

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

RENKLİ İMGELERDE GAUSS GÜRÜLTÜSÜ AZALTMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilgisayar Müh. Ahmet ULU

OCAK 2018
TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

RENKLİ İMGELERDE GAUSS GÜRÜLTÜSÜ AZALTMA

Bilgisayar Müh. Ahmet ULU

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

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :19.12.2017
Tezin Savunma Tarihi :04.01.2018

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Bekir DİZDAROĞLU

Trabzon 2018

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında
Ahmet ULU Tarafından Hazırlanan

RENKLİ İMGELERDE GAUSS GÜRÜLTÜSÜ AZALTMA

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 19/12/2017 gün ve 1732 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda

YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Sedat AKLEYLEK

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bekir DİZDAROĞLU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Güzin ULUTAŞ

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Sayısal imgenin elde edilmesi, aktarılması, çoğaltılması gibi çeşitli nedenlerle imgede gürültü olarak adlandırılan bozucu etkiler meydana gelmektedir. Bu gürültülerin azaltılması ve ilgili süreç yürütülürken imgenin özgün yapısının korunması için literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmada en çok karşılaşılan gürültü tiplerinden olan Gauss gürültüsünün seviye kestirimi için homojen bölge tabanlı bir gürültü kestirimi ve bu gürültünün giderilmesi için iyileştirilmiş iz tabanlı bir yaklaşım sunulmuştur.

Çalışmalarım süresince önerileri ile bana yön veren, her an benden yardımını esirgemeyen çok değerli danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Bekir DİZDAROĞLU'na teşekkürü bir borç bilir ve şükranlarımı sunarım.

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

Ahmet ULU
Trabzon 2018

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Renkli İmgelerde Gauss Gürültüsü Azaltma” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Yrd. Doç. Dr. Bekir DİZDAROĞLU'nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.04/01/2018

Ahmet ULU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Sayısal İmge	2
1.3. İmgenin Histogramı.....	2
1.4. Renk Uzayları	3
1.4.1. RGB Renk Uzayı.....	3
1.4.2. HSV Renk Uzayı	5
1.4.3. YCbCr Renk Uzayı.....	6
1.4.4. Lab Renk Uzayı	7
1.5. Gürültü.....	7
1.5.1. Gürültü Çeşitleri	7
1.5.1.1. Gauss Gürültüsü	8
1.5.1.2. Dürtü Gürültüsü.....	10
1.5.1.3. Benek Gürültüsü	12
1.5.1.4. Nicemleme Gürültüsü.....	13
1.6. İmgede Yapı ve Doku Bilgisi	13
1.7. Tepe İşareti Gürültü Oranı.....	15
1.8. Yapısal Benzerlik İndisi	16
2. YAPILAN ÇALIŞMA, BULGULAR, İRDELEME.....	18
2.1. Giriş	18
2.2. Literatür Taraması	18

2.2.1.	Uzamsal Tabanlı Filtreler	19
2.2.2.	Dönüşüm Tabanlı Filtreler	21
2.2.3.	Sözlük Öğrenme Tabanlı Yöntemler	23
2.3.	Renkli İmgelerde Gürültü Seviyesinin Belirlenmesi	26
2.3.1.	Kendall Sıralı İlişkisi	27
2.3.2.	Gürültü Seviyesinin Kestirimi	30
2.3.3.	Görsel Sonuçlar	30
2.4.	Renkli İmgelerde Gauss Gürültüsünün Giderilmesi	38
2.4.1.	Genel Bilgiler	38
2.4.1.1.	Hessian Matrisi	38
2.4.1.2.	Tensör	39
2.4.1.3.	İteratif Eğim İnişi	39
2.4.1.4.	Euler Lagrange	39
2.4.2.	Kısmi Diferansiyel Denklem Tabanlı Gürültü Azaltma	40
2.4.2.1.	Uygunluk Denklemi	41
2.4.3.	Isı yayılım Denklemi	43
2.4.4.	Yön Bağımsız Yayılım	45
2.4.5.	Perona Malik İmge Düzenleme	47
2.4.6.	İz Tabanlı Gürültü Azaltma	51
2.4.6.1.	Vektör Geometrisinin Çıkarılması	51
2.4.6.2.	Yayılım Tensörünün Tanımlanması	54
2.5.	İyileştirilmiş İz Tabanlı Yaklaşım	56
2.5.1.	Yapı Doku Ayrıştırma	56
2.5.2.	Uzamsal Olarak Değişen Uygunluk Terimi	59
2.6.	Görsel Sonuçlar	61
3.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	75
4.	ÖNERİLER	76
5.	KAYNAKLAR	77

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

RENKLİ İMGELERDE GAUSS GÜRÜLTÜSÜ AZALTMA

Ahmet ULU

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Bekir DİZDAROĞLU
2018, 82 Sayfa

Sayısal imgeler günümüz teknolojisinde birçok alanda gittikçe artan şekilde kullanılmaktadır. Bu işlem yapılırken ilk olarak sayısal imgeden birçok faydalı bilgi elde edilmekte ve sonrasında bu bilgi işlenmektedir. Ancak bu bilgiler gürültü gibi bazı etkenler tarafından bozulabilmekte ve imgeye ait bilgilerin elde edilmesini zorlaştırmaktadır. En çok karşılaşılan gürültü tiplerinden biri Gauss gürültüsüdür.

Bu tez çalışmasında renkli imgelerde Gauss gürültüsünü gidermek için yeni bir yöntem önerilmiştir. İlk olarak homojen bölgelere bağlı olarak gürültünün değişimi en az hata ile kestirilmektedir. İkinci olarak elde edilen bu bilgiye göre iyileştirilmiş iz tabanlı yaklaşım kullanılarak gürültünün giderilmesi işlemi gerçekleştirilmektedir. Sunulan yöntem literatürde yer alan diğer yöntemler ile kıyaslandığında daha iyi sonuçlar vermekte ve aynı zamanda renkli imgede yer alan yapı bilgisinin yanı sıra doku bilgisi de korunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Renkli İmge, Gürültü Azaltma, Yapı ve Doku Bilgisi Ayırıştırma, Homojen Bölge Tespiti, Değişimsel Metotlar, İz Tabanlı Gürültü Azaltma

Master Thesis

SUMMARY

GAUSSIAN NOISE REDUCTION IN COLOR IMAGES

Ahmet ULU

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Computer Engineering Graduate Program
Supervisor: Asst. Prof. Bekir DİZDAROĞLU
2018, 82 Pages

Digital images are used increasingly in many areas of today's technology. While doing it, firstly a lot of important information obtained from digital image and then these are processed. But this information can be corrupted by some factors such as noise and it makes difficult to get information belonged to image. One of most common noise is Gaussian noise.

In this study, a new method is proposed to eliminate Gaussian noise in color images. Firstly, the estimation of variation of the noise is performed based on homogeneous regions with minimal error. Secondly, the noise is removed using an improved trace based method according to this obtained information. The proposed method gives better results compared with other methods in literature and it also preserves texture information in addition to structure information in the color image.

Key Words: Color Image, Denoising, Structure-Texture Decomposition, Homogeneous Region Detection, Variational Methods, Trace Based Denoising

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Gri düzeyli Barbara imgesi.....	2
Şekil 1.2. Gri seviye Barbara imgesi (a), görüntünün histogramı (b)	3
Şekil 1.3. RGB renk uzayı	4
Şekil 1.4. Renkli Barbara imgesi (a), RGB kanalına ait histogram (b)	4
Şekil 1.5. HSV Renk Uzayı	5
Şekil 1.6. HSV uzayında Barbara imgesi; renk tonu (a), doygunluk (b), parlaklık (c).....	6
Şekil 1.7. YCbCr uzayında Barbara imgesi; parlaklık değeri (a), mavi renk miktarı (b), kırmızı renk miktarı(c).....	6
Şekil 1.8. Lab uzayında Barbara imgesi; Parlaklık kanalı (a), a kanalı (b), b kanalı (c).....	7
Şekil 1.9. Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Barbara imgesi	10
Şekil 1.10. Tuz ve biber gürültüsü bulaşmış renkli Barbara imgesi.....	11
Şekil 1.11. Benek gürültüsü bulaşmış renkli Barbara imgesi.....	12
Şekil 1.12. Blok deseni (a), dama tahtası (b), çizgili desen (c)	13
Şekil 1.13. Doku yoğunluklu Barbara imgesi (a), yapı yoğunluklu Barbara imgesi (b), doku imgesine ait histogram (c), yapı imgesine ait histogram (d)	14
Şekil 1.14. Farklı bozulmalara maruz kalmış gri seviye Barbara imgesi	16
Şekil 2.1. İmgede gürültü azaltma teknikleri.....	19
Şekil 2.2. Benzer yapıya sahip imge parçaları içeren renkli Barbara imgesi.....	20
Şekil 2.3. Dönüşüm tabanlı filtreler ile gürültü azaltma şematığı.....	21
Şekil 2.4. Fourier dönüşüm kullanarak gürültü azaltma [2].....	22
Şekil 2.5. Kendall sıralı ilişki bağımsızlık testi için komşuluk seçimi.....	28
Şekil 2.6. $\sigma=30$ gauss gürültüsü eklenmiş Barbara imgesi (a), RGB kanallarına bakılarak hesaplanan p değerleri (b), eşikleme sonucu bulunan homojen bölgeler (c).....	30
Şekil 2.7. $\sigma=5$ Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Barbara imgesi (a), algılanan homojen bölgeler (b).....	31
Şekil 2.8. $\sigma=10$ Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Barbara imgesi (a), algılanan homojen bölgeler (b).....	32
Şekil 2.9. $\sigma=15$ Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Barbara imgesi (a), algılanan homojen bölgeler (b).....	33
Şekil 2.10. $\sigma=30$ Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Parrots imgesi (a), algılanan homojen bölgeler (b).....	34
Şekil 2.11. $\sigma=20$ Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Lena imgesi (a), algılanan homojen bölgeler (b).....	35

Şekil 2.12. $\sigma=20$ Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Peppers imgesi (a), algılanan homojen bölgeler (b).....	36
Şekil 2.13. $F(x,y)$ ve $g(x,y)$ fonksiyonları için bulunan olası minimum noktalar	40
Şekil 2.14. Renkli Barbara imgesinin düzenleme terimi ile farklı n değerleri için KDD tabanlı yumuşatılması, $\sigma=30$ Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Barbara imgesi(a), $n=200$ için sonuç imgesi (b), $n=1000$ için sonuç imgesi (c), $n=5000$ için sonuç imgesi (d).....	41
Şekil 2.15. Uygunluk teriminin orijinal imgeden uzaklaşmaya etkisi, $\sigma=30$ Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Barbara imgesi (a), sadece düzenleme terimi ile yumuşatılmış imge (b), düzenleme terimi ve uygunluk terimi ile yumuşatılmış imge (c).....	42
Şekil 2.16. L uzunluğuna sahip metal bir boru.....	43
Şekil 2.17. Metal Levha.....	44
Şekil 2.18. Isı denkleminin renkli Barbara imgesine uygulanması, $\sigma=20$ Gauss Gürültüsü eklenmiş renkli Barbara imgesi, sırasıyla 5, 25, 50 iterasyon ile ısı yayılım denklemleri ile gürültü azaltma sonucu (b), (c), (d).....	46
Şekil 2.19. Perona-Malik düzenleme algoritmasının renkli Barbara imgesine uygulanması, $\sigma=20$ Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Barbara imgesi, sırasıyla 5, 25, 50 iterasyonla Perona-Malik düzenleme algoritması kullanılarak yapılan gürültü azaltma sonucu (b), (c), (d).....	49
Şekil 2.20. $\lambda_{+/-}$ özdeğerleri ve $\theta_{+/-}$ özvektörlerinin gösterimi.....	54
Şekil 2. 21. $\sigma = 10$ Gauss gürültüsü eklenmiş Barbara imgesine ait kalıntı imgesi elde etme; gürültülü imge (a), yumuşatılmış imge (b), kalıntı imgesi (c).....	58
Şekil 2.22. Önerilen yöntem için akış şeması.....	61
Şekil 2.23. Berkeley bölütleme veritabanından alınan renkli imgeler; test imgesi 1 (a), test imgesi 2 (b), test imgesi 3 (c).....	62
Şekil 2.24. $\sigma = 10$ Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Barbara imgesi için gürültü giderme; $\sigma = 10$ olan Gauss gürültülü imge (a), Perona-Malik [59] (TİGO = 23.00, YBI = 0.64) (b), iz tabanlı yöntem (TİGO = 26.50, YBI = 0.85) [68] (c), Duran [73] (TİGO = 31.54, YBI = 0.88) (d), CTV [74] (TİGO = 31.82, YBI = 0.88) (e), önerilen yöntem (TİGO = 33.13, YBI = 0.92) (f).....	63
Şekil 2.25. $\sigma = 20$ gauss gürültüsü eklenmiş renkli Barbara imgesi için gürültü giderme; orijinal imge (a), $\sigma = 20$ olan Gauss gürültülü imge (b), kalıntı imgesi (c), iz tabanlı yöntem [68] (TİGO = 22.84, YBI = 0.77) (d), önerilen yöntem (TİGO = 29.66, YBI = 0.85) (e).....	64
Şekil 2.26. $\sigma = 5$ Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Lena imgesi için gürültü giderme; orijinal imge (a), $\sigma = 5$ olan Gauss gürültülü imge (b), kalıntı imgesi (c), iz tabanlı yöntem [68] (TİGO = 33.10, YBI = 0.87) (d), önerilen yöntem (TİGO = 36.92, YBI = 0.92) (e).....	65

- Şekil 2.27. $\sigma = 10$ Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Lena imgesi için gürültü giderme; $\sigma = 10$ olan Gauss gürültülü imge (a), Perona-Malik [59] (TİGO = 23.65, YBI = 0.70) (b), iz tabanlı yöntem (TİGO = 31.02, YBI = 0.85) [68] (c), Duran [73] (TİGO = 33.24, YBI = 0.88) (d), CTV [74] (TİGO = 33.84, YBI = 0.88) (e), önerilen yöntem (TİGO = 34.70, YBI = 0.92) (f).....66
- Şekil 2.28. $\sigma = 10$ Gauss gürültüsü eklenmiş test imgesi 1 için gürültü giderme; orijinal imge (a), $\sigma = 10$ olan Gauss gürültülü imge (b), kalıntı imgesi (c), iz tabanlı yöntem [68] (TİGO = 27.20, YBI = 0.81) (d), önerilen yöntem (TİGO = 30.60, YBI = 0.89) (e).....67
- Şekil 2.29. $\sigma = 20$ Gauss gürültüsü eklenmiş test imgesi 1 için gürültü giderme; $\sigma = 20$ olan Gauss gürültülü imge (a), Perona-Malik [59] (TİGO = 19.97, YBI = 0.38) (b), iz tabanlı yöntem (TİGO = 24.65, YBI = 0.70) [68] (c), Duran [73] (TİGO = 26.62, YBI = 0.71) (d), CTV [74] (TİGO = 26.98, YBI = 0.76) (e), önerilen yöntem (TİGO = 27.14, YBI = 0.77) (f).....68
- Şekil 2.30. $\sigma = 5$ Gauss gürültüsü eklenmiş test imgesi 2 için gürültü giderme; orijinal imge (a), $\sigma = 5$ olan Gauss gürültülü imge (b), kalıntı imgesi (c), iz tabanlı yöntem [68] (TİGO = 31.22, YBI = 0.89) (d), önerilen yöntem (TİGO = 38.26, YBI = 0.95) (e).....69
- Şekil 2.31. $\sigma = 15$ Gauss gürültüsü eklenmiş test imgesi 2 için gürültü giderme; $\sigma = 15$ olan Gauss gürültülü imge (a), Perona-Malik [59] (TİGO = 21.57, YBI = 0.70) (b), iz tabanlı yöntem (TİGO = 25.40, YBI = 0.83) [68] (c), Duran [73] (TİGO = 32.28, YBI = 0.84) (d), CTV [74] (TİGO = 32.54, YBI = 0.82) (e), önerilen yöntem (TİGO = 32.94, YBI = 0.86) (f).....70
- Şekil 2.32. $\sigma = 10$ Gauss gürültüsü eklenmiş test imgesi 3 için gürültü giderme; orijinal imge (a), $\sigma = 10$ olan Gauss gürültülü imge (b), kalıntı imgesi (c), iz tabanlı yöntem [68] (TİGO = 27.25, YBI = 0.84) (d), önerilen yöntem (TİGO = 31.63, YBI = 0.90) (e).....71
- Şekil 2.33. $\sigma = 20$ Gauss gürültüsü eklenmiş test imgesi 3 için gürültü giderme; $\sigma = 20$ olan Gauss gürültülü imge (a), Perona-Malik [59] (TİGO = 17.22, YBI = 0.46) (b), iz tabanlı yöntem (TİGO = 24.10, YBI = 0.76) [68] (c), Duran [73] (TİGO = 27.25, YBI = 0.79) (d), CTV [74] (TİGO = 27.58, YBI = 0.74) (e), önerilen yöntem (TİGO = 27.95, YBI = 0.82) (f).....72

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. 4 farklı imgede farklı gürültü seviyeleri için elde edilen kestirim sonuçları.....	37
Tablo 2.2. Literatürde yer alan farklı Φ fonksiyonlar.....	51
Tablo 2.3. 5 farklı renkli imge için farklı gürültü seviyelerinde gürültü azaltma sonucu elde edilen TİGO değerleri.....	73
Tablo 2.4. 5 farklı renkli imge için farklı gürültü seviyelerinde gürültü azaltma sonucu elde edilen YBI değerleri.....	74



SEMBOLLER DİZİNİ

HSV	Hue, Saturation, Value
KDD	Kısmi Diferansiyel Denklem
RGB	Red, Green, Blue (Kırmızı, Yeşil, Mavi)
TİGO	Tepe İşareti Gürültü Oranı (Peak Signal to Noise Ratio)
TV	Total Variation (Toplam Değişinti)
YBI	Yapısal Benzerlik İndisi (Structural Similarity)



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Günümüzde teknolojinin ve bilimin gelişmesi ile beraber sayısal görüntülerin kullanımı artmıştır ve görüntü işleme son yılların en popüler konularından biri haline gelmiştir. Sayısal görüntülerde gürültü azaltma, görüntü işleme alanında yapılan birçok çalışmanın ön ayağını oluşturmaktadır.

Gürültü genel olarak imgede piksel değerlerine tamamen ya da kısmen zarar veren ve istenmeyen değişimlere yol açan etkiler olarak tanımlanabilir. Gürültü, görüntünün kazanımı, iletimi, kaydedilmesi ve sıkıştırılması gibi aşamalarda ortaya çıkabilmektedir.

Gürültü azaltma işlemi istenmeyen gürültülerin bozulmuş olan imgeden elemine edilerek özgün imgenin yeniden düzenlenmesi işlemidir. Gürültü azaltma yöntemlerinden beklenen en temel özellik, gürültü giderme işleminin en iyi gerçekleştirilmesi ancak aynı zamanda görüntüye ait bilgilerin mümkün olduğunca korunmasıdır. Karşılaşılan en temel zorluk bu ikisi arasındaki dengeyi sağlamaktır. Bir gürültü azaltma yönteminin başarısı, detay bilgilerinin koruyarak mümkün olduğunca yüksek başarı oranında gürültünün giderilmesini sağlamasıyla değerlendirilebilir.

Bu çalışmada renkli imgelerde sıklıkla karşılaşılan Gauss gürültüsünün giderilmesi için iyileştirilmiş iz tabanlı bir yaklaşım önerilmiştir. Yapılan çalışmada ilk olarak istatistiksel bir metoda dayalı homojen bölgelerin tespiti yapılmaktadır. Homojen bölgelerin tespiti gürültü seviyesinin kestirimi için sonrasında kullanılacak olan filtredeki hata payını en aza indirmektedir. Böylelikle renkli imgede Gauss gürültüsünün seviyesi en az hata ile kestirilmektedir. Renkli imgede gürültü seviyesi belirlendikten sonra, buradan elde edilen bilgiye dayanarak, yapı ve doku bilgisini koruyacak şekilde iyileştirilmiş iz tabanlı yaklaşım vasıtasıyla gürültü azaltma işlemi gerçekleştirilmektedir. Alınan sonuçlar neticesinde ilgili yöntemin renkli imgelerde Gauss gürültüsünü kaldırırken ederken yapı ve doku bilgisini başarılı bir şekilde koruduğu görülmüştür.

1.2. Sayısal İmge

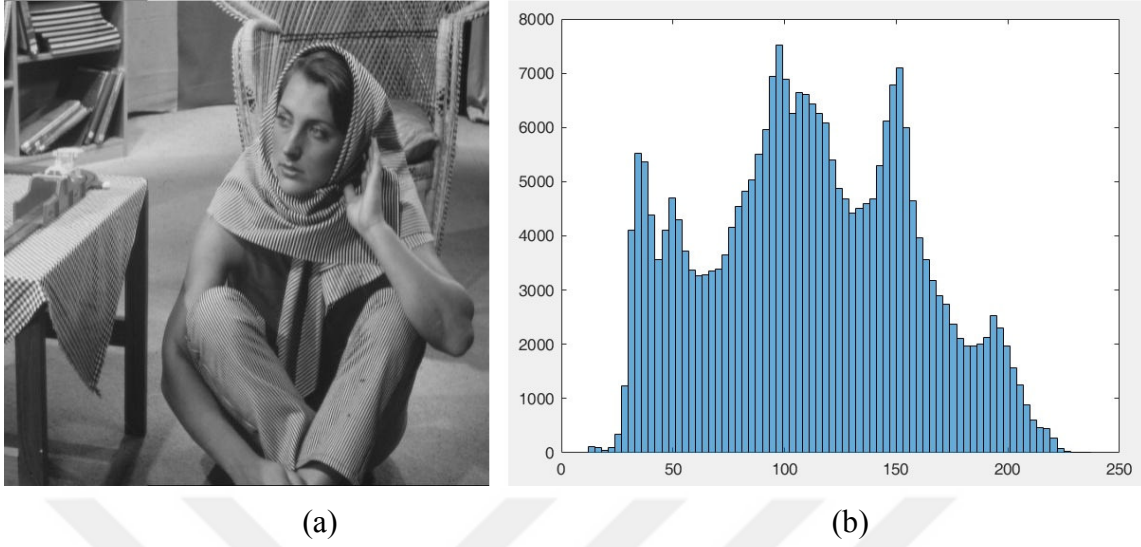
Sayısal imge, iki boyutlu bir imgenin sayısal ortamda değerlendirilebilmesi için ayrık olarak ifade edilmesidir (1, 2017). Ayrık imge sonlu sayıda "piksel" denilen elemanlardan oluşur ve bunların her biri belirli bir değere ve satır sütun bilgileri ifade edilmek üzere bir konuma sahiptir [2]. Ayrık imgeye bir örnek Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Gri düzeyli Barbara imgesi

1.3. İmgenin Histogramı

Bir sayısal imgenin histogramı o imgeye ait olan piksel parlaklık değerlerinin frekansını gösterir. Kısacası piksel değerleri [0-255] arasında değişen bir gri seviyeli imge için her bir piksel değerinden imgede kaç tane olduğu bilgisidir (3, 2017). Gri seviyeli bir imge ve ilgili imgeye ait histogram örneği Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2. Gri seviye Barbara imgesi (a), imgeye ait histogram (b)

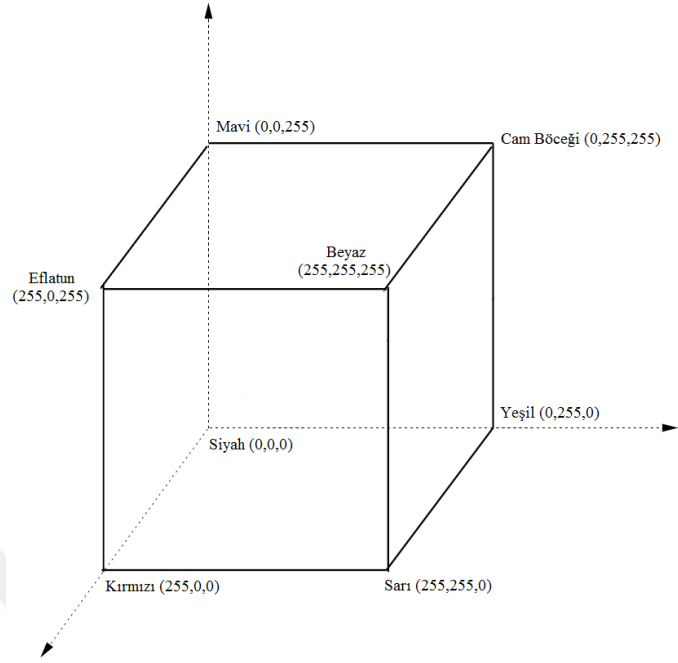
Şekil 1.2 (b)'de Barbara imgesine ait olan histogramda yatay eksen piksel değerini gösterirken dikey eksen piksel miktarını göstermektedir.

1.4. Renk Uzayları

Renk uzayları renkleri ifade etmek için 3 veya 4 boyutlu koordinat sistemi ile temsil edilen matematiksel modellerdir. Renk uzayları arasında doğrusal ve doğrusal olmayan metotlar ile dönüşümler vardır. Çok sayıda renk uzayı tanımlanmıştır. Bunlardan bazıları RGB, HSV, YCbCr, Lab renk uzaylarıdır.

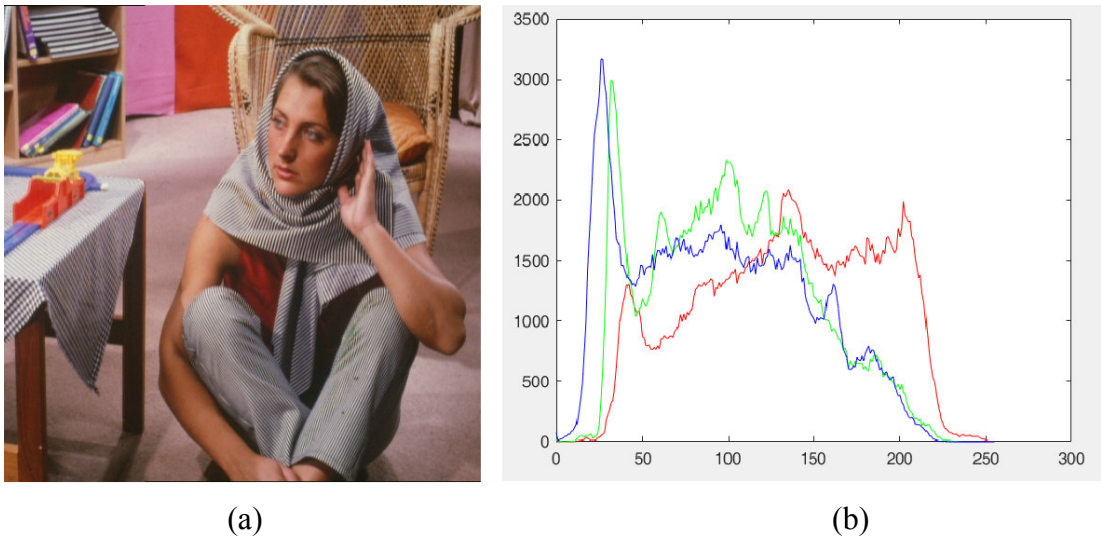
1.4.1. RGB Renk Uzayı

Görüntü işlemede en çok kullanılan renk uzayı RGB uzayıdır. İlgili çalışmada da RGB renk uzayı tercih edilmiştir. RGB renk uzayı sırasıyla Kırmızı (Red), Yeşil (Green) ve Mavi (Blue) dalga boyları ve bu dalga boylarının belirli oranda birleşimini ifade etmektedir [4]. RGB uzayının kartezyen koordinat sisteminde tanımlanması Şekil 1.3'deki gibidir.



Şekil 1.3. RGB renk uzayı

Görsel kabul edilebilir sonuçlar için, RGB uzayında tanımlanan bir imge renkli imgeyi ifade etmektedir [5]. Renkli imgeye örnek olarak Şekil 1.4'de renkli Barbara imgesi ve ilgili imge için üç renk kanalına ait histogram dağılımı verilmiştir.

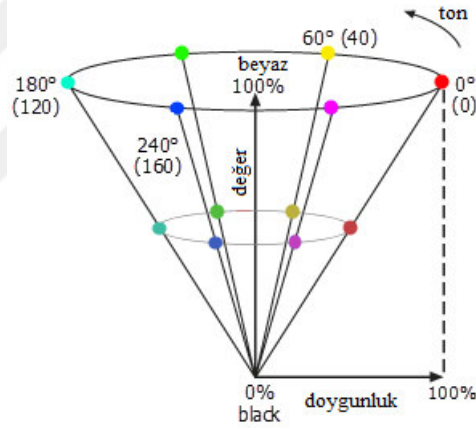


Şekil 1.4. Renkli Barbara imgesi (a), RGB kanalına ait histogram (b)

Şekil 1.4 (b)'de yer alan Barbara imgesine ait olan histogramda, RGB uzayında 3 kanala ait olan histogram sırasıyla kırmızı, yeşil ve mavi renkli çizgilerle gösterilmiştir.

1.4.2. HSV Renk Uzayı

HSV renk uzayı sırasıyla imgedeki renkleri renk tonu (hue), doygunluk (saturation), parlaklık değeri (value) şeklinde tanımlar. Renk tonu bir rengi diğer renklerden ayırt etmeye yarar. Doymunluk bir rengin, aynı parlaklık değerine sahip olan bir renkten farklılık derecesidir. Parlaklık değeri ise bir rengin koyuluk derecesini ifade eder [6]. Geometrik şekli koniye benzeyen HSV renk uzayı Şekil 1.5'de gösterilmektedir.



Şekil 1.5. HSV Renk Uzayı

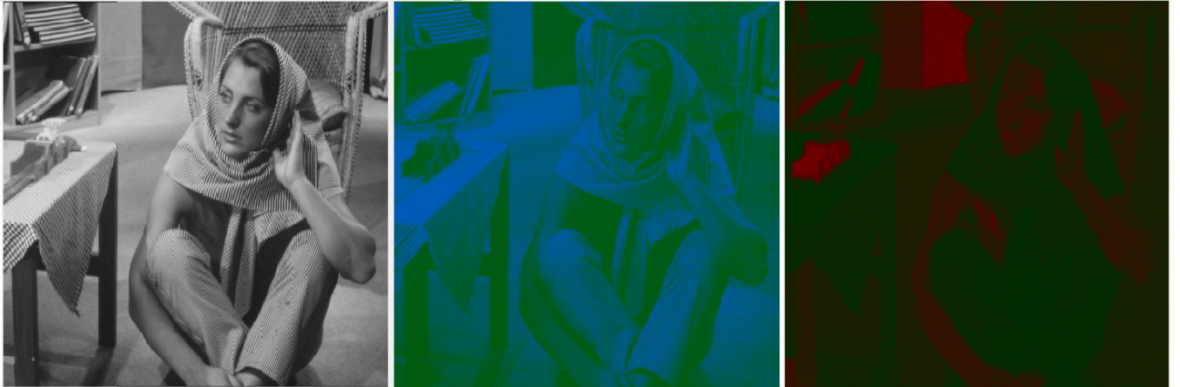
HSV renk uzayının RGB renk uzayına göre avantajı ortam aydınlatma değişiminden daha az etkilenir. RGB uzayında bütün kanallar etkilenirken HSV uzayında sadece parlaklık değeri değişir. Bu yüzden nesne takibi gibi uygulamalarda tercih edilmektedir [7]. Şekil 1.6'da HSV renk uzayında Barbara imgesine ait renk tonu, doygunluk ve parlaklık bileşenine ait örnek gösterim verilmiştir.



Şekil 1.6. HSV uzayında Barbara imgesi; renk tonu (a), doygunluk (b), parlaklık (c)

1.4.3. YCbCr Renk Uzayı

YCbCr renk uzayı sırasıyla Y parlaklık değerini, Cb mavi renk miktarını, Cr kırmızı renk miktarını ifade etmektedir. Video sıkıştırma ve iletimi için oluşturulmuş bir standarttır. Yüz tanıma gibi alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır [8]. Şekil 1.7'de YCbCr uzayında Barbara imgesine ait Y, Cb ve Cr kanallarının gösterimi verilmiştir.



Şekil 1.7. YCbCr uzayında Barbara imgesi; parlaklık değeri (a), mavi renk miktarı (b), kırmızı renk miktarı (c)

1.4.4. Lab Renk Uzayı

Lab renk uzayı sırası ile parlaklık (Luminance) kanalını, a ve b ise iki renk kanalını ifade etmektedir. Lab renk uzayı, RGB renk uzayıyla kıyaslandığında birçok görüntü işleme metodu için daha uygundur. Buna örnek olarak imge düzenleme ve keskinleştirme verilebilir (9, 2017). Şekil 1.8'de Barbara imgesine ait Lab uzayında parlaklık, a ve b kanallarının gösterimi verilmiştir.



Şekil 1.8. Lab uzayında Barbara imgesi; Parlaklık kanalı (a), a kanalı (b), b kanalı (c)

1.5. Gürültü

İmgelerde ortaya çıkan, işaretin yapısını tamamen ya da kısmen bozan rastgele işaretlere gürültü denir. Gürültü, imgenin kazanımı, haberleşme kanalında iletimi, kopyalanması, kaydedilmesi, sıkıştırılması sonucunda ortaya çıkabileceği gibi, atmosferik olaylar nedeniyle de oluşabilmektedir [10].

1.5.1. Gürültü Çeşitleri

Gürültü, imgeye ait mevcut piksel değerini pozitif veya negatif yönde değiştiren toplamsal biçimde etki edebildiği gibi, aynı piksel değerini ölçekleyecek şekilde çarpımsal biçimde veya her iki türde de etki edebilmektedir.

İmge bir kanalda iletilirken imgeden bağımsız işaretlerden etkilenmesi sonucu ortaya çıkan gürültü çeşidine toplamsal gürültü denir. İlgili imgeye ait piksel değerlerini doğrudan azaltıp arttırabilir. Toplamsal gürültü Eşitlik (1)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$f(x,y) = I(x,y) + n(x,y) \quad (1)$$

Burada $I(x,y)$ özgün imgeyi, $n(x,y)$ gürültüyü ve $f(x,y)$ ise gürültülü imgeyi ifade etmektedir. İlgili denklemden anlaşılacağı üzere imge ve gürültü bağımsız hareket etmekte ve gürültü ilgili piksel değerini doğrudan azaltıp arttırabilmektedir [11].

Bazı durumlarda gürültünün büyüklüğü imgeye ait işaretin büyüklüğüne bağlı olabilmektedir. Eğer gürültünün büyüklüğü imgeye ait işaretin büyüklüğünden çok büyük ise buna çarpımsal gürültü denir. İmgenin ilgili piksel değeri, imge pikseli ile gürültü pikselinin çarpımı olur [12]. Çarpımsal gürültü Eşitlik (2)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$f = I(x,y) + n(x,y) \times I(x,y) = I(x,y) \times (1 + n(x,y)) \quad (2)$$

Çarpımsal gürültüye örnek verecek olursak; TV hatlarında meydana gelen aksaklıklardan ötürü oluşan, televizyon görüntülerindeki rastgele bozulmaları söyleyebiliriz.

Sayısal imgelerde açığa çıkarak piksel değerlerinin değişmesine yola açan bu gürültü türlerinden en yaygın olanları; Gauss gürültüsü, dürtü gürültüsü, benek gürültüsü ve nicemleme gürültüsü olarak sıralanabilir. Genel olarak tüm gürültü türleri imgede bulunan piksel değerlerini, daha koyu veya daha açık olacak şekilde değiştirdiği için imge üzerinde piksel değerinde bozulmalara yol açmaktadır.

1.5.1.1. Gauss Gürültüsü

Şiddeti frekansa göre değişmeyen gürültü beyaz gürültü olarak adlandırılır. Gauss gürültüsü beyaz gürültünün bir çeşididir [13]. Sayısal imgelerde açığa çıkan Gauss gürültüsü, genellikle elektronik görüntüleme sistemlerinde bulunan iletkenlerdeki termal gürültüden kaynaklanmakta olup imge üzerinde bulunan tüm piksel değerlerini belirli oranda değiştiren toplamsal bir gürültü türüdür. Pikseller üzerinde açığa çıkan gürültünün

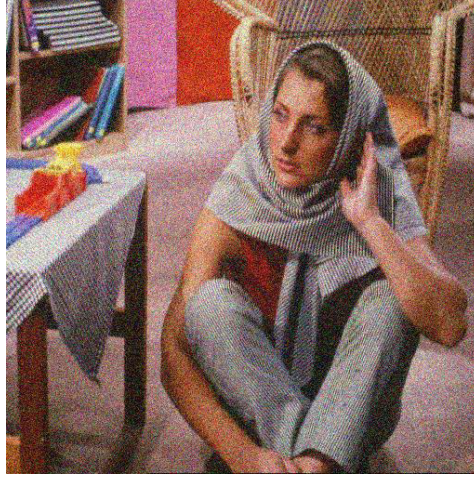
olasılık yoğunluk fonksiyonu, Gauss eğrisine uyduğu için bu ismi almıştır. Gürültünün imge üzerindeki miktarı belirlenirken gürültüye ait olasılık yoğunluk fonksiyonunun ortalama ve değişinti (varyans) değerleri dikkate alınmaktadır [14]. Gauss gürültüsüne ait olasılık yoğunluk fonksiyonu Eşitlik (3)'deki gibidir.

$$P(n) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(n-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

Burada μ Gauss gürültüsüne ait olan ortalama değeri, σ ise standart sapmasını göstermektedir. Standart sapma değerinin büyümesi, piksel değerlerinin pozitif ve negatif yönde daha fazla değişmesine sebep olurken, gürültünün ortalama değerinin büyümesi ise tüm piksel değerlerinin aynı miktarda artmasına sebep olmaktadır. Gauss gürültüsüne maruz kalmış bir imgede bulunan tüm piksel değerleri belirli miktarda değiştiği için imgenin tamamında lekelenmeler ortaya çıkmaktadır. Yukarıdaki eşitlik gri seviye bir imge için gürültünün dağılımını göstermektedir. Renkli bir imge için bu dağılım Eşitlik (4)'deki gibidir.

$$P(\mathbf{n}) = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}}\right)^3 4\pi \|\mathbf{n}\|_{L^2}^2 e^{-\frac{\|\mathbf{n}\|_{L^2}^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

Yukarıdaki eşitlikte \mathbf{n} renkli imge için gürültüyü ifade etmektedir. Şekil 1.9'da $\mu = 0$ ve $\sigma = 30$ olan Gauss gürültüsü bulaşmış renkli Barbara imgesi verilmiştir.



Şekil 1.9. Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Barbara imgesi

1.5.1.2. Dürtü Gürültüsü

Dürtü gürültüsü, veri iletim hattında olabilecek bazı problemler veya analog-dijital dönüştürücü sebebiyle oluşmakta olup imge üzerinde bulunan piksellerin dürtü gürültüsünden etkilenme olasılıkları eşittir. Gri ton değere sahip herhangi bir piksel, dürtü gürültüsüne maruz kaldığında 0 veya 255 değerini almakta ve sonuç olarak ise imge üzerinde siyah ve beyaz noktalar oluşmaktadır. Tuz-biber gürültüsü olarak da bilinen bu gürültü türünde gürültü oranı, imgedeki gürültülü piksellerin toplam piksel sayısına oranı ile belirlenmektedir. Rastgele değerli dürtü gürültüsünde ise gürültülü piksellerin alacağı değerler sadece 0 veya 255 olmayıp bu aralıkta yer alan herhangi bir değer olabilmektedir. Gürültü giderme için kullanılan süzgeçler açısından bakıldığında, tuz-biber gürültüsü bulaşmış piksellerin belirlenmesinin diğerine göre daha kolay olması sebebiyle, rastgele değerli dürtü gürültüsünün giderilmesinin tuz-biber gürültüsüne göre daha zor olduğu söylenebilmektedir [15]. Dürtü gürültüsüne ait gri seviyeli imge için dağılım Eşitlik (5)'de renkli imge için Eşitlik (6)'da verilmiştir.

$$P(n) = \begin{cases} 1, & (1 - p) \text{ olasılıklı} \\ n, & p \text{ olasılıklı} \end{cases} \quad (5)$$

$$P(n) = \begin{cases} (I_1, I_2, I_3)^T, & (1-p) \text{ olasılıklı} \\ (n, I_2, I_3)^T, & p_1 p \text{ olasılıklı} \\ (I_1, n, I_3)^T, & p_2 p \text{ olasılıklı} \\ (I_1, I_2, n)^T, & p_3 p \text{ olasılıklı} \\ (n, n, n)^T, & p_{\Sigma} p \text{ olasılıklı} \end{cases} \quad (6)$$

Eşitlik (5) için n gürültüyü, p gri seviye imgeye gürültü bulaşma olasılığını gösterirken, Eşitlik (6)'da I_1, I_2, I_3 sırasıyla R, G, B kanallarını, p_1, p_2 ve p_3 değerleri sırasıyla gürültünün 1. kanala, 2. kanala ve 3. kanala bulaşma olasılığını göstermektedir. Eşitlik (6)'da anlaşılacağı üzere dürtü gürültüsü renkli imgeler için her bir kanala ayrı ayrı bulaşabileceği gibi, tüm kanallara aynı anda bulaşabilir ya da hiç bir kanala bulaşmayabilir.

Şekil 1.10'da 0.05 olasılıklı tuz ve biber gürültüsü bulaşmış renkli Barbara imgesi örneği verilmiştir.



Şekil 1.10. Tuz ve biber gürültüsü bulaşmış renkli Barbara imgesi

1.5.1.3. Benek Gürültüsü

Benek gürültüsü genellikle, bir imgenin ilgili imgeye gönderilen elektromanyetik veya ses dalgalarının yansımaları ile elde edildiği sistemlerde ortaya çıkmaktadır. Buna örnek olarak lazer tarama ve ultrason gibi görüntüleme tekniklerini örnek verebiliriz [16]. Benek gürültüsü piksel değerlerini belirli oranda değiştiren çarpımsal gürültünün bir çeşididir. Bu gürültü türünde, gürültüden dolayı bozulan pikselin orijinal piksel değerinde, gürültü bileşenin orijinal piksel değeri ile çarpımı kadar bir değişime sebep olmaktadır. Benek gürültüsüne ait dağılım denklemi dairesel Gauss dağılımına benzemektedir.

$$P(I, \theta) = \frac{1}{\sigma^2} e^{-\frac{I^2}{2\sigma^2}} \quad (7)$$

Burada I orijinal imgeyi, σ ise standart sapmayı göstermektedir. Şekil 1.11'de örnek olarak benek gürültüsü bulaşmış renkli Barbara imgesi verilmiştir.



Şekil 1.11. Benek gürültüsü bulaşmış renkli Barbara imgesi

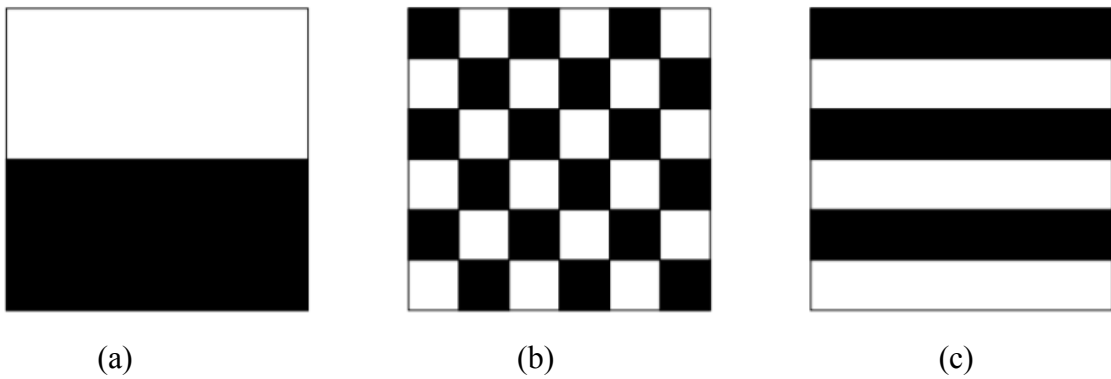
1.5.1.4. Nicemleme Gürültüsü

Analog işaretin dijital işarete dönüştürülmesi işlemine nicemleme diğer adıyla kuantalama denilmektedir. İmge kazanımında nicemleme ve sayıllaştırma kullanılmaktadır. Nicemleme işlemi sırasında meydana gelen, nicemleme seviyesi yeterli olmadığı zaman ortaya çıkan gürültü tipidir [17].

1.6. İmgede Yapı ve Doku Bilgisi

Bir imgede aralarında ilişki bulunan objelerin yer aldığı ve bu şekilde elde edilen bilgi yapı bilgisi olarak tanımlanmaktadır [18]. Daha genel konuşacak olursak yapı bilgisinin üst seviye bilgi olduğunu söyleyebiliriz. Kısacası pikseller arasındaki değişimlerin daha düzenli olduğu, gelişi güzel olmayan uzak bilgiler olarak tanımlayabiliriz.

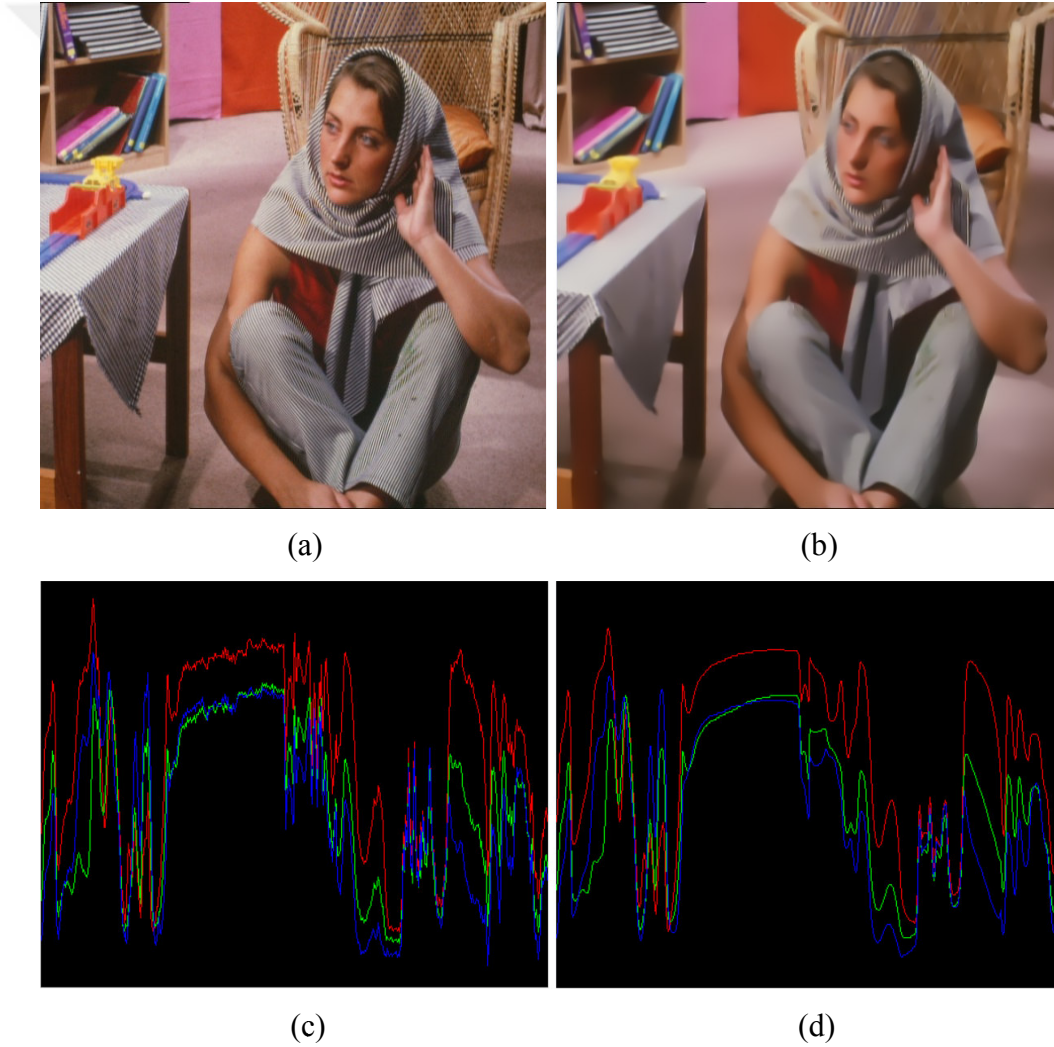
Doku bilgisi, imgeleri sınıflandırma ve bölütleme gibi işlemlerde kullanılan bir özelliktir. Yapı bilgisinin aksine düzensiz yüzey salınımları olarak adlandırılabilirler. Doku bir imgedeki piksel parlaklık değerlerinin ya da renkli imge için konuşacak olursak renklerin dizilişleri hakkında bilgi verir. Başka bir ifadeyle sadece imgedeki piksellerin değerlerinin ne olduğu değil nasıl sıralandığı bilgisi diyebiliriz [19]. Şekil 1.12'de aynı siyah beyaz piksel dağılımına sahip farklı doku bilgisi içeren imgeler verilmiştir.



Şekil 1.12. Blok deseni (a), dama tahtası (b), çizgili desen (c)

Şekil 1.12 (a), (b) ve (c)'de yer alan aynı boyuttaki 3 imge için piksel parlaklık değerlerine bakıldığında aynı miktarda siyah ve beyaz piksel yer aldığı aşıkardır. Dolayısıyla bu imgelerin histogramları da birbiri ile aynıdır. Burada artık bu imgeler için ayırt edici olan bilgi piksellerin nasıl sıralandığı bilgisi yani doku bilgisidir [20].

Sonuç olarak imgede doku bilgisi gürültü ve alt seviye bilgi yani detay içeren bilgi olarak karşımıza çıkarken yapı bilgisi geometrik bilgi içeren yani daha üst seviye bilgi olarak tanımlanmaktadır. Yapı ve doku bilgisi arasındaki farkı gösteren örnek bir resim Şekil 1.13'de verilmiştir.



Şekil 1.13. Doku yoğunluklu Barbara imgesi (a), yapı yoğunluklu Barbara imgesi (b), doku imgesine ait histogram (c), yapı imgesine ait histogram (d)

Şekil 1.13'de doku yoğunluklu Barbara imgesi ve yapı yoğunluklu Barbara imgesi için göz hizası boyunca yatayda elde edilen piksel değerlerine grafik R, G, B kanalları için sırasıyla Şekil 1.13 (c) ve Şekil 1.13 (d)'de verilmiştir. Anlaşılacağı üzere yoğunluklu yapı bilgisi içeren Şekil 1.13 (b) resminde daha az detay bilgisi bulunmaktadır ve pikseller arasında düzgün bir ilişki vardır. Aynı zamanda Şekil 1.13 (d)'deki grafikten de anlaşılacağı üzere pikseller arası basit bir geçiş vardır. Ancak Şekil 1.13 (a)'de daha fazla detay bulunmakta piksellerin arasında daha rassal bir dizilim bulunmaktadır. Şekil 1.13 (c)'deki grafikten de görüleceği üzere pikseller arasında daha sert ve rassal değişimler vardır.

1.7. Tepe İşareti Gürültü Oranı

Tepe İşaret Gürültü Oranı gürültü azaltma ve imge sıkıştırma gibi imgenin yeniden düzenlenmesi işlemlerinde kalite ölçümü için sıklıkla kullanılır. Temel olarak ortalama kareler hatasından (minimum square error - MSE) gelmektedir. İki imge için ortalama kareler hatası (OKH) Eşitlik (8)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$OKH = \frac{1}{n \times m} \left(\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} (I(x,y) - u(x,y))^2 \right) \quad (8)$$

Buradaki I ve u sırasıyla girdi imgesi ve düzenlenmiş imge olarak isimlendirilebilir. m ve n, I ve u imgeleri için dikey ve yatay olarak imgedeki piksellerin uzunluk bilgisini içermektedir. Buradan hareketle Tepe İşareti Gürültü Oranı (TİGO) Eşitlik (9)'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$TİGO = 10 \times \log_{10} \left(\frac{MAKS^2}{OKH} \right) = 20 \times \log_{10} \left(\frac{MAKS}{\sqrt{OKH}} \right) \quad (9)$$

Buradaki MAKS imgede yer alan maksimum piksel değerini göstermektedir. Kullanılan imgenin gri seviye ya da RGB uzayında temsil edilen bir imge olması durumunda MAKS, 255 değerini almaktadır. Burada değerlendirme işlemi yaparken I gürültü eklenmemiş orijinal imge, u ise yumuşatılmış imge olarak alınmıştır ve

yumuşatılmış imgenin orijinal imgeye yakınlığı ölçülmüştür. İki imge birbirine ne kadar yakınsa yani gürültü azaltma işlemi ne kadar başarılı ise PSNR değeri o kadar büyük çıkmaktadır (21, 2017).

1.8. Yapısal Benzerlik İndisi

Yapısal benzerlik indisi (YBI) sonuç imgesi ve orijinal imge arasında benzerliği ölçmede kullanılan bir başka metriktir [22]. En büyük avantajı görsel olarak algılanan benzerliği daha iyi yorumlamasıdır. Şekil 1.14'de aynı imgeye ait farklı bozulmalara maruz kalmış gri seviye Barbara imgeleri verilmiştir.



Şekil 1.14. Farklı bozulmalara maruz kalmış gri seviye Barbara imgesi

Yukarıdaki şekilde (a) orijinal imgeyi ifade etmektedir. Diğer imgeler (a) imgesinin çeşitli bozulmalara maruz bırakılmış halleridir. Buna göre (b) kontrast germe yapılarak, (c) JPEG sıkıştırma yapılarak, (d) bulanıklaştırma yapılarak, (e) Gauss gürültüsü eklenerek ve

son olarak (f) tuz biber gürültüsü eklenerek bozulmaya maruz bırakılmıştır. Bozulmaya uğramış imgeler için PSNR değerlerine bakıldığında yaklaşık olarak hepsinde 21.7 değeri elde edilmektedir. Ancak görsel olarak bir değerlendirmeye tabi tutarsak en fazla bozulma (e) ya da (d) imgesinde meydana gelmiştir diyebiliriz. Yani PSNR görsel kaliteyi ölçmede yetersiz kalabilmektedir. Yapısal benzerlik indisi buna alternatif olarak geliştirilmiştir. Buna göre YBI değerlerine bakacak olursak; kontrast germe için 0.8591, JPEG sıkıştırma için 0.7069, bulanıklaştırma için 0.5754, Gauss gürültüsü için 0.3882 ve son olarak tuz-biber gürültüsü bozulması için 0.5631 değerini almıştır. Buradan da anlaşılacağı üzere yapısal olarak ayırıştırma da ve kalitenin ölçülmesinde YBI değerleri daha doğru sonuç göstermektedir. Yapısal benzerlik indisi (YBI) Eşitlik (10)'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$YBI = \left(\frac{(2\mu_I\mu_u + C_1)(2\sigma_{Iu} + C_2)}{(\mu_I^2 + \mu_u^2 + C_1)(\sigma_I^2 + \sigma_u^2 + C_2)} \right) \quad (10)$$

Burada μ_I ve μ_u girdi imgesi ve düzenlenmiş imge için yerel ortalama değerler, σ_I^2 ve σ_u^2 yerel değişimler, σ_{Iu} yerel ortak değişinti, C_1 ve C_2 sabit değerlerdir.

2. YAPILAN ÇALIŞMA, BULGULAR, İRDELEME

2.1. Giriş

Bu bölümde, renkli imgelerde Gauss gürültüsü seviyesinin kestirimi için gerçekleştirilen homojen bölge tespiti tabanlı sistem ve gürültü giderilmesi amacıyla gerçekleştirilen iyileştirilmiş iz tabanlı yaklaşım detaylı olarak anlatılmış, yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar TİGO ve YBI metrikleri ile değerlendirilerek verilmiştir.

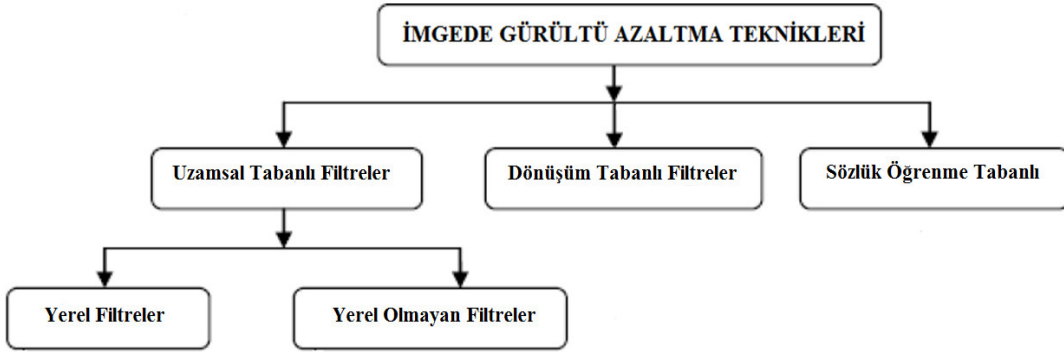
Bölüm 2.2'de literatürde gürültü azaltma üzerine yapılan çalışmalar 3 ana başlık adı altında sınıflandırılarak genel olarak anlatılmış ve her bir metodun avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir. Daha sonra yapılan çalışma ile uygunluğu açısından özellikle renkli imgeler üzerine literatürde yapılan çalışmalar ayrı ayrı değerlendirilmiş ve ilgili metotlar için kabaca bilgi verilmiştir.

Bölüm 2.3'de yapılan çalışmada ilk kısım olarak yer alan, renkli imgelerde Gauss gürültüsü seviyesinin belirlenmesi için kullanılan homojen bölge tespiti tabanlı gürültü kestirimi metodu detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Görsel sonuçlarla beraber sayısal sonuçlar verilerek elde edilen başarımlar gösterilmiştir.

Bölüm 2.4'de yapılan çalışmada ikinci kısım olarak yer alan renkli imgelerde Gauss gürültüsünün giderilmesi için kullanılan iyileştirilmiş iz tabanlı yaklaşım detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Görsel sonuçların yanı sıra kıyaslamalı olarak sayısal sonuçlar da sunulmuştur. Elde edilen sonuçların literatürde yer alan klasik iz tabanlı yaklaşım ile TİGO ve YBI metrikleri kullanılarak karşılaştırılmış ve daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Aynı zamanda önerilen metot renkli imgelerde Gauss gürültüsünü giderilmesi işlemini yaparken yapı bilgisinin yanı sıra doku bilgisini de koruduğu görülmüştür.

2.2. Literatür Taraması

Literatürde gürültü azaltma işlemi ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda çoğunlukla gürültü seviyesi biliniyor olarak kabul edilip öyle işlem yapılmaktadır. Genel olarak gürültü azaltma metotları Şekil 2.1'de gösterildiği gibi 3 ana başlık adı altında sınıflandırılabilir [23].



Şekil 2.1. İmgede gürültü azaltma teknikleri

2.2.1. Uzamsal Tabanlı Filtreler

Uzamsal tabanlı filtreler çoğu doğal imgede bulunan ilinti (ilişki) bilgisinden faydalanır. Kendi içerisinde yerel ve yerel olmayan filtreler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yerel filtreler bir piksel ve o pikselin belirli bir uzaklıktaki komşuları arasında ilişkiyi baz almaktadır. Yerel filtrelere, doğrusal olan Gauss filtresi [2], Wiener filtresi [24] ve doğrusal olmayan ikili filtre [25], yön bağımlı filtre [26] örnek verilebilir .

Kısaca açıklayacak olursak; Gauss filtresi, Gauss denklemini baz alan merkezden uzaklaştıkça komşuluk ilişkilerinin azalacağını ifade eden klasik yumuşatma filtresidir. Wiener filtresi gürültüsüz imgeyi, gürültü imgeden minimum kare hatasını minimize ederek bulmayı amaçlayan istatistiksel bir yöntemdir. İkili filtre, alan bilgisi ve uzaklık bilgisini birleştirerek yani hem fotometrik hem de geometrik bilgiyi kullanarak kenar bilgilerini korumayı amaçlayan iki filtrenin birleşimi olarak düşünebileceğimiz bir filtredir (27, 2017). Yön bağımlı filtreler, yayılım işlemini mümkün olduğunca kenara yani değişimin fazla olduğu yöne paralel olarak yapmayı amaçlayan ve bunun için genel olarak yapı bilgisinden faydalanan filtrelerdir.

Doğrusal filtreler gürültünün az olduğu imgeelerde hızlı ve başarılı sonuçlar vermektedir ancak keskin kenar, çizgi ve diğer imge detaylarını bozmaktadırlar. Doğrusal olmayan filtreler bu sorunu ortadan kaldırmak için önerilmiş olup detay bilgilerini korumada başarılı sonuçlar vermektedirler ancak genellikle yavaş algoritalardır [28].

Yerel filtre tabanlı metotlar zamansal karmaşıklık açısından başarılıdır ancak yüksek seviyeli gürültüye sahip imgelerde başarısız olmaktadır. Çünkü yüksek gürültü komşu pikseller arasındaki ilişkiyi bozmaktadır [29].

Yerel olmayan filtreler aynı imge farklı bölgelerde belirli bir çerçeve boyutu içerisindeki imge parçalarını ve bunlar arasındaki ilişkiyi baz almaktadır. Bir imgede aynı yapıya sahip farklı imge parçalarının yer aldığı varsayımına dayanmaktadır. Şekil 2.2'de buna bir örnek verilmiştir.

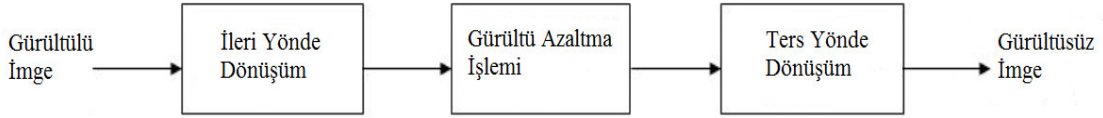


Şekil 2.2. Benzer yapıya sahip imge parçaları içeren renkli Barbara imgesi

Buna örnek olabilir yerel olmayan ortalamalar (Non-Local Means - NLM) algoritması [30] ve literatürde üzerine çalışılmış türevleri örnek verilebilir. Yerel olmayan filtreler yerel filtrelere oranla yüksek seviyedeki gürültüler için başarılı sonuçlar vermelerine rağmen aşırı yumuşatma gibi hatalara sebebiyet verebilmektedirler. Aynı zamanda algoritmada kullanılacak olan pencere boyutu, aranacak bölge gibi parametrelerin optimal olarak ayarlanması hep bir zorluk olmuştur.

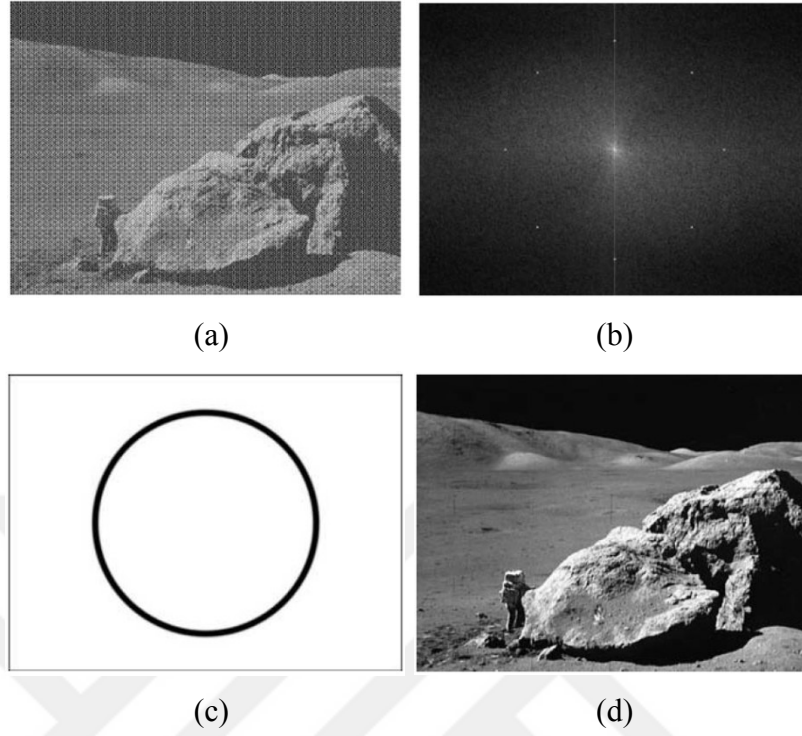
2.2.2. Dönüşüm Tabanlı Filtreler

Uzamsal tabanlı filtrelerin aksine dönüşüm tabanlı filtrelerde ilk olarak imge Fourier dönüşümü, ayrık kosinüs dönüşümü ya da dalgacık dönüşümü gibi bir dönüşüme maruz bırakılmakta ve gürültü azaltma işlemi bu dönüşüm uzayında yapılmaktadır. Gürültü azaltma işlemi bittikten sonra ters dönüşüm kullanılarak gürültüden arındırılmış imge elde edilmektedir. Dönüşüm tabanlı filtrelerin işleyişini genel şematiği Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Dönüşüm tabanlı filtreler ile gürültü azaltma şematiği

Dönüşüm tabanlı gürültü azaltma işlemine örnek olarak; periyodik gürültü bulaşmış bir imge için Fourier dönüşümü yardımıyla yapılan dönüşüm, frekans uzayında filtreleme ile yapılan gürültü azaltma işlemi ve ters dönüşüm kullanılarak yapılan gürültüsüz imgenin elde edilmesi işlemine ait aşamalar Şekil 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.4. Fourier dönüşüm kullanarak gürültü azaltma [2]

Şekil 2.4'de (a) periyodik gürültü eklenmiş gürültülü imgeyi, (b) Fourier dönüşüm sonrasında elde edilen spektrumu, (c) uygulanan filtreyi ve (d) gürültüden arındırılmış imgeyi göstermektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere Şekil 2.4 (b)'de merkez noktanın etrafını çevreleyen parlak noktalar gürültünün toplandığı kısmı ifade etmektedir ve (c)'deki filtre uygulanarak gürültü temizlenmektedir. Ters dönüşüm yapıldığında gürültünün arındırıldığı anlaşılmaktadır.

Dönüşüm tabanlı yöntemler ayrık bilgilerini korumada başarılı sonuçlar üretmektedirler. Ancak bu metotların da eksik yönleri bulunmaktadır. Örneğin ayrık kosinüs metodu keskin geçişlerin dönüşümlerini iyi sağlayamamakta ve ayrık dalgacık metodu da yumuşak geçişlerin olduğu bölgelerin dönüşümünü iyi sağlayamamaktadır [23]. Ayrıca dönüşüm tabanlı metotlar kenar çevrelerinde gürültü bırakabilmektedir.

2.2.3. Sözlük Öğrenme Tabanlı Yöntemler

Bir imge için konuşacak olursak sözlük öğrenmesi, genel olarak bir imgenin temsil edilmesi yani gösterimini Fourier ya da dalgacık dönüşümü kullanarak yapmak yerine, imgenin seyrekli olarak bir sözlük kullanılması yoluyla temsil edilmesidir. Örnek verecek olursak Elad ve arkadaşları adaptif olarak sözlük öğrenme metoduyla başarılı bir gürültü azaltma işlemi yapmışlar [31]. Burada K ortalama algoritması (K-Means) ve tekil değer ayrıştırma (Singular Value Decomposition - SVD) algoritması birleştirilerek gürültü azaltma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Sözlük öğrenmesi tabanlı gürültü azaltma metotları başarılı sonuçlar vermektedirler. Ancak hesaplama karmaşıklıkları fazladır. Buna ek olarak benzer parçalar çok farklı seyrek ayrıştırmaları sahip olabilmekte ve bu da performansı düşürmektedir [23].

Şuana kadar imgede gürültü azaltma işlemlerinde kullanılan yöntemler genel olarak özetlenmiştir. Bu çalışmada renkli imgeler üzerine diferansiyel denklem tabanlı yerel bir yaklaşım olan yön bağımlı filtre metodu üzerine çalışıldığından, buradan sonra özellikle renkli imge ve diferansiyel denklem tabanlı metotlar üzerine literatüre daha derinlemesine değinilecektir.

Literatürde renkli imgeler üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Fitschen ve arkadaşları yaptıkları çalışmada renkli imgede görsel kaliteyi geliştirirken renk bozulmalarını minimuma indirmek için yeni bir değişimsel yöntem önermiştir [32]. İlgili çalışmada renk bileşenlerinin bozulmadan önceki değerlerini tahmin edebilmek için renk koruyucu bir özelliğe sahip olan Affine dönüşümünden faydalanılmıştır. Affine dönüşümü kullanılmasıyla yumuşatma da kullanılan toplam değişimsel metod (TV yöntemi) adaptif hale gelmektedir.

Shen ve arkadaşları renkli imgeler için benzer imge parçalarını blok eşleme mantığı ile 4.dereceden bir tensör oluşturmak için kullanmışlardır [33]. Oluşturulan bu tensörler üzerinde gürültünün bastırılması için tekil değer ayrıştırma kullanılmıştır. Bu sayede gürültü indirgenmiş ve ters dönüşüm kullanılarak gürültüsüz imge elde edilmiştir.

Mythili yapmış olduğu çalışmada renkli imgeler için dalgacık dönüşümü tabanlı bulanık bir filtre önermiştir [34]. Yerel değişimi ayırt etmek için dalgacık dönüşümünden faydalanmış ve gürültü indirgemek için ise bulanık filtre kullanılmıştır.

Bir başka çalışmada Jia ve arkadaşları renkli imgeler için L1 ve L2 norm kullanılan uygunluk terimlerini birleştirici kısmi diferansiyel denklem tabanlı bir metot önermişlerdir [35]. Denklem çözümü için Split-Bregman algoritmasından faydalanılmış ve metot içerisinde zamansal karmaşıklığı azaltmak için ise hızlı Fourier dönüşüm kullanılmıştır.

Diğer bir çalışmada Liu ve arkadaşları parça tabanlı bir yöntem kullanarak tek bir imge üzerinde gürültü kestirimi ve gürültü indirgemesi yapacak bir yöntem önermişlerdir [36]. İmgeyi parçalara ayırmak için K-ortalama kümeleme algoritması kullanılmıştır. Daha sonra her parçadaki değişime bakılarak gürültü seviye fonksiyonu kestirimi yapılmış ve gürültü azaltmak için Gauss şartlı rastgele alan metodu kullanılmıştır.

Dabov ve arkadaşları renkli imgeler için seyreklik temsili tabanlı yeni bir metot önermişlerdir [37]. 2 boyutlu benzer imge bloklarını 3 boyutlu bir dizi içerisine gruplama yapmış ve daha sonra bu diziler içerisinde işbirlikçi filtre kullanılmıştır. Bu sayede gürültü indirgenmesinin yanı sıra gruplanmış bloklar arasında ortak olan ince detaylar ortaya çıkarılmış ve blok içerisindeki ayrı ayrı parçaların içerdiği bilgiler de muhafaza edilebilmiştir.

Dabov ve arkadaşlarının seyreklik gösterimi tabanlı benzer şekilde yapmış oldukları başka bir çalışmada yine imgeyi 3 boyutlu bloklar olarak gruplamışlardır [38]. Bu çalışmada farklı olarak imge ilk olarak parlaklık-renklilik uzayına dönüştürülmüştür. 3 boyutlu seyreklik gösterimi sonrasında ise dönüşüm görüngeleri daraltılarak gürültü azaltma işlemi yapılmıştır.

He ve arkadaşları yaptıkları bir başka çalışmada imgeyi renk-doygunluk-parlaklık uzayına taşıyarak kısmi diferansiyel denklem tabanlı bir yöntem önermişlerdir [39]. Renk ve doymuluk sırasıyla ağırlıklı yön yayılımı ve eğrilik akışı kullanılarak gürültü azaltma işlemine maruz bırakılmış, parlaklık bileşeninde gürültü azaltma işlemi ise 4.dereceden diferansiyel denklem ve eğim vektör akışı kullanılarak yapılmıştır. Bu birleşim hızlı ve doğru bir yayılım sağlamıştır.

Zhu ve arkadaşları [40] numaralı çalışmada adaptif olarak renkli imgelerden toplamsal gürültü ve dürtü gürültüsünü silmek için bulanık mantığa dayanan etkili bir filtre önermişlerdir. Önerilen filtre iki aşamadan oluşmaktadır. İmgeye nasıl gürültü bulaştığını anlamak için bulanık eş akran metodu kullanılmış ve gürültü azaltma aşamasında ise Gauss gürültüsü için ideal bulanık filtre ve dürtü gürültüsü için ise vektör ortalama filtresi kullanılmıştır.

[41] numaralı Rajwade ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada gürültü azaltma için basit ve başarılı bir yöntem olarak parça tabanlı ve makine öğrenme tekniği olarak yüksek dereceli tekil değer ayrıştırma kullanılan bir metot önermiştir. Genel olarak benzer imge blokları 3 boyutlu bir yığın içerisine gruplanmış ve bu yığın üzerinde yüksek dereceli tekil değer ayrıştırma kullanılarak katsayılar hesaplanmıştır. Bu katsayılar bir eşik değerine tabi tutularak gürültü azaltma işlemi gerçekleştirilmiş ve ters dönüşüm ile gürültüsü azaltılmış imge elde edilmiştir. Literatürdeki benzer çalışmalar ile yapılan karşılaştırmalarda PSNR yanı sıra YBI metriği için de başarılı sonuçlar vermektedir.

Bir başka çalışmada Vese ve Osher renkli imgeler üzerine değişimsel bir metot önermişler [42]. Buna göre ilk olarak RGB uzayında tanımlanan renkli imge yapı ve doku bilgisi üzere ayrıştırılmıştır. İmgede değişimsel tabanlı yöntem kullanılarak işlem gerçekleştirilirken, yapı kısmı vektörel değerli fonksiyon yani sınırlı değişim uzayında fonksiyon olarak tanımlanırken doku kısmı salınımlı fonksiyon olarak modellenmiştir.

Erdem ve Tari, [43] numaralı çalışmada yerel bölgesel yayını hafifletmek için basit ve güçlü bir yöntem önermişlerdir. Düşük seviyedeki işareti belirginleştirmek amaçlanmıştır. Genel olarak Mumford-Shah modeli Ambrosio-Tortorelli yaklaşımını kullanarak elde edilen geri beslemeyi imge düzenleme sürecinde yüksek seviye bilgiye entegre için kullanılmıştır. Önerilen yöntem yoğun olarak doku bilgisi içeren renkli imgeler de bile iyi sonuçlar üretmiştir.

Bir başka çalışmada Battehar ve arkadaşları şok filtre ve sayısal yayını birleştirerek bir yöntem önermişlerdir [44]. Önerilen yöntemde gradyan büyüklüğü ve 2.dereceden türevler tek bir vektör olarak alınmış imgedeki farklı renk bileşenleri arasında ilişki kurulmaya çalışılmıştır.

Karacan ve arkadaşları yapmış oldukları [45] numaralı çalışmada imgeyi yapı ve doku olarak ayırtmışlardır. İmgede yumuşatma işlemi ortak değişinti (kovaryans) matris diğer adıyla bölge ortak değişintisi baz alınarak oluşturulan bir yaklaşım ile yapıyor. Parça tanımlayıcı olarak 2.dereceden istatistik kullanılması yapı ve doku bilgisinin tam olarak elde edilebilmesine ve dokudan yapının ayrıştırılmasına olanak sağlamıştır. Literatüre katkı sağlayan bu yeni yaklaşım özellikle iyi bir yapı doku ayrışımı sağlamaktadır.

Duran ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında literatürde evvelden önerilmiş olan toplam değişinti (TV) yöntemini gri seviye ve renkli imgeler için kullanmışlar. Farklı

olarak algoritmanın minimizasyon aşamasında Chambolle'nin önermiş olduğu izdüşüm algoritmasından faydalanmışlar. [46]

Duran ve arkadaşları yapmış oldukları [47] numaralı başka bir çalışmada ilk olarak literatürde yer alan ve renkli imgeler için önerilen TV tabanlı metotların karşılaştırmalarını yapmışlar. Daha sonra işbirlikçi toplam değişinti (collaborative Total Variation - CTV) yöntemini farklı normlar için karşılaştırmışlar ve CTV-L2 için en iyi sonucu verdiğini gözlemlemişler. Minimize işlemi için ise hibrit gradyan tabanlı ilkel-çift bir yöntem önermişler.

2.3. Renkli İmgelerde Gürültü Seviyesinin Belirlenmesi

Gürültü seviyesinin belirlenmesi yapılacak olan gürültü azaltma işlemi için büyük önem arz etmektedir. Renkli imgelerde gürültü seviyesinin kestirimini yapmadan önce yapılacak kestirim için başarıyı arttırmak amacıyla homojen bölge tespiti yapılmıştır. Homojen bölge tespiti için [48] numaralı çalışmadan faydalanılmış ve ilgili çalışmada yer alan yöntem renkli imgeler için uyarlanmıştır.

Homojen bölge tespiti için istatistiksel tabanlı bir test yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem sayesinde renkli imge üzerindeki homojen bölgelerin tespiti yapılmış ve gürültü seviyesinin belirlenmesi amacıyla imgenin tamamını kullanmak yerine sadece bu bölgeler üzerinden kestirim yapılmıştır. Gürültü seviyesinin kestiriminin sadece tespit edilen homojen bölgeler üzerine yapılması kenar bilgilerinden kaynaklanabilecek bozucu etkilerden kaçınılmasını ve dolayısıyla başarının artmasını sağlamıştır.

Bunun için ilk olarak imge ayrık bloklara ayrılmıştır. Sonrasında bir bloğun homojen bölge olup olmadığına karar verilmiştir. Bunun için B renkli imgeden alınan herhangi bir blok olmak üzere algılama teorisi altında Eşitlik (11)'deki gibi hipotez testi kurulmuştur.

$$H_0 : B \text{ homojen, ilişki yoksa (sıfır hipotez)} \quad (11)$$

$$H_1 : B \text{ homojen değil, ilişki varsa (alternatif hipotezi)}$$

Eşitlik (11)'de ifade edildiği üzere bir bloğun homojen olduğunun tespiti için blok içerisindeki ilişkiye bakılmakta ve ilgili blok içerisinde bağımlılık (ilişki) yoksa homojen olarak tanımlanmaktadır.

Bunun için bu bloklar içerisinde rastgele iki ayrık dizi alınmakta ve bunların ilişkisine bakılmaktadır. Pratikte blok içerisindeki bütün ayrık dizilere bakılamayacağı için komşu diziler arasındaki ilişkiye bakılmıştır. Eğer iki dizi yeterince ilişkili ise, bu blok içerisindeki pikseller ve komşuları arasında bir bağımlılık bulunmakta ve burada yer alan değişimler sadece gürültüden kaynaklanmamakta olup ilgili blok bir yapı içeriyor anlamına gelmektedir [49].

İmge bloklara ayrıldıktan sonra bloklar arasındaki ilişkinin ölçülmesi için sıralama ilişkisinden faydalanılmıştır. Buna göre, bir blok içerisindeki piksel değerlerinin sıralaması tekdüze dağılmış ise ilgili blok homojen olarak kabul edilmiştir. Bu sıralama ilişkisi için Kendall sıralı ilişkisinden faydalanılmıştır.

2.3.1. Kendall Sıralı İlişkisi

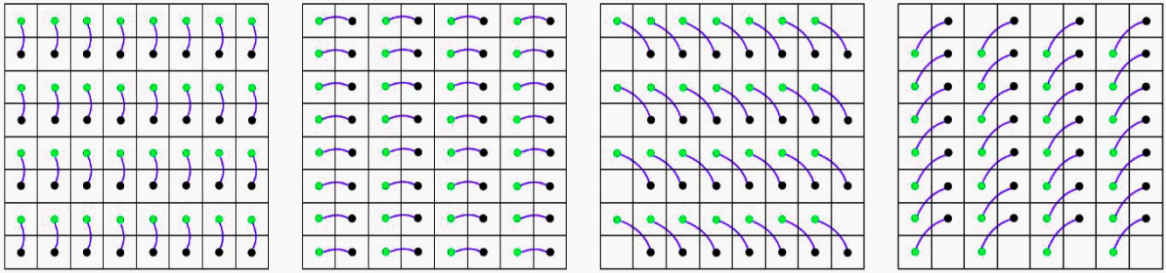
Kendall sıralı ilişkisi bağımsızlık testi üzerine bir dağılım sağlayan ve iki değişken arasındaki bağımlılığın (ilişkinin) gücünü ölçen istatistiksel bir metottur [50]. Buna göre kendall τ katsayısı hesabı için (x_i, y_i) ve (x_j, y_j) ikili gruplarını inceleyelim. Eğer $x_i > x_j$ iken $y_i > y_j$ ya da $x_i < x_j$ iken $y_i < y_j$ ise bu ikililer uyumlu, $x_i > x_j$ iken $y_i < y_j$ ya da $x_i < x_j$ iken $y_i > y_j$ ise bu ikililer uyumsuz ve son olarak $x_i = x_j$ ya da $y_i = y_j$ ise bu ikililer bağılı ikili olmaktadır. Buna göre B renkli imgeden alınan herhangi bir blok ve $k(i, j)$ ve $l(i, j)$ bu blok içerisinde alınmış iki ayrı dizi olmak üzere kendall τ katsayısı bağılı ikililerin olmadığı durumlarda Eşitlik (12)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\tau = \frac{UIS - USIS}{TIS} = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{1 \leq i, j \leq n} \text{sign}(k(i) - k(j)) \times \text{sign}(l(i) - l(j)) \quad (12)$$

Burada UIS uyumlu ikili sayısını, USIS uyumsuz ikili sayısını ve TIS ise toplam ikili sayısını ifade etmektedir. Kendall τ katsayısı $[-1, 1]$ arasında değer almaktadır. Kendall τ katsayısı 1 değerini aldığı anda pozitif yönde tam bir ilişki -1 değerini aldığı anda negatif yönde tam bir ilişki, 0 değerini aldığı anda ise tam bir ilişkisizlik anlamına gelmektedir. Bağılı ikililerin olduğu durumlarda kendall τ katsayısının hesaplanması değişmektedir [51]. Bağımlı ikililerin olduğu durumlarda Kendall τ katsayısı Eşitlik (13)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\tau = \frac{u1s - us1s}{\sqrt{(Tsi - XBi)(Tsi - YBi)}} \quad (13)$$

Burada Eşitlik 11'den farklı olarak XBi, x_i niceli için bağlı eleman sayısını, YBi y_i niceli için bağlı eleman sayısını ifade etmektedir. Yukarıdaki eşitlikten de anlaşılacağı üzere bağlı ikililerin bulunmadığı durumda Eşitlik (13) ile Eşitlik (12) aynı formüle karşılık gelmektedir. Renkli imgelerde pikseller arasında bağlı durum bulunmasından ötürü Eşitlik (13) kullanılmıştır. Buna göre pikseller arasındaki ilişki aranırken komşuluk seçimi için 4 yön belirlenmiştir. Bunlar yatay, dikey ve iki diyagonal yönler. Şekil 2.5'de blok içerisindeki pikseller için komşuluk seçimi gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Kendall sıralı ilişki bağımsızlık testi için komşuluk seçimi

İlgili homojen bölge tespiti renkli imgeler için tespit edilmektedir. Bunun için renkli imge üzerinde R, G, B kanalları içerisinde ayrı ayrı ilişkiye bakılmış ve homojen bölge tespiti için elde edilen sonuçların kesişimi alınmıştır.

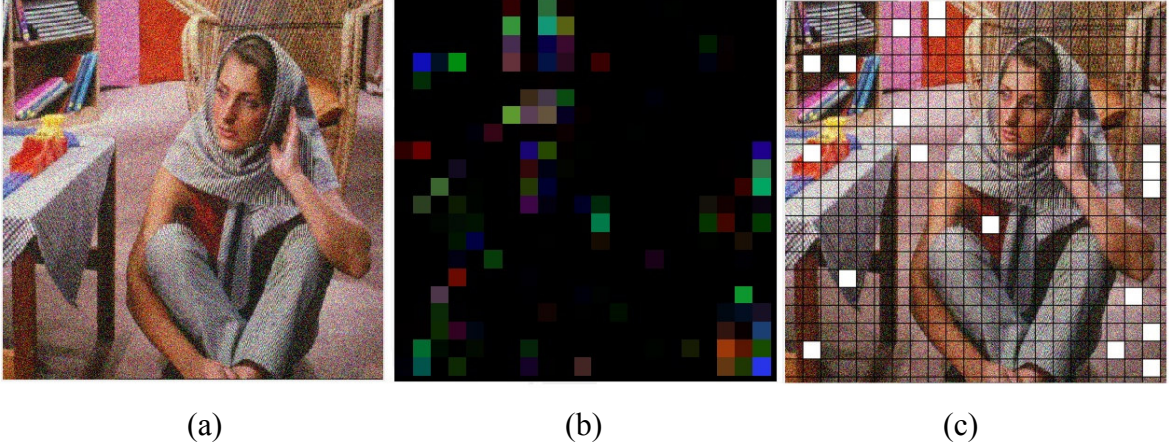
Kendall τ katsayısı hesaplandıktan sonra H_0 hipotezi altında P değerleri hesaplanmıştır. P değerleri ya da diğer adıyla hesaplanmış olasılık H_0 hipotezi gerçekleştiği zaman incelenmiş sonuçların bulunma olasılığıdır. P değerleri aynı zamanda H_0 boş hipotezi reddedilmesi açısından bir tanımlamadır. P değerlerinin hesaplanması H_0 hipotezi altında Eşitlik (14)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$p(x, y) = 2 - 2\Phi(|z(x, y)|) \quad (14)$$

Burada $z(x, y)$ z-skor değerini, Φ ise birikimli dağılım fonksiyonunu göstermektedir. Eşitlik (14) ile ilgili ispat [48] numaralı çalışmada yer almaktadır. P değerleri 4 farklı komşuluk yn ve 3 farklı kanal için hesaplanmaktadır. Hesaplanan p değerlerinin önceden belirlenmiş olan önem değeri (significance level) olarak tanımlayabileceğimiz α değerine göre bir eşikleme işlemine maruz bırakılmaktadır. Buna göre p değeri önceden tanımlanmış α değerinden büyükse homojen bölge olarak işaretlenmektedir. Buna göre 4 farklı yöne bakılarak homojen bölge tespiti Eşitlik (15)'e göre yapılmaktadır.

$$\alpha_{algılanan} \sim \mathbb{P}(\cap_{yn=1}^4 \{p_{yn} > \alpha\}) \quad (15)$$

Burada $p_{yn}$ birikimli dağılım fonksiyonuna göre hesaplanmış olan p değerlerini göstermektedir. Şekil 2.6'da $\sigma=30$ Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Barbara imgesi için hesaplanmış P değerleri ve eşikleme işlemi sonucunda elde edilen homojen bölgeler gösterilmiştir.



Şekil 2.6. $\sigma=30$ gauss gürültüsü eklenmiş Barbara imgesi (a), RGB kanallarına bakılarak hesaplanan p değerleri (b), eşikleme sonucu bulunan homojen bölgeler (c)

Renkli imgeler için homojen bölgeler istatistiksel bir metot olan Kendall sıralı ilişkisi kullanılarak tespit edildikten sonra sadece bu bölgeler baz alınarak gürültü seviyesinin kestirimi yapılmıştır.

2.3.2. Gürültü Seviyesinin Kestirimi

Renkli imgelerde Gauss gürültüsü seviyesinin kestirimi için Immerkaer 'in [52] numaralı çalışmada önermiş olduğu Laplace tabanlı maskeden faydalanılmış ve bu filtre renkli imgeler için uyarlanmıştır. Buna göre renkli imgelerde Gauss gürültüsü kestirimi Eşitlik (16)'ya göre yapılmaktadır.

$$\tilde{\sigma}_n = \sqrt{0.5\pi} \frac{1}{18(w-2)(h-2)} \sum_{i=1}^3 \sum_{x \in \Omega} |\mathbf{f}_i(x) * G| \quad (16)$$

Burada $\tilde{\sigma}_n$ kestirim sonu elde edilen standart sapmayı, \mathbf{f}_i Gauss gürültüsü bulaşmış renkli imgeye ait renk kanalını, $G = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$ maskesi ve $*$ katlama operatörünü ifade etmektedir. Burada kullanılan maske Laplace maskesinden türetilmiştir ve bir imgede yer alan kenar (ayrıt) bilgilerinin elimine etmeye yaramaktadır. Böylelikle renkli imgelerde Gauss gürültüsü için gürültü seviyesi kestirimi yapılırken elde edilen standart sapma sonucu, ayrıt bilgilerinden etkilenmeden sadece gürültüye ait olacak şekilde hesaplanabilmektedir.

2.3.3. Görsel Sonuçlar

Bu bölümde farklı seviyedeki Gauss gürültüleri bulaşmış 4 farklı renkli imge üzerine yapılan homojen bölge tespiti sonuçları ve bu homojen bölgeler dikkate alınarak yapılan gürültü seviyesi kestirimi sonuçları verilmiştir. Test aşamasında 512x512 boyutlarında renkli Barbara, Lena ve Peppers ve 512x384 Parrots imgelerinden faydalanılmıştır.

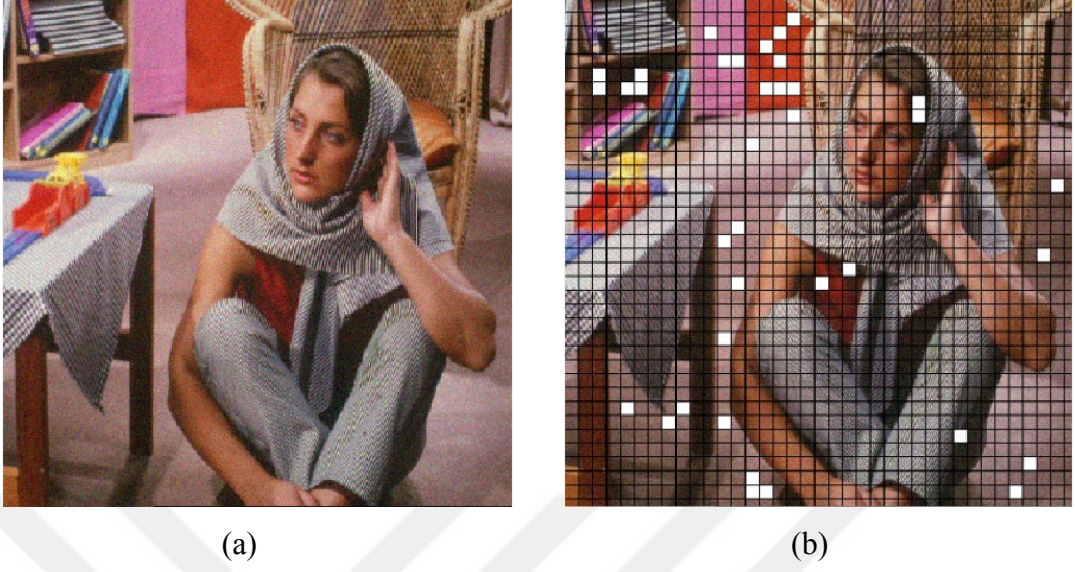


(a)

(b)

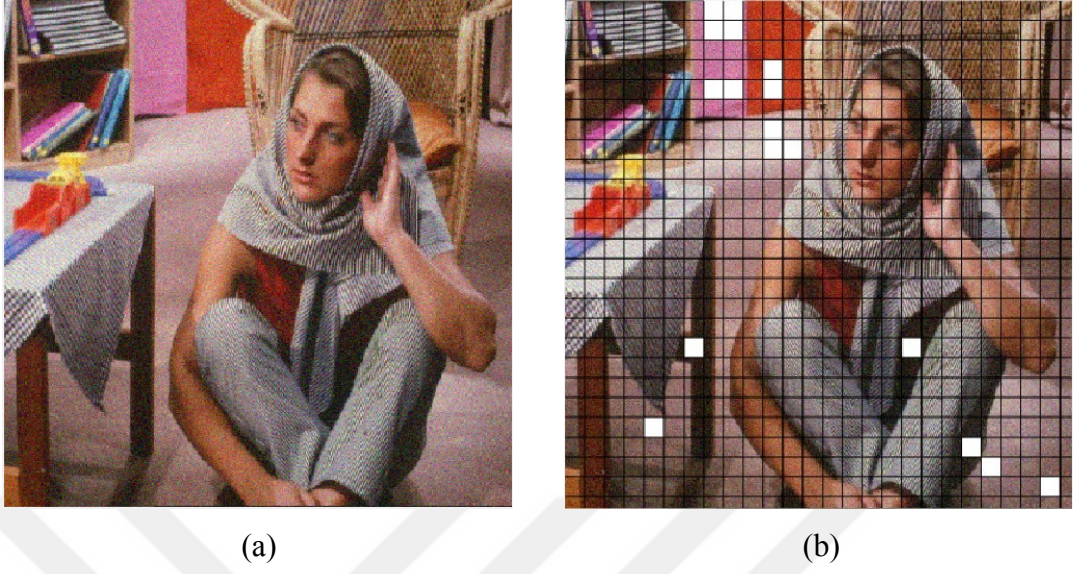
Şekil 2.7. $\sigma=5$ Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Barbara imgesi (a), algılanan Homojen bölgeler (b)

Yukarıdaki Şekil 2.7'de $\sigma=5$ olan Gauss gürültüsü eklenmiş Barbara imgesi ve bu imgede, pencere boyutu 12 olacak şekilde önerilen metot kullanılarak bulunan homojen bölgeler gösterilmiştir. Buna göre homojen bölgelerin tespiti olmadan imgenin tamamına [52] numaralı çalışmadaki Immerkaer önerdiği yöntem uygulanarak elde edilen $\sigma=6.16$, [48] numaralı çalışmada Sutour ve arkadaşlarının önerdiği yöntemle elde edilen $\sigma=5.52$, yapılan çalışmadaki önerilen metotla yapılan kestirim ile elde edilen $\sigma=5.05$ olarak bulunmuştur.



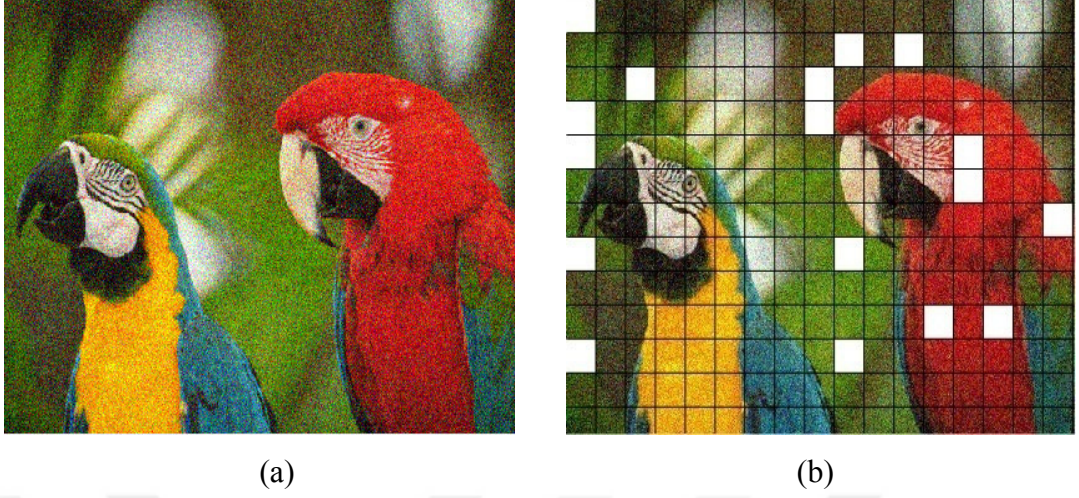
Şekil 2.8. $\sigma=10$ Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Barbara imgesi (a), algılanan homojen bölgeler (b)

Yukarıdaki Şekil 2.8'de $\sigma=10$ olmak üzere Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Barbara imgesi ve bu imgede, pencere boyutu 14 olacak şekilde önerilen metot kullanılarak algılanan homojen bölgeler verilmiştir. Buna göre homojen bölgelerin tespiti olmadan imgenin tamamına Immerkaer önerdiği yöntem [52] uygulanarak bulunan $\sigma=10.79$, Sutour ve arkadaşlarının önerdiği [48] yöntemle bulunan $\sigma=12.27$, yapılan çalışmadaki önerilen yöntemle yapılan kestirim sonucu ile elde edilen $\sigma=9.98$ olarak bulunmuştur.



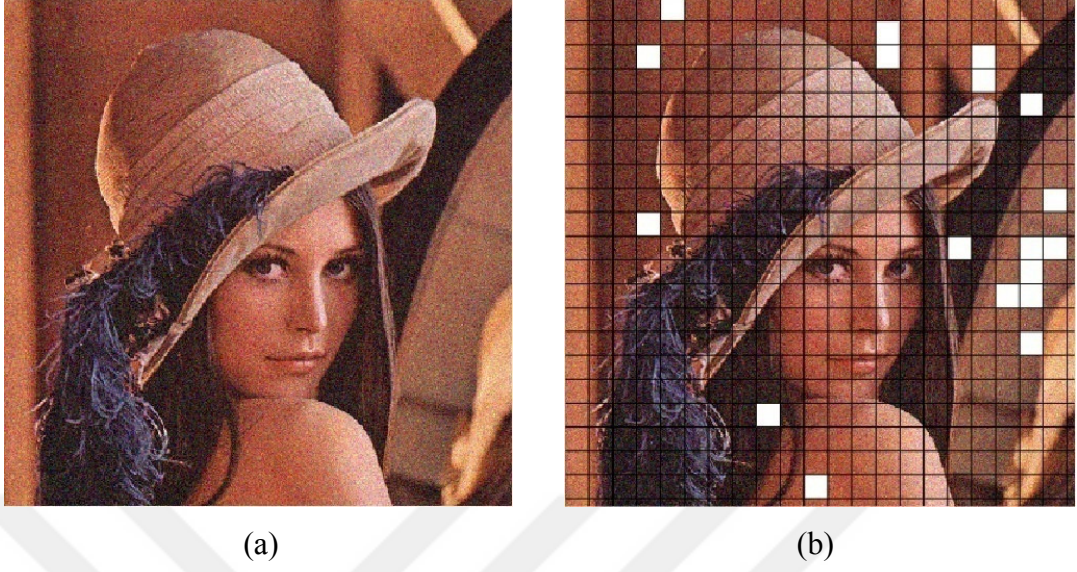
Şekil 2.9. $\sigma=15$ Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Barbara imgesi (a), algılanan homojen bölgeler (b)

Yukarıdaki Şekil 2.9'da $\sigma=15$ olmak üzere Gauss gürültüsü tarafından bozulmaya maruz bırakılmış renkli Barbara imgesi ve bu imgede, pencere boyutu 20 olan ve önerilen metot kullanılarak algılanan homojen bölgeler verilmiştir. Alınan sonuçlara göre, homojen bölgelerin tespiti olmadan imgenin tamamına Immerkaer önerdiği yöntem [52] uygulanarak yapılan kestirim sonucu $\sigma=15.63$, Sutour ve arkadaşlarının önerdiği [48] yöntemle yapılan kestirim sonucu $\sigma=16.2$, yapılan çalışmadaki önerilen yöntemle yapılan kestirim sonucu ile elde edilen $\sigma=14.9$ olarak elde edilmiştir.



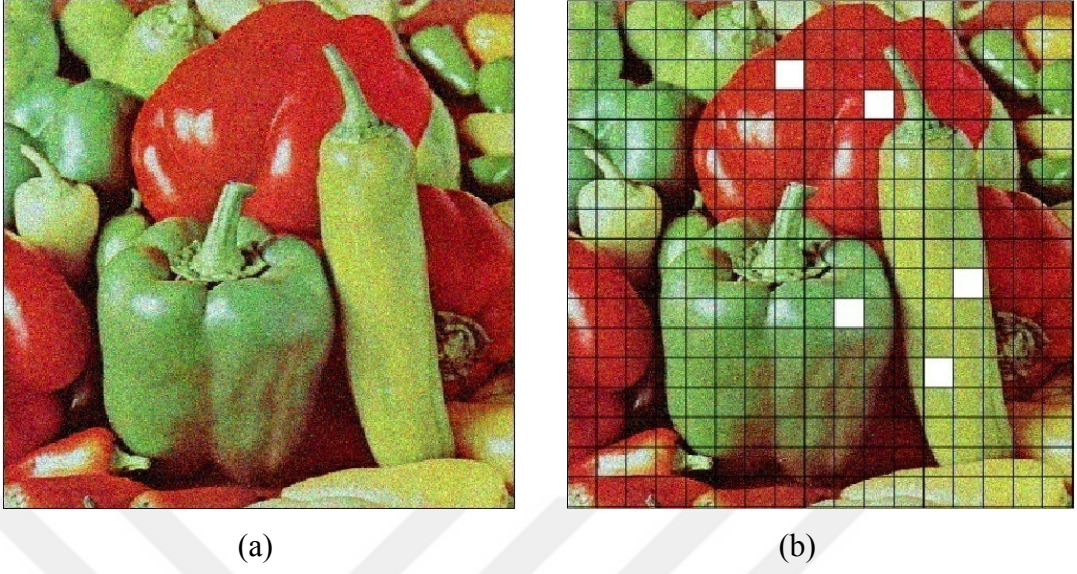
Şekil 2.10. $\sigma=30$ Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Parrots imgesi (a), algılanan homojen bölgeler (b)

Yukarıdaki Şekil 2.10'da $\sigma=30$ olmak üzere Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Parrots imgesi ve pencere boyutu 30 olacak şekilde önerilen metot kullanılarak ilgili imge üzerinde algılanan homojen bölgeler gösterilmiştir. Buna göre, homojen bölgelerin tespiti olmadan imgenin tamamına Immerkaer önerdiği yöntem [52] ile yapılan kestirim sonucu $\sigma=30.41$, Sutour ve arkadaşlarının önerdiği [48] yöntemle kestirim sonucu $\sigma=30.32$, yapılan çalışmadaki önerilen yöntemle kestirim sonucu ile elde edilen $\sigma=30.13$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 2.11. $\sigma=20$ Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Lena imgesi (a), algılanan homojen bölgeler (b)

Şekil 2.11'de $\sigma=20$ olan Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Lena imgesi ve pencere boyutu 24 olarak önerilen metot kullanılarak ilgili imge üzerinde algılanan homojen bölgeler verilmiştir. Buna göre, imgenin tamamına Immerkaer önerdiği yöntem [52] ile yapılan kestirim sonucu $\sigma=26.56$, Sutour ve arkadaşlarının önerdiği [48] yöntemle homojen bölgelerde elde edilen kestirim sonucu $\sigma=20.53$, yapılan çalışmadaki önerilen yöntemle yapılan kestirim sonucu $\sigma=20.26$ olarak bulunmuştur.



Şekil 2.12. $\sigma=20$ Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Peppers imgesi (a), algılanan homojen bölgeler (b)

Şekil 2.12'de $\sigma=20$ olan Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Peppers imgesi ve pencere boyutu 24 olarak ve önerilen metot kullanılarak ilgili imge üzerinde algılanan homojen bölgeler gösterilmiştir. Buna göre, imgenin tamamına Immerkaer önerdiği yöntem [52] ile yapılan kestirim sonucu $\sigma=20.31$, Sutour ve arkadaşlarının önerdiği [48] yöntemle sadece homojen bölgelerde üzerine yapılan kestirim sonucu $\sigma=20.34$, yapılan çalışmadaki önerilen yöntemle yapılan kestirim sonucu $\sigma=20.29$ olarak bulunmuştur.

Tablo 2.1'de 4 farklı imge için farklı gürültü seviyelerinde gürültü seviyesi kestirim sonuçları verilmiştir.

Tablo 2.1. 4 farklı renkli imgede farklı gürültü seviyeleri için elde edilen kestirim sonuçları

Gürültü Seviyesi (σ)		5	10	15	20	30
Barbara	Immerkaer [52]	6.16	10.79	15.63	20.51	30.48
	Sutour [48]	5.52	12.27	16.20	20.32	30.89
	Önerilen Metot	5.05	9.98	14.90	20.03	30.03
Lena	Immerkaer [52]	6.26	10.84	15.66	20.56	30.50
	Sutour [48]	5.87	10.61	15.46	20.53	30.38
	Önerilen Metot	5.40	10.50	15.21	20.26	30.23
Peppers	Immerkaer [52]	5.46	10.30	15.27	20.31	30.31
	Sutour [48]	5.53	10.48	15.36	20.34	30.56
	Önerilen Metot	5.30	10.17	15.08	20.29	30.18
Parrots	Immerkaer [52]	5.52	10.40	15.36	20.31	30.41
	Sutour [48]	5.27	10.28	15.30	20.22	30.32
	Önerilen Metot	5.14	10.09	15.16	19.93	30.13

Tablo 2.1'de görüleceği üzere önerilen metot renkli imgeler için Gauss gürültüsünün seviye kestiriminde karşılaştırılan metotlara nazaran daha iyi sonuçlar vermektedir. Tez çalışmasında ilk adım olarak Bölüm 2.3 anlatılan şekilde Gauss gürültüsünün seviyesi en az hata ile kestirilmektedir. Bundan sonrasında elde edilmiş olan bu kestirim değerine göre renkli imgelerde gürültü azaltma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla kısmi diferansiyel denklem tabanlı bir yöntem olan iz tabanlı yaklaşım kullanılarak ilgili süreç gerçekleştirilmiştir. Literatürde yer alan iz tabanlı yaklaşımda olumsuz etki olarak karşımıza çıkan doku bilgisinin kaybedilmesi durumunu ortadan kaldırmak için bir iyileştirme önerilmiştir. Bu amaçla renkli imge yapı-doku bileşenlerine ayrıştırılmış ve yayılım katsayısı olarak karşımıza çıkan λ katsayısı imgenin tamamı için aynı şekilde kullanılmak yerine bölgesel olarak adaptif olarak seçilmiştir. İlgili yöntem bir sonraki bölüm olan Bölüm 2.4'de detaylı olarak anlatılmıştır.

2.4. Renkli İmgelerde Gauss Gürültüsünün Giderilmesi

Bu bölümde tez çalışmasında ikinci kısım olarak karşımıza çıkan renkli imgelerde Gauss gürültüsünü azaltma işleminde kullanılan iz tabanlı yaklaşım anlatılmıştır. Literatürde yer alan iz tabanlı yaklaşımdan farklı olarak ilgili metot renkli imgelerde yapı bilgisinin yanı sıra doku bilgisini de koruyacak şekilde düzenlenmiştir. Bunun için imge iteratif olarak yumuşatılmaktadır. Yumuşatma işlemi bittikten sonra orijinal imgeden yumuşatılmış imge çıkarılarak doku ve gürültü içeren kalıntı imgesi elde edilmekte ve gürültü azaltmada kullanılan formülasyon düzenlenerek kalıntı imgesinden doku bilgisi çıkarılmakta ve imgeye geri kazandırılmaktadır.

İlk olarak yöntem içerisinde yer alan ve faydalanılan bazı kavramlardan bahsedilmiştir. Sonrasında kullanılan yöntem detaylı bir şekilde anlatılmış ve farklı renkli imgelerde çeşitli gürültü seviyeleri için elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Sonuçlar tepe işareti gürültü oranı (TİGO) ve yapısal benzerlik indisi (YBI) metrikleri kullanılarak literatürde yer alan klasik iz tabanlı yaklaşım ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde yapılan çalışmanın klasik iz tabanlı yaklaşımdan daha iyi sonuçlar verdiği ve renkli imgelerde yapı bilgisinin yanı sıra doku bilgisini de koruduğu görülmüştür.

2.4.1. Genel Bilgiler

2.4.1.1. Hessian Matrisi

İlk olarak türev ne demektir ondan bahsetmek gerekir. Türev, bir fonksiyonun bir değişkeninde meydana gelecek sonsuz küçüklükteki bir değişimin fonksiyonun değerinde meydana getireceği artışın/azalışın, değişkendeki değişime oranıdır. Kısmi türev birden çok değişken bir fonksiyonun türevinin alınırken sadece bir değişken için türevinin alınması ve diğer değişkenlerinin sabit tutulmasıdır. Bir $f(x)$ fonksiyonunun 2.dereceden türevini içeren matrise Hessian matrisi denir. H ile gösterilmektedir. Kısacası hessian matrisi bir fonksiyonun kısmi türevlerinin oluşturduğu matristir.

2.4.1.2. Tensör

Tensörler, yüksek dereceli vektörlerin genelleştirilmesi için kullanılan sayısal büyüklüklerdir ve vektörler arasındaki doğrusal ilişkileri tanımlayan geometrik nesnelere [53]. Sayısal 0. dereceden (yön bilgisi içermeyen) tensörler, 2 boyutlu vektörler 1.dereceden tensörlere karşılık gelmektedir. Kullanımının en büyük avantajı her indis için bir isme ihtiyaç duyulmasını ortadan kaldırmasıdır.

2.4.1.3. İteratif Eğim İnişi

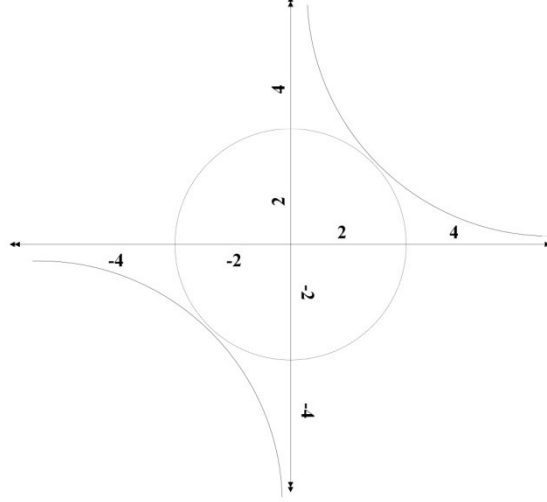
Bir fonksiyonun kısmi türevlerinin vektörüne gradyan vektörü denir. Genel olarak bir fonksiyonun gradyanı Eşitlik (23)'deki gösterilmektedir.

$$\nabla f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial f}{\partial x_n} \right) \quad (23)$$

Eğim inişi, bir fonksiyon üzerinde rastgele bir noktadan başlayıp bu noktanın koordinatlarını, kısmi türevlerin tersi (yani eğim vektörünün tersi) yönünde değiştirerek küçük adımlarla minimum noktaya yaklaşmaya yarayan bir optimizasyon tekniğidir (54, 2017). Eğim, minimuma yaklaştıkça azalarak azalır. Bu durumdan yararlanarak eğim inişi için bir durdurma kriteri belirlenmektedir. Çünkü bu durum, minimuma yaklaştıkça adımların küçülmesine de neden olur. Son atılan adım büyüklüğü belirlenen bir değerin altına düştüğünde, minimuma ulaşıldığı kabul edilip ilerleme durdurulur. Bu değere duyarlılık adı verilmektedir.

2.4.1.4. Euler Lagrange

Bir optimizasyon tekniğidir. Genel olarak Lagrange çarpanları kullanılarak kısıtlamalı bir fonksiyon için minimum veya maksimum noktaları bulunabilmektedir (55, 2017). Buna göre $f(x, y) = xy = 3$ için $g(x, y) = x^2 + y^2 = 1$ sınırlayıcı fonksiyonuna göre minimum noktaları bulunmak istensin. Her iki denklem için olası minimum noktalar Şekil 2.13'deki gibidir.



Şekil 2.13. $f(x,y)$ ve $g(x,y)$ fonksiyonları için bulunan olası minimum noktalar

Yukarıdaki şekilden anlaşılacağı üzere bir fonksiyonun bir sınırlama fonksiyonu içerisinde minimum ya da maksimum noktaları iki fonksiyonun teğet noktalarıdır. Burada her iki fonksiyon içinde gradyan vektörleri aynıdır ve ikisi arasındaki sadece büyüklük farkı vardır. Arada ilişki Eşitlik (18)'deki gibi ifade edilebilir.

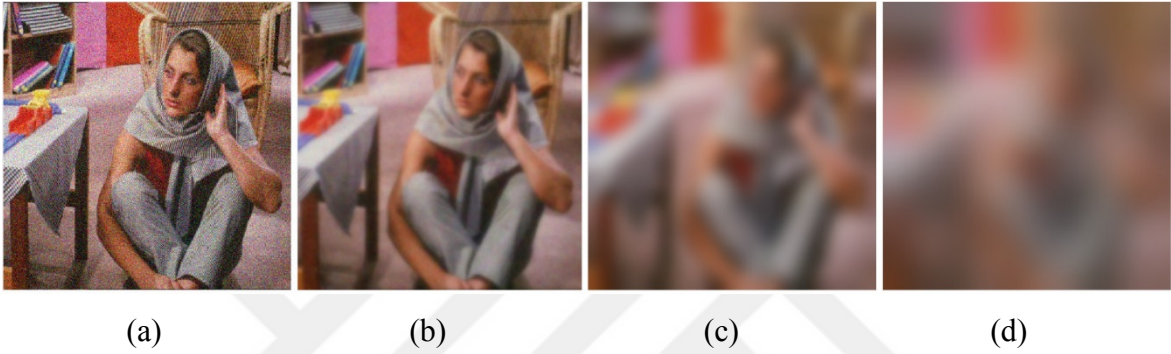
$$\nabla f = \lambda \times \nabla g \quad (18)$$

Burada λ Lagrange çarpanını ifade etmekte olup kısmi türevler hesaplanarak minimum/maksimum noktası bulunmaktadır.

2.4.2. Kısmi Diferansiyel Denklem Tabanlı Gürültü Azaltma

Kısmi diferansiyel denklem (KDD) tabanlı metotlar özellikle son yıllarda gürültü azaltma dahil olmak üzere pek çok görüntü işleme görevi için sıklıkla kullanılmaktadır. Genel olarak denklemsel algoritma, düzenleme terimi (D) denilen imgede gürültü azaltma işleminin yapıldığı bir yapı içermektedir. Örnek düzenleme terimi olarak $\frac{\partial f}{\partial t} = D$

verilebilir. Burada f gürültülü renkli imgeyi, t zaman adımını göstermektedir. Kabaca konuşmak gerekirse KDD tabanlı metotlar imgeyi adım adım sadeleştiren ve imgedeki değişintiyi minimize etmeye yarayan lineer olmayan filtreler olarak düşünülebilir. Şekil 2.14'de düzenleme terimi ile renkli imgede yukarıdaki verilen düzenleme teriminin ayrıklaştırılması ile beraber farklı iterasyon sayılarında gürültü azaltma işlemi için örnekler verilmiştir.



Şekil 2.14. Renkli Barbara imgesinin düzenleme terimi ile farklı n değerleri için KDD tabanlı yumuşatılması, $\sigma=30$ Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Barbar imgesi (a), $n =200$ için sonuç imgesi (b), $n =1000$ için sonuç imgesi (c), $n =5000$ için sonuç imgesi (d)

Şekil 2.14'de n iterasyon sayısını ifade etmekte olup, renkli Barbara imgesi için KDD tabanlı iterasyonel gürültü azaltma sonuçları gösterilmiştir. Buradan anlaşılacağı üzere iterasyon sayısı arttıkça imge orijinal yapısından uzaklaşmakta ve sabit bir imgeye doğru kaymaktadır. İterasyonel gürültü azaltma işlemleri belirli bir n değerine kadar ya da önceden belirlenmiş bir hata oranına kadar yapılmaktadır. İlgili tez çalışmasında yumuşatılmış imgenin orijinal imgeden uzaklaşmasının önüne geçmek için düzenleme terimine ek olarak uygunluk terimi olarak adlandırdığımız bir yapıdan faydalanılmıştır.

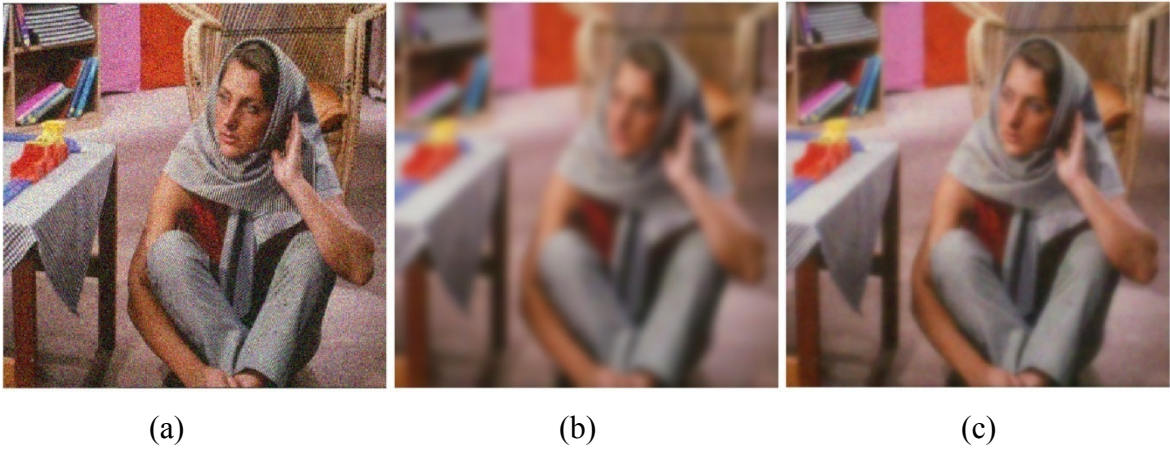
2.4.2.1. Uygunluk Denklemi

Uygunluk terimi bir imgede gürültü azaltma işlemi yapılırken yumuşatılmış imgenin orijinal imgeden uzaklaşmasını engellemek için kullanılır. Uygunluk terimi imgeye bulaşan gürültü tipine göre değişmektedir. Buna göre Gauss gürültüsü için L2 norm olarak

bilinen karesel metot kullanılırken, dürtü gürültüsünün bir çeşidi olan tuz-biber gürültüsü için L1 norm kullanılmaktadır. Bunun sebebi Gauss gürültüsü tüm piksellere bulaşırken tuz-biber gürültüsü imgede bütün piksellere bulaşmamaktadır. Formülasyon uygunluk teriminin eklenmesi ile beraber Eşitlik (19)'daki gibi değişmektedir.

$$\frac{\partial f}{\partial t} = D + (f - u) \quad (19)$$

Burada f gürültülü renkli imgeyi u ise t zamanında yumuşatılmış imgeyi ifade etmektedir. Şekil 2.15'de uygunluk teriminin gürültü azaltma işleminde kullanılmasının imgenin özgünlüğünü nasıl koruduğuna ilişkin örnek bir gürültü azaltma sonucu verilmiştir.



Şekil 2.15. Uygunluk teriminin orijinal imgeden uzaklaşmaya etkisi, $\sigma=30$ Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Barbara imgesi (a), sadece düzenleme terimi ile yumuşatılmış imge (b), düzenleme terimi ve uygunluk terimi ile yumuşatılmış imge (c)

Şekil 2.15'de uygunluk teriminin renkli imgeler üzerine gürültü azaltma işleminde yapmış olduğu etki gösterilmiştir. Şekil 2.15 (b)'de $n = 200$ için sadece düzenleme terimi kullanıldığında, imgede gürültü azaltılırken orijinal imgeden uzaklaşıldığı, yapı bilgisinin kaybolduğu ve imgenin özgün halinin bozulduğu görülmektedir. Şekil 2.15 (c)'de ise aynı n değeri için düzenleme teriminin yanı sıra uygunluk teriminin de kullanılması ile Şekil 2.15 (b)'ye kıyasla imgenin özgün yapısının daha iyi korunduğu gözle açıkça

anlaşılmaktadır. Buna ek olarak TİGO ve YBI değerlerine de bakacak olursak ve Şekil 2.15 (b) ve (c) yumuşatılmış renkli imgeleri için TİGO değerleri sırasıyla 19.83 ve 22.53, YBI değerleri sırasıyla 0.70 ve 0.76 olarak bulunmuştur.

2.4.3. Isı yayılım Denklemleri

Isı yayılım denklemi ısının bir düzlemde zamana bağlı yayılımını açıklamak için oluşturulmuş bir yapıdır (56, 2017). Örnek olarak Şekil 2.16'daki gibi L uzunluğuna sahip bir boru içerisinde ısının yayılımına bakalım.



Şekil 2.16. L uzunluğuna sahip metal bir boru

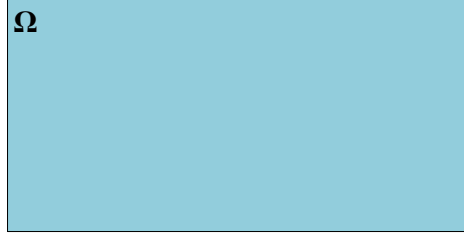
Yukarıdaki boru içerisinde x noktasında t zamanında ısı $u(x, t)$ ile ifade edilsin. KDD bağlı ısı yayılımı Eşitlik (20)'deki gibi olacaktır.

$$u_t = \frac{\partial}{\partial x}(Ku_x) = Ku_{xx} \quad (20)$$

Eşitlik 17'de yer alan K iletken kat sayısı olarak düşünülebilir. Eğer metal boru L uzunluğu boyunca aynı maddeden yapılmış ise K sabit bir değer olarak alarak türev ifadesinin dışına alınabilir. Yukarıdaki eşitlikte düzenleme buna göre yapılmıştır.

Boru içerisinde yayımda $x=0$ ve $x=L$ noktalarında belirli sınır şartları da yer almaktadır. Bunun için Dirichlet, periyodik ve Neumann sınır şartlarından faydalanılabilir. Buna göre Dirichlet sınır şartında metal borunun sonu belirli (sabit) bir sıcaklık değerine ulaşıldığında, periyodik sınır şartında $x=0$ ve $x=L$ için aynı sıcaklığa sahip olduğunda, Neumann sınır şartında değişim artık sıfır olduğunda diye kabul edilir.

Isı yayılımını tek boyutlu bir boru içerisinde değil de Şekil 2.17'deki gibi 2 boyutlu $\Omega: u(x, y, t)$ bölgesinde tanımlı bir levha üzerinde ifade edecek olursak Eşitlik (21)'deki gibi ifade edilebilir.



Şekil 2.17. Metal Levha

$$u_t = \nabla \cdot (K \nabla u) \quad (21)$$

Burada ∇ ıraksama (divergence) operatörüdür ve kısmi türevi ifade etmektedir. Eğer K sabit olarak alınırsa yukarıdaki ifade Eşitlik (22), (23), (24), (25) ve (26)'y göre düzenlenebilir.

$$u_t = \nabla \cdot (K \nabla u) \quad (22)$$

$$= K \nabla \cdot (\nabla u) \quad (23)$$

$$= K \left[\frac{\partial}{\partial x} u_x + \frac{\partial}{\partial y} u_y \right] \quad (24)$$

$$= K [u_{xx} + u_{yy}] \quad (25)$$

$$= K \Delta u \quad (26)$$

Burada Δ Laplace operatörünü ifade etmekte olup $\Delta u = u_{xx} + u_{yy}$ şeklinde tanımlanmaktadır. Isı yayılım denklemini imgede gürültü azaltma olarak değerlendirdiğimiz de K sayısı sabit olduğunda elde edilen yayınıcı yön bağımsız yayınıcı olarak düşünebiliriz. Eğer K sayısını yerel olarak değişen bir katsayı olarak tanımlar ve buna göre düşünürsek o zaman elde edilen ısı yayınıcı yön bağımlı yayınıcı karşılık gelmektedir. Burada zamana bağlı elde ettiğimiz bu türev küçük bir Δ_t zaman sabitine göre Eşitlik (27), (28), (29)'de gösterildiği gibi ayrıklaştırılabilir.

$$u_t = K [u_{xx} + u_{yy}] \quad (27)$$

$$\frac{u^{n+1} - u^n}{\Delta_t} = K [u_{xx} + u_{yy}] \quad (28)$$

$$u^{n+1} = u^n + K\Delta_t[u_{xx} + u_{yy}] \quad (29)$$

Yukarıdaki eşitlikte $u(x, y, t)$ her iterasyonda nasıl güncelleneceğini ifade edilmiştir. Bir imge üzerinde bunu düşünecek olursak piksel parlaklıkları bizim sıcaklığımızı ifade etmektedir. İmgeyi ısı yayınımına bağlı olarak yumuşatmak tıpkı Gauss filtresi ile yumuşatmaya benzerdir.

2.4.4. Yön Bağımsız Yayınım

Yön bağımsız (izotropik) yayınım imgedeki veriyi yumuşatmak ve basitleştirmek için kullanılan bazı matematiksel formülasyonlara dayandırılarak çözümü gerçekleştirilen bir filtredir. Buna ilk olarak Tikhonov [57] önermiş olduğu lineer filtreden başlayarak günümüze kadar gelen ve benzer yayınım hareketini gösteren lineer filtreler örnek verilebilir. Değişimsel formülasyonlardan faydalanarak açıklayacak olursak:

f gri seviye 2 boyutlu gürültülü imgemiz olsun ve bu imge üzerinde yayınım yaparak imgeyi düzenlemek istiyoruz. Bu durumda n gürültüsü I imgesine eklenmiş düşük genliğe sahip yüksek frekanslı gürültümüz. Buna göre f Eşitlik (30)'daki gibi ifade edilebilir.

$$f = I + n \quad (30)$$

f imgesini düzenlemek yani gürültüyü azaltmak için genel fikir imgede yer alan değişintiyi, $\|\nabla f\|$ hesaplayarak minimize etmektir. Buna karşılık gelen değişimsel problem Eşitlik (31)'de verilmiştir. Bu denklemin minimize edilmesi olarak ilk defa Tikhonov [57] tarafından önerildi.

$$\min E_{Tikhonov}(u) = \int \|\nabla u\|^2 \quad (31)$$

Eşitlik (31) sadece düzenleme terimi içeren değişimsel bir metottur. Burada u imgesi, f imgesinden gürültü azaltılarak elde edilen sonuç imgesini göstermektedir. Bu denklemin iteratif eğim inişi ve Euler-Lagrange kullanılarak çözümü sonucu Eşitlik (32)'de verilmiştir.

$$\begin{cases} u_{(t=0)} = f \\ \frac{\partial u}{\partial t} = \Delta u \end{cases} \quad (32)$$

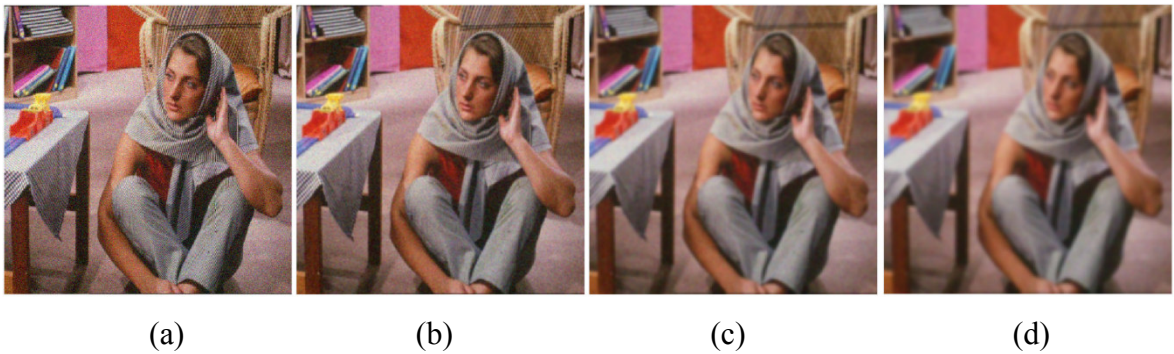
Yukarıdaki eşitlikte yer alan düzenleme terimi fizikte katılar üzerindeki ısı yayılımı açıklamak için kullanılan ısı denklemi olarak sonuçlanmaktadır. Bu şekilde bir KDD ısı denklemi olarak da tanımlanabilir.

Koenderink yapmış olduğu [58] numaralı çalışmasında Eşitlik (32)'de yer alan denklemde elde edilen ısı yayılımının, f imgesinin belirli bir t zamanında $\sigma = \sqrt{2t}$ olan 2 boyutlu normalize edilmiş Gauss çekirdeği (G_σ) ile katlanmasına (convolution) karşılık geldiğini göstermiştir. Buna karşılık gelen gösterim Eşitlik (33) ve (34)'de verilmiştir.

$$G_\sigma = \frac{1}{2\pi\sigma} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{\sigma^2}\right) \quad (33)$$

$$u_{(t)} = f * G_\sigma \quad (34)$$

Buradan da anlaşılacağı üzere gürültü bulaşmış imge yavaş yavaş yön bağımsız bir şekilde yumuşatılmaktadır. Bununla alakalı örnek gösterim $\sigma=20$ olan Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Barbara imgesi için Şekil 2.18'de verilmiştir.



Şekil 2.18. Isı denkleminin renkli Barbara imgesine uygulanması, $\sigma=20$ Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Barbara imgesi, sırasıyla 5, 25, 50 iterasyon ile ısı yayılım denklemi ile gürültü azaltma sonucu (b), (c), (d)

Şekil 2.18'de 5, 25, 50 iterasyon ile yapılan gürültü azaltma işlemi sonucunda elde edilen TİGO değerleri sırasıyla 25.84, 23.67 ve 22.49 iken YBI değerleri sırasıyla 0.80, 0.76 ve 0.73 olmaktadır. Yön bağımsız yayılım imgede yüksek frekans bilgilerini bastıran alçak geçiren bir süzgeç gibi davranmaktadır. Yukarıdaki şekilden de anlaşılacağı üzere imgede gürültü azaltılırken imge kolayca bulanıklaşmaktadır. Bu durum yön bağımlı, lineer olmayan bir düzenleme metodu ihtiyacı doğurmuştur. Bu yönde yapılan ilk ve temel çalışma Perona ve Malik'in yapmış olduğu [59] numaralı çalışmadır.

2.4.5. Perona Malik İmge Düzenleme

Yön bağımsız yayınımda karşılaşılan lineer metodun dezavantajlarının üstesinden gelmek için Perona ve Malik Eşitlik (32)'deki ısı denkleminin lineer olmayan bir uzanımı önerdiler [59]. Genel fikir ısı denkleminin Eşitlik (35)'deki gibi iraksama (divergence) formatında yazılabileceği üzerine kurulmuştur.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \Delta u = \text{div}(\nabla u) \quad (35)$$

Yukarıdaki fonksiyona $[0,1]$ aralığında sınırlı olmak üzere $c(\|\nabla I\|)$ eklenmesi imgenin düzenlenmesi sürecini daha iyi olarak kontrol edilmesini sağlamaktadır. Buna göre elde edilen yeni eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \text{div}(c(\|\nabla u\|)\nabla u) \quad (36)$$

Burada $c: R \rightarrow R$ olmak üzere azalan bir fonksiyondur. Bu fonksiyon imgede gürültü azaltılırken kenarlar üzerinde yani yüksek gradyan bulunan noktalarda yayılımı durdurmak için 0'a yakınsamakta, homojen bölgeler olarak da tanımlayabileceğimiz düşük gradyan bulunan düzenli bölgelerde 1'e yakınsamaktadır. Perona ve Malik çalışmalarında c fonksiyonunu Eşitlik (37)'deki gibi tanımlamışlardır.

$$c(\|\nabla u\|) = \exp\left(-\frac{\|\nabla u\|^2}{K^2}\right) \quad (37)$$

Yukarıdaki eşitlikte K sabit bir sayıdır. Eşitlik (36)'daki KDD daha iyi anlamak için bu denklemin ayrıştırılmış hali literatürde [60] numaralı çalışmada verilmiştir. Buna göre KDD Eşitlik (38)'deki gibi düzenlenmiştir.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_{\xi} u_{\xi\xi} + c_{\eta} u_{\eta\eta} \quad (38)$$

Yukarıdaki eşitlikte $c_{\xi} = c(\|\nabla u\|)$ ve $c_{\eta} = c'(\|\nabla u\|)\|\nabla u\| + c(\|\nabla u\|)$ olmaktadır ve buna göre c_{ξ} ve c_{η} Eşitlik (39) ve (40)'daki gibi hesaplanmaktadır.

$$c_{\xi} = \exp\left(-\frac{\|\nabla u\|^2}{K^2}\right) \quad (39)$$

$$c_{\eta} = \exp\left(-\frac{\|\nabla u\|^2}{K^2}\right) \left(1 - 2\frac{\|\nabla u\|^2}{K^2}\right) \quad (40)$$

Yukarıdaki Eşitlik (38)'de yer alan $u_{\xi\xi}$ ve $u_{\eta\eta}$, I imgesinin ortogonal ξ ve η yönündeki ikinci dereceden türevlerini göstermektedir. Buna göre $u_{\xi\xi}$ ve $u_{\eta\eta}$ Eşitlik (41) ve (42)'deki gibi hesaplanmaktadır.

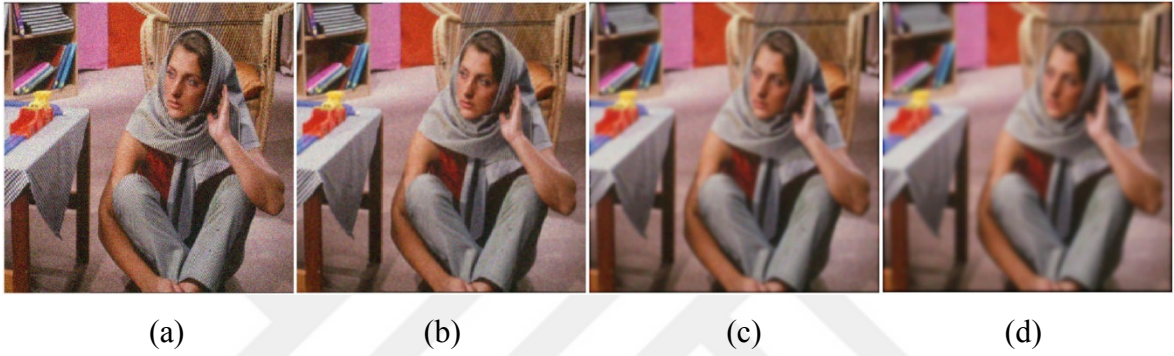
$$u_{\xi\xi} = \frac{\partial^2 u}{\partial \xi^2} = \xi^T \mathbf{H} \xi \quad (41)$$

$$u_{\eta\eta} = \frac{\partial^2 u}{\partial \eta^2} = \eta^T \mathbf{H} \eta \quad (42)$$

Burada \mathbf{H} hessian matrisini göstermektedir. ξ ve η birim vektörleri sırasıyla gradyan yönünü ve dik yönünü göstermektedir ve Eşitlik (43)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\eta = \frac{\nabla u}{\|\nabla u\|} \quad \text{ve} \quad \xi = \eta^{\perp} \quad (43)$$

Eşitlik (38)'de yer alan denklem bir imgede ξ yönünde c_ξ ağırlığınca ve η yönünde c_η ağırlığınca yumuşatma yapan ısı yayılımı olarak değerlendirilebilir. Bu bakımdan $(\xi, c_\xi, \eta, c_\eta)$ yerel yayılımın geometrisini tanımlıyor diyebiliriz. Yön bağımlı bir yayılım ile yapılan imgede yumuşatma işlemi yön bağımsız yapılan bir yayıma göre daha iyi sonuç vermekte ve imge bulanıklaşma etkisi daha az olmaktadır. Bununla alakalı karşılaştırmalı bir sonuç Şekil 2.19'da verilmiştir.



Şekil 2.19. Perona-Malik düzenleme algoritmasının renkli Barbara imgesine uygulanması, $\sigma=20$ Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Barbara imgesi, sırasıyla 5, 25, 50 iterasyonla Perona-Malik düzenleme algoritması kullanılarak yapılan gürültü azaltma sonucu (b), (c), (d)

Yukarıdaki şekilde Perona-Malik düzenleme algoritması $\sigma=20$ Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Barbara imgesine uygulanmıştır. Şekil 2.19'da 5, 25, 50 iterasyon ile yapılan gürültü azaltma işlemi sonucunda elde edilen TİGO değerleri sırasıyla 27.23, 24.23, 22.67 iken YBI değerleri sırasıyla 0.84, 0.78, 0.75 olarak bulunmuştur.

İmgede gürültü azaltma işleminin daha başarılı olduğu açıkça görülmektedir. Ancak buna rağmen yine de hala biraz gürültü kalmakta ve kalan gürültü daha da belirginleşebilmektedir. Bunun sebebi Eşitlik (37)'de tanımlanan c fonksiyonu c_η için negatif bir değer alabilmektedir. Bunun sebebi bazı bölgelerde $\|\nabla I\| > \frac{K}{\sqrt{2}}$ gelmesidir. Böyle bir durumda bazı imge noktalarında ters yayılım meydana gelmekte ve gürültü dahil imge özellikleri belirgin hale gelmektedir.

Nihayetinde Perona ve Malik tarafından önerilen bu formülasyon KDD tabanlı yayılım kullanılarak imge düzenleme işlemleri üzerinde yapılan çalışmalara büyük ivme

kazandırmış ve yapılan çalışmalarda öncü olarak kabul edilmiştir. Literatürde bu şekilde yer alan metotlar genel olarak değişimsel metotlar olarak isimlendirilmektedir.

Değişimsel metotlar kullanılarak yapılan imge düzenleme işlemi genel olarak şu şekildedir. İmgede düzenleme işlemi genel imge değışintisi ölçülerek enerji fonksiyonelinin minimize edilmesi ile yapılabilir. Buradaki amaç imgede yer alan şekilleri temsil edilen yüksek değışintileri korurken, gürültü kaynaklı meydana gelen düşük imge değışintilerini bastırmaktır. Değişimsel tabanlı gürültü azaltma işlemi için [61,62,63] numaralı kaynaklara bakılabilir.

Farklı yaklaşımlara genel bir şekil kazandırmak için bu yapıları bir araya getiren genel amaçlı Φ fonksiyoneli kullanılmaktadır. Buna göre imgede gürültü azaltma işlemi Eşitlik (44)'a göre yapılmaktadır.

$$\min_{u:\Omega \rightarrow R} E(u) = \int_{\Omega} \Phi(\|\nabla u\|) d\Omega \quad (44)$$

Bu denklemin Euler-Lagrange kullanılarak elde edilen çözümü Eşitlik (45)'deki gibidir.

$$\begin{cases} u_{(t=0)} = f \\ \frac{\partial u}{\partial t} = \text{div} \left(\frac{\Phi'(\|\nabla u\|)}{\|\nabla u\|} \nabla u \right) \end{cases} \quad (45)$$

Farklı Φ fonksiyoneli farklı düzenleme terimleri içeren metotlar anlamına gelmektedir. Literatürde yer alan bazı farklı Φ fonksiyonları aşağıda yer alan Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Literatürde yer alan farklı ϕ fonksiyonlar

Fonksiyon adı	$\Phi(s)$	Kaynak
Tikhonov	s^2	[57]
Perona-Malik	$1 - \exp(s^2/K^2)$	[59]
Minimal Yüzey	$2\sqrt{1+s^2} - 2$	[61]
Toplam Değişinti	s	[62]
Green	$2\log(\cosh(s))$	[63]

Bu tez çalışmasında yön bağımlı bir filtre olan KDD kullanılarak gerçekleştirilen iz tabanlı yaklaşımdan faydalanılmıştır.

2.4.6. İz Tabanlı Gürültü Azaltma

Renkli imgelerde gürültü azaltma son yıllarda popülerlik kazanmış bir alandır. Çok kanallı imgelerde gürültü azaltma işleminde genel fikir yumuşatma işleminin her bir kanala ayrı ayrı uygulanmasıdır. Fakat kolaylıkla anlaşılacağı üzere bu pek doğru bir yaklaşım değildir çünkü her bir imge kanalındaki düzenleme yayılım geometrisinin de ayrı ayrı değerlendirilmesinden dolayı birbirinden farklı olacaktır. Fakat imge kanallarında birbirinden bağımsız bir şekilde düşünülmesi ve gürültü indirgeme işleminin buna göre yapılması imgedeki renklerin birbirine karışmasına ve kenarların bulanıklaşmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple kanallar arası ilişkisel bazda bir geometri bilgisi çıkarılmadığı sürece gürültü azaltma işlemi neticesinde elde edilen sonuç pek tatmin edici olmayacaktır.

2.4.6.1. Vektör Geometrisinin Çıkarılması

İz tabanlı yaklaşımda renkli imgede yapı bilgisi çıkarmak için Di Zenzo [64] tarafından önerilen bir yaklaşım kullanılmıştır. Buna göre $\mathbf{I} = (I_1, I_2, I_3)^T: \Omega \rightarrow \mathbb{R}^3$ olarak ifade edilen renkli imge vektör alanı olarak ele alınmış ve $\mathbf{G} = (g_{i,j})$ kullanılarak elde edilen vektörel normun yerel değişintisi $\|d\mathbf{I}\|^2$ dikkate alınmıştır. Buna göre $\|d\mathbf{I}\|^2$

aşağıdaki gösterildiği üzere Eşitlik (46), (47), (48) ve (49)'de gösterildiği üzere hesaplanmaktadır.

$$d\mathbf{I} = \mathbf{I}_x dx + \mathbf{I}_y dy \quad (46)$$

$$\mathbf{I}_x = \frac{\partial \mathbf{I}}{\partial x} \quad \mathbf{I}_y = \frac{\partial \mathbf{I}}{\partial y} \quad (47)$$

$$\|d\mathbf{I}\|^2 = d\mathbf{I}^T d\mathbf{I} \quad (48)$$

$$= \|\mathbf{I}_x\|^2 dx^2 + 2\mathbf{I}_x^T \mathbf{I}_y dx dy + \|\mathbf{I}_y\|^2 dy^2 \quad (49)$$

Burada \mathbf{G} her bir kanaldan $\nabla I_i \nabla I_i^T$ hesaplanarak elde edilen değişiminin toplamını ifade eden yapı tensörüdür. \mathbf{G} yarı pozitif simetrik bir yapıya sahiptir ve Eşitlik (50)'deki gibi tanımlanmaktadır ve katsayıları Eşitlik (51)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\mathbf{G} = \sum_{i=1}^3 \nabla I_i \nabla I_i^T = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix} \quad (50)$$

$$\begin{cases} g_{11} &= \sum_{i=1}^n I_{ix}^2 \\ g_{12=21} &= \sum_{i=1}^n I_{ix} I_{iy} \\ g_{21} &= \sum_{i=1}^n I_{iy}^2 \end{cases} \quad (51)$$

Renkli imge $\mathbf{I} = (R, G, B)$ için \mathbf{G} yapı tensörünün ifade edilmesi Eşitlik (52)'deki gibidir.

$$\mathbf{G} = \begin{pmatrix} R_x^2 + G_x^2 + B_x^2 & R_x R_y + G_x G_y + B_x B_y \\ R_x R_y + G_x G_y + B_x B_y & R_y^2 + G_y^2 + B_y^2 \end{pmatrix} \quad (52)$$

\mathbf{G} yapı tensörü kullanımı ile imgede elde edilen kazanımlar şunlardır. \mathbf{G} yapı tensörünün $\lambda_{+/-}$ özdeğerleri $\|d\mathbf{I}\|^2$ 'nin maksimum ve minimum değerlerini verirken

birbirine dik olan $\theta_{+/-}$ özvektörler de bu değerlerin yön bilgisini vermektedir. Bu özdeğer ve özvektör değerleri Eşitlik (53) ve Eşitlik (54)'deki gibi hesaplanmaktadır [65].

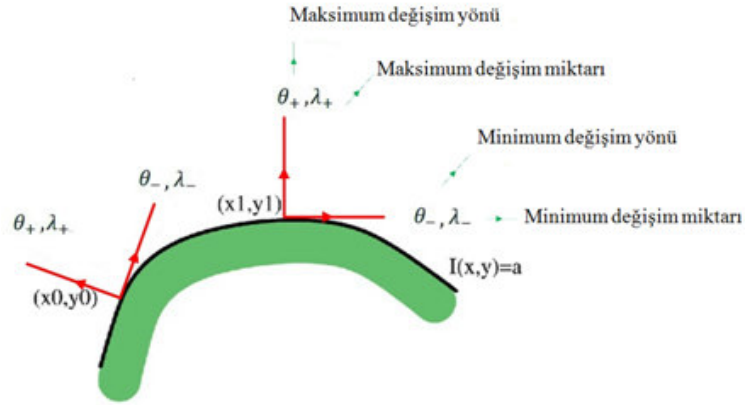
$$\lambda_{+/-} = 0.5 \times \left(g_{11} + g_{22} \pm \sqrt{(g_{11} - g_{22})^2 + 4g_{12}^2} \right) \quad (53)$$

$$\theta_{+/-} \parallel \left(g_{22} - g_{11} \pm \sqrt{(g_{11} - g_{22})^2 + 4g_{12}^2} \right) \quad (54)$$

Di Zenzo'nun önermiş olduğu bu yaklaşıma ilaveten Weickert tarafından [66] numaralı çalışmasında \mathbf{G} yapı tensörünün Eşitlik (55)'de gösterildiği üzere Gauss süzgecinden geçirilmiş halinin kullanımını önermiştir.

$$\mathbf{G}_\sigma = \mathbf{G} * G_\sigma \quad (55)$$

Bunun yapılmasının sebebi imgede yapı bilgisinin daha tutarlı bir şekilde elde edilmek istenmesindedir. Burada G_σ standart sapması σ olan Gauss süzgecini \mathbf{G}_σ gauss süzgecinden geçirilmiş yapı tensörünü ifade etmektedir. Yapı tensörü kullanımı sonucu bir renkli imge için konuşacak olursak $\lambda_{+/-}$ imgede değişimin miktarını $\theta_{+/-}$ imgede değişimin yönünü vermektedir. Bir kenar üzerinde $\lambda_{+/-}$ özdeğerleri ve $\theta_{+/-}$ özvektörlerinin gösterimi Şekil 2.20'de verilmiştir.



Şekil 2.20. $\lambda_{+/-}$ özdeğerleri ve $\theta_{+/-}$ özvektörlerinin gösterimi

Elde edilen özdeğerlerden faydalanarak aşağıdaki çıkarım yapılabilmektedir [67].

Buna göre;

- Eğer $\lambda_+ \cong \lambda_- \cong 0$ ise ilgili piksel noktası çevresinde değişimi çok az ve bu bölge homojen bölgeye yakın olmakla beraber herhangi bir kenar ya da köşe bilgisi içermemekte.
- Eğer $\lambda_+ \gg \lambda_-$ ise yüksek bir değişimi bulunmakta ve ilgili piksel noktası bir kenar üzerinde olabilir.
- Eğer $\lambda_+ \cong \lambda_- \gg 0$ ise yüksek bir değişimi bulunmakta ve ilgili piksel noktası bir köşe üzerinde olabilir.

2.4.6.2. Yayınım Tensörünün Tanımlanması

Bir renkli imgede her bir piksel için imgede yayınının nasıl yapılacağı tanımlanmalıdır. Bunun için \mathbf{D} yayılım (diffusion) tensörü tanımlanmalıdır [68]. Yine burada amaç imgede yayınının değişimin az olduğu yönde daha fazla yapılması ve değişimin fazla olduğu yönde daha az yapılmasıdır. \mathbf{D} yayılım tensörü imgeden elde edilen yerel geometri bilgisi kullanılarak tasarlanmalıdır. Bunun için süzgeçten geçirilmiş ya da başka bir ifade ile yumuşatılmış \mathbf{G}_σ yapı tensöründen elde edilen spektral elamanlar olan $\lambda_+, \lambda_-, \theta_+, \theta_-$ dikkate alınmalıdır. Buna göre yayılım tensörü \mathbf{D} Eşitlik (56)'daki gibi hesaplanmaktadır .

$$\mathbf{D} = c_1 \theta_- \theta_-^T + c_2 \theta_+ \theta_+^T \quad (56)$$

Yukarıdaki eşitlikte c_1 ve c_2 yayılım katsayıları olup, Eşitlik (57) ve (58)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$c_1 = s^-(\lambda_+, \lambda_-) = (1 + \lambda_+ + \lambda_-)^{-a_1} \quad (57)$$

$$c_2 = s^+(\lambda_+, \lambda_-) = (1 + \lambda_+ + \lambda_-)^{-a_2} \quad (58)$$

Yukarıdaki eşitlikte a_1 ve a_2 sabit katsayılar olmak üzere her zaman $a_1 < a_2$ olmalıdır. Bunun sebebi imgede yayılımın ağırlıklı olarak değişimin az olduğu θ_- yönüne yapılmasının istenmesidir. Buradan hareketle iz tabanlı yaklaşımda düzenleme terimi Eşitlik (59)'daki gibi ifade edilmektedir [69].

$$\frac{\partial I_i}{\partial t} = \text{trace}(\mathbf{D}\mathbf{H}_i) \quad (i = 1 \dots n) \quad (59)$$

Burada I_i , \mathbf{I} renkli imgesine ait i . kanalı, \mathbf{H} hessian matrisini \mathbf{D} yayılım tensörünü, trace ise matrisin izini ifade etmektedir. Yukarıdaki eşitliğe göre bu noktada istenilen yumuşatma işleminin aşağıdaki gibi olması beklenmektedir [70].

- Eğer renkli imgede ilgili piksel bir kenar üzerinde yer alıyorsa ($\lambda_+ \gg 0$) yumuşatma işlemi ağırlıklı olarak değişimin az olduğu kenar yönünü ifade eden θ_- yönüne olacaktır. Yayılımın katsayısı ise yine λ_+ özdeğerine göre belirlenecektir.

- Eğer renkli imgede ilgili piksel bir homojen bölgede ise ($\lambda_+ \cong 0$) yayılım tensörü yaklaşık olarak birim matrise eşit olacak ($\mathbf{D} = \mathbf{I}\mathbf{I}_2$) ve yumuşatma işlemi yön bağımsız olarak bütün yönlere yapılacaktır.

İz tabanlı yaklaşımın vektörel değerli (RGB) imgelerde yapı bilgisini başarılı bir şekilde çıkarmakta ve yumuşatma işleminde bu yapı bilgisini dikkate alarak başarılı bir şekilde gerçekleştirmektedir. Eşitlik (59)'da yer alan denklem, yön bilgisi direk olarak \mathbf{D} tensöründen sağlanan yönlü yerel Gauss yumuşatma işlemine benzetilmektedir. Kenar bilgilerini başarılı bir şekilde korumasına rağmen bu yöntem köşe noktaları gibi kavisli bölgelerde başarısız olmakta ve köşeleri yuvarlaştırmaktadır. Bir diğer dezavantajı yapı

bilgisini korumada başarılı olmasına rağmen renkli imgede doku bilgisini korumada başarısız olmaktadır.

Bu tez çalışmasında literatürde yer alan iz tabanlı yaklaşıma uygunluk teriminin eklenmesi ve yapı doku bileşenlerinin ayrıştırılması ile renkli imgede doku bilgisini koruyan iyileştirilmiş iz tabanlı bir yaklaşım önerilmiştir.

2.5. İyileştirilmiş İz Tabanlı Yaklaşım

Bu bölümde yukarıda detaylı bir şekilde açıklanmış olan iz tabanlı yaklaşımdan yola çıkılarak yapılan iyileştirilmiş iz tabanlı yaklaşım anlatılmıştır. Literatürde yer alan bu yönteme ek olarak yapı doku ayrıştırılması yapılmış ve uygunluk terimi uzamsal olarak değişken hale getirilmiştir [71].

2.5.1. Yapı Doku Ayrıştırma

Yapı doku ayrıştırma işlemi literatürde birçok gürültü azaltma işlemi için kullanılmaktadır. Önerilen yöntemde yapı doku ayrıştırma işlemi için ilk olarak gürültülü imge iz tabanlı yöntem kullanılarak yumuşatılmış böylelikle imgeden yapı doku çıkarılmıştır. Kalıntı imgesi olarak adlandırdığımız doku ve gürültü içeren imge gürültülü imgeden yumuşatılmış imge çıkarılarak elde edilmiştir. Buna göre genel olarak renkli gürültülü bir imge Eşitlik (60)'daki gibi ifade edilebilir.

$$\mathbf{f} = \mathbf{I}_{yapı} + \mathbf{I}_{doku} + \mathbf{n} \quad (60)$$

Yukarıdaki eşitlikte yer alan ifade için \mathbf{f} gürültülü imgeyi, $\mathbf{I}_{yapı}$ renkli imgede yapıyı, \mathbf{I}_{doku} renkli imgede dokuyu ve \mathbf{n} renkli imgede gürültüyü ifade etmektedir. Buradan $\mathbf{I}_{yapı} + \mathbf{I}_{doku}$ gürültüsüz orijinal renkli imgeyi ifade ettiği anlamı çıkarılabilir. Gürültü renkli imgede yapı ve doku bilgisini ayırmak için ilk olarak Eşitlik (61)'de verilen iz tabanlı yaklaşıma göre imge yumuşatılmaktadır.

$$\mathbf{E}_1 = \int_{\Omega} (\Phi(|\nabla \mathbf{u}|)) dx dy \quad (61)$$

Eşitlik (61) toplamsal Gauss gürültüsü baz alınarak uygunluk terimi eklenmesi ile aşağıdaki gibi Eşitlik (62)'de verilen minimize etme işlemi Eşitlik (63)'deki kısıt fonksiyonuna göre yapılmaktadır.

$$\min_{\mathbf{u}} E(\mathbf{u}) = \int_{\Omega} (\Phi(|\nabla \mathbf{u}|)) dx dy \quad (62)$$

$$\frac{1}{|\Omega|} \int_{\Omega} (\mathbf{f} - \mathbf{u})^2 dx dy = P \text{ olması kısıtıyla} \quad (63)$$

Burada $P = \alpha \sigma^2$ olarak tanımlanmakta ve $1 \leq \alpha \leq 2$ aralığında bir değer olarak alınmaktadır. Mevcut çalışmada $\alpha = 1.5$ olarak tanımlanmıştır. Normal bir yumuşatma işleminde $\alpha = 1$ olarak alınıp uygunluk terimi tanımlanır. Burada yapı doku ayrıştırma işlemi için elde edilecek doku + gürültü olarak tanımlayabileceğimiz kalıntı imgesine daha fazla gürültü ve doku ekleyebilmek için α değerini 1'den büyük olarak alınmıştır. Bu sayede λ iterasyonel olarak optimize edilirken daha küçük bir değer olacak ve yumuşatma işlemi daha fazla yapılmış olacaktır. Eşitlik (62) ve (63)'e göre, Lagrange çarpanları kullanılarak Eşitlik (64)'deki ifade edilebilir.

$$\mathbf{E}_1 = \int_{\Omega} \left(\Phi(|\nabla \mathbf{u}|) - \frac{1}{2} \lambda \times ((\mathbf{f} - \mathbf{u})^2 - P|\Omega|) \right) dx dy \quad (64)$$

Buna göre yukarıdaki eşitliğe Euler-Lagrange yöntemine göre kısmi türevler Eşitlik (65) ve Eşitlik (66)'daki gibidir.

$$\frac{\partial \mathbf{E}_1}{\partial \mathbf{u}} = \text{trace}(\mathbf{D}\mathbf{H}_i) + \lambda \times (\mathbf{f} - \mathbf{u}) = 0 \quad (65)$$

$$\frac{\partial \mathbf{E}_1}{\partial \lambda} = (\mathbf{f} - \mathbf{u})^2 - P|\Omega| = 0 \quad (66)$$

Eşitlik (65) için iteratif eğitim inişi dikkate alınarak iz tabanlı yöntemde yumuşatma işlemi için Eşitlik (67)'deki gibi ifade edilebilir [67].

$$\begin{cases} \mathbf{u}(x, y; t = 0) = \mathbf{f}(x, y) \\ \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} = \text{trace}(\mathbf{D}\mathbf{H}_i) + \lambda \times (\mathbf{f} - \mathbf{u}) \\ \mathbf{u}^{(n+1)} = \mathbf{u}^{(n)} + \Delta t \times (\partial \mathbf{u} / \partial t)^{(n)} \end{cases} \quad (67)$$

Eşitlik (67)'de yer alan n iterasyon sayısını, CFL koşuluyla $\Delta t \leq 0.25$ olmak üzere zaman adım sabitini, λ Lagrange çarpanını göstermektedir. Uygunluk terimini kontrol eden λ katsayısı Eşitlik (68)'deki gibi her bir iterasyonda optimize edilmektedir.

$$\lambda = \frac{1}{3P|\Omega|} \sum_{i=1}^3 \int_{\Omega} \text{trace}(\mathbf{D}\mathbf{H}_i)(\mathbf{u} - \mathbf{f}) dx dy. \quad (68)$$

Yukarıdaki eşitlikte verilen optimizasyon denklemi Eşitlik (65)'deki denklemin her iki tarafının $(\mathbf{f} - \mathbf{u})$ çarpılması ve Eşitlik (66)'dan $(\mathbf{f} - \mathbf{u})^2 = P|\Omega|$ eşitliğinin çekilmesi ile elde edilmektedir. Daha sonra gürültü ve doku bilgisini çıkarmak için kalıntı imgesi Eşitlik (69)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$\mathbf{u}_R = \mathbf{f} - \mathbf{u} \quad (69)$$

Yukarıdaki eşitlikte \mathbf{u}_R kalıntı imgesini ifade etmektedir. Eşitlik (69) için gürültü bulaşmış renkli imge üzerine bir gösterim Şekil 2.21'de verilmiştir.



Şekil 2.21. $\sigma = 10$ Gauss gürültüsü eklenmiş Lena imgesine ait kalıntı imgesi elde etme, gürültülü imge (a), yumuşatılmış imge (b), kalıntı imgesi (c)

Şekil 2.21'de renkli Lena imgesi için kalıntı imgesinin elde edilmesi ve yapı doku ayrıştırma örneği verilmiştir. Buna göre elde edilen kalıntı imgesi renkli imgeye ait gürültü ve ince detay olarak adlandırabileceğimiz doku bilgisini içermektedir. Bu aşamadan sonra elde edilen kalıntı imgesi üzerine yapılacak işlemler ile doku ve gürültü ayrıştırılarak imgeye geri kazandırılacaktır.

2.5.2. Uzamsal Olarak Değişen Uygunluk Terimi

Uygunluk terimini kontrol eden λ katsayısını sayısal bir değer almak yerine kalıntı imgesi üzerinde yerel değişimleri hesaplayarak adaptif hale getirilebilir. Buna göre süzgeçleme işlemi yardımıyla kalıntı imgesine ait yerel değişinti Eşitlik (70)'e göre hesaplanmaktadır.

$$\mathbf{P}_R(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \frac{1}{|\Omega|} \int_{\Omega} (\mathbf{u}_R(\tilde{x}, \tilde{y}) - \boldsymbol{\eta}[\mathbf{u}_R])^2 G_{\sigma}(\tilde{x}, \tilde{y}) d\tilde{x} d\tilde{y} \quad (70)$$

Burada $\boldsymbol{\eta}[\cdot]$ normalize edilmiş G_{σ} süzgecine bağlı beklenen değeri temsil etmektedir. $\mathbf{S}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \frac{\sigma^4}{\mathbf{P}_R(\mathbf{x}, \mathbf{y})}$ olarak hesaplanmak üzere Eşitlik (62) ve (63)'de verilen kısıtlayıcı fonksiyona göre minimize etme işlemine benzer işlem Eşitlik (71), (72)'deki ifade edilebilir.

$$\min_{\mathbf{u}} E(\mathbf{u}) = \int_{\Omega} (\Phi(|\nabla \mathbf{u}|)) dx dy \quad (71)$$

$$\mathbf{P}_{R\sim}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \mathbf{S}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \text{ olması kısıtıyla} \quad (72)$$

Eşitlik (72)'de yer alan $\mathbf{P}_{R\sim}(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ gürültüye ait enerjiyi göstermekte olup $(\mathbf{f} - \mathbf{u})^2$ şeklinde ifade edilmektedir. $\mathbf{S}(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ uzamsal değişen gürültünün enerjisini ifade etmektedir. Eşitlik (71) ve (72)'ye göre enerji fonksiyoneli Eşitlik (73)'deki gibi yeniden düzenlenebilir.

$$\mathbf{E}_2 = \int_{\Omega} \left(\Phi(|\nabla \mathbf{u}|) - \frac{1}{2} \lambda(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \times \mathbf{P}_{R\sim}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \right) dx dy \quad (73)$$

Burada $\bar{\lambda}(\cdot)$ Gauss fonksiyonuna bağlı elde edilmiş ortalama değerlerdir. Buna göre \mathbf{u} imgesine bağlı Euler-Lagrange denklemi Eşitlik (74)'deki gibi alınabilir.

$$\bar{\lambda}(\mathbf{x}, \mathbf{y})(\mathbf{u} - \mathbf{f}) - \text{trace}(\mathbf{DH}_i) = 0 \quad (74)$$

Eşitlik (73)'de verilen enerji fonksiyoneline ait iteratif eğim inişine göre çözüm Eşitlik 75'deki gibidir.

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} = \bar{\lambda}(\mathbf{x}, \mathbf{y})(\mathbf{f} - \mathbf{u}) + \text{trace}(\mathbf{DH}_i) \quad (75)$$

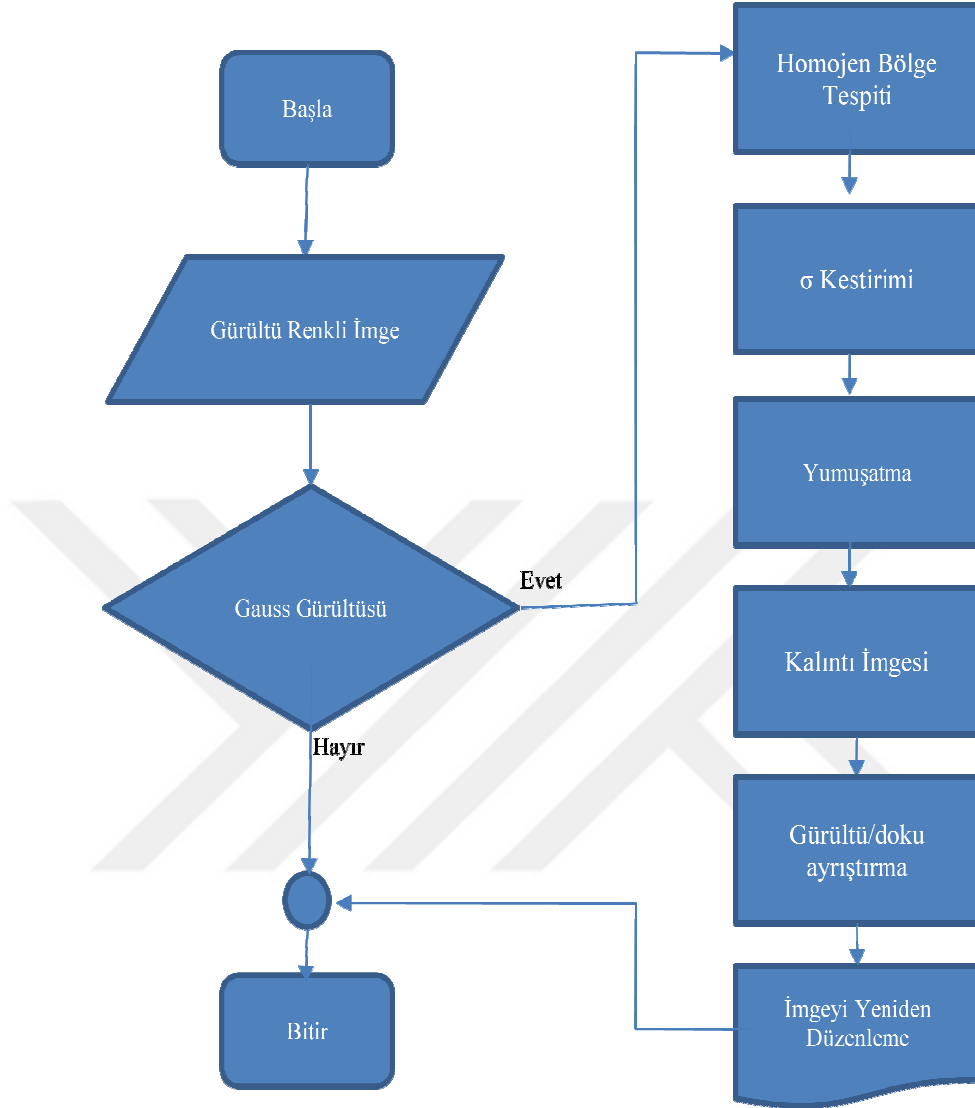
Buna göre Eşitlik (75) aşağıdaki Eşitlik (76)'daki gibi yeniden düzenlenebilir.

$$\int_{\Omega} (\lambda(\mathbf{x}, \mathbf{y})\mathbf{S}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) - \mathbf{Q}(\mathbf{x}, \mathbf{y})) dx dy = 0 \quad (76)$$

Burada $\mathbf{Q}(\cdot) = (\mathbf{u} - \mathbf{f}) \text{trace}(\mathbf{DH}_i)$ olmak üzere $\lambda(\cdot)$ değerleri Eşitlik (77)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\lambda(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \frac{\mathbf{Q}(\mathbf{x}, \mathbf{y})}{\mathbf{S}(\mathbf{x}, \mathbf{y})} \quad (77)$$

Burada Eşitlik (67)'de verilen iterasyonel iterasyonel işleme ek olarak λ katsayısı Eşitlik (77)'e göre imgenin tamamı için değil bölgesel olarak hesaplanmaktadır. Önerilen yönteme ait akış şeması Şekil 2.22'de verilmiştir. Yapılan çalışma ile ilgili konferans bildirileri için [67] ve [72] numaralı çalışmalara bakılabilir.



Şekil 2.22. Önerilen yönteme ait akış şeması

2.6. Görsel Sonuçlar

Bu bölümde yukarıda anlatılmış olan önerilen metot için görsel sonuçlar verilecektir. Test aşamasında 512x512 boyutunda Lena, Barbara imgeleri ve Berkeley bölütleme veritabanından elde edilen 321x481 boyutunda test imgesi 1, 481x321 boyutunda test imgesi 2 ve test imgesi 3 alınmıştır [73]. Kullanılan test imgesi 1, test imgesi 2, test imgesi 3 için orijinal imgeler Şekil 2.22 de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürde yer alan 4 farklı algoritma ile karşılaştırılmıştır. Bunlar; Perona-Malik düzenleme [59], iz tabanlı

yaklaşım [68], Duran ve arkadaşlarının önermiş olduğu yöntem [46], CTV (Collaborative Total Variation) [47] algoritmalarıdır. Görsel sonuçlara ek olarak bu 5 farklı renkli imge için 5 farklı gürültü seviyesinde yapılan gürültü azaltma işlemi sonucunda elde edilen TİGO ve YBI değerleri sırasıyla Tablo 2.3 ve Tablo 2.4'de verilmiştir.



(a)



(b)

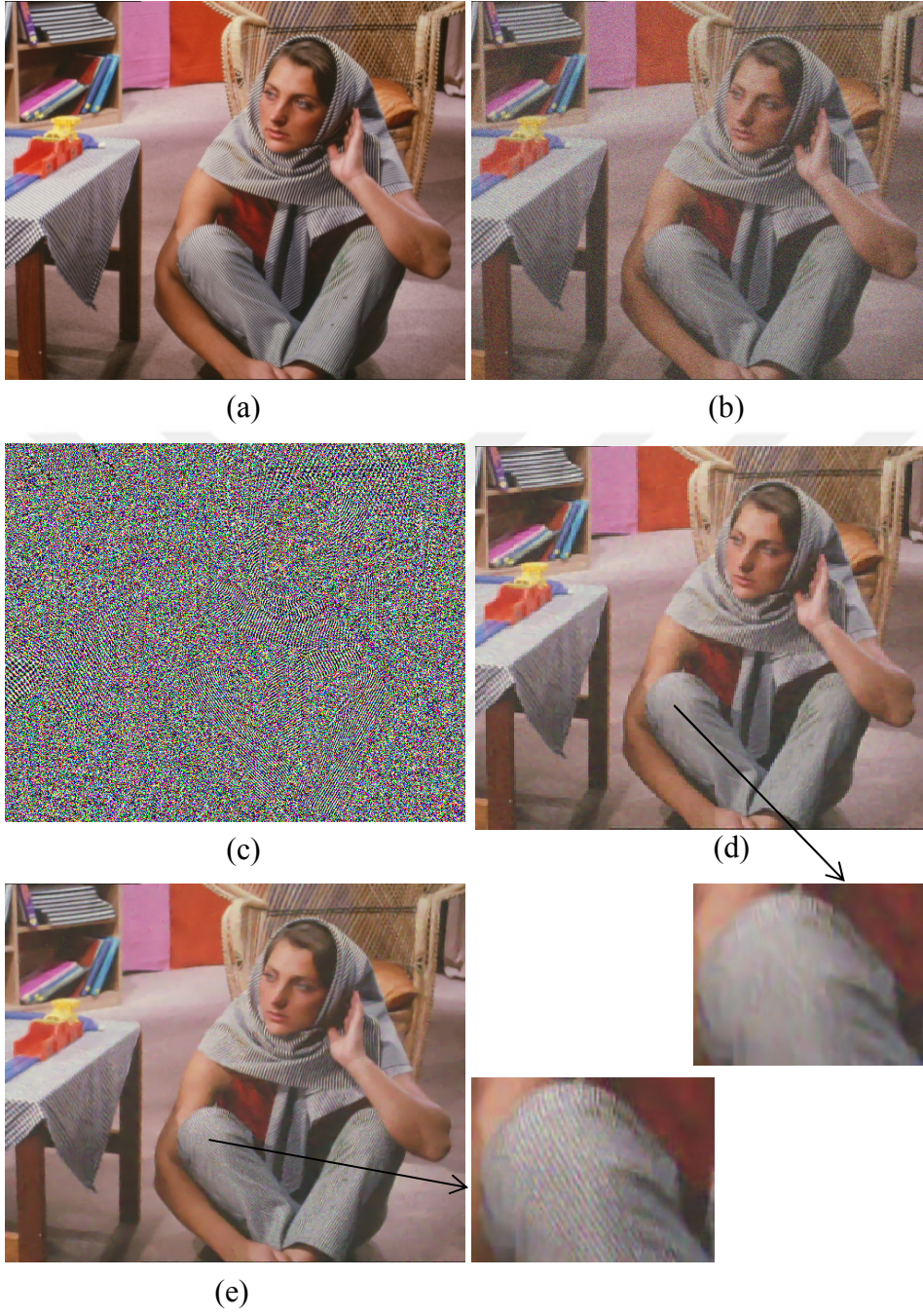


(c)

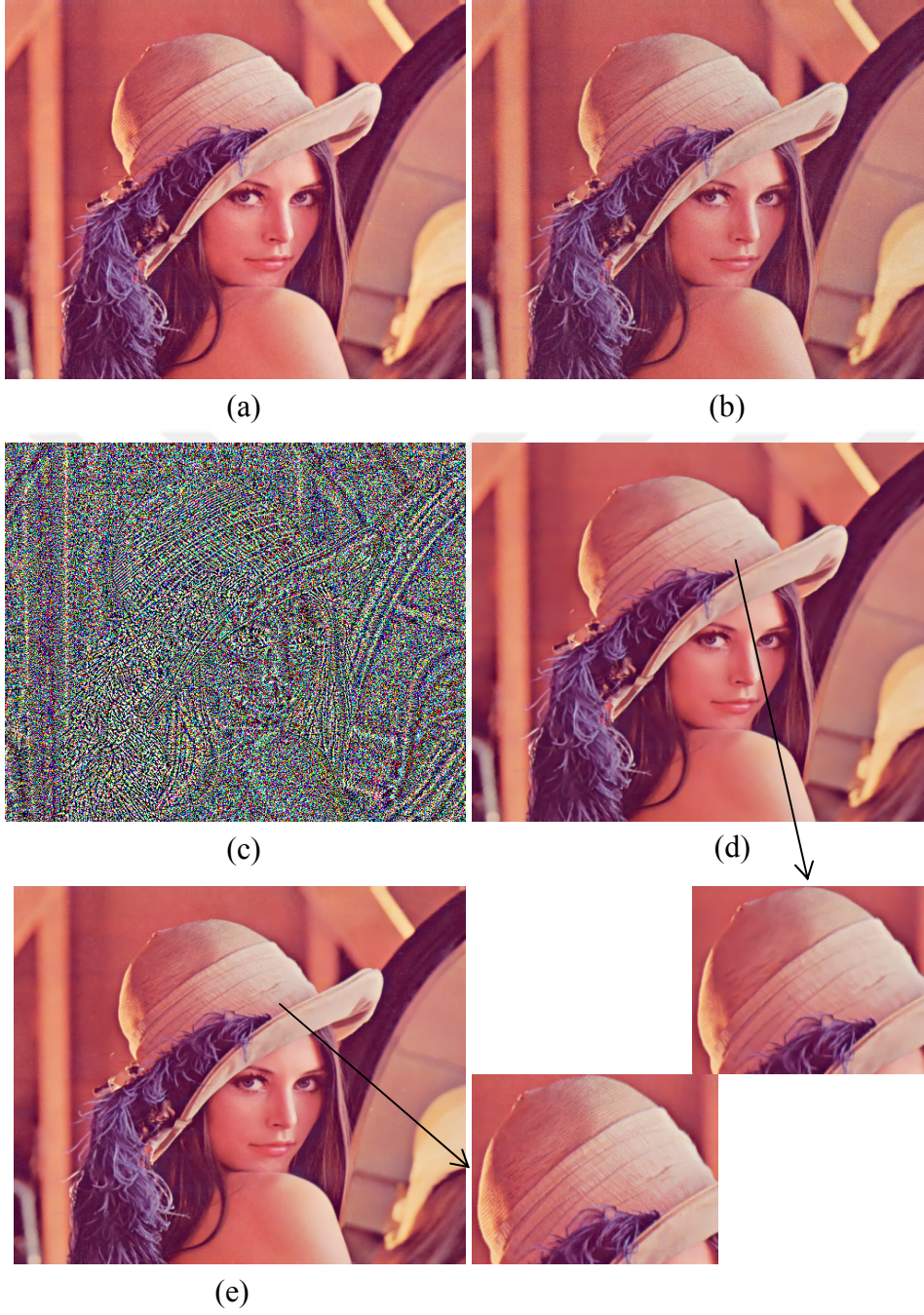
Şekil 2.23. Berkeley bölütleme veritabanından alınan renkli imgeler;
Test imgesi 1 (a), Test imgesi 2 (b), Test imgesi 3 (c)



Şekil 2.24. $\sigma = 10$ Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Barbara imgesi için gürültü giderme; $\sigma = 10$ olan Gauss gürültülü imge (a), Perona-Malik [59] (TİGO = 23.00, YBI = 0.64) (b), iz tabanlı yöntem (TİGO = 26.50, YBI = 0.85) [68] (c), Duran [46] (TİGO = 31.54, YBI = 0.88) (d), CTV [47] (TİGO = 31.82, YBI = 0.88) (e), önerilen yöntem (TİGO = 33.13, YBI = 0.92) (f)



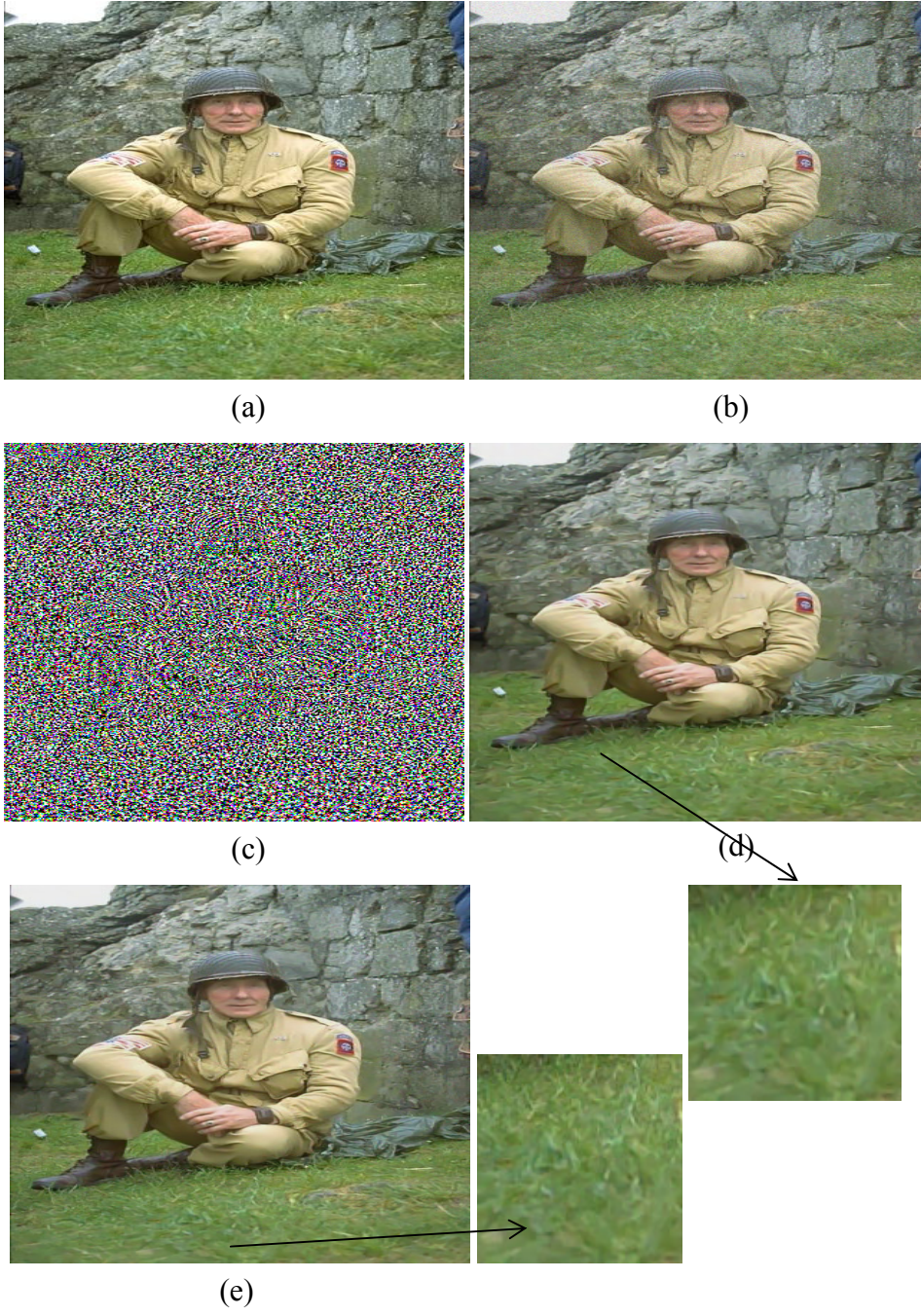
Şekil 2.25. $\sigma = 20$ gauss gürültüsü eklenmiş renkli Barbara imgesi için gürültü giderme; orijinal imge (a), $\sigma = 20$ olan Gauss gürültülü imge (b), kalıntı imgesi (c), iz tabanlı yöntem [68] (TİGO = 22.84, YBI = 0.77) (d), önerilen yöntem (TİGO = 29.66, YBI = 0.85) (e)



Şekil 2.26. $\sigma = 5$ Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Lena imgesi için gürültü giderme; orijinal imge (a), $\sigma = 5$ olan Gauss gürültülü imge (b), kalıntı imgesi (c), iz tabanlı yöntem [68] (TİGO = 33.10, YBI = 0.87) (d), önerilen yöntem (TİGO = 36.92, YBI = 0.92) (e)



Şekil 2.27. $\sigma = 10$ Gauss gürültüsü eklenmiş renkli Lena imgesi için gürültü giderme; $\sigma = 10$ olan Gauss gürültülü imge (a), Perona-Malik [59] (TİGO = 23.65, YBI = 0.70) (b), iz tabanlı yöntem (TİGO = 31.02, YBI = 0.85) [68] (c), Duran [46] (TİGO = 33.24, YBI = 0.88) (d), CTV [47] (TİGO = 33.84, YBI = 0.88) (e), önerilen yöntem (TİGO = 34.70, YBI = 0.92) (f)



Şekil 2.28. $\sigma = 10$ Gauss gürültüsü eklenmiş Test imgesi 1 için gürültü giderme; orijinal imge (a), $\sigma = 10$ olan Gauss gürültülü imge (b), kalıntı imgesi (c), iz tabanlı yöntem [68] (TI GO = 27.20, YBI = 0.81) (d), önerilen yöntem (TI GO = 30.60, YBI = 0.89) (e)



(a)



(b)



(c)



(d)

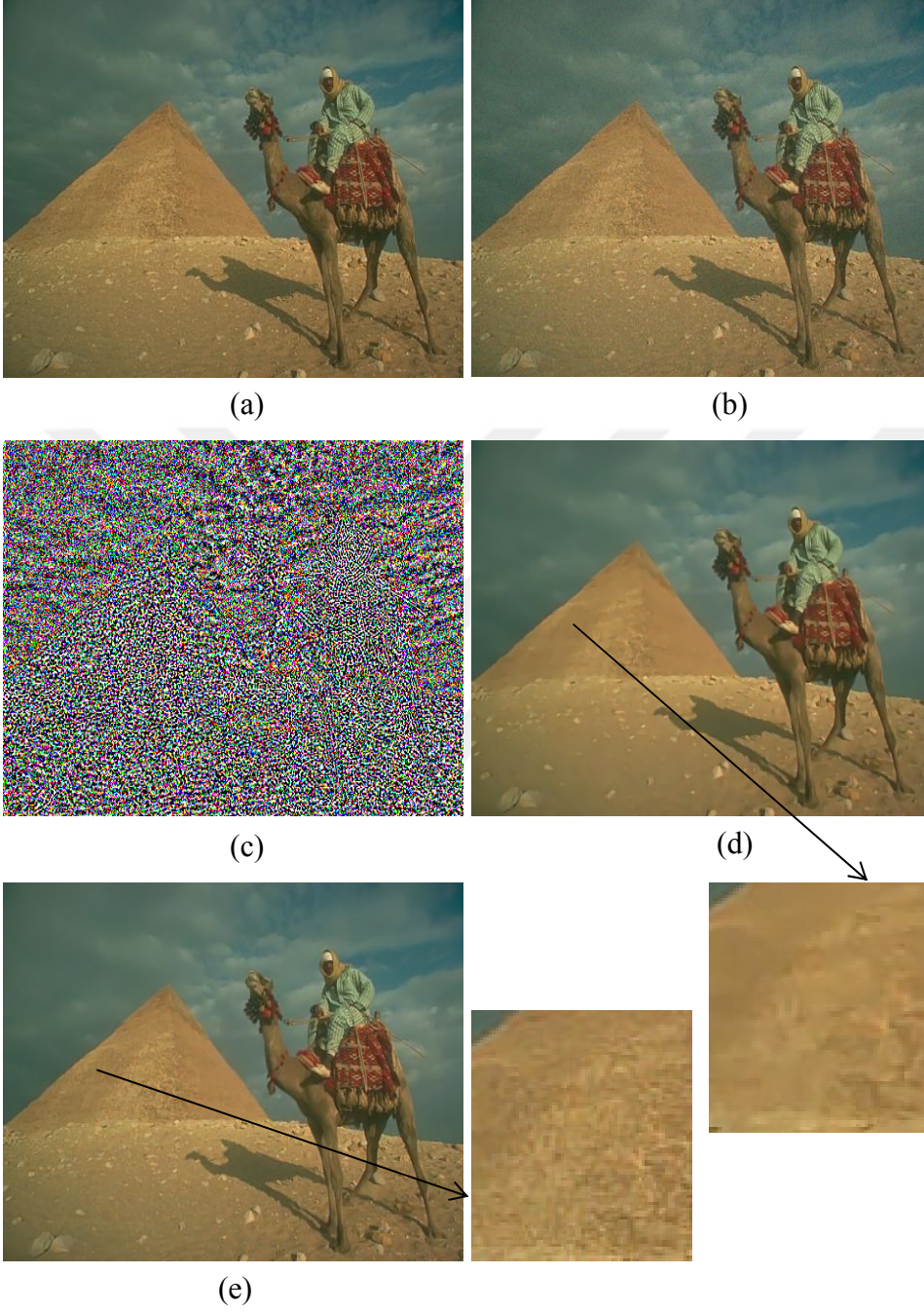


(e)

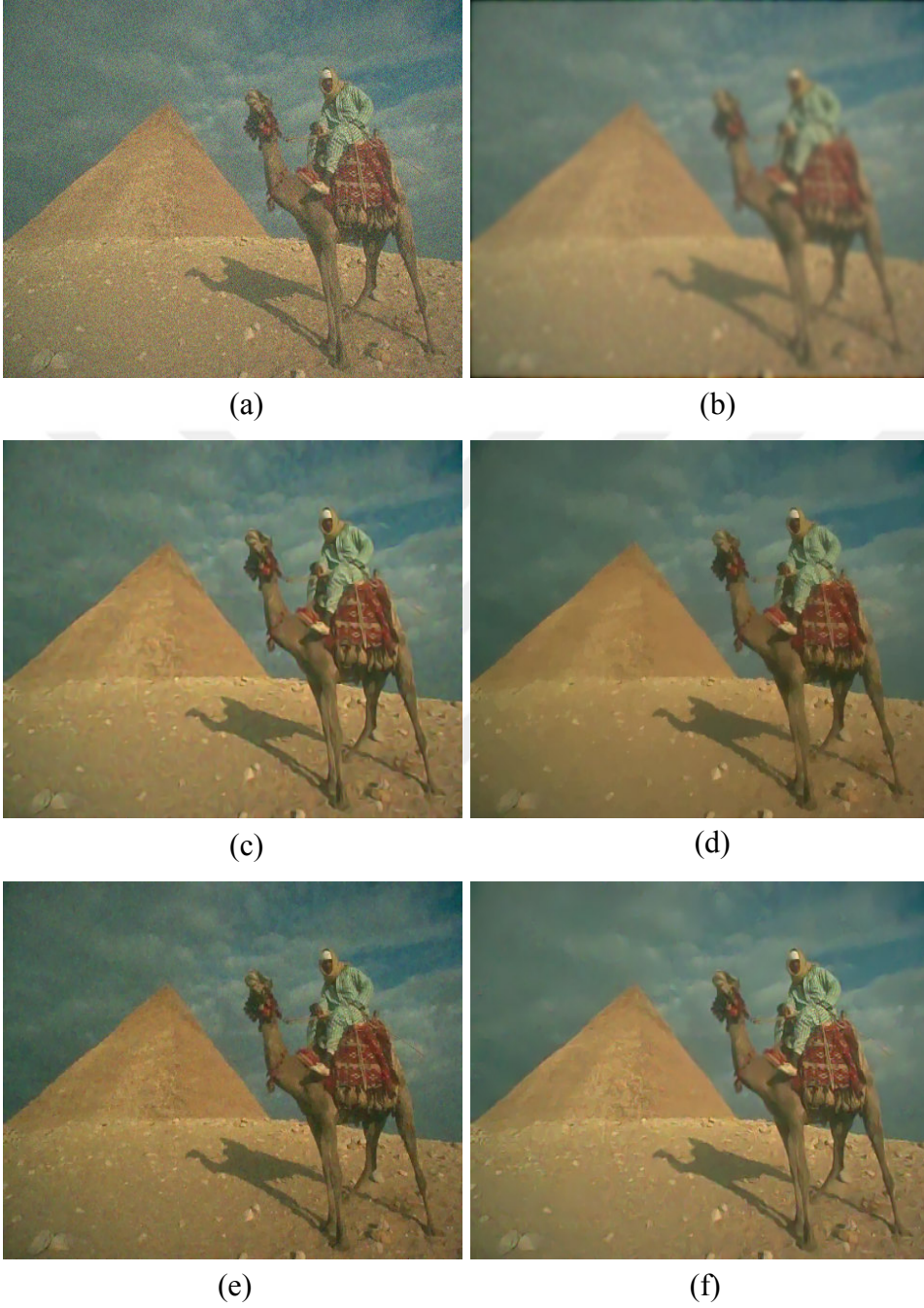


(f)

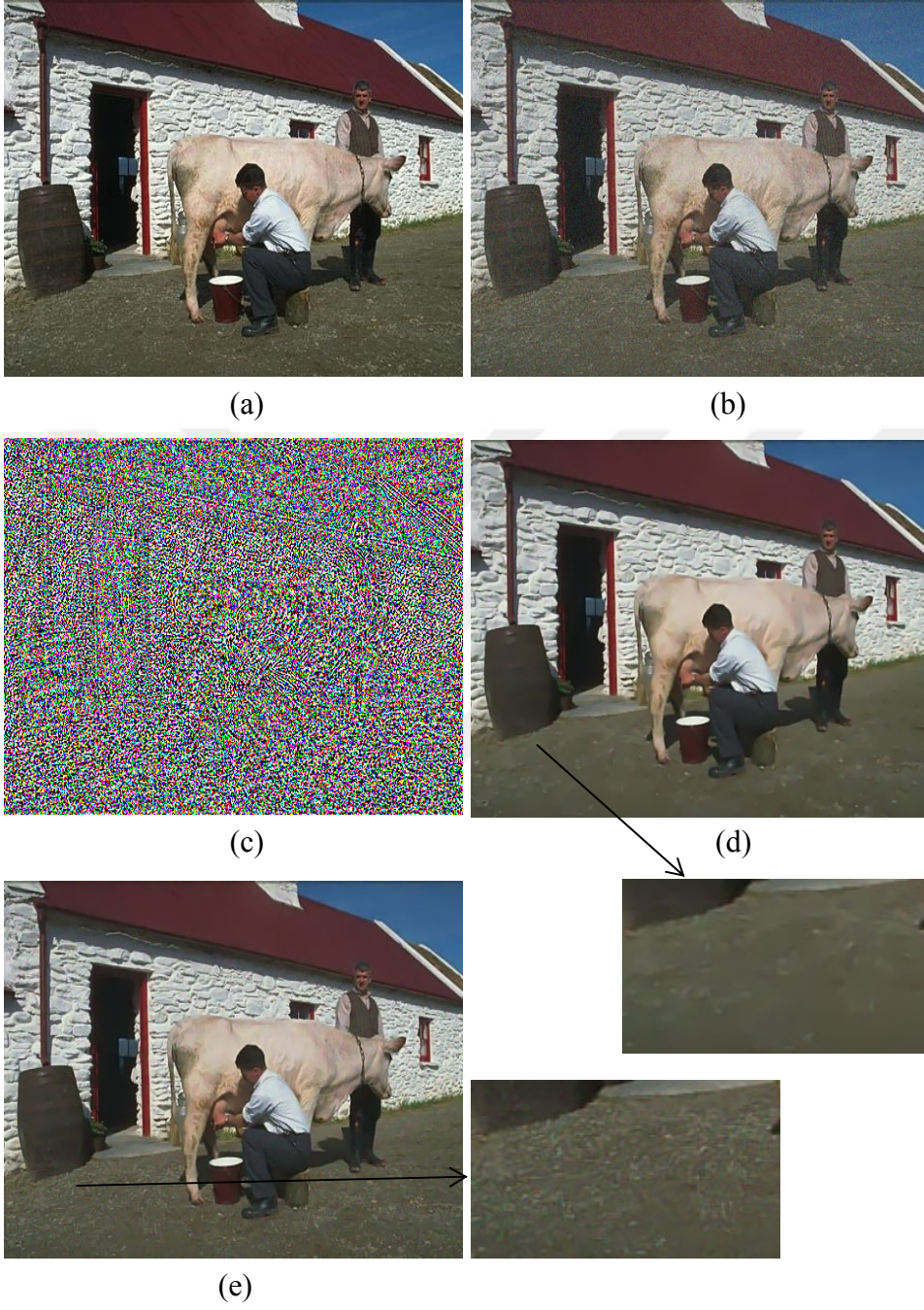
Şekil 2.29. $\sigma = 20$ Gauss gürültüsü eklenmiş Test imgesi 1 için gürültü giderme; $\sigma = 20$ olan Gauss gürültülü imge (a), Perona-Malik [59] (TİGO = 19.97, YBI = 0.38) (b), iz tabanlı yöntem (TİGO = 24.65, YBI = 0.70) [68] (c), Duran [46] (TİGO = 26.62, YBI = 0.71) (d), CTV [47] (TİGO = 26.98, YBI = 0.76) (e), önerilen yöntem (TİGO = 27.14, YBI = 0.77) (f)



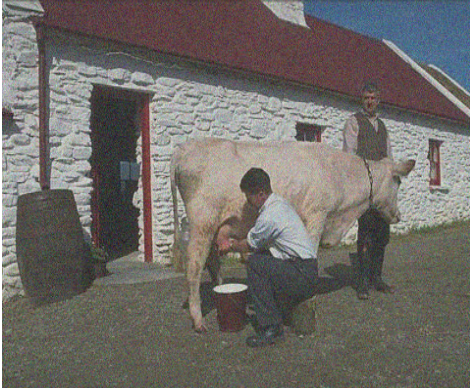
Şekil 2.30. $\sigma = 5$ Gauss gürültüsü eklenmiş Test imgesi 2 için gürültü giderme; orijinal imge (a), $\sigma = 5$ olan Gauss gürültülü imge (b), kalıntı imgesi (c) iz tabanlı yöntem [68] (TİGO = 31.22, YBI = 0.89) (d), önerilen yöntem (TİGO = 38.26, YBI = 0.95) (e)



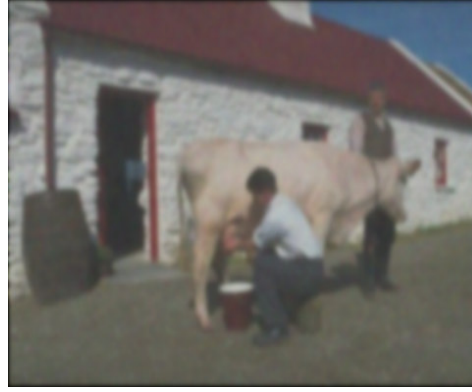
Şekil 2.31. $\sigma = 15$ Gauss gürültüsü eklenmiş Test imgesi 2 için gürültü giderme; $\sigma = 15$ olan Gauss gürültülü imge (a), Perona-Malik [59] (TİGO = 21.57, YBI = 0.70) (b), iz tabanlı yöntem (TİGO = 25.40, YBI = 0.83) [68] (c), Duran [46] (TİGO = 32.28, YBI = 0.84) (d), CTV [47] (TİGO = 32.54, YBI = 0.82) (e), önerilen yöntem (TİGO = 32.94, YBI = 0.86) (f)



Şekil 2.32. $\sigma = 10$ Gauss gürültüsü eklenmiş Test imgesi 3 için gürültü giderme; orijinal imge (a), $\sigma = 10$ olan Gauss gürültülü imge (b), kalıntı imgesi (c), iz tabanlı yöntem [68] (TİGO = 27.25, YBI = 0.84) (d), önerilen yöntem (TİGO = 31.63, YBI = 0.90) (e)



(a)



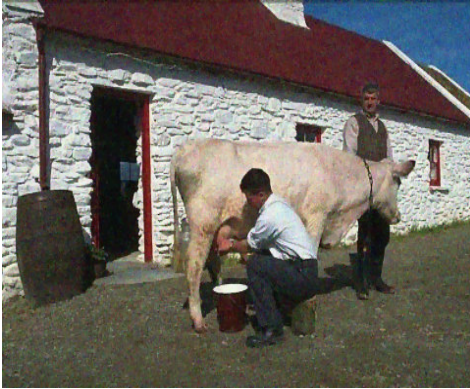
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 2.33. $\sigma = 20$ Gauss gürültüsü eklenmiş Test imgesi 3 için gürültü giderme; $\sigma = 20$ olan Gauss gürültülü imge (a), Perona-Malik [59] (TİGO = 17.22, YBI = 0.46) (b), iz tabanlı yöntem (TİGO = 24.10, YBI = 0.76) [68] (c), Duran [46] (TİGO = 27.25, YBI = 0.79) (d), CTV [47] (TİGO = 27.58, YBI = 0.74) (e), önerilen yöntem (TİGO = 27.95, YBI = 0.82) (f)

Tablo 2.3. 5 farklı renkli imge için farklı gürültü seviyelerinde gürültü azaltma sonucu elde edilen TİGO değerleri

Gürültü Seviyesi (σ)		5	10	15	20	30
Barbara	Perona-Malik [59]	24.15	23.00	21.77	20.76	19.05
	İz Tabanlı [68]	30.55	26.50	24.47	22.84	20.80
	Duran [46]	35.56	31.54	29.56	28.36	26.92
	CTV [47]	34.54	31.82	30.49	28.12	23.42
	Önerilen Yöntem	36.34	33.13	30.89	29.66	27.32
Lena	Perona-Malik [59]	25.47	23.65	21.52	20.03	18.15
	İz Tabanlı [68]	33.10	31.02	29.53	28.01	25.40
	Duran [46]	34.27	33.24	31.74	28.48	29.34
	CTV [47]	34.43	33.84	32.02	28.99	23.76
	Önerilen Yöntem	36.92	34.70	32.70	31.57	29.05
Test İmgesi 1	Perona-Malik [59]	22.06	21.31	20.60	19.97	19.00
	İz Tabanlı [68]	29.77	27.20	25.68	24.65	23.22
	Duran [46]	34.13	30.02	27.93	26.62	25.04
	CTV [47]	29.96	29.70	28.73	26.98	22.93
	Önerilen Yöntem	34.65	30.60	28.52	27.14	25.38
Test İmgesi 2	Perona-Malik [59]	27.07	24.34	21.57	19.97	18.14
	İz Tabanlı [68]	31.22	28.30	25.40	24.01	21.72
	Duran [46]	37.37	33.93	32.28	31.28	30.05
	CTV [47]	34.35	34.21	32.54	29.30	23.58
	Önerilen Yöntem	38.26	34.77	32.94	31.66	29.10
Test İmgesi 3	Perona-Malik [59]	20.03	19.02	18.03	17.22	16.03
	İz Tabanlı [68]	30.43	27.25	25.50	24.10	22.02
	Duran [46]	34.99	30.86	28.66	27.25	25.40
	CTV [47]	31.18	30.84	29.70	27.58	23.40
	Önerilen Yöntem	35.71	31.63	29.46	27.95	25.84

Tablo 2.4. 5 farklı renkli imge için farklı gürültü seviyelerinde gürültü azaltma sonucu elde edilen YBI değerleri

		Gürültü Seviyesi (σ)	5	10	15	20	30
Barbara	Perona-Malik [59]	0.66	0.64	0.62	0.60	0.56	
	İz Tabanlı [68]	0.90	0.85	0.81	0.77	0.70	
	Duran [46]	0.94	0.88	0.83	0.79	0.74	
	CTV [47]	0.92	0.88	0.84	0.73	0.50	
	Önerilen Yöntem	0.95	0.92	0.86	0.85	0.75	
Lena	Perona-Malik [59]	0.72	0.70	0.68	0.66	0.63	
	İz Tabanlı [68]	0.87	0.85	0.83	0.80	0.72	
	Duran [46]	0.87	0.86	0.82	0.80	0.77	
	CTV [47]	0.90	0.86	0.83	0.70	0.43	
	Önerilen Yöntem	0.92	0.87	0.85	0.82	0.73	
Test İmgesi 1	Perona-Malik [59]	0.43	0.41	0.40	0.38	0.36	
	İz Tabanlı [68]	0.87	0.81	0.75	0.70	0.62	
	Duran [46]	0.94	0.86	0.78	0.71	0.62	
	CTV [47]	0.83	0.83	0.81	0.76	0.60	
	Önerilen Yöntem	0.95	0.89	0.83	0.77	0.68	
Test İmgesi 2	Perona-Malik [59]	0.72	0.71	0.70	0.69	0.67	
	İz Tabanlı [68]	0.89	0.87	0.83	0.79	0.65	
	Duran [46]	0.94	0.88	0.84	0.81	0.77	
	CTV [47]	0.88	0.88	0.82	0.65	0.34	
	Önerilen Yöntem	0.95	0.90	0.86	0.83	0.71	
Test İmgesi 3	Perona-Malik [59]	0.54	0.51	0.48	0.46	0.43	
	İz Tabanlı [68]	0.88	0.84	0.80	0.76	0.68	
	Duran [46]	0.94	0.87	0.83	0.79	0.72	
	CTV [47]	0.87	0.87	0.84	0.74	0.54	
	Önerilen Yöntem	0.95	0.90	0.86	0.82	0.73	

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tez çalışmasında renkli imgeler üzerine toplamsal bir gürültü türü olan Gauss gürültüsünün giderilmesi amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Tez çalışması genel olarak iki aşamadan oluşmaktadır.

İlk aşamada istatistiksel ilişkiyi ölçmeye yarayan Kendall sıralı ilişkisi yöntemi kullanılarak renkli imgede homojen bölgeler tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen bu homojen bölgeler dikkate alınarak Gauss gürültüsüne ait gürültü seviye kestirimi yapılmıştır.

İkinci aşamada kısmi diferansiyel denklem tabanlı bir yöntem olan iz tabanlı yaklaşımdan faydalanılarak renkli imgede Gauss gürültüsünün giderilmesi işlemi yapılmıştır. İlk olarak imge iz tabanlı yaklaşım kullanılarak imge iteratif olarak yumuşatılmış ve doku + gürültü bilgisi içeren kalıntı imgesi elde edilmiştir. Elde edilen kalıntı imgesi üzerine bölgesel olarak yerel değişimler hesaplanmıştır. Buradan hareketle uygunluk terimini kontrol eden ve Lagrange çarpanı olarak da adlandırabileceğimiz λ katsayısı imgenin tamamı için aynı değeri alması yerine bölgesel olarak hesaplanmıştır. Gürültülü imge üzerine iz tabanlı yöntem ile tekrar düzenleme işlemi yapılmıştır. Kalıntı imgesinden elde edilen yerel değişimden faydalanılarak doku bilgisi olan bölgeler tespit edilmiş ve bu bölgelerde yayılım derecesi azaltılarak doku bilgisi korunmuştur.

Literatürde önerilen renkli imgelerde gürültü azaltma metotlarında karşılaşılan en büyük sorunlar imge üst seviye bilgi olarak tanımlayabileceğimiz yapı bilgisinin ve alt seviye bilgi olarak tanımlayabileceğimiz doku bilgisinin kaybedilmesidir. Önerilen yöntem ile elde edilen sonuçlar ışığında renkli imgede Gauss gürültüsü giderilirken yapı bilgisinin yanı sıra doku bilgisinin de korunduğu görülmüştür. Ek olarak önerilen yöntem literatürde yer alan 4 farklı algoritma ile karşılaştırılmıştır. Görsel sonuçların verilmesinin yanı sıra elde edilen sonuçlar TİGO ve YBI metrikleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntem, TİGO ve YBI metriklerine göre daha başarılı sonuçlar vermektedir.

4. ÖNERİLER

Önerilen yöntem sadece Gauss gürültüsü için uygulanmıştır. Tuz-biber gürültüsü, benek gürültü gibi farklı gürültü türleri için bu genişletilebilir. Tek bir gürültü için bakılmasının yanı sıra ikili gürültü bulaşmış renkli imgeler için de ilgili yöntem de bir genişletme yapılabilir. Gürültü seviye işlemi de keza sadece Gauss gürültüsü için yapılmakta olup bu yöntem farklı gürültü seviyeleri için de uygulanabilir.

Önerilen yöntemin en büyük dezavantajı zamansal karmaşıklığıdır. Renkli imgeler için önerilen yöntemin çalışması 3 farklı kanal için uygulanması ve λ katsayının bölgesel olarak hesaplanması nedeniyle uzun bir vakit almaktadır. Bunu aşmak için yöntem paralelleştirilebilir.

Bunun yanı sıra ilgili yöntem Gauss gürültüsünün seviyesinin artmasına göre ters orantılı olarak performans kaybı yaşamaktadır. Bunun için önerilen yöntemin parça tabanlı yöntemlere genişletilerek düzenlenebileceği düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. <http://www.bbc.co.uk/guides/z2tgr82>. 11 Kasım 2017.
2. Gonzalez, R. C. ve Woods, R. E., Digital Image Processing, 2nd edition, Addison-Wesley, 2002.
3. https://www.tutorialspoint.com/dip/histograms_introduction.htm. 11 Kasım 2017.
4. Plataniotis K. N., ve Venetsanopoulos A. N., Color Image Processing and Applications, Springer, Berlin, 2000.
5. Bayram, B., Sayısal Görüntü İşleme. <http://www.yildiz.edu.tr/~bayram/sgi/saygi.htm>. 11 Kasım 2017.
6. Yılmaz, İ., Güllü, M., Baybura, T. ve Erdoğan, A. O., Renk Uzayları ve Renk Dönüşüm Programı (RDP), Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2,2 (2000) 19-35.
7. Yılmaz Ç. M., Görünüm Temelli Yöntemlerle Gerçek Zamanlı Göz Bakış Yönü Kestirimi ve İnsan Bilgisayar Etkileşimi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2014.
8. Zhang H.R., Ren W.P., Yin W.L., Wen ve Shao F.C., FPGA-Based Bayer to YCbCr Color Space Design, Applied Mechanics and Materials, 696 (2014) 105-109.
9. http://www.aces.edu/dept/fisheries/education/pond_to_plate/documents/ExplanationoftheLABColorSpace.pdf. 11 Kasım 2017.
10. Bovik A. C., Handbook of image and video processing. Academic press, 2010.
11. Palabaş, T., Bulanık Mantığa Dayalı Gürültü Azaltma, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2012.
12. Yıldırım, M., T., 2.Tip Bulanık Sistemler ile Sayısal Görüntülerden Dürtü Gürültüsünün Giderilmesi, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2007.
13. Baştürk, A., Esnek Hesaplamaya Dayalı Yöntemler ile Sayısal İmgelerde Gürültü Giderimi ve İmge İyileştirme, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2006.
14. Gonzalez R. C., Woods R. E. ve Eddins, S., Digital Image Processing using MATLAB, Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, N.J., 2004.
15. Viero, T., Öistämö, K., ve Neuvo, Y., Three-Dimensional Median-Related Filters for Color Image Sequence Filtering, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 4,2 (1994) 129-142.

16. Yakar, E., 2006. Sar Görüntülerinde Benek Gürültüsünün Giderilmesi İçin Çoklu-Dalgacık Dönüşümüne Dayalı Yeni Bir Yaklaşım, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
17. Umbaugh, S. E., Computer vision and image processing, Prentice Hall Inc., London, 1998.
18. Bradley, S., Web Desing: Structure and Patterns. <http://vanseodesign.com/web-design/structures-patterns-textures>. 11 Kasım 2017.
19. Shapiro L. G., ve Rosenfeld A., Computer Vision and Image Processing, Chapter 7, Boston: Academic Press, 1992.
20. Chantler M. J., The effect of variation in illuminant direction on texture classification, Ph.D. thesis, Heriot-Watt University, August 1994.
21. Instruments N., Peak signal-to-noise ratio as an image quality metric. <http://www.ni.com/white-paper/13306/en>. 11 Kasım 2017.
22. Wang, Z., A. C. Bovik, Sheikh, H. R. ve Simoncelli, E. P., Image Quality Assessment: From Error Measurement to Structural Similarity, IEEE Transactions on Image Processing, 13,4 (2004) 600-612.
23. Shao L., Yan R., Li X., ve Liu Y., “From Heuristic Optimization to Dictionary Learning: A Review and Comprehensive Comparison of Image Denoising Algorithms,” IEEE Transactions on Cybernetics, 13,4 (2013) 600-612.
24. Benesty, J., Chen, J., ve Huang, Y., Study of the widely linear Wiener filter for noise reduction, ICASSP, March 2010, Dallas, 205-208.
25. Tomasi C. ve Manduchi R., Bilateral filtering for gray and color images, Proceedings 6th International Conference on Computer Vision, January 1998, Bombay, 839–846.
26. Weickert J., Anisotropic Diffusion in Image Processing, PhD thesis, Univ. of Kaiserslautern, Germany, Laboratory of Technomath., January 1996.
27. [http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/MANDUCHI1/Bilateral_Filtering.html#\[1\]](http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/MANDUCHI1/Bilateral_Filtering.html#[1]). 11 Kasım 2017.
28. Gupta S. ve Meenakshi, A review and comprehensive comparison of image denoising techniques, International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), March 2014, New Delhi, 972-976.
29. Jain P. ve Tyagi V., A survey of edge-preserving image denoising methods,” Information Systems Frontiers, 18,1 (2014) 159-170.

30. Buades A., Coll B., ve Morel J. M., A review of image denoising algorithms, with a new one, Multiscale Modeling & Simulation, 4,2 (2005) 490–530.
31. Elad M. ve Aharon M., Image denoising via sparse and redundant representations over learned dictionaries, IEEE Transactions on Image Processing, 15 (2006) 3736–3745.
32. Fitschen, J. H., Nikolova, M., Pierre, F., ve Steidl, G., A variational model for color assignment, Lecture Notes in Computer Science, Springer, 9087 (2015) 437–448.
33. Shen Y., Han B., ve Braverman E., Adaptive frame-based color image denoising, Appl. Comput. Harmonic Anal., 41 (2016) 54–74.
34. Mythili C., Additive noise removal for color images using wavelet based fuzzy filter, Asian Journal of Information Technology, 4 (2016) 1682-3915.
35. Jia T., Shi Y., Zhu Y., ve Wang L., An image restoration model combining mixed L1/ L2 fidelity terms, J. Vis. Commun. Image Represent. 38 (2016) 461–473.
36. C. Liu, R. Szeliski, S. B. Kang, C. L. Zitnick, ve W. T. Freeman, Automatic estimation and removal of noise from a single image, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., 30,2 (2008) 299–314.
37. Dabov K., Foi A., Katkovnik V., ve Egiazarian K., Image denoising by sparse 3D transform-domain collaborative filtering, IEEE Transactions on Image Processing, December, 16,8 (2006) 2080-2095.
38. Dabov K., Foi A., Katkovnik V., ve Egiazarian K., Color image denoising via sparse 3D collaborative filtering with grouping constraint in luminance chrominance space, IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 2007, San Antonio, TX, 313-316.
39. He L. ve Xu C., Color photo denoising via hue, saturation and intensity diffusion, Image Analysis and Recognition: 5th International Conference, ICIAR 2008, Portugal, 159–169.
40. Zhu Y., Li H. ve Jiang H., "Fuzzy logic-based filter for removing additive and impulsive noise from color images", Journal of Sensing and Imaging, 18,1 (2017) 3.
41. Rajwade A., Rangarajan A., ve Banerjee A., Image denoising using the higher order singular value decomposition, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., 35,4 (2013) 849–862.
42. Vese L. A. ve Osher S., Color texture modeling and color image decomposition in a variational-PDE approach, SYNASC, 2006 September, Timisoara, 103–110.
43. Erdem E. ve Tari S., Mumford-shah regularizer with contextual feedback, J. Math. Imaging Vis., 33,1 (2009) 67– 84.

44. Bettahar S., Stambouli A. B., Lambert P. ve Benoit A., PDE-Based Enhancement of Color Images in RGB Space, IEEE Trans Image Process, 21,5 (2012) 2500-2512.
45. Karacan, L., Erdem, E., ve Erdem, A., Structure-preserving image smoothing via region covariances, ACM Transactions on Graphics (TOG) 32,6 (2013) 176.
46. Duran J., Coll B., ve Sbert C., Chambolle's projection algorithm for total variation denoising, Image Process. on Line, 3 (2013) 311-331.
47. Duran J., Moeller M., Sbert C., ve Cremers C., On the Implementation of Collaborative TV Regularization: Application to Cartoon+Texture Decomposition, Image Processing On Line, 6 (2016) 27-74.
48. Sutour, C., Deledalle, C.-A., ve Aujol, J. F., Estimation of the Noise Level Function Based on a Nonparametric Detection of Homogeneous Image Regions, SIAM Journal on Imaging Sciences 8,4 (2015) 2622- 2661.
49. Sutour, C., Aujol, J. F. ve Deledalle, C.-A., Automatic Estimation of the Noise Level Function for Adaptive Blind Denoising, Signal Processing Conference (EUSIPCO), September 2016, Budapest,. IEEE, 76-80.
50. Kendall M. G., A new measure of rank correlation, Biometrika, 30,1-2 (1938) 81-93.
51. Kendall M. G., The treatment of ties in ranking problems, Biometrika, 33,3 (1945) 239- 251.
52. Immerkaer, J., "Fast Noise Variance Estimation", Computer Vision and Image Understanding, 64,2 (1996) 300-302.
53. Çetin, A., Malzemelerin Mekanik Davranışı: Tensörlere Giriş. <https://muhendishane.org/kutuphane/malzemelerin-mekanik-davranisi/tansorlere-giris/> 11 Kasım 2017.
54. <http://www.onmyphd.com/?p=gradient.descent>. 11 Kasım 2017.
55. <http://tutorial.math.lamar.edu/Classes/CalcIII/LagrangeMultipliers.aspx>. 11 Kasım 2017.
56. https://www.wikizero.com/en/Heat_equation. 11 Kasım 2017.
57. Tikhonov A. N., Regularization of incorrectly posed problems. Soviet. Math. Dokl. 4 (1963) 1624-1627.
58. J.J. Koenderink. The structure of images, Biological Cybernetics, 50 (1984) 363-370.

59. Perona P. ve Malik J., Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 12,7 (1990) 629-639.
60. Charbonnier P., Blanc-F'eraud L., Aubert G., ve Barlaud M., Deterministic edge preserving regularization in computed imaging, IEEE Transactions on Image Processing, 6,2 (1997) 298-311.
61. Charbonnier P., Aubert G., Blanc-F'eraud M., ve Barlaud M., Two deterministic half-quadratic regularization algorithms for computed imaging, Proceedings of the International Conference on Image Processing, 2 (1974) 168.172.
62. Rudin L., Osher S., ve Fatemi E., Nonlinear total variation based noise removal algorithms. Physica D, 60 (1992) 259-268.
63. Green P.J., Bayesian reconstruction from emission tomography data using a modified em algorithm. IEEE Trans. Med. Imaging, 9,1 (1990) 84-93.
64. Di Zenzo S., A note on the gradient of a multi-image, Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 33 (1986) 116-125.
65. Özdemir, S., ve Dizdaroğlu, B., PDEs-Based Gaussian Noise Removal from Color Images, International Conference on Electrical and Electronics Engineering, Kasım 2015, Bursa, 246-250.
66. J.Weickert. Anisotropic Diffusion in Image Processing. Teubner-Verlag, Stuttgart,1998.
67. Ulu, A., ve Dizdaroğlu, B., Variational Additive Noise Removal of Color Images, Signal Processing and Communication Application Conference (SIU), Mayıs 2016 Zonguldak, 1385-1388.
68. Tschumperlé D. ve Deriche R., Vector-Valued Image Regularization with PDE's: A Common Framework for Different Applications, IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 27,4 (2003) 506-517.
69. Tschumperlé D. ve Deriche R., Diffusion PDE's on vector-valued images, IEEE Signal Processing Magazine, 19,5 (2002) 16–25.
70. Tschumperlé, D., ve Deriche, R.: Anisotropic Diffusion Partial Differential Equations in Multi-Channel Image Processing: Framework and Applications. In: Book chapter in Advances in Imaging and Electron Physics (AIEP). Academic Press, London (2007).
71. Gilboa, G., Sochen, N., ve Zeevi, Y.Y., Variational Denoising of Partly Textured Images by Spatially Varying Constraints, IEEE Transactions on Image Processing, 15,8 (2006) 2281-2289.

72. Ulu A. ve Dizdaroğlu B., Automated removal of Gaussian noise in color images," 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Mayıs 2017, Antalya, 1-4.
73. Martin, D., Fowlkes, C., Tal, D., ve Malik, J., A database of human segmented natural images and its application to evaluating segmentation algorithms and measuring ecological statistics. ICCV, 2 (2001) 416–423.



ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında Giresun'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Yeşil Giresun İlköğretim Okulu, lise öğrenimini Giresun Lisesi'nde tamamladı. 2009 yılında 19 Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde lisans programına başladı ve 2013 yılında bu bölümden mezun oldu. 2014 yılında araştırma görevlisi olarak Artvin Çoruh Üniversitesi'nde işe başladı. 2015 yılı itibari ile Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2016 yılı bahar döneminden itibaren Bilgisayar Mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Yabancı dil olarak iyi seviyede İngilizce bilmektedir.