



**BULANIK MANTIK UYARLAMALI İKİ YANLI (BİLATERAL)
GÖRÜNTÜ FİLTRESİ TASARIMI**

Sara BEHJAT JAMAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2016

Sara Behjat jamal tarafından hazırlanan “bulanık mantık uyarlamalı iki yanlı (Bilateral) görüntü filtresi tasarımı” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Gazi Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği (Teknoloji Fak.) Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Recep DEMİRCİ

Bilgisayar Mühendisliği, Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fak.

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Başkan : Doç. Dr. Resul KARA

Bilgisayar Mühendisliği, Düzce üniversitesi, Mühendislik Fak.

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Üye :

Anabilim Dalı, Üniversite Adı

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Tez Savunma Tarihi: 17/06/2016

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Metin GÜRÜ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirim, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Sara BEHJAT JAMAL

17/06/2016

BULANIK MANTIK UYARLAMALI İKİ YANLI (BILATERAL) GÖRÜNTÜ
FİLTRESİ TASARIMI
(Yüksek Lisans Tezi)

Sara BEHJAT JAMAL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2016

ÖZET

Sayısal görüntülerdeki gürültüleri kaldırmak için bugüne kadar çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Ancak ilgili yöntemler gürültüleri kaldırır iken aynı zamanda resimdeki nesne sınırlarına zarar vermektedirler. Diğer taraftan söz konusu problemin çözümü için geliştirilmiş olan iki yanlı (bilateral) görüntü filtresi her bir resim için önceden belirlenmesi gereken iki parametreye ihtiyaç duymaktadır: geometrik benzerlik ve fotometrik benzerlik katsayıları. Bahsedilen parametrelerin kullanıcı tarafından seçilmesi iki yanlı filtrenin en büyük dezavantajıdır. Bu çalışmada komşu piksellerin fotometrik ya da renk benzerliği bulanık mantık ve kural tabanlı olarak hesaplandığından, herhangi bir parametreye ihtiyaç duyulmamıştır. İlgili parametre her bir resim için otomatik olarak seçilmektedir. Böylece iki yanlı filtrenin kullanıcı bağımlı parametre sayısı bire düşürülmüştür. Ayrıca geometrik benzerlik için bulanık metrik yaklaşımı ve fotometrik benzerlik için kural tabanı kullanılarak hibrit filtre elde edilmiştir. Her iki algoritma da referans resimler kullanılarak test edilmiş ve sonuçlar verilmiştir.

Bilim Kodu : 92418
Anahtar Kelimeler : Bulanık benzerlik, görüntü filtresi, gürültü azaltma, iki yanlı filtre
Sayfa Adedi : 63
Danışman : Prof. Dr. Recep DEMİRCİ

THE DESIGN OF FUZZY ADAPTIVE BILATERAL IMAGE FILTER

(M. Sc. Thesis)

Sara BEHJAT JAMAL

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2016

ABSTRACT

Various methods have been developed to denoise digital images so far. However, the related algorithms destroy edges of objects in image while denoising. On the other hand, bilateral filters, which were developed in order to solve the problem, require two predetermined parameters: geometric similarity and photometric similarity coefficients. It is the main drawback of bilateral image filters whose parameters must be selected by users. In this study, color or photometric similarities of pixels are estimated by using fuzzy rule based system which does not require any supplied parameter. Consequently, photometric parameters are automatically tuned and the number of parameters chosen by user has been reduced. Moreover, a hybrid filter has been devised by using fuzzy metric for geometric similarity and fuzzy rule based system for color similarity. Both filters have been tested with reference images and results have been given.

Science Code : 92418
Key Words : Fuzzy similarity, image filter, noise reduction, bilateral filter
Page Number : 63
Supervisor : Prof. Dr. Recep DEMİRCİ

TEŐEKKÖR

Tez alıŐması boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışman hocam Sayın Prof.Dr. Recep DEMİRCİ'ye, eŐim Taymaz RAHKAR FARŞHİ'ye, yeterli vakit ayırmamıŐ olmama rağmen maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan ve pozitif bakıŐ açılarıyla beni hayata bağlayan aileme teŐekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xviii
1. GİRİŞ.....	1
2. SAYISAL GÖRÜNTÜ İŞLEME.....	5
2.1. Sayısal Görüntü	5
2.2. Renkli Görüntü	6
2.3. Gürültü Türleri	8
2.4. Görüntü Filtreleri.....	9
2.5. Performans Kriterleri.....	15
3. BULANIK MANTIK TABANLI İKİ YANLI FİLTRE.....	17
3.1. Bulanık Kümelerde Üyelik fonksiyonu.....	17
3.2. Bulanık Mantık Tabanlı Modelleme.....	18
3.3. Bulanık Mantık Tabanlı Renk Benzerliği.....	20
3.4. Bulanık Mantık Tabanlı Otomatik Uyarlamalı Bilateral Filtre	26
3.5. Hibrit Bilateral Filtre.....	28
4. DENEYSEL SONUÇLAR VE YORUMLAR	31
4.1. Gri Seviyeli Görüntülerle Alınan Sonuçlar	31
4.2. Renkli Görüntülerle Alınan Sonuçlar	41

	Sayfa
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	63



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Benzerlik için kural tabanı	24
Çizelge 3.2. Benzerlik için indis tablosu.....	25
Çizelge 4.1. Kameraman sonuçları: 3×3 maske.....	36
Çizelge 4.2. Kameraman sonuçları: 9×9 maske	41
Çizelge 4.3. Lena sonuçları: 3×3 maske	48
Çizelge 4.4. Lena sonuçları: 9×9 maske	55

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Tipik görüntü filtresi	2
Şekil 2.1. Orijinal Kameraman.....	6
Şekil 2.2. Üç kanallı görüntü	7
Şekil 2.3. Renkli görüntü ve piksel bilgileri	7
Şekil 2.4. Orijinal Lena görüntüsü.....	7
Şekil 2.5. Gri ölçekli Lena: tuz ve biber gürültülü.....	9
Şekil 2.6. Gri ölçekli Lena: Gauss gürültülü	9
Şekil 2.7. 2 boyutlu konvülyasyon.....	10
Şekil 2.8. 3×3 maskeli ortalama filtresi	11
Şekil 2.9. İki boyutlu Gauss fonksiyonu	12
Şekil 2.10. Medyan filtresi.....	12
Şekil 2.11. 3×3 boyutlarında iki yanlı filtre maskesi.....	13
Şekil 2.12. İki yanlı filtrenin prensip şeması	13
Şekil 3.1. Üçgen üyelik fonksiyonu.....	18
Şekil 3.2. Bulanık mantık tabanlı modelleme.....	19
Şekil 3.3. Kırmızı için üyelik fonksiyonu.....	21
Şekil 3.4. Yeşil için üyelik fonksiyonu	21
Şekil 3.5. Mavi için üyelik fonksiyonu.....	22
Şekil 3.6. Komşu piksellerin benzerliklerine ait üyelik fonksiyonları.....	22
Şekil 3.7. Bulanık mantık tabanlı otomatik uyarlamalı bilateral filtre: BOBF	27
Şekil 3.8. 11x11'lik maskede p ve q pikselleri arasındaki geometrik uzaklık: $\ q - p\ $	28
Şekil 3.9. Farklı σ_d parametresi ile geometrik benzerlik: Eş.2.4 a) 2 b) 10.....	29
Şekil 3.10. Farklı t parametresi ile geometrik benzerlik: Eş.2.7 a) 2 b) 10	29

Şekil	Sayfa
Şekil 3.11. Hibrit Bilateral Filtre: HBF	30
Şekil 4.1. Gürültülü Kameraman	31
Şekil 4.2. Kameraman (3×3 maske): $\sigma_d = 2$ ve farklı σ_r a) 20 b) 100 c) 200 d)BOBF	33
Şekil 4.3. Kameraman (3×3 maske): $\sigma_d = 4$ ve farklı σ_r a) 20 b) 100 c) 200 d)BOBF	34
Şekil 4.4. Kameraman (3×3 maske): $\sigma_d = 10$ ve farklı σ_r a) 20 b) 100 c) 200 d)BOBF	35
Şekil 4.5. Kameraman (9×9 maske): $\sigma_d = 2$ ve farklı σ_r a) 20 b) 100 c) 200 d)BOBF	38
Şekil 4.6. Kameraman (9×9 maske): $\sigma_d = 4$ ve farklı σ_r a) 20 b) 100 c) 200 d)BOBF	39
Şekil 4.7. Kameraman (9×9 maske): $\sigma_d = 10$ ve farklı σ_r a) 20 b) 100 c) 200 d)BOBF	40
Şekil 4.8. Gürültülü Lena	41
Şekil 4.9. Lena (3×3 maske): $\sigma_d = 2$ ve farklı σ_r a) 20 b) 100 c) 200	42
Şekil 4.10. Lena (3×3 maske): $\sigma_d = 2$ a) BMBF b) BOBF c) HBF	43
Şekil 4.11. Lena (3×3 maske): $\sigma_d = 4$ a) farklı σ_r a) 20 b) 100 c) 200	44
Şekil 4.12. Lena (3×3 maske): $\sigma_d = 4$ a) BMBF b) BOBF c) HBF.....	44
Şekil 4.13. Lena (3×3 maske): $\sigma_d = 10$ ve farklı σ_r a) 20 b) 100 c) 200	46
Şekil 4.14. Lena (3×3 maske): $\sigma_d = 10$ a) BMBF b) BOBF c) HBF.....	48
Şekil 4.15. Lena (9×9 maske): $\sigma_d = 2$ ve farklı σ_r a) 20 b) 100 c) 200	49
Şekil 4.16. Lena (9×9 maske): $\sigma_d = 2$ a) BMBF b) BOBF c) HBF	50
Şekil 4.17. Lena (9×9 maske): $\sigma_d = 4$ a) farklı σ_r a) 20 b) 100 c) 200.....	51
Şekil 4.18. Lena (9×9 maske): $\sigma_d = 4$ a) BMBF b) BOBF c) HBF	54
Şekil 4.19. Lena (9×9 maske): $\sigma_d = 10$ ve farklı σ_r a) 20 b) 100 c) 200	55
Şekil 4.20. Lena (9×9 maske): $\sigma_d = 10$ σ_r a) BMBF b) BOBF c) HBF	56

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar

Açıklamalar

BMBF

Bulanık metrik esaslı bilateral filtre

BOBF

Bulanık mantık tabanlı otomatik uyarlamalı bilateral
Filtre

HBF

Hibrit bilateral filtre

MSE

Mean square error

PSNR

Peak signal-to-noise ratio

SSIM

Structural similarity

1. GİRİŞ

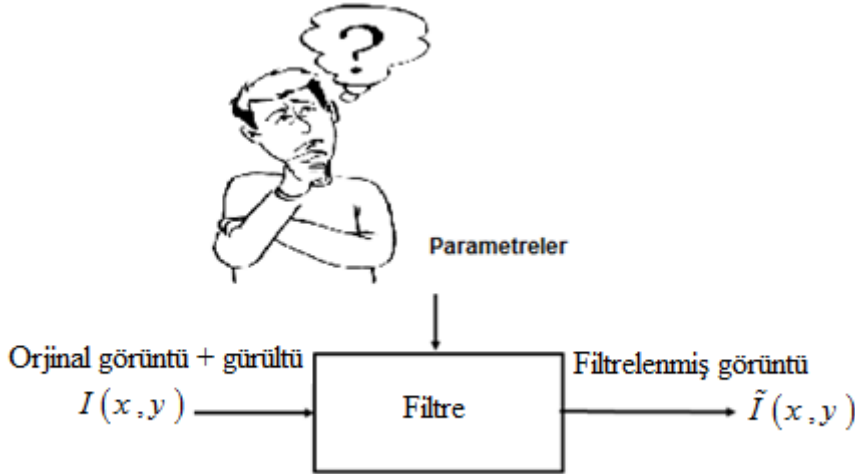
Uzaydaki nesnelerin iki boyutlu düzlemde iz düşümüne fotoğraf denilir. Söz konusu fotoğrafların çeşitli elektronik devreler yardımıyla sayısal ortama aktarılması ile sayısal görüntüler elde edilir. Teknolojinin gelişmesi ile beraber tıp, askeri, mühendislik ve başka birçok alanda görüntü temelli cihazlar üretilmiştir. Diğer taraftan sayısal görüntü işleme uygulaması ilk defa 1964 yılında bir uydunun Ay yüzeyine ait çektiği fotoğrafların onarımı ile başlamıştır [1].

Söz konusu cihazlardan elde edilen görüntülerin yorumlanmasında kullanılan sayısal görüntü işleme yöntemleri genel olarak ayrıştırma, sınıflandırılma, iyileştirme ve gürültülerden temizleme gibi süreçleri kapsar. Gürültü, resim üzerindeki bozukluklar, lekeler, eksiklikler olarak tanımlanabilir. En basit hali ile gürültü görüntü kirliliğidir. Matematiksel olarak, görüntü gürültüsü sensor veya dijital kamera tarafından üretilen görüntülerdeki parlaklık veya renk bilgilerin rastgele değişimidir. Dolayısıyla gürültüler görüntüdeki piksel değerlerini etkiler ve gerçek bilgilerin bozulmasına ve yanlış yorumlanmasına neden olurlar [2]. Sayısal görüntülerde karşılaşılan çok çeşitli gürültü türü olmasına rağmen, en yaygın olanları Gauss, benek, tuz ve biber gürültüleridir [3].

Gauss gürültüsü istatistiksel bir gürültüdür. Yani Gauss dağılımı olarak bilinen normal dağılım, eşit bir olasılık yoğunluk fonksiyonuna sahiptir [4]. Bu gürültü modelinin matematiksel yapısının hem uzamsal hem de frekans bölgesinde kullanılabilmesi, modeli sıklıkla kullanılabilir hale getirmiştir [5]. Benek gürültüsü ince ayrıntıların ve kenarların tanınmasını düşüren belirli bir gürültü türüdür. Genellikle benek gürültüsü sentetik açıklıklı radar görüntülerinde, uydu görüntülerinde ve medikal görüntülerinin üzerinde bulunmaktadır. Tuz-biber gürültüsü ise bazı piksellerin beyaza bazı piksellerin siyaha dönüştüğü, genellikle kamera hatalarından oluşan gürültü şeklindedir.

Görüntülerin elde edilmesinde her ne kadar ileri teknoloji kullanılsa da, gürültülerden tamamen kurtulmak mümkün değildir. Dolayısıyla her bir gürültü türü için farklı yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Sayısal görüntülerin gürültülerden temizleme sürecine görüntü filtresi denir. Filtreleme yapılarak, görüntüyü netleştirme, görüntü üzerinde istenilen belirli ayrıntıları ortaya çıkarma, görüntüyü yumuşatma ve keskinleştirme, görüntü üzerindeki kenarları bulma gibi birçok işlem gerçekleştirilebilir [6-8]. En temel anlamda bir görüntü filtresi Şekil 1.1. de gösterildiği gibidir. Genel olarak gürültü karışmış görüntü filtrenin girişine uygulanır ve ideal şartlarda çıkışta orijinal ya da gürültüden tamamen temizlenmiş görüntü elde edilir. Ancak pratikte bu duruma ulaşmak pek mümkün değildir. Her şeyden önce her bir gürültü türü için en uygun filtrenin seçimi ve parametrelerinin doğru tespiti kritik öneme sahiptir. Tipi doğru seçilmiş olsa dahi parametreleri doğru ayarlanmamış bir filtre ile sonuca ulaşmak mümkün olmayabilir. Ayrıca bazı filtre türleri ile gürültü tamamen giderilmesine rağmen resimdeki nesne sınırlarına zarar verme ihtimali mevcuttur. Başka bir ifade ile orijinal bilginin bozulma ihtimali mevcuttur. Bu nedenle görüntü işlemede uygun konfigürasyonların seçimi önemlidir.



Şekil 1.1. Tipik görüntü filtresi

Görüntülerden gürültüleri kaldırmak için bugüne kadar birçok farklı yöntemler geliştirilmiştir [5]. Bununla birlikte sayısal filtreleri doğrusal ve doğrusal olmayan şeklinde iki sınıfa ayırmak mümkündür. Yaygın kullanılan doğrusal filtreler hızlı tepki vermelerine rağmen resimdeki kenarları koruma yetenekleri düşüktür. Hatta bazı doğrusal filtreler kenarları tamamen yok edebilirler. Öte yandan doğrusal olmayan filtreler doğrusal filtrelere göre resimlerdeki kenarları çok daha iyi koruyabilirler. Ancak bu tür filtreler ise kullanıcıların doğru tespit etmesi gereken parametrelere ihtiyaç duyarlar.

Görüntü işleme literatüründe ilk karşılaşılan görüntü filtreleri: ortalama, Gauss ve medyan filtreleridir [9,10]. Söz konusu filtrelerin kabiliyetlerini geliştirmek için değişik yaklaşımlar önerilmiştir. Bulanık mantık esaslı medyan ve ortalama filtreleri tipik örneklerdir [11,12]. Diğer taraftan vektör istatistiği temelli filtreler ve boyut uyarlamalı çekirdek mekanizması, test edilmiş diğer çözüm önerileri olmuştur [13-21].

1990 yılında Perona ve Malik tarafından ısı yayılım denklemlerini esas alan ve kenar koruma özelliğine sahip görüntü filtresi geliştirilmiştir. Yayılım filtresi görüntüdeki gürültüleri yok eder iken, aynı zamanda nesne sınırlarını koruyabilme yeteneğine sahiptir. Ancak yayılım filtresinde kullanıcıya bağımlı parametreye ihtiyaç duyar. Ayrıca ısı yayılım denklemlerinin nümerik çözümünü esas aldığından, iterasyon sayısı filtrenin performansını ciddi oranda etkiler [22]. Her ne kadar 2012 yılında Elmas ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada [23], bulanık mantık uyarlamalı, genişletilmiş komşulukları dikkate alan ve kullanıcı bağımsız yayılım filtresi geliştirilmiş ise de, iterasyon sayısı henüz çözülmemiş problemdir.

Diğer taraftan resimdeki kenarları koruyabilen ve tekrarlamalı bir yapısı olmayan iki yanlı filtre (bilateral) 1998 yılında Tomasi ve Manduchi tarafından önerilmiştir. Komşu piksellerin geometrik yakınlıklarına ve fotometrik benzerliklerine dayalı yapısı olan iki yanlı filtrenin kenar koruma yeteneği olmasına rağmen doğru tespit edilmesi gereken iki parametresi vardır. Başka bir ifade ile her iki parametrenin uygun kombinasyonu sağlanırsa gürültü temizleme ve kenar koruma işlevini yerine getirebilir. Aksi durumda başarısızlık ihtimali mevcuttur [24]. Ayrıca kullanılan maske boyutu büyüdükçe hesap maliyeti artmaktadır. Pham ve Vliet iki yanlı filtrenin hesaplama karmaşıklığını azaltmak için geometrik yakınlıkları ve fotometrik benzerlikleri ayrıştırabilir işlem olarak dikkate almışlardır [25].

İki yanlı filtrenin parametrenin kullanıcı tarafından belirlenmesi söz konusu filtrenin en önemli dezavantajıdır. İki yanlı filtresinin kullanıcı bağımlılığına azaltmak için yapılan çalışmalar mevcut ise de tam otomatik ve yüksek performanslı algoritma henüz geliştirilememiştir. Samuel ve ark. 2006 yılında yaptıkları çalışmada iki yanlı filtrenin uzaklık ve renk benzerlik ağırlıklarını bulanık metrik yöntemi ile hesaplamışlardır [26]. Ancak söz konusu çalışmalar benzerlik fonksiyonu değiştirmeden öteye gitmemiştir ve yine de iki adet parametreye ihtiyaç duyulmuştur.

Zhang ve Gunturk 'ün 2008 yılında yaptıkları çalışmada iki amaç hedeflenmiştir. Birincisi deneysel araştırma ile en uygun parametre seçimi, ikincisi ise çok çözünürlüklü iki yanlı filtrenin tasarımı olmuştur [27]. Gürültülü resmin düşük ve yüksek frekanslı bileşenleri dalgacık dönüşümü yardımıyla tespit edilmiş ve iki yanlı filtrenin parametrelerinin ayarlanmasında kullanılmıştır.

Hung ve Siu 2012 yılında iki yanlı filtre yardımıyla yeni bir görüntü enterpolasyon tekniği önermişlerdir [28]. Söz konusu çalışma ile düşük çözünürlüklü görüntülerden büyük çözünürlüklü görüntüler elde etmek amaçlanmıştır. Bununla birlikte kullanıcı tarafından belirlenmesi gereken parametre ihtiyacı sabit kalmıştır. Kılavuz görüntüsü temelli ve iterasyonlu yaklaşımlar iki yönlü filtrelerin bir diğer versiyonu olmuştur [29]. Ayrıca uzamsal gradyan bilgisinin benzerlik parametresi yerine kullanımı son yıllarda yapılan geliştirme çabalarından biridir [30]. İlave olarak sayısal analiz yöntemleri kullanılarak iki yanlı filtre denklemlerinin özyinelemeli olarak hesaplanabileceği Qingxiong tarafından gösterilmiş ise de, parametrelerden bağımsız bir yöntem değildir [31].

Bu tez çalışmasında bulanık mantık kullanarak bulanık mantık uyarlamalı iki yanlı filtre ve hibrit bilateral filtre gelişmiştir. Bulanık mantık uyarlamalı iki yanlı filtrede renk benzerliği kural tabanlı olarak, geometrik benzerlik ise matematiksel ifade yardımıyla hesaplanmıştır. Dolayısıyla sadece geometrik benzerlik ifadesi kullanıcı bilgisine ihtiyaç duyduğundan parametre sayısı bire düşürülmüştür. Hibrit bilateral filtrede ise geometrik benzerlik bulanık metrik yöntemiyle, renk benzerliği ise kural tabanlı hesaplanarak filtre performansı artırılmıştır. Her iki yöntemde gri seviyeli ve renkli görüntülerde test edilmiş, sonuçlar klasik iki yanlı filtreden alınan sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

2. SAYISAL GÖRÜNTÜ İŞLEME

Sayısal görüntü işleme sayısal görüntülerin elektronik ortamda amaca uygun şekilde değiştirilmesine yönelik yapılan çalışmadır. Başka bir ifade ile görüntülerin bilgisayar yardımı ile işlenmesidir. Genel olarak görüntülerin ayrıştırılması, sınıflandırılması, gürültülerinin kaldırılması ve iyileştirilmesi gibi süreçlerden oluşmaktadır. Sayısal görüntü işleme genellikle tıp, coğrafya ve uzay bilimleri, savunma sanayi ve güvenlik sistemleri gibi alanlarında kullanılmaktadır.

2.1. Sayısal Görüntü

Uzaydaki nesnelerin iki boyutlu düzlemde iz düşümü olan görüntü, matematiksel açıdan iki değişkenli bir fonksiyondur. Bu nedenle bir sayısal görüntü $I(x,y)$ ile tanımlanabilir ki buradaki x ve y değişkenleri yerel koordinatları, $I(x,y)$ ise ışık yoğunluğunu göstermektedir [32]. Eğer x , y ve $I(x,y)$ değişkenleri sınırlı değerlerle ifade edilirse, bu görüntü sayısal görüntü olarak ifade edilir [5,33]. Sayısal görüntü, sonlu sayılı elemandan oluşmuştur. Piksel adı verilen bu elemanların her birinin özel konumu ve değeri vardır [34,35]. İkili görüntülerde pikseller sadece 0 veya 1 değerini alabilir ve bunlar siyah veya beyazı temsil etmektedir [36]. Diğer taraftan gri seviyeli görüntüler, görüntü verileri tek bir kanaldan veya renkten oluşur ve pikseller $[0,255]$ aralığında değer alırlar. 0 en düşük değer olup, en düşük parlaklık (siyah) olarak tanımlanır. Diğer taraftan 255 ise en yüksek değer olup, en yüksek parlaklık (beyaz) olarak ifade edilir. Şekil 2.1'de gösterilen Kameraman görüntüsü gri seviyeli bir görüntüdür.

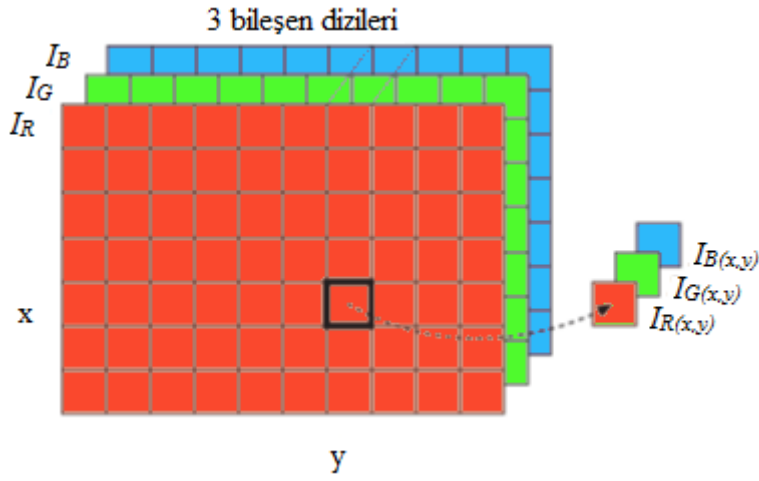


Şekil 2.1. Orijinal kameraman görüntüsü

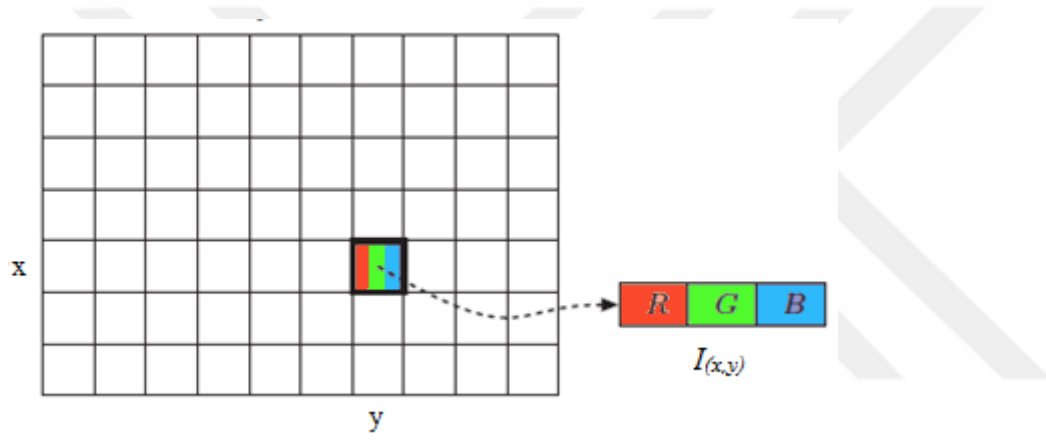
2.2. Renkli Görüntü

Gri ölçekli görüntüler tek kanal bilgisine sahiptirler. Diğer taraftan Şekil 2.2 de gösterildiği gibi her piksel için 3 ayrı renk kanalın kullanılması ile renkli görüntüler elde edilir. Bu kanallar kırmızı, yeşil ve mavi (Red:R, Green:G ve Blue: B) renklerden oluşur. . Elektromanyetik spektrumda mavi renk 0,4-0,5 μm dalga boyu; yeşil renk 0,5-0,6 μm dalga boyu; kırmızı renk 0,6-0,7 μm dalga boyu ile ifade edilir [5].

Renkli görüntülerde, R, G ve B değerleri tek bir dizi elemanında birleştirilerek Şekil 2.3'deki yapı elde edilir. Her bir piksel üç boyutlu RGB renk uzayında bir noktaya karşılık gelir. Her ana renk koordinat eksenini oluşturmaktadır. RGB değer aralığı pozitifdir ve $[0, C_{\text{max}}]$ arasında değişmektedir. Birçok sayısal görüntü için $C_{\text{max}} = 255$ 'dir. Olası her renk $C_i = (R_i, G_i, B_i)$ RGB renk küpü içinde bir noktaya karşılık gelir. Görüntü işleme alanında referans resim olarak kullanılan ve Şekil 2.4'de gösterilen Lena görüntüsü renkli görüntüye tipik bir örnektir.



Şekil 2.2. Üç kanallı görüntü [36]



Şekil 2.3. Renkli görüntü ve piksel bilgileri [36]



Şekil 2.4. Orijinal Lena görüntüsü

2.3. Gürültü Türleri

Görüntü üzerindeki bozukluklar veya lekeler olarak ta tanımlanan gürültü görüntünün parlaklığının ve renk bilgilerinin rastgele değişmesi ile oluşur. Aynı zamanda gürültü sensor veya dijital kamera tarafından oluşturulan görüntü kirliliği şeklinde de ifade etmek mümkündür [37]. Dolayısıyla gürültü görüntü yakalanır iken ortaya çıkan ve istenmeyen bir üründür. Sayısal görüntü işleme alanında karşılaşılan en yaygın gürültü türleri;

- Tuz ve biber gürültüsü
- Gauss gürültüsüdür.

İkili gürültü olarak tanımlanabilen tuz ve biber gürültüsü görüntülerde kendini beyaz ve siyah pikseller olarak göstermektedir. 8 bitlik bir görüntüde biber için 0, tuz için 255 değeri alınabilir. Başka bir deyişle, tuz-biber gürültüsü, görüntünün parlak bölgelerinde koyu pikseller ve karanlık bölgelerinde parlak pikseller olarak ortaya çıkar [38]. Gri ölçekli Lena görüntüsünün tuz ve biber gürültüsü eklenmiş hali Şekil 2.5’de gösterilmiştir.

Gauss gürültüsünün ana kaynakları, dijital görüntüyü yakalama aşamasında ortaya çıkmaktadır [39]. Gauss gürültüsü, istatistiksel bir gürültüdür. Yani Gauss dağılımı olarak bilinen normal dağılıma eşit bir olasılık yoğunluk fonksiyonuna sahiptir [40]. Genel olarak gürültüler olasılık karakteristikleriyle tanımlanırlar. Şiddeti frekansına göre değişmeyen aynı zamanda beyaz gürültü olarak adlandırılan gürültü çeşidi hesaplamaları basite indirgendiği için çokça tercih edilir. Gauss gürültüsü beyaz gürültünün özelleştirilmiş halidir ve Gauss eğrisiyle verilen bir olasılık fonksiyonuna sahiptir [6]. Örneğin gri ölçekli Lena görüntüsüne Gauss gürültüsünü eklendiğinde, Şekil 2.6’de gösterilen çıktı edilmiştir.

Benek gürültüsü ince ayrıntıların ve kenarların tanınmasını düşüren belirli bir gürültü türüdür. Genellikle benek gürültüsü sentetik açıklıklı radar görüntülerinde, uydu görüntülerinde ve medikal görüntülerinin üzerinde bulunmaktadır.



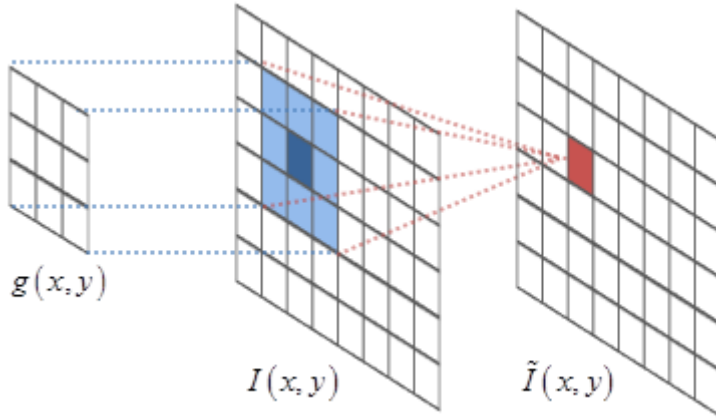
Şekil 2.5. Gri ölçekli Lena: tuz ve biber gürültülü



Şekil 2.6. Gri ölçekli Lena: Gauss gürültülü

2.4. Görüntü Filtreleri

Konvülyasyon; yumuşatma, keskinleştirme, kenar belirleme gibi görüntü işleme fonksiyonlarını gerçekleştirmede çok sık kullanılmaktadır. Konvülyasyonda bir pikselin yeni değeri bulunmaktadır. En temel anlamda bir 2 boyutlu konvülyasyon Şekil 2.7. de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.7. 2 boyutlu konvülyasyon

Sayısal görüntü filtresi $M \times N$ boyutlarındaki bir resmin $I(x, y)$, $m \times n$ boyutlarındaki filtre çekirdeği $g(x, y)$ ile konvülyasyonu olup, $I(x, y) * g(x, y)$ şeklinde gösterilebilir. Söz konusu işlem sonucunda elde edilen eşitlik

$$\tilde{I}(x, y) = g(x, y) * I(x, y) = \sum_{\tau_1=-a}^a \sum_{\tau_2=-b}^b g(\tau_1, \tau_2) I(x - \tau_1, y - \tau_2) \quad (2.1)$$

ifadesi ile hesaplanır. $\tilde{I}(x, y)$ ifadesi $M \times N$ boyutlarında çıktı görüntüyü temsil etmektedir. Buradaki a ve b pozitif tamsayıları ile maske boyutları arasında $m=2a+1$ ve $n=2b+1$ ilişkisi mevcuttur ve görüntü işlemede kullanılan maske boyutları genellikle 3×3 , 5×5 ve 7×7 şeklindedir. Görüntü filtreleri, seçilen $g(x, y)$ fonksiyonun tipine ve maske boyutlarına bağlıdır.

Eş. 2.1 deki maske fonksiyonun değerlerinin maske içindeki her bir noktada 1 olarak seçilmesi ile ortalama filtre elde edilir ve alçak geçiren bir filtre gibi davranır. Çıkış pikseli Eş. 2.1 deki gibi hesaplanır iken, maske ile elde edilen toplam değerlerin normalleştirilmesi gereklidir. Şekil 2.8. de 3×3 boyutlarında ortalama filtre maskesi verilmiştir. Ortalama filtrelerin boyutları arttığında hesaplama maliyeti artar ve aynı zamanda çıktı resimde de bulanıklaşmalar başlar.

$$\frac{1}{9} \times$$

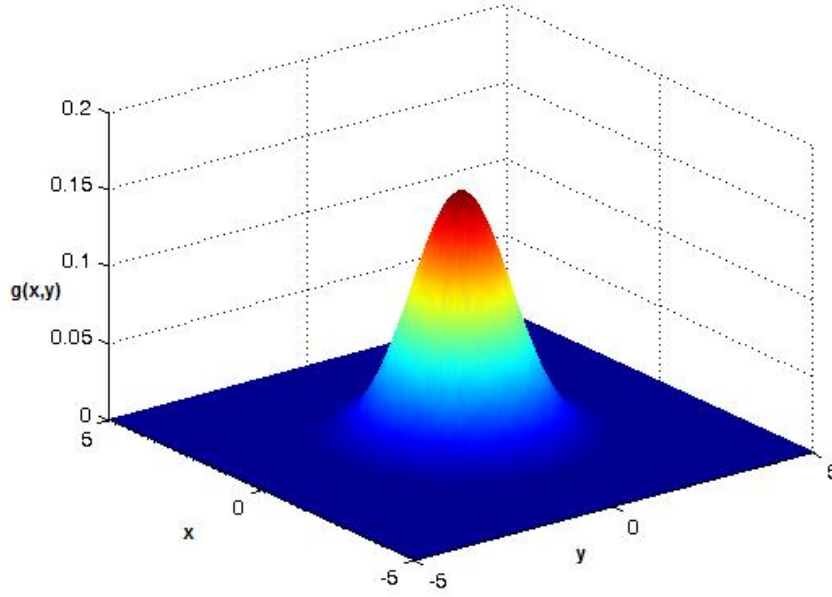
1	1	1
1	1	1
1	1	1

Şekil 2.8. 3×3 maskeli ortalama filtresi

Ortalama filtrelerin dezavantajlarını azaltmak için önerilen bir başka filtre türü Gauss filtresidir. Söz konusu filtrede maske üretmek için kullanılan iki boyutlu Gauss fonksiyonu Eş. 2.2 de verilmiştir.

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}} \quad (2.2)$$

Buradaki σ parametresi kullanıcı tarafından seçilmesi gerekli olup kritik öneme sahiptir. Başka bir ifade ile Gauss filtresin başarısı maske boyutlarına ve varyans olarak adlandırılan σ değerine bağlıdır. Alçak geçiren filtre olarak çalışan Gauss filtresi uzaysal yüksek frekans bileşenlerini kaldırmaktadır. Çan eğrisi olarak da adlandırılan iki boyutlu Gauss fonksiyonun grafiği Şekil 2.9. gösterilmiştir. Bu fonksiyon ile geliştirilen maskede merkez piksellerin ağırlığı en fazla olur iken, merkezden uzaklaştıkça ağırlıklar azalmaktadır.



Şekil 2.9. İki boyutlu Gauss fonksiyonu

Sayısal görüntü işleme alanında yaygın kullanılan bir diğer filtre türü ise medyan filtresidir. Doğrusal olmayan yapıya sahip olan medyan filtresinde seçilen maske içerisindeki piksellerin istatistiksel özelliği kullanılmaktadır. Bu kapsamda maske içerisinde kalan pikseller gri değerlerine göre önce küçükten büyüğe doğru sıralanır ve ortanca değere sahip olan piksel çıkışa aktarılır. Şekil 2.10 de 3×3 boyutlarında maske kullanarak medyan filtresi tasarımı verilmiştir. Şekil 2.10’da görüldüğü gibi merkez piksel olarak değeri 150 piksel seçildiğinde, sıralanmış komşu değerleri 115,119,120,123,124,125,126,127,150 olur. Ortanca değer olan 124 gri değeri ise çıkış görüntüsünde 150 değerinin yerine atanır. Tuz ve biber gürültüsünde çok başarılı olan bu filtrenin en büyük dezavantajı kenarları yok etmesidir.

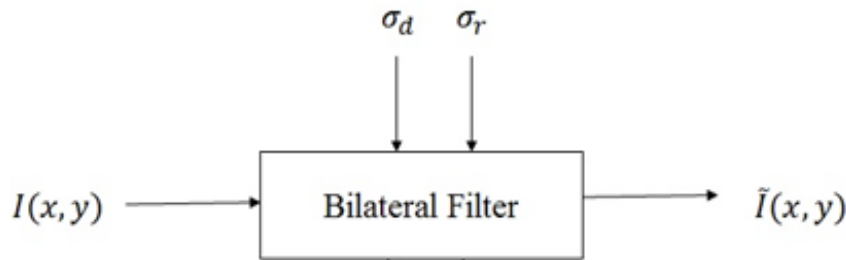
123	125	126	130	140
122	124	126	127	135
118	120	150	125	134
119	115	119	123	133
111	116	110	120	130

Şekil 2.10. Medyan filtresi

Bahsedilen filtrelerin dezavantajlarını azaltmak amacıyla 1998 yılında Tomasi ve Manduchi tarafından iki yanlı filtre önerilmiştir [24]. Temelde Gauss filtresine benzemekle beraber komşu piksellerin sadece renk benzerliğini değil aynı zamanda uzamsal konumlarını da dikkate alması en önemli farklarından. Şekil 2.11 de 3×3 boyutlarında iki yanlı filtre maskesi görülmektedir. İki yanlı filtrenin blok diyagramı Şekil 2.12’de görüldüğü gibidir. Prensip şeması Şekil 2.12 verilen iki yanlı filtre girişine uygulanan gürültülü görüntüyü $I(x, y)$ işleyerek $\tilde{I}(x, y)$ çıktısını üretmektedir.

q	q	q
q	p	q
q	q	q

Şekil 2.11. 3×3 boyutlarında iki yanlı filtre maskesi



Şekil 2.12. İki yanlı filtrenin prensip şeması

Giriş görüntüsünde p konumunda bulunan pikselinin çıkıştaki değeri matematiksel olarak,

$$\tilde{I}(p) = \frac{1}{C} \sum_{q \in N(p)} w_g(p, q) w_c(p, q) I(q) \quad (2.3)$$

olarak hesaplanmaktadır. Burada $w_g(p, q)$ değeri geometrik ağırlığı veya benzerliği göstermekte olup,

$$w_g(p, q) = e^{\frac{-\|q-p\|^2}{2\sigma_d^2}} \quad (2.4)$$

şeklinde hesaplanır. $\|q-p\|$ değeri merkez ve komşu arasındaki geometrik uzaklığı temsil eder iken, σ_d ise kullanıcının tespit emesi gereken parametredir. Eş. 2,3 deki tanımlanan $w_c(p, q)$ bilgisi komşu pikselin fotometrik benzerliği göstermekte olup,

$$w_c(p, q) = e^{\frac{-|I(q)-I(p)|^2}{2\sigma_r^2}} \quad (2.5)$$

şeklinde hesaplanır. Buradaki $|I(q) - I(p)|$ değeri p ve q numaralı piksellerin renk uzayındaki mesafesi ve σ_r kullanıcı tarafından belirlenmesi gereken parametredir. Ortalama filtrede olduğu gibi iki yanlı filtrede de hesaplanan değerler

$$C = \sum_{q \in N(p)} w_g(p, q) w_c(p, q) \quad (2.6)$$

bilgisi ile normalleştirilirler. Eş. 2,3 de σ_d sonsuza doğru giderse ($\sigma_d \rightarrow \infty$) iki yanlı filtre, Gauss filtresine, σ_r sonsuza doğru giderse ($\sigma_r \rightarrow \infty$) filtre mekânsal olmayan filtrelere yaklaşır. Eğer bu iki parametrenin ikisi de sonsuza doğru giderse, iki yanlı filtre ortalama filtreye dönüşür. Dolayısıyla kullanıcı tarafından parametre seçimi kritik bir öneme sahiptir. Söz konusu filtreyi kullanıcıdan bağımsız hale getirmek için yapılan ilk öneri 2006 yılında çalışma Samuel ve diğerleri tarafından gelmiştir ve bulanık metrik esaslı bilateral filtre (BMBF) adlandırılmıştır [26]. İlgili çalışmada bulanık metrik yaklaşımı dikkate alınmış ve geometrik benzerlik için

$$w_g(p, q, t) = \frac{t}{t + \|q-p\|} \quad (2.7)$$

ifadesi, fotometrik benzerlik için

$$w_c(p, q) = \prod_{n=1}^3 \frac{\min\{p^n, q^n\} + K}{\max\{p^n, q^n\} + K} \quad (2.8)$$

ifadesi önerilmiştir. Burada t parametresi kullanıcı tarafından belirlenmesi gerekli olup, 1 ve 10 arasına seçimi önerilmiştir. K parametresi ise renkli görüntüler için sabit olup $K=1024$ şeklinde seçimi önerilmiştir.

2.5. Performans Kriterleri

Görüntü işleme algoritmalarının performansı nesnel olarak veya gözle değerlendirilebilir. Gözle görüntülerin karşılaştırılması kişiden kişiye değişebileceğinden güvenilir değildir. Nesnel değerlendirmede ise matematiksel yöntemler kullanılmakta olup sonuçları herkes için aynı şeyi ifade etmektedir.

Çeşitli algoritmalar ile gürültülü görüntülerin filtrelendikten sonra orijinal görüntüye ne kadar benzediklerini ölçmek için MSE, PSNR ve SSIM gibi performans kriterleri kullanılmaktadır. En temel ölçüt olan Ortalama Kareler Hatası (Mean Square Error: MSE) orijinal görüntü ile filtrelenmiş görüntünün bütün piksellerinin karşılıklı olarak farklarının karelerinin toplamının karekökünü hesaplamaktadır ve filtrelenmiş görüntünün orijinal görüntüden ne kadar farklı olduğunu göstermektedir. I orijinal görüntü, \tilde{I} filtrelenmiş görüntü, M ve N orijinal görüntünün satır ve sütun sayısı olmak üzere, MSE:

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [I(x, y) - \tilde{I}(x, y)]^2 \quad (2.11)$$

şekilde tanımlanır [41]. MSE ne kadar küçük ise iki görüntü o kadar benzerdir. Renkli görüntülerde MSE her bir renk kanalı için ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Tepe Sinyalin Gürültüye Oranı (Peak Signal Noise Ratio: PSNR) olan PSNR ile MSE yardımıyla

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (2.12)$$

şeklinde hesaplanır. Birçok sinyal çok geniş bir dinamik genişliğe sahip olduğundan dolayı PSNR genellikle logaritmik olarak ifade edilir. PSNR değeri yüksek olması filtrelenmiş görüntünün kalitesinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Yapısal benzerlik indeksi (Structural Similarity: SSIM), iki görüntü arasındaki benzerlik oranını geleneksel tekniklere göre insan algısı ile daha tutarlı sonuçlar verecek şekilde ölçmektedir. SSIM insan algısına olan yakınlığından dolayı, sıkıştırılmış video analizi, fileteler ve kriptografi de uygulama alanı bulmuştur. SSIM

$$SSIM(I, \tilde{I}) = \frac{(2\mu_I\mu_{\tilde{I}} + c_1)(2\sigma_{I\tilde{I}} + c_2)}{(\mu_I^2\mu_{\tilde{I}}^2 + c_1)(\sigma_I^2 + \sigma_{\tilde{I}}^2 + c_2)} \quad (2.13)$$

ifadesi ile hesaplanır. Burada μ_I, I ortalamasını, $\mu_{\tilde{I}}$ ise \tilde{I} ortalamasını, σ_I^2 , varyansını, $\sigma_{\tilde{I}}^2$, \tilde{I} varyansını, $\sigma_{I\tilde{I}}$, I ve \tilde{I} görüntüleri arasındaki kovaryansı göstermektedir. Ayrıca $C_1 = (K_1L)^2$ ve $C_2 = (K_2L)^2$ değişkenleri sabit değerler olup, L değeri 255, $K_1 = 0.01$ ve $K_2 = 0.03$ 'tür.

3. BULANIK MANTIK TABANLI İKİ YANLI FİLTRE

Bulanık mantık fikri 1965 yılında Lofti Zadeh tarafından geliştirilmiştir [42]. Klasik Aristoteles mantığında bir önermenin doğruluğu 0 ya da 1 gibi ikili olarak ifade edilir iken, bulanık mantık da bir önermenin doğruluk değeri sıfır ile bir aralığında sonsuz değer alabilir. Böylece kesinlik kavramını önlenerek, bir elamanın bir kümeye ait olma durumu göreceli veya kademeli hale getirilmiştir. Örneğin, 40 yaşındaki bir kişi 0,15 genç, 0,60 orta yaşlı ve 0,25 yaşlılar kümesine aittir. Bulanık mantığa göre bir kişi kesinlikle orta yaşlıdır denemez. Çünkü 40 yaş kimine göre genç, kimine göre orta yaşlı veya bazılarına göre yaşlı olabilir.

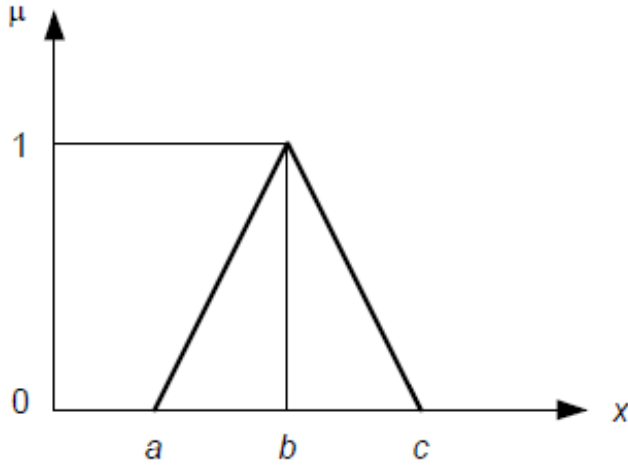
Bulanık mantık, Aristoteles mantığının temeli olan kesin doğruluk değerleri yerine sözcüksel olarak "çok doğru", "kısmen doğru", "yaklaşık olarak doğru" gibi göreceli değerleri atamaya imkân sağlar. Böylece kesin değerler yerine, yaklaşık hesaplanan değerlerin kullanması mümkündür. Dolayısıyla bazı eksik veya net bilinmeyen bilgilere göre işlem yapabilme yeteneğine sahiptir. Bulanık mantık tabanlı modeller, her alanda yaygın olarak kullanılıp ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Görüntü işleme alanında, görüntü filtreleme, kenar belirleme ve nesne tanıma gibi alanlarda çok fazla kullanılmaya başlanmıştır.

3.1. Bulanık Kümelerde Üyelik Fonksiyonu

Klasik küme teorisinde bir nesne bir kümenin ya elemanıdır yada değildir. Bulanık mantık teorisinde her nesnenin üyeliğine 0 ve 1 arasında sonsuz değer verilebilir. X evrensel kümesinde bulunan bir A bulanık kümesi için μ_A üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\mu_A : X \rightarrow [0,1] \quad (3.1)$$

Burada, μ_A A bulanık kümesindeki x elemanının üyelik derecesini belirtir. Üyelik derecesi, 0 ve 1 arasında bir sayıdır [43]. Üyelik fonksiyonu modelleme yapılacak sistemin özelliklerine göre seçilir. Şekil 3.1'de bir üçgenin üyelik fonksiyonu gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Üçgen üyelik fonksiyonu

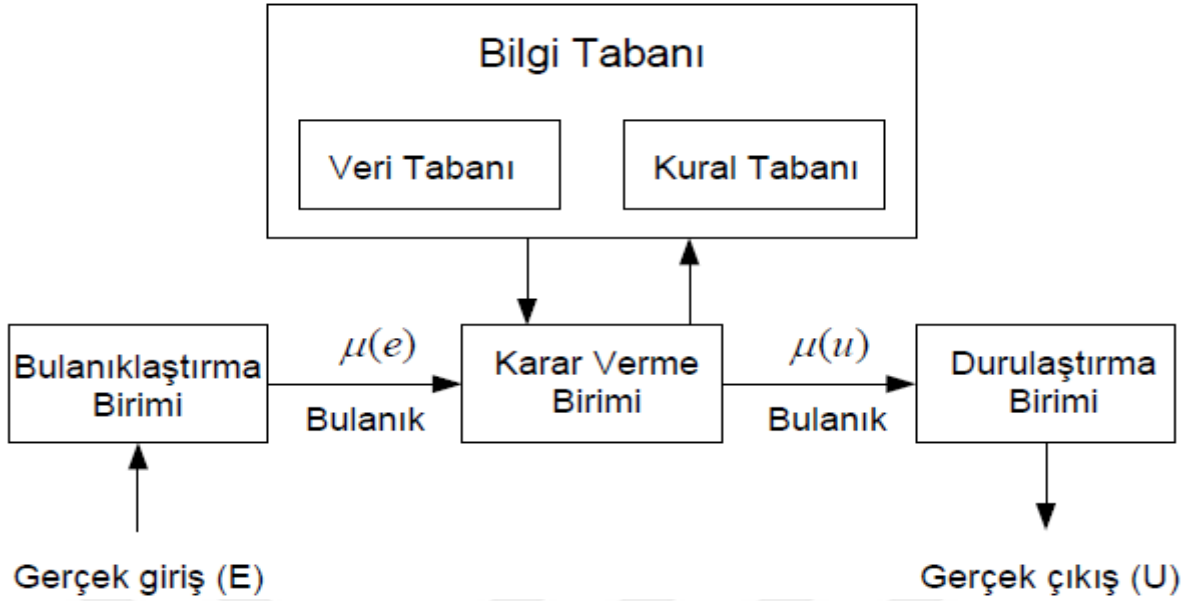
Üçgenin üyelik fonksiyonunun matematiksel ifadesi

$$\mu_A(x; a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a)/(b-a) & a \leq x \leq b \\ (c-x)/(c-b) & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases} \quad (3.2)$$

şeklindedir.

3.2. Bulanık Mantık Tabanlı Modelleme

Bir bulanık mantık tabanlı modellemeye; Şekil 3.2’de gösterildiği gibi veri ve kural tabanını içeren bilgi tabanı, bulandırma birimi, karar verme birimi ve durulama birimlerinden oluşmaktadır [44]. Bulanık mantık tabanlı modellemelerde kural tabanı sabittir ve kurallar arası etkileşim yoktur. Kuralların sayısı giriş değişkenlerinin sayısı ile belirlenir.



Şekil 3.2. Bulanık mantık tabanlı modelleme [45]

Bulanıklaştırma biriminde, gerçek giriş (E) bilgileri sembolik değerlere dönüştürülür. Girilen sayısal değere üyelik fonksiyonunlar yardımıyla dilsel değerler atanarak bulandırma yapılır [45]. Veri tabanı her bir değişken için evrensel kümenin tanımlanmasını, bulanık küme sayısının belirlenmesini ve üyelik fonksiyonlarının tasarlanmasını içerir.

Kural tabanında ise kurallar belirlenir. Bulanık sistem, birçok sözel ifade ile tanımlanır. Genel olarak “eğer - o halde” kuralı şeklindedir. Kural sayısı için genel bir yaklaşım yoktur. Ancak kuralların maksimum sayısı, bulanık küme sayısının matematiksel çarpımına eşittir. Girişler ve çıkışlar arasındaki bağlantılar, kural tabanından sağlanan kurallar kullanılarak yapılır. Örneğin A, B ve C girişleri, D ise çıkış değişkeni olan bir sistem için;

Eğer $x = A$ ve $y = B$ ve $z=C$ ise, o halde $u = D$

şeklindeki bir kural A, B ve C'nin aldığı değerlere göre D çıkışının bulanık değerini belirlemektedir. Burada x, y, z ve u bulanık değişkenleri, A, B, C ve D değerleri evrensel X, Y, Z ve U kümelerinin alt kümeleridir. İfadede ki “eğer” kısmındaki şart karşılandığında, “o halde” kısmında belirtilen fonksiyon yerine getirilmektedir [42].

Bulanık mantık tabanlı modellemenin çekirdek kısmı, karar verme birimidir. Bu kısım, insanın karar verme ve çıkarım yapma yeteneğine benzer olarak, bulanık kavramları işler, çıkarım yapar ve gerekli işlemleri gerçekleştirir. Bulanık mantık da, bulanık içermeyi tanımlamanın yolu daha çok sezgiseldir. Bulanık çıkarımdan sonra bir bulanık küme elde edilir. Bu kümenin sisteme uygun olması için, tekrar giriş değeri gibi sayısal değere dönüştürülmesi gereklidir [45]. Bu işlemin adı durulaştırma olup, bulanık olmayan ve uygulamada kullanılacak gerçek değerlerin üretilmesini sağlar.

3.3. Bulanık Mantık Tabanlı Renk Benzerliği

Algı bilimine göre herhangi bir nesneye ait uyarı insan beyni ulaştığında, söz konusu uyarı çeşitli nesnelere ait daha önce kaydedilmiş uyarılarla karşılaştırılır ve hangisine benziyorsa ilgili kategoriye tasnifi yapılır. Eğer önceki uyarılardan hiç birine benzemiyorsa yeni bir kategori ya da sınıf oluşturulur. Uyarıların benzerliği nesnelere özellikleri arasındaki mesafe dikkate alınarak hesaplanır [46-49]. Hampton'a göre benzerliğin temelinde sınıflandırma kuralları olmalıdır. Herhangi bir çiftin benzerlik değerini belirlemek veya kategori üyeliğinin derecesini tespit için bir kurallara ihtiyaç vardır. Dolayısıyla benzerlik analizinde matematiksel modellerden ziyade karmaşık bilimsel modeller kullanılmalıdır. Bu aşamada bulanık mantık teorisini vazgeçilemez bir yaklaşım olmuştur. Çünkü bulanık mantık teorisi nümerik olmayan niteliksel tanımlamalar ile başa çıkabilmektedir [47].

Bu çalışmada komşu piksellerin benzerlik ilişkileri bulanık mantık kuralları kullanılarak yapılmıştır. Renkli bir görüntüde, komşu iki pikselin renk bileşenleri arasındaki farklar kırmızı için: $\Delta R = |L_{R,1} - L_{R,2}|$, yeşil için $\Delta G = |L_{G,1} - L_{G,2}|$ ve mavi için $\Delta B = |L_{B,1} - L_{B,2}|$ şeklinde hesaplanır [23].

Söz konusu düzey farkları için tespit edilen üyelik fonksiyonları Şekil 3.3, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5 de gösterilmiştir. Her bir renk bileşeninin gri düzeylerine, S:Sıfır, O:Orta ve B:Büyük olmak üzere üç sözel değer atanmıştır. Ayrıca her bir sözel ifadeye bir numara verilmiştir. Bunlar, Sıfır için 0, Orta için 1 ve Büyük için 2 dir. Bunlara ilave olarak, komşu P_1 ve P_2 piksellerinin benzerliklerinin tespiti için kullanılan üyelik fonksiyonları Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Renk benzerliği için 7 adet sözel değer atanmış olup [45];

BO: Benzer Olmayan, 0

CAB: Çok Az Benzer, 1

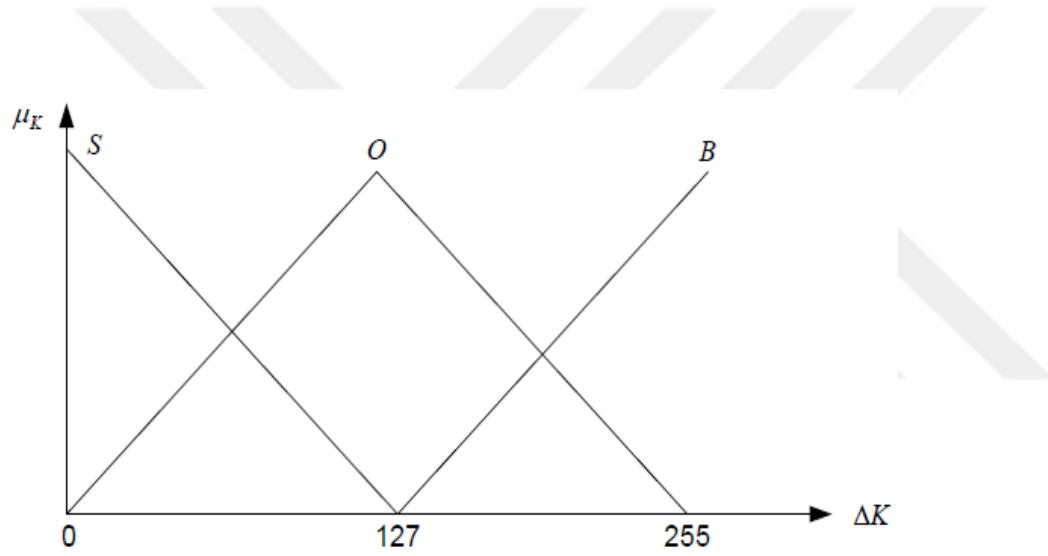
AB: Az Benzer, 2

OB: Orta Benzer, 3

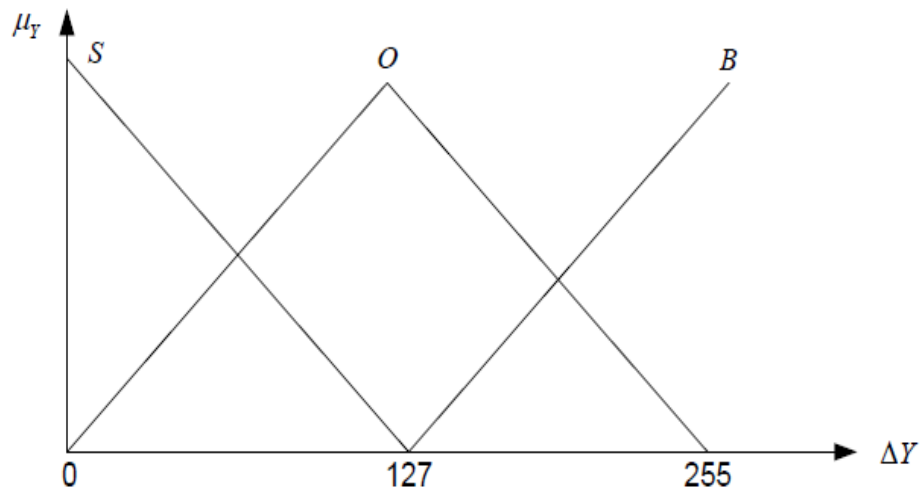
CB: Çok Benzer, 4

DCB: Daha Çok Benzer, 5

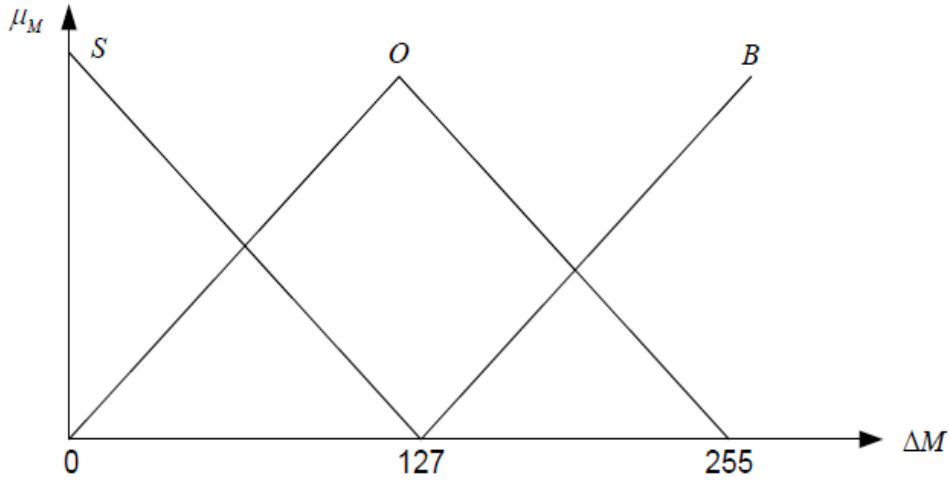
TB: Tam Benzer, 6 şeklindedir.



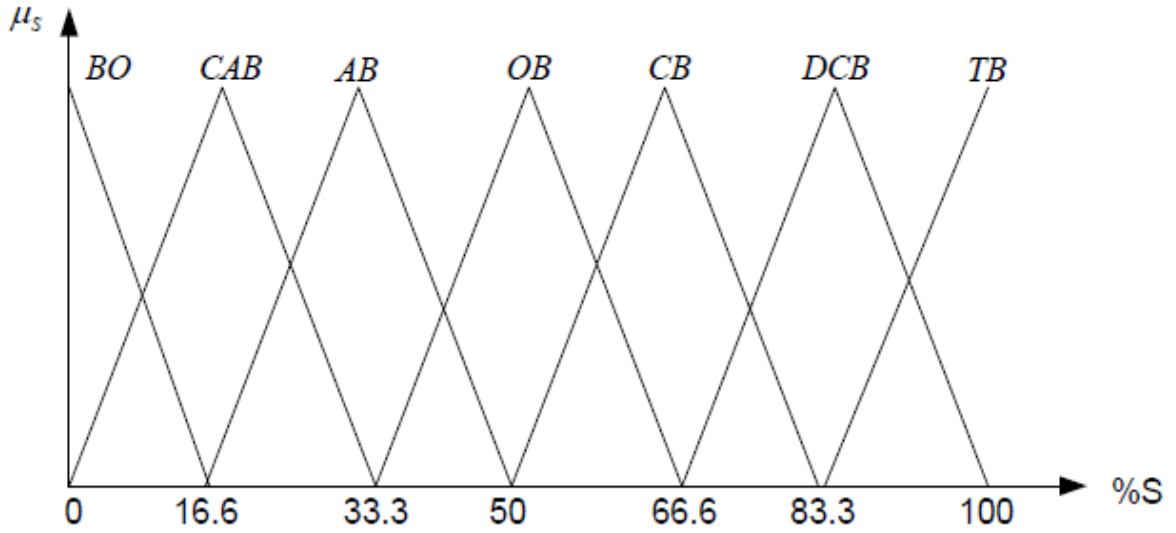
Şekil 3.3. Kırmızı için üyelik fonksiyonu



Şekil 3.4. Yeşil için üyelik fonksiyonu



Şekil 3.5. Mavi için üyelik fonksiyonu



Şekil 3.6. Komşu piksellerin benzerliklerine ait üyelik fonksiyonları [45]

Önerilen yöntemde, benzerlik ölçümü algoritması üç girişli ve tek çıkışlı bir sistem olarak tanımlanmıştır [45]. Tamamı Çizelge 3.1'de gösterilen kuralların sözel karşılıkları aşağıdaki gibidir;

Kural 1: Eğer ΔR Sıfır ve ΔG Sıfır ve ΔB Sıfır ise O zaman P_1 ve P_2 Tamamen Benzer

Kural 2: Eğer ΔR Sıfır ve ΔG Sıfır ve ΔB Orta ise O zaman P_1 ve P_2 Daha Çok Benzer

Kural 3: Eğer ΔR Sıfır ve ΔG Sıfır ve ΔB Büyük ise O zaman P_1 ve P_2 Çok Benzer

Kural 4: Eğer ΔR Sıfır ve ΔG Orta ve ΔB Sıfır ise O zaman P_1 ve P_2 Daha Çok Benzer

Kural 5: Eğer ΔR Sıfır ve ΔG Orta ve ΔB Orta ise O zaman P_1 ve P_2 Çok Benzer

Kural 6: Eğer ΔR Sıfır ve ΔG Orta ve ΔB Büyük ise O zaman P_1 ve P_2 Orta Benzer

- Kural 7: Eğer ΔR Sıfır ve ΔG Büyük ve ΔB Sıfır ise O zaman P1 veP2 Çok Benzer
- Kural 8: Eğer ΔR Sıfır ve ΔG Büyük ve ΔB Orta ise O zaman P1 veP2 Orta Benzer
- Kural 9: Eğer ΔR Sıfır ve ΔG Büyük ve ΔB Büyük ise O zaman P1 veP2 Az Benzer
- Kural 10: Eğer ΔR Orta ve ΔG Sıfır ve ΔB Sıfır ise O zaman P1 veP2 Daha Çok Benzer
- Kural 11: Eğer ΔR Orta ve ΔG Sıfır ve ΔB Orta ise O zaman P1 veP2 Çok Benzer
- Kural 12: Eğer ΔR Orta ve ΔG Sıfır ve ΔB Büyük ise O zaman P1 veP2 Orta Benzer
- Kural 13: Eğer ΔR Orta ve ΔG Orta ve ΔB Sıfır ise O zaman P1 veP2 Çok Benzer
- Kural 14: Eğer ΔR Orta ve ΔG Orta ve ΔB Orta ise O zaman P1 veP2 Orta Benzer
- Kural 15: Eğer ΔR Orta ve ΔG Orta ve ΔB Büyük ise O zaman P1 veP2 Az Benzer
- Kural 16: Eğer ΔR Orta ve ΔG Büyük ve ΔB Sıfır ise O zaman P1 veP2 Orta Benzer
- Kural 17: Eğer ΔR Orta ve ΔG Büyük ve ΔB Orta ise O zaman P1 veP2 Az Benzer
- Kural 18: Eğer ΔR Orta ve ΔG Büyük ve ΔB Büyük ise O zaman P1 veP2 Çok Az Benzer
- Kural 19: Eğer ΔR Büyük ve ΔG Sıfır ve ΔB Sıfır ise O zaman P1 veP2 Çok Benzer
- Kural 20: Eğer ΔR Büyük ve ΔG Sıfır ve ΔB Orta ise O zaman P1 veP2 Orta Benzer
- Kural 21: Eğer ΔR Büyük ve ΔG Sıfır ve ΔB Büyük ise O zaman P1 veP2 Az Benzer
- Kural 22: Eğer ΔR Büyük ve ΔG Orta ve ΔB Sıfır ise O zaman P1 veP2 Orta Benzer
- Kural 23: Eğer ΔR Büyük ve ΔG Orta ve ΔB Orta ise O zaman P1 veP2 Az Benzer
- Kural 24: Eğer ΔR Büyük ve ΔG Orta ve ΔB Büyük ise O zaman P1 veP2 Çok Az Benzer
- Kural 25: Eğer ΔR Büyük ve ΔG Büyük ve ΔB Sıfır ise O zaman P1 veP2 Az Benzer
- Kural 26: Eğer ΔR Büyük ve ΔG Büyük ve ΔB Orta ise O zaman P1 veP2 Çok Az Benzer
- Kural 27: Eğer ΔR Büyük ve ΔG Büyük ve ΔB Büyük ise O zaman P1 veP2 Benzer Olmayan.

Çizelge 3.1. Benzerlik için kural tabanı

μ_R	μ_G	μ_B	μ_S
S	S	S	TB
S	S	O	DCB
S	S	B	CB
S	O	S	DCB
S	O	O	CB
S	O	B	OB
S	B	S	CB
S	B	O	OB
S	B	B	AB
O	S	S	DCB
O	S	O	CB
O	S	B	OB
O	O	S	CB
O	O	O	OB
O	O	B	AB
O	B	S	OB
O	B	O	AB
O	B	B	CAB
B	S	S	CB
B	S	O	OB
B	S	B	AB
B	O	S	OB
B	O	O	AB
B	O	B	CAB
B	B	S	AB
B	B	O	CAB
B	B	B	BO

Çizelge.3.2. Benzerlik için indis tablosu

μ_R r	μ_G g	μ_B b	μ_S i
0	0	0	6
0	0	1	5
0	0	2	4
0	1	0	5
0	1	1	4
0	1	2	3
0	2	0	4
0	2	1	3
0	2	2	2
1	0	0	5
1	0	1	4
1	0	2	3
1	1	0	4
1	1	1	3
1	1	2	2
1	2	0	3
1	2	1	2
1	2	2	1
2	0	0	4
2	0	1	3
2	0	2	2
2	1	0	3
2	1	1	2
2	1	2	1
2	2	0	2
2	2	1	1
2	2	2	0

Çizelge 3.1 gösterilen kural tabanın indislerle ifadesi Çizelge 3.2 verilmiştir. Söz konusu tabloda çıkışa ait üyelik fonksiyon numaraları

$$i = 6 - (r + g + b) \quad (3.3)$$

ifadesi ile hesaplanmıştır. Buradaki r , g ve b her bir pikselin sözel değişken numarasını, i ise benzerlik fonksiyonu indis numarasını temsil etmektedir. Nihayetinde P_1 ve P_2 piksellerinin benzerlik yüzdeleri, durulaştırma sürecinde ağırlıklı ortalama yöntemi kullanılarak:

$$S = \frac{1}{100} \frac{\sum_{j=1}^Z S_j \mu_{dn}^j(L)}{\sum_{j=1}^Z \mu_{dn}^j(L)} \quad (3.4)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Burada Z toplam kural sayısını ve $\mu_{dn}^j(L)$ ise j . kuralın üyelik derecesini ifade etmektedir. S_j , j . kural için benzerlik yüzdesinin maksimum olduğu nokta olup, Eş.3.5 kullanarak hesaplanmıştır [45].

$$S_j = 100 \times \frac{i_j}{6} \quad (3.5)$$

Ayrıca j . kuraldan gelen tavsiye çarpım yöntemi kullanılarak

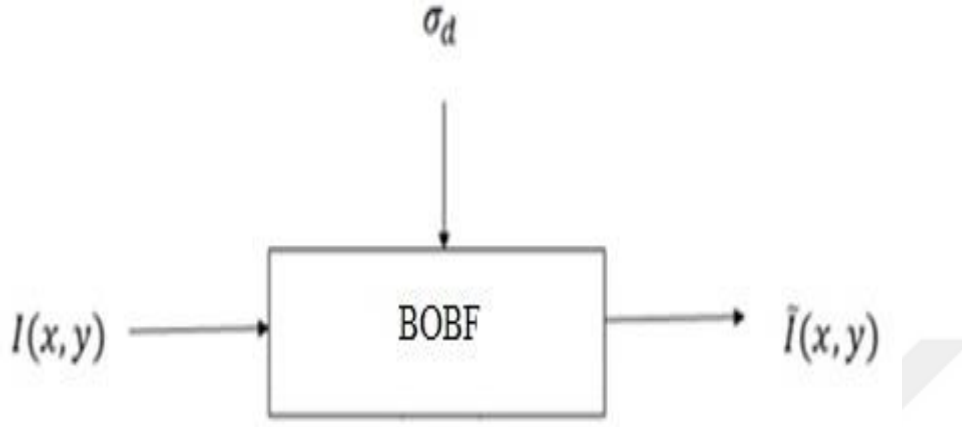
$$\mu_{dn}^j(L) = \mu_R^j(L_{\Delta R}) \cdot \mu_G^j(L_{\Delta G}) \cdot \mu_B^j(l_{\Delta B}) \quad (3.6)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

3.4. Bulanık Mantık Tabanlı Otomatik Uyarlamalı Bilateral Filtre

Kısım 2.4 de geleneksel iki yanlı filtrenin detayları verilmiştir. Şekil 2.12 ve Eş. 2.3 de görüldüğü gibi söz konusu filtrenin doğru seçilmesi gereken iki tane parametresi bulunmaktadır: uzaklık ve renk benzerliği parametreleridir. İlgili parametreler uygun seçildiği durumda görüntü filtresi başarılı olmasına rağmen, kullanıcı bağımlı olmasından dolayı başarısı risklidir. Çünkü her bir görüntü için farklı seçim gereklidir. Diğer taraftan bu çalışmada renk benzerliği bulanık mantık yardımıyla otomatik ve uyarlamalı olarak

seçilmiştir. Yani renk benzerliği hesaplamasında kullanıcı bağımlılığı ortadan kaldırılmıştır. Böylece kullanıcının seçmesi gerekli parametre sayısı bire düşürülmüştür. Geliştirilen bulanık uyarlamalı otomatik bilateral filtrenin (BOBF) diyagramı Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Bulanık mantık tabanlı otomatik uyarlamalı bilateral filtre: BOBF

Geliştirilen algoritmada uzaklık parametresi, σ_d kullanıcı tarafından belirlenmekte, renk benzerliği parametresi ise bulanık mantık teorisi kullanılarak elde edilmektedir. Sonuçta elde edilen iki yanlı filtrede çıkış bilgisi

$$\tilde{I}(p) = \frac{1}{C} \sum_{q \in N(p)} e^{\frac{-\|q-p\|^2}{2\sigma_d^2}} \times S \times I(q) \quad (3.7)$$

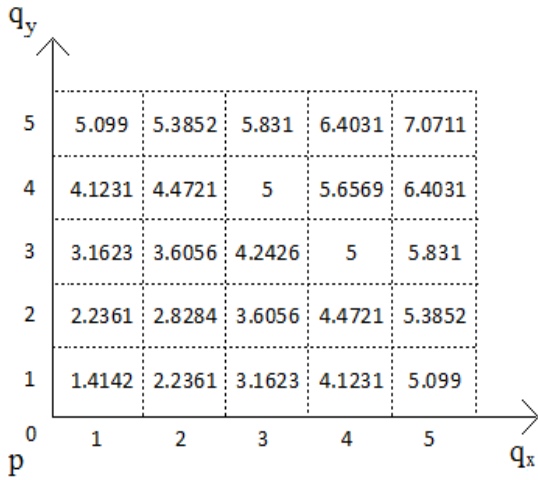
formülü ile hesaplanır. Burada $N(p)$, $I(p)$ pikselin uzamsal koşularıdır. C normalizasyon sabiti ise

$$C = \sum_{q \in N(p)} e^{\frac{-\|q-p\|^2}{2\sigma_d^2}} \times S \quad (3.8)$$

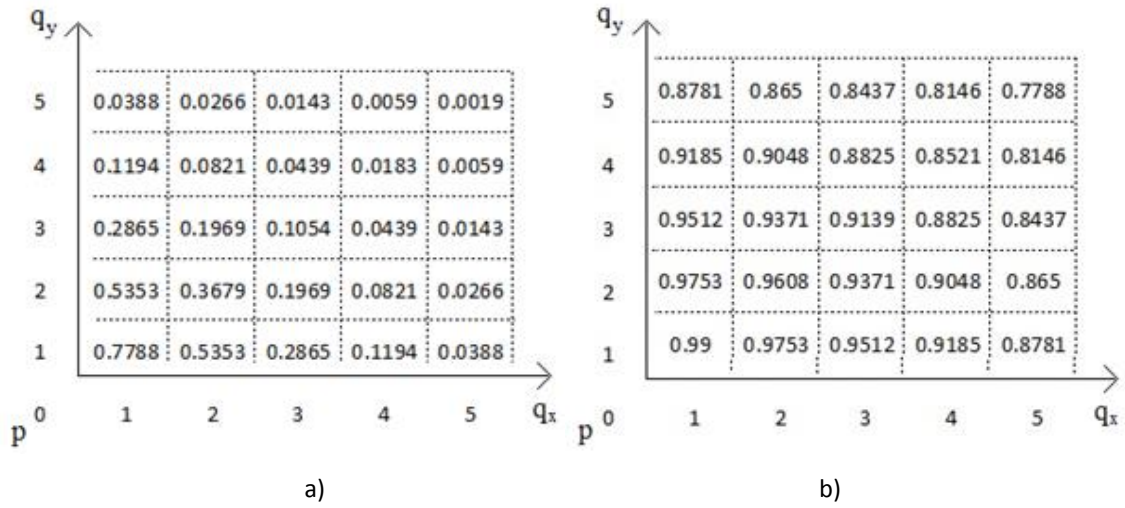
yardımıyla hesaplanmaktadır. Buradaki S komşu piksellerin renk benzerliğidir.

3.5. Hibrit Bilateral Filtre

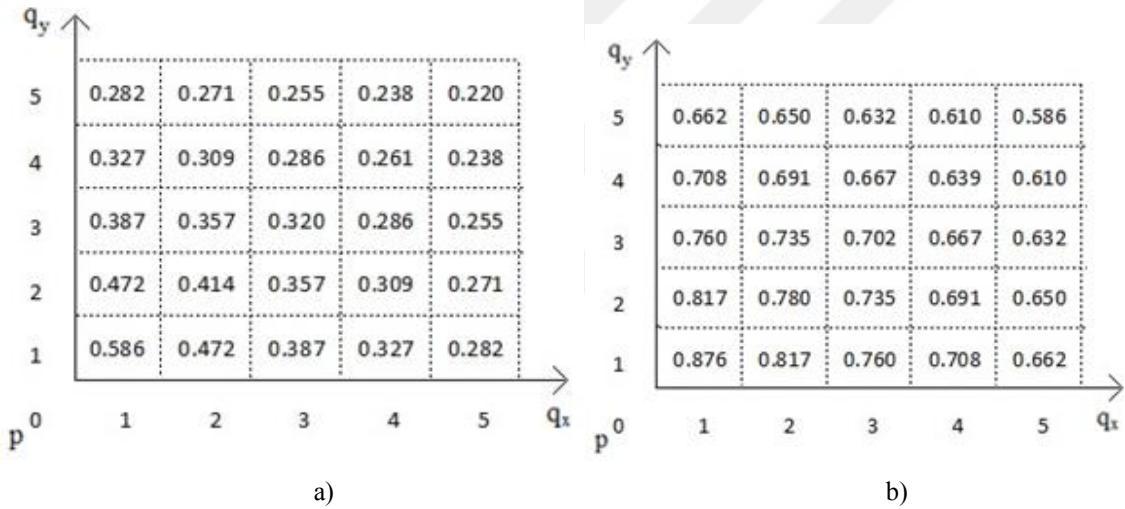
Geleneksel iki yanlı filtrede geometrik yakınlık E.ş. 2.4 de verilen denklem ile hesaplanmaktadır. Diğer taraftan geometrik benzerlik için Samuel ve arkadaşları E.ş. 2.7 tanımlanan bulanık metrik yaklaşımını önermişlerdir [26]. Samuel ve arkadaşlarının geliştirdiği bulanık metrik esaslı bilateral filtrenin de (BMBF) tespit edilmesi gereken parametreleri mevcuttur. Her iki yaklaşımın farkını görmek için farklı parametreler ile ağırlık hesaplamaları yapılmıştır. Örneğin 11×11 'lik maskenin ilk çeyreğinde merkez ve komşu piksellerin geometrik Öklid mesafeleri, $\|q - p\|$ Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Aynı şekilde farklı σ_d parametresi ile geometrik benzerlikler hesaplanmıştır. E.ş. 2.4 ve $\sigma_d = 2$ ile elde edilen sonuç Şekil 3.9 (a), $\sigma_d = 10$ ile elde edilen sonuç Şekil 3.9 (b) verilmiştir. E.ş. 2.7 ve $t=2$ ile elde edilen sonuç Şekil 3.10 (a), $t=10$ ile elde edilen sonuç Şekil 3.10 (b) verilmiştir. Görüldüğü gibi Öklid esaslı ve bulanık metrik esaslı benzerlikler farklı sonuçlar üretmiştir. E.ş. 2.4 merkeze yakın pikseller daha göre etkin iken, bulanık metrik esaslı yaklaşımda komşu piksellerin sonuca katkısı daha fazladır.



Şekil 3.8. 11×11 'lik maskede p ve q pikselleri arasındaki geometrik uzaklık: $\|q - p\|$



Şekil 3.9. Farklı σ_d parametresi ile geometrik benzerlik: Eş.2.4 a) 2 b) 10



Şekil 3.10. Farklı t parametresi ile geometrik benzerlik: Eş.2.7 a) 2 b) 10

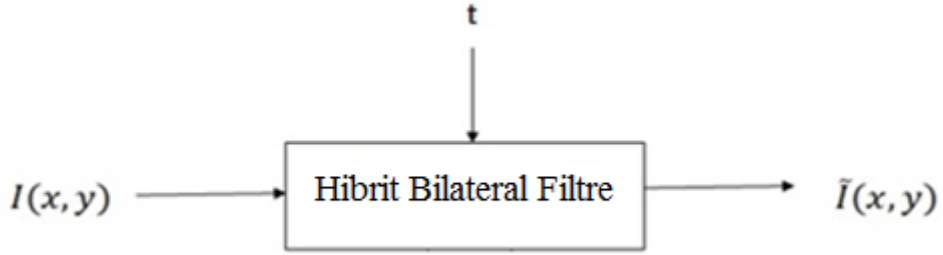
Şekil 3.9 ve Şekil 3.10 da görüldüğü gibi geometrik ağırlıkların iki yanlı filtrenin performansına katkıları önemlidir. Gerek hesaplama yöntemi gerekse parametre sonucu değiştirmektedir. Yukarıdaki durumlar dikkate alınarak geometrik ağırlığın Eş. 2.7 ile, renk benzerliğinin kural tabanlı olarak hesaplandığı hibrit bilateral filtre (HBF) önerilmiştir. Geliştirilen HBF de çıkış piksellerinin değeri

$$\tilde{I}(p) = \frac{1}{C} \sum_{q \in N(p)} w_g(p, q, t) \times S(p, q) \times I(q) \quad (3.8)$$

ifadesi ile hesaplanır iken, normalizasyon sabiti ise

$$C = \sum_{q \in N(p)} w_g(p, q, t) \times S(p, q) \quad (3.9)$$

şeklinde bulunmuştur [50]. Bulanık metrik ve kural tabanlı çalışan hibrit filtrenin prensip şeması Şekil 3.11'deki gibidir. Görüldüğü gibi hibrit bilateral filtre sadece t parametresine ihtiyaç duymaktadır.



Şekil 3.11. Hibrit Bilateral Filtre: HBF

4. DENEYSEL SONUÇLAR VE YORUMLAR

Tasarlanan algoritmaların performansı Matlab ortamında test edilmiştir. Bu kapsamda hem gri seviyeli, hem de renkli görüntüler kullanılmıştır. Literatüre göre klasik iki yanlı filtrelerin parametrelerinin seçimlerinde geometrik benzerlik, σ_d için [1-10] aralığı ve renk benzerliği, σ_r için [10-300] aralığı önerilmiştir [24,26]. Dolayısıyla her resim için uygun kombinasyon seçimi kullanıcı tecrübesine bağlıdır. Ayrıca maske boyutlarında performansı etkileyen önemli bir faktör olduğundan, farklı maske boyutları dikkate alınarak deneyler yapılmıştır. Filtrelerin performans değerlendirilmesi için PSNR ölçüleri kullanılmıştır.

4.1. Gri Seviyeli Görüntülerle Alınan Sonuçlar

Klasik iki yanlı filtre ve bulanık mantık tabanlı otomatik uyarlamalı bilateral filtre referans resimlerden olan Kameraman görüntüsü ile test edilmiştir. Şekil 2.1’de gösterilen Kameraman görüntüsüne 2 varyanslı Gauss gürültüsü eklenerek Şekil 4.1’de gösterilen resim elde edilmiş ve test için kullanılmıştır. Önerilen filtreler 3×3 ’lük ve 9×9 ’lük maskeler yardımıyla test edilmiştir.



Şekil.4.1. Gürültülü kameraman

Öncelikle Şekil 4.1’de gösterilen resim için Eş.2.3 de tanımlanan klasik iki yanlı filtre ve 3×3 maske kullanılarak sonuç alınmıştır. Test aşamasında geometrik parametre $\sigma_d = 2$ de sabit tutularak, $\sigma_r = 20$ için Şekil 4.2 (a) da, $\sigma_r = 100$ için Şekil 4.2 (b)’de ve $\sigma_r = 200$ için Şekil 4.2 (c)’de gösterilen sonuçlar alınmıştır. Diğer taraftan aynı görüntü BOBF filtre ile temizlendiğinde Şekil 4.2 (d) de gösterilen çıktı elde edilmiştir. Her bir deneyde elde edilen PSNR değerleri sırası ile 34,90 dB, 35,26 dB, 34,99 dB ve 53,74 dB olmuştur. Renk benzerliği parametresinin artması klasik iki yanlı filtrenin sonuçlarında pozitif etki yapmıştır. Ancak en yüksek verim BOBF filtresinde alınmıştır.

Aynı deneyler geometrik parametre $\sigma_d = 4$ de sabit tutularak tekrar edilmiştir. $\sigma_r = 20$ için Şekil 4.3 (a) da, $\sigma_r = 100$ için Şekil 4.3 (b)’de ve $\sigma_r = 200$ için Şekil 4.3 (c)’de gösterilen sonuçlar alınmıştır. BOBF filtre ile Şekil 4.3 (d) de gösterilen çıktı elde edilmiştir. Bulunan PSNR değerleri sırası ile 34,91 dB, 35,14 dB, 34,95 dB ve 53,28 dB olmuştur. Aynı şekilde renk benzerliği parametresi artması klasik iki yanlı filtrenin sonuçlarında pozitif etki yapmıştır. Ancak en yüksek performans yine BOBF filtresinde alınmıştır.

Son olarak uzaklık veya geometrik parametresi $\sigma_d = 10$ da sabit tutularak, $\sigma_r = 20$ için Şekil 4.4 (a) da, $\sigma_r = 100$ için Şekil 4.4 (b)’de ve $\sigma_r = 200$ için Şekil 4.4 (c)’de gösterilen sonuçlar elde edilmiştir. BOBF filtresinden alınan sonuç ise Şekil 4.4 (d) de verilmiştir. Elde edilen PSNR değerleri sırası ile 34,91 dB, 35,22 dB, 34,94 dB ve 53,16 dB olmuştur. 3×3 boyutlarındaki maske ile alınan sonuçlar Çizelge 5.1 gösterilmiştir. Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4’e bakıldığında, her ne kadar benzerlik parametresinin artması klasik iki yanlı filtrenin performansını iyi yönde etkilemiş olsa bile, uzaklık parametresinin artması her iki filtreyi de olumsuz etkilemiştir.



a)



b)



c)



d)

Şekil 4.2. Kameraman (3×3 maske): $\sigma_d = 2$ ve farklı σ_r a) 20 b) 100 c) 200 d) BOBF



a)



b)



c)



d)

Şekil 4.3. Kameraman (3×3 maske): $\sigma_d = 4$ ve farklı σ_r a) 20 b) 100 c) 200 d) BOBF



a)



b)



c)



d)

Şekil 4.4. Kameraman (3×3 maske): $\sigma_d = 10$ ve farklı σ_r a) 20 b) 100 c) 200 d) BOBF

Çizelge 4.1. Kameraman sonuçları: 3×3 maske

σ_d	σ_r	PSNR
2	20	34,90
	100	35,26
	200	34,99
	BOBF	53,74
4	20	34,91
	100	35,14
	200	34,95
	BOBF	53,28
10	20	34,91
	100	35,22
	200	34,94
	BOBF	53,16

Çizelge 4.1 incelendiğinde, bulanık mantık tabanlı otomatik uyarlamalı bilateral filtrenin, klasik iki yanlı filtreye göre daha başarılı olduğu görülür. Dikkate almamız gereken başka bir husus ise uzaklık parametresinin değeri arttıkça, her ki filtrenin de performansının az da olsa düşmüş olmasıdır.

Maske boyutlarının filtre performansına etkilerini görmek için Şekil 4.1 deki gürültülü Kameraman görüntüsü 9×9 maske yardımıyla filtre edilmiştir. Önceki deneylerde olduğu gibi yine geometrik parametre $\sigma_d = 2$ de sabit tutularak, $\sigma_r = 20$ için Şekil 4.5 (a) da, $\sigma_r = 100$ için Şekil 4.5 (b)'de ve $\sigma_r = 200$ için Şekil 4.5 (c)'de gösterilen sonuçlar alınmıştır. BOBF filtrenin çıktısı ise Şekil 4.5 (d)'de gösterilmiştir. Her bir deneyde elde edilen PSNR değerleri sırası ile 34,07 dB, 33,53 dB, 33,34 dB ve 50,72 dB olmuştur. Görüldüğü gibi renk benzerliği parametresinin artması klasik iki yanlı filtrenin sonuçlarına pozitif katkıda bulunmuştur. BOBF nin başarımı hala yüksektir.

İlgili deneyler geometrik parametre $\sigma_d = 4$ sabit tutularak tekrar edilmiştir. $\sigma_r = 20$ için Şekil 4.6 (a) da, $\sigma_r = 100$ için Şekil 4.6 (b)'de ve $\sigma_r = 200$ için Şekil 4.6 (c)'de gösterilen sonuçlar alınmıştır. BOBF filtre ile Şekil 4.6 (d)'de gösterilen çıktı elde edilmiştir. Elde edilen PSNR değerleri sırası ile 34,85 dB, 34,35 dB, 33,53 dB ve 49,21dB olmuştur. Aynı şekilde renk benzerliği parametresi artması klasik iki yanlı filtrenin sonuçlarında pozitif etki yapmıştır. Tasarlanan algoritma ile elde edilen sonucun, diğer üçüne göre daha yüksek

olduğu açıktır. Ayrıca klasik filtrede bulanıklaşma artmıştır. Ancak BOBF de kenarlar daha belirgindir.

En son deney kümesinde ise geometrik parametre $\sigma_d = 10$ da sabit tutularak, $\sigma_r = 20$ için Şekil 4.7 (a)'da, $\sigma_r = 100$ için Şekil 4.7 (b)'de ve $\sigma_r = 200$ için Şekil 4.7 (c)'de gösterilen sonuçlar elde edilmiştir. BOBF filtresinden alınan sonuç ise Şekil 4.7 (d)'de verilmiştir. Elde edilen PSNR değerleri sırası ile 34,84 dB, 34,23 dB, 33,34 dB ve 48,74 dB olmuştur. Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7'ya bakıldığında, uzaklık parametresinin artması her iki filtrenin performansını olumsuz etkilemiştir.

Şekil 4.1'de verilen 0,2 varyanslı Gauss gürültülü kameraman görüntüsü üzerinde, klasik iki yanlı filtre, bulanık mantık tabanlı otomatik uyarlamalı bilateral filtre kullanılarak ve maske boyutu 9×9 tutularak Çizelge 4.2 elde edilmiştir. Çizelge 4.2 incelediğinde bulanık mantık tabanlı otomatik uyarlamalı bilateral filtrenin, klasik iki yanlı filtreye göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Daha önce anlatıldığı gibi uzaklık parametresinin artışı her iki filtrenin performansını da olumsuz etkiler. Bunun yanı sıra uzaklık parametresinde olduğu gibi, maske boyutunun artışı, filtrelerin performansının düşmesine neden olmaktadır.



a)



b)



c)



d)

Şekil 4.5. Kameraman (9×9 maske): $\sigma_d = 2$ ve farklı σ_r a) 20 b) 100 c) 200 d) BOBF



a)



b)



c)



d)

Şekil 4.6. Kameraman (9×9 maske): $\sigma_d = 4$ ve farklı σ_r a) 20 b) 100 c) 200 d) BOBF



a)



b)



c)



d)

Şekil 4.7. Kameraman (9×9 maske): $\sigma_d = 10$ ve farklı σ_r a) 20 b) 100 c) 200 d) BOBF

Çizelge 4.2 Kameraman sonuçları: 9×9 maske

σ_d	σ_r	PSNR
2	20	34,93
	100	34,76
	200	34,07
	BOBF	50,72
4	20	34,85
	100	34,35
	200	33,53
	BOBF	49,21
10	20	34,84
	100	34,23
	200	33,34
	BOBF	48,74

4.2. Renkli Görüntülerle Alınan Sonuçlar

Gri seviyeli görüntülerde olduğu gibi renkli görüntüler içinde klasik iki yanlı filtre ve bulanık mantık tabanlı otomatik uyarlamalı bilateral filtre (BOBF) test edilmiştir. Ayrıca sadece renkli görüntüler için geliştirilmiş olan bulanık metrik esaslı bilateral filtre (BMBF) ve hibrit bilateral filtre (HBF) ile de deneyler yapılmıştır. Her bir deney 3×3 ve 9×9 maske boyutları için tekrar edilmiştir. Filtrelerin başarımlarını değerlendirmeleri için her kanala ait PSNR ölçütü kullanılmıştır. Şekil 2.3 verilen Lena görüntüsüne 0,2 varyanslı Gauss gürültüsü eklenerek Şekil 4.8'deki gürültülü Lena görüntüsü elde edilmiştir.



Şekil 4.8. Gürültülü Lena

Öncelikle Şekil 4.8’de gösterilen Lena görüntüsü geometrik parametresi sabit tutularak 3×3 maske ile filtre edilmiştir. $\sigma_d = 2$ de sabit olmak şartıyla, $\sigma_r = 20$ için Şekil 4.9 (a) da, $\sigma_r = 100$ için Şekil 4.9 (b)’de ve $\sigma_r = 200$ için Şekil 4.9 (c)’de gösterilen sonuçlar alınmıştır. Akabinde $\sigma_d = 2$ de sabit olmak şartıyla, bulanık metrik esaslı bilateral filtre (BMBF), bulanık mantık tabanlı otomatik uyarlamalı bilateral filtre (BOBF) ve hibrit bilateral filtre (HBF) ile sonuçlar alınmıştır. Şekil 4.10 (a) BMBF filtresinin, Şekil 4.10 (b) BOBF filtresinin ve Şekil 4.10 (c) HBF filtresinin çıktısını göstermektedir. Her bir kanalın PSNR değerleri ise Çizelge 4.3 verilmiştir. Çizelge 4.3 den de görüldüğü gibi renk benzerliği parametresinin büyük olması sonucu pozitif yönde etkilemiştir. Ancak en yüksek başarımlar HBF de elde edilmiştir. BMBF ve BOBF ile elde edilen görüntüler HBF ye göre daha fazla bulanıklaşmıştır.



a)



b)



c)

Şekil 4.9. Lena (3×3 maske): $\sigma_d = 2$ ve farklı σ_r a) 20 b) 100 c) 200



Şekil 4.10. Lena (3×3 maske): $\sigma_d = 2$ a) BMBF b) BOBF c) HBF

Aynı deneyler geometrik parametresi $\sigma_d = 4$ de sabit tutularak klasik iki yönlü filtre ile tekrar edilmiştir. $\sigma_d = 4$ de sabit olmak şartıyla, $\sigma_r = 20$ için Şekil 4.11 (a) da, $\sigma_r = 20$ için Şekil 4.11 (b)'de ve $\sigma_r = 200$ için Şekil 4.11 (c)'de gösterilen sonuçlar alınmıştır. Aynı şekilde $\sigma_d = 2$ de sabit olmak şartıyla, bulanık metrik esaslı bilateral filtre (BMBF), bulanık mantık tabanlı otomatik uyarlamalı bilateral filtre (BOBF) ve hibrit Bilateral filtre (HBF) ile sonuçlar alınmıştır. Şekil 4.12 (a) BMBF filtresinin, Şekil 4.12 (b) BOBF filtresinin ve Şekil 4.12 (c) HBF filtresinin çıktısını göstermektedir. Her bir kanalın PSNR değerleri ise Çizelge 4.3 verilmiştir. BOBF'in ve HBF'in başarımları diğerlerine göre yüksek olmuştur.

Sonraki adımda geometrik parametre $\sigma_d = 10$ de sabit tutulduğunda, $\sigma_r = 20$ için Şekil 4.13 (a) da, $\sigma_r = 100$ için Şekil 4.13 (b)'de ve $\sigma_r = 200$ için Şekil 4.13 (c)'de gösterilen sonuçlar alınmıştır. Aynı şekilde $\sigma_d = 10$ de sabit olmak şartıyla, Şekil 4.14 (a) BMBF filtresinin, Şekil 4.14 (b) BOBF filtresinin ve Şekil 4.14 (c) HBF filtresinin çıktısını göstermektedir.

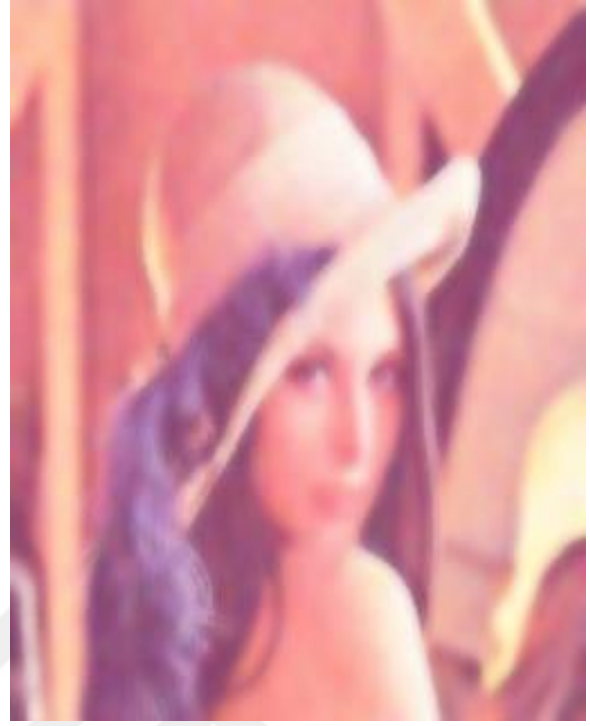
Nihayetinde Şekil 4.8'de verilen 0,2 varyanslı Gauss gürültülü Lena görüntüsünü, klasik iki yanlı filtre, bulanık metrik esaslı bilateral filtre, bulanık mantık tabanlı otomatik uyarlamalı bilateral filtre ve hibrit bilateral filtre kullanılarak ve maske boyutu 3×3 tutularak Çizelge 4.3 elde edilmiştir. Çizelge 4.3 incelendiğinde hibrit bilateral filtrenin, diğer filtrelere göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Dikkate almamız gereken başka bir nokta ise uzaklık parametresinin değeri arttıkça tüm filtrelerin performansının az da olsa düşmesidir.



Şekil 4.11. Lena (3×3 maske): $\sigma_d = 4$ ve farklı σ_r a) 20 b) 100 c) 200



a)



b)



c)

Şekil 4.12. Lena (3×3 maske): $\sigma_d = 4$ a) BMBF b) BOBF c) HBF



a)



b)



c)

Şekil 4.13. Lena (3×3 maske): $\sigma_d = 10$ ve farklı σ_r a) 20 b) 100 c) 200



a)



b)



c)

Şekil 4.14. Lena (3×3 maske): $\sigma_d = 10$ a) BMBF b) BOBF c) HBF

Çizelge 4.3. Lena sonuçları: 3×3 maske

t, σ_d	σ_r	R	G	B
		PSNR	PSNR	PSNR
2	20	35,01	30,95	30,81
	100	35,82	31,94	31,83
	200	35,74	31,97	31,80
	BMBF	54,54	48,43	48,58
	BOBF	53,95	47,99	48,02
	HBF	98,05	67,08	65,96
4	20	35,02	30,98	30,84
	100	35,81	31,94	31,83
	200	35,73	31,96	31,79
	BMBF	53,85	47,75	47,90
	BOBF	53,55	47,60	47,63
	HBF	94,96	65,22	64,17
10	20	35,02	30,98	30,85
	100	35,81	31,94	31,83
	200	35,73	31,95	31,79
	BMBF	53,42	47,32	47,48
	BOBF	53,44	47,49	47,52
	HBF	92,84	63,98	62,99

Maske boyutlarının filtre performansına etkilerini görmek için Şekil 4.8 deki gürültülü Lena görüntüsü 9×9 maske yardımıyla filtre edilmiştir. Önceki deneylerde olduğu gibi geometrik parametre $\sigma_d = 2$ de sabit tutularak, klasik iki yanlı filtre ile, $\sigma_r = 20$ için Şekil 4.15 (a) da, $\sigma_r = 100$ için Şekil 4.15 (b)'de ve $\sigma_r = 200$ için Şekil 4.15 (c)'de gösterilen sonuçlar alınmıştır. Aynı şekilde $\sigma_d = 2$ de sabit olmak şartıyla, Şekil 4.16 (a) BMBF filtresinin, Şekil 4.16 (b) BOBF filtresinin ve Şekil 4.16 (c) HBF filtresinin çıktısını göstermektedir. HBF, BMBF ve BOBF'ye göre kenarları daha iyi korumuştur. İlgili PSNR değerleri Çizelge 4.4 verilmiştir.



a)



b)



c)

Şekil 4.15. Lena(9×9 maske): $\sigma_d = 2$ ve farklı σ_r . a) 20 b) 100 c) 200



Şekil 4.16. Lena (9×9 maske): $\sigma_d = 2$ a) BMBF b) BOBF c) HBF

Aynı deneyler geometrik parametresi $\sigma_d = 4$ de sabit tutularak klasik iki yönlü filtre ile tekrar edilmiştir. $\sigma_d = 4$ de sabit olmak şartıyla, $\sigma_r = 20$ için Şekil 4.17 (a) da, $\sigma_r = 100$ için Şekil 4.17 (b)'de ve $\sigma_r = 200$ için Şekil 4.17 (c)'de gösterilen sonuçlar alınmıştır. Benzer şekilde $\sigma_d = 4$ de sabit olmak şartıyla, Şekil 4.18 (a) BMBF filtresinin, Şekil 4.18 (b) BOBF filtresinin ve Şekil 4.18 (c) HBF filtresinin çıktısını göstermektedir. Her bir kanalın PSNR değerleri ise Çizelge 4.4 verilmiştir. Uzaklık parametresinin değeri arttıkça tüm filtrelerin performansının az da olsa düştüğü görülmüştür.

Sonraki adımda geometrik parametre $\sigma_d = 10$ de sabit tutulduğunda, $\sigma_r = 20$ için Şekil 4.19 (a) da, $\sigma_r = 100$ için Şekil 4.19 (b)'de ve $\sigma_r = 200$ için Şekil 4.19 (c)'de gösterilen sonuçlar alınmıştır. Aynı şekilde $\sigma_d = 10$ de sabit olmak şartıyla, Şekil 4.20 (a) BMBF filtresinin, Şekil 4.20 (b) BOBF filtresinin ve Şekil 4.20 (c) HBF filtresinin çıktısını göstermektedir.

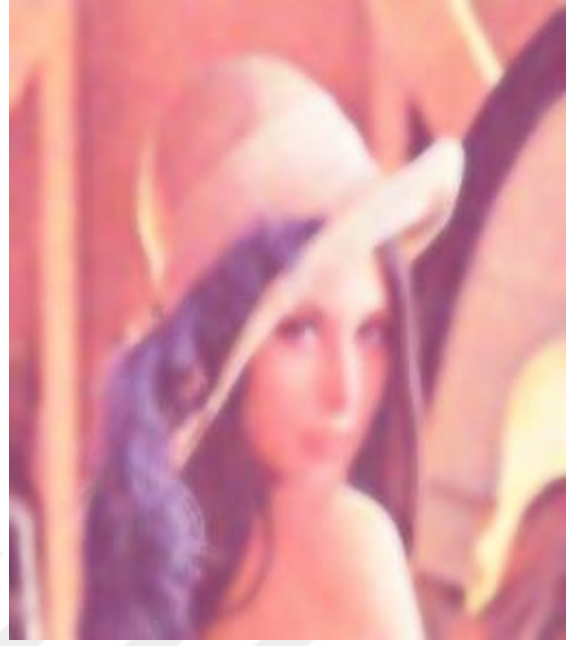
Şekil 4.8'de verilen 0,2 varyanslı Gauss gürültülü Lena görüntüsünde 9×9 boyutlarında klasik iki yanlı filtre, bulanık metrik esaslı bilateral filtre, bulanık mantık tabanlı otomatik uyarlamalı bilateral filtre ve hibrit bilateral filtre kullanarak elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4 verilmiştir. Çizelge 4.4 incelendiğinde hibrit bilateral filtrenin diğer filtrelere göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Geomnetrik parametrenin değeri arttıkça tüm filtrelerin performansının düşmektedir.



Şekil 4.17. Lena (9×9 maske): $\sigma_d = 4$ ve farklı σ_r a) 20 b) 100 c) 200



a)



b)



c)

Şekil 4.18. Lena (9×9 maske): $\sigma_d = 4$ a) BMBF b) BOBF c) HBF



a)



b)



c)

Şekil 4.19. Lena (9×9 maske): $\sigma_d = 10$ ve farklı σ_r a) 20 b) 100 c) 200



a)



b)



c)

Şekil 4.20. Lena(9×9 maske): $\sigma_d = 10$ a) BMBF b) BOBF c) HBF

Çizelge 4.4. Lena sonuçları: 9×9 maske

t, σ_d	σ_r	R	G	B
		PSNR	PSNR	PSNR
2	20	34,99	31,11	31,02
	100	35,50	31,85	31,88
	200	35,42	31,67	31,81
	BMBF	49,76	44,07	45,12
	BOBF	53,14	47,28	47,45
	HBF	81,85	56,88	56,68
4	20	34,95	31,14	31,07
	100	35,20	31,67	31,78
	200	35,05	31,39	31,68
	BMBF	49,40	43,73	44,84
	BOBF	51,96	46,27	46,65
	HBF	77,26	55,48	55,42
10	20	34,92	31,14	31,09
	100	35,09	31,60	31,74
	200	34,92	31,28	31,62
	BMBF	49,11	43,45	44,63
	BOBF	51,60	45,97	46,42
	HBF	73,56	54,31	54,38



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sayısal görüntülerdeki gürültülerin resimdeki nesne sınırlarına zarar vermeden kaldırılması en temel ihtiyaç olmuştur. Bu amaç için geliştirilmiş iki yanlı filtresi her bir resim için özel olarak seçilmesi gerekli iki adet parametreye ihtiyaç duyar: geometrik benzerliği ve renk benzerliği parametreleri. Dolayısıyla filtrenin performansının kullanıcının tecrübesine bağlı olması en büyük dezavantajıdır.

Bu çalışmada, sayısal görüntülerde nesne sınırlarına zarar vermeden gürültülerin kaldırılması için bulanık mantığa ve bulanık metriğe dayalı iki adet görüntü filtresi geliştirilmiştir. Her iki çözümde de bulanık mantık tabanlı renk benzerliği ile iki yanlı filtrelerin uyarlanması gerçekleştirilmiştir. Renk benzerliğinin hesaplanması için bulanık mantık kullanılmıştır.

Birinci yaklaşımda geleneksel geometrik benzerlik fonksiyonu ile kural tabanlı renk benzerliğinin birlikte çalıştırıldığı bulanık uyarlamalı otomatik iki yanlı filtre önerilmiştir. İkinci çözüm önerisinde ise, geometrik benzerlik için bulanık metrik sistemi ile kural tabanlı renk benzerliğinin birlikte kullanıldığı hibrit bilateral filtre önerilmiştir.

Her iki yöntemde de geometrik benzerlik parametresinin büyük seçilmesi filtrenin performansını olumsuz etkilemektedir. Bununla birlikte her iki yöntemde geleneksel iki yanlı filtreden daha başarılı olmuştur.

İlave olarak her iki algoritmada maske boyutu büyüdükçe, performansı düşmektedir.

Önerilen algoritmanın, tıp, askeri veya endüstriyel alanlarda test edilmesi ve geometrik benzerlik parametresinin uyarlamalı seçimi ise muhtemel çalışma alanlarıdır.



KAYNAKLAR

1. Castleman, K. R. (1996). *Digital image processing*. Englewoods: Prenticc-Hall, 15-80.
2. Gedraite, E. S., and Hadad, M. (2011). Investigation on the effect of a Gaussian Blur in image filtering and segmentation. *ELMAR, 2011 Proceedings* , 393-396.
3. Boncelelet, C. (2000). *Image noise models. Handbook of image and video processing*, 325-335.
4. Russo, F. (2003). A method for estimation and filtering of Gaussian noise in images. *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*, 52(4), 1148-1154.
5. Gonzalez, R.C. and Woods, R.E. (2007). *Digital Image Processing* (Int. Ed.). New Jersey: Pearson Prentice Hall, 1-97, 689-784.
6. Plataniotis, K. N., and Venetsanopoulos, A. N. (2000). Color image processing and applications. *Springer Science & Business Media*, 15-38.
7. Hsiao, P. Y., Chou, S. S., and Huang, F. C. (2007, October). Generic 2-D gaussian smoothing filter for noisy image processing. In *TENCON 2007-2007 IEEE Region 10 Conference IEEE*, 1-4.
8. Liu, Y., Shen, T., and Wang, X. (2007, December). Image restoration using Gaussian particle filters. In *Computational Intelligence and Security, 2007 International Conference on IEEE*, 391-394.
9. Huang, T. S., Yang, G. J., and Tang, G. Y. (1979). A fast two-dimensional median filtering algorithm. *Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE Transactions on*, 27(1), 13-18.
10. Haddad, R., and Akansu, A. N. (1991). A class of fast Gaussian binomial filters for speech and image processing. *Signal Processing, IEEE Transactions on*, 39(3), 723-727.
11. Arakawa, K. (1996). Median filter based on fuzzy rules and its application to image restoration. *Fuzzy sets and systems*, 77(1), 3-13.
12. Lee, C. S., Kuo, Y. H., and Yu, P. T. (1997). Weighted fuzzy mean filters for image processing. *Fuzzy Sets and systems*, 89(2), 157-180.
13. Goshtasby, A., and Satter, M. (2008). An adaptive window mechanism for image smoothing. *Computer Vision and Image Understanding*, 111(2), 155-169.
14. Pitas, I., Venetsanopoulos, A. N. (1990). *Nonlinear Digital Filters: Principles and Applications*, USA: Kluwer Academic Press, 84.

15. Astola, J., Haavisto, P., and Neuvo, Y. (1990). Vector median filters. *Proceedings of the IEEE*, 78(4), 678-689.
16. Trahanias, P. E., and Venetsanopoulos, A. N. (1993). Vector directional filters—a new class of multichannel image processing filters. *Image Processing, IEEE Transactions on*, 2(4), 528-534.
17. Bovik, A. C., Huang, T. S., and Munson Jr, D. C. (1983). A generalization of median filtering using linear combinations of order statistics. *Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE Transactions on*, 31(6), 1342-1350.
18. Hwang, H., and Haddad, R. (1995). Adaptive median filters: new algorithms and results. *Image Processing, IEEE Transactions on*, 4(4), 499-502.
19. Wendt, P. D., Coyle, E. J., and Gallagher Jr, N. C. (1986). Stack filters. *Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE Transactions on*, 34(4), 898-911.
20. Haglund, L. (1991). *Adaptive multidimensional filtering*, Doctoral dissertation, Linköping University, Department of Electrical Engineering, Linköping, 10-100.
21. Young, I. T., and Van Vliet, L. J. (1995). Recursive implementation of the Gaussian filter. *Signal processing*, 44(2), 139-151.
22. Perona, P., and Malik, J. (1990). Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 12(7), 629-639.
23. Elmas, C., Demirci, R., and Güvenc, U. (2013). Fuzzy diffusion filter with extended neighborhood. *Expert Systems with Applications*, 40(3), 866-872.
24. Tomasi, C., and Manduchi, R. (1998, January). Bilateral filtering for gray and color images. In *Computer Vision, 1998. Sixth International Conference on IEEE*, 839-846.
25. Pham, T. Q., and Van Vliet, L. J. (2005, July). Separable bilateral filtering for fast video preprocessing. In *Multimedia and Expo, 2005. ICME 2005. IEEE International Conference on IEEE*, 4.
26. Morillas, S., Gregori, V., Sapeña, A. (2006, September). Fuzzy bilateral filtering for color images. In *International Conference Image Analysis and Recognition*, Springer Berlin Heidelberg, *IEEE*, 138-145.
27. Zhang, M., and Gunturk, B. K. (2008). *Multiresolution bilateral filtering for image denoising*. *Image Processing, IEEE Transactions on*, 17(12), 2324-2333.
28. Hung, K. W., and Siu, W. C. (2012). Fast image interpolation using the bilateral filter. *Image Processing, IET*, 6(7), 877-890.

29. Caraffa, L., Tarel, J. P., and Charbonnier, P. (2015). The Guided Bilateral Filter: When the Joint/Cross Bilateral Filter Becomes Robust. *Image Processing, IEEE Transactions on*, 24(4), 1199-1208.
30. Tiwari, M., and Gupta, B. (2015). Image Denoising Using Spatial Gradient Based Bilateral Filter and Minimum Mean Square Error Filtering. *Procedia Computer Science*, 54, 638-645.
31. Yang, Q. (2015). Recursive approximation of the bilateral filter. *IEEE transactions on image processing: a publication of the IEEE Signal Processing Society*, 24(6), 1919-1927.
32. Jahne, B. (1995). Digital image processing: Concepts, algorithms, and scientific applications. *Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag*, 213.
33. Toprak, A. (2006). *Bulanık Adaptif Medyan Filtresi Kullanarak Tıbbi Görüntülerdeki Darbe Gürültüsünün Bastırılması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 6-32.
34. Bovik, A. C. (Ed.). (2009). *The essential guide to image processing*. Berlin: Academic Press, 22.
35. Qureshi, S. (2005). *Embedded image processing on the TMS320C6000TM DSP: examples in code composer studioTM and MATLAB*. Berlin: Springer Science & Business Media, 38-47.
36. Burger, W., Burge, M. J., Burge, M. J., and Burge, M. J. (2009). *Principles of Digital Image Processing*. New York: Springer, 221.
37. Bovik, A. C. (2010). Handbook of image and video processing. *United States of America: Academic press*, 397-409.
38. Zhang, X., and Xiong, Y. (2009). Impulse noise removal using directional difference based noise detector and adaptive weighted mean filter. *Signal Processing Letters, IEEE*, 16(4), 295-298.
39. Cattin, D. P. (2013). Image restoration: Introduction to signal and image processing. *MIAC, University of Basel. Retrieved, 11*.
40. Çivicioğlu, P., ve Alçı, M. (2002). Görüntülerdeki gauss gürültüsünü gidermek için akım taşıyıcılı ortalama alıcı süzgeç devresinin tasarımı. *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, ELECO'2002, Elektronik ve Bilgisayar Bildiri Kitabı*, 70-73.
41. Kutlu H. (2013). *İnsan Bilgisayar Etkileşimli Görüntü İşleme Uygulamaları*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
42. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.

43. Hekim, M., ve Orhan, U. (2009). Bulanık c-means kümeleme yöntemine çıkarımlı yaklaşım. *İTÜDERGİSİ/d 10*, 1, 13-14.
44. Ross, T. J. (2009). *Fuzzy logic with engineering applications*. Singapore: John Wiley & Sons, 5-55.
45. Guvenc, U. (2008). *Uyarlanabilir Görüntü Filtre Tasarımı*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
46. Hampton, J. A. (1998). Similarity-based categorization and fuzziness of natural categories. *Cognition*, 65(2), 137-165.
47. Lee, C. C. (1990). Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller. II. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, 20(2), 419-435.
48. Smith, E. E., and Sloman, S. A. (1994). Similarity-versus rule-based categorization. *Memory & Cognition*, 22(4), 377-386.
49. Ashby, F. G., and Gott, R. E. (1988). Decision rules in the perception and categorization of multidimensional stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 14(1), 33.
50. Behjat-Jamal, S., Demirci, R., and Rahkar-Farshi, T. (2015, August). Hybrid bilateral filter. In *International Symposium on Computer Science and Software Engineering (CSSE), 20th*. Tabriz, Iran.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SARA, Behjat jamal
 Uyuğu : İRAN
 Doğum tarihi ve yeri : 21.09.1985, Tebriz
 Medeni hali : Evli
 Telefon :
 Faks :
 e-mail : sara.behjatjamal@gazi.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi	Devam Ediyor
Lisans	Nabi Akram Üniversitesi	2008
Lise	Tebriz Azadi Lisesi	2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2008-2008	Savalan Shukuh	Yazılımcı
2008-2011	Shisheh Azar Tebriz	Head of IT Department

Yabancı Dil

İngilizce
 Farsca

Yayınlar

Behjat-Jamal, S., Demirci, R., and Rahkar-Farshi, T. (2015, August). Hybrid bilateral filter. In *International Symposium on Computer Science and Software Engineering (CSSE), 20th*. Tabriz, Iran.

Hobiler

Yüzme