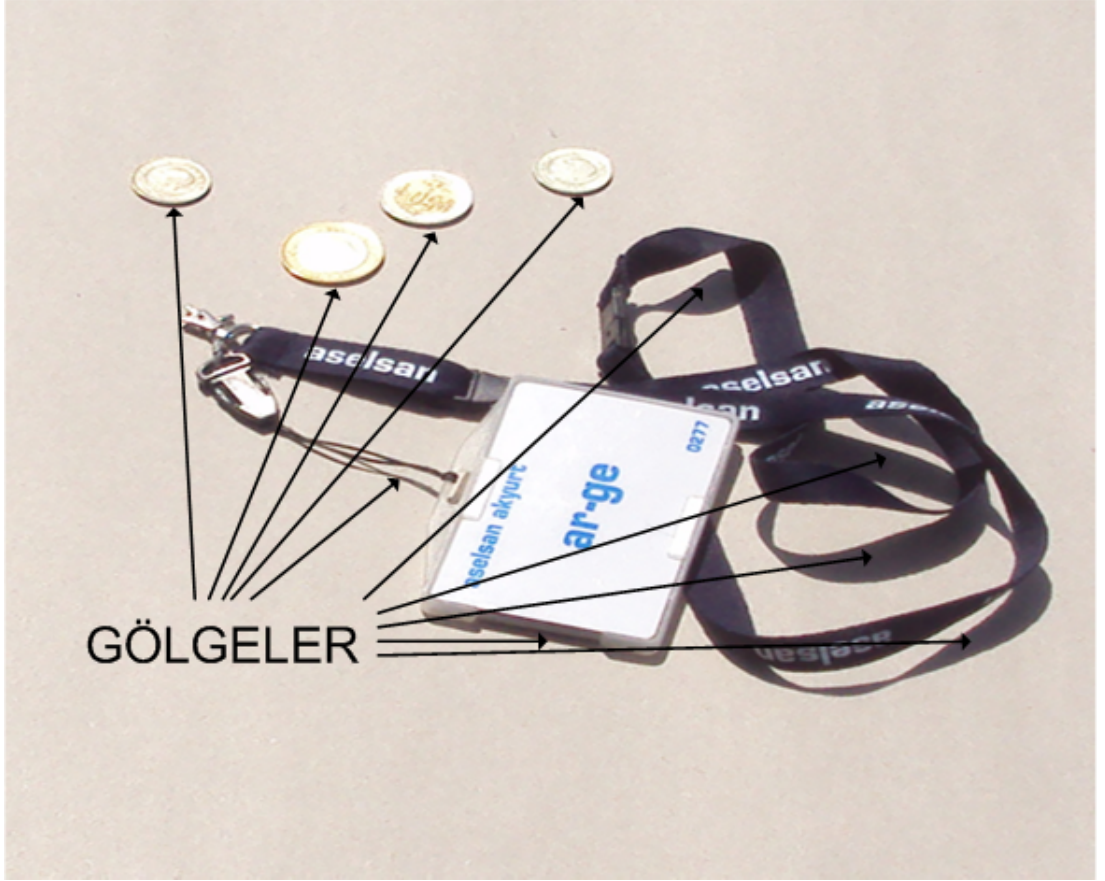
Şekil 5.10'da Senaryo 3'teki görüntüler ve gölge kaldırma yöntemleri kullanılarak elde edilen görüntülerin histogramları görülmektedir. Gölgesiz görüntüye benzer dağılımlar ortaya çıkmaktadır. Histogramlar oluşturulurken sadece değişimsiz bölgedeki pikseller kullanılmıştır.



Şekil 5.10: Senaryo 3'ün histogramları

5.1.4 Senaryo 4'ün sonuçları

Bu senaryoda sadece cisimlerin oluşturduğu gölgeler kullanılmamaktadır. Bu gölgeler Şekil 5.11'de görülmektedir. Gölgede kalan veriler modellerin oluşturulmasında kullanılmamıştır. Senaryo 3'te farklı olarak cisimler de modelde kullanılmamıştır.



Şekil 5.11: Senaryo 3'te cisimlerin oluşturduğu gölgeler

Şekil 5.12'de Senaryo 4'teki görüntüler ve GEGK, BGK, ÇEGK ve KGGK yöntemleri kullanılarak elde edilen görüntüler görülmektedir. Elde edilen görüntüler Senaryo 3'te elde edilen görüntülere benzerdir.



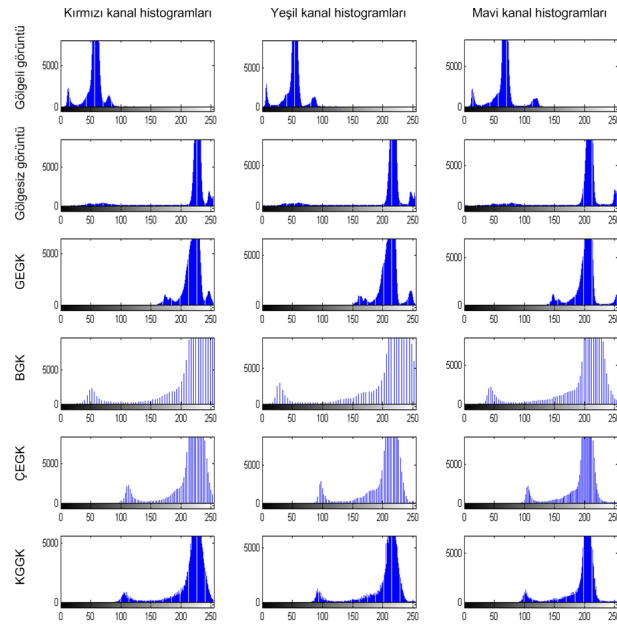
Şekil 5.12: Senaryo 4'ün çıktıları

OKH değerlerinin Senaryo 3'e göre yükselmesinin sebebi OKH hesaplarına cisimlerin piksel değerlerinin de katılmasıdır. Sadece parlaklıkla işlem yapan GEGK yönteminin OKH değerleri Senaryo 3'e göre yükselmiştir, çünkü kontrast problemi açığa çıkmıştır.

Çizelge 5.4: Senaryo 4'ün OKH değerleri

	$OKH_{KIRMIZI}$	OKH_{YESIL}	OKH_{MAVI}
GEGK	26.2149	25.6251	20.2573
BGK	29.9568	36.7912	36.1357
ÇEGK	20.8912	21.9128	20.2224
KGGK	20.2996	21.5953	20.21

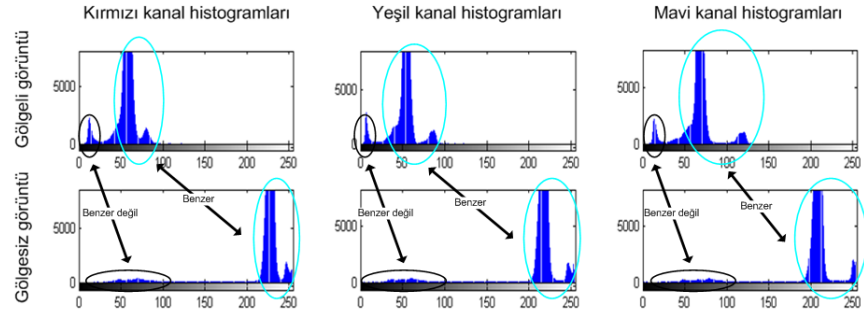
Şekil 5.13'te Senaryo 4'teki görüntüler ve gölge kaldırma yöntemleri kullanılarak elde edilen görüntülerin histogramları gösterilmektedir. Cisimlerin olduğu bölümler histograma katılmıştır.



Şekil 5.13: Senaryo 4'ün histogramları

Gölgesiz görüntünün histogramı ile gölgeli görüntünün histogramı arasında yüksek piksel değerlerinde benzerlikler bulunmaktadır, fakat düşük piksel değerlerinde benzer dağılımlar gözlenmemiştir. Bu durum Şekil 5.14'te görülmektedir.

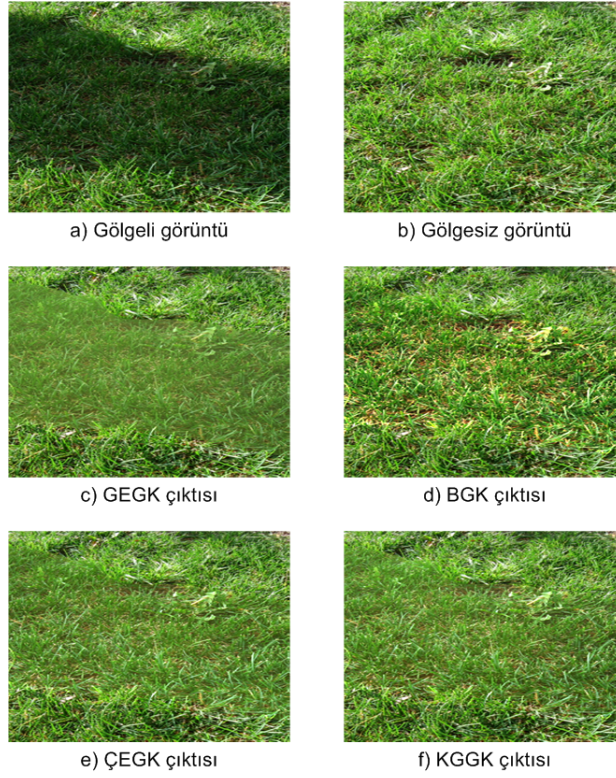
Gölge modelleri, gölgeli görüntülere uygulanmaktadır. Şekil 5.14'te de görüldüğü gibi bazı durumlarda gölge, gölgede kalan cisimlere ait renk veya sınır gibi bilgileri yok edebilmektedir. Bu durumda da gölge kaldırma işlemi sonucunda oluşturulan gölgesi kaldırılmış görüntülerde bazı detaylar görülmemektedir.



Şekil 5.14: Senaryo 4'ün gölgeli ve gölgesiz görüntülerinin histogramları

5.1.5 Senaryo 5'in sonuçları

Şekil 5.15'te Senaryo 5'teki görüntüler ve GEGK, BGK, ÇEGK ve KGGK yöntemleri kullanılarak elde edilen görüntüler görülmektedir. Bu senaryoda amaç, yeşil renk kanalının diğer kanallardan baskın olması durumunda modellerin tepkilerini incelemektir.



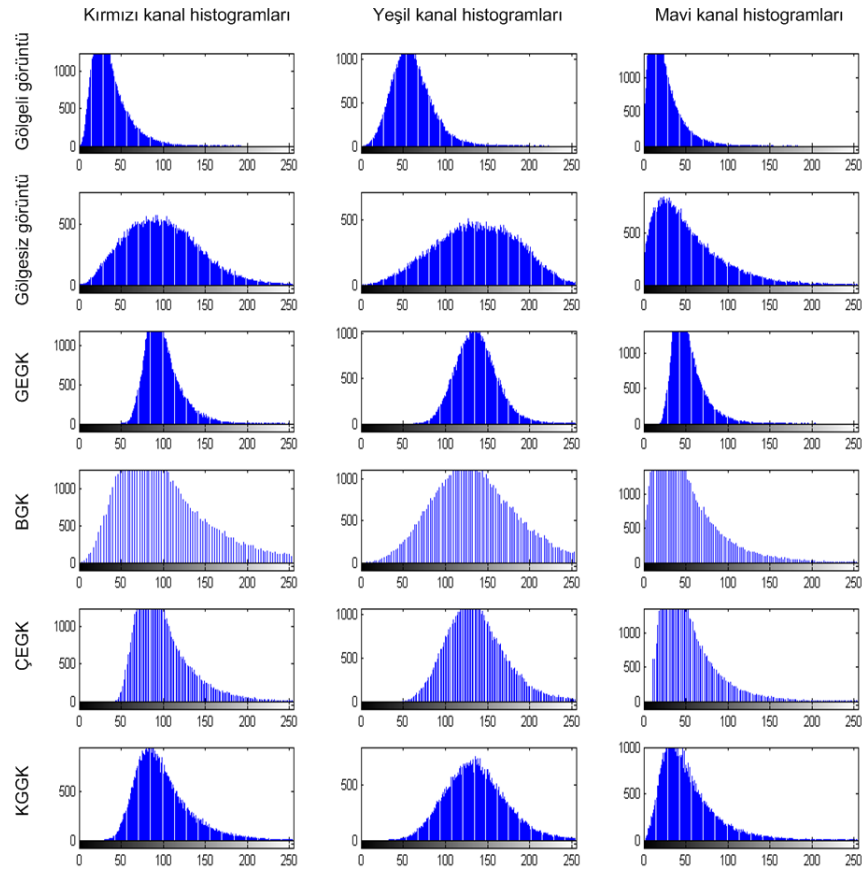
Şekil 5.15: Senaryo 5'in çıktıları

Aşağıda yöntemlerin OKH değerleri görülmektedir.

Çizelge 5.5: Senaryo 5'in OKH değerleri

	$OKH_{KIRMIZI}$	OKH_{YESIL}	OKH_{MAVI}
GEGK	30.5565	32.6375	27.3835
BGK	39.5822	36.2089	25.1393
ÇEGK	28.8923	31.546	24.1616
KGGK	28.0851	30.075	23.5654

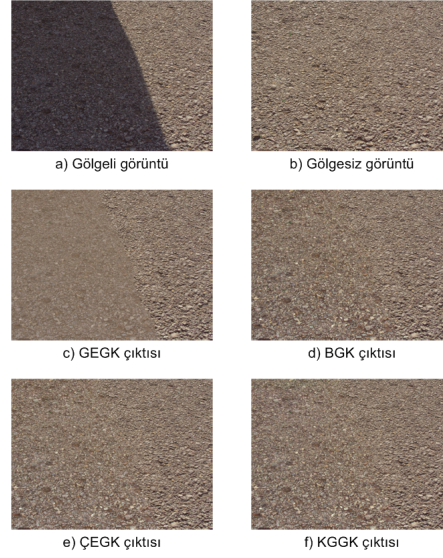
Şekil 5.16'da Senaryo 5'teki görüntüler ve gölge kaldırma yöntemleri kullanılarak elde edilen görüntülerin histogramları görülmektedir. GEGK haricindeki diğer yöntemlerle elde edilen görüntülerin histogramları, gölgesiz görüntünün histogramlarına benzemektedir, fakat KGGK haricindeki diğer yöntemlerin değer başına düşen sayı değerleri gölgesiz görüntüye göre fazladır. BGK yönteminde histogramlar seyrek dağılmaktadır, fakat gölgesiz görüntüde böyle bir dağılım görülmemektedir. Bu seyrek dağılımın sonucunda bu yöntemin OKH değerleri de yükselmektedir.



Şekil 5.16: Senaryo 5'in histogramları

5.1.6 Senaryo 6'nın sonuçları

Şekil 5.17'de Senaryo 6'daki görüntüler ve GEGK, BGK, ÇEGK ve KGGK yöntemleri kullanılarak elde edilen görüntüler görülmektedir. Bu senaryoda amaç, yöntemlerin başarılarını çok değişken bir yüzeyde incelemektir.



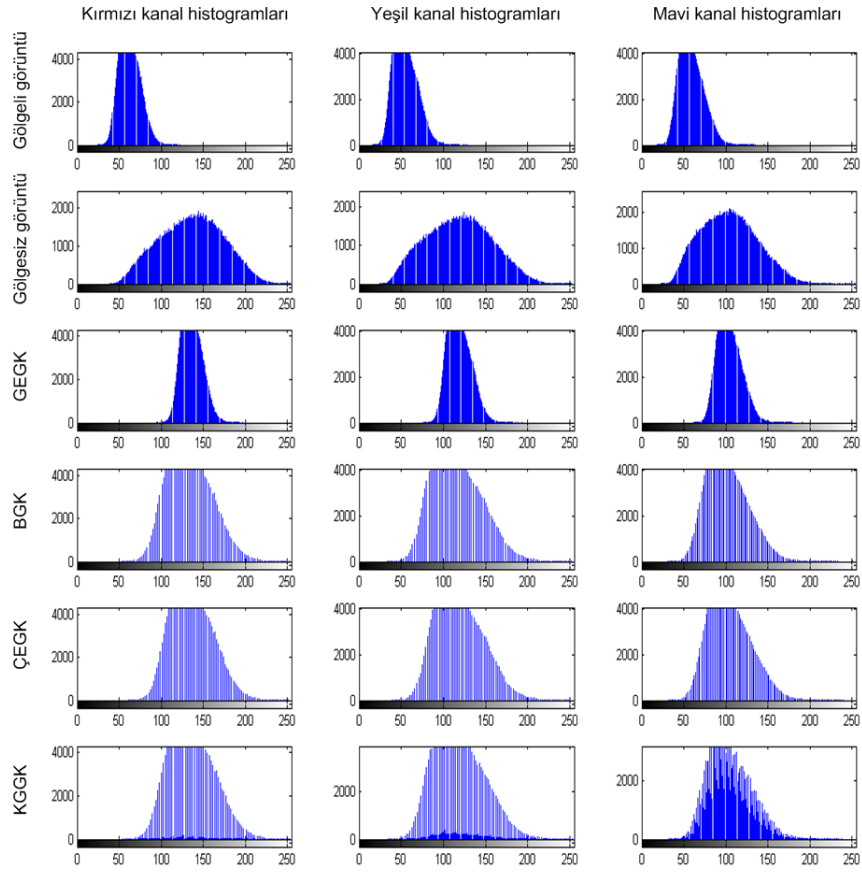
Şekil 5.17: Senaryo 6'nın çıktıları

Aşağıda yöntemlerin OKH değerleri görülmektedir. Bütün yöntemlerin değerleri birbirlerine yakın çıkmıştır.

Çizelge 5.6: Senaryo 6'nın OKH değerleri

	$OKH_{KIRMIZI}$	OKH_{YESIL}	OKH_{MAVI}
GEGK	25.4115	24.0115	18.1216
BGK	25.6051	23.4911	16.7422
ÇEGK	24.5440	22.4687	16.5542
KGGK	24.1676	22.1983	16.1158

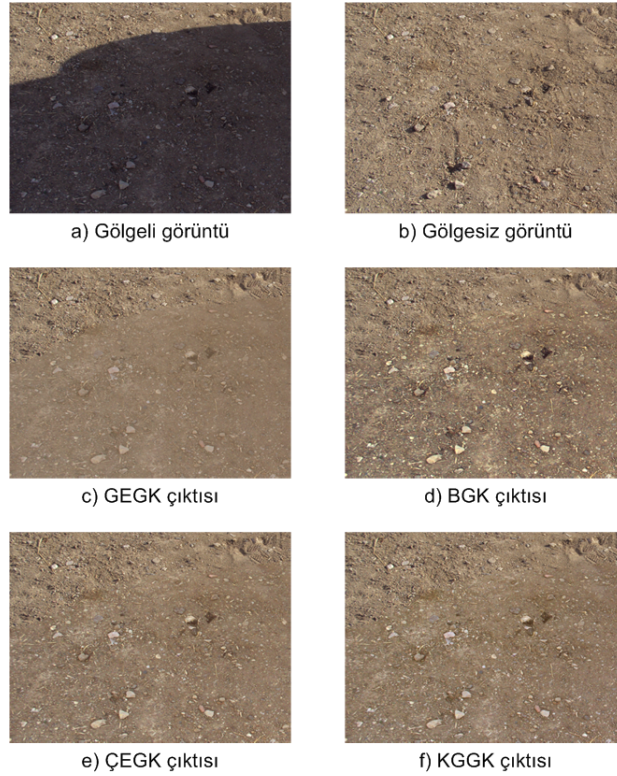
Şekil 5.18’de Senaryo 6’daki görüntüler ve gölge kaldırma yöntemleri kullanılarak elde edilen görüntülerin histogramları görülmektedir. Bu senaryoda gölgesi kaldırılmış görüntülerin histogramlarıyla gölgesiz görüntünün histogramları arasında farklar bulunmaktadır. Bu farklar yüzeyin değişkenliğinden oluşmaktadır. Gölge yüzey bilgilerinin bir kısmını yok etmiştir ve bu bilgiler gölgesi kaldırılmış görüntülerde de bulunmamaktadır.



Şekil 5.18: Senaryo 6’nın histogramları

5.1.7 Senaryo 7'nin sonuçları

Şekil 5.19'da Senaryo 7'deki görüntüler ve GEGK, BGK, ÇEGK ve KGGK yöntemleri kullanılarak elde edilen görüntüler görülmektedir. Bu senaryoda amaç, yöntemlerinin başarılarını az değişken bir yüzeyde incelemektir. GEGK yöntemiyle elde edilen gölgesi kaldırılmış görüntü 27 saniyede, BGK yöntemiyle elde edilen gölgesi kaldırılmış görüntü 11 saniyede, ÇEGK yöntemiyle elde edilen gölgesi kaldırılmış görüntü 17 saniyede, KGGK yöntemiyle elde edilen gölgesi kaldırılmış görüntü 32 saniyede elde edilmiştir.



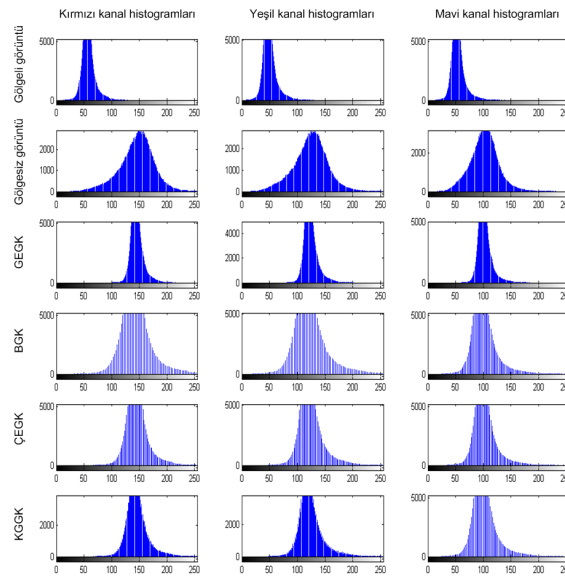
Şekil 5.19: Senaryo 7'nin çıktıları

Aşağıda yöntemlerin OKH değerleri görülmektedir. GEGK yönteminin değerleri kontrasttan dolayı diğer yöntemlerden daha yüksek çıkmıştır.

Çizelge 5.7: Senaryo 7'nin OKH değerleri

	$OKH_{KIRMIZI}$	OKH_{YESIL}	OKH_{MAVI}
GEGK	29.3380	29.3380	23.1277
BGK	27.7376	25.9494	19.8578
ÇEGK	27.5408	25.7399	19.6049
KGGK	27.3196	25.4833	19.5479

Şekil 5.20'de Senaryo 7'deki görüntüler ve gölge kaldırma yöntemleri kullanılarak elde edilen görüntülerin histogramları görülmektedir.



Şekil 5.20: Senaryo 7'nin histogramları

Senaryolar 5,6 ve 7'de GEGK yöntemiyle elde edilen görüntülerde kontrast problemleri bulunmakta ve görüntü bulanıklaşmaktadır. BGK yönteminde kontrast probleminin giderilmesi amacıyla bir yaklaşım ortaya konulmuştur, fakat gölge içindeki gürültüler

arpım işlemi sonrasında daha belirgin olmaktadır. Bu gürültülerin sebebi BGK yöntemi ile elde edilen görüntülerin histogramlarının dağınık olmasıdır. Dağınık senaryolarda BGK yönteminin histogramları gölgesiz görüntünün histogramlarına benzemektedir, fakat değer başına düşen piksel sayıları tutmamaktadır. EGK yöntemi gölgenin Gauss dağılımını etkisizleştiremediği için OKH değerleri KGGK yöntemine göre biraz daha yüksek çıkmaktadır. KGGK yöntemi, gürültü değerlerini artırmadan kontrast düzeltmesi yapmaya çalışmıştır. Ayrıca gölge dağılımını bularak OKH değerlerinin düşmesini sağlamıştır. GEGK yöntemiyle elde edilen görüntülerin histogramları değişken yüzeylerde gölgesiz görüntülerin histogramlarına benzememektedir. BGK yönteminde renk değeri başına düşen piksel sayıları olması gerektiğinden fazla çıkmaktadır ve bu durum histogram sonuçlarında görülmektedir. EGK ve KGGK yöntemlerinin histogramları gölgesiz görüntünün histogramlarına benzemektedir, fakat sabit yüzeylerde yapılan çalışmalarda EGK yöntemi daha az başarılı olmuştur.

şekil 5.21(a)'da tam gölge çalışması yapılmış görüntünün bir bölümünün büyütülmüş şekli gösterilmiştir. şekil 5.21(b)'de şeklin BGK sonucu ve 5.21(c)'de KGGK sonucu sunulmuştur. şekilde de görüldüğü gibi BGK yöntemi sonucunda toprak zemin yer yer daha koyulaşmış ve taşlar daha parıldamıştır. KGGK yöntemi sonucunda da benzer bozulmalar görülmektedir, fakat bozulmaların etkileri daha az belirgindir. Bunun sebebi KGGK yönteminin kontrast düzeltme işlemini parlaklık değeri etrafında yapmasıdır.



şekil 5.21: Parlamalar ve kararmalar

6 KONTRAST DÜZELTMELİ GAUSS DAĞILIMLI GÖLGE KALDIRMA

GEGK yöntemi sadece sabit yüzeyli senaryolarda başarılı olmuştur. BGK yönteminde OKH değerleri daha fazla çıkmaktadır, ayrıca BGK yöntemiyle elde edilmiş gölgesi kaldırılmış görüntülerin histogramlarının dağınık olduğu bazı piksel değerlerinin kullanılmadığı görülmektedir. ÇEGK yöntemi ve KGGK yöntemi gölge kaldırma işleminde başarılı olmuştur, fakat ÇEGK yöntemi de parlaklığı sabit sayılarla ifade ettiği için KGGK yönteminden daha az başarılı olmuştur. KGGK yöntemiyle elde edilen gölgesi kaldırılmış görüntülerin histogramları gölgesiz görüntülerin histogramlarına benzemektedirler. Bu yüzden gölge kaldırma işlemi için KGGK yöntemi kullanılmıştır [28]. Bu tezin amacı gölgesi kaldırılmış görüntüleri sadece gölgeli görüntüyü kullanarak elde etmektir. Bunun için KGGK yönteminin model katsayıları gölgeli görüntüden elde edilmelidir.

Gölgesiz görüntü bilinmediği için Eş. (5.8)'de görülen $I(y, x)$ ve $I'(y, x)$ değerleri gölgeli görüntüden elde edilmelidir. $I(y, x)$ değerleri gölgeli görüntülerde bulunmaktadır, fakat $I'(y, x)$ değerleri gölgesiz görüntülere aittir. Bu değerler yarı gölge analizleriyle bulunmaktadır.

Sadece gölgeli görüntü kullanılarak yapılan gölge kaldırma işleminin sözde kodu aşağıda görülmektedir.

- (a) Yarı gölgelerin kaldırılması
 - (i) Gölge sınırlarının çizilmesi
 - (ii) Görüntünün yumuşatılması
 - (iii) Gölge sınırları etrafında yarı gölgelerin aranması
 - (iv) Yarı gölgelerin bulunması ve kaldırılması
- (b) Tam gölge modeli için verilerin oluşturulması
 - (i) Gölgesiz ve gölgeli piksel değerlerinin elde edilmesi
 - (ii) Tam gölge başlangıç pozisyonlarının x ve y düzlemlerinde elde edilmesi
- (c) Tam gölge modeli için oluşturulan verilerin incelenmesi
 - (i) Yarı gölge analizinden gelen hatalı verilerin elenmesi
 - (ii) Yarı gölge analizinden gelen verilere ekleme yapılması
- (d) Tam gölgelerin kaldırılması
 - (i) Tam gölge modellerinin başlangıç değerlerinin oluşturulması
 - (ii) Tam gölge modelinin oluşturulması
 - (iii) Gölgesiz görüntünün elde edilişi

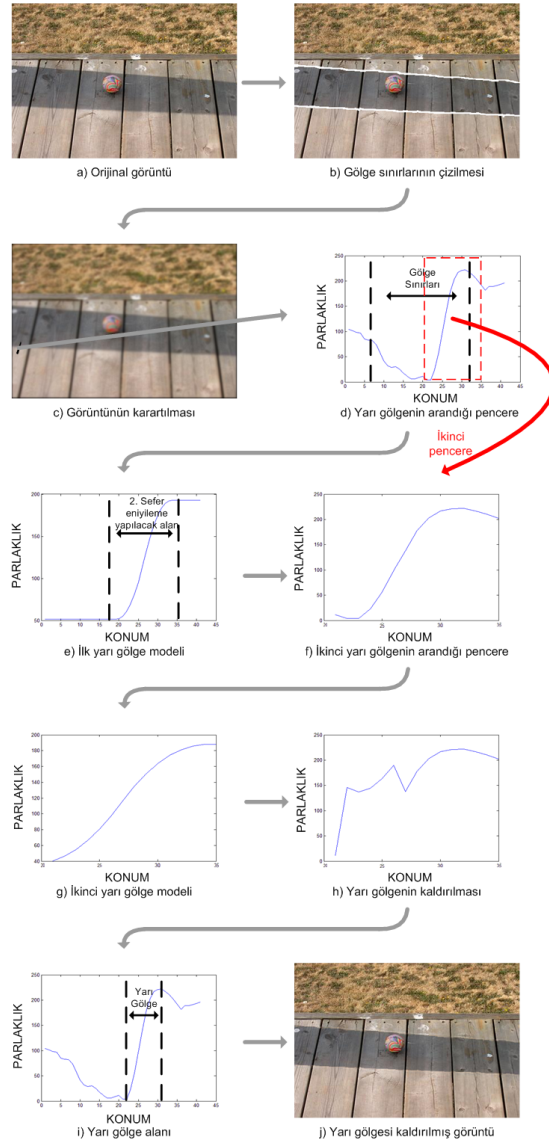
6.1 Yarı gölgelerin kaldırılması

Yarı gölge analizi için yarı gölge modelleri kullanılır, çünkü resim tamir yöntemleriyle $I(y, x)$ ve $I'(y, x)$ verileri elde edilemez.

Yarı gölge analizi için Eş. (4.9)'da gösterilen model kullanılmıştır. Bu model sayesinde tam gölgenin başladığı y ve x pozisyonları; gölgesiz alan verisi $I'(y, x)$ ve gölgeli alan verisi $I(y, x)$ elde edilmektedir.

Şekil 6.1(a)'da görülen görüntü üstüne Şekil 6.1(b)'de görülen gölge sınırları resim düzeltme yazılımıyla çizilmiştir. Yarı gölge analizinden önce görüntü, Gauss karaltısı

yardımla yumuŖatılmaktadır. Analizler sonucu yumuŖatmanın etkisi ile tam gölge baŖlangı noktaları ve gölgesiz alan verisinin daha baŖarılı elde edildiği grlmŖtr. YumuŖatılmıŖ görüntü Ŗekil 6.1(c)'de görülmektedir. Daha sonra gölge sınırları etrafında yarı gölgeler aranmaktadır. Ŗekil 6.1(d)'de yapılan aramalardan biri sonucunda elde edilen pencere görülmektedir. Bütün gölge sınırları etrafında benzer aramalar yapılmaktadır. Gölge sınırları geliŖi güzel verilmiŖtir. Ŗekil üstünde verilen gölge sınırları kesik çizgiler arasında görülmektedir. Elde edilen veriler, eğri uydurum yöntemleri ve EŖ. (4.9)'da görülen model yardımla yarı gölge modeli oluŖturulmuŖtur. Elde edilen yarı gölge modeli Ŗekil 6.1(e)'de görülmektedir. İlk yapılan eğri uydurum iŖleminde amaç tahmini olarak yarı gölgenin pozisyonunu bulmak ve bu pozisyon etrafında ikinci pencereyi oluŖturmaktır. İkinci veri penceresi Ŗekil 6.1(f)'de görülmektedir. Bir sefer daha eğri uydurum iŖlemi yapıldığında yarı gölge modeli elde edilmektedir. Bu model Ŗekil 6.1(g)'de görülmektedir. Ŗekil 6.1(f)'de görülen pencerenin gradyanından Ŗekil 6.1(g)'de görülen yarı gölge modelinin gradyanı çıkarıldığında yarı gölgesiz görüntünün gradyanı elde edilmektedir. Bu gradyanın daha sonra tümlevi alınarak yarı gölgesiz görüntü elde edilmektedir. Yarı gölgesiz pencere Ŗekil 6.1(h)'de görülmektedir. Model sayesinde ilk penceredeki yarı gölge alanı da bulunmaktadır. Bu alan Ŗekil 6.1(i)'de görülmektedir. Ŗekil 6.1(j)'de bütün yarı gölgeleri kaldırılmıŖ görüntü görülmektedir.



Şekil 6.1: Yarı gölgelerin kaldırılması

Bütün pencereler başlangıçta 40 piksel uzunluğunda oluşturulmuştur. Açılan pencereler içindeki veriler, eğri uydurma işlemlerinde kullanılarak, yarı gölge modelleri oluşturulmaktadır. Aşağıda $F(t, x)$ ile gölge modeli, $I(t)$ ile görüntü, x ile yarı gölge modeli katsayıları, t ile pencere genişliği, σ ile gölge keskinliği, t_0 ile en uygun gölge pozisyonu, d ile ortalama parlaklık ve w ile gölge derinliği gösterilmiştir. Şekil 4.11’de katsayılar gösterilmiştir.

$$\min_x \|F(t, x) - I(t)\|_2^2 \quad (6.1)$$

$$x = [\sigma \ w \ t_0 \ d] \quad (6.2)$$

$$t = 1..40 \quad (6.3)$$

$$F(t, x) = d + \begin{cases} \frac{w}{2} & t - t_0 \leq -\sigma \\ \frac{-w(t_0-t)^2}{2\sigma^2} + \frac{w(t_0-t)}{\sigma} & -\sigma < t - t_0 \leq 0 \\ \frac{w(t_0-t)^2}{2\sigma^2} + \frac{w(t_0-t)}{\sigma} & 0 < t - t_0 \leq \sigma \\ -\frac{w}{2} & t - t_0 > \sigma \end{cases} \quad (6.4)$$

Eş. (6.1)'de pencere genişliği 40 piksel olan bir pencere için uygulanan eniyileme işlemi gösterilmiştir. $F(t, x)$ doğrusal olmayan yarı gölge modelidir. Minimize etme işlemi yarı gölge katsayıları değiştirilerek yapılmaktadır. Bu katsayılar σ , w , t_0 ve d ile ifade edilmiştir ve Eş. (6.2)'de gösterilmiştir. Eniyileme işlemi sonunda her yarı gölge denemesi için bu katsayılar elde edilmektedir.

Analizler sonucu tek eniyileme işleminin yarı gölge katsayılarını bulmak için yeterli olmadığı görülmüştür. Bu yüzden bir sefer daha eniyileme işlemi yapılmaktadır. Bu sefer pencere genişliği 3σ piksel seçilmektedir ve bir önceki işlemde bulunan σ , w , t_0 ve d değerleri yeni işlemde başlangıç noktası olarak kullanılmaktadır. İkinci sefer sonunda elde edilen katsayılarla yarı gölge modeli oluşturulmaktadır. Elde edilen katsayılarla oluşturulan model $P(t)$ ile ifade edilmektedir.

$$P(t) = F(t, x) \quad (6.5)$$

Oluşturulan model ve penceredeki görüntünün, pencere ekseninde gradyanları alınır. Aşağıda bu işlem görülmektedir. Modelin ve görüntünün p eksenindeki gradyanları sırasıyla $\nabla_p P(t)$ ve $\nabla_p I(t)$ ile simgelenmiştir. Gölge sınırları üzerinde açılan pencerenin eksen p ile gösterilmiştir.

$$\nabla_p P(t) = \frac{dP(t)}{dp} \quad \nabla_p I(t) = \frac{dI(t)}{dp} \quad (6.6)$$

Model yardımıyla penceredeki görüntünün yarı gölgesi kaldırılır. Aşağıda bir pencere-deki yarı gölgenin elde edilişi görülmektedir. Yarı gölge $S(t)$ ile ifade edilmiştir.

$$S(t) = \begin{cases} 1 & t \geq (t_0 - \sigma) \ \& \ t \leq (t_0 + \sigma) \\ 0 & \text{gerisi} \end{cases} \quad (6.7)$$

Yarı gölge kaldırma işlemi yarı gölge alanında yapılmaktadır. Yarı gölgesi kaldırılmış görüntü $g'(t)$ ile ifade edilmektedir. Yarı gölge alanında görüntünün gradyanından yarı gölge modelinin gradyanı çıkarılmaktadır. Geri kalan bölümlerde görüntünün gradyanı kullanılmaktadır. Aşağıda bu işlem gösterilmiştir.

$$g'(t) = \begin{cases} \nabla_p I(t) - \nabla_p P(t) & S(t) = 1 \\ \nabla_p I(t) & S(t) = 0 \end{cases} \quad (6.8)$$

Daha sonra görüntü tekrar oluşturulur. Oluşturulan görüntü $G'(t)$ ile ifade edilmektedir. Bütün pencereler gölgesiz alandan başlamaktadır. Aşağıda c ile gölgesiz alandaki ilk pikselin değeri gösterilmiştir.

$$G'(t) = \int_t g'(l)dl + c \quad (6.9)$$

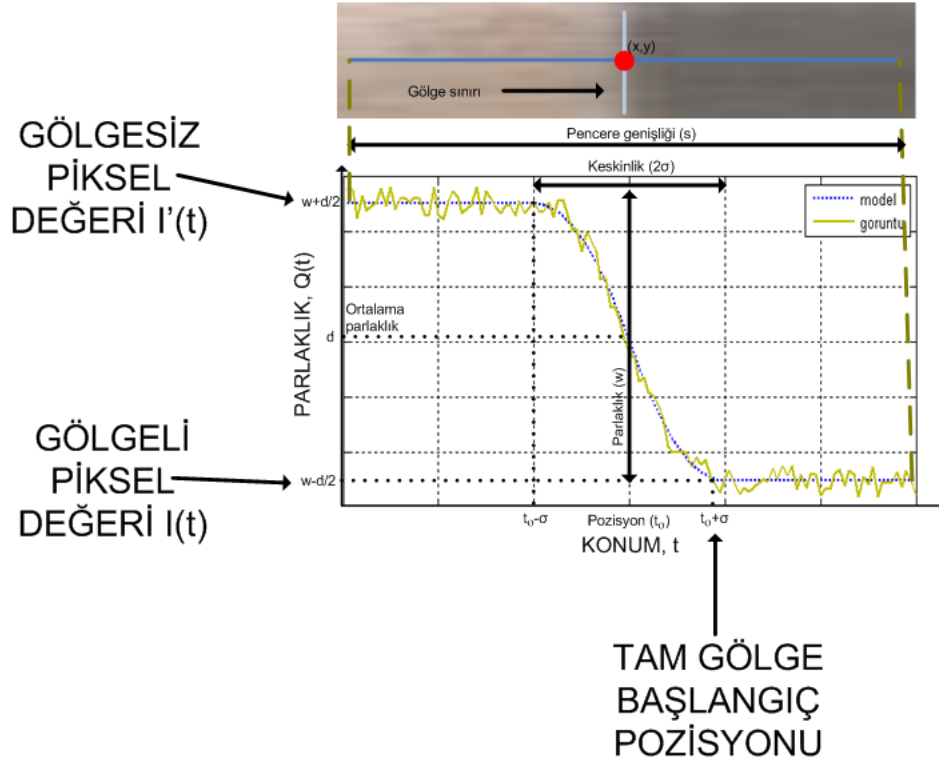
Elde edilen yarı gölgesiz görüntü penceresi $G'(t)$, gölgeli görüntüde yerine konulur. Yarı gölge kaldırma işlemi bütün renk kanallarında yapılmaktadır. İşlem bittikten sonra tam gölge için veriler oluşturulmaya başlanır.

6.2 Tam gölge modeli için verilerin oluşturulması

Tam gölge analizi için tam gölge başlangıç pozisyonları, gölgeli piksel değerleri ve gölgesiz piksel değerleri saklanmaktadır. Aşağıda (y, x) koordinatında $I'(y, x)$ gölgesiz piksel değeri ve $I(y, x)$ gölgeli piksel değerlerinin elde edilişi gösterilmiştir. Tam gölge başlangıç noktası (y, x) olarak kaydedilmiştir. Başlangıç pozisyonu $t_0 + \sigma$ değerinin y ve x düzleminde karşılığıdır. Aşağıda d ile ortalama parlaklık ve w ile gölge derinliği gösterilmiştir. Bu değerler ikinci eğri uydurma işlemi sonucunda elde edilmiştir.

$$I'(y, x) = d + w/2 \quad I(y, x) = d - w/2 \quad (6.10)$$

Gölgeli piksel değeri, gölgesiz piksel değeri ve tam gölge başlangıç pozisyonu Şekil 6.2'de görülmektedir.



Şekil 6.2: Tam gölge modeli için verilerin oluşturulması

6.3 Tam gölge modeli için oluşturulan verilerin incelenmesi

Tam gölgenin kaldırılması için Eş. (5.8) kullanılacaktır. Eşitliğin kullanılması için gerekli olan, kontrast katsayısını ve Gauss dağılımını, bulmak için yapılacak eniyileme işlemi için veriler hazırlanmıştır.

Tam gölge kaldırma işlemi uygulanmadan yapılması gereken iki önemli adım bulunmaktadır. Birinci adım yarı gölge analizinden gelen hatalı verilerin elenmesidir. İkinci adım ise yarı gölge analizinden gelen verilere ekleme yapılmasıdır.

Yarı gölge analizi sonucu hatalı koordinat bilgileri oluşabilmektedir. Bunu engellemek için yarı gölge analiz sonuçlarına bakılarak gölge alanı oluşturulur. Gölge alanı içinde

kalan y ve x koordinatları hatasız veri olarak kabul edilmektedir. Şekil 6.3'ün A bölümünde gölge sınırı ve B bölümünde gölge alanı gösterilmiştir. Şekil 6.4'te yarı gölge analizinden elde edilen hatasız veriler beyaz noktalarla gösterilmiştir.



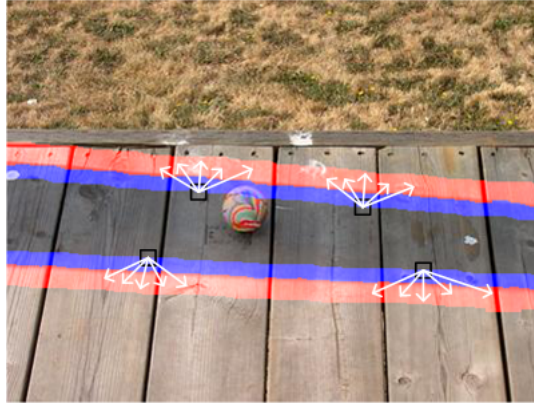
Şekil 6.3: Gölge sınırı ve alanı



Şekil 6.4: Elde edilen veriler

İkinci adımda gölge alanındaki çekirdeklerin gölgesiz alanda benzerleri aranmaktadır. Bunun için gölge içinde 4 adet 9x9 piksel boyuntunda çekirdek seçilir. Seçilen çekirdeklerin benzerleri gölgesiz alanda aranmaktadır. Bu işlem Gauss dağılımının gölge şiddetinin ve gölge dağılımının daha doğru bulunmasını sağlamaktadır.

Gölge alanında kalan çekirdeklerin merkezleri, gölge sınırından en fazla 21 piksel uzaklıkta olacak şekilde seçilmektedirler. Gölge alanında olmayan benzeşim çekirdekleri gölge sınırından en fazla 27 piksel uzaklıkta olacak şekilde seçilmektedir. Şekil 6.5'te maviyle görülen alanda gölge içinde benzerleri aranacak çekirdekler seçilmektedir. Şekil 6.5'te kırmızıyla görülen alanda benzeşim çekirdekleri seçilmektedir. Gölge içindeki çekirdekler mümkün olduğunca birbirlerinden uzak olması sağlanmaktadır. Her gölge içindeki çekirdekler, kırmızı alandaki her çekirdekle kıyaslanmakta ve maliyet değeri hesaplanmaktadır.



Şekil 6.5: Çekirdeklerin seçimi

Ortalaması çıkarılmış gölge içindeki çekirdeklerin, ortalaması çıkarılmış gölge alanı dışındaki çekirdeklerle benzerlikleri aranmaktadır. Bunun için ortalama karesel hatalar kullanılmaktadır. Aşağıda geliştirilen algoritma gösterilmiştir. Aşağıda N ile gölgesiz alanda elde edilen çekirdek sayısı; S ile benzerlik aranan gölgeli alandaki çekirdek; G_i ile gölgesiz alandaki çekirdekler; OKH ile ortalama karesel hatalar işlemi ve O_i ile elde edilen hata değeri gösterilmiştir.

$$O_i = \text{OKH}(S, G_i) \quad i = 1..N \quad (6.11)$$

Daha sonra çekirdekler arası piksel mesafesi hesaplanmaktadır. Aşağıda x_S ile gölgeli alandaki çekirdeğin x düzlemindeki pozisyonu; x_{G_i} ile gölgesiz alandaki çekirdeğin x düzlemindeki pozisyonu; y_S ile gölgeli alandaki çekirdeğin y düzlemindeki pozisyonu; y_{G_i} ile gölgesiz alandaki çekirdeğin y düzlemindeki pozisyonu görülmektedir. D_i ile iki çekirdek arasındaki mesafe gösterilmiştir.

$$D_i = [(x_S - x_{G_i})^2 + (y_S - y_{G_i})^2]^{1/2} \quad i = 1..N \quad (6.12)$$

N adet gölge dışındaki çekirdek için elde edilen D_i ve O_i değerleri kullanılarak maliyet fonksiyonu hazırlanmıştır. Mesafe ve hata değerleri kendi içinde 0 ile 1 arasında normalize edilmektedir. Aşağıda maliyet değeri M_i gösterilmiştir. Ağırlık değerleri a ve b sabit sayılarla ifade edilmiş ve tez boyunca 0.5 değeri verilmiştir. Normalize fonksiyonu NORM ile tanımlanmıştır.

$$M_i = \text{NORM}(D_i) a + \text{NORM}(O_i) b \quad i = 1..N \quad (6.13)$$

N adet maliyet değerinin en küçüğü seçildikten sonra benzetme işlemi yapılmaktadır. Gölgedeki çekirdeğin merkez noktasının koordinatları, gölgedeki çekirdeğin ortalaması ve gölgesiz alandaki çekirdeğin ortalaması, tam gölge analizine taşınmaktadır. Bu işlem gölgeli alandaki bütün çekirdekler için uygulanmaktadır. Şekil 6.6'da siyah kutular gölgeli alanda seçilen çekirdekleri, kırmızı kutular gölgesiz alanda bulunan benzeşim çekirdeklerini göstermektedir.



Şekil 6.6: Benzeşim çekirdekleri

6.4 Tam gölgelerin kaldırılması

Eldeki verilerle eniyileme işlemi yapılmaktadır ve bu sayede Gauss dağılım katsayıları ve kontrast sabiti bulunmaktadır. İşlemde bilinmeyen 10 adet katsayı bulunmaktadır. Bu katsayılar aşağıda sıralanmıştır:

- Her renk kanalı için gölge şiddeti (A_R, A_G, A_B)
- Kontrast katsayısı (K_R, K_G, K_B)
- Gölgenin merkez konumu (m_x, m_y)
- Gölge dağılım katsayıları (σ_x, σ_y)

Benzeşim çekirdeklerinden elde edilen verilerle her renk kanalı için gölge şiddetinin başlangıç değerleri atanır. Yarı gölge analizinden gelen veriler gölge sınırlarında örneklenmiştir. Bu durumda gölge merkez konumunun tam gölge ortasında olduğu durumlarda gölge şiddetinin ayarlanamadığı görülmüştür. Bu işlem yapılmadığında hatalı gölge şiddetleri bulunmaktadır. Gölgenin merkez konumunun başlangıç değerleri yarı gölge analizinden gelen verilerin konumlarının ağırlıklı ortalamasıdır. Bu işlemde konum ağırlıklarını gölge şiddetleri belirlemektedir. Kontrast katsayılarının başlangıç

değerleri gölgesiz verilerin gölgeli veriler oranlanmasıyla bulunmaktadır.

Eş. (5.8) uygulandığında gölgesli kaldırılmış görüntü elde edilmiştir ve Şekil 6.7’de görüntü görülmektedir.



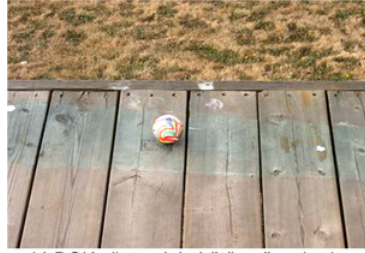
Şekil 6.7: KGGK yöntemi çıktısı

6.5 KGGK yöntemi sonuçları

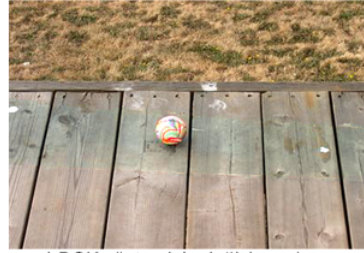
Şekil 6.8(a)'da görülen görüntünün gölgesi kaldırılmış durumları şekiller 6.8(b), 6.8(c), 6.8(d), 6.8(e), 6.8(f) ve 6.8(g)'de görülmektedir. Şekil 6.8(b)'de basit gölge kaldırma yönteminin bütün gölge sınırlarında uygulanması ile elde edilmiş görüntü görülmektedir. Şekil 6.8(c)'de basit gölge kaldırma yönteminin sadece değişken olmayan yüzeylerin gölge sınırlarında uygulanması ile elde edilmiş görüntü görülmektedir. Şekil 6.8(d)'de iki boyutta tümlev olarak gölge kaldırma yöntemiyle elde edilmiş görüntü görülmektedir. Şekil 6.8(e)'de iki boyutta tümlev olarak gölge kaldırma yönteminin ilgili makalesinde oluşturulmuş görüntü görülmektedir [34]. Şekil 6.8(f)'de yarı gölge kaldırma yönteminde oluşturulmuş görüntü görülmektedir. Şekil 6.8(g)'de KGGK yöntemiyle oluşturulmuş görüntü görülmektedir. Şekiller 6.8(b), 6.8(c), 6.8(d), 6.8(f) ve 6.8(g)'de görülen görüntüler bu tez kapsamında oluşturulmuştur.



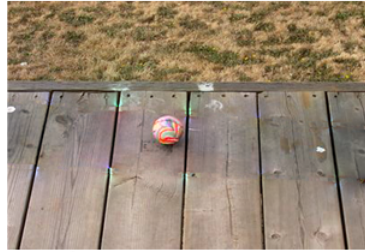
a) Orijinal görüntü



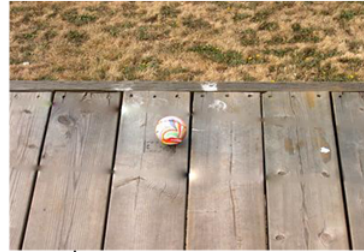
b) BGK yönteminin bütün yüzeylerde uygulanmasıyla elde edilmiş görüntü



c) BGK yönteminin değişken olmayan yüzeylerde uygulanmasıyla elde edilmiş görüntü



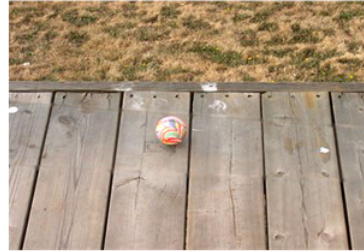
d) İki boyutta tümlev olarak gölge kaldırma yöntemiyle elde edilmiş görüntü



e) İki boyutta tümlev olarak gölge kaldırma yönteminin makale çıktısı



f) Yarı gölge kaldırma yöntemi çıktısı



g) KGGK yöntemi çıktısı

Şekil 6.8: Yöntemlerin çıktılarının kıyaslanması

Aşağıdaki şekillerde KGGK yönteminin sonuçları görülmektedir. Şekillerin A bölümlerinde gölgeli görüntüler ve B bölümlerinde gölgesiz görüntüler görülmektedir.

Şekil 6.9'da ve Şekil 6.10'da yeşil ağırlıklı bir yüzeyde yapılan gölge kaldırma işlemi gösterilmiştir. Gölgeli görüntüde yeşil kanalı, kırmızı ve mavi kanala göre daha

baskındır, ama bu durum gölge kaldırma işlemini bozmamıştır.¹



a) Orijinal görüntü



b) Gölgesi kaldırılmış görüntü

Şekil 6.9: KGGK yöntemiyle yeşil ağırlıklı yüzeyde gölge kaldırma



a) Orijinal görüntü



b) Gölgesi kaldırılmış görüntü

Şekil 6.10: KGGK yöntemiyle yeşil ağırlıklı yüzeyde gölge kaldırma

Şekil 6.11’de düşürülen gölge uygulaması yapılmıştır. Binanın duvarı üzerinde oluşan

¹Şekil 6.10(a)’da görülen gölgeli görüntü <http://www.cs.sfu.ca/mark/ftp/Eccv04/extrimage.pdf> adresindeki extrimage.pdf dosyasından alınmıştır.

gölge kendini gölgelemedir. Geri kalan gölge ise düşürülen gölgedir. KGGK yöntemi ile düşürülen gölge kaldırılmıştır. Kendini gölgeleme üzerinde işlem yapılmamıştır.²



a) Orijinal görüntü



b) Gölgesi kaldırılmış görüntü

Şekil 6.11: KGGK yöntemiyle düşürülen gölgenin kaldırılması

Şekil 6.12'de yazılı bir metin üzerinden KGGK yöntemi ile gölge kaldırılmaya çalışılmıştır.

ÖNEMLİ NUMARA			
Yangın İhbar	110	İbn-i-sina	310 33 33
Hazir Acil Servis	112	Bağlantı Ünvl. Hast.	212 68 68
Polis İmdat	155	Bayındır Tıp Merkezi	287 90 00
Alo Trafik	154	Göz Bankası	319 51 10
Alo Zabıta	153	Hacettepe Hast.	310 35 45
Bilinmeyen Num.	11811	Kızılay Kan Merkezi	362 97 00
Telefon Arıza	121	Numune Hast.	310 30 30
Ptt Hizmet Dan.	161	Gazi Hast.	214 10 00
Su Arıza	185	Onkoloji Hast.	336 09 09
Elektrik Arıza	186	SSK Ankara Hast.	317 05 05
Doğalgaz Arıza	187	SSK Etik Doğum Hast.	322 01 80
Cenaze Hizmetleri	188	Zübeyde Hanım Dğm.	317 06 06
Vergi Danışma	189	Belediye hast.	231 71 40

a) Orijinal görüntü

ÖNEMLİ NUMARA			
Yangın İhbar	110	İbn-i-sina	310 33 33
Hazir Acil Servis	112	Bağlantı Ünvl. Hast.	212 68 68
Polis İmdat	155	Bayındır Tıp Merkezi	287 90 00
Alo Trafik	154	Göz Bankası	319 51 10
Alo Zabıta	153	Hacettepe Hast.	310 35 45
Bilinmeyen Num.	11811	Kızılay Kan Merkezi	362 97 00
Telefon Arıza	121	Numune Hast.	310 30 30
Ptt Hizmet Dan.	161	Gazi Hast.	214 10 00
Su Arıza	185	Onkoloji Hast.	336 09 09
Elektrik Arıza	186	SSK Ankara Hast.	317 05 05
Doğalgaz Arıza	187	SSK Etik Doğum Hast.	322 01 80
Cenaze Hizmetleri	188	Zübeyde Hanım Dğm.	317 06 06
Vergi Danışma	189	Belediye hast.	231 71 40

b) Gölgesi kaldırılmış görüntü

Şekil 6.12: KGGK yöntemiyle yazılı bir metinde gölge kaldırma

²Şekil 6.11(a)'da görülen gölgeli görüntü <http://www.cs.sfu.ca/mark/ftp/Eccv04/extraim-ages.pdf> dosyasından alınmıştır.

Şekil 6.13'te açık alanda geniş bir yüzeyde gölge kaldırma işlemi yapılmıştır.³



a) Orijinal görüntü



b) Gölgesi kaldırılmış görüntü

Şekil 6.13: KGGK yöntemiyle geniş alanda oluşmuş gölgenin kaldırılması

Şekil 6.14'te bir kartalın gölgesi kaldırılmıştır.⁴



a) Orijinal görüntü



b) Gölgesi kaldırılmış görüntü

Şekil 6.14: KGGK yöntemiyle kartalın gölgesinin kaldırılması

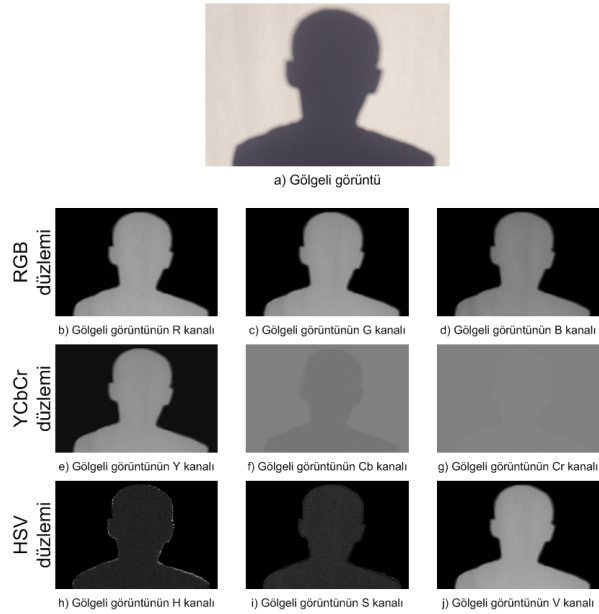
³Şekil 6.13(a)'da görülen gölgeli görüntü <http://www.travelpod.com/s/photos/shadow+mountain+resort> adresinden alınmıştır.

⁴Şekil 6.14(a)'da görülen gölgeli görüntü Texture Consistent Shadow Removal makalesinden alınmıştır [29].

6.6 KGGK yönteminin farklı renk düzlemlerinde uygulanması

Gölge farklı renk düzlemlerinde de etkindir ve bu yüzden gölge kaldırma işlemleri farklı renk düzlemlerinde de yapılması mümkündür.

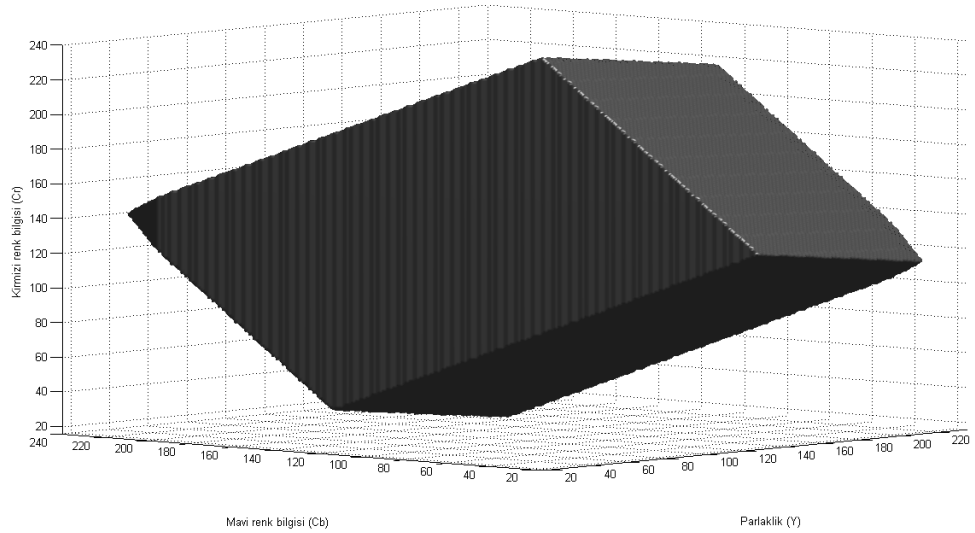
Şekiller 6.15(a), 6.15(b), 6.15(c), 6.15(d), 6.15(e), 6.15(f), 6.15(g), 6.15(h), 6.15(i) ve 6.15(j)'de sırasıyla gölgeli görüntü; gölgeli görüntünün kırmızı kanalı (R); gölgeli görüntünün yeşil kanalı (G); gölgeli görüntünün mavi kanalı (B); gölgeli görüntünün parlaklık kanalı (Y); gölgeli görüntünün mavi renk bilgisi kanalı (Cb); gölgeli görüntünün kırmızı renk bilgisi kanalı (Cr); gölgeli görüntünün renk tonu kanalı (H); gölgeli görüntünün doygunluk kanalı (S) ve gölgeli görüntünün değer kanalı (V) görülmektedir. Her renk kanalında gölge etkindir, fakat Cb ve Cr kanalında gölge diğer kanallara göre daha az etkindir. RGB düzleminde YCbCr düzlemine geçilirken BT-601 standardında gösterilen formüller kullanılmıştır [36].



Şekil 6.15: Farklı renk düzlemlerinde gölge

Bu tez kapsamında kullanılan veya geliştirilen gölge modelleri H ve S kanallarında uygulanamaz. Bu renk kanalları R, G, B kanallarının değerlerinin kıyaslanmasıyla bulunmaktadır. Gölgelede R, G, B kanallarının her hangi biri baskın olmayabilir. Bu yüzden bir gölgenin bir bölümünde R kanalı etkin durumda iken diğer bölümde G veya B kanalı etkin olabilir ve bu durumda yarı ve tam gölge modellerinin hatalı çalışmasına sebep olabilmektedir. Cb ve Cr kanallarında gölge fazla etkin değildir. Bu yüzden gölge modelleri hatalı oluşturulmaktadır. Görüntü içinden gölge modelleri için veri elde etmek zorlaşmaktadır.

YCbCr düzleminde görüntü işleme algoritmalarını uygulamak zordur, çünkü her YCbCr değerinin RGB düzleminde karşılığı yoktur, fakat her RGB değerinin YCbCr düzleminde karşılığı bulunmaktadır. Şekil 6.16'da RGB karşılığı olan YCbCr değerleri görülmektedir. Kullanılan RGB ve YCbCr düzlemleri arası geçiş formülleri EK A'da verilmiştir. Kullanılan RGB ve HSV düzlemleri arası geçiş kodları EK B'de verilmiştir.



Şekil 6.16: YCbCr düzleminde RGB düzlemine geçiş

YCbCr düzleminde yapılan görüntü işleme uygulamaların RGB karşılığı olmayan

YCbCr değerleri oluşabilir. Bu etkiyi minimize etmek için sadece parlaklık (Y) kanalında işlem yapılmaktadır.

şekil 6.17(a)'da ve şekil 6.17(d)'de görülen görüntülere KGGK yöntemi uygulanmıştır. RGB düzlemi kullanıldığı durumlarda bütün renk kanallarındaki gölgeler modellenmiştir. YCbCr düzlemi kullanıldığında sadece Y kanalında gölge modelleme işlemi yapılmıştır. Giriş görüntüsünün Cb ve Cr kanalları çıkış görüntüsünde geri yerleştirilmiştir. şekil 6.17(b)'de RGB düzlemi kullanılarak elde edilen görüntü 342 saniyede elde edilmiştir. şekil 6.17(c)'de YCbCr düzlemi kullanılarak elde edilen görüntü 61 saniyede elde edilmiştir. şekil 6.17(d)'de RGB düzlemi kullanılarak elde edilen görüntü 441 saniyede elde edilmiştir. şekil 6.17(e)'de YCbCr düzlemi kullanılarak elde edilen görüntü 71 saniyede elde edilmiştir.



şekil 6.17: KGGK yönteminin farklı renk düzlemlerinde elde edilen sonuçları

Bütün işlemler Intel Core2 Duo T6500 işlemcili, 4GB 800 MHz DDR2 hafızalı ve işletim sistemi Windows 7 Ultimate olan bir bilgisayarda yapılmıştır. Fonksiyonlar MATLAB 2009a yazılımında yürütülmüştür.

7 SONUÇLAR VE YORUMLAR

Bu tez çalışması kapsamında, farklı gölge kaldırma yöntemlerine ve geliştirilen KGGK yöntemine değinilmiştir. KGGK yöntemi ve diğer yöntemlerin uygulaması yapılmıştır. Ayrıca gölge bulma yöntemlerine ve gölge yapısına değinilmiştir. Tam gölge ve yarı gölge için modeller aranmış ve bulunmuştur.

Çalışmalarda renkli görüntüler kullanılmıştır. Dış mekanlarda yapılan çekimlerde Canon PowerShot A590 IS markalı fotoğraf makinesi kullanılmıştır. Bu cihazın kullanılmasıdaki en büyük sebep, cihazın optik görüntü sabitleme sisteminin olmasıdır. Bu sayede aynı ortamın gölgeli ve gölgesiz görüntüleri kolaylıkla çekilmiştir. Bütün çalışmalar dış mekan görüntüleri üstünde yapılmıştır. Yüzey bilgisi ve gölgeyi oluşturan cismin geometrisi kullanılmamıştır.

Bu tez kapsamında uygulanan gölge kaldırma yöntemlerinin eksikleri incelenmiştir ve eksiklikler geliştirilen yöntemlerde kapatılmaya çalışılmıştır. Birden fazla yol yardımıyla gölge kaldırma yöntemi gölge sınırlarında çok fazla işlem yaptığından uygulama başarılı olmamaktadır. Tek yol yardımıyla gölge kaldırma yönteminde gölgenin delindiği yerin seçimi çok önemlidir. Hatalı bir yerden gölgenin delinmesi işleyişin bozulmasına sebep olmaktadır. Basit gölge kaldırma yöntemi sadece kontrastı eşitleyerek gölgeleri kaldırmaya çalışmaktadır, fakat bu işlem gölgedeki gürültüleri, gölgesiz görüntüde ortaya çıkarmaktadır. Elde edilen görüntünün histogramları dağılmaktadır. İki boyutta tümlev yapan yöntemlerde, kaynak görüntülerle çıktılar arasında parlaklık farkı oluşabilmektedir, çünkü çıktı, iki boyutta tümlev alınarak oluşturulduğundan başlangıç koşulları kaybolmaktadır.

Uygulanan gölge kaldırma yöntemlerinin bazıları resim tamir yöntemleri kullanmaktadır.

Gölge sınırlarında resim tamir yöntemlerinin kullanılması her durumda işe yaramamaktadır. Özellikle gölge sınırlarında değişimin çok olduğu veya gölge sınırlarının çok geniş olduğu durumlarda görüntü üzerinde bozulmalar oluşmaktadır.

Tam gölgeyi kaldırmak için kullanılan modellerden GEGK yönteminin sabit yüzeylerde işe yaradığı görülmüştür, fakat değişken yüzeylerde kontrast problemi oluşmaktadır. BGK yöntemi ile oluşturulan gölgesiz görüntülerin histogramlarıyla aynı yüzeyin gölgesiz görüntüsünün histogramları kıyaslandığında farklılıklar görülmüştür. BGK yöntemi ile oluşturulan görüntülerin histogramları olması gerektiğinden daha dağınıktır. ÇEGK, yöntemi kontrast artırma işlemi sayesinde gölgesiz görüntülerin histogramlarıyla oluşturulan gölgesiz görüntülerin histogramları arasındaki fark azalmıştır, fakat parlaklığın dağılımı sabit katsayılarla ifade edilmeye çalışıldığı için oluşturulan görüntülerin tam gölgelerinde parlaklık farklılıkları görülmektedir. KGGK yöntemi, Gauss parlaklık dağılımını kullandığı için gölgeleri daha başarılı kaldırmıştır. Bu yöntemde sadece parlaklık Gauss dağılımı gibi bir fonksiyonla ifade edilmiştir. Bu fonksiyonun başarısı sabit yüzeyli görüntülerde görülmüştür. Benzer bir şekilde kontrast ayar katsayısı da bir fonksiyonla ifade edilebilirdi, fakat böyle bir fonksiyon modeli daha da kompleks bir duruma getirebilirdi.

Gölge ile ilgili elde edilen en önemli sonuç ise gölgede kalan görüntünün her zaman kurtarılmasının mümkün olmadığıdır. Gölge şiddeti bazı senaryolarda gereğinden fazla olup, görüntü içindeki verilerin kaybolmasına neden olmaktadır.

Elde edilen sonuçlar sonucunda KGGK yöntemine önem verilmiştir. Sonuçlar gölgeli ve gölgesiz görüntüler kullanılarak elde edilmiştir, fakat bu tezin amaçlarından biri de sadece gölgeli görüntü kullanarak gölgeyi kaldırmaktır. Bu amaç doğrultusunda KGGK yönteminin sadece gölgeli görüntülerin bulunduğu durumlara özel uygulaması geliştirilmiştir.

KGK yönteminin getirileri şu şekilde özetlenebilir:

- Resim tamir yöntemleri kullanmamaktadır.
- Yarı gölge analizi yapıldığı için yarı gölgedeki veriler yeniden oluşturulmaktadır.
- Gölge sınırlarının yarı gölge alanını göstermemesi önemli değildir. Yarı gölge analizi tam gölge ile gölgesiz alan arasındaki yarı gölge sınırlarını bulabilmektedir.
- Eğri uydurum ve eniyileme işlemleri yardımıyla gölgenin karakterini oluşturan katsayılar bulunmakta ve katsayılar yardımıyla oluşturulan modellerle gölge kaldırılmaktadır. Bu sayede gölge içinde farklı bölgelere farklı işlemler uygulanmaktadır. Gölgeyi oluşturan cismin şeklinden dolayı ortaya çıkan gölge dağılımı daha etkili bir biçimde modellenmektedir. Bu sayede gölge daha etkili kaldırılmaktadır.
- Bütün işlemler sadece tam gölge ve yarı gölge üzerinde yapılmaktadır. Gölgesiz görüntü değiştirilmemektedir.

KGK yönteminin götürüleri de şu şekilde özetlenebilir:

- Çok fazla eniyileme işlemi yaptığı için işlem süresi bazı yöntemlerden daha fazladır.
- Yarı gölge analizinde hata oranı yükseldikçe tam gölge analizinde de hata oranı yükselmektedir.
- Yarı gölge modeli keskinlik simetrisi yüzünden açık alandaki görüntüye uygulanmaktadır.

Gelecek çalışmalarda renk bilgisi ve gölgenin özellikleri daha çok kullanılarak değişik kısıtlamalar uygulanabilir. Yarı gölge analizlerinin daha doğru yapılması için model üzerinde değişiklikler yapılabilir. Yarı gölge modelinden elde edilen verilerde hata oranının azalmasıyla tam gölge analizinin performansı artacaktır.

KGKK yönteminin videolara uygulanabilmesi için yarı gölge modellemesi yerine başka yöntemler dşnlmelidir. KGKK yönteminde yarı gölgelerin kaldırılması ve yarı gölge modellemesinden tam gölge için veri oluşturulması, işlem sresinin %95'ini tutmaktadır. Geri kalan zamanda tam gölge kaldırılmaktadır. Video uygulamalarında gölgenin oluştuğu alanın bir önceki çerçevelerde gölgesiz durumu mevcut olacaktır. Buradaki veriler eniyileme işleminde kullanılarak çok daha başarılı gölge modeli oluşturulması mümkün olacaktır. Tam gölgeler için kullanılan veriler bir önceki çerçeveden elde edileceği için yarı gölgelerde resim tamir yöntemleri uygulanabilir.

KAYNAKÇA

- [1] J. Norman, Y. Lee, F. Phillips, H. Norman, L. Jennings, and T. McBride. The perception of 3d shape from shadows cast onto curved surfaces. In *ISPRS08*, page B3b: 569 ff, 2008.
- [2] S. Savarese, M. Andreetto, H. Rushmeier, F. Bernardini, and P. Perona. 3d reconstruction by shadow carving: Theory and practical evaluation. *International Journal of Computer Vision (IJCV)*, 71(305–336), 2006.
- [3] H. Jiang and M. Drew. Tracking objects with shadows. *Image and Video Communications and Processing 2003. Proceedings of the SPIE*, 5022:512–521, 2003.
- [4] A. Sanin, C. Sanderson, and B. C. Lovell. Improved shadow removal for robust person tracking in surveillance scenarios. *International Conference on Pattern Recognition (ICPR), Turkey*, 2010.
- [5] G.J. Klinker, S.A. Shafer, and T. Kanade. The measurement of highlights in color images. *Int. J. Comput. Vision*, 2:7–32, 1988.
- [6] M.J. Swain and D.H. Ballard. Color indexing. *Int. J. Comput. Vision*, 7:11–32, 1991.
- [7] J.G. Avina-Cervantes, L. Martínez-Jiménez, M. Devy, A. Hernández-Gutierrez, D. L. Almanza, and M. A. Ibarra. Shadows attenuation for robust object recognition. *Proceedings of the Artificial Intelligence 6th Mexican International Conference on Advances in Artificial Intelligence*, 7:650–659, 2007.
- [8] H. Barrow and J. Tenenbaum. Recovering intrinsic scene characteristics from images. In *Computer Vision Systems. Academic Press, London*, 1978.
- [9] Y. Weiss. Deriving intrinsic images from image sequences. *IEEE ICCV*, pages 68–75, 2001.

- [10] A. Prati, I. Mikic, M.M. Trivedi, and R. Cucchiara. Detecting moving shadows: Algorithms and evaluation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 25(7), 2003.
- [11] G.D. Finlayson, M. Drew, C. Lu, and S.D. Hordley. On the removal of shadows from images. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 28(1):59–68, 2006.
- [12] G.D. Finlayson, M. Drew, and C. Lu. Entropy minimization for shadow removal. *International Journal of Computer Vision*, 85, 2009.
- [13] G.D. Finlayson, M. Drew, and C. Lu. Shadow removal via flash/noflash illumination. *Multimedia Signal Processing, 2006 IEEE 8th Workshop*, 2006.
- [14] M. Xiao, C. Z. Han, and L. Zhang. Moving shadow detection and removal for traffic sequences. *International Journal of Automation and Computing*, 4(1):38–46, 2007.
- [15] M. Seresht and A. Azizi. Automatic building recognition from digital aerial images. *19th International Soc. Photogrammetry and Remote Sensing Congress (ISPRS)*, 3B:792–798, 2000.
- [16] W. Pamula. Vehicle detection algorithm for fpga based implementation. *Computer. Recognition Systems 3*, 57/2009:585–592, 2009.
- [17] G.D. Finlayson and C. Fredembach. Fast reintegration of shadow free images. *In Proceedings of Color Imaging Conference*, pages 117–122, 2004.
- [18] G.D. Finlayson and C. Fredembach. Path-based shadow removal. *In Proc. of the 16th British Machine Vision Conference*, pages 970–980, 2005.
- [19] G.D. Finlayson and C. Fredembach. Simple shadow removal. *In Proceedings of International Conference on Pattern Recognition*, pages 832–835, 2006.

- [20] A. Mohan, H. Tumblin, and P. Choudhury. Editing soft shadows in a digital photograph. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 27(2), 2007.
- [21] E.H. Land. Recent advances in retinex theory. *Vision Res*, 26(1):7–21, 1986.
- [22] E.H. Land and J.J. McCann. Lightness and retinex theory. *Journal of the Optical Society of America*, 61, 1971.
- [23] H.T. Guo, Y. Zhang, J. Lu, and G.W. Jin. Research on the building shadow extraction and elimination method. In *ISPRS08*, page B3b: 569 ff, 2008.
- [24] Y. Iwashita, A. Stoica, and R. Kurazume. People identification using shadow dynamics. In *ICIP10*, pages 2453–2456, 2010.
- [25] C.C. Chen and J.K. Aggarwal. Human shadow removal with unknown light source. In *ICPR10*, pages 2407–2410, 2010.
- [26] M. Sofka. Shadow removal in indoor scenes. *Proceedings of the 2008 IEEE Fifth International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance*, pages 299–300, 2008.
- [27] A. Criminisi, P. Perez, and K. Toyama. Region filling and object removal by exemplar based image inpainting. *IEEE Trans. on Image Processing*, 13:1200–1212, 2004.
- [28] G. Taşkın ve U. Sezen. Kontrast ve parlaklık ayarlı gölge modeliyle gölge kaldırılması. *SİU'2011 Sinyal İşleme ve Uygulamaları Kurultayı*, 2011.
- [29] F. Liu and M. Gleicher. Texture-consistent shadow removal. *Proc. IEEE. Eur. Conf. Comput. Vis.*, pages 437–450, 2008.
- [30] M. Baba, M. Mukunoki, and N. Asada. Shadow removal from a real image based on shadow density. *ACM SIGGRAPH 2004 Posters*, 60, 2004.

- [31] C. Lu. Removing shadows from color images. *Ph.D. Thesis, School of Computing Science, Simon Fraser University*, 2006.
- [32] M. Drew. Recovery of chromaticity image free from shadows via illumination invariance. In *IEEE Workshop on Color and Photometric Methods in Computer Vision, ICCV 2003*, pages 32–39, 2003.
- [33] M.M. Oliveira, B. Bowen, R. McKenna, and Y. Chang. Fast digital image inpainting. *Proceedings of the International Conference on Visualization, Imaging and Image Processing*, pages 261–266, 2001.
- [34] G.D. Finlayson, M. Drew, and C. Lu. Intrinsic images by entropy minimization. *European Conference on Computer Vision*, 2004.
- [35] A. Blake. Boundary conditions for lightness computation in mondrian world. *Comp. Vision, Graphics, and Image Proc.*, pages 14–327, 1985.
- [36] C. Poynton. A technical introduction to digital video. *John Wiley & Sons, Inc.*, p. 175, 1995.

EK A RGB ve YCbCr DÜZLEMLERİ ARASINDAKİ GEÇİŞ FORMÜLLERİ

RGB düzleminde YCbCr düzlemine geçiş formülü:

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

$$Cb = 0.147R - 0.289G + 0.436B$$

$$Cr = 0.615R - 0.515G - 0.100B$$

YCbCr düzleminde RGB düzlemine geçiş formülü:

$$R = Y + 1.140Cr$$

$$G = Y - 0.395Cb - 0.581Cr$$

$$B = Y + 2.032Cb$$

EK B RGB ve HSV DÜZLEMLERİ ARASINDAKİ GEÇİŞ KODLARI

RGB düzleminden HSV düzlemine geçiş kodu:

```
var_R = ( R / 255 )           //RGB from 0 to 255
var_G = ( G / 255 )
var_B = ( B / 255 )

var_Min = min( var_R, var_G, var_B ) //Min. value of RGB
var_Max = max( var_R, var_G, var_B ) //Max. value of RGB
del_Max = var_Max - var_Min         //Delta RGB value

V = var_Max

if ( del_Max == 0 )             //This is a gray, no chroma...
{
    H = 0                       //HSV results from 0 to 1
    S = 0
}
else                             //Chromatic data...
{
    S = del_Max / var_Max

    del_R = ( ( var_Max - var_R ) / 6 ) + ( del_Max / 2 ) / del_Max
    del_G = ( ( var_Max - var_G ) / 6 ) + ( del_Max / 2 ) / del_Max
    del_B = ( ( var_Max - var_B ) / 6 ) + ( del_Max / 2 ) / del_Max

    if ( var_R == var_Max ) H = del_B - del_G
    else if ( var_G == var_Max ) H = ( 1 / 3 ) + del_R - del_B
    else if ( var_B == var_Max ) H = ( 2 / 3 ) + del_G - del_R

    if ( H < 0 ) H += 1
    if ( H > 1 ) H -= 1
}
```

HSV düzleminden RGB düzlemine geçiş kodu:

```
if ( S == 0 )                                //HSV from 0 to 1
{
    R = V * 255
    G = V * 255
    B = V * 255
}
else
{
    var_h = H * 6
    if ( var_h == 6 ) var_h = 0                //H must be < 1
    var_i = int( var_h )                       //Or ... var_i = floor( var_h )
    var_1 = V * ( 1 - S )
    var_2 = V * ( 1 - S * ( var_h - var_i ) )
    var_3 = V * ( 1 - S * ( 1 - ( var_h - var_i ) ) )

    if ( var_i == 0 ) { var_r = V ; var_g = var_3 ; var_b = var_1 }
    else if ( var_i == 1 ) { var_r = var_2 ; var_g = V ; var_b = var_1 }
    else if ( var_i == 2 ) { var_r = var_1 ; var_g = V ; var_b = var_3 }
    else if ( var_i == 3 ) { var_r = var_1 ; var_g = var_2 ; var_b = V }
    else if ( var_i == 4 ) { var_r = var_3 ; var_g = var_1 ; var_b = V }
    else { var_r = V ; var_g = var_1 ; var_b = var_2 }

    R = var_r * 255                            //RGB results from 0 to 255
    G = var_g * 255
    B = var_b * 255
}
```


ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gökhan TAŞKIN
Doğum Yeri : ANTALYA
Doğum Yılı : 1985
Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise 1996-2003 : Antalya Anadolu Lisesi
ANTALYA
Lisans 2003-2007 : Hacettepe Üniversitesi
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
ANKARA

Yabancı Dil : İngilizce

İş Tecrübesi

2007-... : ASELSAN A.Ş.
Mikroelektronik, Güdüm ve Elektro-Optik Grubu (MGEO)
ANKARA
Donanım Tasarım Mühendisi (Sayısal Tasarım)